



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

**PROTOTIPO DE UN HORNO CRISOL PARA FUNDIR ALUMINIO, LATÓN Y COBRE  
UTILIZANDO GLP**

**Nestor David Villanueva Hernández**

Asesorado por el M.A. Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández

Guatemala, noviembre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROTOTIPO DE UN HORNO CRISOL PARA FUNDIR ALUMINIO, LATÓN Y  
COBRE UTILIZANDO GLP**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**NESTOR DAVID VILLANUEVA HERNÁNDEZ**

ASESORADO POR EL M.A. ING. VÍCTOR MANUEL RUIZ HERNÁNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Milton Alexander Fuentes Orozco
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**PROTOTIPO DE UN HORNO CRISOL PARA FUNDIR ALUMINIO, LATÓN Y COBRE  
UTILIZANDO GLP**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica con fecha 09 de agosto de 2018.

**Nestor David Villanueva Hernández**

Guatemala, 3 de septiembre de 2021

Ingeniero Gilberto Enrique Molares Baiza  
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Morales Baiza.

Por este medio, hago constar que yo, el Ingeniero Mecánico Víctor Manuel Ruiz Hernández, con colegiado número cuatro mil seis cientos veinte, doy como visto bueno el desarrollo del trabajo de graduación del alumno Nestor David Villanueva Hernández, identificado con CUI 1990 66108 2217 y registro académico 200714254, alumno a quién he podido apoyar como asesor de su protocolo de tesis.

Doy por concluido de forma eficiente ante mi persona el desarrollo de su trabajo de graduación titulado **“PROTOTIPO DE UN HORNO CRISOL PARA FUNDIR ALUMINIO, LATÓN Y COBRE UTILIZANDO GLP”**.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente.



*Ing. Víctor Manuel  
Ruiz Hernández  
COL. 4620*

Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández

Colegiado 4620



**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.EIM.127.2021

El Coordinador del Área de Materiales de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **PROTOTIPO DE UN HORNO CRISOL PARA FUNDIR ALUMINIO, LATÓN Y COBRE UTILIZANDO GLP** desarrollado por el estudiante: **Nestor David Villanueva Hernández** con Registro Académico **200714254** y CUI **1990661082217** recomienda su aprobación.

***“Id y Enseñad a Todos”***



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Coordinador Área de Materiales  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, septiembre 2021



**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.147.2021

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área de Materiales del trabajo de graduación titulado: **PROTOTIPO DE UN HORNO CRISOL PARA FUNDIR ALUMINIO, LATÓN Y COBRE UTILIZANDO GLP** del estudiante **Nestor David Villanueva Hernández**, CUI **1990661082217**, Reg. Académico **200714254** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**



Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, octubre 2021

/aej



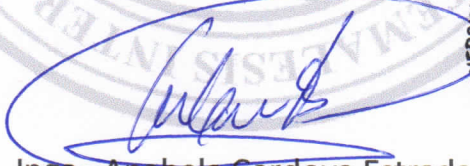
**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato  
Facultad de Ingeniería  
24189101- 24189102  
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

DTG. 605.2021.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **PROTOTIPO DE UN HORNO CRISOL PARA FUNDIR ALUMINIO, LATÓN Y COBRE UTILIZANDO GLP**, presentado por el estudiante universitario: **Nestor David Villanueva Hernández**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, noviembre de 2021.

AACE/asga



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por darme la vida y la sabiduría para poder culminar mis estudios profesionales.
- Mis padres** Paula Hernández y David Villanueva, que me enseñaron a trabajar duro y nunca rendirme, ustedes son la piedra angular de mi vida.
- Mi esposa** Débora Medina, por tu ayuda incansable durante este proceso, eres el baluarte y amor de mi vida.
- Mi hijo** Rony David Villanueva, eres la muestra del amor de Dios en mi vida, y quiero ser tu mejor ejemplo.
- Mis hermanos** Vivian, Paola y Henry Villanueva, por su amor y colaboración en todo momento.
- Mis abuelos** Natividad Martínez y Alberto Villanueva (q. e. p. d.), Fermina Peña y José Hernández (q. e. p. d.), por ser unos abuelos amorosos y creer en mí siempre.

**Mis amigos**

Daniel Vásquez, Gabriela Gil, Lilly Reyes, Denis Bailón, Ana Lucia Rivas, Sandy Porras, Marta Celada, Denis Estrada, José Miguel Argueta, Diana Caal, y Los Místicos, por tantos momentos felices que compartimos, siempre los llevaré en el corazón.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**La Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser mi alma *mater*.

**Facultad de Ingeniería**

Por ser una fuente de conocimiento y sabiduría.

**Escuela de Ingeniería  
Mecánica**

Por haber contribuido a mi formación profesional.

**Ingeniero Víctor Ruiz**

Por su apoyo y por compartir sus conocimientos a mi persona para el desarrollo de este trabajo de graduación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN .....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. ANTECEDENTES .....	1
1.1. Planteamiento del proyecto .....	1
1.1.1. Preguntas.....	1
1.1.2. Justificación .....	2
1.1.3. Viabilidad .....	2
1.2. Metodología de la investigación y contenido del proyecto .....	2
2. MARCO TEORICO .....	3
2.1. Hornos de fundición .....	3
2.1.1. Hornos de reverbero .....	4
2.1.2. Hornos de crisol .....	5
2.1.3. Hornos pozo.....	5
2.1.4. Hornos <i>bale-out</i> .....	6
2.1.5. Hornos eléctricos .....	7
2.1.6. Hornos eléctricos por inducción .....	8
2.2. Tipos de combustible para operación de hornos de fundición .....	9
2.2.1. Derivados del petróleo.....	9

	2.2.1.1.	Gas licuado del petróleo (GLP).....	10
	2.2.1.2.	Diésel.....	10
2.2.2.		Combustibles alternativos .....	11
	2.2.2.1.	Carbón.....	11
	2.2.2.2.	Zafra .....	11
	2.2.2.3.	Material de reciclaje .....	12
	2.2.2.4.	Energía eléctrica .....	13
2.3.		Horno crisol.....	13
	2.3.1.	Horno crisol fijo .....	13
	2.3.2.	Horno crisol basculante .....	14
	2.3.3.	Horno crisol inmerso.....	15
	2.3.4.	Horno crisol rotativo.....	15
2.4.		Materiales para construcción de hornos tipo crisol .....	16
	2.4.1.1.	Prefabricados .....	17
	2.4.1.2.	Ladrillos de arcilla refractaria .....	18
	2.4.1.3.	Ladrillos con alto contenido de alúmina .....	19
	2.4.1.4.	Ladrillos de sílice.....	20
	2.4.1.5.	Ladrillos de magnesita .....	21
	2.4.1.6.	Ladrillos de dolomita .....	22
	2.4.1.7.	Refractarios monolíticos.....	23
	2.4.1.8.	Aislantes refractarios.....	23
	2.4.1.9.	Fibra cerámica.....	24
	2.4.1.10.	Cemento refractario de alta temperatura .....	25
	2.4.2.	Sistema de suministro de energía.....	25
	2.4.2.1.	Reacción por combustión.....	27
	2.4.2.2.	Llama .....	27
	2.4.2.3.	Quemador.....	28

	2.4.2.4.	Principios de funcionamiento del suministro de energía .....	28
	2.4.3.	Crisol .....	28
	2.4.4.	Diseño de prototipo de horno crisol para fundir aluminio.....	29
	2.4.4.1.	Consideraciones y parámetros para la construcción del horno .....	29
	2.4.4.2.	Dimensiones del horno crisol .....	30
	2.4.4.3.	Criterio de selección para refractarios .....	31
	2.4.4.4.	Elección y dimensiones de los ladrillos refractarios .....	31
	2.4.4.5.	Elección del metal para la carcasa .....	32
2.5.		Aluminio .....	32
2.6.		Latón .....	33
2.7.		Cobre .....	33
3.		CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y OPERACIÓN DEL PROTOTIPO DE HORNO CRISOL .....	35
3.1.		Construcción y montaje .....	35
	3.1.1.	Materiales utilizados .....	35
	3.1.2.	Proceso de construcción del prototipo .....	36
	3.1.2.1.	Construcción de la base móvil para el horno.....	36
	3.1.2.2.	Construcción del crisol .....	38
	3.1.2.3.	Construcción del cuerpo del horno .....	40
	3.1.2.4.	Construcción de la tapadera del horno.....	42
	3.1.2.5.	Construcción del quemador de GLP ....	44

3.2.	Operación de prototipo de horno crisol .....	46
4.	COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y RECUPERACIÓN DE MATERIAL FUNDIDO.....	51
4.1.	Costos de construcción .....	51
4.2.	Costos de operación .....	52
4.3.	Material recuperado .....	54
	CONCLUSIONES.....	59
	RECOMENDACIONES .....	61
	BIBLIOGRAFÍA.....	63
	APÉNDICES .....	69
	ANEXOS.....	71

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Horno industrial de fundición .....	3
2.	Horno reverbero.....	4
3.	Horno de crisol.....	5
4.	Horno pozo .....	6
5.	Horno <i>bale-out</i> .....	7
6.	Horno eléctrico industrial .....	8
7.	Horno eléctrico por inducción .....	9
8.	Hombre jornalero en periodo de zafra.....	12
9.	Horno crisol fijo .....	14
10.	Horno crisol basculante .....	15
11.	Horno crisol rotativo .....	16
12.	Ladrillos refractarios.....	18
13.	Ladrillos de arcilla refractaria.....	19
14.	Ladrillos de alto contenido de alúmina .....	20
15.	Ladrillos de sílice .....	21
16.	Ladrillos de dolomita .....	22
17.	Fibra cerámica .....	24
18.	Diseño de quemador .....	26
19.	Esquema de quemador con compresor .....	26
20.	Ladrillos de chamota mullítica.....	32
21.	Base de móvil preliminar .....	37
22.	Base móvil terminada .....	37
23.	Prototipo de crisol .....	38



24.	Construcción del crisol.....	39
25.	Crisol listo para operación .....	39
26.	Cuerpo del prototipo .....	40
27.	Vista de los ladrillos dentro del cuerpo del prototipo.....	41
28.	Pegado de ladrillos dentro del cuerpo metálico .....	41
29.	Vista final del cuerpo del horno .....	42
30.	Prototipo de la tapa.....	43
31.	Tapa del horno en funcionamiento .....	43
32.	Prototipo del quemador .....	45
33.	Prototipo de quemador desarrollado .....	45
34.	Grafica temperatura <i>versus</i> tiempo .....	47
35.	Grafica temperatura línea de tendencia <i>versus</i> tiempo .....	48
36.	Fundición experimental.....	48
37.	Colado del aluminio .....	49
38.	Fundición del cobre .....	49
39.	Peso del cilindro lleno.....	53
40.	Peso del cilindro después del experimento .....	53
41.	Aluminio antes de ser fundido .....	54
42.	Aluminio recuperado.....	55
43.	Cobre antes de ser fundido y procesado .....	55
44.	Cobre procesado y recuperado, luego de ser fundido .....	56
45.	Latón a utilizar para ser procesado .....	56
46.	Latón procesado recuperado.....	57

## TABLAS

I.	Componentes y elementos del prototipo de horno .....	35
II.	Materiales para quemador de GLP .....	44
III.	Temperatura teórica/real vs. Tiempo.....	46

IV.	Costos de construcción de prototipo .....	51
V.	Costos de operación .....	52
VI.	Material recuperado .....	54



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>a.C</b>	Antes de Cristo
<b>Hp</b>	Caballos de fuerza
<b>Cm</b>	Centímetro
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>h</b>	hora
<b>k</b>	Kilo
<b>kcal</b>	kilocaloría
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>kWh</b>	Kilowatt hora
<b>O<sub>2</sub></b>	Oxígeno
<b>CFM</b>	Pie cubico por minuto
<b>%</b>	Porcentaje
<b>W</b>	Watt



## GLOSARIO

<b>Aluminio</b>	Elemento químico y metal no ferromagnético, es el metal que más se utiliza después del acero.
<b>Calentamiento Global</b>	Se refiere al aumento gradual de las temperaturas de la atmósfera y océanos de la Tierra que se ha detectado en la actualidad, además de su continuo aumento que se proyecta a futuro.
<b>Cobre</b>	Elemento químico de número atómico 29, es un metal de color pardo rojizo, brillante, dúctil, muy maleable, resistente a la corrosión y buen conductor de la electricidad y el calor; es el metal de más usos y se utiliza para la fabricación de cables, líneas de alta tensión, maquinaria eléctrica y en aleaciones, siendo la más importante el latón.
<b>Demanda</b>	Hace referencia a la cantidad de bienes (productos) o servicios que se solicitan o se desean en un determinado mercado de una economía a un precio específico.
<b>GLP</b>	Gas licuado del petróleo, son hidrocarburos combustibles que en su estado normal se encuentra en fase gaseosa. Se obtienen del refinado del petróleo por destilación fraccionada, del mismo modo que se

obtienen otros derivados del petróleo como la gasolina. Los GLP se almacenan en botellas y depósitos en fase líquida al someterlos a presión.

**Material compuesto**

Son aquellos materiales formados por dos o más materiales distintos sin que se produzca alguna reacción química entre ellos, para conseguir la combinación de propiedades que no es posible obtener en los materiales originales.

**Latón**

Aleación de cobre y cinc de color amarillo, dúctil y maleable, que al pulirla brilla con facilidad, se emplea en la fabricación de recipientes y estructuras metálicas.

**Termocupla**

Instrumento utilizado para medir temperaturas mediante la unión de dos metales distintos para que así produzcan una diferencia de potencial eléctrico.

## RESUMEN

Se realizó un estudio cuyo propósito fue determinar el funcionamiento y operación de un prototipo de horno crisol para analizar la recuperación de materiales, posterior al proceso de fundición; se utilizó el análisis de materiales con propiedades térmicas adecuadas para experimentar la fundición de cobre, latón y aluminio, los cuales fueron recolectados de chatarra, clasificados y pesados previo a la fundición y posteriormente para determinar el peso del material recuperado.

Se utilizó como instrumento principal de fundición un prototipo de horno crisol que funciona con un quemador de GLP, el cuerpo del horno fue fabricado de lámina de acero galvanizado calibre 18 y el interior está compuesto de ladrillos refractarios y la temperatura alcanzada fue medida con una termocupla tipo K.

Los resultados del experimento muestran que hay variaciones entre la pureza de los materiales analizados ya que el porcentaje de material recuperado varía entre uno y otro.

Los materiales que poseen recubrimientos o colorantes generan escoria que es desechada durante la fundición, eso hace que el porcentaje de material recuperado sea menor.





## **OBJETIVOS**

### **General**

Realizar un prototipo de un horno crisol para fundir Aluminio, Cobre y Latón utilizando GLP.

### **Específicos**

1. Construir prototipo de horno crisol.
2. Seleccionar los materiales adecuados para la construcción del prototipo.
3. Determinar la temperatura máxima que alcanza el prototipo en operación.
4. Determinar el rendimiento del material recuperado en el proceso de fundición.
5. Determinar los costos de los materiales empleados en la construcción, montaje y operación del horno crisol.



## INTRODUCCIÓN

La fundición de metales es una forma de metalurgia extractiva, es un proceso muy antiguo que implica calentar y reducir la mena mineral para obtener un metal puro. En el viejo mundo el ser humano desarrollo técnicas de fundición para obtener metales en la prehistoria, alrededor del siglo VII a.C. Y en Mesoamérica se cree que inicia en el Siglo VIII a.C. con la mayor parte de evidencia en el oeste de México.

El empleo de metales traza una etapa decisiva en la historia del planeta, generando el cambio de herramientas de piedra por herramientas con materiales de mejor resistencia y dureza, contribuyendo a la evolución del hombre.

En la actualidad las sociedades siguen consumiendo cantidades burdas de metales que han sido extraídos desde su forma mineral hasta pasar por la fundición para poder emplearlos, generando un gran impacto en el medio ambiente por la explotación de los recursos naturales es por ello que surge la necesidad de reciclar materiales y así mantener los recursos naturales no renovables intactos.

Para la ingeniería esto representa un desafío, mejorando procesos de reciclaje, por lo cual surge el tema de construir un prototipo de horno crisol para poder fundir Aluminio, Latón y Cobre, siendo estos unos de los materiales más usados actualmente.

La construcción del prototipo tiene como finalidad que este sea didáctico, funcional y económico. Durante la investigación y construcción del horno se

pusieron en práctica muchos de los conocimientos adquiridos a través de los años cursados en la escuela de Ingeniería mecánica, desde el área de materiales hasta la fabricación y operación de este, utilizando materiales refractarios para la bóveda, un crisol hecho de tubo de hierro negro cedula 80 calentados por un sistema de combustión por GLP impulsado por un flujo de aire.

# 1. ANTECEDENTES

## 1.1. Planteamiento del proyecto

En Guatemala, en el ámbito de la fusión de metales a pequeña escala, no se dieron innovaciones significativas en los últimos veinte años, existen básicamente tres principales sectores que usan el mismo tipo de hornos, estos tres grandes campos son: el metal mecánico, la artesanía- joyería y la minería.

En cuanto a la metal mecánica se usan principalmente hornos de fosa de diferentes tamaños de acuerdo a los requerimientos particulares de cada empresa, dichos hornos son agujeros de forma cilíndrica en el suelo revestido generalmente de ladrillos refractarios hechos a base de alúmina, estos hornos usan como combustible productos derivados del petróleo, se puede emplear el diésel o búnker.

En base a la necesidad del país se propone realizar un prototipo de horno crisol fabricado con materiales al alcance de cualquier persona analizando así los costos directos e indirectos que se requieren para la fabricación de dicho horno, así mismo calcular volumen de materia prima que se desea procesar y calcular el porcentaje de desperdicios, proveyendo así el conocimiento necesario para quien desee fabricar hornos para uso a menor escala.

### 1.1.1. Preguntas

- ¿Podrá el prototipo alcanzar la temperatura de fusión del cobre?

- ¿Resistirán los materiales propuestos la temperatura máxima para fusión de los metales?

### **1.1.2. Justificación**

La fabricación del prototipo de horno crisol puede permitir experimentar la fusión de diferentes metales sometidos a distintas temperaturas con materiales de fabricación accesibles y duraderos, por medio de este experimento se podrá confirmar los conocimientos adquiridos respecto a la transferencia de calor, resistencia de materiales y metalurgia proveyendo un prototipo de horno a las personas que deseen fundir metales a menor escala.

### **1.1.3. Viabilidad**

Los materiales y equipo propuestos para la fabricación del prototipo son comunes en la industria siderúrgica guatemalteca por lo que están al alcance de esta investigación. Los metales a ensayar son materiales de desecho común en Guatemala, y se encuentran en cualquier recicladora o productos de uso diario a bajo o ningún costo.

De acuerdo a los conocimientos adquiridos por medio publicaciones de ingeniería estudiadas durante la carrera los materiales propuestos para la fabricación del horno cumplen con las características necesarias para alcanzar el objetivo de fusión de los metales propuestos.

## **1.2. Metodología de la investigación y contenido del proyecto**

Para el desarrollo de este proyecto se utiliza la consulta de biblioteca, consulta electrónica, revistas, artículo y el análisis de resultados.

## 2. MARCO TEORICO

### 2.1. Hornos de fundición

Se conocen a nivel industria extractiva como maquinas que producen metales a partir de su forma mineral, aleaciones o que reprocesan metales de desecho para su reciclaje a través de un proceso de fundición, este proceso consiste en pasar los metales o minerales del estado sólido a liquido provocando cierta cantidad de calor, definida y propia de cada metal. Los hornos usados para fundir minerales, metales y sus aleaciones varían debido a su capacidad y diseño.

Figura 1. Horno industrial de fundición



Fuente: Electroheat Induction. *Horno de fundición*. <https://electroheatinduction.com.mx/horno-de-fundicion/>. Consulta: 10 de junio de 2018.

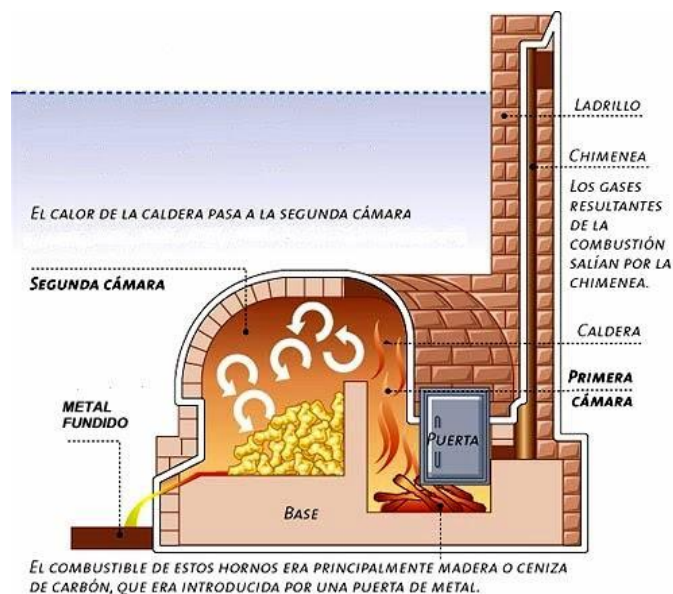


### 2.1.1. Hornos de reverbero

Los hornos de reverbero son rectangulares, de poca altura y gran longitud. En uno de los extremos se encuentra el hogar donde se quema el combustible y en el extremo opuesto está localizada la chimenea. La bóveda es de ladrillo refractario, que refleja el calor producido en un sitio autónomo del hogar donde se hace la combustión.

La carga de material se calienta, por el contacto con las llamas, los gases calientes y también por el calor de radiación que le transmite la bóveda del horno. En la antigüedad los hornos de reverbero usaban leña como combustible y se utilizaban en la mayoría de los casos para la refinación de ciertos metales.

Figura 2. Horno reverbero

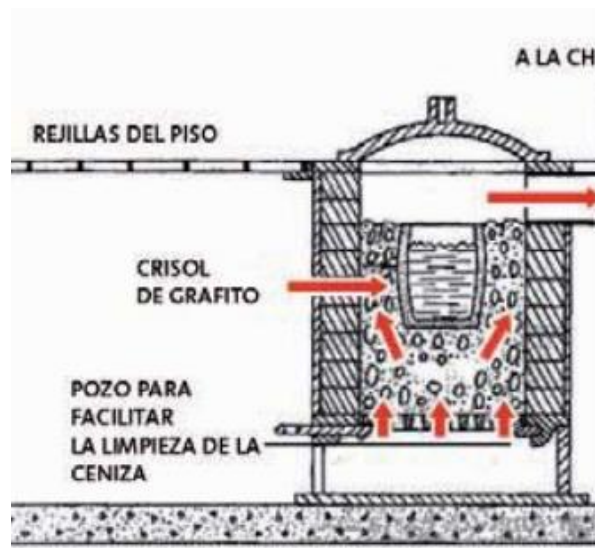


Fuente: MILLÁN, Augusto. *La compañía de minas de cobre de Catemu (Llay-Llay)*.  
<http://datoshistoricosdechile.blogspot.com/2013/12/>. Consulta: 10 de junio de 2018.

### 2.1.2. Hornos de crisol

Un horno crisol no es más que una recámara a la cual se le suministra energía, almacenar calor y promueve la transferencia de este a un metal contenido en un recipiente conductor del calor y resisten 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.

Figura 3. Horno de crisol



Fuente: KARTZ, Miguel. *Materiales y materias primas minerales de hierro guía didáctica*.  
[https://www.researchgate.net/publication/325392987\\_Materiales\\_y\\_materias\\_primas\\_Minerales\\_de\\_hierro\\_Guia\\_didactica](https://www.researchgate.net/publication/325392987_Materiales_y_materias_primas_Minerales_de_hierro_Guia_didactica). Consulta: 12 de junio de 2018.

### 2.1.3. Hornos pozo

Este horno se construye bajo nivel del suelo. En ambos casos el horno es fijo. Estos hornos generalmente no alcanzan grandes temperaturas, se utilizaban para tostar minerales. Eran excavados en una ladera, se adaptaban en operación

continúa alimentándose por la parte superior y retirándose el producto por el extremo inferior.

Figura 4. **Horno pozo**



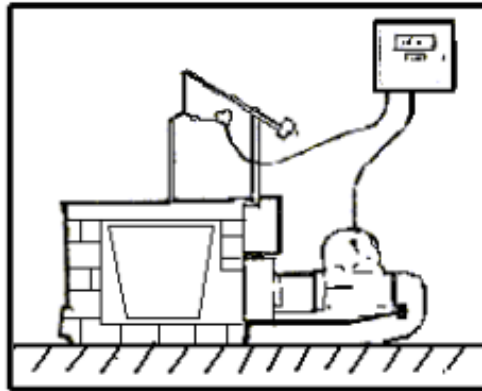
Fuente: BARRIOS, Silvia. *Horno de pozo*. [https://ceramica.fandom.com/wiki/Horno\\_de\\_pozo](https://ceramica.fandom.com/wiki/Horno_de_pozo).  
Consulta: 12 de junio de 2018.

#### **2.1.4. Hornos *bale-out***

Horno llamado de espera, su funcionamiento es igual que el horno crisol. El metal fundido se retira de manera manual del crisol usando cucharas para luego ser transferido a los moldes.

Estos hornos se utilizan, principalmente, para fundición bajo presión, donde se necesitan pequeñas cantidades a intervalos frecuentes. Capacidades típicas en el rango de 50 a 500 kg de aluminio y 110 a 330 kg de latón.

Figura 5. **Horno *bale-out***



Fuente: OSORIO, Franklin. *Rediseño de un horno para reciclaje de metales con ajustes a regulaciones ambientales municipales.*

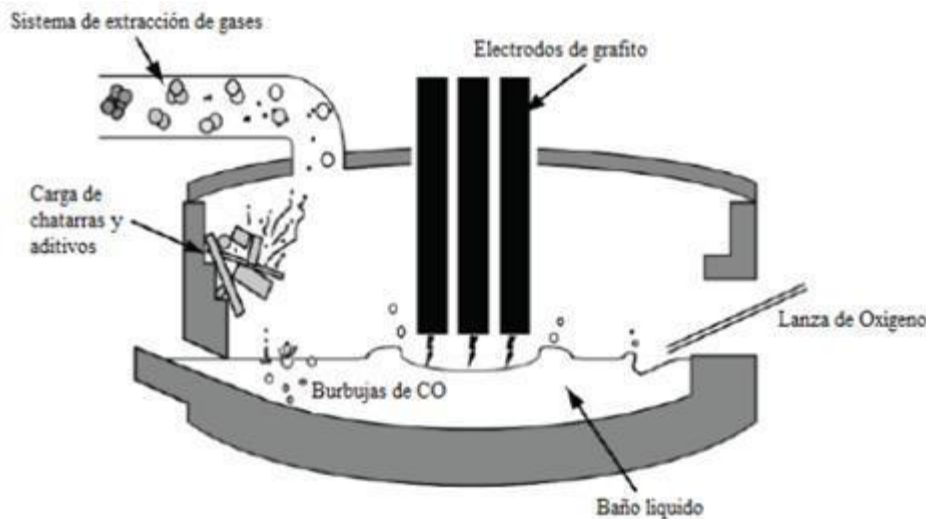
<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/14594>. Consulta: 9 de septiembre de 2018.

### **2.1.5. Hornos eléctricos**

Son usados principalmente por grandes fundiciones y plantas siderúrgicas. Producen piezas de acero y acero aleado, también son empleados para la fundición de hierro de alta calidad. Se suministra calor mediante un arco eléctrico formado en base a tres electrodos de carbón o grafito.

El horno es revestido con materiales refractarios que se deterioran durante el proceso de fusión, lo que genera escoria. La escoria protege al metal derretido del aire y extrae ciertas impurezas. El arco voltaico que se establece en los electrodos y la masa de fusión puede producir temperaturas de hasta 3 500 °C.

Figura 6. **Horno eléctrico industrial**



Fuente: MORENO ROS, Antonio. *Reciclado de polvos de acerías*.

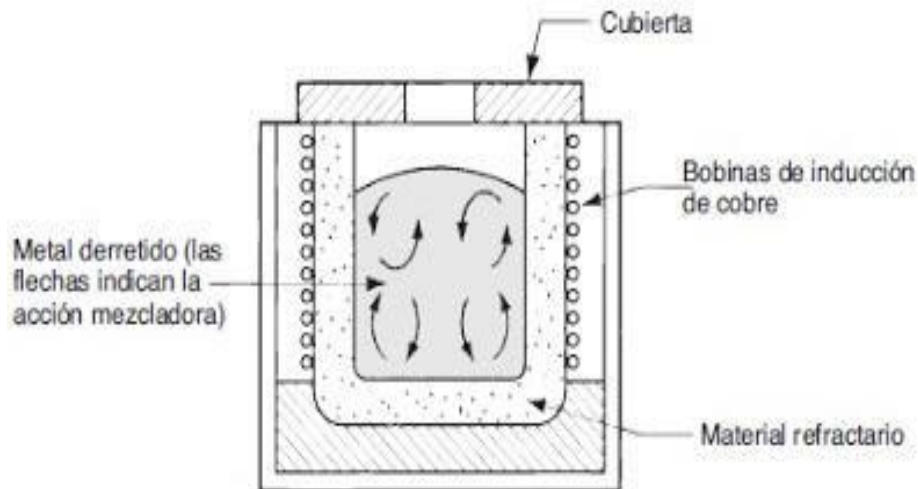
<http://www.mailxmail.com/curso-reciclado-polvos-acerias-oxido-zinc-procesos-hidrometalurgicos/polvos-aceria-horno-electrico-arco-1-2>. Consulta: 2 de julio de 2018.

### **2.1.6. Hornos eléctricos por inducción**

Son usados principalmente en la fundición de acero aleado, debido a sus controles precisos de las condiciones de fusión y composición. Funciona en base a un campo magnético, producido por la circulación de corriente alterna por las bobinas que envuelven el manto del horno. Este campo magnético cambiante genera que el metal se caliente y se funda.

Los hornos de inducción se basan en el principio físico según el cual, los cuerpos metálicos sometidos a la acción de un campo magnético de corriente alternan y la temperatura se eleva proporcionalmente a la intensidad del campo magnético y la frecuencia del mismo.

Figura 7. **Horno eléctrico por inducción**



Fuente. OCHOA, Oswaldo. *Fundición de Metales*. <http://procesosiupsmmm.blogspot.com/2017/>.  
Consulta: 2 de julio de 2018.

## 2.2. Tipos de combustible para operación de hornos de fundición

Los tipos de combustibles más común son los derivados del petróleo y los combustibles alternativos.

### 2.2.1. Derivados del petróleo

Son los combustibles procesados en una refinería usando como materia prima el petróleo.

### **2.2.1.1. Gas licuado del petróleo (GLP)**

El gas licuado del petróleo tiene su origen en yacimientos naturales y de petróleo, de donde se extrae el 65 % de la producción a nivel mundial y como producto en el proceso del refinado se obtiene el 35 % restante. Es un producto compuesto por Propano, Butano, o una mezcla de ambos. Es un gas no tóxico, altamente inflamable, incoloro e inodoro, por lo cual se le añade un agente fuertemente odorizante para detectar con facilidad cualquier fuga, por pequeña que sea.

En una temperatura normal el GLP es un gas. Cuando es sometido a presiones moderadas o se enfría, se transforma en líquido. En estado líquido, se transporta y almacena con facilidad. Una vez enfriado o presurizado, el GLP suele almacenarse en contenedores de acero o aluminio. El GLP posee un alto poder calorífico 11 739 kcal/kg.

### **2.2.1.2. Diésel**

El diésel, gasoil o gasóleo es un producto que se obtiene a partir de la destilación del petróleo crudo, este es purificado con el objetivo de quitar el azufre y otras sustancias.

Para poder ser aprovechado el petróleo se somete a un proceso conocido como destilación fraccionada, a través del cual se separan sus componentes y se consiguen diversos productos tales como la gasolina, el queroseno, el metano, el alquitrán y el diésel. Se utiliza principalmente en motores diésel y en calefacción pues tiene un gran poder calorífico 8 800 kcal/kg.

## **2.2.2. Combustibles alternativos**

Son fuentes de energía alternos que se emplean en sustitución de los combustibles fósiles, son combustibles pensados para sustituir los combustibles fósiles o derivados del petróleo, entre ellos se pueden mencionar gas natural, metano, biomasa.

### **2.2.2.1. Carbón**

El carbón es un combustible fósil usado para obtener energía mediante su combustión, posee unas propiedades termodinámicas que permiten obtener una gran cantidad de energía calorífica durante su proceso de combustión.

El carbón es una roca sedimentaria de origen orgánico, de color negro oscuro. Los carbones se pueden clasificar por el porcentaje en carbón que contienen, que está relacionado con el porcentaje de humedad y de impurezas, por lo tanto, no posee un valor exacto en su poder calorífico en cual se encuentra entre 5 100-8 500 kcal/kg.

### **2.2.2.2. Zafra**

La zafra es conocida también como bagazo y no es más que el residuo fibroso remanente de los tallos de caña de azúcar, obtenido a la salida del último Molino del proceso azucarero, constituyendo un conjunto homogéneo de partículas de diferentes tamaños que oscilan entre 0,01 - 0,02 cm de tamaño.

La zafra ha sido usada históricamente como combustible en la industria azucarera y aun cuando su poder calorífico es relativamente bajo 1 850 kcal/kg al ser comparado con otros combustibles fósiles. En los últimos años ha tenido



gran uso como combustible para calderas y así poder genera vapor que es aprovechado por un ciclo de Rankine y producir electricidad.

Figura 8. **Hombre jornalero en periodo de zafra**



Fuente: SILVA, Manuel. *Azucareros quieren mejorar zafra*.

<https://elperiodico.com.gt/economia/2017/08/31/azucareros-quieren-mejorar-zafra/>. Consulta: 2 de septiembre de 2018.

### **2.2.2.3. Material de reciclaje**

El principal material de reciclaje que se utiliza como combustible es el PET (polietileno tereftalato) pues poseen un elevado poder calorífico por lo cual su aprovechamiento energético es muy aceptado en países de primer mundo. EL poder calorífico del PET es 5,494 kcal/kg siendo muy similar al carbón.

Los compuestos del PET son carbón, hidrogeno y oxigeno su combustión es limpia y se utiliza eficazmente como sustituto de los combustibles fósiles en la producción de energía.

#### **2.2.2.4. Energía eléctrica**

El único de los combustibles alternativos en que su poder mecánico es derivado directamente de él es la electricidad, pues considerando que los otros combustibles alternos guardan energía química y al producirse la combustión proporcionan su poder mecánico.

La energía eléctrica no posee un poder calorífico como tal pues para poder ser usada en un horno y llegar a la fundición del algún metal se debe a la potencia eléctrica Kilowatt.

### **2.3. Horno crisol**

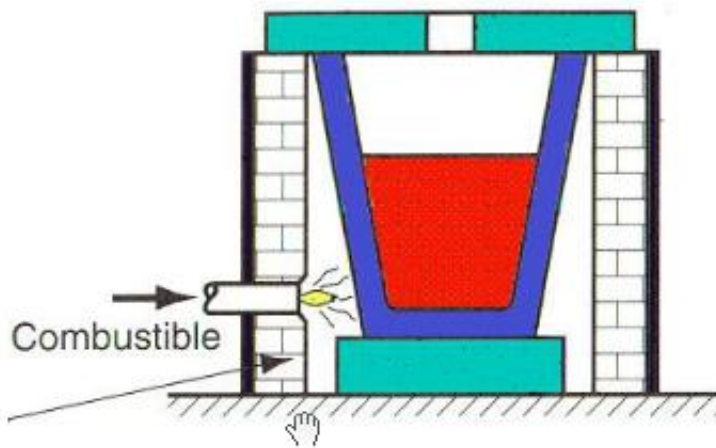
Son hornos usados para la fundición de aleaciones no ferrosas como aluminio, cobre, zinc y magnesio. En este horno el material a fundir se encuentra en el interior de un crisol que es fabricado de grafito o carburo de silicio. Este crisol se coloca en el interior de la cámara de combustión cilíndrica, que a su vez está formada internamente por un revestimiento refractario y externamente por una carcasa de metal o acero, la combustión se lleva a cabo por medio de un elemento como el gas, diésel, carbón.

#### **2.3.1. Horno crisol fijo**

Este horno posee el crisol fijo o integrado al hogar, el crisol no se mueve y una vez fundida la carga extra se extrae mediante cucharones hasta el molde o caja de arena. Su principal combustible lo constituye el carbón, por lo general estos equipos son de forma cuadrada.

El rendimiento térmico es bajo en relación a la fusión del metal que se genera.

Figura 9. **Horno crisol fijo**



Fuente: CUELLAR, Víctor. *Procesos de manufactura*. <https://app.emaze.com/@AOTTFWOQ#1>.  
Consulta: 2 de septiembre de 2018.

### 2.3.2. **Horno crisol basculante**

Son hornos reclinables apoyados sobre un sistema de sujeción que le permite extraer el metal fundido sin la necesidad de exponer al operario al calor proveniente de la cámara del horno. Poseen un buen rendimiento térmico debido a la inyección de aire para mejorar la combustión en el hogar.

Figura 10. **Horno crisol basculante**



Fuente: CASTRO, Pablo. *Clasificación de los hornos.*

<http://pablocastro08.blogspot.com/2015/05/clasificacion-de-los-hornos.html>. Consulta: 2 de septiembre de 2018.

### **2.3.3. Horno crisol inmerso**

Su funcionamiento es a la inversa de un horno normal de crisol, pues la llama entra en contacto directamente dentro del crisol que está inmerso en el baño de aleación de zinc o aluminio, y se encuentra en un recipiente refractario. La mayoría de estos hornos tienen una gran capacidad de fusión, tienen una eficiencia muy alta respecto a los hornos de llama abierta.

### **2.3.4. Horno crisol rotativo**

Son usados en la recuperación de viruta, escoria y chatarra, el horno contiene un crisol con forma de garrafa, con capacidades de hasta 300 kg y trabaja a un ángulo aproximado de 50° con respecto a la vertical.

El horno y el crisol giran constantemente durante la fusión, arrastrando el metal para el lado más caliente del crisol. La rotación constante proporciona una fusión más rápida y también evita la adhesión de la carga a las paredes del crisol que ocurren frecuentemente con los hornos convencionales.

Figura 11. **Horno crisol rotativo**



Fuente: Cife engineering. *Alimentación y transporte*. <http://www.cife.it/8.htm>. Consulta: 2 de septiembre de 2018.

#### **2.4. Materiales para construcción de hornos tipo crisol**

Son los encargados de componer el horno crisol y capaces de soportar altas temperaturas.

- **Materiales refractarios**

Son los materiales que pueden estar expuestos a altas temperaturas por un tiempo prolongado, sin modificar sus propiedades físicas, mecánicas y químicas. Los refractarios son materiales inorgánicos, no metálicos, porosos y heterogéneos, constituidos por agregados minerales termoestables, un aglomerante y aditivos.

Las materias primas esenciales usadas en la elaboración de estos materiales son óxidos de; silicio, aluminio, magnesio, calcio y circonio. Los materiales refractarios deben mantener su resistencia y estructura a altas temperaturas, resistir los choques térmicos, ser químicamente inertes, presentar baja conductividad térmica y bajo coeficiente de dilatación.

Los óxidos de aluminio (alúmina), silicio (sílice), óxido de titanio y la mullita son los materiales que componen los ladrillos refractarios de chamota mullítica. Los materiales refractarios soportan temperaturas de hasta 1 500 °C sin fundirse.

#### **2.4.1.1. Prefabricados**

Son piezas refractarias obtenidas por prensado y luego sometidas a un proceso de cocción a alta temperatura, generalmente en un horno tipo túnel para lograr una gran aglomeración de los mismos en una sola cocción. Los prefabricados más comunes son los ladrillos rectos, ladrillos de arco, en cuña, bloques y formas especiales.

Son utilizados para hacer crisoles y recubrimientos de hornos e incineradoras. Los ladrillos refractarios representan la mayor parte de producción de estos materiales refractarios por su versatilidad, costo y aplicación.

Figura 12. **Ladrillos refractarios**



Fuente: Ingeniería térmica, S.A. *Ladrillos refractarios*. <http://www.intermica.net/ladrillos-refractarios/>. Consulta: 5 de septiembre de 2018.

#### **2.4.1.2. Ladrillos de arcilla refractaria**

La producción de este ladrillo es de gran demanda llegando a representar hasta un 75 % de producción de refractarios, en esencia están compuestos de silicatos de aluminio hidratados y otros minerales en menor proporción, sus contenidos usuales son óxido de silicio menor a 78 % y óxido de aluminio menor a 44 %. Este tipo de ladrillo es barato y versátil, muy usados con frecuencia en la industria ferrosa y no ferrosa.



Figura 13. **Ladrillos de arcilla refractaria**



Fuente: Ingeniería térmica, S.A. *Ladrillos refractarios*. <http://www.intermica.net/ladrillos-refractarios/>. Consulta: 7 de septiembre de 2018.

#### **2.4.1.3. Ladrillos con alto contenido de alúmina**

La descripción de alto contenido de alúmina generalmente significa que el contenido de alúmina supera el 45 %, la alúmina es uno de los óxidos conocidos más estables químicamente que ofrece una excelente dureza, Resistencia mecánica y resistencia al exfoliado. Son insoluble en agua, en vapor sobre calentado y en la mayoría de los ácidos inorgánicos.

Los ladrillos refractarios con alto contenido de alúmina son usados en aplicaciones industriales que necesitan un aislamiento térmico, también en ejes y hogares de altos hornos, hornos de cerámica, hornos de cemento, tanques de



vidrio, crisoles para fundir una amplia gama de metales en la industria de procesamiento térmico. Operan en temperaturas de hasta 1850 °C sin problemas, también poseen gran Resistencia en atmosferas oxidantes y reductoras.

Figura 14. **Ladrillos de alto contenido de alúmina**



Fuente: Ingeniería térmica, S.A. *Ladrillos refractarios*. <http://www.intermica.net/ladrillos-refractarios/>. Consulta: 8 de septiembre de 2018.

#### **2.4.1.4. Ladrillos de sílice**

Este ladrillo está compuesto por un 93 % de sílice, se producen en masa solo por debajo de los ladrillos de arcilla refractaria. Poseen una excelente resistencia mecánica a temperaturas cercanas a la de fusión. Por otro lado, su principal defecto es que tienden a desgastarse por debajo de los 650 °C luego de haber alcanzado altas temperaturas.

Los ladrillos de sílice no son prácticos para procesos en hornos donde deben ser enfriados a casi temperatura ambiente a intervalos frecuentes en su

operación normal. Son usados en los hornos de refino de cobre y como cubierta del horno de arco eléctrico.

Figura 15. **Ladrillos de sílice**



Fuente: Kupildoma. *Paredes de ladrillo. Tipos de ladrillos para muros de mampostería y sus propiedades.* <https://kupildoma.ru/es/facade/brick-wall-masonry-types-of-brick-for-masonry-walls-and-its-properties/>. Consulta: 9 de septiembre de 2018.

#### **2.4.1.5. Ladrillos de magnesita**

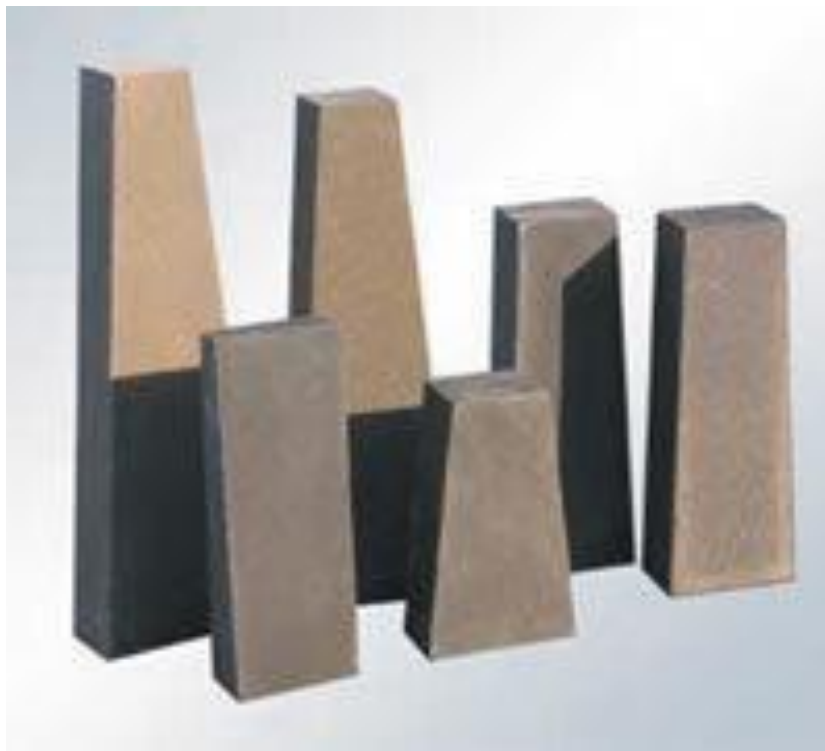
Los refractarios de magnesita contienen al menos un 85 % de óxido de magnesio, es uno de los ladrillos refractarios más utilizados. La ventaja principal es la alta Resistencia a la escoria básicas y a las escorias ricas en hierro, poseen una Buena resistencia a la exfoliación, resistentes a la corrosión, fuerte abrasión, alta Resistencia mecánica.

Se utilizan en siderúrgicas durante los procesos de fabricación de acero, actualmente también se usan en hornos de cal y de cemento, estos ladrillos son los refractarios más usados para la fabricación de acero en condiciones básicas.

#### 2.4.1.6. Ladrillos de dolomita

Al cocinarse a altas temperaturas la dolomita natural se convierte en dolomita refractaria. Se considera dolomita de alta pureza si supera el 97 % de óxido de calcio y magnesio. Los ladrillos refractarios de dolomita son los más compatibles con cementeras ya que tienen una alta Resistencia al choque térmico y al ataque químico.

Figura 16. Ladrillos de dolomita



Fuente: Fedmet. *Industria del procesamiento de minerales, cemento y cal.*  
[https://www.fedmet.com/content/documents/brochures/spanish/Cemento%20y%20Cal%202020\\_locked.pdf](https://www.fedmet.com/content/documents/brochures/spanish/Cemento%20y%20Cal%202020_locked.pdf). Consulta: 12 de septiembre de 2018.

#### **2.4.1.7. Refractarios monolíticos**

Son mezclas refractarias que pueden ser usadas directamente en el estado que se suministran, como es el caso de las masas plásticas o bien después de la adición de un líquido apropiado, como los cementos refractarios. Poseen una mayor facilidad y versatilidad de instalación, un amplio rango de temperaturas de empleo, así como en la capacidad de adaptarse a amplias variaciones en la composición química, mineralógica y granulométrica. Las propiedades físicas y mecánicas de estos materiales dependen del empaquetamiento de sus constituyentes, por otro lado, las características de Resistencia, porosidad, densidad y estabilidad térmica vienen regidas por la compactación del refractario.

#### **2.4.1.8. Aislantes refractarios**

Ayudan a reducir las pérdidas de calor a través de las paredes de los hornos. Una baja transferencia de calor se puede alcanzar al colocar capas de material con baja conductividad térmica entre la superficie interna caliente de un horno y la superficial externa, hacienda que esta última se mantenga una baja temperatura. Estos materiales se aplican en diferentes industrias como la siderurgia, cemento, vidrio, cerámica, térmica, energéticas, química, entre otros.

La principal razón de su baja conductividad se debe a la alta cantidad de poros dentro del material, los poros se encuentran llenos de aire y por ende impiden una alta tasa de transferencia de calor. Estos materiales son de muy poco peso y poseen también una porosidad de entre 75 % y 85 %. Los materiales con alto porcentaje de poros resultan poseer una Resistencia muy baja y deben manejarse con mucho cuidado.

#### 2.4.1.9. Fibra cerámica

Estas fibras presentan una elevada resistencia a las temperaturas. Se fabrican a base de sílice y alúmina de alta pureza. Compuesta por largas y flexibles fibras entrelazadas que otorgan una alta flexibilidad, fuerza y durabilidad.

Posee una baja conductividad térmica e importante Resistencia al choque térmico y ataques químicos, otorgando un excelente comportamiento y rendimiento para aplicaciones de alta temperatura en rangos desde los 1 100 °C hasta los 1 430 °C. Se usan como aislantes en hornos de tratamiento térmico, aislamiento de calderas, revestimiento interior en chimeneas, intercambiadores de calor, entre otros.

Figura 17. **Fibra cerámica**



Fuente: HyN empaquetaduras e importaciones S.A.C. *Fibra cerámica*.

<https://www.hynempaquetaduras.com/producto/manta-de-fibra-ceramica/>. Consulta: 9 de septiembre de 2018.

#### **2.4.1.10. Cemento refractario de alta temperatura**

Son conocidos como concreto refractarios a mezclas formadas por materiales refractarios de diferentes granulometrías usualmente sílice y alúmina en diferentes proporciones y un cemento de alta temperatura.

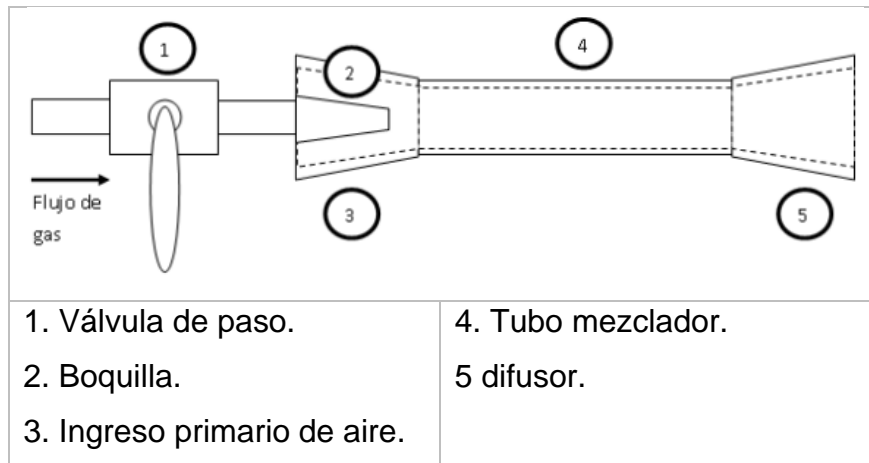
Este cemento al contacto con el agua se hidrata rápidamente formando fuertes cadenas moleculares que mantienen unido al material refractario, permitiendo así la fabricación de grandes piezas o de revestimientos completos directamente en el horno donde se van a usar.

Para poderlos usar es necesario secarlos, deshidratarlos y fraguarlos a alta temperatura, con lo que se obtienen piezas monolíticas de carácter cerámico, el concreto refractario se usa en todo tipo de hornos como, los de refinerías, industria química, metalurgia, industrias de vidrio y cerámico. Son estables a altas temperaturas, resistentes a la corrosión y al ataque químico, como también absorben poca agua.

#### **2.4.2. Sistema de suministro de energía**

Es el encargado de proveer la energía necesaria para que los materiales a fundir alcancen su temperatura de fusión en un lapso de tiempo.

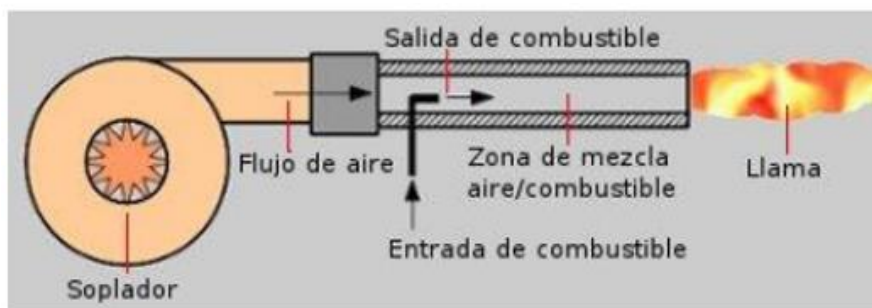
Figura 18. **Diseño de quemador**



Fuente: FLORES GARCÍA, Evelin. *Diseño y construcción de un horno de crisol para aleaciones no ferrosas.*

<http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/6320/1/Dise%C3%B1o%20y%20construcci%C3%B3n%20de%20un%20horno%20de%20crisol%20para%20aleaciones%20no%20ferrosas.pdf>. Consulta: 12 de junio de 2018.

Figura 19. **Esquema de quemador con compresor**



Fuente: Sabelotodo. *Horno casero para fundir metales.* <http://www.sabelotodo.org/x-bin/perfect/search/search.pl?q=arco&showurl=%2Fhagalousted%2Fhornofundicion.html>.

Consulta: 9 de septiembre de 2018.

### **2.4.2.1. Reacción por combustión**

La reacción por combustión se basa en una relación química exotérmica de una sustancia con el oxígeno generando un combustible. Esta reacción se caracteriza por la formación de una llama, que es una masa gaseosa incandescente que emite luz y calor.

En una reacción completa todos los elementos que forman el combustible se oxidan a su totalidad, los productos que se forman son el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y el agua ( $H_2O$ ). La combustión ideal no existe pues los reactivos y reactantes están compuestos de otras moléculas que al reaccionar forman productos ajenos a la combustión, como puede ser el monóxido de carbono, hidrógeno, carbono en forma de hollín o ceniza.

### **2.4.2.2. Llama**

La llama es la manifestación visual de la reacción de combustión. La llama es provocada por la emisión de energía de los átomos de algunas partículas que se encuentran en los gases de la combustión, al ser excitados por el intenso calor generado en este tipo de reacciones.

El color y la temperatura de la llama son dependientes del tipo de combustible involucrado en la combustión. Con respecto a los hidrocarburos, el factor más importante que determina el color de la llama es el suministro de oxígeno y el alcance que tiene la mezcla oxígeno-combustible, este último también determina la tasa de combustión y la temperatura de la reacción.



### **2.4.2.3. Quemador**

El quemador es el instrumento que permite realizar la reacción de combustión entre la mezcla de aire y combustible de manera controlada y regulable, es decir, debe aportar de manera adecuado ambos componentes para obtener la potencia calorífica requerida y así poder transferir eficientemente el calor generado a la carga.

### **2.4.2.4. Principios de funcionamiento del suministro de energía**

El quemador a ser usado en el prototipo será de aire inducido, este desarrolla procesos de combustión en espacios reducidos, donde se requiere alcanzar altas temperaturas. El sistema está constituido por un ventilador o compresor y el quemador. El principio de funcionamiento es sencillo y eficiente, el quemador de aire inducido utiliza la energía de presión del aire que es suministrada por el ventilador o compresor para arrastrar el gas hasta la zona de combustión y generar una mezcla aire combustible homogénea.

### **2.4.3. Crisol**

Es un envase o recipiente donde se depositan los metales a ser fundidos en un horno, debe soportar altas temperaturas durante los procesos de fundición. El material que compone el crisol debe tener una alta temperatura de fusión mucho mayor que la del material a fundir.

#### **2.4.4. Diseño de prototipo de horno crisol para fundir aluminio**

El diseño del prototipo es una parte elemental del proyecto, pues reflejara un panorama de los requerimientos constructivos posteriores y parámetros de funcionamiento esperados. Involucra determinar dimensiones, establecer materiales resistentes y generar el ensayo para fundir los materiales.

##### **2.4.4.1. Consideraciones y parámetros para la construcción del horno**

Para el diseño del horno crisol, se deben tomar en cuenta algunas consideraciones y parámetros para que el prototipo pueda operar de forma óptima y eficiente. Estos parámetros y consideraciones pueden cambiar si los resultados no son los esperados.

Consideraciones:

- Los hornos con una cavidad cilíndrica son más eficientes que los que tienen una cavidad cuadrada.
- El horno debe ser dimensionado con relación al crisol que será usado para la fundición de los metales.
- El quemador debe estar localizado en el fondo del horno, justo en la parte baja del crisol y debe ser tangente a la pared de este.
- El diámetro interno de la cámara interior debe ser entre 15cm y 30cm, superior al diámetro del crisol.
- Debe permitirse un espacio entre 5 cm y 15 cm entre el borde superior del crisol y la tapa.

Parámetros para la construcción del horno:

- Temperatura máxima de operación.
- Crisol a emplear.
- Combustible a utilizar.
- Metales permisibles a fundir.
- Periodo y tiempo de operación.

#### 2.4.4.2. Dimensiones del horno crisol

Clasificando los parámetros y consideraciones se procede a determinar el tamaño del horno.

Diámetro interno del horno =  $D_{int}$

$D_{int}$  = Diámetro del Crisol + Espacio libre sugerido

$D_{int}$  = 10,2 cm + 27,8 cm

$D_{int}$  = 38 cm

Altura Interior del horno =  $H_{Int}$

$H_{Int}$  = altura del crisol + espacio libre sugerido + base

$H_{Int}$  = 31,5 cm + 10 cm + 6,5 cm

$H_{Int}$  = 38 cm

Se requiere de una base para soportar el crisol en el fondo del horno, la base será hecha de ladrillos refractarios con un espesor de 6,5 cm.

#### **2.4.4.3. Criterio de selección para refractarios**

Al seleccionar el mejor material debe tomarse en cuenta el metal a fundir, las temperaturas a alcanzar, el tiempo de fundición, cuánto tiempo se mantendrá el metal en el horno, que aditivos o agentes maleantes se utilizarán y la forma en que recubrirán las superficies.

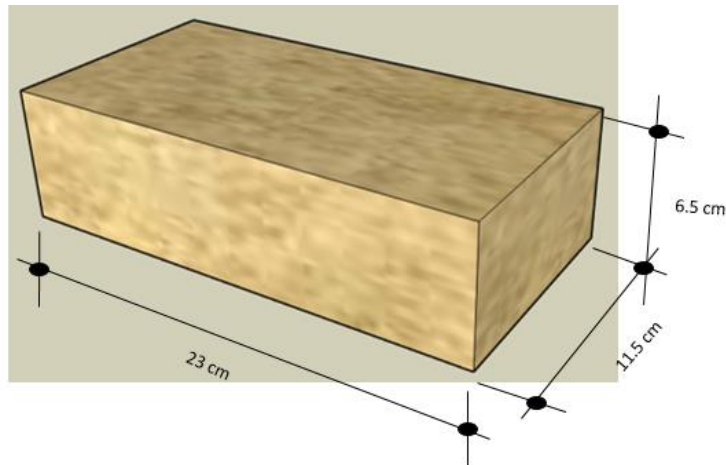
La selección correcta no sólo otorga una mayor vida útil sino también reduce el tiempo en que el horno está fuera de servicio.

Finalmente, el factor económico es el que incide enormemente en el proceso de selección. El costo de la instalación, de mantenimiento, de reparación y reemplazo del refractario deben mantenerse al mínimo. Sin embargo, no debe caerse en el error de seleccionar un material refractario únicamente por su bajo precio y facilidad de instalación, las consideraciones anteriores deben tomarse en cuenta para no incidir en pérdidas innecesarias.

#### **2.4.4.4. Elección y dimensiones de los ladrillos refractarios**

Para la fabricación del prototipo de horno crisol se determinó utilizar ladrillos de chamota mullítica con porcelana, los cuales están compuestos de alúmina y sílice, pueden resistir temperaturas superiores a los 1 100 °C y soportar una dilatación térmica hasta 1 200 °C. Los ladrillos son de 23 cm de largo, 11,5 cm de ancho y 6,5 cm de alto.

Figura 20. **Ladrillos de chamota mullítica**



Fuente: elaboración propia, empleando SketchUp 2018.

#### **2.4.4.5. Elección del metal para la carcasa**

Para la fabricación de la carcasa del prototipo se utilizó un cilindro de lámina de acero galvanizado calibre 18 de 0,12 cm de espesor que se consiguió en una recicladora de materiales.

### **2.5. Aluminio**

El aluminio es el tercer elemento más común encontrado en la corteza terrestre, en estado natural se encuentra en muchos silicatos.

Este metal se extrae del mineral conocido como bauxita esta se transforma en alúmina mediante el proceso Bayer y finalmente en aluminio metálico mediante electrolisis su punto de fusión es de 660 °C.

Este metal posee una combinación de propiedades que lo hacen muy útil, tales como su baja densidad, resistencia a la corrosión, alta conducción térmica, entre otras características que lo hacen atractivo en diferentes industrias.

## **2.6. Latón**

El latón es una aleación formada de cobre y zinc, su punto de fusión esta entre los 900 y los 940 °C dependiendo de su composición. Dicha composición también influye en sus características mecánicas, la fusibilidad y la capacidad de conformación por fundición, mecanizado, forja y troquelado.

## **2.7. Cobre**

El cobre es un metal de transición, de color rojizo y brillante. Es uno de los mejores conductores eléctricos después de la plata, su punto de fusión son los 1084 °C. Posee una alta ligereza, alta maleabilidad, ductilidad y abundancia en la corteza terrestre.



### 3. CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y OPERACIÓN DEL PROTOTIPO DE HORNO CRISOL

#### 3.1. Construcción y montaje

En este capítulo se encontrará todo lo relacionado al proceso constructivo y el montaje del prototipo para su operación y puesta a prueba en el ensayo de fundición.

##### 3.1.1. Materiales utilizados

Para dar inicio a la construcción del prototipo se realizó un listado de todos los elementos y componentes que lo integran, se determinó el material del cual está compuesto cada componente con el fin de poder establecer un orden para facilitar el posterior ensamble.

Tabla I. Componentes y elementos del prototipo de horno

Componentes	Material	Unidades
Ladrillo Refractario Maxial 25M STD	Chamota Mullitica con porcelana	20
Carcasa metálica	Lamina de acero galvanizado calibre 18	1
Crisol	Tubería acero al carbono cedula 80 sin costura	1
Tapa del prototipo	Lamina de acero galvanizado calibre 24	1
Termocupla tipo K	Acero Inoxidable 300	1
Quemador	Tubería de acero galvanizado	1
Pinza de sujeción del crisol y sujetadores de tapa	Varilla de acero corrugado grado 40 de 1,27 cm de diámetro	1
Cuchara para eliminar escoria	Varilla de acero corrugado grado 40 de 0,63 cm de diámetro	1



Continuación de la tabla I.

Base Móvil	Perfil Unicanal galvanizado perforado	1
Cemento Refractario Comprit F41-5 M	Chamota, Porcelana	1 bolsa
Mortero Refractario Didotect F40V-05 M	Chamota	1 galón
Multímetro Digital Mut-33		1
Balanza Digital para cocina		1
Aspiradora/Sopladora de 12 galones		1

Fuente. elaboración propia.

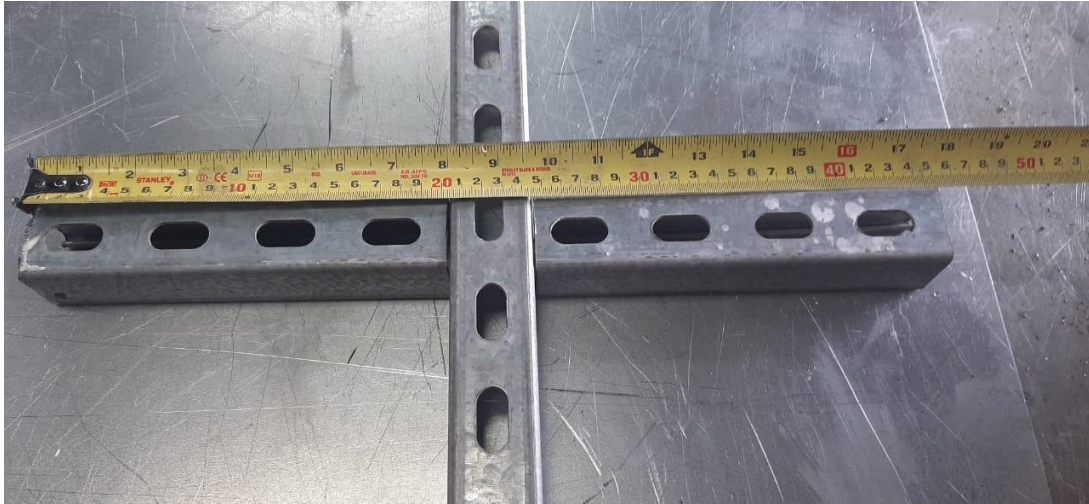
### **3.1.2. Proceso de construcción del prototipo**

La construcción del prototipo se describe a continuación, mostrando el montaje de cada elemento que componen el horno.

#### **3.1.2.1. Construcción de la base móvil para el horno**

Para la construcción de la base móvil se utilizaron piezas de perfil unicanal perforado galvanizado, una de 4 x 45 centímetros y dos de 4 x 20,5 centímetros, estos fueron unidos por soldadura eléctrica con electrodo 6013. A la pieza más larga se le soldaron las dos más pequeñas al centro para generar una cruz y así soportar la base circular del horno. También se soldaron cuatro topes metálicos en los extremos superiores de cada lado del unicanal para que la base del horno pueda estar fija y cuatro ruedas en la parte inferior para facilitar su traslado.

Figura 21. **Base de móvil preliminar**



Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Base móvil terminada**

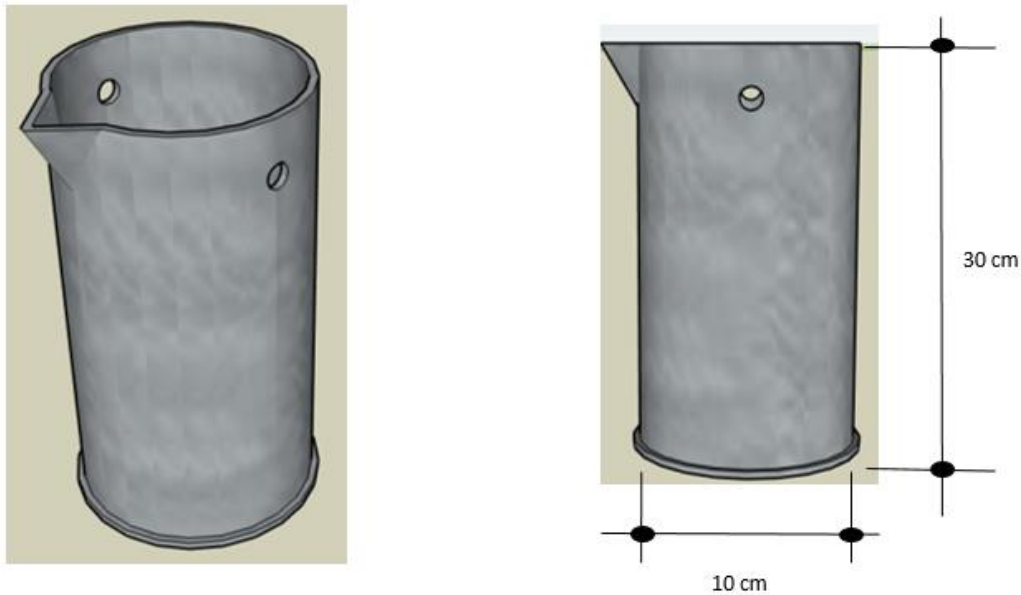


Fuente: elaboración propia.

### 3.1.2.2. Construcción del crisol

El crisol se construyó de un tubo de acero al carbono cedula 80 sin costura de 10 centímetros de diámetro interno por 30 centímetros de altura, capaz de soportar temperaturas superiores a las 1 200 °C. Para la sujeción del mismo y su traslado se le soldaron dos orejas en el extremo superior y una en la parte inferior y para poder verter el material fundido se le soldó una pieza de angular cortado en diagonal, todas sus partes fueron unidas por soldadura eléctrica con electrodo 6013.

Figura 23. Prototipo de crisol



Fuente: elaboración propia, empleando SketchUp 2018.

Figura 24. **Construcción del crisol**



Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Crisol listo para operación**

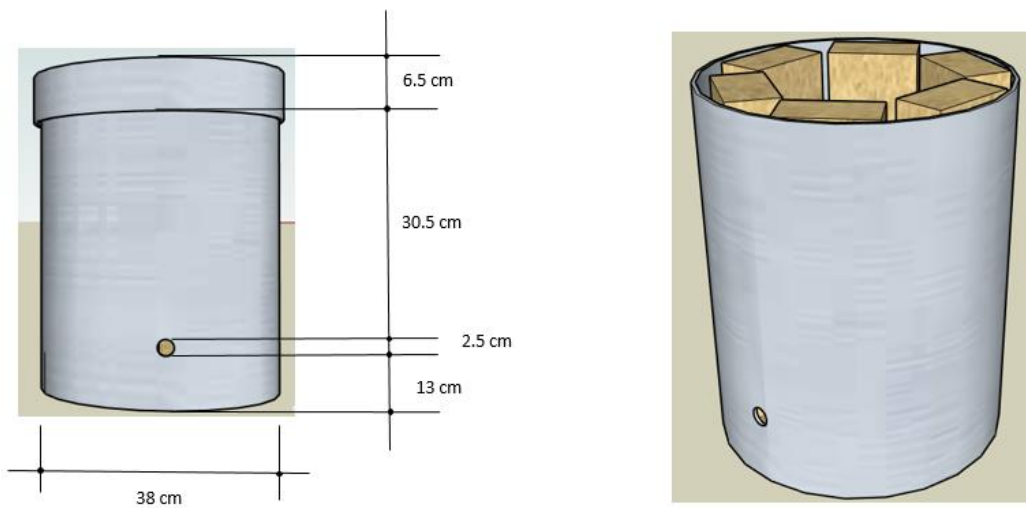


Fuente: elaboración propia.

### 3.1.2.3. Construcción del cuerpo del horno

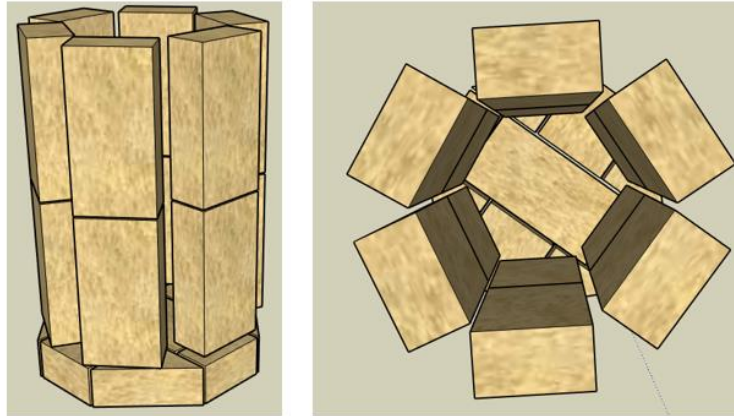
Para la construcción del cuerpo del horno se utilizó un cilindro de lámina de acero galvanizado calibre 18 de 0,12 centímetros de espesor como recipiente para contener los ladrillos que servirán como hogar del prototipo, los ladrillos fueron pegados entre sí con mortero refractario resistente a altas temperaturas y los espacios vacíos generados por los ladrillos rectangulares fueron llenados con cemento refractario de alta temperatura. Una vez fraguado el cemento refractario se instalaron el quemador y la termocupla en el cuerpo del prototipo a través de unas perforaciones que fueron selladas con cemento refractario para evitar cualquier pérdida de calor.

Figura 26. **Cuerpo del prototipo**



Fuente: elaboración propia, empleando SketchUp 2018.

Figura 27. **Vista de los ladrillos dentro del cuerpo del prototipo**



Fuente: elaboración propia, empleando SketchUp 2018.

Figura 28. **Pegado de ladrillos dentro del cuerpo metálico**



Fuente: elaboración propia.



Figura 29. **Vista final del cuerpo del horno**

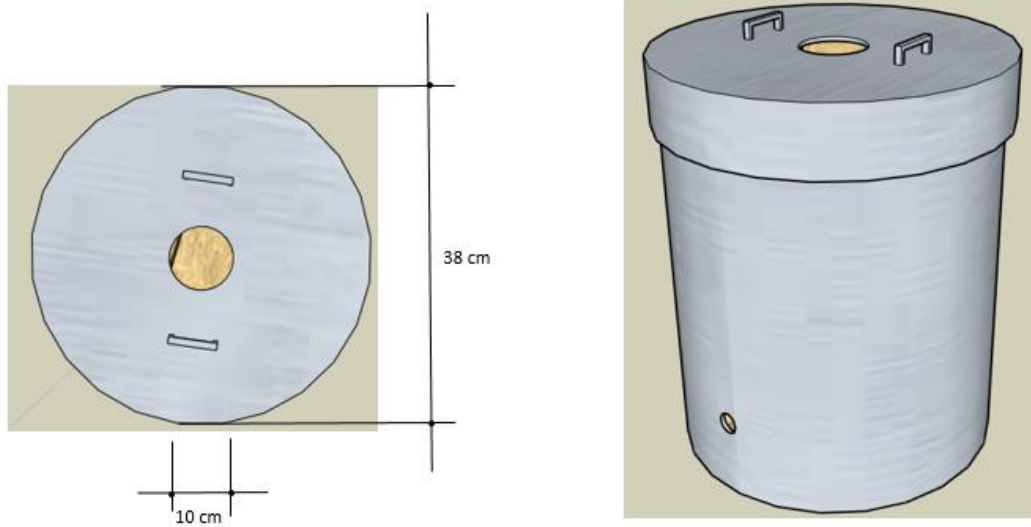


Fuente: elaboración propia.

#### **3.1.2.4. Construcción de la tapadera del horno**

La tapa del horno fue construida con lámina de acero galvanizada calibre 24 de 0,06 centímetros de espesor, con una perforación circular de 10 centímetros de diámetro al centro de la misma para poder tener una salida de los gases generados por la combustión. A la tapa se le fundió cemento refractario para que soporte las altas temperaturas que se generaran en el interior del prototipo y dos sujetadores de varilla de acero corrugado grado 40 de 1,27 cm de diámetro para poder retirar la tapa en cualquier momento.

Figura 30. **Prototipo de la tapa**



Fuente: elaboración propia, empleando SketchUp 2018.

Figura 31. **Tapa del horno en funcionamiento**



Fuente: elaboración propia.



### 3.1.2.5. Construcción del quemador de GLP

La construcción del quemador fue realizada para poder mezclar el oxígeno con el combustible y así generar la combustión para poder llegar a las temperaturas de fusión del aluminio, latón y cobre.

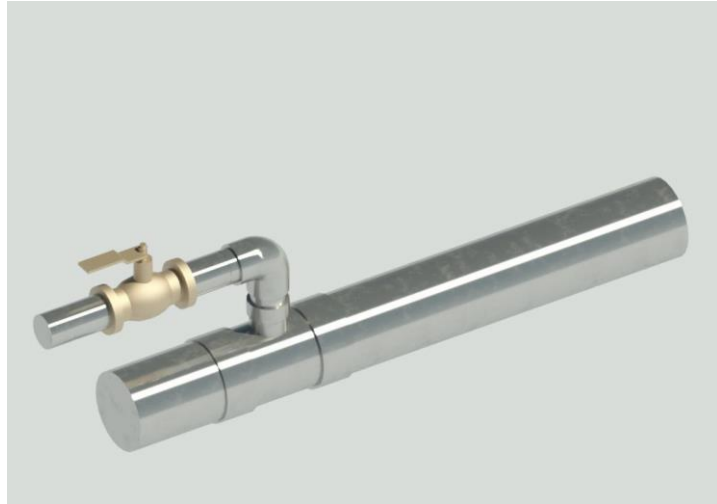
Para su fabricación se usaron los materiales descritos en la siguiente tabla:

Tabla II. **Materiales para quemador de GLP**

<b>Nombre</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Cantidad</b>
Tee de hierro galvanizado	2,54x2,54 cm	1
Niple de hierro galvanizado	2,54x25,4 cm	2
Niple de hierro galvanizado	1,27x7,62 cm	1
Niple de hierro galvanizado	1,27x5,08 cm	1
Válvula de bola de latón cromada	1,27 cm	1
Copla de hierro galvanizado	2,54 cm	1
Reductor <i>bushing</i> de hierro galvanizado	2,54X1,27 cm	1
Conector rápido Macho de latón	0,635 cm	1
Conector macho de unión rápida cromado	0,635x,925 cm	1
Reductor <i>bushing</i> de hierro galvanizado	1,27x,925 cm	1
Teflón en cinta (Rollo)	1,27 cm	1

Fuente: elaboración propia.

Figura 32. **Prototipo del quemador**



Fuente: elaboración propia, empleando SketchUp 2018.

Figura 33. **Prototipo de quemador desarrollado**



Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Operación de prototipo de horno crisol

Para iniciar la operación del prototipo se realizó un precalentado del horno por quince minutos para tener una temperatura inicial, la cual alcanzo los 70 °C. La valvula del GLP se abrió 1/8 de vuelta para el precalentamiento. El experimento se realizó en un recinto abierto ventilado naturalmente y el registro de la temperatura ambiente fue de 26 °C.

Se utilizó una aspiradora/sopladora de 5 Hp capaz de producir 160 pies cúbicos por minuto (CFM), de flujo de aire para lograr una mezcla eficiente.

El horno permaneció cerrado durante la operación y el crisol fuera del mismo, este fue incorporado una vez alcanzo la temperatura de fusión de los metales a fundir.

Iniciado el funcionamiento del prototipo se recopilaron los datos que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla III. **Temperatura teórica/real vs. Tiempo**

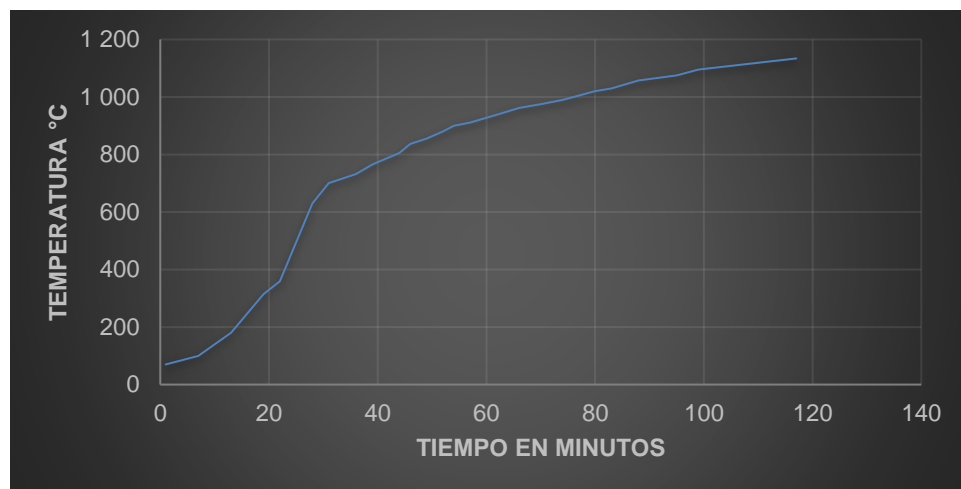
Temperatura del Horno Empírico			Temperatura teórica del Horno
No,	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Temperatura Línea Tendencia (°C)
1	1	70	-127,95
2	7	100	347,4163903
3	13	180	498,6414785
4	19	315	591,3469982
5	22	359	627,1607609
6	28	630	686,0742398
7	31	700	710,9387342
8	36	732	747,4678415
9	39	765	767,0214745

Continuación de la tabla III.

10	44	805	796,4896857
11	46	837	807,3488067
12	49	855	822,7827806
13	52	880	837,299328
14	54	900	846,5189127
15	57	911	859,7269942
16	62	939	880,2676589
17	66	962	895,5407569
18	70	975	909,9149027
19	74	990	923,4900616
20	76	1 000	930,0048477
21	80	1 020	942,5352866
22	83	1 030	951,5285721
23	88	1 057	965,8186104
24	95	1 075	984,5165858
25	99	1 095	994,5918282
26	117	1 134	1035,401471

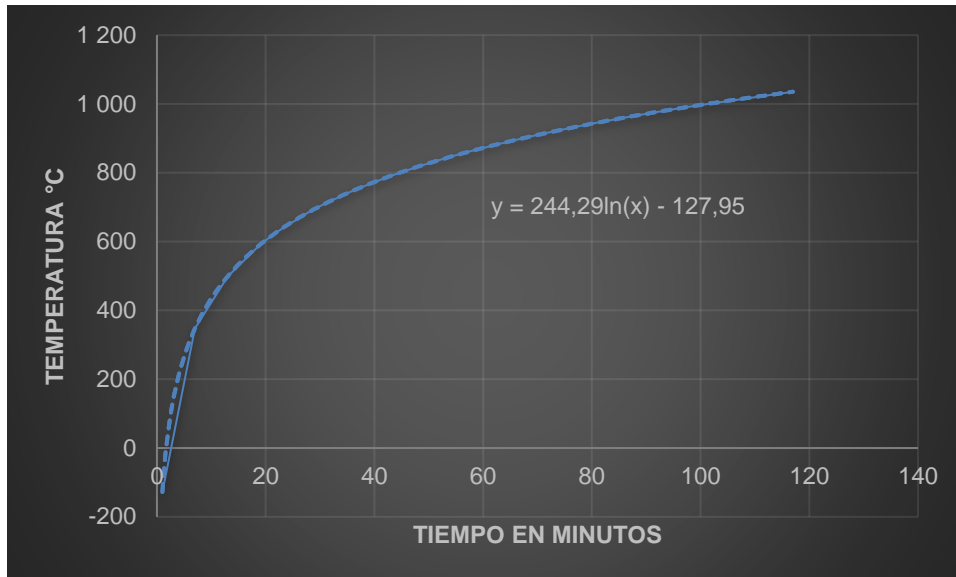
Fuente: elaboración propia.

Figura 34. **Grafica temperatura *versus* tiempo**



Fuente: elaboración propia.

Figura 35. **Grafica temperatura línea de tendencia versus tiempo**



Fuente: elaboración propia.

Figura 36. **Fundición experimental**



Fuente: elaboración propia.

Figura 37. **Colado del aluminio**



Fuente: elaboración propia.

Figura 38. **Fundición del cobre**



Fuente: elaboración propia.



## 4. COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y RECUPERACIÓN DE MATERIAL FUNDIDO

### 4.1. Costos de construcción

Algunos costos que se presentaran son tomados como referencias, los costos de materiales y equipos empleados en la construcción del prototipo corresponderán al detalle indicado en la siguiente tabla.

Tabla IV. **Costos de construcción de prototipo**

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Total</b>
Crisol (Tubo de acero al carbono cedula 80)	1	Q 75,00	Q 75,00
Ladrillo refractario	25	Q 21,50	Q 537,50
Cemento Refractario Comprit F41-5 M	1	Q 305,00	Q 305,00
Mortero Refractario Didotect F40V-05 M	1	Q 100,00	Q 100,00
Cilindro de gas	1	Q 115,00	Q 115,00
Quemador	1	Q 140,00	Q 140,00
Termocupla Tipo K	1	Q 630,00	Q 630,00
Unicanal	1	Q 45,00	Q 45,00
Cilindro de chapa metálica 0,2 cm	1	Q 75,00	Q 75,00
Multímetro Mut-33	1	Q 159,99	Q 159,99
Rollo de teflón	1	Q 5,00	Q 5,00
Llantas	4	Q 15,75	Q 63,00
Soldadura Eléctrica	1	Q 370,00	Q 370,00
Pintura	1	Q 50,00	Q 50,00
Pinzas de sujeción	1	Q 65,00	Q 65,00
Cuchara para eliminar escoria	1	Q 60,00	Q 60,00
<b>Total</b>			<b>Q 2 795,49</b>

Fuente: elaboración propia.



Los costos presentados en la tabla anterior muestran los gastos que absorbió el estudiante.

#### 4.2. Costos de operación

Para los costos de operación, actualmente se determinó que se recurrirán en las siguientes variables a considerar:

Tabla V. Costos de operación

Costos de Operación					
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio	Total	Comentario
Mano de obra	2	días	Q 92,88	Q 185,76	Según salario mínimo para Guatemala
Gas propano	14	libras	Q 4,60	Q 64,4	El cilindro de 25 libras cuesta Q115,00
Material a fundir (reciclado)	0	0	Q -	Q -	El material fue recolectado para reciclaje sin ningún costo
Electricidad	45	KWh	Q 1,29	Q 58,05	
			<b>Total</b>	<b>Q 308,21</b>	

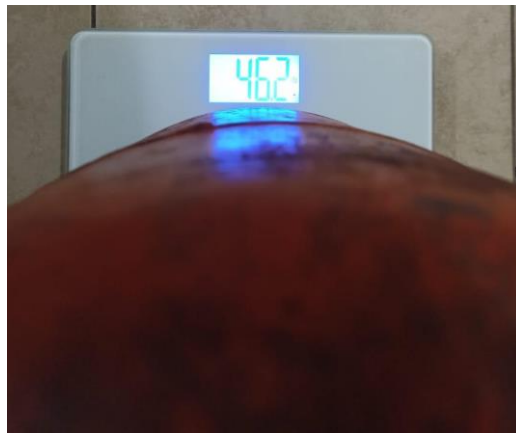
Fuente: elaboración propia.

Los costos de operación se hacen con la proyección del mercado artesanal promedio.

Donde un operario común necesitará de los implementos básicos y necesarios para poder trabajar diariamente, además que entre otros insumos variables se premedita que el uso del GLP pueda ser directamente proporcional al ritmo de producción y transformación del material reciclado.

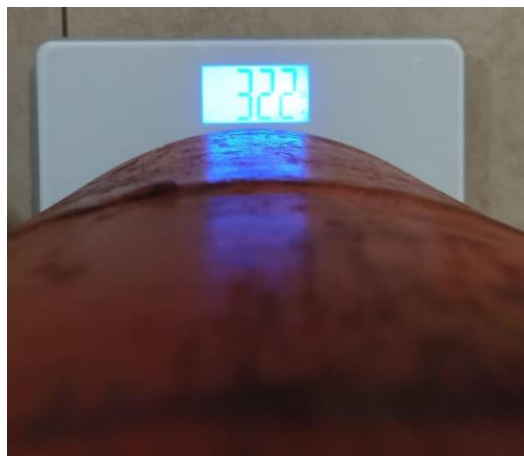
El cálculo de consumo del gas propano se realizó pensando el cilindro lleno antes del experimento y al final del experimento, dando como resultado el consumo de GLP utilizado para la fundición de los metales.

Figura 39. **Peso del cilindro lleno**



Fuente: elaboración propia.

Figura 40. **Peso del cilindro después del experimento**



Fuente: elaboración propia.

### 4.3. Material recuperado

Se refiere a el material obtenido luego de la fundición libre de escorias, colorantes o pinturas. Mediante el uso del prototipo se pudo fundir 3 metales de los cuales el peso inicial y el final se describen en la siguiente tabla.

Tabla VI. **Material recuperado**

<b>Material</b>	<b>Peso bruto</b>	<b>Unidad</b>	<b>Peso material recuperado</b>	<b>Unidad</b>
Aluminio	16	Onzas	8	onzas
Cobre	19,2	Onzas	16,16	onzas
Latón	16,32	Onzas	11,5	onzas

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se muestran las imágenes de los metales antes y después de ser fundidos, en ellas se puede observar la diferencia de peso por medio del cual se calcula el material recuperado.

Figura 41. **Aluminio antes de ser fundido**



Fuente: elaboración propia.

Figura 42. **Aluminio recuperado**



Fuente: elaboración propia.

Figura 43. **Cobre antes de ser fundido y procesado**



Fuente: elaboración propia.

Figura 44. **Cobre procesado y recuperado, luego de ser fundido**



Fuente: elaboración propia.

Figura 45. **Latón a utilizar para ser procesado**



Fuente: elaboración propia.

Figura 46. **Latón procesado recuperado**



Fuente: elaboración propia.



## CONCLUSIONES

1. Se logró construir un prototipo eficiente y funcional usando GLP para fundir, aluminio, latón y cobre.
2. Los materiales utilizados para lo construcción y funcionamiento del prototipo resultaron ser adecuados para la actividad requerida.
3. La temperatura máxima alcanzada durante la operación del prototipo fue de 1 134 °C.
4. El material que represento un porcentaje mayor de material recuperado fue el cobre con 97,22 % dado que posee mayor pureza y el que menor rendimiento tuvo fue el aluminio con 50 %.
5. El costo total para construcción y operación del prototipo es de Q 3 103,7





## RECOMENDACIONES

1. Mantener el prototipo en un lugar seco y ventilado, para evitar su deterioro.
2. Utilizar equipo de protección personal para la construcción y operación del prototipo para minimizar riesgos de sufrir un accidente.
3. Precalentar el horno por 15 minutos sin el crisol antes de realizar una fundición.
4. Utilizar aluminio que no posea pinturas o recubrimientos para obtener una cantidad más alta de material recuperado durante la fundición.
5. Emplear los materiales refractarios sugeridos mantendrá los costos de construcción y operación en un rango asequible para el operador.



## BIBLIOGRAFÍA

1. AVNER, Sydney. y ESTRADA HAEN, José Luis. *Introducción a la metalurgia física*. México: McGraw-Hill, 1979. 695 p.
2. BALLESTER, Antonio; VERDEJA, Luis Felipe. y SANCHO, José. *Metalurgia extractiva: fundamentos*. Madrid, España: Síntesis, 2000. 507 p.
3. BARRIOS, Silvia. *Horno de pozo*. [en línea]. <[https://ceramica.fandom.com/wiki/Horno\\_de\\_pozo](https://ceramica.fandom.com/wiki/Horno_de_pozo)>. [Consulta: 12 de junio de 2018].
4. CAPELLO, Eduardo. *Tecnología de la fundición*. Barcelona: Gustavo Gili. 493 p.
5. CASTRO, Pablo. *Clasificación de los hornos*. [en línea]. <<http://pablocastro08.blogspot.com/2015/05/clasificacion-de-los-hornos.html>>. [Consulta: 2 de septiembre de 2018].
6. CENGEL, Yunes. y BOLES, Michael. *Termodinámica*. 7ª ed. México: McGraw-Hill, 2011. 1 009 p.
7. Cife Engineering. *Alimentación y transporte*. [en línea]. <<http://www.cife.it/8.htm>>. [Consulta: 2 de septiembre de 2018].

8. CUELLAR, Víctor. *Procesos de manufactura*. [en línea]. <<https://app.emaze.com/@AOTTFWOQ#1>>. [Consulta: 2 de septiembre de 2018].
9. Electroheat Induction. *Horno de fundición*. [en línea]. <<https://electroheatinduction.com.mx/horno-de-fundicion/>>. [Consulta: 10 de junio de 2018].
10. Fedmet. *Industria del procesamiento de minerales, cemento y cal*. [en línea]. <[https://www.fedmet.com/content/documents/brochures/spanish/Cemento%20y%20Cal%202020\\_locked.pdf](https://www.fedmet.com/content/documents/brochures/spanish/Cemento%20y%20Cal%202020_locked.pdf)>. [Consulta: 12 de septiembre de 2018].
11. FLORES GARCÍA, Evelin. *Diseño y construcción de un horno de crisol para aleaciones no ferrosas*. [en línea]. <<http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/6320/1/Dise%C3%B1o%20y%20construcci%C3%B3n%20de%20un%20horno%20de%20crisol%20para%20aleaciones%20no%20ferrosas.pdf>>. [Consulta: 12 de junio de 2018].
12. HyN empaquetaduras e importaciones S.A.C. *Fibra cerámica*. [en línea]. <<https://www.hynempaquetaduras.com/producto/manta-de-fibra-ceramica/>>. [Consulta: 9 de septiembre de 2018].
13. INCROPERA, Frank. y DEWITT, David. *Fundamentos de transferencia de calor*. México: Pearson Education, 1999. 912 p.

14. Ingeniería Térmica, S.A. *Ladrillos refractarios*. [en línea]. <<http://www.intermica.net/ladrillos-refractarios/>>. [Consulta: 8 de septiembre de 2018].
15. KARTZ, Miguel. *Materiales y materias primas minerales de hierro guía didáctica*. [en línea]. <[https://www.researchgate.net/publication/325392987\\_Materiales\\_y\\_materias\\_primas\\_Minerales\\_de\\_hierro\\_Guia\\_didactica](https://www.researchgate.net/publication/325392987_Materiales_y_materias_primas_Minerales_de_hierro_Guia_didactica)>. [Consulta: 12 de junio de 2018].
16. Kupildoma. *Paredes de ladrillo. Tipos de ladrillos para muros de mampostería y sus propiedades*. [en línea]. <<https://kupildoma.ru/es/facade/brick-wall-masonry-types-of-brick-for-masonry-walls-and-its-properties/>>. [Consulta: 9 de septiembre de 2018].
17. MÁRQUEZ MARTÍNEZ, Manuel. *Combustión y quemadores*. Barcelona: Marcombo, 2005. 195 p.
18. MILLÁN, Augusto. *La compañía de minas de cobre de Catemu (Llay-Llay)*. [en línea]. <<http://datoshistoricosdechile.blogspot.com/2013/12/>>. [Consulta: 10 de junio de 2018].
19. MORENO ROS, Antonio. *Reciclado de polvos de acerías*. [en línea]. <<http://www.mailxmail.com/curso-reciclado-polvos-acerias-oxido-zinc-procesos-hidrometalurgicos/polvos-aceria-horno-electrico-arco-1-2>>. [Consulta: 2 de julio de 2018].

20. MORRAL, F. R. y MOLERA, P. *Metalurgia general. II (Vol. 2)*. España: Reverte. 1985. 764 p.
21. OCHOA, Oswaldo. *Fundición de metales*. [en línea]. <<http://procesosiupsmmm.blogspot.com/2017/>>. [Consulta: 2 de julio de 2018].
22. OSORIO, Franklin. *Rediseño de un horno para reciclaje de metales con ajustes a regulaciones ambientales municipales*. [en línea]. <<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/14594>>. [Consulta: 9 de septiembre de 2018].
23. Sabelotodo. *Horno casero para fundir metales*. [en línea]. <<http://www.sabelotodo.org/bin/perfect/search/search.pl?q=arco&showurl=%2Fhagalousted%2Fhornofundicion.html>>. [Consulta: 9 de septiembre de 2018].
24. SARATHI, Partha. *In-situ combustion handbook--principles and practices*. Estados Unidos: National Petroleum Technology Office, 1999. 403 p.
25. SEYBOLT, A. U., BURKE, J. E. y MORENO, Alberto. *Técnicas de metalurgia experimental*. México: Limusa Wiley, 1969. 379 p.
26. SILVA, Manuel. *Azucareros quieren mejorar zafra*. <<https://elperiodico.com.gt/economia/2017/08/31/azucareros-quieren-mejorar-zafra/>>. [Consulta: 2 de septiembre de 2018].

27. SZCYGIEL JORDENS, Zbigniew. y TORRES REYES, Alejandro.  
*Metalurgia no ferrosa*. México: Limusa, 1984. 449 p.





## APÉNDICES

### Apéndice 1. Factura de compra de materiales

**FACTURA Serie "A"**  
Nº 03980

**INGENIERÍA TÉRMICA, S.A.**  
**INTÉRMICA**  
NIT.: 7607822-1  
INGENIERÍA TÉRMICA, SOCIEDAD ANÓNIMA  
Kilómetro 34 Carretera a Antigua Guatemala 33-00  
Santa Lucía Milpas Altas, Sacatepéquez  
P.BX. 77290000  
E-mail: info@intermica.net  
Web: www.intermica.net

DÍA	MES	AÑO
22	01	2020

Nombre: **NESTOR VILLANUEVA**  
Dirección: **CIUDAD**  
NIT: **6573316-9** Orden de Compra: **---** Teléfono: **---**  
Condiciones de pago: **CONTADO**

Cantidad	Descripción	P. Unitario	Valor
1	CONCRETO REFRACTARIO COMPRIT F41-5M	Q305.00	Q305.00
25	LADRILLO REFRACTARIO MAXIAL 25M STD (9"x4.5"x2.5")	Q21.50	Q537.50
1	MORTERO REFRACTARIO DIDOTECT F40V-05M	Q100.00	Q100.00

SUJETO A PAGOS TRIMESTRALES

Total en letras: **NOVECIENTOS CUARENTA Y DOS QUETZALES CON 50/100.**

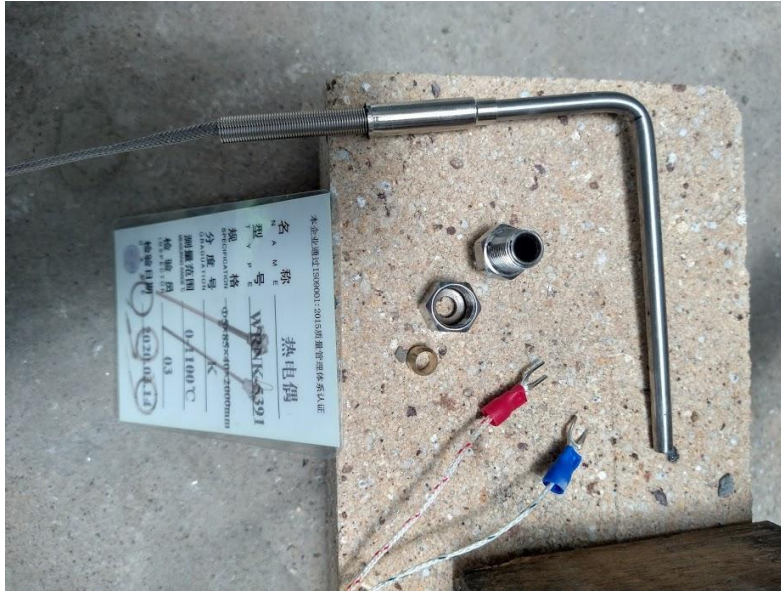
<b>TOTAL</b>	<b>Q942.50</b>
--------------	----------------

Impresiones Manóby NIT: 4209099-6 Autorizado según Resolución 2019-1-01-1140/01 Serie A del 3851 al 4250 De fecha 05/10/2019 VENCE: 03/11/2021 - Establecimiento 1

ORIGINAL - Cliente  
DUPLICADO - Contabilidad  
TRIPPLICADO - Archivo

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Termocupla tipo K



Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 3. Sistema completo para fundición



Fuente: elaboración propia.

## ANEXOS

### Anexo 1. Ficha técnica Ladrillos Maxial 25M

## MAXIAL 25 M

Información general	
Clasificación	Producto de Chamota tipo FC30 ISO 10081-1
Materia prima	Chamota mullítica, Porcelana
Tipo de aglomeración	Cerámico

Análisis Químicos					
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>		
34.0%	2.2%	60.0%	1.2%		
Determinado sobre muestra calcinada (1025 °C / 1877 °F) según EN ISO 12677					

Propiedades físicas				
Densidad aparente		2,14	[g/cm <sup>3</sup> ]	EN 993-1
Porosidad abierta		15,0	[vol%]	EN 993-1
Resistencia a la comp. en frío		60,0	[N/mm <sup>2</sup> ]	EN 993-5
Dilatación térmica (1200 °C / 2192 °F)		0,54	[%]	EN 993-19
Variación perm. lin. (1250 °C / 2282 °F)		0,10	[%]	EN 993-10
Refractariedad bajo carga T <sub>0,5</sub>		1200	[°C]	ISO 1893
Res. a la compr. en cal. Ta		1300	[°C]	DIN 51064
Cono pirométrico equivalente (Cono Nr.: 12)		1.337	[°C]	ASTM C24-01
Conductividad térmica	500 °C / 932 °F	1,20	[W/mK]	DR. KLASSE
	750 °C / 1382 °F	1,25	[W/mK]	DR. KLASSE
	1000 °C / 1832 °F	1,30	[W/mK]	DR. KLASSE
Resistencia a los ácidos (pérdida de peso)		5,00	[%]	ASTMC279-88 (2007)
Abrasión		15,00	[cm <sup>3</sup> ]	ASTM C704 calibrated

Fuente: RHI. *Maxial 25 M*. p. 1.

Anexo 2. **Ficha técnica Cemento Refractario Comprit F41-5M**

## COMPRIT F41-5 M

Información general	
Clasificación	Hormigón refractario, convencional DIN EN ISO 1927-1
Materia prima	Chamota, Porcelana
Tipo de aglomeración	Hidraulico
Granulometría	0-5 mm
Aplicación	Vibrar
Material necesario sin pérdidas	1,96 t/m <sup>3</sup>
Requerimiento de líquido	13,5-15,5 l/100 kg
Aditivo líquido	Agua
Límite de almacenamiento	12 meses
Temp. límite de utilización	1.300 °C

Análisis Químicos					
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO
41.0%	49.0%	1.0%	1.6%	1.0%	5.4%
Determinado sobre muestra calcinada (1025 °C / 1877 °F) según EN ISO 12677					

Propiedades físicas				
Resistencia a la comp. en frío	110 °C / 230 °F	20,0	[N/mm <sup>2</sup> ]	EN ISO 1927-6
	815 °C / 1499 °F	20,0	[N/mm <sup>2</sup> ]	EN ISO 1927-6
Dilatación térmica (1000 °C / 1832 °F)		0,50	[%]	EN 993-19
Conductividad térmica	400 °C / 752 °F	0,65	[W/mK]	DR. KLASSE
	800 °C / 1472 °F	0,63	[W/mK]	DR. KLASSE
	1200 °C / 2192 °F	0,78	[W/mK]	DR. KLASSE

Fuente: RHI. *Comprit F41-5 M*. p. 1.

Anexo 3. **Ficha técnica Mortero Refractario Didotec F40v-05 M**

## DIDOTECT F40V-05 M

Información general	
Clasificación	Mortero listo para empleo
Materia prima	Chamota
Tipo de aglomeración	Fraguado al aire
Granulometría	0-0,5 mm
VDEh-Código	842021201998
Aplicación	Cargar (con mortero)
Material necesario sin pérdidas	1,85 t/m <sup>3</sup>
Límite de almacenamiento	12 meses
Temp. límite de utilización	1.450 °C

Análisis Químicos					
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
40.0%	53.5%	1.1%	1.4%	0.2%	2.8%
Determinado sobre muestra calcinada (1025 °C / 1877 °F) según EN ISO 12677					

Fuente: RHI. *Didotect F40V-05 M*. p. 1.

