



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO CRISOL
ESTACIONARIO PARA RECICLAJE DE CHATARRA DE
COBRE – CAJAMARCA 2019”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Daniel Elemiro Cabrera García

José Miguel Morales Orrillo

Asesor:

Mg. Ing. Oscar Arturo Vásquez Mendoza

Cajamarca - Perú

2019

DEDICATORIA

Dedico esta tesis, a Dios por guiarme, iluminarme y darme la sabiduría en momentos difíciles. A mi mamá Iris Coralí García Castañeda y a mi papá Elemiro Cabrera Arrelucea por luchar día a día para lograr formar una persona de bien para esta sociedad.

A mi novia Deisy por su amor, cariño, comprensión y principalmente por su ayuda en el desarrollo de esta tesis.

Cabrera García, Daniel Elemiro.

Dedico esta investigación, a Dios por guiarme y estar presente en todo momento de mi vida. A mi madre María Aurora Orrillo Guevara y mi padre Teófilo Morales Martínez por sus consejos, crianza y amor que me permiten mejorar día a día como persona. A la familia Cachi Orrillo por haberme apoyado a lo largo de mi carrera con sus sabios consejos. A mi novia Katheryn Cieza Rodríguez, hermanos Miguel, Yosmmel, Luis, Patrick y Alder que me apoyan en cada paso que doy en la vida.

Morales Orrillo, José Miguel.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, queremos agradecer a Dios por permitirnos tener una gran experiencia en la Universidad Privada del Norte, gracias a nuestros docentes que guiaron nuestro camino y nos formaron con buenos valores.

En segundo lugar, nuestros sinceros agradecimientos están dirigidos a nuestro asesor de tesis Ing. Oscar Arturo Vásquez Mendoza y al director de la carrera de Ingeniería de Minas Alex Patricio Marinovic Pulido quienes, con su apoyo y ayuda desinteresada, nos brindaron sus conocimientos, los cuales aportaron significativamente a la realización de esta tesis.

Finalmente, a nuestras familias por siempre brindarnos su apoyo, tanto sentimental, como económico y a nuestros compañeros de estudio, que, de alguna manera, son parte de la culminación de nuestra tesis.

Daniel y Miguel.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
TABLA DE CONTENIDOS	4
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
RESUMEN	9
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Formulación del problema.....	22
1.2. Objetivos	22
1.2.1. <i>Objetivo general</i>	22
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i>	22
1.3. Hipótesis.....	23
1.3.1. <i>Hipótesis general</i>	23
1.3.2. <i>Hipótesis específicas</i>	23
CAPITULO II. METODOLOGÍA.....	24
2.1. Tipo de investigación	24
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....	24
2.2.1. <i>Población</i>	24
2.2.2. <i>Muestra</i>	24
2.3. Técnicas e Instrumentos de recolección y análisis de datos.....	24
2.3.1. <i>Técnicas de Recolección de Información.</i>	24
2.4. Procedimiento	25
2.4.1. <i>Dimensiones del horno.</i>	25
2.4.2. <i>Diseño y Construcción del Quemador de GLP</i>	28
2.4.3. <i>Diseño del Horno de Crisol.</i>	28
2.4.4. <i>Construcción del Horno de Crisol.</i>	30
2.4.5. <i>Equipo de Protección Personal (EPP)</i>	32
2.4.6. <i>Procedimiento para la toma de muestras.</i>	34
2.4.7. <i>Procedimiento de Cálculo.</i>	35

2.4.8.	<i>Ingresos Brutos y Gastos mensuales generados a partir del reciclaje de chatarra de cobre en el horno de Crisol estacionario.</i>	37
2.4.9.	<i>Ratios de Rentabilidad.</i>	38
CAPÍTULO III. RESULTADOS		39
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		48
4.1.	Discusión	48
4.2.	Conclusiones	49
REFERENCIAS		50
ANEXOS		52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Medidas de Crisoles de Grafito por referencia. Fuente: NOLTICA Crisoles.	15
Tabla 2. Evolución del precio en la bolsa de metales. Fuente: Portal Minero	21
Tabla 3. Precio de los metales.	22
Tabla 4. Costo de los metales en Perú.	22
Tabla 5. Datos tomados al momento de realizar las muestras en el Horno de Crisol Estacionario.	35
Tabla 6. Parámetros de Diseño y Construcción del Horno de Crisol Estacionario..	39
Tabla 7. Costos de Contrucción del Horno de Crisol Estacionario.	44
Tabla 8. Gastos de Insumos para la elaboración de barras de cobre reciclado	44
Tabla 9. Materiales y Herramientas costo cero	45
Tabla 10. Resumen de Resultados de la operación del horno de crisol estacionario.	45
Tabla 11. Balance General	46
Tabla 12. Estado de Ganancias y Pérdidas.....	47
Tabla 13. Ratios de Rentabilidad.....	47

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Evolución del precio del cobre.....	21
Gráfico 2. Resumen del proceso de construcción del Horno de Crisol Estacionario.	31
Gráfico 3. Diagrama de flujo para el proceso de Fundición de muestras.	42
Gráfico 4. Diagrama de flujo para el proceso de Limpieza de muestras.	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Versión típica de un horno estacionario con crisol removible especialmente hecho para la fundición de pequeñas cantidades de metales no ferrosos.....	12
Figura 2. Dimensiones de referencia del crisol de grafito. Fuente: NOLTINA Crisoles. ...	15
Figura 3. Rutas de Procesamiento de Cobre.....	19
Figura 4. Diámetro Interior y Exterior del Horno de Crisol Estacionario (cota en mm)	26
Figura 5. Corte transversal que muestra las dimensiones básicas del horno de crisol estacionario (cota en mm)	27
Figura 6. Esquema de la supuesta trayectoria de los gases de escape al salir del horno de crisol estacionario	27
Figura 7. Diseño del Quemador de GLP.....	28
Figura 8. Diseño Interior del Horno de Crisol Estacionario.....	29
Figura 9. Orden de los ladrillos refractarios de medidas 3”x4.5”x1”	30
Figura 10. Protector facial con ratchet.	32
Figura 11. Guantes de Cuero Gruesos.	32
Figura 12. Zapatos de Seguridad.	33
Figura 13. Bata de laboratorio.	33
Figura 14. Balanzas.....	34
Figura 15. Cronometro.	34
Figura 16. Ladrillos y Cemento refractario empleados para la construcción.....	39
Figura 17. Crisol de Grafito tamaño A4, soporta una temperatura máxima de 1400°C.....	40
Figura 18. Diseño 3D del Horno de Crisol Estacionario en el programa AutoCAD.....	40
Figura 19. Muestras de cobre de 300 gr.....	46

RESUMEN

En el Perú no se recicla gran parte de los residuos de artefactos eléctricos y electrónicos (RAEE) que contienen metales reutilizables como el cobre. Por tanto, se dio la necesidad de investigar como se puede reciclar chatarra de cobre, a través de la realización un horno de crisol estacionario que sea fácil de utilizar, funcional y económico. Para realizar el reciclaje de la chatarra de cobre a través de un proceso de fundición se diseñó y construyó un horno de crisol estacionario de acuerdo con los requerimientos del estudio, para la fundición chatarra de cobre se recolectaron dos muestras de 0.3 kilogramos de chatarra de cobre mediante análisis de información en tesis, libros y páginas web. Así mismo, Los resultados fueron que el volumen se redujo significativamente con la ayuda de la fundición en el horno de crisol estacionario compuesto por ladrillos refractarios, los ratios de rentabilidad fueron calculados con ayuda de un balance general y un estado de ganancias y pérdidas, el balance general se elaboró con los ingresos y gastos mensuales para elaborar 720 kilogramos de cobre al mes.

El balance general y el estado de ganancias y pérdidas fueron elaborados con el precio de cobre en 562.6 centavos de dólar el Kilogramo o 19.04 soles el kilogramo datos tomados el día 07 de octubre de 2019.

Palabras clave: Horno de Crisol, Chatarra de cobre, Refractario

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En la actualidad el reciclaje de cobre juega un rol importante en la conservación y protección del medio ambiente, por lo tanto, es fundamental la ejecución de proyectos sobre el reciclaje de chatarra de metales como el cobre y además la ejecución de estos.

Según ASM committee. (1998). Cuando se habla sobre los hornos, se puede referir a una cantidad y tipos de sistemas diferentes, en la presente investigación se presenta un acercamiento teórico a la fundición de metales, en la cual se ha de mencionar las distintas clases de hornos que existen.

Los hornos que se usan para fundir metales y sus aleaciones varían mucho en capacidad y diseño. Estos varían desde los pequeños hornos de crisol que contienen unos pocos kilogramos de metal a hornos de hogar abierto de hasta varios centenares de 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 (ahorro de energía y de tiempo).

La necesidad de mantener tanto la pureza de la carga, como precisión de su composición (control de calidad).

Producción requerida del horno (productividad y economía).

El costo de operación del horno (productividad y economía); e interacción entre la carga, el combustible y los productos de la combustión.

Los tipos de hornos que se usan en un proceso de fundición son:

Hornos de crisol (estacionario y basculante),

Horno eléctrico,

Horno de inducción,

Horno de arco eléctrico

Horno de cubilote.

La aplicación de cada uno de estos hornos depende de factores como: cantidad de volumen a fundir, tipo de materiales a fundir, capacidad económica, tipo de industria, etc.

Flores y Orellana (2014), El término refractario se refiere a la propiedad de ciertos materiales para resistir altas temperaturas sin descomponerse. Los refractarios son materiales inorgánicos, no metálicos, porosos y heterogéneos, compuestos por minerales termoestables, un aglomerante y un aditivo. Las principales materias primas empleadas en la elaboración de estos materiales son óxidos de: silicio, aluminio, magnesio, calcio y circonio.

ASM committee. (1998), El diseño del horno es una parte fundamental, pues nos brindará un panorama de los requerimientos constructivos posteriores y parámetros de funcionamiento esperados. Implica, entonces, determinar dimensiones, establecer materiales, evaluar requerimientos energéticos y simular su funcionamiento.

Como vamos a fundir un material no ferroso como es el cobre; y a la poca cantidad de volumen que queremos procesar, hemos decidido hacer un horno de crisol tipo estacionario.

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 y 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.

Capello, E. (1974), Los hornos de crisol trabajan por combustión de un elemento como el gas el cual calienta el crisol que contiene el metal fundido. También, puede ser calentado usando energía eléctrica: horno de inducción; en la Figura 1 se puede observar un modelo de horno de crisol removible.

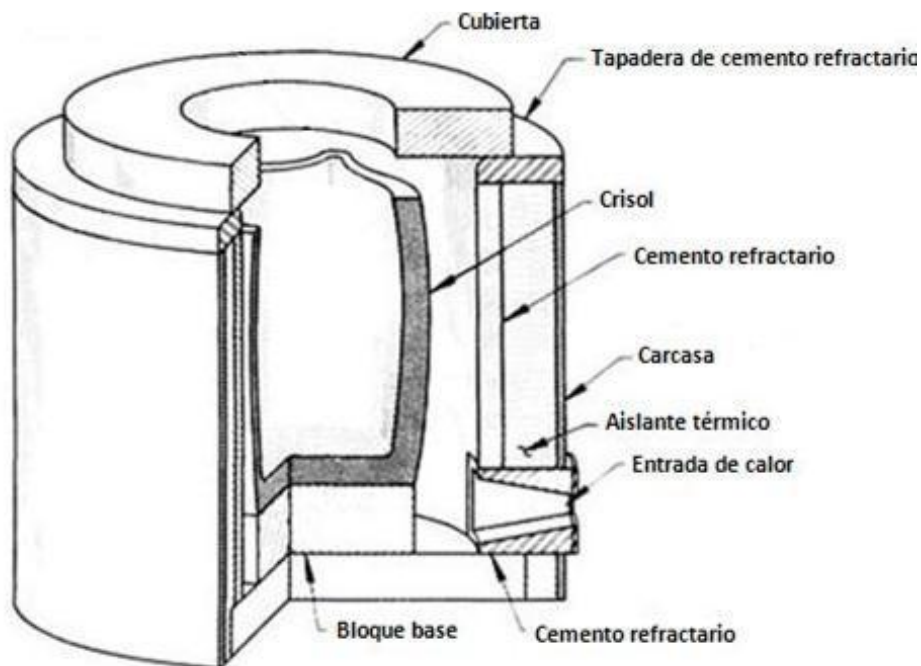


Figura 1. Versión típica de un horno estacionario con crisol removible especialmente hecho para la fundición de pequeñas cantidades de metales no ferrosos.

Capello, E. (1974). El crisol se apoya sobre la base que está hecha también en material refractario y le da la posición necesaria con respecto a la salida del gas. Para lograr concentrar el calor alrededor del crisol este está contenido entre unas paredes refractarias que generan una cavidad para el flujo de los gases de combustión.

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.

ASM committee. (1998). El horno de crisol puede ser usado, a su vez, como un componente del conjunto de equipos para ajustar la calidad entre el horno fundidor y el de colada, para modificar la composición química y la temperatura del baño que benefician al control de defectos como el contenido de poros antes de la colada. La fundición en crisol es un proceso simple y flexible, generalmente los hornos pueden encenderse o apagarse en cualquier momento.

NOLTINA. (2019). Crisoles Grafito de Noltina son adecuados para todos los sistemas de hornos para las aleaciones de metales no ferrosos y metales preciosos con temperaturas de fusión entre 400 ° C y 1400 ° C.

Según Flores y Orellana (2014). Al diseñar el horno de crisol, ciertas consideraciones deben tomarse en cuenta para que este pueda operar de manera óptima

- ✓ Los hornos cilíndricos son más eficientes que los hornos cuadrados.
- ✓ El horno debe ser dimensionado acorde al crisol a emplear.
- ✓ El diámetro de la cámara interior debe ser entre 150 y 300 mm superior que el diámetro del crisol.
- ✓ La altura de la cámara junto con su recubrimiento debe tener en cuenta el bloque base en el cual se colocará el crisol para evitar que la flama del quemador incida directamente sobre él, además, debe permitirse un espacio entre 25 y 50 mm entre el borde superior del crisol y la tapa.
- ✓ El orificio del quemador debe colocarse en el fondo del horno por debajo del crisol y debe ser tangente a la pared de éste.

- ✓ El elemento más crítico en el diseño y construcción de un horno de crisol es su recubrimiento refractario. Este permite calentamientos uniformes y baja tasa de pérdida de calor.

Flores y Orellana (2014). Se llaman parámetros de diseño a aquellos elementos cuya selección permite el diseño de otros elementos dependientes de ellos. Generalmente la selección de los parámetros de diseño está bajo el criterio del diseñador, su experiencia y presupuesto. Los parámetros de diseño no son fijos y solo sirven como base para el diseño, estos parámetros pueden cambiar si los resultados no son los esperados.

En el horno de crisol se identifican los siguientes parámetros de diseño:

Metal a fundir.

Crisol a emplear.

Temperatura máxima de operación.

Tiempo de operación.

Ubicación del horno y flujo de aire.

El metal por fundir ya ha sido definido en el título de esta investigación y resulta ser el objetivo primordial del horno. Fundir cobre.

La temperatura máxima de operación se define por el punto de fusión del metal a fundir; en este caso el cobre tiene un punto de fusión de 1082°C. En este caso el cobre determina la temperatura de operación máximo.

El tiempo de operación, al ser este un horno didáctico y de investigación, y cuyo uso será eventual se selecciona como intermitente y no más de 8 horas por día.

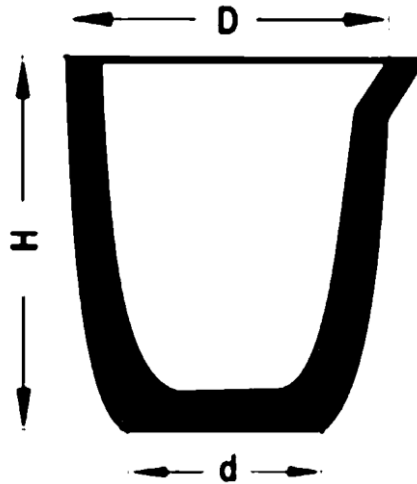


Figura 2. Dimensiones de referencia del crisol de grafito. Fuente: NOLTINA Crisoles.

Referencia	Altura (mm)	Diámetro(mm)	d (mm)
A – 4	145	115	72
A – 5	155	123	83
A – 10	200	161	110
A – 12	217	170	117
A -14	220	184	128
A – 16	232	193	132
A – 20	260	204	145
A – 25	259	216	155
A – 30	286	234	166
A – 40	313	265	191
A – 50	330	282	203
A – 80	374	311	222

Tabla 1. Medidas de Crisoles de Grafito por referencia. Fuente: NOLTICA Crisoles.

Flores y Orellana (2014). El quemador resulta ser el elemento crítico en el horno. Sin un quemador no existirá transferencia de energía y sin energía no se producirá la fusión del material.

El quemador es un dispositivo que permite la mezcla del combustible con el aire (en el caso de los quemadores a base de hidrocarburos). El combustible es inyectado a través de una boquilla y este es mezclado con el aire proveniente del exterior o de algún ventilador mediante el tubo de mezcla.

Berenguer, Trista y Deas (2006). El desarrollo tecnológico actual conduce a que la industria del reciclaje se convierta en importantes suministradoras de materias primas para la fabricación de los más disímiles artículos de consumo diario o de equipos de larga duración. Al mismo tiempo permite proteger el medio ambiente, ahorrar los recursos minerales y la energía.

APQUA (1998). Puedes purificar el cobre obtenido en el experimento calentándolo con un poco de bórax. Pon el cobre en el crisol con una cantidad equivalente de bórax y calienta el crisol para fundir el cobre. El bórax limpia el cobre y facilita su fusión. Al enfriarse solidificará el cobre.

Ministerio del Ambiente (2018). Cada 17 de mayo se celebra el Día Mundial del Reciclaje, una conmemoración que busca que todos tomen conciencia de la importancia de tratar los residuos de forma adecuada, minimizando la generación de residuos, reusando y reaprovechando aquellos que tienen valor comercial y pueden ser convertidos en nuevos productos. En el Perú hay enormes oportunidades de aumentar el reciclaje, pues solo se recicla el 1.9% del total de residuos sólidos reaprovechables que se generan.

Ministerio del Ambiente (2018). El reciclaje es una necesidad mundial para mejorar la calidad del ambiente y proteger la salud de las personas. Además de generar empleo, el reciclaje de papel, plástico, vidrio y metales, entre otros materiales, permite ahorrar materias primas que se extraen de la naturaleza y aumentar la vida útil de los rellenos sanitarios en nuestras ciudades, donde cada día hay menos espacio para disponer los residuos.

El año 2016, a nivel nacional, se generaron 7'005,576 toneladas de residuos sólidos municipales urbanos, de ese volumen el 18.7% son residuos inorgánicos reciclables

con potencial de generar empleo a través de negocios innovadores (papel, cartón, vidrio, plástico PET, plástico duro, tetra-pak, metales y residuos eléctricos y electrónicos-RAEE).

GREENPEACE (2012). El reciclado de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) o “Minería Urbana” tiene un doble impacto positivo:

- 1) permite recuperar metales o materiales que son cada vez más escasos y cuya obtención, a través de la minería, genera impacto ambiental y social.
- 2) al mismo tiempo frena el impacto que estos residuos generan en el ambiente al degradarse en basurales o rellenos, contaminando las napas de agua, los suelos y el aire. Sin embargo, la industria del reciclado de minerales por medio no cuenta con una legislación para su promoción, como al contrario sí goza la minería, una industria intrínsecamente destructiva y contaminante que se orienta a extraer hasta agotar recursos finitos.

Berenguer, Trista y Deas (2006). En contraste con esto, en nuestras vidas diarias están en contacto directo con los avances de la ciencia y la técnica, en mayor o menor grado, cuando escuchamos la radio, vemos el televisor o utilizamos cualquier equipo eléctrico que hace la vida más fácil y confortables. Pero muy pocas veces nos detenemos a pensar qué ocurre con estos equipos una vez que su vida útil termina. Muchos de ellos van a parar a la basura, sin conocer que los mismos pueden convertirse en elemento dañinos al medio ambiente, que simplemente pueden ser aún muy útiles o convertirse en una fuente de materia prima de incalculable valor.

Asociación Canadiense de Industrias del reciclaje (2010). Reciclar materiales y productos usados es primordial para las empresas canadienses y la economía. La investigación ha demostrado que la industria del reciclaje genera 10 veces más

empleos e ingresos que la industria de los desechos. Una encuesta informal realizada por CARI sobre la industria del reciclaje canadiense concluyó que emplea directamente a aproximadamente 34,000 trabajadores canadienses e indirectamente crea empleos para aproximadamente 85,000 canadienses. En 2010, los recicladores canadienses exportaron aproximadamente 5.9 millones de toneladas de metal, valoradas en \$ 3.6 mil millones. Los estudios de Europa, Estados Unidos y Canadá muestran los mismos resultados: la industria del reciclaje genera empleos y estimula la economía. El uso de material reciclado ayuda a los fabricantes a reducir los costos de producción y los hace más competitivos. La industria impulsa la innovación de nuevas tecnologías y productos, que es vital para el crecimiento económico.

Ahorros de energía en la producción de metales Canadá 2009.

Aluminio 95%

Cobre 85%

Acero 74%

Zinc 60%

Plomo 65%

Fuente: Estudio BID (Banco Internacional de Desarrollo) sobre los beneficios ambientales del reciclaje, 2009

Sarmentero (2010). El cobre es un recurso natural que en España se concentra mayoritariamente en la Faja Pirítica Ibérica y éste es escaso en el resto de Europa. Además, la producción minera representa sólo el 2,2 % de la cantidad consumida por la industria española. Por ende, las Empresas españolas para abastecerse de cobre en las diferentes producciones de aleaciones y productos semielaborados lo compran en el mercado mundial. Debido a la lejanía geográfica para su compra, utilizan cobre

reciclable en más de un 40% (muchas usan hasta el 100%) ya que esta materia prima se puede reciclar indefinidamente sin que pierda sus propiedades.

En el análisis se detecta que tanto la producción como las reservas del cobre en el mundo están muy polarizadas (Sólo en Chile se produce el 36 % y posee el 36 % de la reserva mundial), que la comercialización se mueve de países en desarrollo a desarrollados, que el precio del cobre se ha triplicado en los últimos años debido a la alta demanda generada por el alto consumo de la economía China (más del 20 %), que la CSLC se puede dividir en cuatro lazos de flujos: de chatarra vieja, de chatarra nueva, de chatarra compleja y escorias, y que el flujo de la Logística Inversa local se interrumpe por el poder que tiene el chatarrero (recuperador) de fijar el precio del cobre.

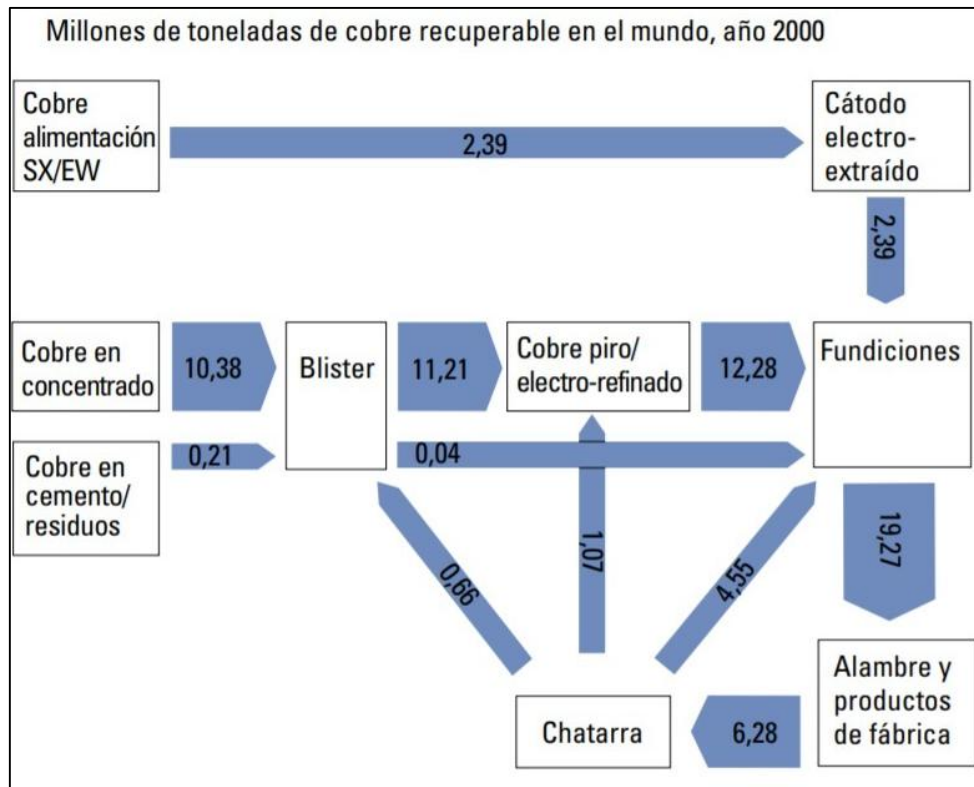
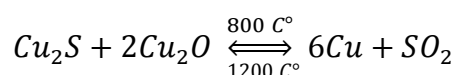


Figura 3. Rutas de Procesamiento de Cobre.

Fuente: CRU International.

MMSD (2002). La recuperación de chatarra depende de la cantidad de aplicaciones finales y de la facilidad y el costo de recolección. Cabe recordar que, si bien el reciclaje siempre será un componente importante en el suministro de metales, se requerirá de metal virgen nuevo para satisfacer las demandas de la creciente población mundial.

Schulz. E (2003). El amplio rango de temperaturas en el que pueden moverse estos procesos permite la obtención de los productos deseados, por ejemplo, la conversión de metal blanco a cobre blíster mediante la inyección de aire, depende del equilibrio de la reacción:



la cual es favorable a 1200 °C y desfavorable a 800 °C. El rango de temperaturas en que pueden moverse los procesos hidrometalúrgicos es estrecho, de allí que una variación de temperatura no signifique una alteración del equilibrio (excepto en algunos pocos casos).

Según Portal Minero (2019). Precio del Cobre en la bolsa de metales.

Día	Cobre (¢US\$ / lb)
27-08-2019	256,824
28-08-2019	256,416
29-08-2019	259,546
30-08-2019	257,550
02-09-2019	254,488
03-09-2019	251,154
04-09-2019	256,869
05-09-2019	262,040
06-09-2019	262,517
09-09-2019	261,768

10-09-2019	260,271
11-09-2019	261,496
12-09-2019	265,011
16-09-2019	266,576
17-09-2019	261,360
18-09-2019	260,589
19-09-2019	261,201
20-09-2019	262,063
23-09-2019	258,321
24-09-2019	261,315
25-09-2019	259,387
26-09-2019	261,133
27-09-2019	259,183
30-09-2019	259,818
01-10-2019	254,465
02-10-2019	255,327
03-10-2019	255,191
04-10-2019	253,966
07-10-2019	255,191

Tabla 2. Evolución del precio en la bolsa de metales. Fuente: Portal Minero

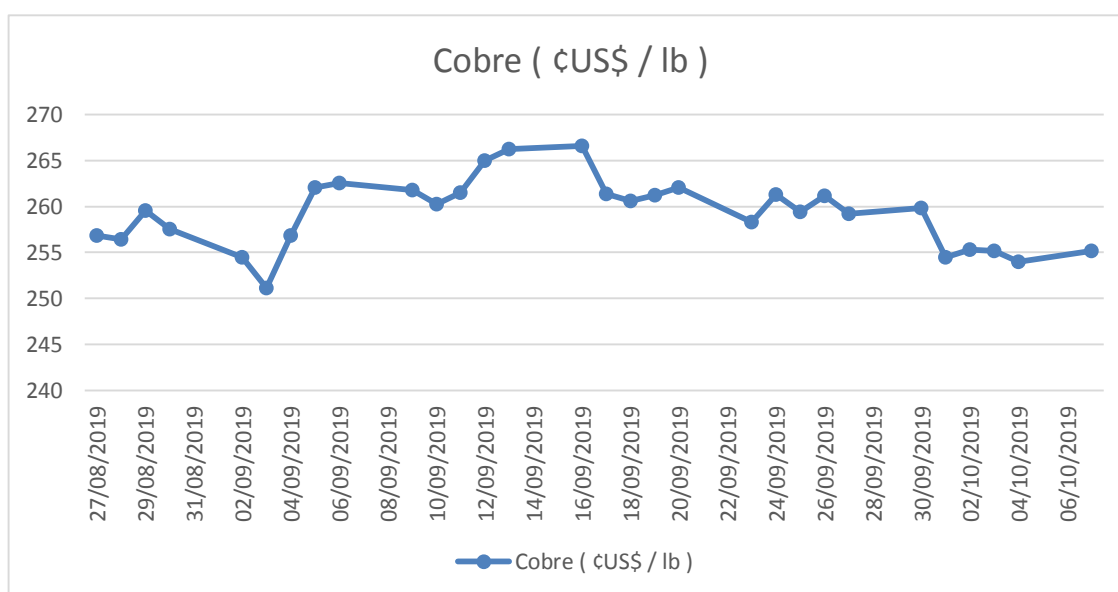


Gráfico 1. Evolución del precio del cobre. Elaboración Propia

Precio de los metales (PROMEDIO)	
Cobre (¢US\$/Lb)	Cobre (¢US\$/kg)
255.19	562.6

Tabla 3. Precio de los metales.

Costo de los metales en el mercado de Perú.

Costo de los metales	
Metal	Cobre
Costo en dólares	5.626 dólares
Cambio a soles (cambio al 07/10/19)	19.04 soles

Tabla 4. Costo de los metales en Perú.

1.1. Formulación del problema

¿Cómo el diseño y construcción del horno de crisol estacionario ayudará en el reciclaje de chatarra de cobre?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Realizar el diseño y construcción del horno de crisol estacionario para reciclaje de chatarra de cobre.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros que influyen en el diseño y construcción del horno de crisol estacionario.
- Describir los materiales a usar para la construcción del horno de crisol estacionario.
- Proponer el proceso de producción según diagramas de flujo.
- Determinar el consumo de GLP.
- Determinar la rentabilidad económica de producir barras de chatarra de cobre reciclado en el horno de crisol estacionario.

1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis general

Al realizar el diseño y construcción del horno de crisol estacionario se determinó que ayuda en el reciclaje de chatarra de cobre al reducir su volumen y facilitar su transporte.

1.3.2. Hipótesis específicas

- Al determinar los parámetros que influyen en el diseño y construcción del horno de crisol, se logró definir la temperatura máxima de operación, tiempo de operación, el flujo del aire, el tamaño del crisol, las dimensiones del horno de crisol estacionario.
- Al describir los materiales a usar se logró identificar que los materiales refractarios tienen mayor eficiencia y durabilidad.
- Al proponer un proceso de reciclado de chatarra de cobre en el horno de crisol estacionario se logró graficar la secuencia de operaciones que se realizarán para conseguir las barras de cobre.
- El consumo de GLP permitirá calcular los gastos de operación por hora.
- Con la rentabilidad económica se logró sustentar que reciclar chatarra de cobre en un horno de crisol estacionario es económicamente viable.

CAPITULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Según Sampieri R. (2010), La investigación puede cumplir dos propósitos fundamentales: a) producir conocimiento y teorías (investigación básica) y b) resolver problemas prácticos (investigación aplicada). Por lo tanto, el tipo de investigación es Aplicada.

Sampieri R. (2014) menciona que el término experimento es bastante coloquial; así, hablamos de “experimentar” cuando mezclamos sustancias químicas y vemos la reacción provocada, o cuando nos cambiamos de peinado y observamos el efecto que causa en nuestras amistades. La esencia de esta concepción de experimento es que requiere la manipulación intencional de una acción para analizar sus posibles resultados.

Por lo que se menciona anteriormente, esta investigación es Aplicada del tipo Experimental.

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1. Población

Kilogramos Chatarra de cobre en un horno de crisol estacionario – Cajamarca 2019.

2.2.2. Muestra

0.3 kilogramos de chatarra de cobre en un horno de crisol estacionario – Cajamarca 2019.

2.3. Técnicas e Instrumentos de recolección y análisis de datos.

2.3.1. Técnicas de Recolección de Información.

Para realizar la búsqueda de la información se utilizó la técnica de análisis documental.

Análisis documental: mediante esta técnica se analizó la información en artículos, tesis, libros y páginas web, acerca de los tipos de hornos, parámetros de diseño, tipos de materiales, entre otros factores que influyen en el diseño y la construcción del Horno.

2.4. Procedimiento

2.4.1. Dimensiones del horno.

Establecidos los parámetros se procese a determinar el tamaño del horno.

Diámetro interior del horno = D_{int}

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

$$D_{int} = 115 \text{ mm} + 160 \text{ mm}$$

$$D_{int} = 275 \text{ mm} \approx 280 \text{ mm.}$$

Altura interior del horno = H_{int}

$$H_{int} = H + \text{Pedestal} + \text{Espacio libre sugerido}$$

$$H_{int} = 145 \text{ mm} + 100 \text{ mm} + 50 \text{ mm}$$

$$H_{int} = 295 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm.}$$

Altura exterior del Horno sin tapa = H_{ext}

$$H_{ext} = H_{int} + \text{Base} + \text{Espesor de la carcasa}$$

$$H_{ext} = 300 \text{ mm} + 3 \text{ pulg} + 1/16 \text{ pulg}$$

$$H_{ext} = 300 \text{ mm} + 76.2 \text{ mm} + 1.59 \text{ mm}$$

$$H_{ext} = 377.8 \text{ mm} \approx 378 \text{ mm.}$$

NOTA: Se requiere de un pedestal o base para soportar y evitar que la flama del quemador incida directamente en este.

El pedestal estará hecho de cemento refractario y la altura se establece en 100 mm. Este valor es arbitrario y estimado suficiente para proteger el crisol de la llama (ver Figura 5).

Para determinar las dimensiones exteriores es necesario establecer el recubrimiento interior y el espesor de la carcasa.

Para el recubrimiento interior se utilizará ladrillo refractario con cemento refractario de 3 pulgadas de espesor. El espesor del recubrimiento basta para aislar la temperatura y darle rigidez a la estructura.

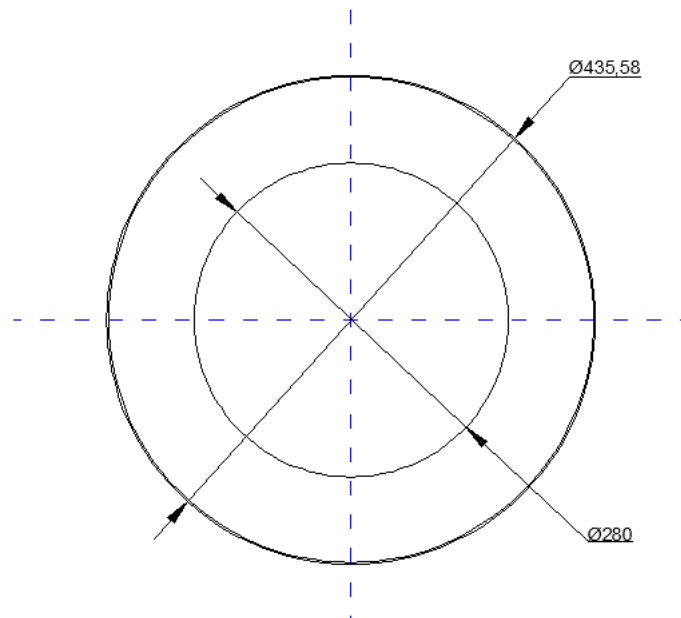


Figura 4. Diámetro Interior y Exterior del Horno de Crisol Estacionario (cota en mm) Elaboración Propia.

Finalmente, para el espesor de la carcasa se selecciona lámina de 1.59 mm (1/16 pulgadas) de espesor. En la Figura 7 se presenta la configuración.

Con respecto a la altura del horno, debe tomarse en cuenta la base de ladrillos y cemento refractario de 3 pulgadas más 1/16 pulgadas de carcasa.

La tapadera y la cubierta del horno se fabricarán de ladrillos y cemento refractarios respectivamente, y tendrán la forma como se presenta en la Figura 1. El espesor

adecuado se determinará mediante un análisis de transferencia de calor, sin embargo, para un estimado se establece de 100 mm la tapadera y 75 mm la cubierta. Por lo tanto, la forma final con sus dimensiones se presenta en la Figura 5.

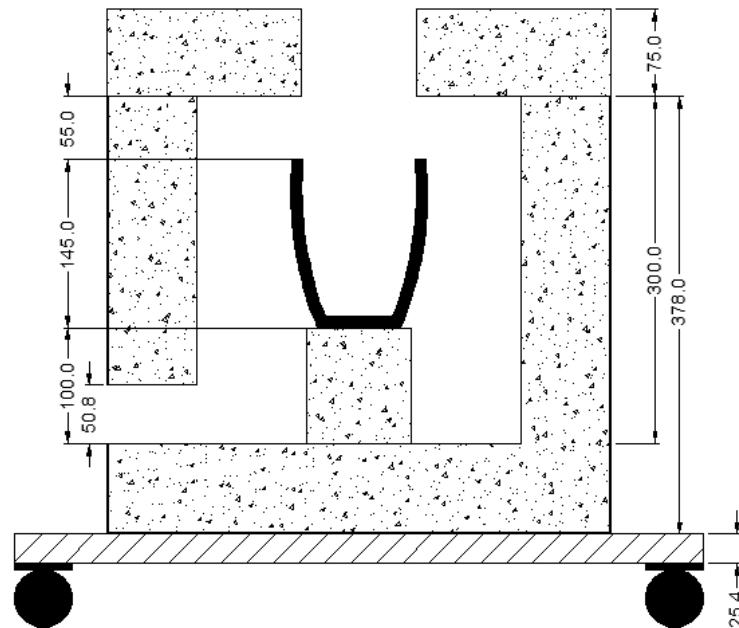


Figura 5. Corte transversal que muestra las dimensiones básicas del horno de crisol estacionario (cota en mm) Elaboración Propia.

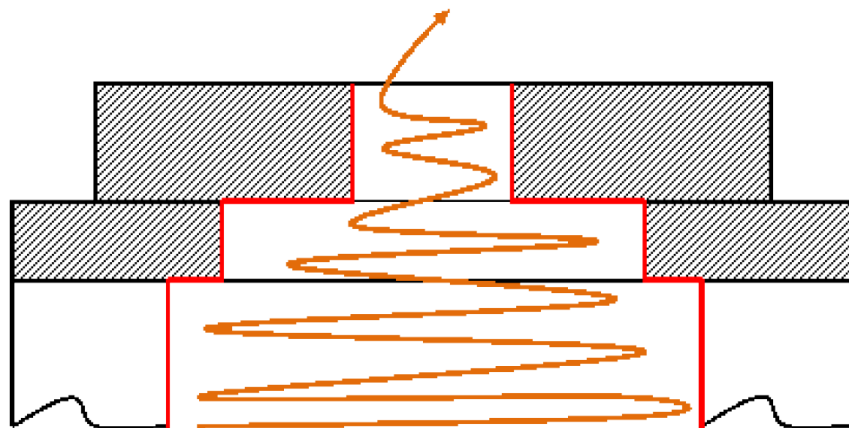


Figura 6. Esquema de la supuesta trayectoria de los gases de escape al salir del horno de crisol estacionario. Elaboración Propia.

2.4.2. Diseño y Construcción del Quemador de GLP

Para la elección de la fuente energética se comparó petróleo, carbón, gas licuado y electricidad. De todas las fuentes, el gas licuado es la que presenta un mayor poder calorífico (48,4 kJ/kg), una adecuada facilidad de manejo (por medio de balones de gas), un riesgo aceptable y un bajo nivel de contaminación.

Las dimensiones del quemador GLP son de 500 mm de cámara de mezclado y 200 mm para la inyección de aire forzada; los tubos empleados son de acero galvanizado de 1 ½ pulgadas (38.1 mm) de diámetro, se usará acero galvanizado para evitar su oxidación.

Para la inyección de GLP sea la más eficiente y que el gas tenga una buena presión y velocidad, el orificio de inyección de GLP debe ser \leq a 1 mm. Según Flores y Orellana (2014)

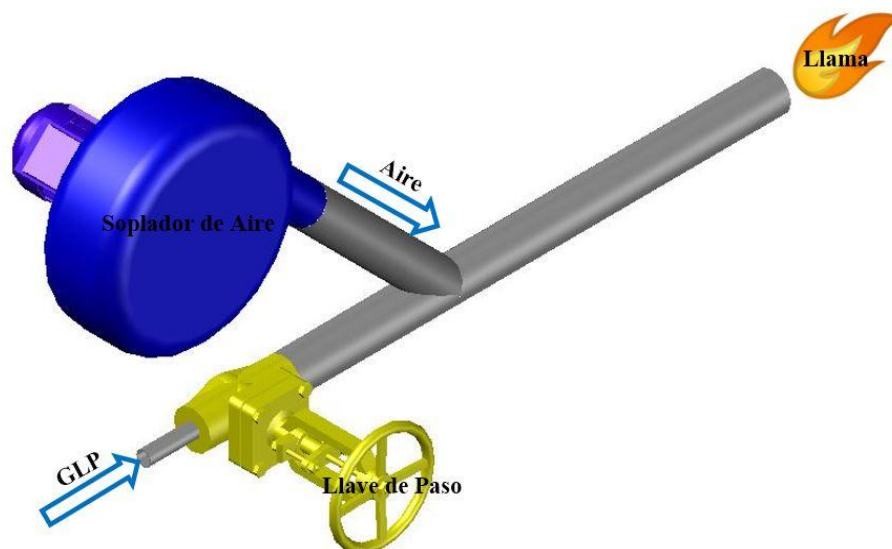


Figura 7. Diseño del Quemador de GLP. Elaboración Propia.

2.4.3. Diseño del Horno de Crisol.

El diseño de la estructura debe permitir múltiples fusiones sin sufrir daños de consideración. Luego, sus variables a tomar en cuenta son condiciones de operación,

portabilidad y durabilidad. Se buscó lo indicado en los centros comerciales locales y se optó por una disposición interior cilíndrica y un quemador ubicado en posición tangencial, de manera de permitir la formación de una llama helicoidal que rodee el crisol con el material a fundir. Esto permite una mejor distribución del calor y aumenta la vida útil de los materiales. La Figura 8 muestra el diseño interior del horno.

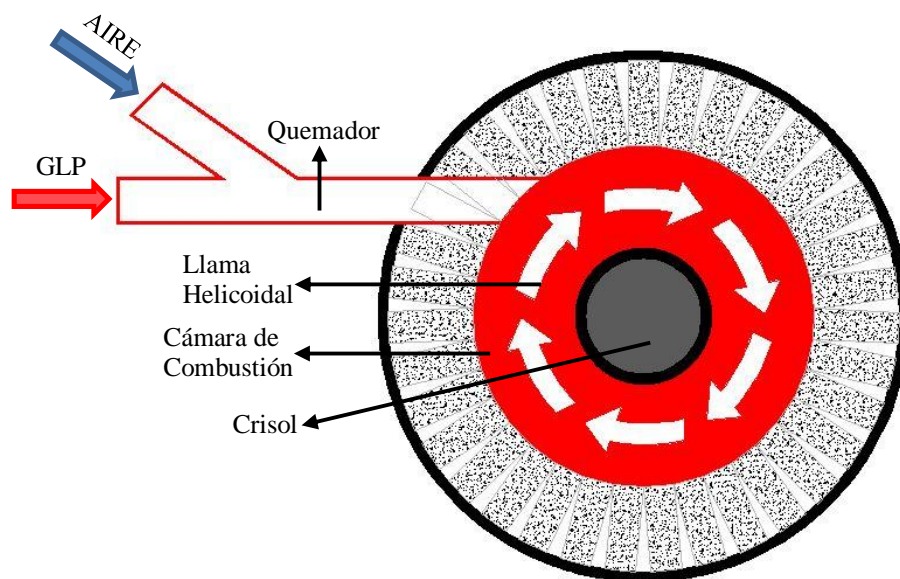


Figura 8. Diseño Interior del Horno de Crisol Estacionario. Elaboración Propia.

Este además debe contar con una vía de evacuación para permitir completar el proceso de combustión, por lo cual se habilitó una salida en la tapa superior. La estructura considera también una separación con el piso, con el objetivo de disminuir las pérdidas por transferencia de calor (mediante conducción). Las medidas fueron optimizadas para minimizar el tamaño de la cámara y mejorar la transferencia de calor. Para estos propósitos se consideró un crisol de capacidad de 400 cm³ de cable eléctrico de cobre.

El cuerpo del horno debe ser construido con ladrillos refractarios dispuestos verticalmente en forma circular formando un cilindro que será la cavidad para el

crisol. En la Figura 9 se muestra el orden en que van a ser dispuestos los ladrillos refractarios.

Debe contar con un revestimiento metálico delgado que se afiance y proteja las paredes y una tapadera de ladrillos con su revestimiento propio.

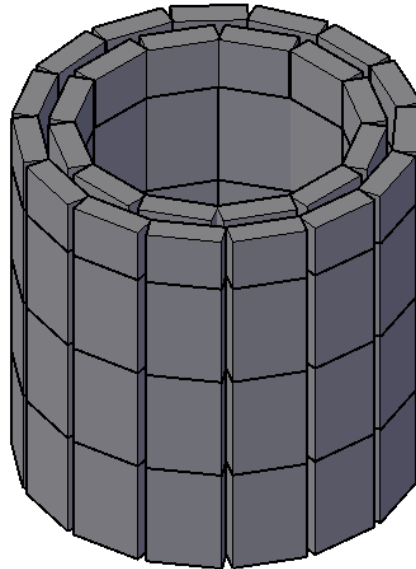


Figura 9. Orden de los ladrillos refractarios de medidas 3"x4.5"x1". Elaboración Propia.

2.4.4. Construcción del Horno de Crisol.

La selección de materiales consideró aspectos como resistencia a altas temperaturas, deformación térmica y costo. Al evaluar los materiales refractarios disponibles en el mercado, se optó, desde el interior hacia el exterior del horno, por una primera capa de ladrillos refractarios, debido a su capacidad aislante y alta resistencia térmica, estos unidos con cemento refractario, que da rigidez a la estructura y resiste altas temperaturas. Y, por último, una cubierta de acero de 1.56 mm (1/16") de espesor, para mantener la estructura protegida y darle firmeza a la estructura interior.

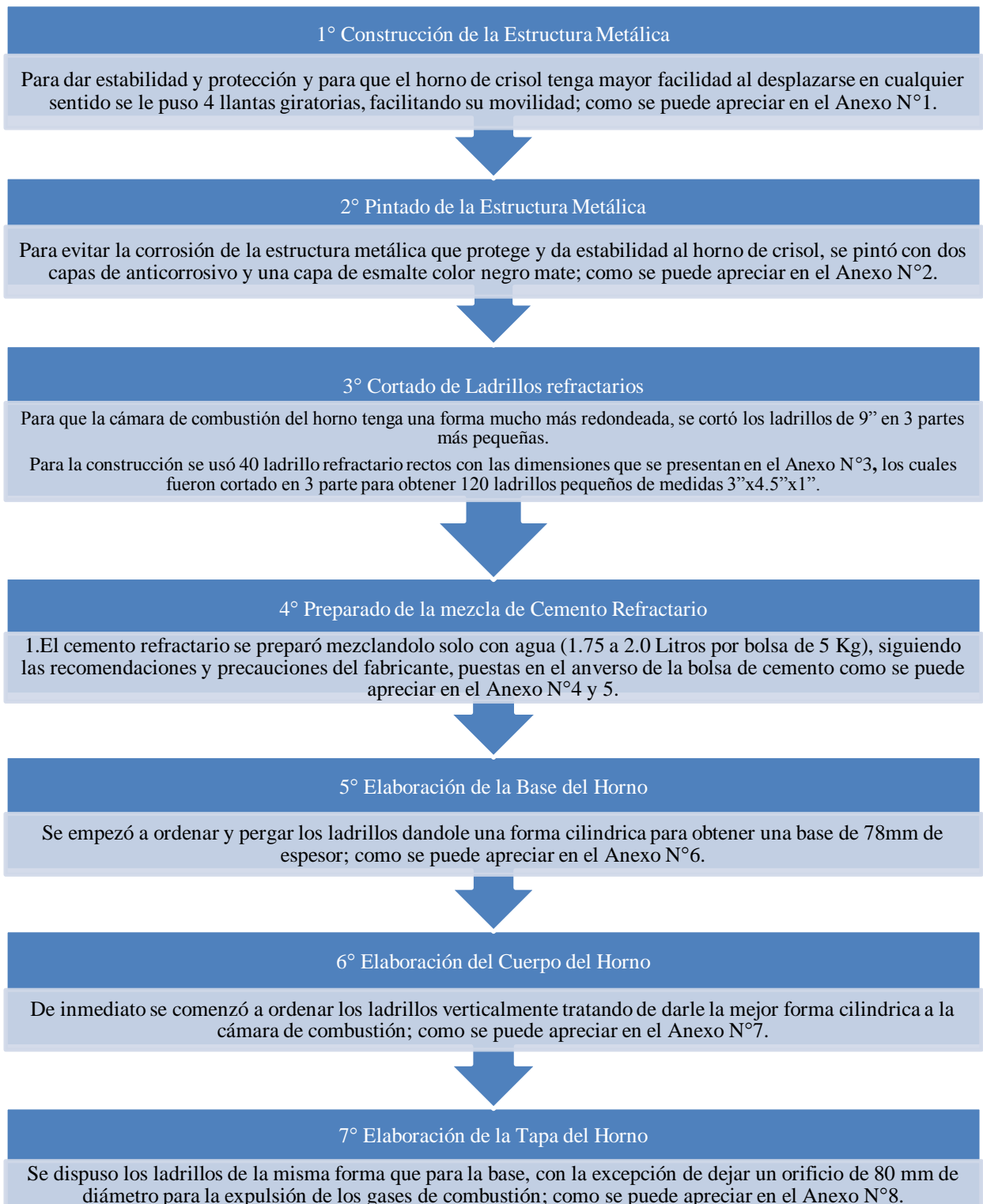


Gráfico 2. Resumen del proceso de construcción del Horno de Crisol Estacionario.

2.4.5. Equipo de Protección Personal (EPP).

Para hacer el proceso de fundición y limpieza de muestras se usaron los siguientes EPPs.



Figura 10. Protector facial con ratchet.



Figura 11. Guantes de Cuero Gruesos.



Figura 12. Zapatos de Seguridad.



Figura 13. Bata de laboratorio.

NOTA: Para este caso se escogieron estos EPPs, cabe resaltar que existen EPPs específicos para el proceso de fundición los cuales son aluminizados, debido al alto costo de estos, no fueron utilizado en este estudio.

2.4.6. Procedimiento para la toma de muestras.

Para el desarrollo del presente estudio se tomará dos kilogramos de muestra de chatarra de cobre en un horno de crisol estacionario, esto para demostrar la funcionalidad del Horno.

Para calcular el consumo del horno.

Se usarán 2 BALANZAS, una para medir la cantidad de bórax en gramos y otra para medir el peso de balón de GLP, controlando el peso inicial y final del balón de GLP.



Figura 14. Balanzas.

Se realizará el forjado de las muestras a partir de chatarra de cobre específicamente de cables eléctricos, para luego ser limpiada y codificada.

Para calcular la producción del horno.

Se controló el tiempo de operación que el horno demoró en fundir cada muestra.



Figura 15. Cronometro.

2.4.7. Procedimiento de Cálculo.

Número de Muestra	Carga	Tiempo (min)	Consumo de GLP (gr)
1	300	40 min	580 gr
2	300	40 min	520 gr
Total	600	80 min	1100 gr

Tabla 5. Datos tomados al momento de realizar las muestras en el Horno de Crisol Estacionario.

Del cuadro de datos tomados al momento de realizar el experimento, se puede calcular el consumo por tiempo de operación para el GLP.

Consumo de GLP del horno de crisol estacionario.

Sabiendo que:

$$80 \text{ min} = 1.33 \text{ hr}$$

$$1100 \text{ gr} = 1.1 \text{ kg}$$

Por lo tanto:

$$\frac{1.1 \text{ kg}}{1.33 \text{ hr}} = 0.83 \frac{\text{kg de GLP}}{\text{hr}}$$

Y el costo de recargar 10 kg de GLP es de 40 soles. Por lo tanto:

$$\begin{array}{l} 10 \text{ kg} \text{ ————— } 40 \text{ soles} \\ 0.83 \text{ kg} \text{ ————— } X \\ X = \frac{0.83 * 40}{10} = 3.32 \frac{\text{soles}}{\text{hr}} \end{array}$$

Consumo de Bórax.

Según Flores y Orellana (2014), El bórax es un fundente que ayuda a que el cobre no se pegue a las paredes del crisol, facilitando una colada más uniforme. Por lo que se debe esparcir un aproximado de 20 gramos a las paredes del crisol cambiando esta capa después de 1 hora de operación.

Por lo anteriormente mencionado se sabe que consume 20 gr por hora de operación.

$$\begin{array}{l}
 1 \text{ hr} \text{ ————— } 20 \text{ gr} \\
 160 \text{ hr} \text{ ————— } X \\
 X = \frac{160 * 20}{1} = 3.2 \frac{\text{Kg}}{\text{mes}}
 \end{array}$$

Producción de cobre en el horno de crisol estacionario.

Para el cálculo de la producción del horno de crisol estacionario, se sabe que el horno puede fundir una carga de cobre en 40 minutos.

Y la capacidad del crisol adquirido es de 0.4 litros o 400 cm³, por lo tanto:

$$Densidad = \frac{Masa}{Volumen}$$

$$Masa = Densidad \text{ de Cu} * Volumen \text{ de Crisol}$$

$$Masa = 8.96 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} * 400 \text{ cm}^3$$

$$Masa \text{ total del crisol} = 3584 \text{ gr} = 3.584 \text{ kilogramos}$$

Producción diaria de cobre. Trabajando 8 horas diarias o 480 minutos y cargando el crisol con una capacidad adecuada de 3 kilogramos de cobre.

$$\begin{array}{l}
 40 \text{ min} \text{ ————— } 3 \text{ kg de Cu} \\
 480 \text{ min} \text{ ————— } X \\
 X = \frac{480 * 3}{40} = 36 \frac{\text{Kg de Cu}}{\text{día}}
 \end{array}$$

Producción Mensual de Cobre. Trabajando 5 x 2

$$\begin{array}{l}
 1 \text{ día} \text{ ————— } 36 \text{ kg} \\
 20 \text{ días} \text{ ————— } X \\
 X = \frac{20 * 36}{1} = 720 \frac{\text{Kg de Cu}}{\text{mes}}
 \end{array}$$

2.4.8. Ingresos Brutos y Gastos mensuales generados a partir del reciclaje de chatarra de cobre en el horno de Crisol estacionario.

Con una producción mensual de 720 kilogramos al mes tenemos unas Ingresos Bruto de:

$$\begin{array}{r}
 1 \text{ kg de Cu} \text{ ————— } 19.04 \text{ soles} \\
 720 \text{ kg de Cu} \text{ ————— } X \\
 \\
 X = \frac{720 * 19.04}{1} = 13\,708.8 \frac{\text{Soles}}{\text{mes}}
 \end{array}$$

Se gastaría en comprar chatarra de cobre que por cada kilogramo de chatarra de cobre ya descubierto de su protección plástica.

$$\begin{array}{r}
 1 \text{ kg} \text{ ————— } 10 \text{ soles} \\
 720 \text{ kg} \text{ ————— } X \\
 \\
 X = \frac{720 * 10}{1} = 7200 \frac{\text{Soles}}{\text{mes}}
 \end{array}$$

Se gastaría en GLP lo siguiente:

$$\begin{array}{r}
 1 \text{ hr} \text{ ————— } 3.32 \text{ soles} \\
 160 \text{ hr} \text{ ————— } X \\
 \\
 X = \frac{160 * 3.32}{1} = 531.20 \frac{\text{Soles}}{\text{mes}}
 \end{array}$$

Se gastaría en Bórax lo siguiente:

$$\begin{array}{r}
 1 \text{ Kg} \text{ ————— } 20 \text{ soles} \\
 3.2 \text{ Kg} \text{ ————— } X \\
 \\
 X = \frac{3.2 * 20}{1} = 64 \frac{\text{Soles}}{\text{mes}}
 \end{array}$$

2.4.9. Ratios de Rentabilidad.

Es una relación entre dos cuentas de los estados financieros básicos (balance general y estado de ganancias y pérdidas) que permite representar el grado de generación de utilidades tanto para los accionistas como la propia empresa.

- **Rentabilidad patrimonial** = Utilidad neta * 100 / Patrimonio

El resultado se expresa en porcentaje.

Indica el margen de ganancia que se obtiene al invertir una cantidad determinada de patrimonio en esa empresa.

$$\text{Rentabilidad Patrimonial} = \frac{4347.53 * 100}{7326.20} = 59.34\%$$

- **Rentabilidad accionista** = Utilidad neta * 100 / Capital

El resultado se expresa en porcentaje.

Indica el margen de ganancia que se obtiene al poner a producir una cantidad determinada de capital.

$$\text{Rentabilidad accionista} = \frac{4347.53 * 100}{7326.20} = 59.34\%$$

- **Rentabilidad inversión** = Utilidad neta * 100 / Activo total

El resultado se expresa en porcentaje.

Indica el margen de ganancia que se obtiene al poner a producir los activos.

$$\text{Rentabilidad inversión} = \frac{4347.53 * 100}{8326.20} = 52.22\%$$

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Tabla 6.

Parámetros de Diseño y Construcción del Horno de Crisol Estacionario.

Parámetro	Valor	
Carga a Fundir	Volumen (cm ³ y litro)	Masa (kg y lb)
Cobre	400 cm ³ / 0.40 litro	3,58kg/7.9lb
Crisol		
Tipo / Material	A-4 / Grafito	
Dimensiones	H:145mm – D:115mm – d:72mm	
Temperatura Máxima de Operación	1400°C	
Tiempo de Funcionamiento Max.	< 8 horas	
Flujo de Aire en el Recinto	Aire Quieto	



Figura 16. Ladrillos y Cemento refractario empleados para la construcción. Los materiales refractarios son elaborados por la empresa SCHEMIN PERU S.A. y fueron elegidos principalmente a su gran capacidad para soportar temperaturas sobre los 1000 grados centígrados y a su fácil adquisición en el mercado local debido a su presencia en distintas ferreterías y grandes tiendas por departamento como PROMART y SODIMAC.



Figura 17. Crisol de Grafito tamaño A4 que soporta una temperatura máxima de 1400°C. El crisol se ha seleccionado tomando en cuenta los parámetros de diseños previamente descritos como la cantidad del metal a fundir y la necesidad de que este no reaccione con el metal, los fundentes y desgasificadores. Se eligieron los crisoles de Grafito por ser neutros y no reaccionan con el aluminio ni el cobre.

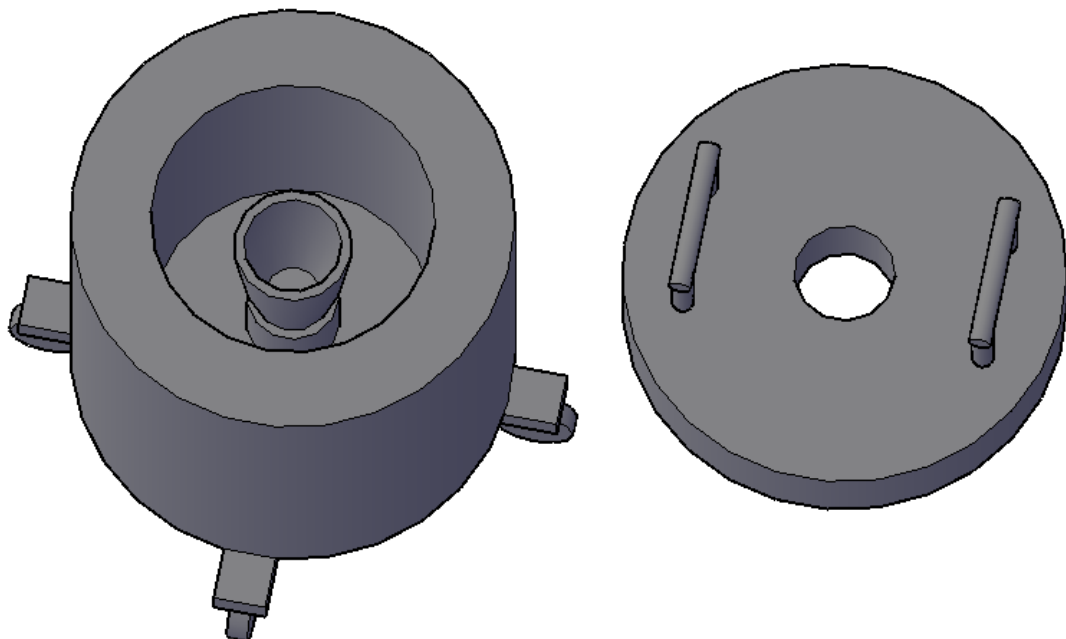
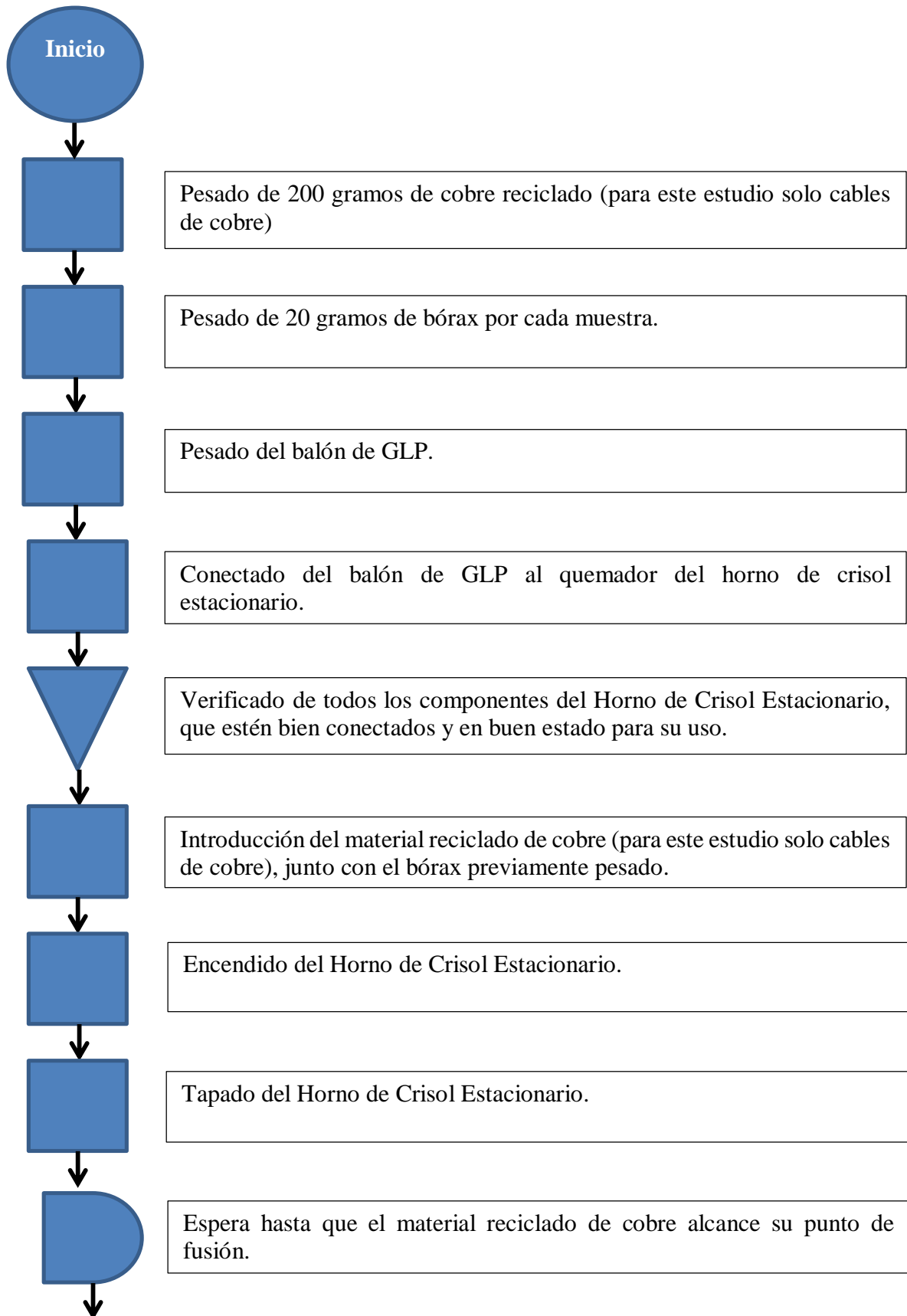


Figura 18. Diseño 3D del Horno de Crisol Estacionario en el programa AutoCAD. Con las medidas previamente calculadas. Elaboración Propia.



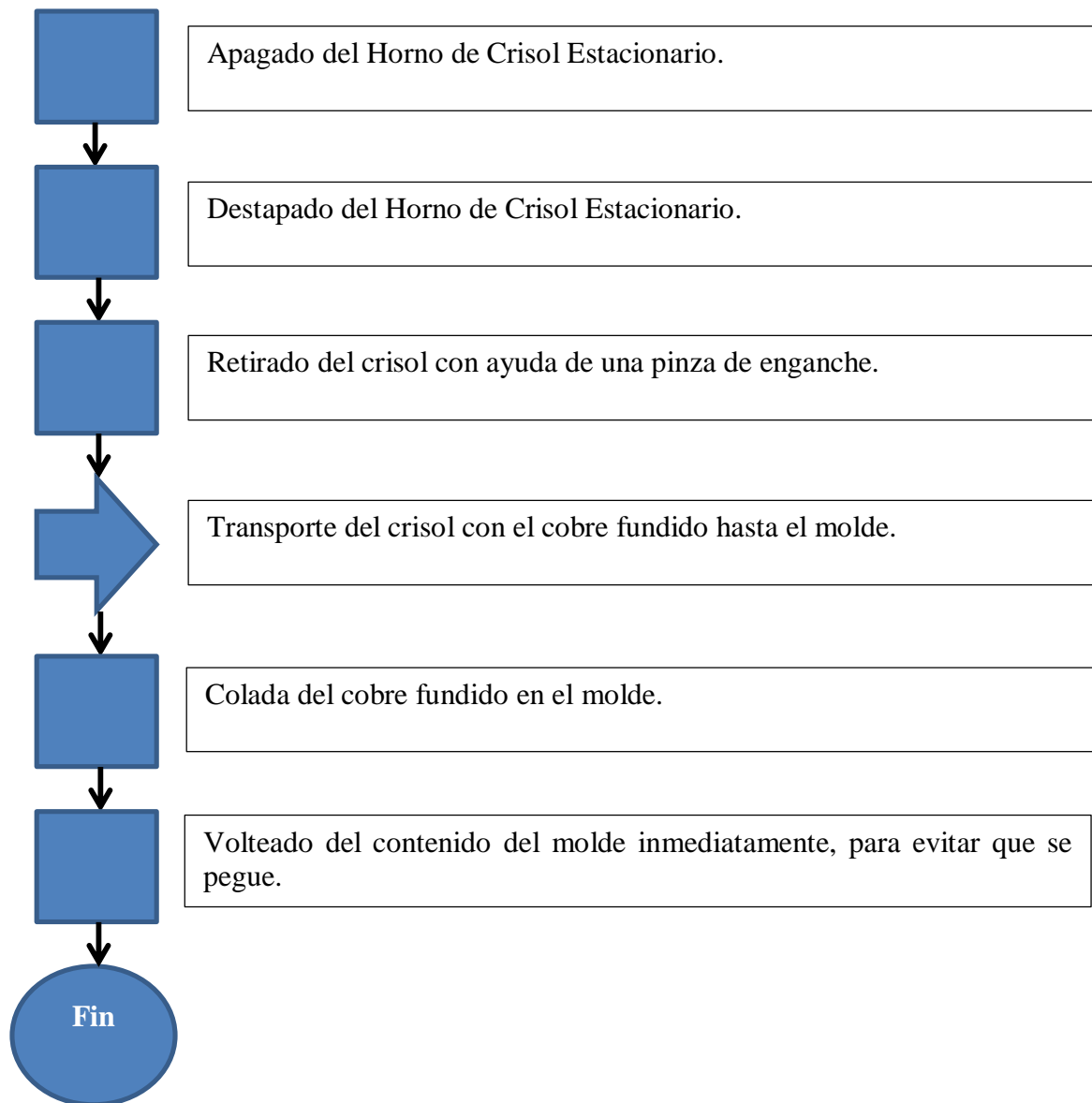


Gráfico 3. Diagrama de flujo para el proceso de Fundición de muestras.

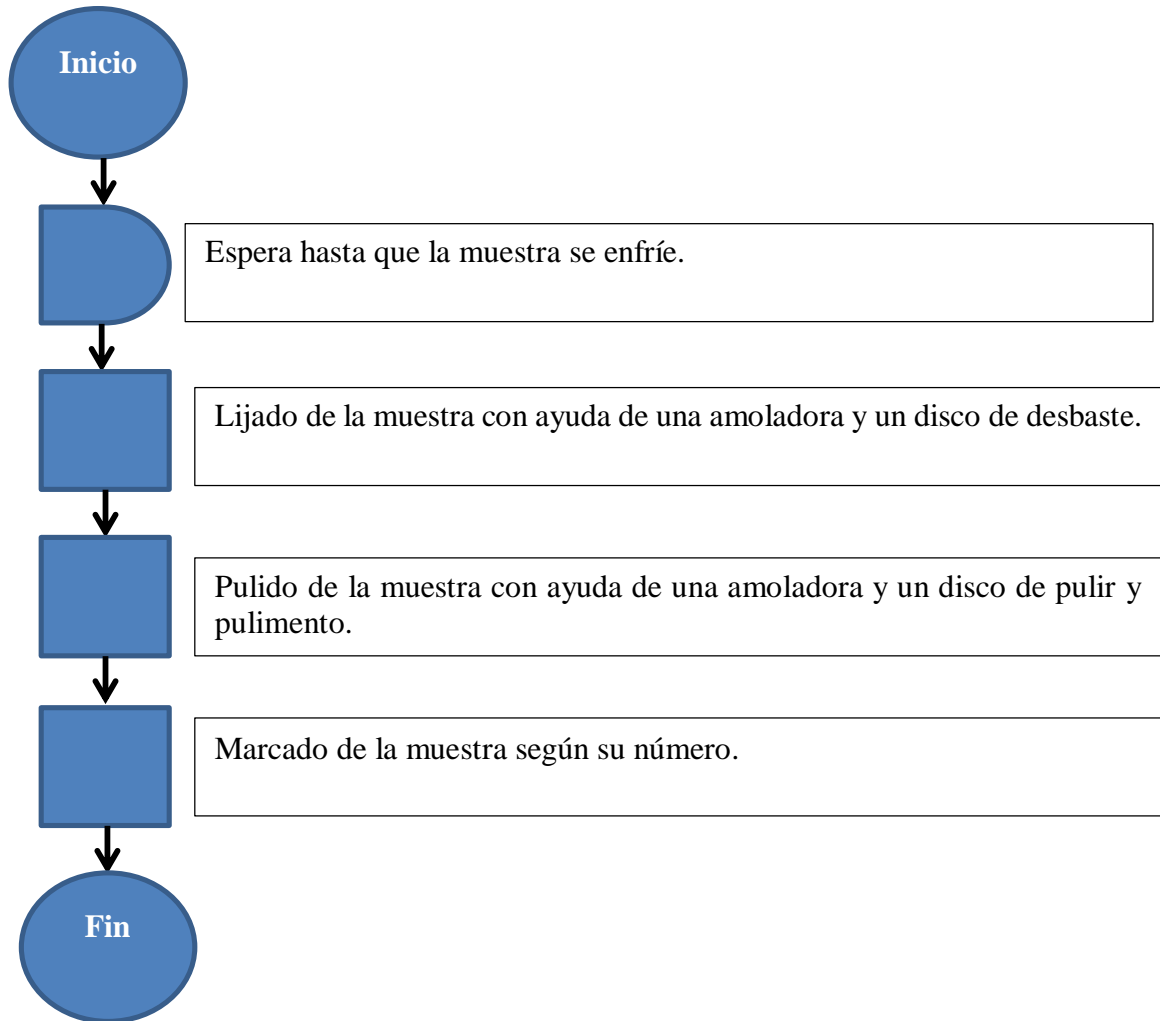


Gráfico 4. Diagrama de flujo para el proceso de Limpieza de muestras.

Tabla 7.

Costos de Construcción del Horno de Crisol Estacionario.

Cantidad	Descripción	Precio Unitario (S./)	Importe (S./)
Costos de Construcción del Cuerpo del Horno de Crisol Estacionario			
40	Ladrillos refractarios de medidas 9”x4.5”x1”	4.10	164
6	Bolsa de cemento refractario de 5 kg	14.50	87
4	Ruedas giratorias de acero	10	10
1	Estructura metálica del horno con las medidas calculadas	80	80
1	Crisol de Grafito tamaño A4	100	100
Costos de Quemador de GLP			
½	Tubo Galvanizado de 1 ½”	5	5
1	Quemador de GLP con su manguera y regulador	20	25
1	Soplador eléctrico de aire	50	60
COSTO TOTAL			531 soles

Uno de los retos a vencer en el diseño y fabricación de hornos es la economía en el uso de combustible, la cual debe equilibrarse con los costos de fabricación y la resistencia térmica de los materiales. Se habla de economía porque a medida que el horno posee una mayor capacidad para evitar las fugas de calor a través de sus recubrimientos, el consumo de combustible disminuye y la rapidez de calentamiento aumenta, por lo tanto, el suministro de energía (que resulta ser uno de los mayores costos de operación de un horno) se ve grandemente reducido.

Tabla 8.

Gastos de Insumos para la elaboración de barras de chatarra de cobre.

Cantidad	Descripción	Precio Unitario (S./)	Importe (S./)
Insumos			
1	Recarga de 10 kg de GLP	4	40
1	Kilogramo de Bórax	20	20
2	Kilogramos de chatarra de Cobre	10	20
COSTO TOTAL			80 soles

La recarga del balón de GLP se realizó según el precio de esté, al día 13 de setiembre de 2019.

*Tabla 9.
Materiales y Herramientas costo cero.*

Cantidad	Descripción
1	Pinza para enganchar el crisol
1	Molde con forma de lingotera
1	Balanza análoga de 2kg
1	Bascula

Estas herramientas y materiales fueron prestados por amigos y familiares.

*Tabla 10.
Resumen de Resultados de la operación del horno de crisol estacionario.*

Parámetros	Medida
Temperatura Ambiente (°C)	21 °C
Temperatura Máxima alcanzada en la operación (°C)	1200 °C
Tiempo en fundir cobre (min)	40 min
Tiempo en alcanzar la temperatura máxima a plena capacidad del quemador (hr)	1 hora
Consumo de GLP (Kg/hr)	0.83
Consumo de GLP (Soles/hr)	3.32
Consumo de Bórax (Kg/mes)	3.2
Capacidad Total del crisol.	3.584
Capacidad adecuada del crisol	3
Producción Diaria de Cobre (Kg/día)	36
Producción Mensual de Cobre (Kg/mes)	720
Costo total de construcción del Horno (Soles)	S./531

La primera prueba de fundición se realizó el 13 de setiembre de 2019 a las 2:00 pm en un patio cerrado ventilado naturalmente. La temperatura ambiente se registró en 21 °C. El horno se operó con un quemador de GLP alimentado por un ventilador centrífugo y una llama iniciada mediante chispa.



Figura 19. Muestras de cobre de 300 gr. Resultantes del reciclaje de cobre en el horno de crisol estacionario diseñado y construido.

Tabla 11.
Balance General.

I. BALANCE GENERAL			
ACTIVOS		PASIVOS	
Activos Corrientes	7795.20	Pasivos Corrientes	1000.00
		Cuentas por Pagar	1000.00
		(1 personal)	
Materiales y suministros (Insumos)	7795.20		
Activos no Corrientes	531.00	Pasivos no corrientes	0
inmueble maquinaria y equipo	531.00	Patrimonio	7326.20
(horno)		Capital Total	7326.20
Total, Activos	8326.20	Pasivo + Patrimonio	8326.20

El balance general se elaboró suponiendo tener un personal de trabajo para que haga el proceso de producción y según el precio del cobre al 07 de octubre de 2019.

Tabla 12.
Estado de Ganancias y Pérdidas

II. ESTADO DE GANACIAS Y PERDIDAD	
Ventas netas	13708.8
(-) Costo de ventas	8326.20
Utilidad bruta	5382.60
(-) Gasto de ventas	0.00
(-) Gastos administrativos	0.00
Utilidad operativa	5382.60
(-) Gastos financieros	0.00
Utilidad antes de impuestos	5382.60
(-) Impuesto a la Renta	80.74
Utilidad después de impuesto a la renta	5301.86
(-) Impuesto General a las ventas	954.33
Utilidad Neta del Ejercicio	4347.53

Tabla 13.
Ratios de rentabilidad.

III. RATIOS DE RENTABILIDAD	
1. RENTABILIDAD	
RENTABILIDAD PATRIMONIAL	59.34 %
RENTABILIDAD ACCIONISTAS	59.34 %
RENTABILIDAD INVERSION	52.22 %

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

El diseño y construcción del horno de crisol estacionario y su operación ayuda de manera significativa en el reciclaje de chatarra de cobre como alternativa para el cuidado del medio ambiente, Según Ministerio del Ambiente (2018) la importancia de tratar los residuos de forma adecuada, minimizando la generación de residuos, reusando y reaprovechando aquellos que tienen valor comercial y pueden ser convertidos en nuevos productos.

El reciclaje de chatarra de cobre en un horno de crisol estacionario se vuelve económicamente rentable teniendo en cuenta el precio del cobre en bruto es S/. 10 por kilogramo en comparación con su venta al mercado según la bolsa de metales recuperada el 07 de octubre de 2019 de la página portal minero es S/. 19.04 por kilogramo generando ingresos brutos de S/. 9.04 por kilogramo. El horno tiene una capacidad de producción (con un crisol de 0.4 litros o 400 cm³ que tiene una carga útil de 3 kg de cobre) de 720 kg de cobre al mes el cual cubre los gastos producidos y obteniendo una ganancia de 4347.53 libre de impuestos. Esto significa el 52.22 % de rentabilidad de la inversión. De acuerdo con el Ministerio del Ambiente (2018) en el Perú hay enormes oportunidades de aumentar el reciclaje, pues solo se recicla el 1.9% del total de residuos sólidos reaprovechables que se generan.

4.2. Conclusiones

Al finalizar el presente trabajo de investigación, se puede concluir que el diseño y la construcción del horno de crisol estacionario, logró elaborar una herramienta funcional con la característica de ser fácil de usar, funcional y económico.

El volumen del material de chatarra de cobre se redujo significativamente en unas barras de cobre facilitando su transporte y comercialización.

Los parámetros que influyen en el desarrollo del presente estudio fueron principalmente: el tipo de material a fundir, temperatura máxima de operación, el tipo de horno, las dimensiones del horno, el tipo de crisol y el tamaño del crisol.

Se eligieron ladrillos y cemento refractario de la marca Schemin debido a su capacidad para resistir altas temperaturas sin descomponerse, también a su propiedad de aislante térmico. Y se eligió un crisol de grafito porque no reacciona con el cobre y soporta una temperatura de hasta 1400°C.

El proceso de producción se ilustró mediante dos diagramas de flujo, uno para el proceso de fundición y el segundo para el proceso de limpieza. Facilitando el entendimiento de las secuencias de operaciones realizadas.

El consumo de GLP del horno de crisol estacionario es de 0.83 Kg/hora por ende tiene un gasto de 3,32 soles /hora esto, en base al costo actual del balón de GLP.

La rentabilidad económica fue determinada a partir del balance general y del estado de ganancias y pérdidas, ambos proyectados para un mes de operaciones mediante estos se pueden calcular los ratios de rentabilidad, los cuales dieron un resultado de que con un capital de 7326.20 soles mensuales se puede generar un rentabilidad de la inversión del 52.22% al mes. Demostrando su viabilidad económica.

REFERENCIAS

- ASM committee. (1998). ASM Handbook - Casting (Vol. 15). ASM International.
- Asociación Canadiense de Industrias del reciclaje (2010). Reciclaje y la Economía.
Recuperado de: <https://www.cari-acir.org/recycling-education/>
- APQUA (1998). Tratamiento de residuos especiales, Guía del profesor, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Rovira i Virgili, Tarragona; Editorial Reverte.
- Berenguer, Trista y Deas (2006) El reciclaje, la industria del futuro, Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Universidad de Oriente. Cuba.
- Capello, E. (1974). Tecnología de la Fundición. Barcelona - España: Gustavo Gili S.A.
- BIR (2009). Estudio del BIR (Banco Internacional de Desarrollo) sobre los beneficios ambientales del reciclaje.
- Crucibles and their Furnaces. (Julio de 2012). Recuperado el septiembre de 2013:
MetalCastingTheoryandDesign:
<http://me401metalcasting.files.wordpress.com/2012/07/401-crucible-furnaces.pdf>
- GREENPEACE (2012). Minería y Basura Electrónica. Recuperado de:
https://www.fuhem.es/media/cdv/file/biblioteca/Boletin_ECOS/25/greenpeace_mineria_basura_electronica.pdf
- J. D. Marinovic, "Metalurgia Extractiva del Cobre." Universidad de Chile. Recuperado de:
http://www.lapetus.uchile.cl/lapetus/archivos/1353062349CFG_Miner%C3%ADa_Desaf%C3%ADosyDesarrolloPa%C3%ADs_ProcesamientoMinerales_JulioD%C3%ADaz.pdf
- Kuramoto (1999) Las aglomeraciones productivas alrededor de la minería: el caso de la Minera Yanacocha S.A. Editorial GRADE, Lima.

MMSD. (2002). ABRIENDO BRECHA. Londres: Earthscan Publications Ltd.

Ministerio del Ambiente (2018) En el Perú solo se recicla el 1.9% del total de residuos sólidos reaprovechables. Recuperado de: <http://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/en-el-peru-solo-se-recicla-el-1-9-del-total-de-residuos-solidos-reaprovechables/>

NOLTINA (2019). Crisoles de Grafito Noltina. Inglaterra. Recuperado de: <http://importadoraquimilab.com/?slide=slide-5>

Orihuela T. (2009). Limpieza de Escorias de Cobre empleando bórax. Huancayo.

Portal Minero (2019). Precio del cobre en el mercado según la bolsa de metales. Recuperado el 07 de octubre de 2019 de la página portal minero. <http://www.portalminero.com/display/bols/Bolsa+de+Metales>

Sarmentero, (2010). Impacto de la Logística Inversa en el Mercado del Cobre en España (trabajo final del máster en Ingeniería de recursos naturales). Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

Sampieri R. (2010). Metodología de la Investigación. Escuela Superior de Comercio y Administración Instituto Politécnico Nacional y Annenberg School for Communication. University of Pennsylvania. USA.

Sampieri R. (2014). Metodología de la Investigación. Sexta edición, editorial McGRAW-HILL.

Schulz E. (2003). Introducción a la Metalurgia. Universidad de Santiago de Chile facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Metalúrgica.

Thorp, Rosemary, y Geoffrey Bertram (1978). "Peru 1890-1977: Growth and Policy in an Open Economy". Nueva York: Columbia University Press.

ANEXOS

ANEXO N° 1. Estructura Metálica del Horno de Crisol.



ANEXO N° 2. Pintado de la Estructura del Horno de Crisol



ANEXO N° 3. Tamaño del ladrillo refractario y corte en ladrillos más pequeños de
3”x4.5”x1”



ANEXO N° 4. Recomendaciones y Precauciones de uso del cemento refractario.


RECOMENDACIONES:

- Agregar agua y batir la mezcla hasta lograr una masa homogénea.
- Fragar las juntas entre ladrillo y ladrillo, limpiando con una esponja húmeda.
- Después del fraguado, emplear 48 horas para poner en servicio la chimenea u horno.
- Para enchape siga las siguientes indicaciones:
 - Preparar mezcla agregando agua.
 - Aplicar mezcla en toda la cara del ladrillo, instalar con el nivel necesario, de 3 a 4 mm de junta, entre ladrillo y pared y ladrillo - ladrillo, sin dejar cámaras vacías.
 - Emplear crucetas para la separación de ladrillos.

Importante: Instalar ladrillo en seco. No mojar pared.

PRECAUCIONES:

- En caso de contacto con los ojos enjuagar con agua limpia.
- Usar guantes de protección.
- Producto no perecible, sin riesgo para el usuario.
- Mantener en lugar fresco y seco.



• Dosificación de Cemento (Enchape)

METROS	APLICACIÓN	KILOS
1 m ²	Ladrillo Schemin 3/4"	07
1 m ²	Ladrillo Schemin 1"	08
1 m ²	Ladrillo Schemin 1.1/4"	09
1 m ²	Ladrillo Schemin 1.1/2"	09
1 m ²	Ladrillo Schemin 2"	11
1 m ²	Ladrillo Schemin 2.1/2"	12

• Para Fraguado de una Cámara de Fuego

Barbiquiur, Chimenea u Horno
1 Bolsa de Cemento Yellow x 5kg.

IMPORTANTE
Instalar ladrillo en seco

CM519-008-5041

ANEXO N° 5. Preparado de la mezcla de cemento refractario siguiendo las recomendaciones y precauciones que indica el fabricante.



ANEXO N° 6. Elaboración de la base del horno de crisol.



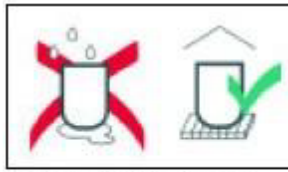
ANEXO N° 7. Elaboración del cuerpo del horno de crisol.



ANEXO N° 8. Elaboración de la tapa del horno de crisol.



ANEXO N° 9. Cuidado y Uso del Crisol de Grafito.



Almacenar en un lugar fresco y seco



No almacene crisoles dentro de otros



No ruede los crisoles



Compruebe si hay grietas o daños en el envío antes de usar.



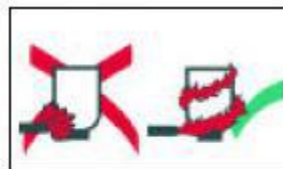
Use bases planas más grandes que el fondo del crisol. Centre el crisol en la base.



Use fibra cerámica para sellar cualquier fuga de calor.



Use canales de soporte en hornos basculantes.



Direccionar la llama tangencial alrededor del Crisol



No arroje la carga al crisol, use pinzas cargando con cuidado.



Cargue ligeramente y coloque los lingotes en posición vertical.



Solo agregue fundente con el metal líquido.



Evite grietas prematuras verificando que el canal de drenaje del horno esté cerrado.



En el horno extraíble, las pinzas deben colocarse en el tercio inferior del crisol. Ajuste las pinzas abrazándolas por el exterior del crisol.

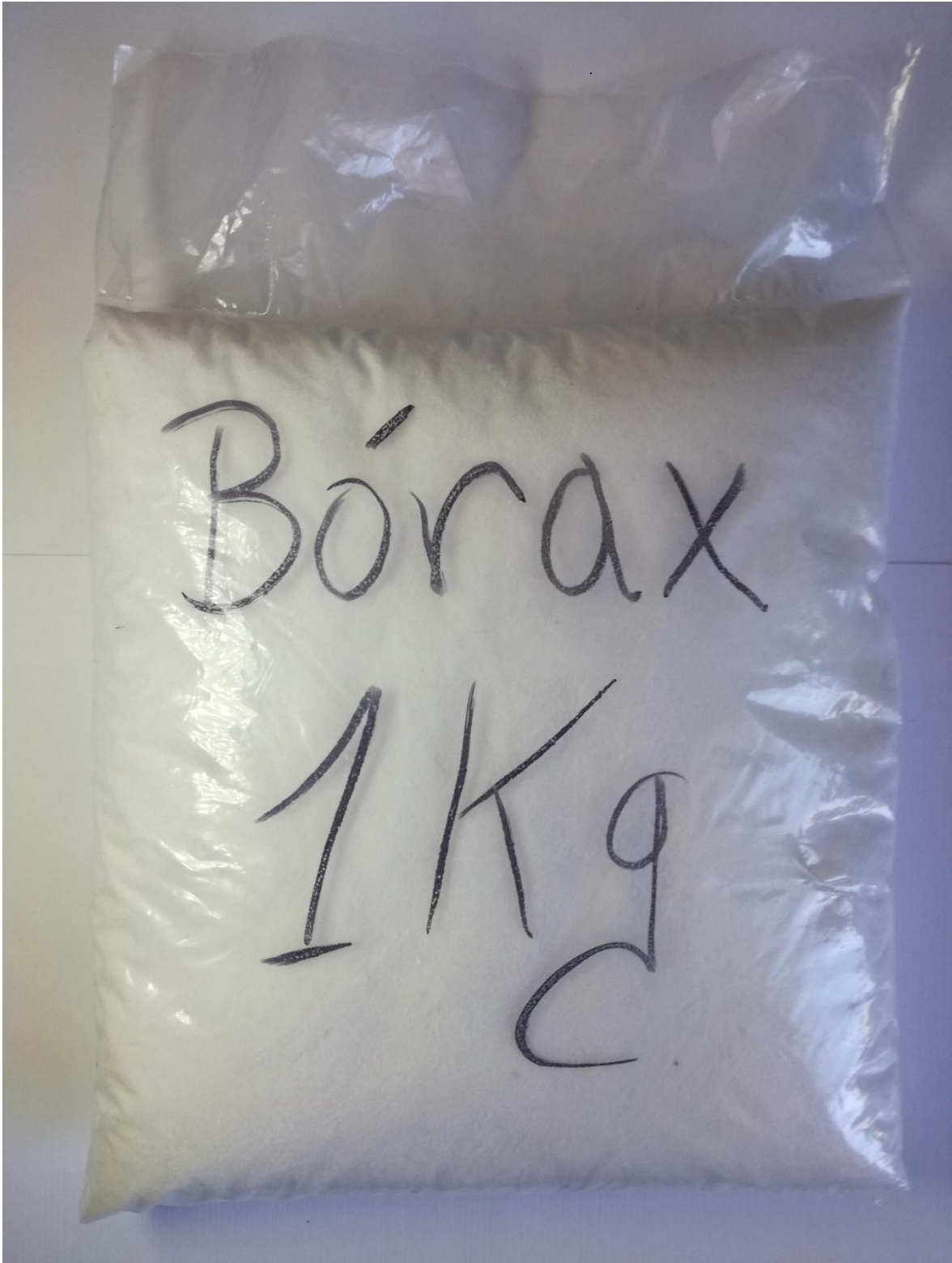


Vacíe el crisol antes de sacarlo del horno. No permita que el metal se solidifique dentro del crisol.



Limpie el crisol aún caliente con cuidado todos los días.

ANEXO N° 10. Fundente (BÓRAX).



ANEXO N° 11. Cables eléctricos de cobre reciclado.



ANEXO N° 12. Pesado de GLP con ayuda de una báscula.



ANEXO N° 13. Pesado de bórax con ayuda de una balanza analógica.



ANEXO N° 14. Horno de Crisol Estacionario con todos sus componentes.



ANEXO N° 15. Colada de cobre en el molde.

