

**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN HORNO DE FUSIÓN BASCULANTE PARA
ALEACIONES NO FERROSAS. EMPRESA J'S SERVIPETROL LTDA.**

NATALIA ALEJANDRA NIÑO MANTILLA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA**

2012

**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN HORNO DE FUSIÓN BASCULANTE PARA
ALEACIONES NO FERROSAS. EMPRESA J'S SERVIPETROL LTDA.**

NATALIA ALEJANDRA NIÑO MANTILLA

**Trabajo de grado para obtener el título de
Ingeniero Metalúrgico**

**Director
ARNALDO ALONSO BAQUERO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA**

2012

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	12
1. OBJETIVOS.....	14
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES	15
2.1 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL COBRE	15
2.2 TIPIFICACIONES DE LAS ALEACIONES DE COBRE	16
3. HORNOS DE FUSIÓN EMPLEADOS EN LA FUSION DEL COBRE	18
3.1 CRISOLES USADOS EN LA FUSIÓN DE COBRE.....	23
3.2 MATERIALES REFRACTARIOS PARA EL REVESTIMIENTO DE UN HORNO DE CRISOL BASCULANTE	24
4. PROCESO DE FUNDICION DEL COBRE.....	28
4.1 ATMÓSFERA DE LOS HORNOS	28
4.2 PROCEDIMIENTOS DE DESGASIFICACIÓN.....	29
4.3 FUNDENTES	31
4.4 FUNDENTES PARA ALEACIONES CUPROSAS	31
4.5 TÉCNICA DE FUSIÓN EMPLEADA EN EL COBRE Y SUS ALEACIONES..	33
5. RECICLAJE DEL COBRE	35
5.1 MÉTODO DEL RECICLAJE DEL COBRE	36
6. METODOLOGÍA	38

6.1 ESTUDIO TEÓRICO DE LAS ALEACIONES DE COBRE TRABAJABLES EN LA FUNDICIÓN POR MEDIO DE UN HORNO BASCULANTE	38
6.2 DISEÑO DEL HORNO	39
6.3 SELECCIÓN DEL CRISOL PARA LAS ALEACIONES DE COBRE	46
6.4 CONSTRUCCIÓN DEL HORNO BASCULANTE PARA LAS ALEACIONES DE COBRE	47
6.5 TÉCNICA DE FUSIÓN Y COLADA PROTOTIPO	51
7. RESULTADOS	56
7.1 INSPECCIÓN VISUAL A LOS LINGOTES DE LA COLADA PROTOTIPO. ...	56
7.2 Ensayo de espectrometría de fluorescencia de Rayos-X de energía dispersiva	56
8. ANÁLISIS DE RESULTADOS	57
8.1 INSPECCIÓN VISUAL A LOS LINGOTES DE LA COLADA PROTOTIPO ...	57
8.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CHATARRA DE COBRE	57
8.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS LINGOTES DE LA COLADA PROTOTIPO	57
9. CONCLUSIONES	58
10. RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFIA.....	60

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Horno de reverbero. (Usado en Chile para fundir trozos de cobre considerados desechos para mejorar su ley).	19
Figura 2. Horno de foso	20
Figura 3. Horno de crisol basculante	22
Figura 4. Crisol de carburo de silicio. [6]	23
Figura 5. Material refractario denso	25
Figura 6. Material refractario aglomerante	25
Figura 7. Material refractario aislante.....	26
Figura 8. Alambre de cobre usado como conductor de electricidad	36
Figura 9. Planta industrial recicladora de cobre	37
Figura 10. Diseño preliminar del horno basculante de crisol fijo de la empresa J'S Servipetrol.....	40
Figura 11. Diseño del soporte del sistema de basculación del horno	43
Figura 12. Diseño final del horno basculante de crisol fijo de la empresa J'S Servipetrol. (Vista frontal)	44
Figura 13. Diseño final del horno basculante de crisol fijo de la empresa J'S Servipetrol. (Vista lateral).....	45
Figura 14. Diseño final del horno basculante de crisol fijo de la empresa J'S Servipetrol. (Vista superior)	45
Figura 15. Diseño final del horno basculante de crisol fijo de la empresa J'S Servipetrol. (Solidworks)	46
Figura 16. Estructura del sistema de basculación fabricada.....	49
Figura 17. Montaje de la estructura metálica del horno en el sistema de basculación.....	50

Figura 18. Adecuación del horno basculante en la planta de fundición de la empresa J´S Servipetrol	51
Figura 19. Lingotes usados en la colada prototipo.....	53
Figura 20. Calentamiento del crisol y de la carga a fundir	54
Figura 21. Limpieza y desgasificación de la colada	54
Figura 22. Vaciado de la colada prototipo.....	55
Figura 23. Lingote obtenido con la colada prototipo	56

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Propiedades físicas y químicas del cobre. [3]	16
Tabla 2. Designación de las aleaciones de fundición de cobre. [2].....	17
Tabla 3. Ensayo de la laminilla de zinc para determinar la atmósfera de los hornos	29
Tabla 4. Composición química del alambre de cobre usado en redes eléctricas ..	38
Tabla 5. Aleaciones de cobre que se podrán obtener a partir de chatarra de cobre en el horno basculante de la empresa J´S Servipetrol. [12]	38
Tabla 6. Composición química del refractario denso Bauxal 60. [13].....	41
Tabla 7. Propiedades del refractario denso Bauxal 60. [13].....	41
Tabla 8. Composición química del refractario poroso UA-28. [13]	41
Tabla 9. Propiedades del refractario poroso UA-28. [13]	42
Tabla 10. Composición química del Cemento refractario Concrax 1500	42
Tabla 11. Propiedades del Cemento refractario Concrax 1500	42
Tabla 12. Peso de los elementos constituyentes del horno basculante de la empresa J´S Servipetrol	43
Tabla 13. Composición química de la chatarra de cobre	56
Tabla 14. Composición química de la colada prototipo.....	56

RESUMEN

TITULO: DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN HORNO DE FUSIÓN BASCULANTE PARA ALEACIONES NO FERROSAS. EMPRESA J'S SERVIPETROL LTDA.*.

AUTOR: Natalia Alejandra Niño Mantilla**

PALABRAS CLAVES: Horno basculante, chatarra de cobre, fundición.

DESCRIPCIÓN:

El horno de crisol basculante es una opción bastante práctica, son hornos móviles apoyados sobre un sistema de sustentación el cual se inclina alrededor de un eje horizontal para efectuar la colada sin tener que extraer el crisol de la carcasa metálica, simplificando así el trabajo del operador, el metal es transferido a los moldes en una cuchara, con la excepción de casos especiales en que es vaciado directamente. Comúnmente se les utiliza cuando es necesaria una producción relativamente grande (que exceda los 100 kg) de aleación determinada.

J'S SERVIPETROL LTDA. es una empresa metalmecánica ubicada en el km 5'5 vía a Girón por el anillo vial, con diez años de experiencia, dedicada a la fabricación, comercialización y alquiler de equipos móviles; transporte terrestre de carga extradimensionada, seca y líquida; soluciones integrales en el servicio de catering, para la industria petrolera y afines.

Su orientación a través de los años ha sido ser autosuficiente, crear lo que necesita para el producto que le compete (en este caso los equipos móviles), en su planta y necesitar el mínimo de proveedores. De esta premisa nace la idea de crear un horno de fusión basculante, que a futuro pudiera reemplazar la compra a externos de piezas metálicas, tales como desagües, grifos, entre otros que se utilizan a diario en la fabricación de dichos equipos. Por lo tanto se piensa reutilizar la chatarra de metal que queda tras la producción, el cual se desecha originando cuantiosas pérdidas y un daño ambiental importante; en la fundición de lingotes como una prueba piloto, que como un primer paso brinde mayores ingresos a la empresa y posteriormente tras la experimentación, la fundición de las piezas que se necesiten para ser implementadas en los productos ofrecidos.

*Trabajo de grado.

**Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica. Director: Arnaldo Alonso Baquero.

SUMMARY

TITLE: DESIGN AND FACTURE OF TILTING FURNANCE FOR MELTING ALLOYS FERROUS. COMPANY J'S SERVIPETROL LTDA*.

Author: Natalia Mantilla Alejandra Child **

KEYWORDS: tilting furnace, scrap copper, foundry.

DESCRIPTION:

The tilting crucible furnace is a very practical option, are supported on a mobile furnace support system which is tilted about a horizontal axis to make the laundry without having to remove the crucible of the metal casing, thereby simplifying the operator's job, the metal is transferred to the molds in a ladle, except special cases where it is emptied directly. They are commonly used when you need a relatively large production (in excess of 100 kg) given alloy.

J'S SERVIPETROL LTDA. is an engineering company located in the 5.5 km route to the ring road Girón, with ten years of experience, dedicated to the manufacture, sale and rental of mobile equipment; extra size land freight transport, dry and liquid; solutions in the catering services for the oil industry and related industries.

His guidance through the years has been self-sufficient, you need to create the product that is responsible (in this case the mobile equipment) in its plant and require minimal provider. From this premise the idea to create a tilting melting furnace, which in future could replace the external purchase of metal parts, such as drains, faucets, and other daily used in the manufacture of such equipment. Therefore plan to reuse the scrap metal left after production, which is disposed of causing heavy losses and significant environmental damage, in casting ingots as a pilot, as a first step to provide increased revenue to the company and then after the experiment, the casting of the parts necessary to be implemented in the products offered.

*Degree work.

**Physical / Chemical Engineering Faculty. School of Metallurgical. Director: Arnaldo Alonso Baquero.

INTRODUCCIÓN

J'S SERVIPETROL LTDA. Es una empresa metalmecánica ubicada en el km 5'5 vía a Girón por el anillo vial, con diez años de experiencia, dedicada a la fabricación, comercialización y alquiler de equipos móviles; transporte terrestre de carga extradimensionada, seca y líquida; soluciones integrales en el servicio de catering, para la industria petrolera y afines. En los últimos años se ha posicionado como una de las empresas más importantes del país en lo que a soluciones integrales en el campo petrolero se refiere, para finales del 2010 la empresa fue triplemente certificada por **INCOTEC** en las normas **OSHAS 18001-2007-NTC OSHAS 18001-2007, ISO 14001-2004-NTC ISO 14001 – 2007, ISO 9001-2008-NTC ISO 9001-2008**, gracias a su constante evolución, actualización, desarrollo y su preocupación por los productos de alta calidad.

Debido a la considerable competitividad en el medio, la empresa **JS SERVIPETROL LTDA.** ha incursionado en varias ramas de la metalurgia, con el fin de ir perfeccionando su producto y de aumentar su rentabilidad, de ahí su interés por emprender investigaciones en el área de la fundición, la cual hasta el momento no la abarca ninguna empresa afín. Su orientación a través de los años ha sido ser autosuficiente, crear lo que necesita para el producto que le compete (en este caso los equipos móviles), en su planta y necesitar el mínimo de proveedores. De esta premisa nace la idea de crear un horno de fusión basculante, que a futuro pudiera reemplazar la compra a externos de piezas metálicas, tales como desagües, grifos, entre otros que se utilizan a diario en la fabricación de dichos equipos.

Por lo tanto se piensa reutilizar la chatarra de metal que queda tras la producción, el cual se desecha originando cuantiosas pérdidas y un daño ambiental importante ; en la fundición de lingotes como una prueba piloto, que como un primer paso brinde mayores ingresos a la empresa y posteriormente tras la experimentación , la fundición de las piezas que se necesiten para ser implementadas en los productos ofrecidos.

De esta forma se da inicio a un estudio amplio, acerca de la importancia de un horno basculante de fusión y su implicación en la empresa **J`S SERVIPETROL;**

acto seguido se planeara su diseño y posterior fabricación, que finalizara con la puesta en marcha del horno y una colada en lingoteras.

Todo el proceso se llevara a cabo con la asesoría y la ayuda conjunta de la empresa y la **ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES** de la **UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y fabricar un horno de fusión basculante para metales no ferrosos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Establecer a partir de la revisión bibliográfica los principales factores que intervienen en el desarrollo del proceso de diseño y fabricación de un horno tipo basculante para fundir metales no ferrosos.
- Diseñar y construir el horno basculante basándose en los estudios realizados anteriormente para su posterior puesta en marcha con ayuda de medios informáticos (Solidworks).
- Seleccionar desde el punto de vista metalúrgico los materiales a emplear en el horno y diseñar la técnica de fusión.
- Elaborar lingotes de metales no ferrosos y evaluar visualmente su calidad.

2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Desde hace por lo menos cinco mil años se viene haciendo uso de utensilios de cobre y bronce, las composiciones de bronce y latones de los tiempos bíblicos han continuado empleándose a través de los tiempos hasta nuestros días; solo al comienzo del siglo XX se hicieron comerciales metales como el aluminio, níquel, magnesio y más recientemente, el titanio, berilio, cerio, cobalto y cromo, por lo que pudieron utilizarse industrialmente en aleaciones en las que estos elementos intervienen como metal base o como aleantes.

En pequeñas funderías se producen a la vez bronce y aleaciones ligeras; en este caso, hay que tener mucho cuidado en la clasificación de los diferentes desperdicios utilizados en la carga, especialmente porque la contaminación de los bronce normales de estaño con pequeñas cantidades de aluminio ocasiona pérdida de resistencia lo cual aumenta el número de piezas defectuosas. Los bronce y latones son las aleaciones más empleadas en fundición. Las aleaciones especiales, como los llamados bronce al aluminio, latones de alta resistencia y los cupro-niqueles, estos últimos requieren más atención durante la fusión y un tratamiento más cuidadoso en lo que se refiere a los moldes, temperatura de colada y en los diseños de alimentación de los moldes. [1]

2.1 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL COBRE.

El cobre tiene una gran variedad de aplicaciones a causa de sus ventajosas propiedades (Tabla 1), como son su elevada conductividad del calor y electricidad, así como su maleabilidad y ductilidad, además de su belleza. Debido a su extraordinaria conductividad, sólo superada por la plata, se ha convertido en el material más utilizado para fabricar cables eléctricos y otros componentes eléctricos o electrónicos. Comparado con otros metales, por ejemplo con el aluminio, su conductividad es solo un 63% de la conductividad del cobre; la conductividad eléctrica es 56% para el cobre y 34% para el aluminio.

Su ductilidad permite transformarlo en cables de cualquier diámetro, a partir de 0,025mm. La resistencia a la tracción del alambre de cobre estirado es de unos 4200 Kg/cm². Puede usarse tanto en cables y líneas de alta tensión exteriores, como en el cableado eléctrico en interiores, cables de lámparas y maquinaria eléctrica en general: generadores, motores, reguladores, equipos de señalización, aparatos electromagnéticos y sistemas de comunicaciones.

El cobre puro es blando, pero puede endurecerse posteriormente. Las aleaciones de cobre, mucho más duras que el metal puro, presentan una mayor resistencia y por ello no pueden utilizarse en aplicaciones eléctricas. No obstante, su resistencia a la corrosión es casi tan buena como la del cobre puro y son de fácil manejo. Se usa el cobre en aleaciones con oro, plata y níquel, y es un componente importante en aleaciones como el monel, el bronce de cañón y la plata alemana o alpaca.

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas del cobre. [3]

Peso específico	8.9 Kg/dm ³	Temperatura de recocido	500°C
Peso atómico	63,54	Temperatura de forja	750°C – 900°C
Densidad	8,96 g/cm ³	Punto de ebullición	2567°C
Temperatura de fusión	1083°C	Carga de rotura	3222 (Kg/mm ²)
Coefficiente de dilatación lineal	16.5x10 ⁻⁶	Resistencia a la tracción	210 MPa
Conductividad eléctrica	58,108 x 10 ⁶ S/m	Conductividad térmica	400 W/(K·m)
Dureza de Mohs	3.0	Limite elástico	33.3MPa

2.2 TIPIFICACIONES DE LAS ALEACIONES DE COBRE.

El código UNS (siglas en inglés que se refieren al Sistema Unificado de Numeración de Metales y Aleaciones) para las aleaciones de cobre se compone de cinco dígitos después de la letra C (CXXXXX), los tres primeros dígitos corresponden a los números de aleación asignados por la CDA (Copper

Development Association) y los dos últimos corresponden a modificaciones de la aleación original. La tabla 2 indica la designación de las aleaciones de fundición de cobre desde C80000 hasta C99999. [2]

Tabla 2. Designación de las aleaciones de fundición de cobre. [2]

NOMBRE GENÉRICO	NUMERO UNS	COMPOSICIÓN
Cobres	C80100 – C81100	> 99 % Cu
Aleaciones ricas en cobre	C81300 – C82800	> 94 % Cu
Latones cobrizos y cobrizos emplomados.	C83300 – C85800	Cu-Zn-Sn-Pb (75-89%Cu)
Latones ordinarios y ordinarios emplomados.	C85200 – C85800	Cu-Zn-Sn-Pb (57-74%Cu)
Bronces al manganeso y bronce al manganeso emplomados.	C86100 – C86800	Cu-Zn-Mn-Fe-Pb
Bronces al silicio, latones al silicio.	C87300 – 87900	Cu-Zn-Si
Bronces al estaño y bronce al estaño emplomados.	C90200 – C94500	Cu-Sn-Zn-Pb
Bronces al níquel – estaño.	C94700 – C94900	Cu-Ni-Zn-Sn-Pb
Bronces al aluminio.	C95200 – C95810	Cu-Al-Fe-Ni
Cuproníqueles.	C96200 – C98800	Cu-Ni-Fe
Platas níquel.	C97300 – C97800	Cu-Ni-Zn-Pb-Sn
Cobres emplomados.	C98200 – C98000	Cu-Pb
Aleaciones diversas.	C99300 – C99750

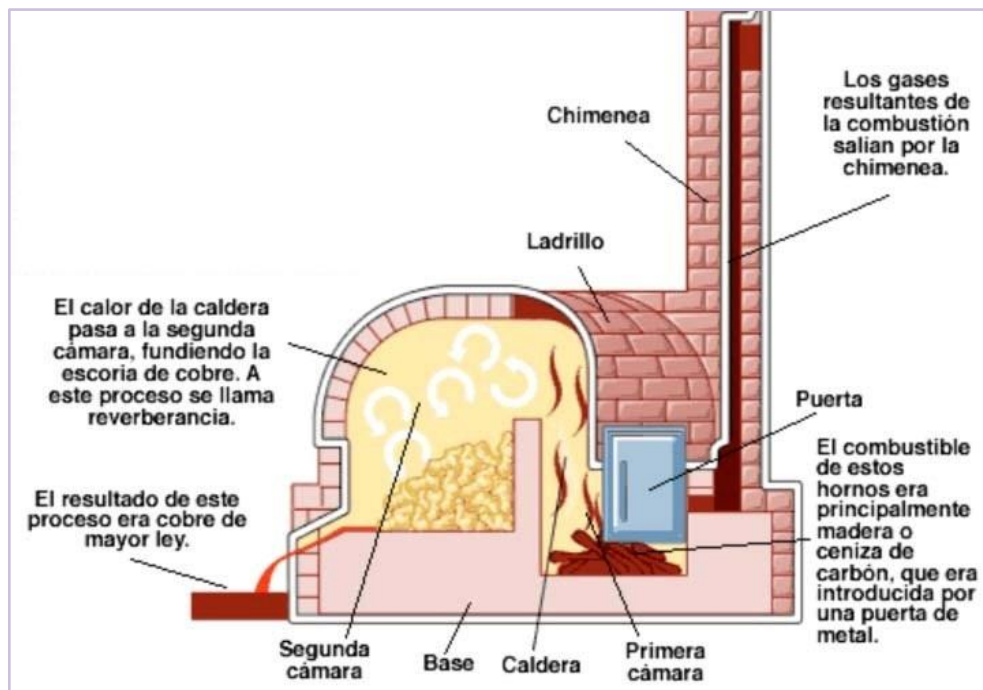
3. HORNOS DE FUSIÓN EMPLEADOS EN LA FUSIÓN DEL COBRE

Los hornos que se usan para fundir metales y sus aleaciones varían mucho tanto en capacidad como en tamaño, van desde los pequeños hornos de crisol que contienen unos cuantos kilogramos de metal a hornos de hogar abierto hasta 200 toneladas de capacidad, su elección depende de la capacidad de carga que se tenga para la fusión; suelen ser de uno de los siguientes tipos: hornos de foso calentados con gas (figura 2); hornos basculantes calentados con aceite o gas; hornos de reverbero (figura 1); hornos de llama directa calentados con aceite o gas, estáticos o semirrotativos y hornos eléctricos de arco o de inducción. Los hornos de fusión han variado poco durante estos últimos años, pero recientemente han mejorado en sus diseños, volviéndolos completamente automáticos. Los hornos de inducción sin núcleo con la frecuencia normal de la red ganan cada día más terreno en la fusión de aleaciones de cobre, es un tipo de horno de fusión de crisol que no requiere un equipo de conversión de frecuencia, lo que hace disminuir considerablemente el precio del equipo. Se puede realizar en todos los tamaños hasta una capacidad de 15 Ton.

En general, se pueden considerar los hornos como pertenecientes a dos tipos: aquellos en los que el metal está protegido durante la fusión y aquellos otros en los que el metal no tiene protección y está en contacto directo con la llama y los productos de la combustión. En el primer tipo se incluyen los hornos que funden la carga en crisoles, y en el segundo los hornos de reverbero y los semirrotativos calentados por gas o aceite. Para la elección entre uno de estos dos tipos deben tenerse en cuenta varios puntos de vista, especialmente las pérdidas en la fusión. Las consideraciones más importantes para las instalaciones de hornos son la rapidez de fusión, el rendimiento del combustible, el costo de mano de obra (tanto en el funcionamiento normal como en el sostenimiento), la facilidad de funcionamiento, las pérdidas de metal en la fusión y la calidad del caldo resultante. Debe notarse que no se incluyen los costos de primera instalación, porque ello

podría producir con fusiones con relación al rendimiento y a las pérdidas de metal y con ello a la economía final. [1]

Figura 1. Horno de reverbero. (Usado en Chile para fundir trozos de cobre considerados desechos para mejorar su ley).



No hay ningún horno que pueda considerarse el mejor. Los hornos de foso calentados con coque aún se emplean mucho por su pequeño costo de primera instalación y su sencillez, aunque estos factores están contrarrestados por su bajo rendimiento. Producen, sin embargo, un metal de excelente calidad y las pérdidas son bajas por la protección que aseguran los crisoles. Es de presumir que todavía se usan durante mucho tiempo. Los hornos de foso se construyen generalmente en baterías, con los conductos de salida de humos conectados a un conducto común que termina en una elevada chimenea.

Cuando es posible disponer de gas a precio razonable puede resultar ventajoso transformar las baterías de hornos de foso calentadas por coque

para efectuar la calefacción por gas: las ventajas son la menor necesidad de mano de obra para el funcionamiento del horno y ninguna para el mantenimiento y limpieza del fuego. Se ahorra el espacio destinado a almacenamiento del coque y la necesidad de secar este.

Figura 2. Horno de foso.



Una mezcla de gas y aire se puede ajustar a la vista si se tiene experiencia, consiguiendo un buen rendimiento térmico y una atmósfera ligeramente oxidante. La fusión es más rápida y la duración de la misma (lo cual es más importante) se puede conocer exactamente, facilitándose el ajuste de los programas de trabajo. Un inconveniente es que los crisoles se vidrian fácilmente y su vida puede acortarse; estos inconvenientes están compensados por ganancias económicas.

Los hornos calentados por gas son particularmente fáciles de manejar y controlar; el gas tiene algunas ventajas sobre el aceite, aunque su precio por caloría es más elevado. Comparando con los costos de los revestimientos de

los hornos semirrotativos o de reverbero, resultan más caros los crisoles pero como el precio del metal es más elevado y las pérdidas son más bajas, resulta que, aunque parezca sorprendente, la ventaja final se inclina hacia la fusión en crisoles. Los hornos semirrotativos y de reverbero, tipos de hornos de llama directa, tienen la ventaja importante de una fusión más rápida. Con hornos modernos y conociendo bien las condiciones de fusión no se encuentran diferencias de calidad, aunque ha de ponerse mucho cuidado en el ajuste de los quemadores para reducir a un mínimo las pérdidas de metal.

El horno de crisol basculante (figura 3) es una opción bastante práctica, son hornos móviles apoyados sobre un sistema de sustentación el cual se inclina alrededor de un eje horizontal para efectuar la colada sin tener que extraer el crisol de la carcasa metálica, simplificando así el trabajo del operador, el metal es transferido a los moldes en una cuchara, con la excepción de casos especiales en que es vaciado directamente. Comúnmente se les utiliza cuando es necesaria una producción relativamente grande (que exceda los 100 kg) de aleación determinada. El cilindro metálico está recubierto en su interior por capas sucesivas de ladrillo refractario, el cual ayuda a controlar las pérdidas de calor al exterior, utiliza un crisol fijo que reposa sobre una base refractaria, el quemador se ubica de forma tal que no vaya a influir sobre el comportamiento basculante del horno, que el fuego realice una trayectoria en espiral alrededor de toda la superficie exterior del crisol y que pueda mantener el calor durante la colada.

El crisol debe precalentarse en llama corta hasta que el crisol se ponga al rojo, este es el momento justo para cargarlo manteniéndolo de forma vertical. La carga se agrega en pedazos (precalentados para evitar la oxidación).

La desventaja de este horno es que el punto de descarga acompaña el movimiento basculante complicando dicho proceso, es de vital importancia

realizarlo con la debida precaución para evitar posibles accidentes gracias a los humos y el metal líquido contenido dentro del crisol.

Figura 3. Horno de crisol basculante.



3.1 CRISOLES USADOS EN LA FUSIÓN DE COBRE.

El crisol se elige en función de su compatibilidad química con la fusión, su capacidad de manejo de temperatura, su resistencia al choque térmico, su baja conductividad térmica, y su baja porosidad.

El crisol de carburo de silicio es el más usado en la fundición de cobre y sus aleaciones.

Figura 4. Crisol de carburo de silicio. [6]



Procedimiento para el calentamiento del crisol:

Subida gradual de temperatura:

- Intervalo de 30 minutos a 200°C
- Subir la temperatura hasta 950°C. A la potencia máxima del horno. (Temperatura de cámara)
- Intervalo de 60 minutos a 950°C.
- Cargar el crisol.
- Regulación a la temperatura del procedimiento del usuario

Consejos útiles para mejor utilización de los crisoles

- Posicionar el crisol en el centro del horno sobre una base adecuada.
- Trabajar con la puerta del horno cerrada.

- Durante las pausas, cubrir el baño con una tapa.
- Controlar la temperatura del baño.
- Limpiar el crisol por turno de trabajo.
- Ajustar los quemadores con un porcentaje de CO₂ adecuado.
- Mantener en buen estado los revestimientos y quemadores de los hornos.

3.2 MATERIALES REFRACTARIOS PARA EL REVESTIMIENTO DE UN HORNO DE CRISOL BASCULANTE.

Los materiales refractarios se utilizan para construir las paredes, soleras y bóvedas de los hornos, dependiendo del tipo de horno e incluso de la zona del mismo, igualmente dependiendo del tipo de horno, se utiliza diferentes materiales refractarios, los cuales tienen la cualidad de resistir altas temperaturas, el choque térmico y tienen un bajo coeficiente de conductividad térmica.

Los materiales refractarios de acuerdo a la porosidad se clasifican en:

Refractarios densos:

- Porosidad menor al 45%.
- Su función principal es la de resistir las altas temperaturas y los ambientes agresivos.
- Son resistentes al ataque químico, a la abrasión y soportan esfuerzos mecánicos importantes.
- Su utilización en los hornos es en la zona que va a estar en contacto con el medio agresivo, (escoria, metal y vapores).

Figura 5. Material refractario denso.



Refractarios aislantes:

- Porosidad superior al 45%.
- Sirven como barrera térmica (minimizan las pérdidas de calor en el horno).
- No son resistentes al ataque químico, a la abrasión y tienen malas propiedades mecánicas.
- Se colocan como una primera capa antes de los refractarios densos.

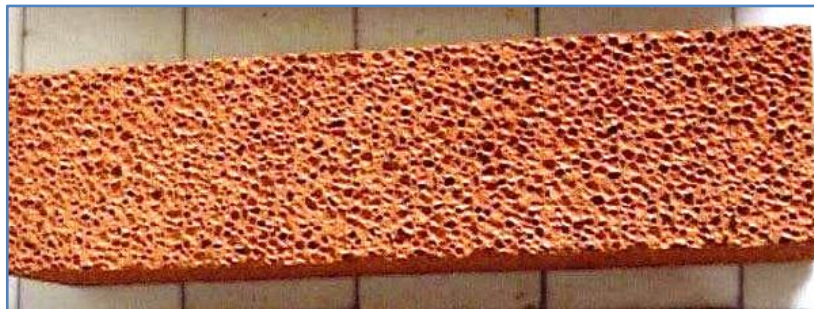
Figura 6. Material refractario aglomerante



Es un concreto refractario silico–aluminoso denso, de fraguado hidráulico diseñado para la construcción rápida y económica de mamposterías monolíticas. Posee excelente resistencia a la desintegración por choque térmico y baja conductividad térmica.

La temperatura máxima que soporta es de 1540 C, tiene un tamaño del grano 3 mm, se utiliza en calderas, hornos de tratamiento térmico y hornos de fusión, para la construcción de puertas y tapas, el vaciado de toda clase de piezas de forma especial o de gran tamaño como, bloques para quemadores, plataformas de carros de hornos túneles, revestimiento de calderas, etc.

Figura 7. Material refractario aislante.



Los materiales refractarios también se clasifican según su naturaleza química:

Refractarios ácidos: (SiO_2). Resistentes a altas temperaturas, reacciona con otros elementos (refractarios, cenizas, escorias, fundentes).

Refractarios básicos: (CaO o MgO); Resistentes a altas temperaturas, reaccionan con elementos ácidos.

Refractarios neutros: (Alúminas, Al_2O_3 , $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$). Resistentes a altas temperaturas y no reaccionan.

La idea fundamental de la implementación de refractarios en el interior de un horno de fusión es básicamente reducir las pérdidas de calor y disminuir el gasto de combustible ocasionado por las mismas.

Para realizar los pegues entre ladrillo y ladrillo se utiliza cemento refractario de altísima resistencia térmica, este también adiciona de forma apisonada a la secciones que manejen las temperaturas más altas como los son, la tapa y la chimenea.

4. PROCESO DE FUNDICIÓN DEL COBRE.

Por el proceso de fundición se obtienen piezas que se utilizan en múltiples industrias. Desde piezas para procesos mecánicos en general, eléctricas, para el sector automotriz hasta piezas utilizadas en construcciones espaciales.

Por otro lado el fundidor intenta siempre obtener una pieza con el menor costo de fabricación, pero se debe tener en cuenta que el costo de fabricación no debe reducirse jamás sacrificando la calidad de la pieza. [7]

4.1 ATMÓSFERA DE LOS HORNOS

Los hornos y especialmente los calentados por gas o aceite se pueden ajustar para obtener una atmósfera reductora (rica en combustible y deficiente en aire), una atmósfera oxidante (falta de combustible y exceso de aire), o una atmósfera neutra. Hubo un tiempo en que se creyó que la fusión debía realizarse en una atmósfera reductora y que debían evitarse las condiciones oxidantes. Si bien es cierto que las aleaciones no férreas se pueden oxidar tanto que resulten luego casi imposibles de colar, hoy se admite que debe efectuarse la fusión en atmósfera ligeramente oxidante, porque operando en condiciones reductoras resulta un metal saturado de gases.

La mejor manera de determinar el estado de la atmósfera del horno durante la fusión es el análisis químico de los gases que salen del horno. En las funderías pequeñas no suelen encontrarse facilidades para realizar estos análisis, empleándose un método práctico que da buenos resultados. Consiste en exponer a los gases de salida una laminilla de zinc puro bien limpia. El resultado del ensayo se obtiene por observación de los colores que toma la varilla de zinc después de una exposición a la atmósfera de la llama durante un cuarto a medio minuto. La gama de colores va de negro a pardo, dorado y pajizo en condiciones reductoras; no hay cambio de color o aparece un ligero tono grisáceo bajo

condiciones ligeramente oxidantes. La laminilla de zinc debe mostrar una superficie metálica limpia, recién preparada por limpieza con cepillo de alambres, esmerilado y limado. La tabla 3 recoge los colores y sus indicaciones. El ensayo del zinc permite corregir las relaciones combustible/aire para conseguir la atmósfera correcta.

Tabla 3. Ensayo de la laminilla de zinc para determinar la atmósfera de los hornos.

COLORES	INDICACIONES
Depósito de humo	Atmósfera muy reductora
Negro a dorado	Atmósfera reductora
Dorado a amarillo o pajizo	Atmósfera reductora
Pajizo a amarillo claro	Atmósfera solo ligeramente reductora
Sin colorear	Atmósfera neutra o ligeramente oxidante
Gris a gris pizarra	Atmósfera fuertemente oxidante

4.2 PROCEDIMIENTOS DE DESGASIFICACIÓN

Para disminuir la absorción de los gases y evitar las reacciones metal-gas es necesario implementar una serie de precauciones durante la fusión de las aleaciones. Se debe realizar la prueba de solidificación en una muestra de aleación a precisión reducida para comprobar su grado de gasificación. Es evidente la necesidad de conocer las reacciones de los gases, ya que en la actualidad se emplean cada vez en mayor escala las aleaciones propensas a la absorción de gases, así como los hornos de fusión de llama directa, porque funden más rápidamente y economizan combustible. Para que la solución fundida sea competitiva en la fabricación de piezas se requiere que ellas tengan las siguientes características:

- Buen acabado superficial.
- Precisión.
- Que cumplan con las propiedades mecánicas exigidas.
- Bajo precio.
- Que sea pura y homogénea.

Es importante controlar la absorción de hidrogeno. Este es el gas que causa la mayoría de los poros se recomienda realizar la fusión en crisoles bajo condiciones ligeramente oxidantes con un fundente adicionado que además de proteger el baño, lo limpia y lo purifica. Los crisoles y su contenido deben calentarse hasta una temperatura ligeramente superior a la de la colada, con el fin de compensar el enfriamiento producido al extraer el crisol y desescoriar. Antes de colar las aleaciones de cobre es necesario desoxidar el baño considerándose como una operación normal; se emplean de 60 a 90 gramos de aleación cobre –fosforo al 18 % P. El comercio suministra actualmente desoxidantes con composiciones registradas, perfectamente dosificados, y cuyo empleo es conveniente porque ahorran tiempo y son más eficaces. [8]

Muchas funderías han comprobado que se puede garantizar que la aleación estará libre de gases cuando se cuela empleando procedimientos de oxidación y luego desoxidación. Cuando las condiciones favorecen la absorción de gases, o cuando se trata de aleaciones particularmente propensas a tal absorción, como las que contienen níquel, es conveniente añadir un agente oxidante durante la fusión. Este tratamiento doble exige mantener unas condiciones equilibradas para conseguir una oxidación suficiente para que asegure una buena protección, pero al mismo tiempo debe evitarse una oxidación excesiva, porque de otra manera el consumo posterior de desoxidante sería exagerado. [1]

4.3 FUNDENTES.

Los fundentes son una serie de sustancias que actúan de una o más de las formas siguientes:

- Como cubiertas protectoras que impiden el contacto con los gases y las consiguientes oxidaciones y pérdidas de metal.
- Como agentes oxidantes y de eliminación de hidrogeno.
- Como agentes limpiadores y desoxidantes.

La primera función la desempeñan materias que forman una cubierta sobre el baño e impiden la oxidación; pueden ser sustancias que forman una escoria fluida o materiales infusibles tales como el carbón vegetal o mezclas del mismo y otras sustancias. Es frecuente mezclar sustancias del primer tipo con otras del segundo, obteniéndose fundentes de doble función. También es frecuente mezclar materiales del primer grupo con materiales del tercero. Los fundentes pueden ejercer su acción por formar una barrera de escoria sobre la superficie del metal y por oxidación, por un efecto mecánico, tal como el desprendimiento de gas y burbujeo a través del baño y finalmente por combinación de dos o más de estas formas de acción.

Los agentes desgasificantes son normalmente óxidos metálicos y sustancias que pueden producir oxígeno, empleados sobre la base de que la presencia de oxígeno elimina el hidrógeno.

4.4 FUNDENTES PARA ALEACIONES CUPROSAS

De acuerdo con su naturaleza y la acción que desarrollan en la fusión de estas aleaciones los fundentes se pueden clasificar en las siguientes categorías:

- Fundentes oxidantes como el aire que es frecuentemente utilizado en la metalurgia del cobre por inyección en el horno de reverbero para eliminar impurezas; el nitrato de sodio que es un oxidante energético implementado en la

fusión de los cupro-níqueles con contenidos elevados de níquel , con el fin de evitar la sulfuración; Mezcla de carbonato de sodio y carbonato de calcio que crea una atmósfera ligeramente oxidante por el desprendimiento de gas carbónico; otra buena opción es , una mezcla de bióxido de bario, bióxido de manganeso , oxido cúprico con adición de sílice o ácido bórico , para controlar la acidez , usada frecuentemente para desgasificar y desulfurar bronces.

- Fundentes reductores, dentro de esta categoría se encuentra el carbón de leña que es de uso común en la fusión de latones, a 1250-1300°C se constituye en un reductor energético del cobre oxidado, se recomienda utilizarlo en estado de ignición; el fosforo en forma de aleación cupro-fosforo; el silicio como cupro- silicio entre el 10% y el 12% de silicio; el arsénico como cupro- arsénico al 10% de arsénico.

Si la aleación no puede contener trazas de estos metaloides, la desoxidación puede hacerse con cianuros alcalinos o carburos de calcio, a una temperatura comprendida entre 1200 y 1300°C.

El litio se usa generalmente como desoxidante y refinador de grano en las aleaciones base cobre. Es además un buen desgasificante al formar hidruro de litio LiH; otros fundentes oxidantes utilizado en las aleaciones cuprosas son, el bromuro de calcio, aluminio, bromuro de manganeso, sodio boro, magnesio y calcio.

- Fundentes de protección o cubierta, estos fundentes no ejercen ninguna acción química sobre el metal, ni atacan las paredes de los crisoles o del horno .En esta categoría se mencionan los siguientes fundentes:
Silicato de sodio, se utiliza como fundente de protección del cupro- níqueles, además es un buen disolvente de los óxidos metálicos, por esta razón, se usa en la fusión de chatarra oxidada.

Bórax deshidratado, se emplea como fundente de cobertura en la fusión de los bronce. Se caracteriza por ser muy buen disolvente de los óxidos metálicos, posee un índice de acidez elevado.

Vidrio de botella molido (vidrio verde), se utiliza frecuentemente mezclado con el bórax .Esta mezcla limpia el metal liquido de los óxidos metálicos, sin afectar la vida de los crisoles.

- Por ultimo existe un grupo más de fundentes utilizados en las aleaciones cuprosas que son los fundentes limpiadores, su objetivo es liberar las partículas metálicas que se encuentran aprisionadas por la escoria y coleccionar las inclusiones no metálicas que se encuentran en suspensión en la aleación liquida. De esta manera, se recupera el metal base y se limpia la aleación de las impurezas. [14]

4.5 TÉCNICA DE FUSIÓN EMPLEADA EN EL COBRE Y SUS ALEACIONES

Primero se calienta el crisol hasta que tome un color rojo cereza, luego se introduce en el crisol el cobre en trozos no muy grandes, añadiéndole materiales a base de vidrio, sosa, bórax, entre otros que hacen las veces de fundentes, ya que, por tener un punto de fusión más bajo que el del cobre, funden primero y forman una capa protectora bajo la cual se recoge el cobre a medida que se inicia y continua la fusión: el metal queda así protegido de la absorción de los gases que se desarrollan en la combustión y en el aire.

Cuando todo el cobre está fundido, se procede a una primera desoxidación introduciendo pequeñas cantidades de cobre al silicio, al manganeso y más comúnmente al fósforo; estos metales, combinándose con el oxígeno que el cobre puede haber absorbido durante la fusión, forman óxidos que pasan a las escorias.

Antes de proceder a realizar la colada se debe medir la temperatura, ella debe sobrepasar de 80 a 100° C la temperatura de fusión del metal en cuestión.

Terminada esta operación se deja calentar suficientemente la aleación y, después de quitar las escorias que flotan sobre el baño, con espumadores de hierro perforado, se la vacía en moldes metálicos, generalmente paralelepípedicos, para obtener lingotes de forma y peso lo más manejables posibles (10-15Kg).

Para asegurarse de la exacta composición de la aleación, porque, no obstante aunque se tomen todas las precauciones, siempre se producen pérdidas por oxidación, se practica el análisis químico a fin de realizar las necesarias correcciones y adiciones adecuadas para dar al metal la composición requerida.

Aunque no se obtienen los resultados que se consiguen empleando materiales nuevos en la composición de la aleación, se pueden utilizar, por razones económicas, para la fundición de las piezas, particularmente si no se exigen determinadas y concretas características, chatarra y viruta de bronce, que deben estar lo más limpias posible, puesto que el aceite y los barnices producen gases fácilmente absorbibles por la aleación. [9]

Se recomienda que la cantidad de viruta deba de regularse con precisión, debido a sus efectos negativos que ocasionan en la sanidad de la aleación debida a su bajo rendimiento y al hecho de que es un material difícil de digerir por parte de ciertos hornos.

5. RECICLAJE DEL COBRE

Cada día son más las empresas que hacen de la gestión ambiental un componente básico de su gestión productiva. Una de las acciones más comunes es el reciclaje, proceso que se combina con el cuidado del medio ambiente y la reducción de costos.

Si bien los yacimientos minerales se pueden agotar, difícilmente nos quedaremos sin cobre. Según la Copper Development Association, los recursos mundialmente conocidos del metal se estiman en 5,8 trillones de libras ($15,26 \times 10^{18}$ kg aprox.), de las cuales solamente un 12% ha sido explotado a lo largo de la historia. De este porcentaje, se estima que el 80% circula aún por el mundo.

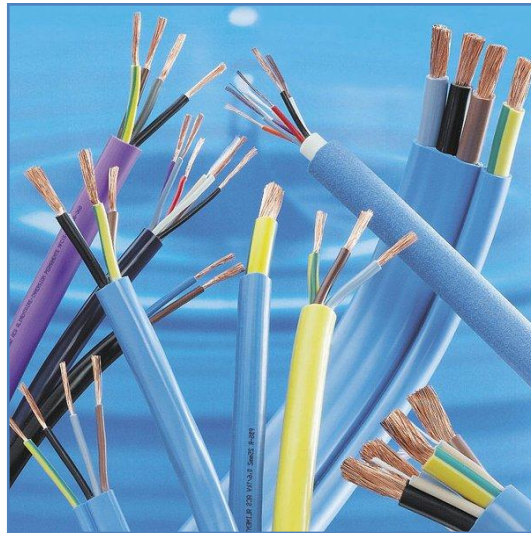
El cobre y sus derivados, ya sea en estado puro o contenidos en un producto final, pueden ser reciclados en todas las etapas del ciclo de vida del producto. Por su parte, estos materiales tienen amplios sectores de aplicación productiva. Las tasas más significativas de uso de cobre reciclado parecen estar en Europa, con un 45% (según datos del International Copper Study Group). Por su parte, Estados Unidos presenta un 33,3% (según datos de United States Geological Survey). [8]

Mientras más desarrollada es una economía, más cobre consume. Por lo tanto, como el cobre es de alta durabilidad, la necesidad de más metal crece más rápidamente que la oferta de residuos.

Por otra parte, hoy en día, la mayor parte del cobre se utiliza bajo la forma de alambres y cables eléctricos, los que requieren del cobre puro refinado.

Los alambres domésticos (figura 8) deben tener un 99,9% de pureza, porque la más pequeña contaminación reduce su conductividad. Solo un 0,05% de fósforo o un 0,08% de hierro, hacen disminuir la transmisión de electricidad un tercio. [10]

Figura 8. Alambre de cobre usado como conductor de electricidad.



5.1 MÉTODO DEL RECICLAJE DEL COBRE.

Los procesos para reciclar el cobre varían según la composición del residuo.

Los residuos de cobre puro pueden ser fundidos directamente. Su pureza se comprueba mediante análisis químicos cuando aún está en estado líquido. Luego se desoxida y lleva a formas intermedias, como lingotes, para usarlos en otros procesos.

Los residuos que contienen óxidos se funden para formar ánodos que luego se van a electrorrefinación para obtener el nivel de pureza deseado.

En algunas aleaciones, como el latón y el bronce, el residuo de cobre se funde y forma más aleaciones. En este caso, no se vuelve a refinar.

Si el residuo de cobre está mezclado con otros minerales, se evalúa la relación costo-beneficio del proceso de volver a refinarlo. De esta forma, si esta relación es muy alta, como en el caso de la lata y el níquel que sólo se pueden separar

mediante electrorrefinación, el residuo de cobre se destina para fines no eléctricos, es decir, que no requieren niveles de alta pureza.

En la figura 8 se observa una planta industrial recicladora de cobre, en la cual trituran los cables de cobre para separarlos del plástico aislante.

Figura 9. Planta industrial recicladora de cobre.



La figura 8 muestra una planta de reciclaje de alambre de cobre usado en redes eléctricas. Este proceso se divide en dos fases que son:

- *Descarga y clasificación:* La materia prima de la que la planta de reciclaje parte procede de: Cable de cobre procedente de instalaciones eléctricas, comunicaciones, ordenadores, etc.
- *Procesamiento:* Durante el procesamiento la chatarra se pasa por trituradoras, separando el metal de los otros desechos. En este caso el plástico del alambrado se envía a una planta de tratamiento de plástico para su reciclado, transformándose nuevamente en materia prima para su reutilización. [11]

6. METODOLOGÍA

6.1 ESTUDIO TEÓRICO DE LAS ALEACIONES DE COBRE TRABAJABLES EN LA FUNDICIÓN POR MEDIO DE UN HORNO BASCULANTE.

El principal uso que tendrá el horno basculante de la empresa J'S SERVIPETROL LTDA., será el reciclaje de los residuos de materia prima de la empresa J'S Servipetrol compuesta de metales no ferrosos.

La mayor parte de la chatarra se compone de alambre de cobre para redes eléctricas. (Ver tabla 4):

Tabla 4. Composición química del alambre de cobre usado en redes eléctricas.

Elemento	Composición
Cobre	99.9 %
Oxigeno	0,04%

Tabla 5. Aleaciones de cobre que se podrán obtener a partir de chatarra de cobre en el horno basculante de la empresa J'S Servipetrol. [12]

Composición química, % peso.	Aplicaciones típicas
70 Cu, 30 Zn	Accesorios de lámparas, cerrojos, cerraduras, bisagras, accesorios de fontanería.
60 Cu, 40 Zn	Intercambiadores de calor, tuercas y pernos grandes para arquitectura.
Bronces	Muelles de elevada resistencia mecánica, casquillos y tapones, tubos flexibles, manguitos, cojinetes, varillas para soldaduras y otras numerosas aplicaciones en metalurgia.
89%Cu, 11%Al	Construcción naval para cuerpos de bombas, ejes de bombas, hélices, cadenas y accesorios diversos.

Como se puede observar el alambre de cobre utilizado en redes eléctricas tiene un elevado contenido de cobre y bajo porcentaje de oxígeno lo que lo hace de excelentes propiedades para su fusión.

Durante la preparación de estas aleaciones se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- Temperaturas de fusión: las temperaturas de fusión son totalmente dependientes del contenido de cobre en la aleación, a mayor contenido de cobre, mayor será la temperatura de fusión de la aleación, haciendo de esta una aleación más costosa.
- Desgasificación y limpieza de la colada: Se debe tener precaución con dichas variables durante la fusión de las aleaciones, ya que no son materia prima de primera calidad, sino material de reciclaje.

6.2 DISEÑO DEL HORNO

El horno basculante de crisol fijo tuvo un gran atractivo a la empresa J'S Servipetrol por la capacidad de inclinarse para vaciar la carga, sumado a esto las cargas de chatarra de cobre registradas en la empresa ascendían a los 200 kg por mes, peso que limitaba la fundición en otro tipo de horno de menor capacidad. Se decidió usar un horno de crisol ya que brindaba las mejores propiedades y evitaba que el metal estuviese en contacto con la llama impidiendo su oxidación.

Las redes de gas natural aun no son asequibles hasta la ubicación de la planta, lo que restringió la escogencia del combustible al gas propano, su poder calorífico supera el de otras energías permitiendo un rendimiento más elevado. Por otra parte su flexibilidad ofrece la posibilidad de ajustar la temperatura del horno. Al no contener azufre, la combustión del gas propano es limpia además de emitir un 20% menos de CO₂ que otros combustibles.

Formula de combustión del propano $C_3H_8 + 5 O_2 \longrightarrow 3CO_2 + 4H_2O$

En la Fig. 10 se muestra un diseño preliminar del horno, con sus respectivas dimensiones, capacidad del crisol y materiales refractarios a implementar, que fueron el fin de la realización de este modelo. La posición de la chimenea y del quemador fueron determinados sobre el diseño en Solidworks.

Los tipos de materiales refractarios usados fueron:

Refractarios densos: Usados en el interior del horno, se caracterizan por tener propiedades altamente aislantes. Tablas 6-7.

Refractarios Porosos: Usados en la primera capa exterior, sirven como barrera térmica (minimizan las pérdidas de calor en el horno). Tablas 8-9.

Figura 10. Diseño preliminar del horno basculante de crisol fijo de la empresa J´S Servipetrol.

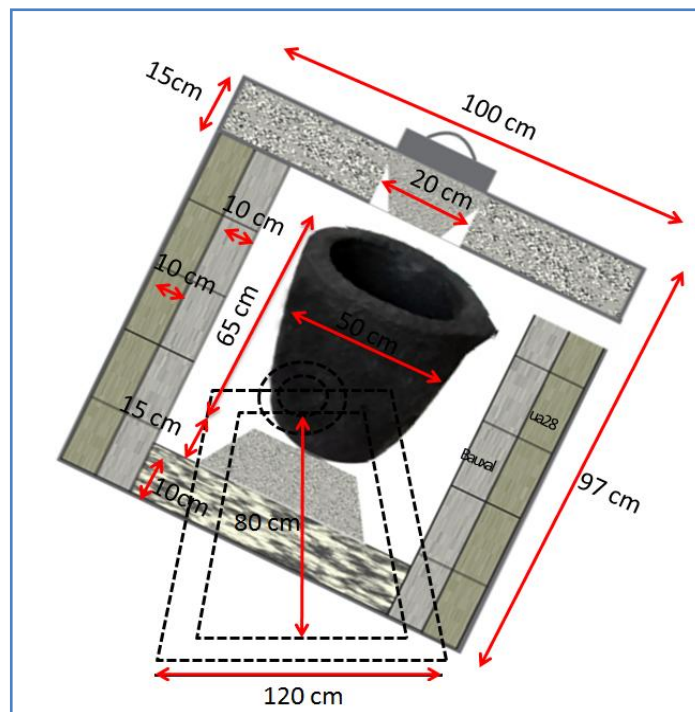


Tabla 6. Composición química del refractario denso Bauxal 60. [13]

ANÁLISIS QUÍMICO						
Al₂O₃	SiO₂	Fe₂O₃	TiO₂	CaO	MgO	Álcalis
60.5%	34.0%	1.7%	2.7%	0.3%	0.3%	0.5%

Tabla 7. Propiedades del refractario denso Bauxal 60. [13]

Cono Pirométrico Equivalente (PCE)	37
Temperatura equivalente (°C) NTC-706, ASTM C-24.	1820
Porosidad aparente (%) NTC-674, ASTM C-20	20,0 – 24,0
Densidad aparente (g/cm³) NTC-674, ASTM C-20	2,31 – 2,41
Deformación bajo carga en caliente a 1450°C (%) NTC-1107, ASTM C-16	1,0 – 2,0

Tabla 8. Composición química del refractario poroso UA-28. [13]

ANÁLISIS QUÍMICO						
Al₂O₃	SiO₂	Fe₂O₃	TiO₂	CaO	MgO	Álcalis
45.7%	50.4%	0.8%	1.1%	0.2%	0.3%	1.3%

Tabla 9. Propiedades del refractario poroso UA-28. [13]

Cono Pirométrico Equivalente (PCE)	34
Temperatura equivalente (°C) NTC-706, ASTM C-24.	1763
Porosidad aparente (%) ASTM C-20	66,0 – 70,0
Densidad volumétrica (g/cm³) ASTM C-134	0,83 – 0,93

Tabla 10. Composición química del Cemento refractario Concrax 1500.

ANÁLISIS QUÍMICO						
Al₂O₃	SiO₂	Fe₂O₃	TiO₂	CaO	MgO	Álcalis
49.5%	39.0%	1.3%	2.0%	7.5%	0.3%	0.4%

Tabla 11. Propiedades del Cemento refractario Concrax 1500.

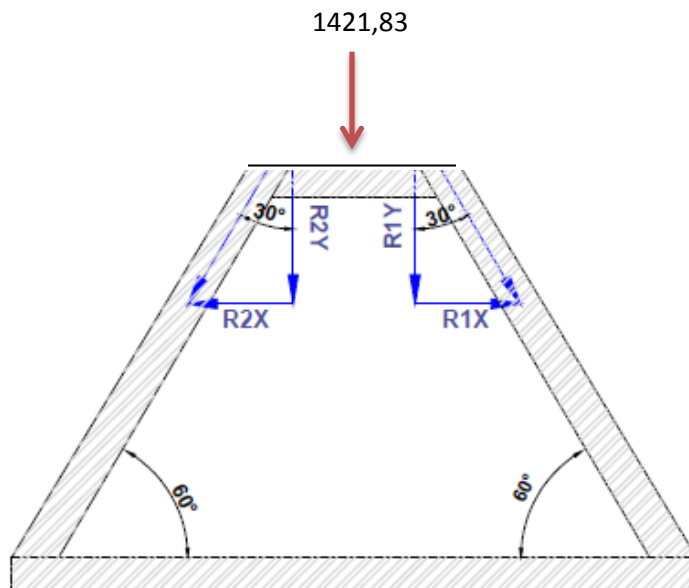
Cono Pirométrico Equivalente (PCE)	32
Temperatura equivalente (°C) NTC-706, ASTM C-24.	1717
Resistencia a la compresión en frío °C Kg/cm² NTC - 682 , ASTM C – 133	25,0 – 54,0
Densidad volumétrica (g/cm³) ASTM C-134	1,80 – 2,10

El diseño inicial con respecto a los materiales cerámicos, fue basado según la literatura, se tuvo que variar las dimensiones ya que los tamaños comerciales de los refractarios no eran compatibles con el diseño del horno, aunque los cambios dimensionales no fueron trascendentales.

Tabla 12. Peso de los elementos constituyentes del horno basculante de la empresa J´S Servipetrol

ELEMENTO	PESO (Kg)
Ladrillos refractarios y aislantes	650.97
Lamina metálica	386.36
Mortero refractario	200
Metal fundido	150
Crisol	34.5
Total	1421.83

Figura11. Diseño del soporte del sistema de basculación del horno.



Se utilizó el programa de diseño asistido por computadora para modelado mecánico, Solidworks lo que facilitó la elaboración del plano general del horno según las requisiciones de la empresa.

El diseño final del horno de crisol fijo basculante de la empresa J'S Servipetrol se observa en la figura 12

Figura 12. Diseño final del horno basculante de crisol fijo de la empresa J'S Servipetrol. (Vista frontal)

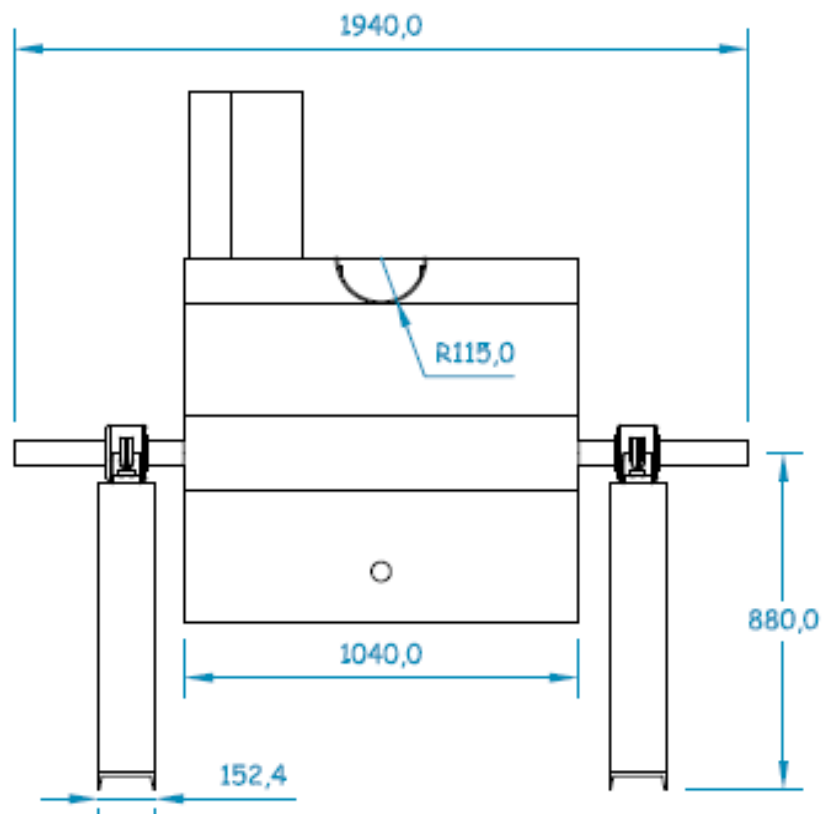


Figura 13. Diseño final del horno basculante de crisol fijo de la empresa J´S Servipetrol. (Vista lateral)

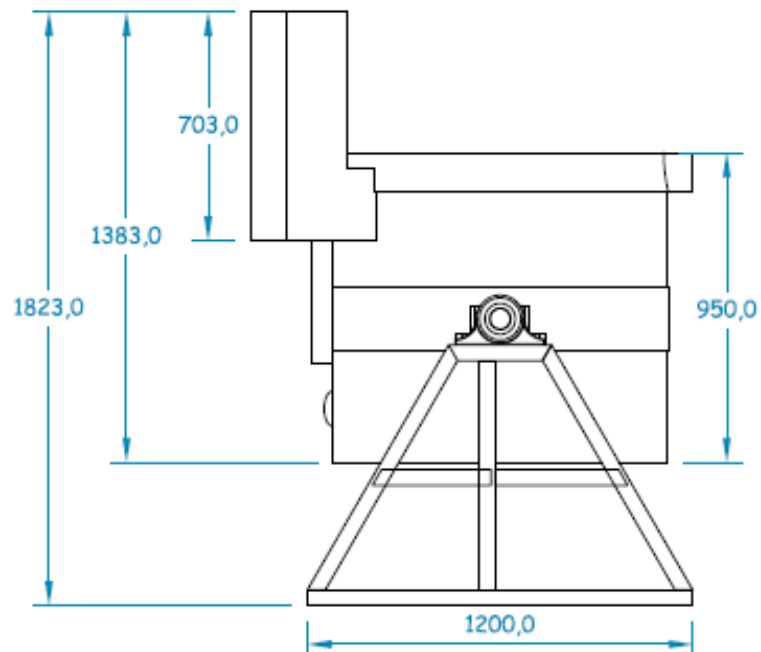


Figura 14. Diseño final del horno basculante de crisol fijo de la empresa J´S Servipetrol. (Vista superior)

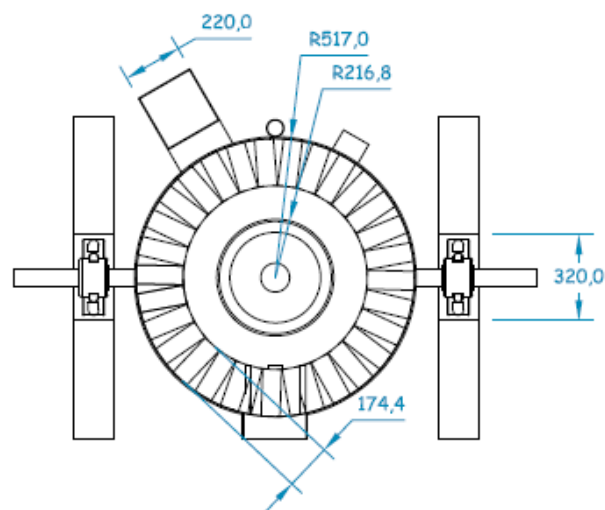
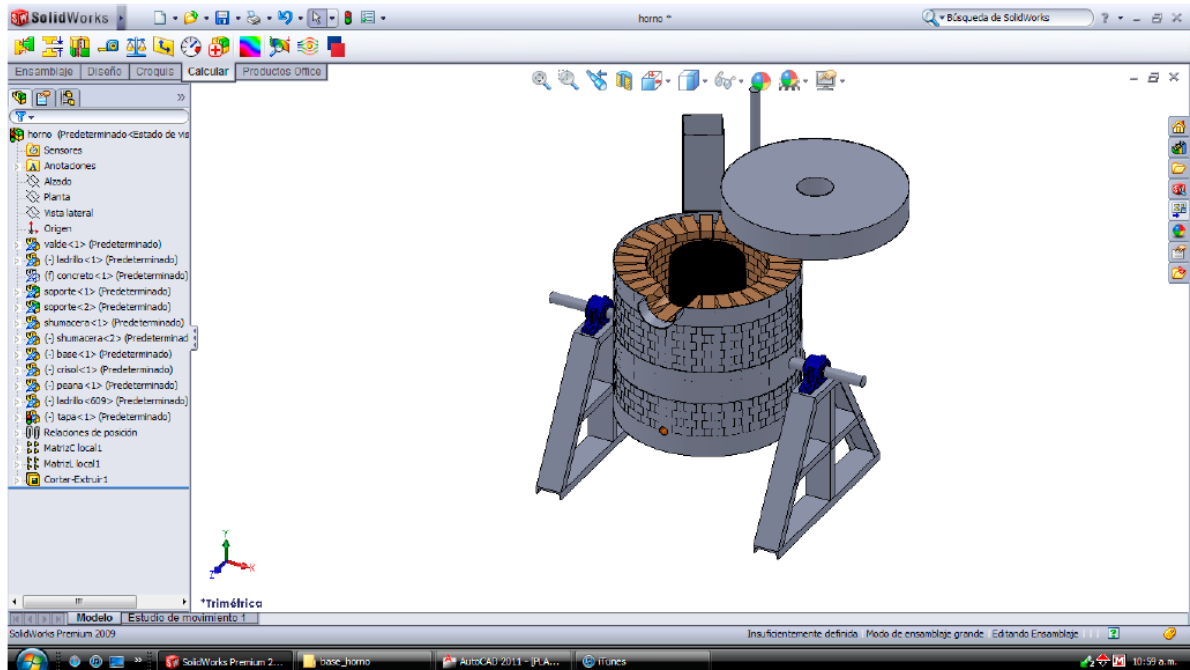


Figura 15. Diseño final del horno basculante de crisol fijo de la empresa J'S Servipetrol. (Solidworks)



6.3 SELECCIÓN DEL CRISOL PARA LAS ALEACIONES DE COBRE.

Para una adecuada selección del crisol se debe conocer qué tipo de aleación o metal se va a fundir, el combustible a emplear, el tipo de horno que se tiene, el material con el cual es fabricado debe presentar una excelente conductividad térmica y una buena resistencia a la acción de escorias. Además hay que considerar las necesidades de la empresa en cuanto a la capacidad de producción.

El combustible seleccionado como se había nombrado anteriormente es gas propano, el tipo de material a fundir es cobre y sus aleaciones, la cantidad especificada por la empresa J'S Servipetrol es de 120 kg, que es el peso de la carga que se acordó según las variables estipuladas en el diseño del horno y que cumplía con el tamaño del crisol que la empresa de refractarios ofrecía.

De acuerdo a lo anterior escogemos un crisol de la empresa Provefunca Marora Ltda., principalmente por disponibilidad en el mercado nacional.

Las dimensiones para el crisol escogido son:

- Diámetro superior: 324 mm
- Diámetro inferior: 230 mm
- Altura: 400 mm
- Espesor: 25.4 mm

6.4 CONSTRUCCIÓN DEL HORNO BASCULANTE PARA LAS ALEACIONES DE COBRE.

La construcción del diseño en la empresa J'S Servipetrol se realizó en diferentes etapas.



OBTENCIÓN DE LA ESTRUCTURA METALICA

El material con el cual se fabricó fue acero Cold Rolled de 1/8". Inicialmente se le dio forma cilíndrica a la lámina, para después cortar los sitios donde estarán ubicados el quemador y la chimenea.



MONTAJE DEL SISTEMA DE BASCULACIÓN DEL HORNO

Optamos por una estructura de acero que soporta todo el peso del horno, los perfiles seleccionados están diseñados de tal manera que soportan los siguientes elementos: Crisol, metal fundido, ladrillos refractarios, mortero refractario, material aislante y estructura metálica. Debido al gran peso que posee el horno se determina para el soporte un sistema de basculación que reposa sobre un par de chumaseras, este sistema adopta la forma de una figura indeformable y resistente como es el caso del triángulo equilátero en el cual se encuentra distribuido el peso y el sistema de basculación se hace por un motoreductor conectado a un timón que dirige su movimiento.



ELABORACIÓN DE LA BASE DEL HOGAR

Se realizó una estructura de ladrillo refractario **Bauxal 60 y ua 28**, unidos con cemento **concrax** apisonado para obtener una superficie lisa y resistente.



REVESTIMIENTO REFRACTARIO

Las capas de refractario se ubicaron desde el exterior hacia el interior, sin olvidar las cavidades de la chimenea y el quemador.



FABRICACION DE LA TAPA

El material de fabricación fue acero Cold rolled, se implementó el uso de templetas interiores para aumentar su resistencia y evitar futuras deformaciones, seguido a esto se fundió y apisonó dentro de ella cemento **concrax**, ya que estará sometida a temperaturas muy elevadas por los gases de combustión que chocan directamente.



ELABORACIÓN DE LA CHIMENEA

La estructura metálica de la chimenea fue acero Cold Rolled, con revestimiento refractario unido con cemento y apisonado con mortero refractario.



SECADO Y CALENTAMIENTO DEL HORNO

Al terminar la construcción física del horno se mantuvo 24 horas secando al aire, luego se realizó un precalentamiento con temperaturas no mayores a los 300°C con el quemador ya instalado.

En las figuras 17,18 y 19 enseñan el montaje básico del horno y la adecuación del mismo en la empresa J'S Servipetrol.

Figura 16. Estructura del sistema de basculación fabricada.



Figura 17. Montaje de la estructura metálica del horno en el sistema de basculación.



Figura 18. Adecuación del horno basculante en la planta de fundición de la empresa J´S Servipetrol.



6.5 TÉCNICA DE FUSIÓN Y COLADA PROTOTIPO.

Después de finalizada la etapa de la elaboración del horno continuamos con la colada prototipo donde se prueba la eficiencia de todos los sistemas del horno basculante.

Preparación del horno y de la carga a fundir (figura 21)

El primer paso que se realizó fue un precalentamiento del horno, el cual consistió en llevar el crisol a una temperatura la cual tomara una tonalidad rojo cereza (400°C aprox.), este precalentamiento del horno se realizó durante 45 minutos aumentando la temperatura lentamente.

Mientras se realizaba el precalentamiento del crisol, en la parte superior del horno fue ubicada parte de la carga, de esta manera al ser introducida al horno la pérdida de calor fue despreciable.

El horno se cargó inicialmente con una tercera parte de la carga para obtener un caldo inicial, así al momento de agregar la parte restante funda en menos tiempo.

Limpieza y desgasificación (figura 22)

Durante la fusión de la carga restante se generó en la parte superior de la colada escoria debido a los óxidos e impurezas contenidas en la chatarra de cobre. Debido a esto se agregó 500 gramos de un fundente llamado Rejuva.

El método de uso de la Rejuva consistió en palear lentamente (para evitar introducir gases u óxidos en la colada) el producto por toda la colada hasta obtener un polvillo negro, este polvillo es la escoria pobre en material y de fácil extracción.

Retiramos la escoria para después adicionar un desgasificante en pastilla llamado Apartagas.

El método de uso se basó en introducir la pastilla en la colada, ella empieza a generar una efervescencia con la que expulsa cualquier tipo de gases.

La temperatura de trabajo de esta etapa fue de 1100°C, durante una hora y media.

Vaciado de la carga en lingotes (figura 23)

En esta etapa se ensayo el sistema basculante del horno con el peso de la carga, la cual fue vaciada en lingotes que se muestran en la figura 20, en total se necesitó de 9 lingotes cada uno con una capacidad aproximada de 15 Kg. La temperatura de colada fue de 1130°C.

Figura 19. Lingotes usados en la colada prototipo.



Figura 20. Calentamiento del crisol y de la carga a fundir.



Figura 21. Limpieza y desgasificación de la colada.



Figura 22. Vaciado de la colada prototipo



7. RESULTADOS

7.1 INSPECCIÓN VISUAL A LOS LINGOTES DE LA COLADA PROTOTIPO.

Figura 23. Lingote obtenido con la colada prototipo.



7.2 Ensayo de espectrometría de fluorescencia de Rayos-X de energía dispersiva

Tabla 13. Composición química de la chatarra de cobre.

Analito	Cu	O	Sn	Fe
Resultado %	99.6	0.393	0.004	0.003
Des. Estándar	0.018	0.016	0.008	0.002

Tabla 14. Composición química de la colada prototipo.

Analito	Cu	O	Sn	Fe
Resultado %	98.9	1.093	0.004	0.003
Des. Estándar	0.018	0.016	0.008	0.002

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.1 INSPECCIÓN VISUAL A LOS LINGOTES DE LA COLADA PROTOTIPO.

Los lingotes presentaron las siguientes características:

- La tonalidad de la superficie es brillante y homogénea, no presentaba inclusiones de óxidos, objetos extraños ni escoria. Esto gracias al uso del descorificante “Rejuva” el cual permitió adecuadamente limpiar el metal líquido de aglomerar la mayoría de las impurezas e inclusiones.

8.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CHATARRA DE COBRE.

La composición química que reveló el ensayo es la comercial para el alambrado eléctrico de cobre. Tan solo observamos un leve porcentaje de oxígeno, debido a la oxidación causada por un mal almacenamiento de la carga.

8.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS LINGOTES DE LA COLADA PROTOTIPO.

Esta composición química revela un aumento del oxígeno, debido al proceso propio de fundición, sin embargo gracias a la adición de fundentes a base de bórax los cuales evitaban pérdidas por oxidación durante el proceso, sus propiedades y su alta concentración de cobre se mantuvieron, haciéndolos un producto de alta calidad para su uso como materia prima en funderías.

9. CONCLUSIONES

- La composición química del lingote fue de 98.9% Cu, lo cual indica una pérdida por fusión del 10%.
- La temperatura de colada debe ser 1130° C con el fin de conseguir el llenado completo del molde, este debe haber sido precalentado a no menos de 300°C.
- La fusión de 150 kg de chatarra de cobre dura una hora y media , lo cual muestra una alta eficiencia del horno con este tipo de combustible.

10. RECOMENDACIONES

- El tiempo de secado del refractario presente en el horno debe ser mínimo de 24 horas para evitar que aparezcan grietas.
- El acondicionamiento del horno debe ser preferiblemente al aire libre para evitar calentamiento de la zona y posibles accidentes.
- El gas propano es una buena alternativa cuando no se dispone de redes de gas natural.

BIBLIOGRAFIA

- [1] MODERN FOUNDRY PRACTICE, HOWARD with contributions by eighteen specialist authors. Segunda edición, Ediciones Aguilar S.A. 1962.
- [2] “Construcción de un horno basculante a diesel para la fusión de 150 Kg de cobre para la empresa 4G Metalurgia” Correa Jaramillo Paulina Gabriela, Robaldino Gutiérrez Silvana Isabel, Quito, junio del 2007.
- [3] Disponible en Internet. www.lenntech.es/periodica/elementos/cu.html. Información propiedades físicas y químicas del cobre. Consultado el día 4 de Agosto del 2011.
- [4] Disponible en Internet. www.arqhys.com/construccion/cobre-propiedades/html. Elaboración de aleaciones de cobre y uso de los hornos para las aleaciones de cobre. Consultado el día 19 de Agosto del 2011.
- [5] EMISON, Hornos industriales, Barcelona, 2000, info al cliente.
- [6] BOLETIN TÉCNICO N. 003 Producto; Crisol en carburo de silicio Ref: “Salamander”. Proveedores de fundición Marora LTDA.
- [7] BREDERMANN A, Tratado moderno de fundición metales no férreos. p. 150.
- [8] COOPER DEVELOPMENT ASSOCIATION (CDA) The brasses properties and applications. Inglaterra 2005.
- [9] XINTAO, I, ZHAOXIANG, G. HANGWEI, Z. Continues casting of copper tube billets under rotating electromagnetic field. Materials science and engineering. Vol. 2.
- [10] Disponible en Internet. www.codelco.com/educa. Gerencia de desarrollo sustentable Codelco. Chile. Revisado 13 de Noviembre del 2011.
- [11] Disponible en Internet. <http://hispanoreciclaje.es/cobre.php>. Revisado el día 8 de Febrero del 2012.
- [12] Disponible en Internet. www.upv.es/materiales/fcm/fcm13/imagenes/Tabla13-6.jpg.
- [13] Empresa de refractarios colombianos S.A. Erecos. Composición química de materiales refractarios usados. Disponible en: <http://www.erecos.com/> Consultado el día 3 de Agosto del 2011.

[14] BAQUERO, Arnaldo Alonso .Las propiedades de la Fundición .Ediciones Universidad Industrial de Santander. Segunda edición .2009.