

**DISEÑO Y CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DE UN HORNO DE CUBILOTE
PARA RECUPERAR PLOMO EN LA EMPRESA BATERÍAS DIAMANTE**

MARCELA CADENA MANRIQUE

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA**

2011

**DISEÑO Y CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DE UN HORNO DE CUBILOTE
PARA RECUPERAR PLOMO EN LA EMPRESA BATERÍAS DIAMANTE**

MARCELA CADENA MANRIQUE

Trabajo de grado, presentado como requisito para optar al título de ingeniero
metalúrgico

Director

ARNALDO ALONSO BAQUERO
Ingeniero Metalúrgico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA

2011

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de ingresar a la universidad y terminar mi carrera.

A mi familia, por creer en mí y apoyarme en todo momento.

A mi padre Fernando Cadena, mi madre Clara Manrique por darme todo en esta vida, por su amor incondicional, por ser la luz en la oscuridad y enseñarme que todo es posible de la mano de Dios.

A mi hermana Johanna Andrea Cadena Manrique, por su comprensión, consejos y amor incondicional.

A Diana Marcela Arizay Adriana Sofía Álvarez, mis grandes amigas desde primer semestre, gracias por su apoyo, cariño, amistad incondicionalidad.

A mis amigas Franci, Cayita, Jennifer, Layla y Adri, niñas gracias por ser mis amigas estos últimos semestres, las quiero mucho.

A Silviay Caro gracias por su colaboración, apoyo y amistad.

A Javier Mogellon, por sus palabras de aliento, apoyo incondicional y por estar conmigo cuando más lo necesito.

A Gerson por su apoyo y cariño. Te quiero mucho.

A todos mis compañeros de la Universidad, gracias porque todos aportaron grandes cosas a mi vida.

Marcela Cadena Manrique

AGRADECIMIENTOS

A la universidad Industrial de Santander por permitirme hacer parte de esta gran familia.

A la escuela de Ingeniería Metalúrgica, a sus profesores y técnicos por aportar a mi vida los conocimientos necesarios para desempeñarme bien en mi vida profesional.

A mi director de proyecto ARNALDO ALONSO BAQUERO, a quien considero además de profesor como un amigo, por su gran apoyo en el desarrollo de este trabajo.

A don EDWING y doña ALEYDA por permitirme realizar la practica en su empresa.

A GERSON TRUJILLO por brindarme su apoyo en el desarrollo de este proyecto.

A mi familia por creer en mí y apoyarme incondicionalmente.

A mis compañeros y amigos, por sus valiosos aportes.

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|-----------|
| INTRODUCCION..... | 14 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 16 |
| 2. OBJETIVOS..... | 17 |
| 2.1. GENERALES..... | 17 |
| 2.2. ESPECÍFICOS..... | 17 |
| 3. GENERALIDADES | 18 |
| 3.1. BATERÍAS ÁCIDO PLOMO | 18 |
| 3.2. HORNO DE CUBILOTE | 22 |
| 3.2.1. Fusión secundaria de plomo:..... | 23 |
| 3.3. DISEÑO EN SOLIDWORKS 2007 | 26 |
| 4. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA..... | 27 |
| 4.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA..... | 28 |
| 4.2. DIAGNÓSTICO DEL HORNO DE LA EMPRESA | 28 |
| 4.2.1. Recopilación de información:..... | 28 |
| 4.2.2. Descripción de los órganos del horno de la empresa BATERÍAS DIAMANTE..... | 29 |
| 4.2.3. Análisis de la información recolectada | 37 |

| | |
|--|-----------|
| 4.3. CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES Y DISEÑO DEL HORNO DE CUBILOTE DE 400 mm DE DIÁMETRO INTERNO..... | 39 |
| 4.3.1. Dimensionamiento y diseño del horno de cubilote propuesto para la empresa BATERÍAS DIAMANTE..... | 39 |
| 4.4. PROCEDIMIENTO A SEGUIR EN LA PREPARACIÓN DEL HORNO DE CUBILOTE NUEVO..... | 52 |
| 4.4.1. Refractario..... | 52 |
| 4.4.2. Elaboración de la solera: | 53 |
| 4.4.3. Preparación de las piqueras | 56 |
| 4.4.4. Reparación del cubilote | 58 |
| 5. PARAMETROS DE OPERACIÓN TEÓRICOS..... | 60 |
| 6. RECOMENDACIONES APLICABLES AL PROCESO DE RECUPERACION DE PLOMO Y MANEJO DEL HORNO..... | 63 |
| 7. RESULTADOS ESPERADOS | 69 |
| 8. BIBLIOGRAFÍA | 70 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| <i>Tabla 1 Distribución de alturas en el horno</i> | <i>48</i> |
| <i>Tabla 2 Diferencia de los parámetros de diseño de los dos hornos</i> | <i>51</i> |
| <i>Tabla 3 Producción Horaria</i> | <i>69</i> |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| <i>Figura 1</i> Batería de arranque ácido-plomo..... | 18 |
| <i>Figura 2</i> Porcentaje de plomo en los elementos de la Batería | 24 |
| <i>Figura 3</i> Diagrama esquemático de la metodología de trabajo | 27 |
| <i>Figura 4</i> Fotografía de la Chimenea del horno..... | 29 |
| <i>Figura 5</i> Fotografía de las partes de la carcasa del horno | 30 |
| <i>Figura 6</i> Vista frontal de la carcasa..... | 31 |
| <i>Figura 7</i> Vista superior de la carcasa..... | 31 |
| <i>Figura 8</i> Fotografías del Circuito de aire | 32 |
| <i>Figura 9</i> Fotografías del Crisol..... | 33 |
| <i>Figura 10</i> Dimensiones del Crisol | 34 |
| <i>Figura 11</i> Esquema del Crisol..... | 35 |
| <i>Figura 12</i> Esquema de la Carcasa..... | 36 |
| <i>Figura 13</i> Especificaciones del soporte..... | 40 |
| <i>Figura 14</i> Vista inferior del horno de cubilote | 41 |
| <i>Figura 15</i> Dimensiones de la piquera de metal | 42 |
| <i>Figura 16</i> Dimensiones de la piquera de escoria | 43 |
| <i>Figura 17</i> Dimensiones de la tubería caja de viento-Toberas | 44 |
| <i>Figura 18</i> Dimensiones de la Caja de Viento | 45 |
| <i>Figura 19</i> Especificación de las toberas..... | 46 |
| <i>Figura 20</i> Dimensiones del Tubo Venturi..... | 47 |
| <i>Figura 21</i> Distribución de alturas en el horno de Cubilote | 49 |
| <i>Figura 22</i> Comparación de los hornos | 50 |
| <i>Figura 23</i> Especificación de la posición y distribución del ladrillo refractario | 52 |
| <i>Figura 24</i> Especificaciones de la distribución de arena en la solera | 54 |
| <i>Figura 25</i> Instrumentación Recomendada para emparejar, nivelar y apisonar..... | 55 |

Figura 26 Corte transversal del horno en el cual se exhibe la secuencia de ladrillos refractarios dispuestos en forma de anillo dentro del horno56

Figura 27 Especificaciones del orificio de piqueta de metal57

RESUMEN

TITULO: DISEÑO Y CALCULO DE LAS DIMENSIONES DE UN HORNO DE CUBILOTE PARA RECUPERAR PLOMO EN LA EMPRESA BATERIAS DIAMANTE.*

AUTOR: CADENA MANRIQUE, Marcela.**

PALABRAS CLAVES: horno de cubilote, toberas, caja de viento, tubo venturi, tiro, recuperación, solera, piqueras, fusión.

DESCRIPCIÓN:

Baterías Diamante es una empresa dedicada a la venta de baterías de arranque y las partes que conforman la misma. Para ello, la empresa se abastece de plomo mediante el acopio, almacenamiento y desarme de baterías de arranque, selección y fusión de los materiales ricos en plomo y finalmente el conformado de las partes de la batería cuyo material base es el plomo.

El horno es una pieza clave para que Baterías Diamante pueda llevar a cabo los procesos de fusión, práctica fundamental para que desarrolle a cabalidad todas sus actividades; pero el horno empleado para esto, presenta inconvenientes que comprometen el bienestar de los operarios, la comunidad, el medio ambiente, además de los perjuicios económicos para la empresa debido a los paros inesperados en la fusión. En busca de una solución, se evaluaron los parámetros de diseño y operación del horno con el que cuenta la empresa actualmente. Con la información recopilada se realizó un diagnóstico y posterior a esto se presentó una propuesta con la cual se espera corregir, instruir y enriquecer las operaciones que desarrolla la empresa actualmente.

A continuación, se presenta el diseño y cálculo de las dimensiones del horno de cubilote propuesto para la empresa, una propuesta para la preparación del horno y recomendaciones aplicables a la operación de fusión. Se espera que este trabajo de grado sea la apertura a un proceso de reingeniería en la empresa Baterías Diamante en busca del progreso de la misma.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías fisicoquímicas, Escuela de Ingeniería Metalúrgica, Director: BAQUERO, Arnaldo Alonso.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND CALCULATION OF THE DIMENSIONS OF A CUPOLA FURNACE TO LEAD RECOVER IN THE BATTERIES DIAMOND COMPANY*.

AUTHOR: CADENA MANRIQUE, Marcela**

KEYWORDS: cupola furnace, nozzles, wind box, venturi tubes, tyre, recovery, soler, piqueras, fusion.

DESCRIPTION:

Batteries-Diamond is a company that sells starter batteries and the parts that comprise it. For this, the company sources of lead through the collection, storage and dismantling of starter batteries, selection and fusion of lead-rich materials and finally the forming of the parts of the battery whose material base is the lead.

The furnace is a piece key for that batteries-Diamond Company can perform the processes of fusion, crucial practice to develop fully all their activities, but the furnace used for this, have drawbacks that compromise the welfare of workers, community, the environment, addition to economic damages for the company due to the unexpected stoppages in the merger. In search of a solution, we evaluated the design and operating parameters of the furnace with which the company has currently. With the collected information was performed a diagnosis and after this was present a proposal with which expected to correct, instruct and enrich the operations developed by the company today.

Here, we present the design and calculation of the dimensions of a cupola furnace proposed for the company, a proposal for the preparation of the oven and recommendations applicable to the merger. It is hoped that this paper grade is opening of a reengineering process in Batteries-Diamond Company in seeking of progress of it.

* Degree Thesis.

** Physical-Chemical Engineering Faculty, School of Metallurgical Engineering, Director: BAQUERO, Arnaldo Alonso.

INTRODUCCION

La práctica de la fusión es un aspecto importante de las operaciones de fundición, ya que tiene un efecto directo sobre la calidad de las piezas fundidas. Los hornos se cargan con material rico en el metal de interés, elementos de aleación y otros materiales como el fundente y formadores de escorias.

El objetivo primordial en la fusión de plomo es obtener un producto colado de alta calidad y homogeneidad. La eficiencia del proceso requiere de una relación adecuada entre los parámetros de diseño del horno, la preparación y operación, de manera tal que el proceso de combustión que se produzca dentro del horno permita obtener un producto fundido acorde a las necesidades. Actualmente, el horno de Cubilote tiene una gran acogida entre los fundidores que recuperan plomo, por su sencillez, eficiencia y bajo costo de mantenimiento.

La Empresa Baterías Diamante, desarrolla su actividad en torno a la fusión del material rico en plomo recuperado de las baterías recicladas. Inconvenientes con el horno y la metodología empleada para su uso, obstruyen la buena práctica de la fusión debido a la contaminación que se genera durante la misma, en la cual se liberan sustancias de alta toxicidad para los seres vivo. Por tal motivo, entidades como la CMB han intervenido para exigir el acondicionamiento del proceso, de tal forma que no afecte la salud de los operarios, la comunidad y el medio ambiente. Todos estos impaseshan causadopérdidas económicas significativas que repercuten en lapérdida del empleo de algunos de los operarios de la empresa, evidenciándose de esta forma que el problema además de causar un impacto ambiental, también genera un impacto social.

En este trabajo de grado, se presenta el desarrollo de la práctica empresarial comprendida por una evaluación del horno y del proceso operativo del mismo, un diagnóstico, la propuesta del diseño de un horno de cubilote y una propuesta para la preparación del mismo. Esto, con el fin de atender el problema que presenta la empresa con el horno de fusión con el que cuenta actualmente y lograr incrementos significativos en un corto período de tiempo, en materia de rentabilidad, productividad y calidad, lo cual implica la obtención de ventajas competitivas.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido al diseño inapropiado y al dimensionamiento equivocado de los elementos que constituyen el horno de la empresa Baterías Diamante, durante la fusión los gases de combustión se devuelven por la puerta de carga y se concentran dentro de la instalación produciendo una situación peligrosa para los operarios, un mal ambiente laboral, contaminación del medio ambiente, paradas no programadas en la producción y pérdidas económicas. Sumado a esto, el desarrollo de la operación de fusión se lleva a cabo de forma empírica y sin control sobre las variables del proceso.

2. OBJETIVOS

2.1. GENERALES

- Diseñar un horno de cubilote de 400 mm de diámetro interno para reducir plomo proveniente del reciclaje de baterías ácido-plomo.

2.2. ESPECÍFICOS

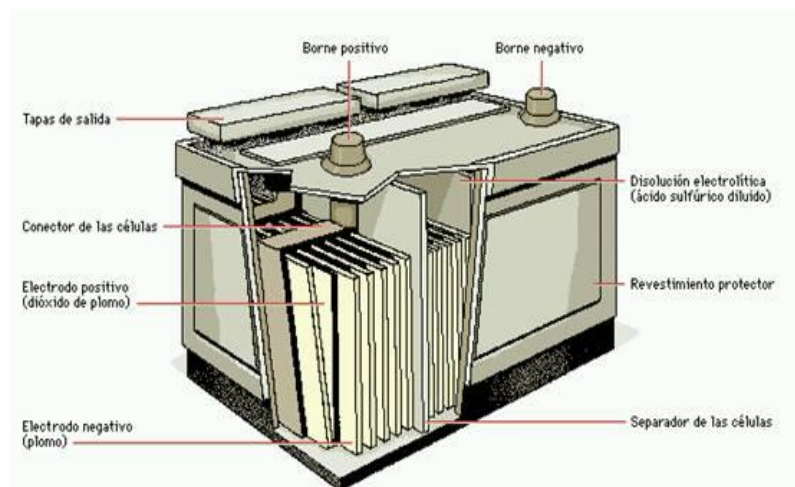
- Calcular las dimensiones de los elementos que integran el horno de cubilote con base en los principios fundamentales de la fundición.
- Diseñar los elementos y la instalación del horno de cubilote diseñado usando una herramienta CAD (SolidWorks 2007).
- Establecer los parámetros de operación del horno de cubilote diseñado para la fusión de plomo en la empresa baterías diamante.

3. GENERALIDADES

3.1. BATERÍAS ÁCIDO PLOMO

Una batería es un dispositivo electroquímico que almacena energía química y la transforma en energía eléctrica. Todas las baterías son similares en su construcción y están compuestas por un número de celdas electroquímicas sumergidas en ácido sulfúrico. Cada una de estas celdas se compone de un electrodo positivo y otro negativo, además de separadores aislantes que permiten la libre circulación del electrolito. Según el número de placas, la corriente (intensidad) suministrada será mayor o menor. Debajo de las placas se deja un espacio para que se depositen eventuales desprendimientos de los materiales que forman las placas. (Figura 1)

Figura 1 Batería de arranque ácido-plomo

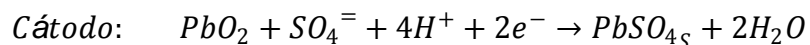
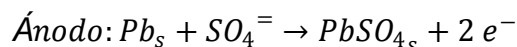


Fuente: <http://bit.ly/eXs7nz>

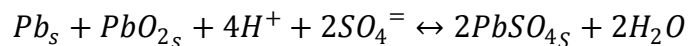
Las baterías ácido-plomo son las más utilizadas como fuente de energía de los automotores. Las primeras baterías de plomo-ácido (acumuladores de plomo), fueron fabricadas a mediados del siglo XIX por Gastón Planté. Se descubrió que cuando el material de plomo se sumergía en una solución de ácido sulfúrico se producía un voltaje eléctrico el cual podía ser recargado. Este tipo de baterías es único en cuanto que utiliza el plomo, tanto para la placa positiva como para la negativa.

El material activo de la placa positiva es óxido de plomo (PbO_2) y el de la placa negativa es plomo puro esponjoso y el electrolito es una solución diluida de ácido sulfúrico (H_2SO_4).¹

Las reacciones son:



Estas reacciones corresponden al momento en que la batería está suministrando corriente. Al conectar los electrodos se produce flujo de electrones desde el plomo al dióxido de plomo; la reacción global es:



Si el acumulador suministra corriente (proceso de descarga) hay una disminución en la concentración de ácido sulfúrico, con lo cual el sulfato de plomo se precipita sobre los electrodos. Para que vuelva a cargarse el acumulador se conectan los electrodos con una tensión exterior mayor a dos voltios y de sentido opuesto, se

¹RIVEROS, L. G., & VARGAS, J. C. (1984). *Química 1*. Educar Editores LTDA

invierte el proceso químico con lo que el sulfato de plomo se convierte nuevamente en plomo, dióxido de plomo y ácido sulfúrico.

En este proceso de óxido-reducción no se libera hidrógeno, debido a que la reducción de los protones a hidrógeno elemental está cinéticamente impedida en una superficie de plomo, característica favorable que se refuerza incorporando a los electrodos pequeñas cantidades de plata.

En la descarga baja la concentración del ácido sulfúrico porque se crea sulfato de plomo y aumenta la cantidad de agua liberada en la reacción. Como el ácido sulfúrico concentrado tiene una densidad superior al ácido sulfúrico diluido, la densidad del ácido puede servir de indicador para el estado de carga del dispositivo.

No obstante, este proceso no se puede repetir indefinidamente porque, cuando el sulfato de plomo forma cristales muy grandes, ya no responden bien a los procesos indicados, con lo que se pierde la característica esencial de la reversibilidad. Se dice entonces que el acumulador se ha sulfatado y es necesario sustituirlo por otro nuevo. Los cristales grandes también se forman si se deja caer por debajo de 1.8 V la tensión de cada celda.

El mercado actual de baterías en Colombia presenta una oferta doméstica compuesta de 96.000 unidades nuevas y alrededor de 10.000 unidades reconstruidas por mes, para un total por año de 1.272.000 unidades. A este saldo pueden sumarse las importaciones netas de baterías nuevas que ascienden a 36.058 en el año 2000, para un total de 1.308.058 unidades ofertadas.

Considerando que el transporte de carga usa batería grande y representa un 5.3% del total del parque automotor en Colombia. Si una batería pequeña-mediana y grande nuevas pesan 17.4Kg y 43Kg respectivamente, con un contenido de

plomo, en términos del peso total de la batería, de 58.6% y 53.7%; puede deducirse que la demanda de plomo para baterías es de 14.231,4 toneladas por año.²

El plomo usado actualmente en la industria es plomo secundario obtenido a partir de chatarra plomífera y posee todas las características y propiedades del plomo primario a pesar de ser sometido a procesos de fusión y afinado un número indefinido de veces. Más del 60% del plomo se recupera a partir de baterías de arranque ya que en promedio la composición de la batería agotada corresponde a:

- Plomo 76% en peso
- Caja plástica 6% en peso
- Electrolito 13% en peso
- Separadores 5% en peso
- Peso unitario de la batería: 16 kg.³

El contenido de plomo en las baterías hace más rentable la obtención de plomo secundario que de plomo primario teniendo en cuenta la ley de plomo en el país presentada por Ingeominas.

Las baterías recicladas son consideradas como un residuo peligroso según la resolución 189 de 1994 que en su artículo 1 dice: “se denomina residuo peligroso, aquél que por sus características, infecciosas, combustibles, inflamables, explosivos, radioactivas, volátiles, corrosivos, reactivos o tóxicos pueda causar daño a la salud humana o al medio ambiente. Así mismo, se consideran residuos peligrosos los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con

²<http://www.ilmc.org/Basel%20Project/Colombia/Reports/Spanish/T%F3picos%20Macroecon%F3micos%20Colombia%20-%20Revisado%20MMA.doc>

³<http://bit.ly/9gvhjk>

ellos”; por tanto este residual debe ser manejado adecuadamente para que no ejerza daño tanto a la salud de las personas como al ambiente en general.²

3.2. HORNO DE CUBILOTE

Los recuperadores y fabricantes de baterías utilizan hornos de acuerdo con su capacidad económica y de producción. Estos van desde las estufas, en el caso de las pequeñas industrias, pasando por los hornos de cubilote en las empresas medianas, hasta los hornos basculantes de gran capacidad en grandes producciones. Baterías Diamante es considerada una empresa media y emplea en el proceso de fusión un horno de cubilote.⁴

Un cubilote puede ser definido simplemente como una cavidad refractaria forrada, con las aberturas necesarias para el escape de los gases y para la carga de material, en la parte inferior para la entrada del soplo de aire y extracción del metal fundido y la escoria. Una cama de combustible es puesta en el cubilote y encendida, después de lo cual, se alternan capas de metal y combustible en la carga y se enciende el soplo de aire. Si unas simples normas son cumplidas, la fusión será rápida y continúa por un largo tiempo si así se desea.

El Cubilote tradicional es un horno de eje vertical, que consiste en una carcasa cilíndrica de acero revestidos con material refractario y equipado con una caja de viento y toberas para el suministro de aire. Una abertura de carga es provista en el nivel superior para la introducción de la carga de fusión y combustible. Cerca del fondo hay canales para extraer el metal fundido y la escoria.

El material refractario empleado para recubrir los distintos órganos del cubilote consiste básicamente en un ladrillo y una mezcla refractaria, muy resistentes a la

⁴CINSET, C. P. *Guía Ambiental Fabricantes y Recuperadores de Baterías*. Colombia, Bogotá.

temperatura y la abrasión. Este material debe ser inspeccionado antes de cada carga ya que se consume debido a las altas temperaturas generadas durante el proceso (aprox. 1500 °C).

Una de las características sobresalientes de este horno de eje vertical es que los gases ascendentes entran en contacto íntimo con la carga metálica descendente y se lleva a cabo un intercambio directo y eficaz del calor de los gases calientes a la carga metálica. El combustible descendente reemplaza al quemado de la cama de coque inicial y mantiene la altura de esta cama.

Una mayor comprensión de estas características inherentes explica la popularidad del horno de cubilote y el rechazo de los cambios radicales en el diseño.⁵ Como vemos, el cubilote es un horno de diseño sencillo, relativamente económico y de poco mantenimiento. Pero como cualquier otro equipo, posee parámetros de diseño que se deben mantener para que el horno funcione adecuadamente. Estos parámetros son el resultado de la investigación y experiencia acumuladas en la construcción y operación de este tipo de hornos desde su aparición oficial en la cámara de los Loes en 1782.

3.2.1. Fusión secundaria de plomo: La producción secundaria de plomo se inicia con la selección de la materia prima, desarmando y separando los compuestos de plomo de los plásticos, aceites y contaminantes presentes en las baterías.

Los materiales de la batería que contienen plomo son (ver Figura 2):

⁵SOCIETY, A. F. *The Cupola and Its Operation*. Chicago, Illinois. (1954).

Figura 2 Porcentaje de plomo en los elementos de la Batería

| | | |
|--|--------|------|
| Metal de rejilla, polos y puentes | | 44% |
| Pb | 96-98% | |
| Sb | 2-4% | |
| (Ca) | < 0.5% | |
| Pasta | | 56% |
| PbSO ₄ | 60% | |
| PbO (PbO ₂) | 19% | |
| Pb | 21% | |
| | | 100% |

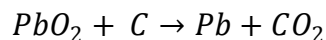
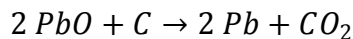
Fuente: <http://bit.ly/cVAILY>

Si bien el primer componente sólo necesita fundirse, los otros dos se deben convertir mediante procesos químicos y metalúrgicos para obtener plomo metálico, lo cual se lleva a cabo en el horno de cubilote.

La fusión se debe hacer cuidando que la temperatura del horno este por encima de los 850°C, ya que con temperaturas que oscilan entre 250°C-500°C se puede dar origen a las sustancias que figuran en el Anexo C del convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes aprobado con la ley 1196 de 2008. Otros factores que influyen en la formación de estas sustancias son la combustión incompleta, altos niveles de aceites, plásticos y otros materiales orgánicos en el alimento.⁶

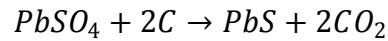
Reacciones:

La primera reacción química convierte al PbO (o al PbO_2) a Pb con un proceso de reducción:

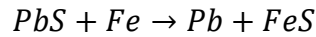


⁶<http://bit.ly/hDqTCZ>

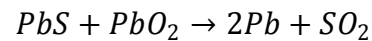
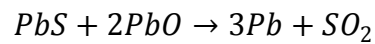
La segunda convierte al $PbSO_4$ en PbS, de nuevo con un proceso de reducción:



Por último, el PbS se convierte en Pb con las siguientes reacciones:



O bien



Las reacciones se efectúan en el horno a alta temperatura (900 a 1200 °C) y se necesitan aditivos, que son carbono (en forma de carbón) y hierro (en forma de virutas). Las impurezas se recolectan en la escoria, que requiere fundente y escorificante de carbonato de sodio, por ejemplo. El producto de la operación de fusión es plomo crudo (necesita refinación) y el residuo es la escoria. Los gases y polvos desechados en el proceso, se mojan y se pasan al sistema de limpieza de gases.⁷

Finalmente, el fundido se cuela en lingotes y se lleva a un proceso de refinación del cual se obtiene un producto conocido como plomo secundario que es muy similar al obtenido del mineral.

⁷<http://bit.ly/cVAILY>

3.3. DISEÑO EN SOLIDWORKS 2007



El significado de “Diseño” puede verse desde distintos puntos de vista y para cada uno adquiere un sentido diferente. Para el presente proyecto, se considerara la siguiente definición:

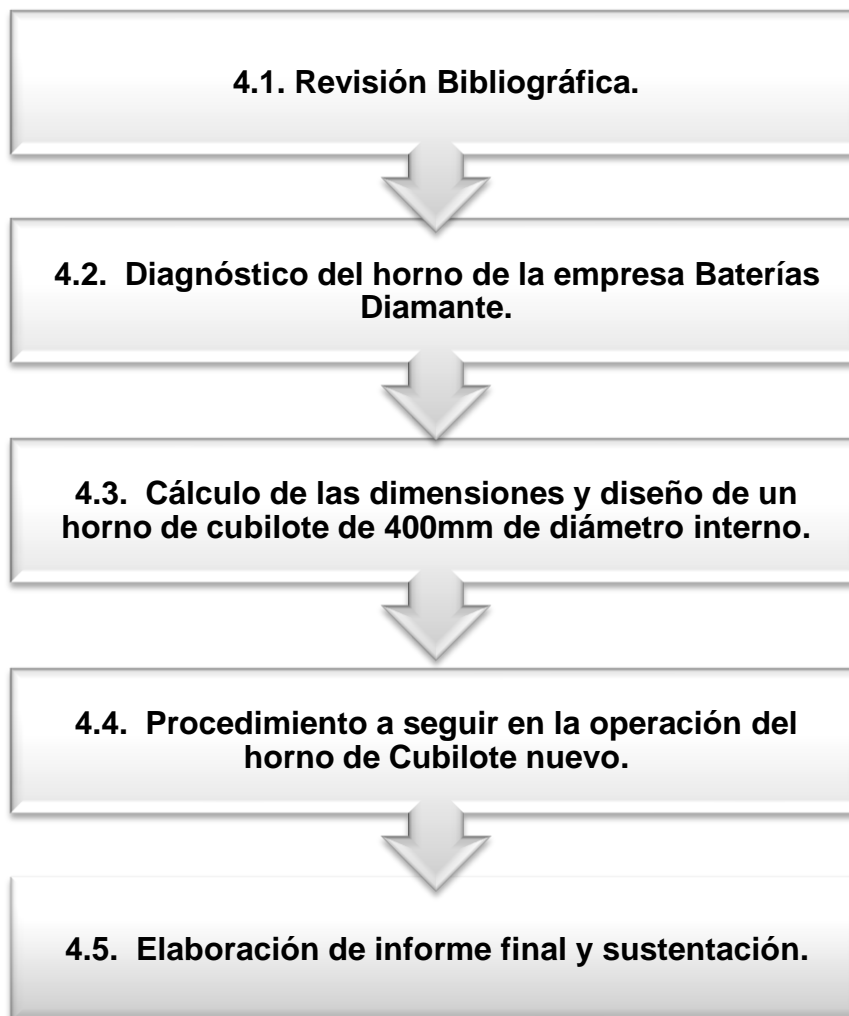
“El diseño consiste en plasmar el pensamiento de una solución mediante esbozos, dibujos, bocetos o esquemas trazados en cualquiera de los soportes, durante o posteriores a un proceso de observación de alternativas o investigación.”

La presentación y socialización son algunos de los criterios que hacen parte del diseño y que inciden en gran manera en la aceptación de los proyectos que se están exponiendo. CAD (Diseño Asistido por Computador) es todo sistema informático destinado para asistir al diseñador en su labor y permiten agilizar y mejorar la presentación de los diseños. SolidWorks es un software CAD en 3D mecánico que ofrece a los ingenieros, diseñadores y otros profesionales creativos las herramientas que precisan para diseñar de manera más rápida e inteligente, con el propósito de obtener mejores productos. Todas las herramientas de este programa ayudan al usuario a crear mejores diseños ya que el programa es de alto rendimiento.

4. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

La metodología desarrollada en la presente investigación, consistió en 6 actividades ilustradas en el siguiente diagrama.

Figura 3 Diagrama esquemático de la metodología de trabajo



4.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Esta actividad se llevó a cabo durante todo el proyecto y consistió en la revisión bibliográfica de libros especializados, información digital y páginas de internet, lo cual permitió obtener la información y los conocimientos necesarios en temas específicos tales como el diseño del cubilote, recuperación secundaria del Pb y software para el diseño de los distintos órganos del horno.

4.2. DIAGNÓSTICO DEL HORNO DE LA EMPRESA

4.2.1. Recopilación de información:

Se llevó a cabo una visita a la empresa BATERÍAS DIAMANTE, donde se recopiló información relevante de los parámetros de diseño y operación del horno en el cual se lleva a cabo la recuperación del plomo actualmente.

A continuación se presenta la información obtenida luego de indagar acerca del problema en la etapa de fusión secundaria y se expresa con base a la apreciación que tiene la empresa al respecto.

La empresa Baterías Diamante:

- Manifiesta que el horno produce grandes cantidades de humos tóxicos (posiblemente con altas concentraciones de plomo y azufre) y que estas emisiones se devuelven por la puerta de carga, inundan el establecimiento e impiden continuar con la labor.
- El horno de fusión empleado por la empresa fue diseñado por un ingeniero industrial y se desconocen los fundamentos que empleo para diseñar el horno.

- No realizan ningún control de los insumos empleados en el proceso de fusión.
- Expresan un gran interés en renovar sus procesos con el fin de corregir las falencias, trabajar de forma segura y sin contaminar el medio ambiente.
- El operario dice que a veces es posible ver el fuego atravesando la puerta de carga y que este llega casi hasta la chimenea.

4.2.2. Descripción de los órganos del horno de la empresa BATERÍAS DIAMANTE.

a) Chimenea:

La chimenea sale del establecimiento en una trayectoria recta que posteriormente cambia y se devuelve, entrando nuevamente y conectándose a un circuito de absorción de gases comprendido por un lavador de gases, un colector ciclónico y una cámara de sedimentación (Ver Figura 4).

Dimensiones de la chimenea: Altura: 1.8 m; Diámetro: 0.2921 m

Figura 4 Fotografía de la Chimenea del horno



Fuente: Autor

b) Carcasa

En su extremo superior se conecta con la puerta de carga, es sostenido por tres columnas de apoyo y está comprendida por las toberas y un chaleco de agua como sistema de refrigeración. No cuenta con ladrillo refractario, en lugar de eso, se recubre con una mezcla refractaria en el interior de la cuba. (Ver Figura 5)

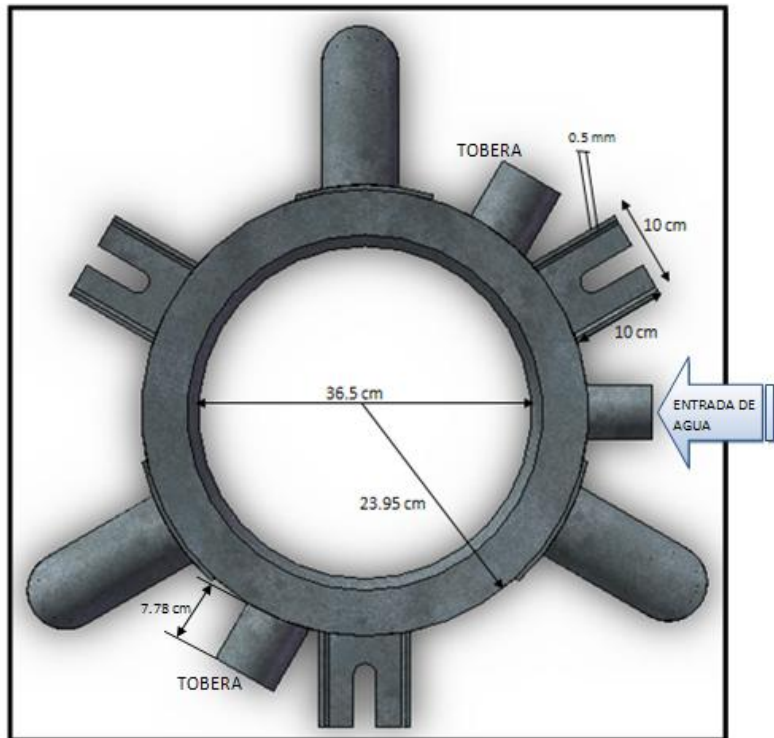
Figura 5 Fotografía de las partes de la carcasa del horno



Fuente: Autor

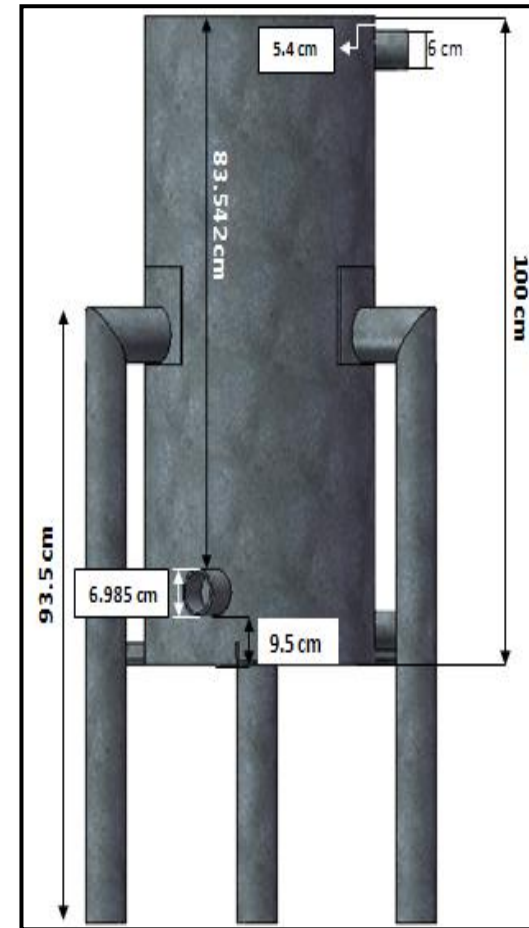
A continuación, en las figuras 6 y 7 se presenta el dimensionamiento del horno de cubilote de la empresa Baterías Diamante.

Figura 7 Vista superior de la carcasa



Fuente: Autor

Figura 6 Vista frontal de la carcasa



c) Circuito de aire del horno

El circuito de aire del horno consta de un ventilador, tuberías ventilador- toberas y dos toberas perpendiculares al eje de la cuba, como se muestra en la Figura 8. Una vez ingresa el aire a la tubería, esta se bifurca para distribuir el aire. Estas tuberías, presentan un aumento en la sección transversal y están comunicadas a las toberas por medio de una (T). Las toberas del horno son fijas, el circuito no cuenta con caja de viento y tampoco con un sistema que permita controlar el flujo de aire.

Figura 8 Fotografías del Circuito de aire

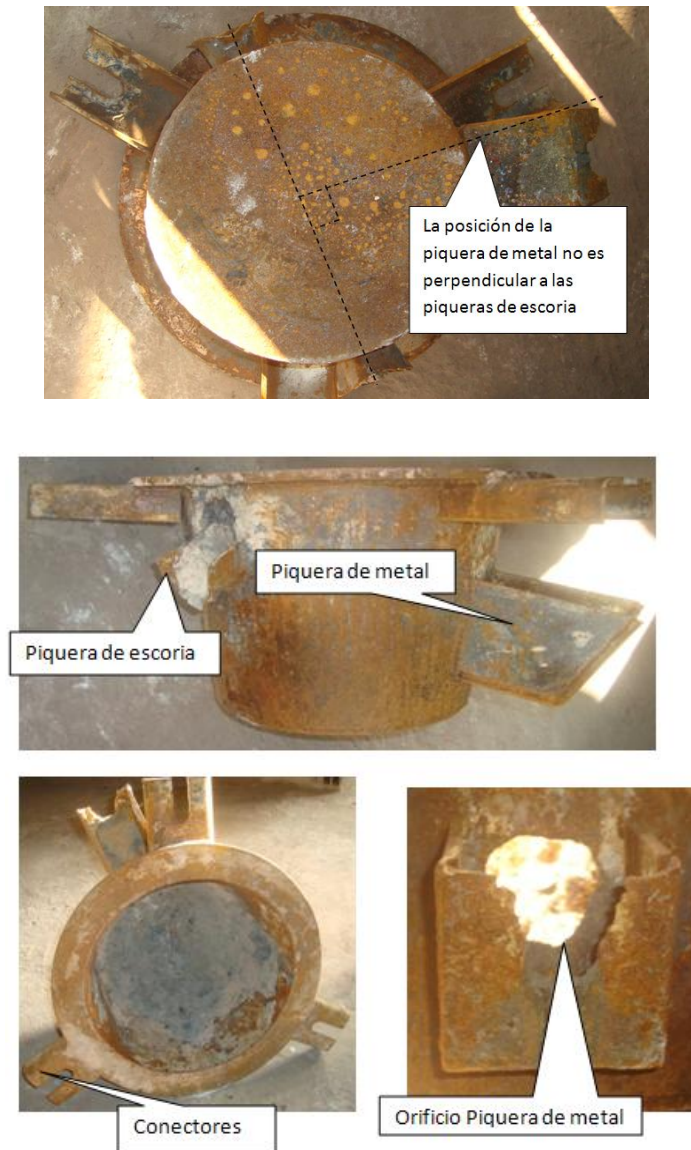


Fuente: Autor

d) Crisol

Es un crisol removible y en él se encuentran ubicadas la piqueta de metal y dos piqueras de escoria de menor tamaño. La extracción de la solera se realiza una vez se ha enfriado el horno, retirando el crisol y vaciándolo manualmente.

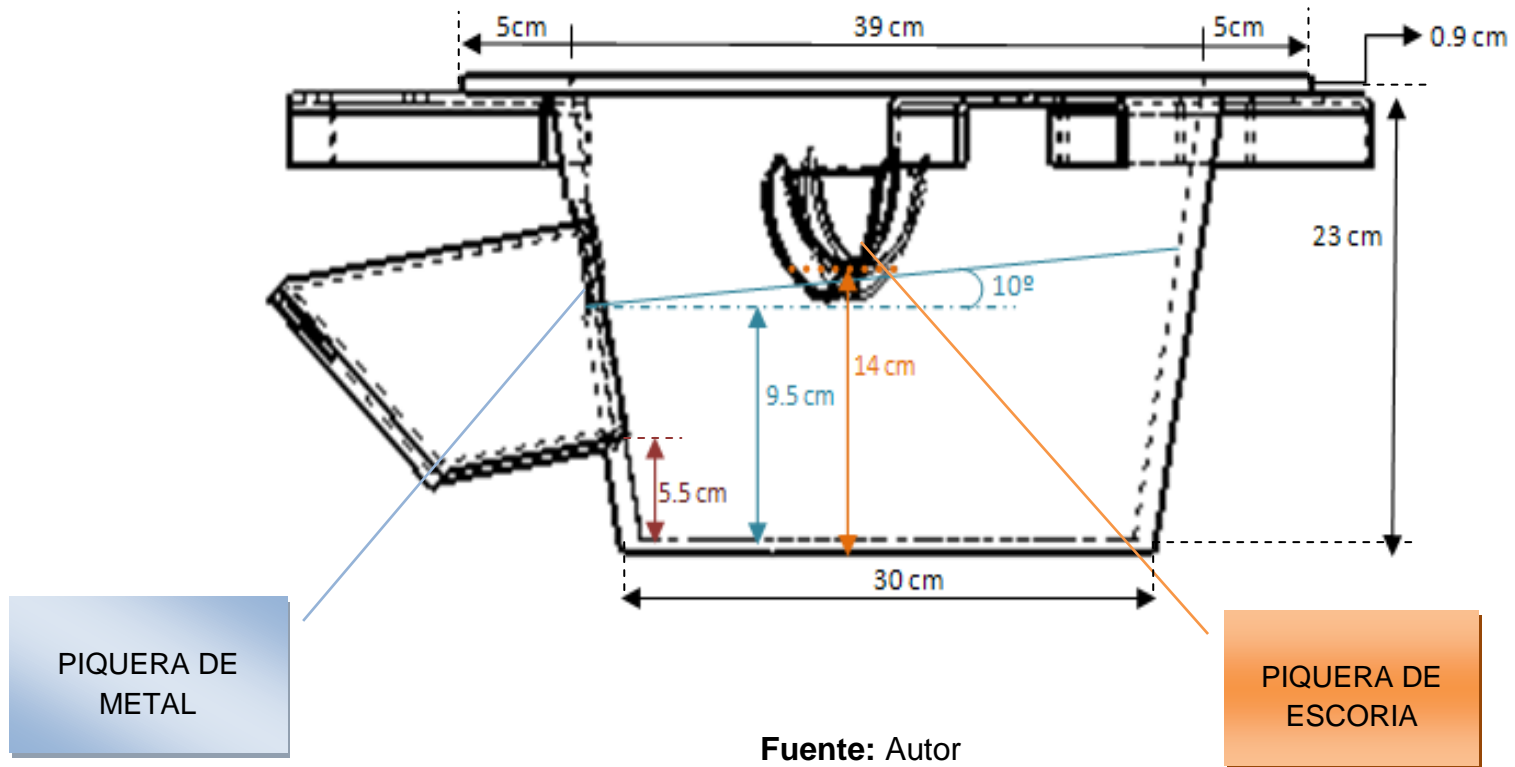
Figura 9 Fotografías del Crisol



Fuente: Autor

A continuación, se presenta el dimensionamiento del crisol en la figura 10

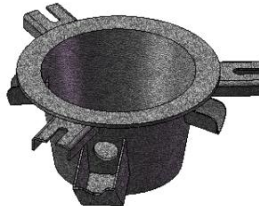
Figura 10 Dimensiones del Crisol



Una vez evaluados los parámetros de diseño del horno con el que cuenta la empresa Baterías Diamante, se recopiló información concerniente a las operaciones requeridas en el proceso de fusión, con lo cual se estableció un procedimiento según lo indicado por el operario de la empresa:

- a. Luego de la recepción de las baterías usadas, los procesos de reciclaje, desarme, limpieza y selección, el material rico en plomo se agrupa y almacena.
- b. Posteriormente, se prepara el crisol (figura 11) cubriéndolo inicialmente con una mezcla de melaza, caolín y agua. Acto seguido, se recubre con arcilla refractaria “sin tener en cuenta el espesor del recubrimiento”. Esto se hace con el tiempo suficiente para permitir que la arcilla se endurezca.

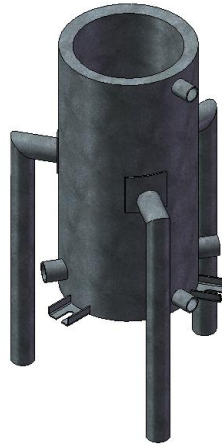
Figura 11 Esquema del Crisol



Fuente: Autor

- c. A continuación, se acopla el crisol (Figura 11) con el extremo inferior de la carcasa del horno (figura 12), que previamente también se ha cubierto con la mezcla de melaza, caolín y agua. Se procede a realizar el encendido, para lo cual se carga leña (astillas, retales de madera) y se prende con ACPM.

Figura 12 Esquema de la Carcasa



Fuente: Autor

- d. Después, se carga coque a una altura aproximada de 80 cm y se prende el ventilador. En el momento en el que el coque esta incandescente, se cargan 3 paladas de la carga metálica (aproximadamente 15 Kg).
- e. Se esperan aproximadamente 30 min y se obtiene la primera colada.
- f. Después de colar lingotes de 150 Kg, se procede a des-escoriar.
- g. A medida que se consume la leña y el coque, se va cargando de nuevo sin tener una altura determinada de las cargas tanto de coque como del metal.

4.2.3. Análisis de la información recolectada

❖ Diagnóstico de los parámetros de diseño del horno de la empresa
BATERIAS DIAMANTE

- a. La poca altura de la chimenea y los cambios bruscos de sección en el terminal superior disminuyen el tiro, ocasionando que los gases de combustión se devuelvan debido a que la chimenea no está ejerciendo la fuerza necesaria para llevarlos al sistema de depuración de gases. Hay que tener en cuenta que la altura de la chimenea es un factor que tiene gran influencia en el tiro, siendo proporcionales entre sí.
- b. La refrigeración del horno no cuenta con un sistema de enfriamiento para el agua que sale del horno y no se recomienda la adquisición de uno ya que no es económico ni ecológico por el gasto de agua. Además no se emplea ladrillo refractario, todo esto genera que el rendimiento de la combustión sea bajo, debido a que la energía cedida por el combustible (coque) no está siendo utilizada eficientemente por el horno ya que se pierde en los humos y en las paredes del horno.
- c. La altura efectiva del horno, comprendida entre el plano de las toberas y la puerta de carga es muy corta, esto ocasiona que la temperatura del proceso disminuya por el poco tiempo que se tiene para los intercambios térmicos. Debido a esto, el proceso se torna altamente tóxico y contaminante, si la temperatura disminuye por debajo de los 850°C, donde se generan sustancias de alta toxicidad contempladas en el convenio de ESTOCOLMO como las Dioxinas y furanos.
- d. El horno cuenta con dos toberas horizontales que no son muy aconsejables ya que pueden originar una zona central energéticamente muerta en la zona de

combustión del horno. La inclinación de las toberas es un factor de diseño que tiene influencia en la forma y altura de la zona de combustión.

- e. La distancia entre la solera y el orificio de escoria es muy pequeña ya que normalmente se considera una distancia de 450 mm y en el crisol del horno se tiene una distancia de 140 mm entre la solera y el orificio de escoria.
- f. El circuito de aire con el que cuenta el horno no cumple con los requisitos dimensionales y de control. El aire necesario para la combustión del coque debe ser transportado hasta el cubilote, a través de una serie de conductos horizontales y verticales, entre los cuales se intercala una caja de viento, que tiene por objeto equilibrar la presión del soplo, con el fin de que cada tobera pueda, en lo posible, introducir la misma cantidad de aire en el horno.
- g. El horno no cuenta con equipos para medir y controlar el flujo de aire soplado por el ventilador y tampoco para la temperatura.

❖ Diagnóstico de los parámetros de operación de horno de la empresa Baterías Diamante

Actualmente, la operación del horno se desarrolla empíricamente y sin control de las variables del proceso. Esto conlleva a errores que afectan la operación del horno.

4.3. CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES Y DISEÑO DEL HORNO DE CUBILOTE DE 400 mm DE DIÁMETRO INTERNO.

Esta actividad se llevó a cabo en 2 etapas disgregadas en el cálculo de las dimensiones y diseño de los distintos órganos del horno de cubilote de 400 mm de diámetro interno empleando una herramienta CAD 3D conocida como SolidWorks 2007.

4.3.1. Dimensionamiento y diseño del horno de cubilote propuesto para la empresa BATERÍAS DIAMANTE

Los parámetros de diseño del horno de cubilote son en su mayoría resultados de la experiencia acumulada en la construcción y operación de este tipo de horno, sin embargo, se han llevado a cabo investigaciones que permiten establecer las circunstancias en las cuales el horno funciona adecuadamente.

El diseño del horno que se propone se realiza en función del diámetro interno de 400 mm. Este diámetro se ha escogido teniendo en cuenta que el horno actual de la empresa cuenta con un diámetro interno de 365 mm, la capacidad de adquisición de la materia prima y la producción que se desea alcanzar de 864 Kg/h.

4.3.1.1 Carcasa:

Elaborada en acero HR 3/16" \approx 5mm de espesor, diámetro interno de 880 mm y una altura de 7618 mm soldadas. El diámetro de la carcasa se determinó considerando un espesor de ladrillo refractario de 200 mm con una luz de 20 mm entre ellos y

una luz de 20 mm entre refractario-horno.El horno será desarmable, para lo cual se dividirá en 3 secciones distribuidas de la siguiente forma:

Sección 1: Contiene la puerta de descarga, puerta de preparación, piqueras y la entrada de las toberas. La altura de esta sección será de 1000 mm.

Sección 2: Contiene la puerta de carga y cuenta con una altura de 3740mm.

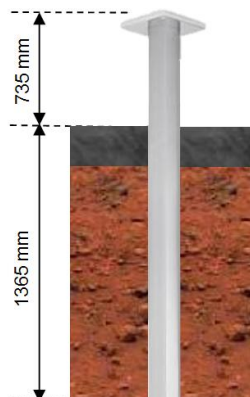
Sección 3: Esta sección es la chimenea y mide 2878 mm

El fin de un horno desarmable es facilitar el reemplazo de las secciones y permitir que llegado el caso en que se presente una falla, la reparación sea fácil y más económica.

4.3.1.2 Soportes:

Cuatro columnas de acero de 150 mm de diámetro y 2100 mm de largo, rellenas con concreto reforzado. Enterradas a 1365 mm de profundidad y empotradas en cemento reforzado.⁸

Figura13 Especificaciones del soporte



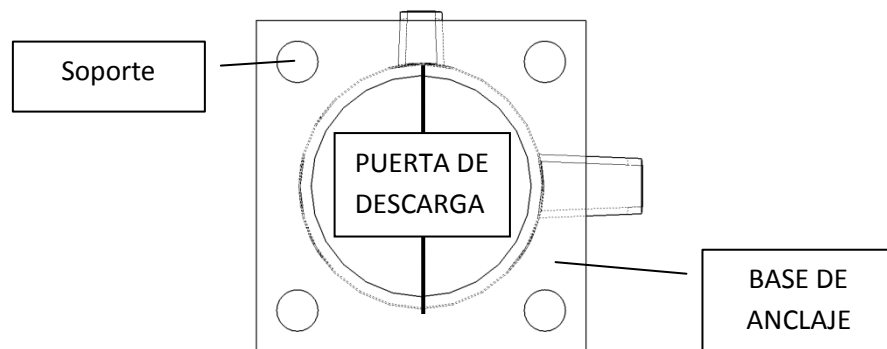
Fuente: Autor

⁸<http://www.editum.org/Hornos-de-cubilote-p-1285.html>

4.3.1.3 Base de anclaje y puerta de descarga:

Se ubica sobre los soportes y consta de una placa de fundición gris con una abertura circular de 400 mm para que sostenga el revestimiento.

Figura 14 Vista inferior del horno de cubilote



Fuente: Autor

Las puertas de descarga serán de forma semicircular y se conectan con la base de anclaje por medio de pernos. Una de las puertas tendrá un borde que formará parte de un soporte para la otra puerta, cuando ambas están apuntaladas en la posición de operación. El puntal será una barra sólida de acero de 38 mm de diámetro o más.

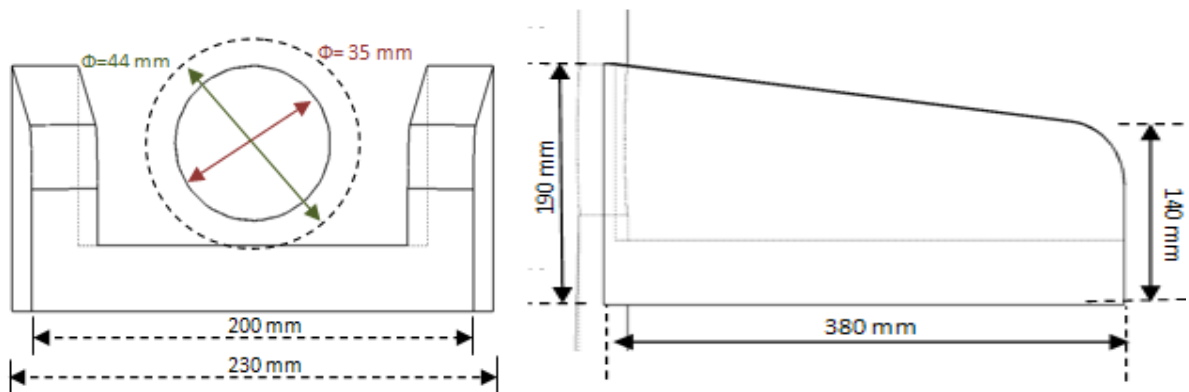
4.3.1.4 Tapadela puertade preparación:

Laguardadela puertade preparación tiene una altura de 200 mm y 300 mm de ancho, la guarda, tiene dos tapas con dimensiones de 300 x 200 mm. El material para elaborar la guarda y las tapas debe ser fundición gris de 5/8" de espesor.

4.3.1.5 Piquera de metal

Debe estar soldada y dispuesta a 160 mm arriba de la puerta de descarga y 35 mm abajo del orificio de salida del metal. La piquera se elaborará en fundición gris.

Figura 15 Dimensiones de la piquera de metal

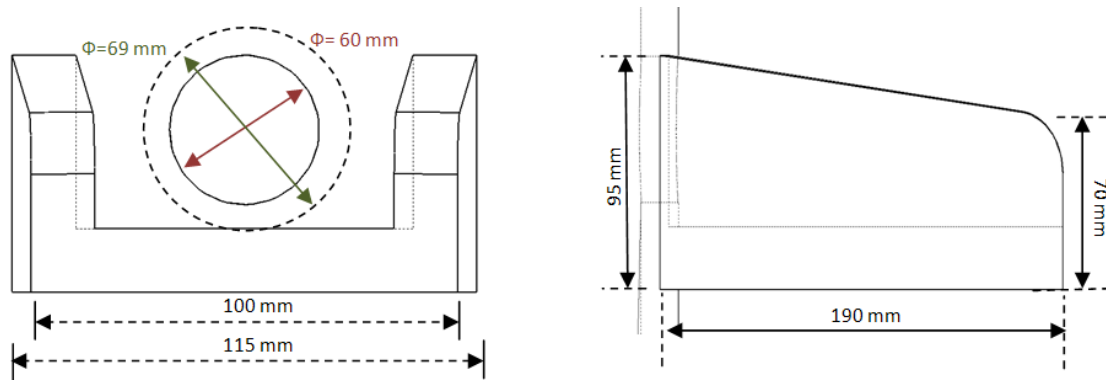


Fuente: Autor

4.3.1.6 Piquera de escoria

Debe estar soldada y dispuesta a 610 mm arriba de la puerta de descarga y 35 mm abajo del orificio de salida de escoria. La piquera se elaborará en fundición gris.

Figura 16 Dimensiones de la piquera de escoria



Fuente: Autor

4.3.1.7 Tubería ventilador-Caja de viento

Es la tubería horizontal que sale del ventilador y se une tangencialmente con la caja de viento. Tiene un diámetro interno de 180 mm calculado según la expresión:

$$dt = 0.45 * Di$$

En donde:

dt: Diámetro interno de la tubería ventilador – caja de viento

Di: Diámetro interno del cubilote

En el tramo de la tubería se disponen 2 válvulas de mariposa fijas, una en la tubería principal para medir el flujo de aire que viene del ventilador y la otra en la tubería que va a la caja de viento para regular la entrada de aire. Se elaborará en

lámina de HR A 36 de 3/16"≈5 mm. La longitud de la tubería se define por construcción.

4.3.1.8 Tubería caja de viento-Toberas

Es la tubería vertical que une a las toberas con la caja de viento y tiene un diámetro de 104 mm (ver figura 17) calculado según la expresión:

$$S_{to} = \frac{106 * Di^2 * p}{n \circ}$$

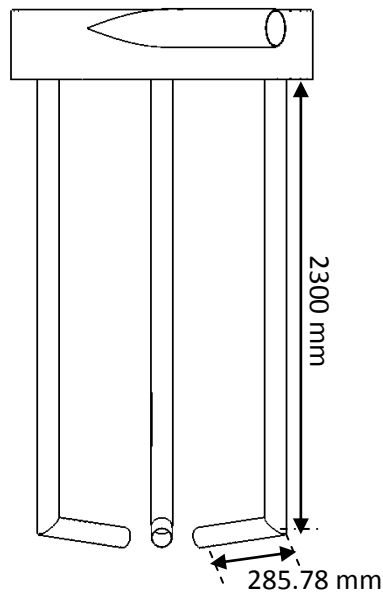
En donde:

S_{to} : sección de la tubería en cm

p : porcentaje de coque entre carga

n : número de toberas

Figura 17 Dimensiones de la tubería caja de viento-Toberas



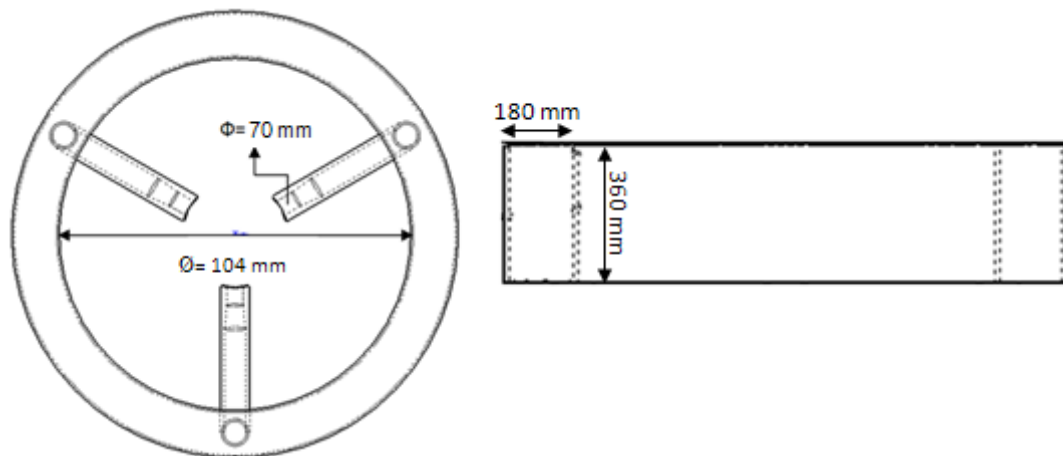
Fuente: Autor

La longitud de la tubería se define por construcción. El material utilizado es tubería comercial de 6".

4.3.1.9 Caja de viento

Tiene una altura de 360 mm y 180 mm de ancho como se aprecia en la figura 18. El material para la caja de viento es lamina HRA36 de 3/16". La parte superior de la caja de viento es de forma cónica para evitar la acumulación y la corrosión debida a las cenizas del cubilote.

Figura 18 Dimensiones de la Caja de Viento



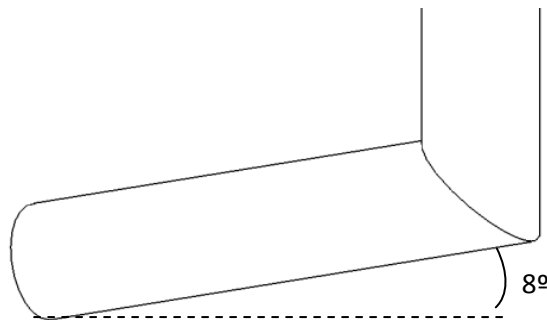
Fuente: Autor

4.3.1.10 Toberas

Las toberas se ubican 970 mm arriba de la puerta de descarga y tendrá una hilera de toberas, con un diámetro de 70 mm, la elevación de estas es de 8° con respecto al plano horizontal, la longitud de las toberas es definida por construcción.

El material para la elaboración de las toberas es lámina HRA36 de $3/16''$ de espesor.

Figura 19 Especificación de las toberas

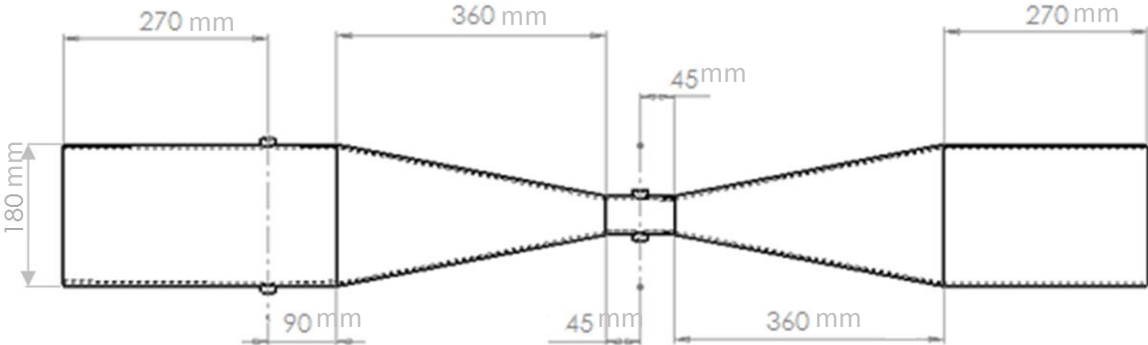


Fuente: Autor

4.3.1.11 Tubo Venturi

Se ubica entre la tubería ventilador-caja de viento y está construida en lámina HRA36 de $3/16''$.

Figura 20 Dimensiones del Tubo Venturi



Fuente: Autor

Tomando como base laspuertasde descarga, la distribución de alturas en el horno se resume en la tabla 1.

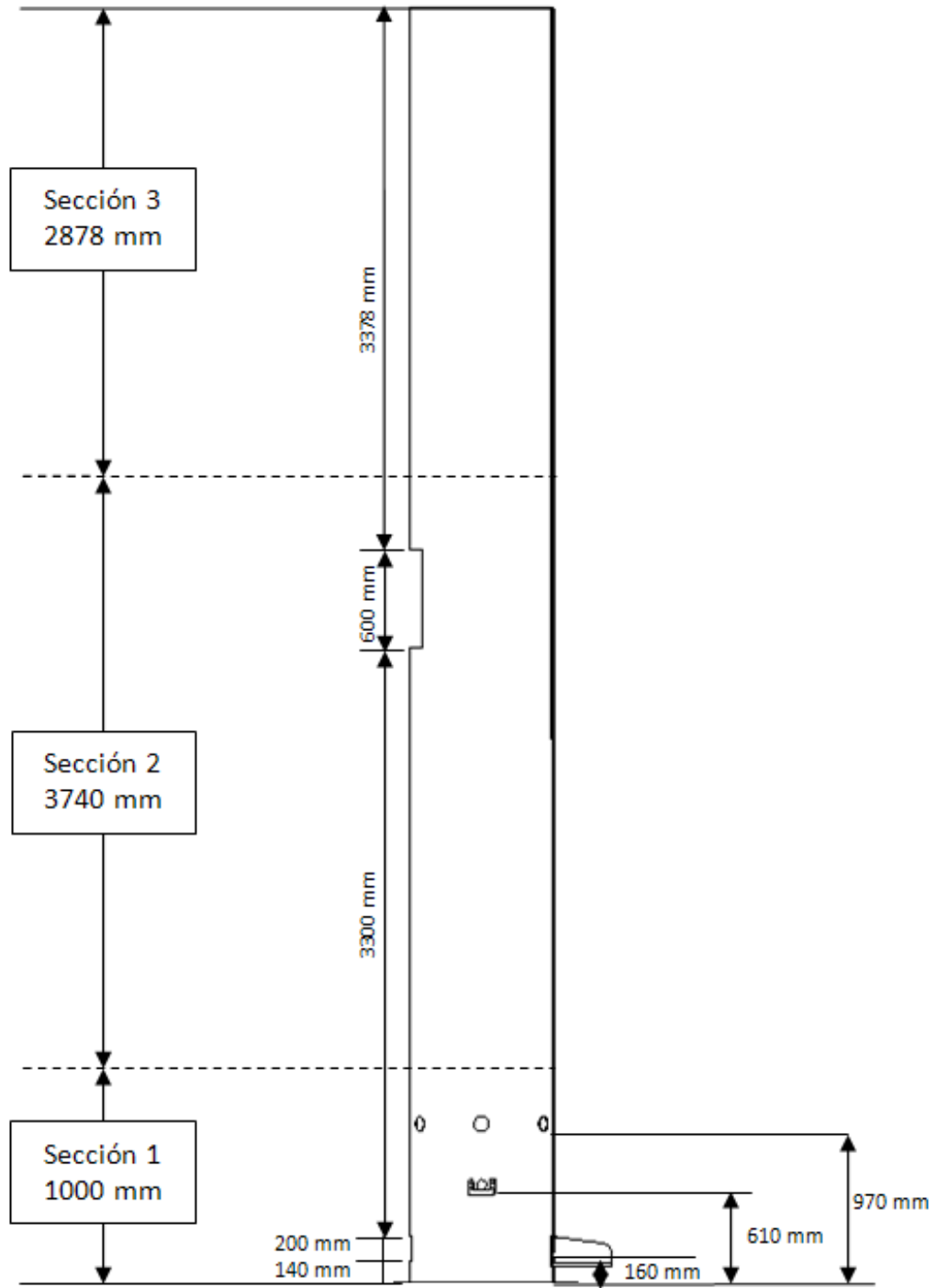
Tabla 1Distribución de alturas en el horno

| | |
|--|-----------------------------------|
| • Altura a la puerta de preparación | 140 mm |
| • Dimensiones | 200mm de alto 300 mm de ancho |
| • Altura al orificio de la piquera de metal | 160 mm |
| • Diámetro del orificio | 35 mm |
| • Altura al orificio de la piquera de escoria | 610 mm |
| • Diámetro del orificio | 60 mm |
| • Altura a la base de las toberas | 970 mm |
| • Diámetro de la tobera | 94 mm |
| • Atura efectiva (de la base de las toberas a la base de la puerta de carga) | 3300 mm |
| • Dimensiones de la puerta de carga | 600 mm de alto 500 mm de ancho |
| • A partir de la puerta que carga inicia la Chimenea | 3378 mm de alto |

Fuente: Autor

A continuación se presenta la distribución de alturas en el horno de cubilote diseñado para la empresa Baterías Diamante

Figura 21 Distribución de alturas en el horno de Cubilote

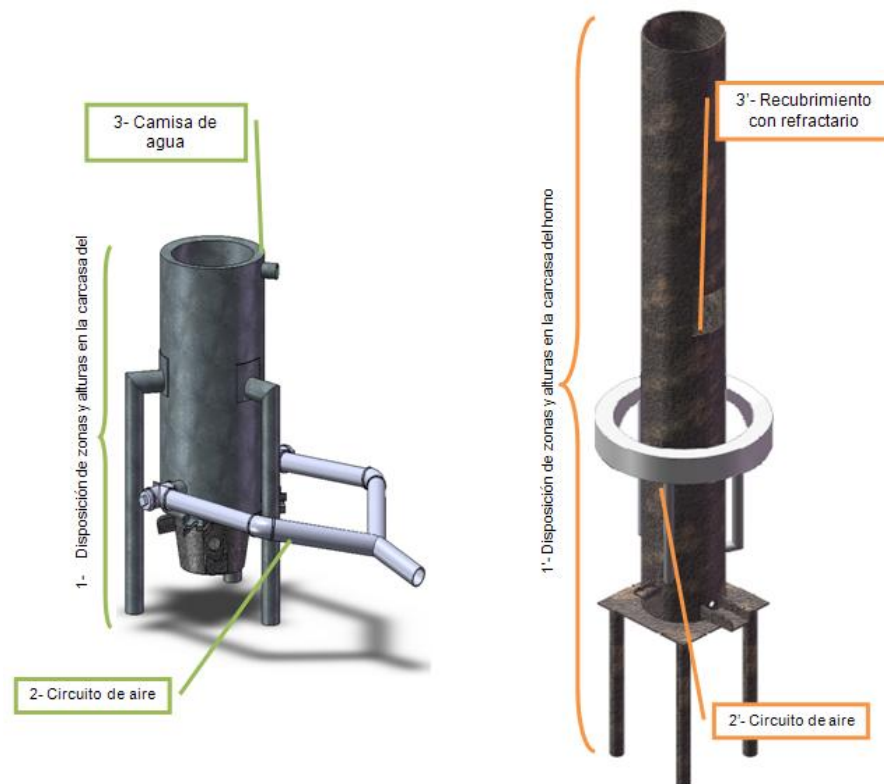


Fuente: Autor

Teniendo en cuenta lo expuesto con anterioridad y conociendo de antemano que es necesario cambiar el horno, se presenta un bosquejo del horno inicial y el nuevo para que puedan ser percibidos algunos de los cambios fundamentales de uno respecto al otro.

Figura 22 Comparación de los hornos

El horno de la izquierda corresponde al horno con el que cuenta la empresa actualmente y el de la derecha es un bosquejo de horno propuesto.



Fuente: Autor

A continuación se presenta un resumen de los parámetros de diseño erróneos con los que cuenta el horno de la empresa Baterías Diamante y las soluciones propuestas para el nuevo horno (tabla 2):

Tabla 2 Diferencia de los parámetros de diseño de los dos hornos

| Disposición de zonas y alturas en la carcasa del horno | |
|--|--|
| 1 | 1' |
| <ul style="list-style-type: none"> • La altura efectiva del horno es muy corta, esto disminuye la temperatura por el poco tiempo que se tiene para los intercambios térmicos. • La poca altura de la chimenea y los cambios bruscos de sección en el terminal superior disminuyen el tiro, ocasionando que los gases de combustión se devuelvan debido a que la chimenea no está ejerciendo la fuerza necesaria para llevarlos al sistema de depuración. • La zona del crisol es removible y La distancia entre la solera y el orificio de escoria es muy pequeña ya que normalmente se considera una distancia de 450 mm y se tiene una distancia de 140 mm. | <p><i>Las alturas y las zonas del horno son fijas y han sido calculadas en base a los estudios, experimentos y las experiencias recopiladas en la literatura especializada en el tema.</i></p> |
| Circuito de aire | |
| 2 | 2' |
| <p>Presenta dos toberas horizontales, que reciben el aire proveniente de las tuberías ventilador- toberas conectadas entre sí mediante una (T). Esto puede acarrear turbulencia debido al cambio brusco de dirección y puntos centrales energéticamente muertos que afectan la combustión del coque.</p> | <p><i>Con un diámetro adecuado para las toberas, las cuales están inclinadas 8° con la horizontal. Además, las tuberías son horizontales y verticales para evitar los cambios bruscos de sección en zonas aledañas al horno.</i></p> |
| <p>No cuenta con caja de viento que equilibre la presión del soplo y permita una distribución regular del aire en las toberas; ni con instrumentos que permitan medir y controlar el flujo de aire soplado por el ventilador.</p> | <p><i>Cuenta con una caja de viento, un tubo Venturi y mariposas regulables. Esto permite medir y controlar el flujo del aire soplado.</i></p> |
| Refrigeración del horno | |
| 3 | 3' |
| <p>Cuenta con un sistema de refrigeración proporcionado por una camisa de agua. El inconveniente con la refrigeración del horno es que no hay un sistema de enfriamiento para el agua que sale del horno, lo cual no es económico por el gasto de agua. Además no se emplea ladrillo refractario, todo esto genera que el rendimiento de la combustión sea bajo, debido a que la energía cedida por el combustible (coque) no está siendo utilizada eficientemente por el horno ya que se pierde en los humos y en las paredes del horno.</p> | <p><i>Cuenta con ladrillo refractario que protege el horno y ayuda a mantener la temperatura del proceso de fusión, con lo cual se aumenta el rendimiento de la combustión.</i></p> |

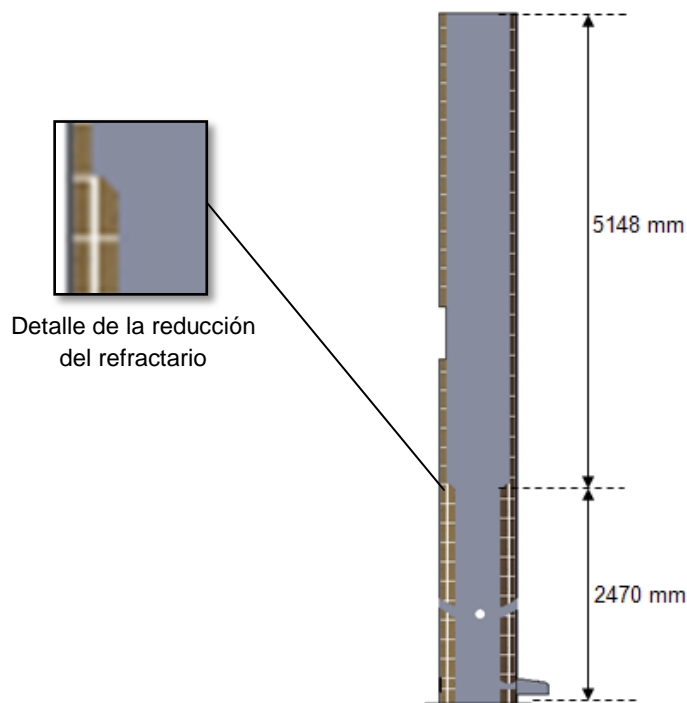
Fuente: Autor

4.4. PROCEDIMIENTO A SEGUIR EN LA PREPARACIÓN DEL HORNO DE CUBILOTE NUEVO

4.4.1. Refractario

La naturaleza del refractario es silicio-aluminosa, con un contenido de alúmina del 40%. Los ladrillos se disponen verticalmente, se unen entre sí con arcilla refractaria con el menor espesor posible. Se construirá una doble hilera de ladrillo refractario hasta una altura de 2470 mm y a partir de esta altura se eliminará una hilera de ladrillos. La hilera de una sola fila de refractario se preparara con un ladrillo más económico de sílice. Los ladrillos se pegan formando un anillo en el interior del horno y separados de la carcasa 20 mm. La distribución del refractario dentro del horno se muestra en la figura 23.

Figura 23 Especificación de la posición y distribución del ladrillo refractario



Fuente: Autor

Una vez se instala el refractario, se debe encender el horno para secar y endurecer la arcilla. Posterior a esto, se procede a preparar la piquera y la solera en los tiempos requeridos para cada procedimiento.

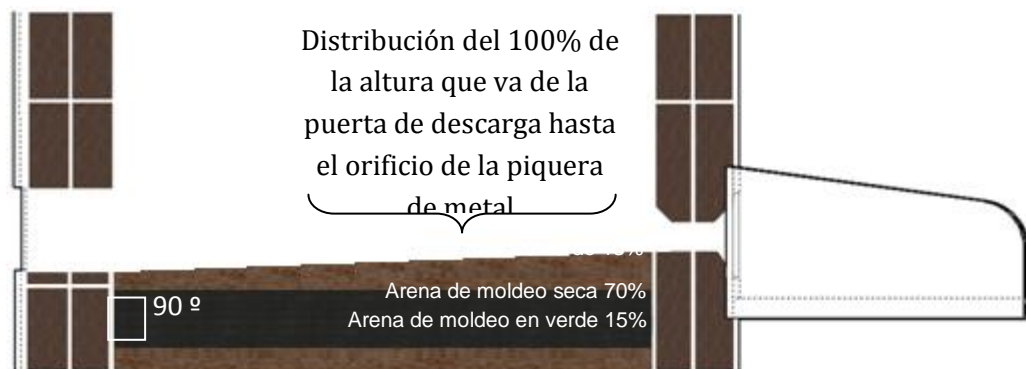
4.4.2. Elaboración de la solera:

Se recomienda preparar la solera el día antes de la colada para que se seque. Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Cerrar, ajustar y asegurar la puerta de descarga con un soporte metálico (puntal).
2. Sellarcuidadosamente toda junta y espacio hueco en la sección del crisol tanto dentro como fuera del horno con arena de moldeo en verde.
3. Cubrir la puerta de descarga y las paredes de la solera hasta la altura de la piquera con lechada (mezcla líquida de agua y caolinita) tanto vertical como horizontalmente, para asegurar la adherencia de la arena.
4. Cargar arena de moldeo húmeda (6-8% de humedad) para aumentar la resistencia mecánica de la solera y arena de moldeo seca o quemada, para contener el metal fundido ya que este no puede penetrarla. Para llevar a cabo este paso se debe distribuir la arena de la siguiente forma empleando la instrumentación adecuada (ver Figura 24 y 25):
 - Agregar una capa de 24 mm de altura de arena en verde, aplanar y apisonar.

- En seguida, cargar una capa de arena de moldeo seca de 112 mm de altura, aplanar y apisonar.
- Finalmente, adicionar otra capa de arena en verde de 24 mm de altura, nivelar y emparejar. Esta última capa tendrá una inclinación de 10° aproximadamente hacia el orificio de piqueta. Verificar con un nivel de burbuja el grado de inclinación y el nivel de la arena hacia las paredes.

Figura 24 Especificaciones de la distribución de arena en la solera



Fuente: Autor

Recomendaciones para la preparación de la solera:

- Es conveniente que la arena seca sea arena ya utilizada proveniente de los procesos de moldeo para evitar la expansión de la sílice.
- Es necesario tamizar la arena para eliminar impurezas de gran tamaño que puedan mezclarse con el metal.
- La unión entre la solera y la pared del refractario debe ser a 90° para asegurar que el fondo caerá tan pronto se abran las puertas al final de la fusión (ver figura 24).

- Evitar la presencia de escoria en la solera porque tiene un punto de fusión más bajo que el del metal y las zonas en la que no se elimina se ahuecan con lo que se puede salir el metal.

Figura 25 Instrumentación Recomendada para emparejar, nivelar y apisonar



Puede emplear una tabla para remover la arena en exceso y emparejarla



Para probar el nivel de la arena se puede emplear un nivelador de burbuja

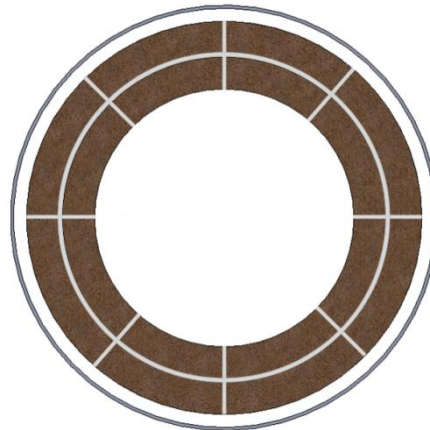


Apisonador

Fuente: <http://bit.ly/i2sckZ>

5. Sellar con ladrillos refractarios (previamente humedecidos en agua 10 min) la puerta de preparación, disponiendo los ladrillos verticalmente y en la misma forma de anillo con la que viene la secuencia (figura 26) empleando para ello una pasta preparada con arena de moldeo y agua (la mezcla debe ser consistente).

Figura 26 Corte transversal del horno en el cual se exhibe la secuencia de ladrillos refractarios dispuestos en forma de anillo dentro del horno



Fuente: Autor

Finalmente, limpiar la puerta de preparación, cubrir con lechada las paredes y mezcla refractaria, cerrar y sellar los bordes de la puerta.

4.4.3. Preparación de las piqueras

Debe prepararse con 15 días de anticipación.

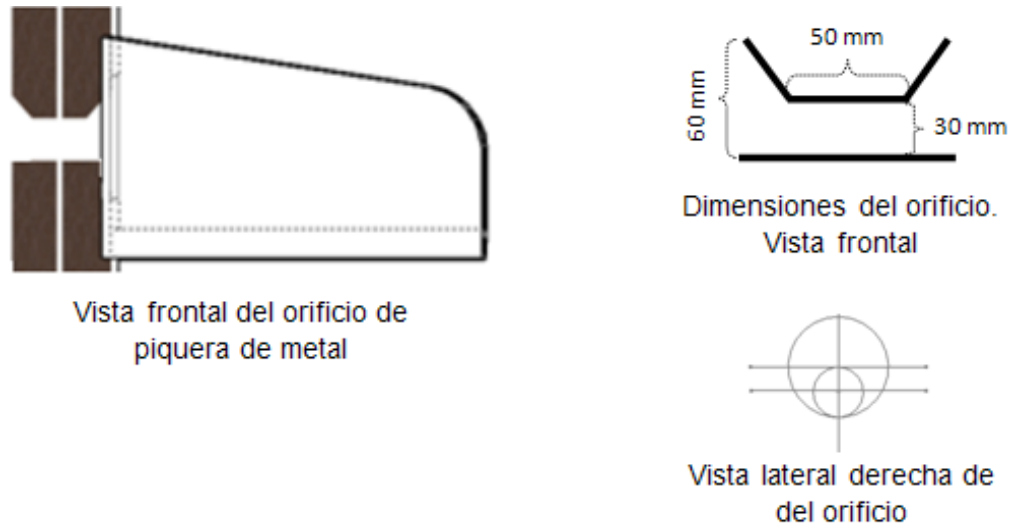
El orificio de piqueta se elabora a través de ladrillos refractarios como se muestra en la figura 27. En la piqueta de metal, el diámetro de la sección cilíndrica es de 30 mm y el diámetro del cono truncado irregular del interior es de 60 mm. En la piqueta de escoria, el diámetro del cilindro es de 60 mm y el del cono truncado interior es de 120 mm. El largo del cilindro es de 50 mm para los dos orificios.⁹

Antes de preparar las piqueras

⁹ALONSO, ARNALDO. *Manual de laboratorio de fundición II. Universidad Industrial de Santander. 1984*

se debe limpiar muy bien, quitar las capas de escoria y demás impurezas en el orificio que afectan el metal fundido que sale del horno.

Figura 27 Especificaciones del orificio de piquera de metal



Fuente: ALONSO, ARNALDO. *Manual de laboratorio de fundición II*. Universidad Industrial de Santander. 1984

Preparación

1. Limpie la superficie de la Piquera y aplique una capa de lechada (caolinita + agua).
2. Prepare mezcla refractaria, inserte un tapón o tubo en el orificio de la piquera para no tapanlo y cubra el ángulo saliente del canal. Luego, cubra la superficie de la piquera.

3. Disponga los ladrillos refractarios (previamente humedecidos durante 10 min) sobre la mezcla y dispóngalos de tal forma que se forme una **V**, con caras planas, fondo redondeado y con una pendiente uniforme hacia el extremo para facilitar la el flujo del metal.

Si es necesario fragmentar el ladrillo para que se ajuste al tamaño de la piqueta, ubique el más corto cerca al orificio de piqueta y el más largo al final de canal.

4. Agreguemezcla refractaria entre los ladrillos dejando destapada la superficie de los mismos.
5. Con la mezcla refractaria y contubo PVC forme un canal en forma de **V**, teniendo especial cuidado en dejar la superficie completamente lisa y con una inclinación hacia el exterior de 30°.
6. Retire el tapón de la piqueta y moldee el orificio con una espátula en forma de cono, con el diámetro mayor hacia afuera.

Nota: Las piqueras se cierra con un tapón cónico de arcilla cruda en los dos orificios antes de la fusión. Durante la fusión, se cierran introduciendo el tapón con una barralarga y cuando llega el momento de colar el plomo se perfora con ayuda de un abarrapuntiaguda.

4.4.4. Reparación del cubilote

Se efectúa en dos etapas, la primera etapa se realiza en un lapso de 3 a 10 h luego de terminar la jornada de fusión y está frío el horno. Corresponde a las averías que se presentan en el revestimiento y en el fondo del cubilote entre otras cosas.

Una vez se cumple el tiempo prudente, se remueve la escoria o el material refractario vitrificado con un cincel o un piqueta sin alcanzar el material refractario que no ha sufrido deterioro. Las partes afectadas se recubren con mezcla refractaria y se deja reposar un lapso de tiempo mínimo de 24 horas.

La segunda etapa, se realiza en un lapso de tiempo de una a dos veces por año dependiendo del estado del horno. Consiste en una reparación general en la cual se hacen los arreglos pertinentes de todas las secciones del horno tales como el cambio de los ladrillos refractarios deteriorados, el recubrimiento de las piqueras, se revisa el estado de la caja de viento, chimenea, tubo Venturi, entre otros.

5. PARAMETROS DE OPERACIÓN TEÓRICOS

Asumiendo¹⁰:

- ✓ 15% de coque entre carga (porcentaje seleccionado porque permite obtener las mejores condiciones térmicas, metalúrgicas y económicas).
- ✓ 87% C
- ✓ Masa volúmica del coque= 0.5 Kg/dm^3

➤ Peso de la carga de coque:

Peso máximo= 15.75 Kg

Peso mínimo= 12.6 Kg

Peso promedio= 14.2 Kg

➤ Peso de la carga metálica asumiendo un 15% de coque entre carga:

Peso máximo= 105 Kg

Peso mínimo= 84 Kg

Peso promedio= 94.5 Kg

➤ Flujo de aire (Q_s)

$Q_s \text{ (m}^3/\text{h)} = 1368 \text{ m}^3/\text{h} = 0.38 \text{ m}^3/\text{s}$

¹⁰ ALONSO, BAQUERO ARNALDO. *Diseño, operación y control del Cubilote*. Bucaramanga: División Editorial y de Publicaciones UIS. 2000.

Considerando las pérdidas de aire por fugas equivalentes al 20%, el aire de combustión es:

$$Q_c = 0.30 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Teóricamente, la altura de la cama de coque considerando un porcentaje de coque entre carga del 15%, el apisonamiento producido por el peso de la carga metálica y un precalentamiento de las piqueras y la solera, debe ser de 1750 mm.
- Índice de combustión (n):

$$n = \left(\frac{0.03865}{p} * C \right) + 0.15 = 29.7 \approx 30$$

Donde

p= 15% de coque entre carga.

C= coque con 87% de carbono

Con este índice se obtienen los siguientes parámetros de combustión:

- ✚ Cantidad de O₂ que combuste= 28.9 m³/Kg
- ✚ Cantidad de N₂ que entra= 110 m³/Kg
- ✚ Aire consumido= 33.4 m³/Kg

Caudal de CO₂, CO y N₂ producido en la combustión por Kg de Carbono:

- ✚ CO₂ producido= 55.98 m³/Kg
- ✚ CO producido= 54.11 m³/Kg
- ✚ N₂ producido= 110 m³/Kg

Total de gases de combustión= 111,83 m³/Kg

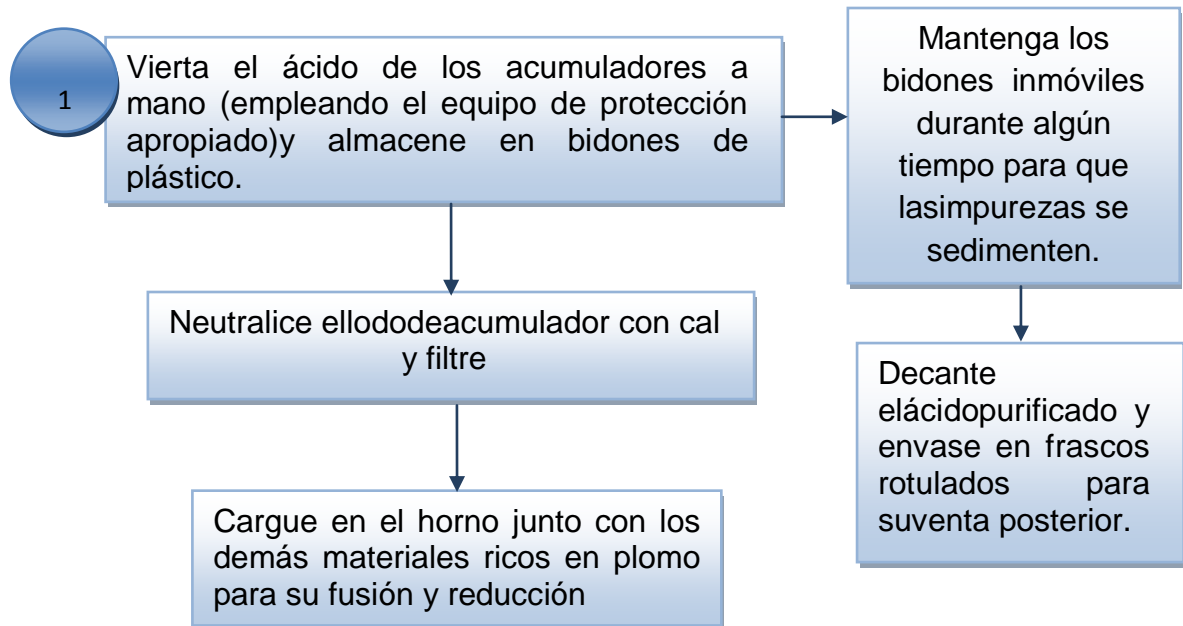
Calor suministrado por kmol (W) de carbono cargado sin considerar la carburación:

$$W = 2075,4 \text{ Kcal/Kmol.C}$$

6. RECOMENDACIONES APLICABLES AL PROCESO DE RECUPERACION DE PLOMO Y MANEJO DEL HORNO

- ☑ El pre-tratamiento de las baterías es una etapa relevante en la cual debe procurarse una completa eliminación de los plásticos, ácidos, aceites y otros materiales orgánicos en la carga que se va a fundir.
- ☑ Se recomienda un cambio en las operaciones empleadas en el desarme de las baterías y selección de la carga metálica, por un método más eficiente, menos riesgoso para los operarios y el medio ambiente, ya que la operación manual de romper, vaciar y separar crea un riesgo para los operarios.¹¹

A continuación se indican los pasos recomendados:



¹¹ VEST, HEINO. *Fundamentos del reciclaje de acumuladores de plomo-ácido*. 2000. Tomado de: <http://bit.ly/cVAILY>

2

Corte las cubiertas de los acumuladores con una guillotina y saque las placas de la caja

En un tambor perforado de trituración que gira dentro de un recipiente con agua, cargue las placas para separar las rejillas de los separadores y de la pasta de las rejillas.

También es posible triturar los acumuladores completos empleando un molino de martillos y posteriormente pasándolos a un tambor de molienda y lavado para su separación.

En ambos casos, el lodo se bombea en forma continua o intermitente a tanques de sedimentación, donde el sólido va al fondo. El líquido clarificado regresa a la operación de trituración, mientras que el precipitado pasa a un filtro prensa o se deja secar al sol.

La torta del filtro o el material seco al sol es la alimentación que se carga en el horno junto con los demás materiales ricos en plomo.

3

La segunda fracción, el material grueso que básicamente consiste en rejillas y separadores, sale del tambor de trituración por su extremo inferior. Los separadores y las rejillas se separan a mano, donde la fracción metálica es la alimentación principal de la fusión a baja temperatura.

4

Los residuos plásticos de la operación de desmantelamiento se deben desechar o bien se pueden usar como combustible en las fábricas de cemento, para tal caso es importante que no quede plomo en el producto de plástico.

- ☑ Conocer previamente la composición química de la carga metálica para que en un futuro sea posible establecer los parámetros de operación específicos del proceso de recuperación de plomo. Pesar el metal, el coque, fundente y demás aditivos que se van a consumir en el proceso de fusión.
- ☑ Cargar coque con un tamaño (calibre aproximado de 50 mm) que se adapte al diámetro interno del cubilote, ya que este factor influyen en la caída de presión dentro del horno a través de la cama de coque, asimismo las reacciones químicas que ocurren en las diversas zonas son influenciadas por el volumen vacío y la superficie expuesta.
- ☑ Con objeto de que el horno de cubilote pueda contener el calor y los productos fundidos, deberá estar provisto de un revestimiento refractario conveniente. La calidad y la uniformidad son necesarias en este revestimiento: para proteger los componentes estructurales del horno, para asegurar un trabajo de dimensiones consistentes, y para ayudar a un descenso suave de la carga con una mínima contaminación del metal.^[2]
- ☑ La preparación del horno debe hacerse con tiempo y manteniendo control tanto del material refractario que se va a emplear como del espesor del mismo. Se recomienda que el espesor de la arcilla refractaria para cubilotes pequeños tenga como mínimo 115 mm, pero si se van a realizar hornadas largas se aconsejan espesores de 178 a 229 mm.
- ☑ Precalentar el horno en tempos comprendidos de 5 a 6 horas con el propósito de vencer la inercia térmica del horno y disminuir el periodo inestable de la marcha.
- ☑ Una vez termina la fusión se recomienda dejar que el horno se enfríe, con el fin de evitar disgregamiento (rotura o agrietamiento de los refractarios hasta tal

grado que los fragmentos se separen y queden expuestas nuevas superficies de la masa), esto se presenta cuando se tira el fondo, ya que el aire frío al pasar rápidamente por la superficie del refractario extremadamente caliente, origina un choque térmico. El choque térmico está agravado por la introducción de chorros de agua para enfriar las paredes del horno más rápidamente. Tal práctica ha de considerarse con precaución, puesto que el ahorro en tiempo puede verse fuertemente desbalanceado por el costo de los refractarios destruidos.⁵

7. RESULTADOS ESPERADOS

Con la propuesta de los parámetros de diseño, operación y la continuidad en el proceso de reingeniería, se espera que una vez culmine la construcción del horno y se ponga en marcha siguiendo las recomendaciones del caso, la empresa cuente con un horno eficaz, que funcione de forma adecuada, que desarrolle un proceso productivo el cual permita competir a nivel regional y nacional. Todo esto siendo respetuosos con el medio ambiente y disminuyendo el riesgo tanto de los operarios como de la comunidad.

Con base en el diámetro interno de este horno, se presume una producción estimada de la siguiente forma:

Tabla 3 Producción Horaria

| PRODUCCIÓN | Kg/ h | Ton/ h |
|-------------------|--------------|---------------|
| Máxima | 960 | 0.960 |
| Óptima | 864 | 0.864 |
| Mínima | 800 | 0.800 |

Fuente: Autor

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] RIVEROS, L. G., & VARGAS, J. C. *Química 1*. Educar Editores LTDA. (1984). P. 35-40.
- [2] FASE II DEL ESTUDIO: "MANEJO AMBIENTALMENTE RACIONAL DE BATERÍAS USADAS ÁCIDAS DE PLOMO EN CENTRO AMÉRICA Y EL CARIBE". <Disponible en: <http://www.ilmc.org/Basel%20Project/Colombia/Reports/Spanish/T%F3picos%20M%20acroecon%F3micos%20Colombia%20-%20Revisado%20MMA.doc>>. Visitado en agosto de 2010.
- [3] DIAGNÓSTICO AMBIENTAL SOBRE EL MANEJO ACTUAL DE BATERÍAS USADAS GENERADAS POR EL MANTENIMIENTO DEL PARQUE AUTOMOTOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ <Disponible en: <http://bit.ly/9gvhjk>> visitado en julio de 2010.
- [4] CINSET, C. p. *Guía ambiental fabricantes y recuperadores de baterías*. Colombia, Bogotá. P. 1-6.
- [5] SOCIETY, A. F. *The cupola and its operation*. Chicago, Illinois. (1961). RIVEROS, L. G., & VARGAS, J. C. (1961). *Química 1*. Educar Editores LTDA. P. 16-70.
- [6] Ley 1196 de 2008. <Disponible en: <http://bit.ly/hDqTCZ>>. Visitado en agosto de 2010.
- [7] Fundamentos del reciclaje de acumuladores de plomo-ácido. < Disponible en: <http://bit.ly/cVAILY>>. Visitado en agosto de 2010.
- [8] HORNOS DE CUBILOTE. <Disponible en: <http://www.editum.org/Hornos-de-cubilote-p-1285.html>> Visitado en octubre de 2011.
- [9] ALONSO, ARNALDO. *Manual de laboratorio de fundición II*. Universidad Industrial de Santander. 1984. P. 3-110.
- [10] ALONSO, BAQUERO ARNALDO. *Diseño, operación y control del Cubilote*. Bucaramanga: División Editorial y de Publicaciones UIS. 2000. P. 30-40.

- [11] VEST, HEINO. *Fundamentos del reciclaje de acumuladores de plomo-ácido*.2000. <Disponible en: <http://bit.ly/cVAILY>>.Visitado en septiembre de 2010
- PARDAVÉ L., WALTER, *Reciclado Industrial de Metales una aproximación*. Ecoe Ediciones, Bogotá, D.C., Primera edición, 2006.
- [12]THE CUPOLA.<Disponible en: <http://www.tempe.gov/arts/exhibitions/files/Library/Medallions.pdf>>. Visitado en octubre de 2011.