

**Universidad Nacional Autónoma de México**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**RECUPERACION DE PLOMO DE PLACAS  
DE ACUMULADOR EN HORNO ROTATORIO**

**JORGE CARLOS AVILA CERVERA**

**INGENIERO QUIMICO METALURGICO**

**1 9 7 9**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TESIS 1979  
M.T. 28  
ECHA \_\_\_\_\_  
REC. \_\_\_\_\_  
S. \_\_\_\_\_




PRESIDENTE Quim. Manuel Gaviño Rivera  
VOCAL Prof. Kurt H. Nadler Gundeisheimer  
SECRETARIO Ing. José Campos Caudillo  
1er. SUPLENTE Ing. Enrique Curiel Reyna  
2º SUPLENTE Ing. Marco A. Chamorro Díaz

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE SEGUN EL TEMA.

Sitio donde se Desarrolló el Tema: México, D. F.

Nombre Completo y Firma del Sustentante: <sup>Jorge Carlos Avila C.</sup> Jorge Carlos Avila Cervera

Nombre Completo y Firma del Asesor: Ing. José Campos Caudillo. 

A MIS PADRES.

A MONICA.

A MIS HERMANOS:

ARTEMIO Y SUSANA

CECILIA Y MILT

FERNANDO Y AMALIA

GILDA Y BERNABE

ALBERTO

Y deseo hacer patente un agradecimiento  
muy especial a una persona que siempre  
me brindó una gran ayuda en todos los --  
aspectos, el Lic. Gabriel García Oñate.

CAPITULO I

" INTRODUCCION "



## INTRODUCCION

En esta t sisis se contiene un esfuerzo llevado a cabo durante una -  
carrera que la culmino con el deseo que esta investigación sea útil en un  
futuro próximo.

Este trabajo tuvo varios factores que determinaron el hecho que -  
lo realizara como t sisis profesional. Entre estos factores ennumerar  los  
más importantes:

- El impulso que recibí para realizar este trabajo por parte del -  
Profesor Ingeniero José Campos Caudillo.

- El hecho de que hubiese realizado prácticas industriales en una -  
fundición donde se maneja un horno rotatorio y así mismo donde se fabri-  
can en su totalidad estos.

- Mi deseo de hacer un trabajo donde pudiese aplicar un algo de --  
uso c mun en metalurgia ferrosa a la metalurgia no ferrosa.

Deseo que esta investigación abra el camino a otras semejantes -  
como ha sucedido en Inglaterra y en U.S.A. donde la industria de la re--  
cuperación de plomo de baterías ocupa un lugar importante.

Así mismo lamento el hecho de no haber encontrado la coopera---  
ción necesaria en la industria con estas características para desarrollar-  
este tema en una forma práctica.

## CAPITULO II

### " GENERALIDADES "

- Breve Historia.
- Propiedades físicas y químicas del plomo.
- Obtención del Plomo.
- Usos.
- Procesos de recuperación de plomo a partir de acumuladores.

## BREVE HISTORIA

Debido a la facilidad con que algunos minerales de plomo se reducen por el carbono y el monóxido de carbono, cabe pensar que el plomo se descubrió hace muchos miles de años en las cenizas de cualquier hoguera que se hubiese encendido encima de un afloramiento de mena oxidada del metal. Es uno de los pocos metales conocidos en el mundo antiguo, ya que su uso se remonta a unos 9 000 años.

Los egipcios lo utilizaban para vidriar la cerámica y el pueblo chino para revestir las arquetas donde guardaban el té. Los primeros en usarlo en instalaciones de plomería fueron los romanos.

La metalurgia del plomo tuvo un desarrollo notable en la edad media en la región central de Europa y unas de las primeras minas de que se tiene conocimiento de su explotación fueron las de Harz (Alemania) a partir del año 968.

La explotación moderna de minerales de plomo se inició por el año 1621 en Virginia, U. S. A., con el fin de fabricar, principalmente, perdigones.

## PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS.

El plomo, de número atómico 82, peso atómico 207.21, densidad 11.35 ( a 20°C), punto de fusión de 327.4°C y de ebullición de 1751°C a 760 mm. de Hg, es un metal blanco azulado, que en las superficies recién cortadas presenta un brillo metálico perfecto, pero en contacto con el aire

se empaña instantaneamente tomando un color gris. Es el más blando de los metales pesados ordinarios; es muy maleable y flexible, lo que permite manejarlo fácilmente en sus aplicaciones, sin embargo, en virtud de su escasa resistencia mecánica, su ductilidad es relativamente mala. Tiene un límite de elasticidad malo, un coeficiente de dilatación térmica elevado y excelentes propiedades antifricciónantes.

Generalmente el plomo se considera como un metal barato aunque su precio es superior al del hierro, pero debido a sus propiedades, se hace indispensable para muchas aplicaciones.

Entre sus propiedades podemos enlistar:

1. - Excelentes propiedades antifricción.
2. - Resistencia a la corrosión atmosférica, subterránea y de las aguas salinas.
3. - Resistencia al ácido sulfúrico y a los compuestos sulfurosos.
4. - Blandura y facilidad de trabajo.
5. - Punto de fusión bajo combinado con punto de ebullición alto.
6. - Costo bajo y valor elevado del metal secundario.
7. - Peso específico elevado.
8. - Propiedades aleantes.
9. - Resistencia a la penetración por las radiaciones de longitud de onda corta.

## OBTENCION DEL PLOMO.

La abundancia del plomo en la corteza terrestre es de 16 gramos - por tonelada, en el mar existe entre 0.001 y 0.005 gramos por tonelada y existen trazas en el aire contaminado (smog) debido a los motores de com bustión interna.

El mineral más abundante del plomo es la galena ( $PbS$ ) que contiene un 86.57 % de plomo y un 13.43 % de azufre; aunque existen otros minera- les como la anglesita ( $PbSO_4$ ) que contiene un 83.9 % de plomo y la cerusi- ta ( $PbCO_3$ ) con un 77.5 % de plomo, éste se extrae casi exclusivamente de- la galena.

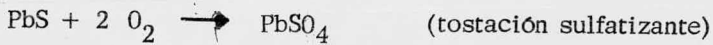
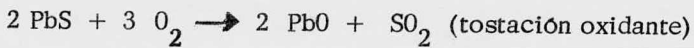
Las asociaciones ordinarias de los minerales de plomo son: anti-- monio, cobre, bismuto, hierro, plata, zinc, níquel, cadmio, arsénico -- cobalto, manganeso y azufre constituyendo yacimientos de minerales com plejos ó mixtos.

Ocasionalmente los minerales de plomo se presentan como exclusi vos en algunos yacimientos, pero aún en éstos casos, pueden encontrar-- se pequeñas cantidades de plata, zinc, oro y fierro.

El proceso de obtención del plomo consta de cuatro etapas a saber, que son:

1. - Concentración del mineral.
2. - Tostación oxidante que convierte al sulfuro en óxido y sulfatos.
3. - Reducción del óxido ó del sulfato.
4. - Refinado.

La concentración se realiza, generalmente, mediante flotación del mineral finamente pulverizado. Se separa el sulfuro de zinc que suele --- acompañarle, empleándose como líquido adsorbente un xantato al que sue le añadirse hidróxido de sodio para aumentar la adherencia de las partícu las de la galena con el xantato; una parte del material concentrado se so mete a tostación de acuerdo con las siguientes reacciones:



esta tostación se realiza en el aire en montones ó en hornos de diversos -- tipos. Las reacciones principales representadas por las 2 últimas ecuacio nes son acompañadas de otras como:



En realidad un horno de oxidación y sulfatación encierra un sistema complejo de diversas fases sólidas y una fase gaseosa formada en definiti va por ( $\text{O}_2 + \text{SO}_2$ ); y el predominio de la reacción citada en primer lugar - (oxidante), ó el de la segunda (sulfatizante) dependerá de la concentración del mineral PbS que dejó de tostarse para ese ulterior objeto. A veces se añade, incluso, escasa cantidad de mineral de hierro, además de funden tes (cal); realizándose esta operación en un alto horno de unos 8 metros; - en él tienen lugar las siguientes reacciones:





El hierro de la última reacción lo suministra la mena de hierro --  
( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) que se añade.

El plomo obtenido en el horno soplante ó plomo crudo ó plomo de obra, contiene impurezas, generalmente de cobre, antimonio, arsénico y hasta bismuto, oro y plata; la galena argentífera es contenida en mayor grado por la última; la escoria que se forma contiene silicato de calcio, producido a expensas del sílice que contiene la ganga de la galena, y la llamada mata contiene sulfuros de hierro y cobre y también residuos de plomo.

En el refinado del plomo crudo ó de obra se separa al plomo de sus impurezas y de otros metales que por su naturaleza deben ser aprovechados. La operación se ejecuta en hornos de reverbero, en los que se introduce el plomo de obra en lingotes de 50 Kg., en el horno sufre nuevas fusiones; el arsénico que aún contiene se volatiliza y desprende junto con los humos y se producen óxidos de los metales dichos (Sn, Cu, Zn, Fe, S y Sb) que también son vaporizados ó flotan sobre la masa de plomo fundida formando una espuma negra.

El plomo se refina, así mismo por electrólisis, sistema patentado por Betts a principios de siglo.

Consiste en la electrólisis del fluorosilicato de plomo con ácido fluorosilícico (8 al 12 %) y un poco de gelatina. Obteniéndose el fluorosilicato por reacción entre el PbO y dicho ácido. Los cátodos son de plomo puro y los ánodos de lámina de plomo crudo ó de obra, aplicándose densidad de corriente de 1.5 a 2.6 amperios por decímetro cuadrado, y de 0.35 ó 0.45 voltios por cuba. Se elimina así toda la plata y queda un plomo con pureza de hasta 99.9994 %.

## USOS

El uso más importante que tiene el plomo es de la producción de placas para acumuladores donde se utiliza más de la cuarta parte de la producción mundial de este metal.

Otros usos importantes que tiene el plomo son los revestimientos-serpentines, bombas, válvulas y la fabricación de compuestos químicos.

Debido a su alta resistencia a las soluciones de sal común, tienen una gran demanda en la fabricación de tubería para agua de mar, para revestir salas refrigeradoras y acuarios. Es importante su uso en la fabricación de ácido sulfúrico por el procedimiento de las cámaras de plomo, así como para fabricar nitroglicerina, dióxido de titanio y éteres.

El plomo se utiliza en la refinación del petróleo, en la cual el tratamiento con ácido sulfúrico es seguido de un lavado con sosa caústica. Es un material muy útil en la fabricación de ácido fosfórico.

La industria de la madera y del papel, usan el plomo en sus tuberías para enfriar el gas sulfuroso y para llevar los líquidos de descarga



• desde los digestores de la pulpa.

Por su densidad de 11.3 resulta un material muy conveniente para la protección contra los rayos X, así como un material ideal para contrapeso en diversas máquinas y en las quillas de los barcos.

Debido a que el plomo es un material relativamente blando, se aprovecha como plomo de impresión para reproducir placas de medio tono y tipos con los cuales se hacen después los electrotipos. Las láminas de plomo son muy usadas como material para pisos en las plantas de galvanoplastia y de fabricación de productos químicos y para recubrir mesas de laboratorios.

Casi todos los compuestos que se utilizan de plomo en la industria química, se preparan partiendo del monóxido comúnmente llamado litargirio. De esta manera se tiene una lista interminable de compuestos orgánicos, de los cuales los más usados son los acetatos, los arseniatos, bromuros, carbonatos, cloruros, cromatos, fluoruros, formiatos, haluros, nitratos, etc.

El plomo, que tiene un punto de fusión relativamente bajo, se liga con todos los demás elementos igualmente fusibles y forma una serie de aleaciones muy utilizadas en la industria. De esta manera se tiene que el plomo antimonial tiene una gran demanda para producir partes importantes de acumuladores automotrices. El plomo que contiene 13% de antimonio, 1% de estaño, 0.5 % de arsénico y 0.1 % de cobre se usa bastante para fundir guarniciones de ataúdes y para fabricar juguetes.

En forma general, se puede decir que el plomo antimonial se usa en lugar del plomo ordinario cuando tiene una resistencia adecuada a la corrosión por la solución de que se trata y cuando se desea mayor resistencia.

Las aleaciones con base de plomo y las aleaciones con base de estaño se usan para moldear piezas en matrices metálicas que posteriormente se utilizarán como cojinetes, en los extinguidores de incendio y para fundir piezas para acumuladores eléctricos.

La aleación llamada "Terne" tiene una composición nominal de 10-25 % de estaño y 90-75% de plomo, aplicándose satisfactoriamente a las láminas de hierro en forma de revestimientos para producir envases.

Se utiliza también el plomo, debido a su bajo punto de fusión y alta densidad, en tratamientos térmicos finos.

Dentro de la industria de los cables para transmisión de energía eléctrica, el plomo con cobre y plomo antimonial al 1 % es utilizado para recubrir los hilos, debido a que es impermeable a la humedad y puede ser estirado a grandes presiones. Otra aleación que también es satisfactoria para cubrir los cables que conducen energía, es el plomo con 0.04% de calcio, ya que este último elemento aumenta su resistencia. Ultimamente se ha utilizado para cubrir cables una aleación de 0.15% de arsénico, 0.10 % de estaño, 0.10 % de bismuto y el resto de plomo.

PROCESOS DE RECUPERACION DE PLOMO A PARTIR DE  
ACUMULADORES.

Desde 1915, como consecuencia del rápido desarrollo de la industria del automóvil y de la generalización del empleo de los acumuladores, especialmente en las industrias automovilísticas y de la radio, la recuperación del plomo de las baterías de chatarra se ha convertido en una industria por derecho propio. A primera vista, el problema parece sencillo, porque la mayor parte del plomo ya se encuentra en forma metálica y aún una fracción considerable de este metal y del antimonio puede recuperarse fácilmente, la recuperación de más del 90% del contenido metálico resulta sumamente difícil. Las baterías inservibles pueden encontrarse en varios grados de desintegración lo que determina que el muestreo, y, por lo tanto el cálculo de la carga resulte difícil. En una remesa puede haber placas sueltas, separadores de madera, vástagos de plomo y tapones de caucho. Como resultado de este estado de las cosas, la chatarra puede estar constituida por proporciones variables de plomo metálico, distintos óxidos de ese metal, sulfato de plomo, madera, caucho, vidrio y plástico. Las placas pueden contener desde trazas hasta el 15% de materia extraña y del 2 al 20 % de humedad. Las placas secas limpias (libres de materia-extraña) contendrán aproximadamente 80% de plomo, 5 % de antimonio, 0.1 al 0.6% de cobre, 0.05 al 0.20 % de arsénico y 0.20 a 0.60 % de estaño.

Se han desarrollado varios métodos de tratamiento distinto, cada -

uno tiene sus ventajas e inconvenientes. Analizaré brevemente cada uno de ellos.

1. - En este primer método, la batería se funde tal como llega a la fundición, en un horno de cuba ó de reverbero, de modo similar a como -- se procedería en el caso de una mena, con lo que se recupera una aleación de plomo y antimonio que suele contener un 5% de este. Aunque sencillo y directo, este método tiene tres desventajas:

En primer lugar, se necesita una temperatura bastante alta para -- licuar adecuadamente una mezcla de escoria-mata que resulta de la fusión de materiales tan impuros, lo que a su vez da lugar a elevadas pérdidas de humos.

En segundo lugar, el azufre de la carga produce una cantidad considerable de mata, que no solo no es de un grado tan bajo que la venta es difícil, sino que se traduce en serias pérdidas de plomo y antimonio.

En tercer lugar, el plomo antimonial así producido no puede emplearse directamente, para producir nuevas placas hay que agregarle antimonio con el inconveniente de una nueva fusión.

2. - La chatarra puede fundirse sin fundente en un horno de solera ó rotatorio, para producir un plomo blando y una escoria de plomo-antimonio. El plomo de este tipo puede venderse sin dificultades, pero el tratamiento de la escoria constituye un problema. Recurriendo a un segundo tratamiento podría reducirse a plomo antimonial, pero aquí también, las pérdidas de escoria y humos son muy elevadas.

3. - Las porciones de la chatarra que se encuentren oxidadas pueden separarse del producto fundido por tratamiento mecánico ó por licuación. - Aunque se obtiene un plomo blando comercial, el tratamiento de los óxidos y sulfatos de plomo y de antimonio, se caracteriza por índices de recuperación bajos y costos de tratamientos elevados, especialmente en instalaciones pequeñas. Este proceso tiene unas cinco variaciones con su respectiva patente (inglesa pues es muy popular en Europa, principalmente en Alemania Occidental.

4. - Existe un proceso norteamericano, en el cual todo el deshecho de las baterías que contenga plomo es pasado a través de un molino de bolas hasta reducirlo a polvo, es llevado a un reactor ó mezclador donde se le adiciona hidróxido de calcio para eliminar el azufre y los residuos de ácido, se filtra y se seca en una estufa a una temperatura que oscila entre 120 y 200°C; se lleva a un mezclador donde se adiciona carbón y una mezcla de cloruros de sodio y de potasio, de aquí se lleva a un horno donde se funde a una temperatura de unos 650°C y se obtiene el producto de plomo. - Tiene el inconveniente del equipo que es costoso y grande.

5. - Los ingleses patentaron en 1976 un proceso de electrobeneficio para obtener plomo puro con la ventaja que ocupan las placas de la batería tal y como llegan.

Es recomendable en los procesos donde se utiliza algún tipo de horno, utilizar un recuperador de polvos a la salida del horno y utilizar tam-

bién algún proceso para enfriar gases; los polvos y gases de deshecho de estos procesos son tóxicos por lo cual se recomienda un estricto control sobre esto.

### CAPITULO III

#### " EL HORNO ROTATORIO "

- Generalidades.
- Breve Historia.
- Partes del Horno.
- Combustible.
- Operación.
- Modificaciones para fundir plomo.

En este capítulo describiré todo lo relacionado al horno rotatorio.

Como horno, tenemos la acepción de que es aquella construcción que tiene como fin el crear y mantener en su interior una temperatura --- elevada.

Como regla casi generalizada en metalurgia, los hornos son una -- cuba ó recipiente metálico recubierto en su interior por un material refrac-  
tario que resiste la temperatura para lo que esté diseñado el horno y que -  
no reaccione con nuestro metal fundido.

El calentamiento puede realizarse por dos métodos:

- a). - Externo. - Ya sea por medio de una resistencia eléctrica ó de  
algún combustible sólido, líquido e incluso gaseoso.
- b). - Interno. - Que puede ser alternando el combustible sólido con -  
la carga, inyectando un combustible líquido ó gaseo-  
so ya incandescente ó una mezcla de ambos, ó bien  
con un arco eléctrico que genere el suficiente calor.

Tenemos, de acuerdo a su posición, hornos con simetría horizontal,  
simetría vertical ó con una simetría intermedia entre ambos.

También los tenemos con movimientos, en el cual su mayor parte -  
son basculantes.

El horno rotatorio, de acuerdo a la clasificación anterior, lo ubica--  
mos como de calentamiento interno por medio de una mezcla líquido-gas, --  
con simetría horizontal y con un movimiento circular sin que este afecte su-  
simetría.



## BREVE HISTORIA.

El horno rotatorio es de un uso muy antiguo, se utiliza en la fabricación de cemento colocando este horno inclinado unos  $10^\circ$  y con tres puntos de calefacción, dos en los extremos y el otro colocado en el centro. Tiene una longitud hasta de 100 metros y una altura máxima de tres metros.

El horno luego se adoptó para la obtención de nitruro de aluminio -- casi sin variación con el anterior.

Su uso en la fundición de metales data de principios de éste siglo -- en Inglaterra para la obtención de cobre blister usando combustible sólido de polvo de carbón. Durante la segunda guerra mundial, se utilizó para obtener el hierro base para aceración.

En América se ubicó el horno rotatorio en Chile en las minas "El Teniente" (cobre) para la obtención de cobre Blister.

En México su uso se remonta a unos 15 ó 20 años para la obtención de fundiciones gris y nodular, aunque se han adaptado por lo menos cinco de ellos para fundir plomo.

## VENTAJAS.

El horno rotatorio reúne las siguientes características que las consideraremos positivas:

- a). - Su bajo costo solo comparable al cubilote.
- b). - La eficiencia térmica es alta puesto que utiliza aire precalentado para la combustión; aire que se calienta en la salida de gases.

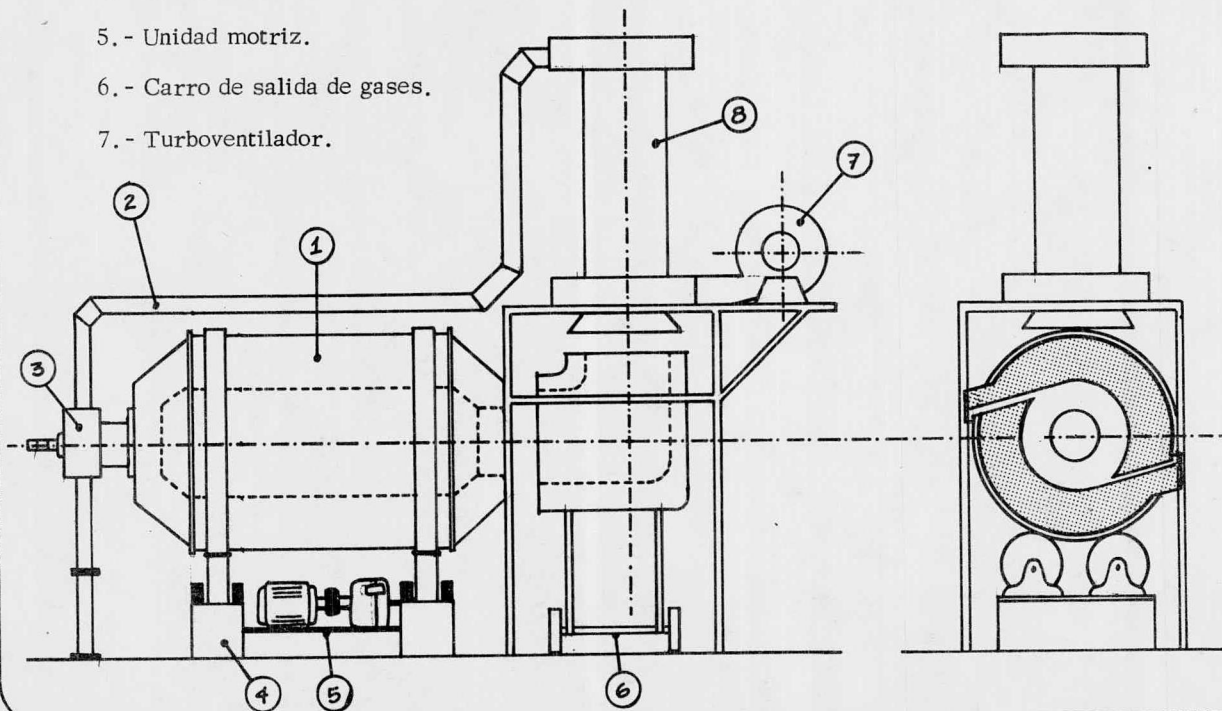
- c). - En su instalación ocupa un espacio muy reducido.
- d). - Utiliza un combustible barato con una capacidad calorífica alta.
- e). - El tiempo de fusión es corto.
- f). - La aleación por obtenerse puede variarse dentro del horno.
- g). - Se puede utilizar como termo.
- h). - El control es semiautomatizado.
- i). - Pueden recuperarse polvos en este proceso.
- j). - Si se evita que la temperatura descienda de 600°C puede dejarse de fundir algún tiempo.
- k). - La colada puede ser directa.

#### PARTES

El horno rotatorio consta de las siguientes partes:

- 1). - Casco
- 2). - Ductos
- 3). - Cámara de combustión y quemador.
- 4). - Unidad motriz
- 5). - Bastidores
- 6). - Carro de salida de gases
- 7). - Tubo ventilador
- 8). - Recuperador
- 9). - Tablero de control

1. - Casco.  
2. - Ductos.  
3. - Cámara de combustión y quemador  
4. - Bastidores.  
5. - Unidad motriz.  
6. - Carro de salida de gases.  
7. - Turboventilador.  
8. - Recuperador.



Analizaremos brevemente cada uno de ellos:

- 1).- CASCO. - Es en sí el cascarón del horno, fabricado de acero; en su interior se contiene el refractario.
- 2).- DUCTOS. - Los ductos son unos tubos que nos van a conducir los gases de combustión al exterior, al final de estos se puede instalar un recuperador de polvos y un enfriador de estos gases. En una de sus partes lo utilizaremos como cambiador de calor, ya que lo rodearemos con un tubo al cual le inyectaremos aire (u oxígeno) por medio del tubo ventilador, para llevarlo hasta el quemador ya precalentado y así aumentar la eficiencia de nuestro combustible.
- 3).- CAMARA DE COMBUSTION. Esta es nuestra "tapa" del horno, la cual lleva en su interior al quemador. Gira apoyada en un pedestal el cual contiene un balero en su parte inferior para este fin. Al igual que el casco esta constituida de acero y recubierta de refractario en su interior.
- 4).- QUEMADOR. - Consta de un tubo de acero reforzado de 42 mm de diámetro. En un extremo se atornilla la boquilla del quemador y en el otro una conexión con sus dos entradas una para combustible y otra para aire comprimido. El quemador se fija a la cámara de combustión.
- 5).- UNIDAD MOTRIZ. - Consiste en un motor eléctrico con freno acoplado, el cual proporciona el movimiento mediante una polea con dos bandas al reductor de velocidad. A la salida del reductor, lleva una catarina para cadena doble, la que se acopla a la flecha motriz.

6. - BASTIDORES. - Son los puntos que van a soportar el peso del horno, - son cuatro en total y se construyen de concreto.

Sobre los bastidores van a ir colocados los roles que son las partes del horno sobre las cuales éste girará dos de ellos son los - que transmiten este movimiento. Es muy importante tener un especial cuidado en la instalación ( a la misma altura y paralelos ) depende en gran parte la vida del horno.

7. - CARRO DE SALIDA DE GASES. - Es también de acero con forro de - ladrillo refractario. Este carro es el que va a recibir directa--mente los gases calientes que salen del horno y los va a dirigir--hacia arriba a los ductos, debido al ángulo de  $90^\circ$  que se forma--en su interior de ladrillo refractario. La unidad es soportada --por cuatro ruedas sujetas al bastidor mediante chumaceras, dos de las ruedas son motrices, llevando una catarina con cadena hacia el volante con el cual se desplaza sobre los ángulos que se - fijan en la cimentación y sirve de vía autolimpiable.

8. - TURBOVENTILADOR. - Es un motor -ventilador que va acoplado tan--to al ducto de entrada como de salida por medio de las bridas - que se atornillan a la caja del ventilador.

Este motor va a mandar aire precalentado hacia la boca del hor--no por un tubo que va instalado junto al quemador en la cámara--de combustión. A este aire calentado se le conoce como "aire - secundario" .

9. - RECUPERADOR. - El tipo de recuperador de aire caliente que se usa

en estos hornos es del tipo de radiación, el cual lleva una camisa de acero inoxidable en su interior, con una junta de expansión en el extremo superior remachada. En la parte inferior se acopla a una lámina forrada de refractario monolítico. Todo este conjunto es soportado por medio de canales de acero estructural.

10. - TABLERO DE CONTROL. - El tablero consta de los siguientes elementos:

- a). - Rotámetro para medir flujo de aire secundario ( aire caliente ) .
- b). - Rotámetro para medir flujo de combustible.
- c). - Manómetro para medir presión de combustible de 0 a 4  $\text{kg/cm}^2$  .
- d). - Manómetro para medir presión de aire comprimido ( aire primario ) 0 a 2  $\text{kg/cm}^2$  .
- e). - Indicador de temperatura para aire secundario.
- f). - Reloj de baterías.
- g). - " Timers " para ciclos automáticos.
- h). - Consola para instalación eléctrica.

El tablero se debe colocar en un lugar conveniente, de tal forma que facilite la operación de vaciado del horno, es decir que en plena operación desde el tablero se pueda controlar el vaciado a una distancia corta.

## REFRACTARIO.

El refractario debe variar de acuerdo al material a fundir. Es de vital importancia en este tipo de materiales las expansiones y contracciones con los cambios de temperatura, por esta razón tienen en los conos del casco del horno, tornillos con resortes para regular la expansión del refractario, aflojando los tornillos en cuanto se empiece a dilatar.

## COMBUSTIBLE.

Existen en el mercado diferentes tipos de combustibles derivados del petróleo, como lo son el diesel, petróleo crudo (chapopote), combustóleo, petróleo diáfano, etc. Cualquiera de ellos se puede usar en este tipo de horno, pero se deben tener en cuenta sus principales propiedades, como son:

- a). - Peso específico.
- b). - Punto de ignición.
- c). - Viscosidad.
- d). - Poder calorífico.
- e). - Contenido de azufre.

Además del precio y facilidad de abastecimiento.

Nuestro combustible que es el diesel tiene las siguientes características:

- Peso específico:  $0.849 \text{ g/cm}^3$ .
- Punto de ignición:  $74^\circ \text{C}$
- Viscosidad SUF  $37.8^\circ \text{C}$ : 39 seg.

- Poder calorífico: 18 100 BTU/lb.
- Contenido de azufre: 1.1 %

### OPERACION.

La operación del horno rotatorio es muy sencilla, ya que nos -- simplifica mucho esto el panel de instrumentos.

Consideramos, de hecho, que el único peso que debemos llevar -- con más detalle es el de la puesta en marcha previa a la primera carga, -- que es necesario realizar con cada cambio de refractario ( secado y sin- terizado ) .

Normalmente ( operación diaria ) los pasos que tenemos que rea- lizar son los siguientes:

- Revisar conexiones y verificar niveles de aceite donde sea nece- sario.

- Cuidar que las partes del horno que tengan movimiento ( chu- maceras y graderas ) estén bien engrasadas utilizando para esto grasa - grafitada.

- Verificar que la rotación del ventilador sea la correcta.

- Cuando se pongan en marcha los motores para el combustible, el ventilador y el aire comprimido, revisar que la presión sea la correc- ta y que no existan fugas a lo largo de la línea.

- Encender el quemador abriendo primero la línea del aire com- primido y posteriormente la del combustible.

- Con el horno en marcha y el quemador encendido, verificar --



todos los movimientos del horno y probar los aparatos de control.

Para efectuar la fusión, son necesarios los siguientes pasos:

1. - Con el horno caliente ( aproximadamente  $400^{\circ}\text{C}$  ), destapar el horno por la parte posterior moviendo el carro del recuperador y cargar la chatarra, siendo recomendable hacer esta operación mecanicamente utilizando una pala diseñada especialmente para esta operación con la ventaja que podemos repartir la carga uniformemente en un período mínimo de tiempo y podemos cargar conjuntamente los agregados necesarios para la fusión.

2. - Una vez cargado el horno, encender el quemador para iniciar la fusión, utilizando la cantidad de combustible necesaria para lograr la temperatura requerida por nuestro metal.

3. - Inicialmente mantener el horno sin rotación y girar  $180^{\circ}$  cada 15 minutos durante una hora, después de esto girar los  $180^{\circ}$  cada 5 minutos durante media hora más y después de esto iniciar con la rotación continua. La duración de la fusión es de aproximadamente dos horas y media.

El horno tiene la ventaja de que podemos destapar ligeramente el canal de vaciado para determinar si la fusión ha llegado a su fin ó es necesario agregar algún compuesto.

## MODIFICACIONES PARA FUNDIR PLOMO.

Los arreglos necesarios para fundir plomo son:

a). - Es necesario utilizar un refractario básico ya que el mayor problema que presenta la fusión del plomo es que al ser baja la temperatura, la escoria es muy activa y el ataque de ésta al refractario es muy severo.

Los cambios de temperatura no son particularmente grandes por lo que el desconchado por choque térmico no es un problema.

El refractario recomendado es el de cromita-magnesita, seleccionándolo por sobre el de alúmina por el rendimiento, ya que el de cromite-magnesita se entrega como ladrillos mientras que los de alúmina -- como material listo para mezclar y apisonar ocasionando un gasto mayor.

La resistencia del ladrillo cromita-magnesita es buena y soporta la carga del plomo aún por varias toneladas. Su conductividad es aceptable y homogénea en un rango desde 260° C hasta los 1100° C .

b). - Como siempre se vacía en la misma forma y por el problema del alto peso específico del plomo es conveniente que los moldes sean metálicos ( coquilla ) .

## CAPITULO IV

" LA RECUPERACION DEL PLOMO EN EL HORNO "

Ahora describire lo que es en sí el proceso de recuperación de las baterías ó acumuladores.

Lo primero que tratare es el aspecto de protección a la contaminación por plomo.

Es recomendable y necesario que la planta se encuentre en una zona no habitacional y con un buen sistema depurador de gases y polvos ( de estos existen varios sistemas ) como sería un quemador posterior -- para gases, posteriormente una zona donde comenzemos a enfriar gases -- y precipitemos polvos ( casa de chispas ) y luego una parte donde precipitemos el resto de los polvos y abatamos la temperatura de los gases como sería una zona donde los humos y polvos pasaran a contracorriente -- por varias cortinas de agua fría corriente con la ventaja que de esta forma por precipitación recuperaríamos los polvos del plomo aumentando -- así nuestra eficiencia; de aquí por medio de una chimenea los humos serán lanzados a la atmósfera.

Por la parte humana hay varios puntos a observar:

- Las oficinas no deben estar en la misma construcción que la planta.

- Proveer a los trabajadores, por lo menos dos veces al año, de ropa de trabajo y exigir su uso.

- Darles así mismo guantes y mascarillas para evitar la inhalación de humos y polvos.

Estas precauciones son necesarias llevarlas a cabo puesto que -

la intoxicación por plomo ( saturnismo ) es irreversible y de graves consecuencias. Como otra medida que puede ser útil ( no se ha demostrado lo contrario ), es la de darles diariamente a los trabajadores antes de abandonar la planta un vaso de leche.

### PRODUCCION .

Las baterías nos llegarán normalmente en un alto grado de destrucción, ya que debemos considerar que, además que han tenido el desgaste común por el servicio prestado una vez inutilizadas para este fin -- son consideradas chatarra y como tal son tratadas.

Aprovecharemos de la batería, además de las placas de plomo ( las de zinc ya están totalmente destruidas ), los postes ó electrodos de la misma, ya que están constituidos también de plomo y nos reportarán una buena ganancia en peso de plomo. La operación de abrir el casco y sacar placas y postes deberá ser manual.

Una vez separados los postes y las placas, se cargarán a la cuchara ( en caso de tenerla ) junto con los otros fundentes ó todo manualmente ( con palas ) al horno.

La costumbre en procesos similares es la de agregar como com puesto para eliminar el azufre, óxidos de hierro, lo cual presenta varios inconvenientes:

- El calor de formación del sulfuro ferroso y del sulfuro plumbo so es muy similar, -22.72 y -22.54 Kcal por gramo mol respectivamente, lo que ocasionará llevar a la formación de algún sulfuro de fierro y plo

mo con el consiguiente arrastre de plomo a la escoria.

- Si el óxido de hierro se reduce y se va en el colado, además de hacer variar ciertas propiedades del plomo buscadas, provocará que en caso de volver a formar placas de acumulador, estas no produzcan el voltaje deseado, ya que el hierro tiene un potencial de electrodo intermedio entre el zinc y el plomo.

Es más conveniente para este fin agregar calcio, ya sea como hidróxido ó como carbonato y con esto tendremos la certeza de que:

- La reacción entre el PbS y el CaO será completa.
- La baja densidad del calcio hara más sencilla su separación como escoria y no se mezclará con el plomo.

- La temperatura y los tiempos empleados serán menores.

Además agregaremos carbón en polvo como reductor poderoso.

La práctica ha demostrado que se obtienen resultados muy buenos agregado además, partes muy pequeñas de carbonato de sodio con el fin de eliminar sulfatos .

Los porcentajes agregados en la práctica serán inicialmente:

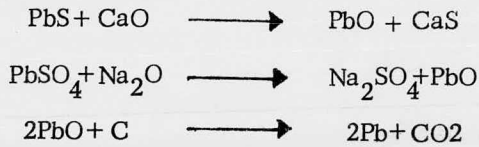
Carbón en polvo----- 5 %

Carbonato ó hidróxido de calcio----- 5 %

Carbonato de sodio ----- 1 %

Las reacciones serán:





La temperatura de fusión ideal será entre 650° C y 700° C, los análisis nos deberán indicar que en la escoria no exista un máximo de 1 % de plomo.

Los moldes deberán ser precalentados a una temperatura que oscilará entre 150 y 180° C .

Al vaciar debemos aprovechar que nuestro horno tiene la cualidad que nos permite hacer la colada directamente; para evitar todo vestigio de escoria en nuestro metal, es conveniente hacer pasar todo el metal fundido a través de una fibra de vidrio, práctica que se ha observado es muy eficiente.

CAPITULO V

" CONCLUSIONES "



El proceso de recuperación de plomo en horno rotatorio es muy sencillo si se pueden manejar y analizar debidamente todas las variables que en él existen.

Con este tipo de horno simplificamos grandemente esta tarea por lo sencillo de su manejo y su gran versatilidad así como sus múltiples -- ventajas, entre ellas el costo.

El plomo por lo bajo de su precio, es muy conveniente tratarlo en este tipo de horno, ya que resultaría incosteable e ilógico tratar de refinarlo ó purificarlo aún; en ese caso se debería hacer por electrólisis y no por algún medio pirometalúrgico.

## BIBLIOGRAFIA

- " Acumuladores ". - Wood Vinal, Goerge /- Edit. Diana . - 2a. -- Edición. - México 1967.
- " A New Sulfur Dioxide Free Process for Recovering Lead for Battery Scrap " . - Bureau of Mines Report of investigations . --- United States Department of the Interior . - 1976.
- " Centro Mexicano de Información del Zinc y Plomo A.C. " Folletos . - 1978.
- " Grid Metal Manual for Storage Batteries " . - Independent Battery Manufacturers Association, Inc. . - Largo Florida, 1973. "
- " Handbook of Chemistry " . - Lange, Norbert A. . - Edit. Mc. - Graw-Hill . - 10a. Edición . - New York 1969.
- " Manual de Operación para horno Giratorio " . - Flama Term. - Córdoba, Veracruz, México . - 1978.
- " Metalurgia Extractiva de los Metales no Férricos " Bray, John L. . - Edit. Interciencia . - España 1962.
- " Monometer Installation Manual for Rotatory Furnaces " Monometer Manufacturing Co. Ltd. . - England 1970.
- " Monometer Operational Manual for Iron Rotatory Furnace " -- Monometer Manufacturing Co. Ltd. . - England 1970.
- " Plomo " . - Departamento de Estudios Económicos . - Comisión de Fomento Minero . - México 1970.
- " Principios de los procesos Químicos " . - Volúmen 1 . - Houggen, P. A., Watson, K. M. . - Edit. Reverté. - España 1972.
- " Refractarios " . - A.P. Green . - Catálogo . - México 1976.
- " Refractories " . - Norton, F. H. . - Edit. Mc. Graw-Hill . - 4a. Edición . - New York 1977.
- " Tratdo de Química Inorgánica " . - Bargalló, Modesto . - Edit. Porrúa, S.A. . - México 1962.

# INDICE

	Pág.
Introducción .....	1
Generalidades.....	3
Breve Historia.....	4
Propiedades Físicas y Químicas.....	4
Obtención del Plomo.....	6
Usos.....	9
Procesos de Recuperación de Plomo a Partir de Acumuladores.....	12
El Horno Rotatorio.....	16
Generalidades.....	17
Breve Historia.....	18
Ventajas.....	18
Partes.....	19
Refractario.....	24
Combustible.....	24
Operación.....	25
Modificaciones para fundir plomo.....	27
La Recuperación del plomo en el Horno.....	28
Producción.....	30
Conclusiones.....	33
Bibliografía.....	35