



PLOMO: "MATERIAL CON FUTURO"

ING. MARÍA TERESA ORTÍZ DE MÁLAGA

El plomo es uno de los primeros metales conocidos; tiene una gran resistencia química y, por su alta maleabilidad y ductilidad, es muy fácil de deformar.

El único mineral de plomo que se explota industrialmente es la galena (PbS).

El plomo puede afinarse comercialmente al 99.9%. La metalurgia del plomo puede resumirse en las siguientes etapas: concentración, tostación (sinterizado), fusión (reducción) y afino.

El Perú es un neto exportador de concentrados, y dentro de ellos, el de plomo.

Los países industrializados, que no cuentan con producción de concentrados, lo importan para abastecer sus industrias; pero actualmente la tendencia es reemplazarlos, en un porcentaje cada vez más alto, con materiales reciclados.

Es entonces de suma importancia, que en nuestro país, se empiece a dar mayor valor agregado a estas exportaciones, ampliando así nuestras posibilidades en el mercado internacional con productos semi-terminados o terminados.

Sólo así, el PLOMO será para el Perú un "MATERIAL CON FUTURO".

1. INTRODUCCION.-

El plomo es un metal con una respetable historia (ha sido extraído desde 3000 años a.c.) y, en una era de amplio control del medio ambiente y de aprovechamiento económico máximo de los recursos naturales disponibles, el plomo es un metal con un futuro promisor.

El plomo es un metal blando, muy pesado, de color gris opaco; pero muy brillante en su superficie recién cortada. Posee escasa resistencia a la tracción, es maleable, dúctil y tenaz.

Su fórmula química es Pb, derivada del plumbum, que es el nombre en latín, su número atómico es 82 y su peso atómico es 207,21. Tiene una gravedad específica de 11,3 y funde a una temperatura moderada de 327,4°C, pero para alcanzar su punto de ebullición hay necesidad de llegar hasta los 1700°C. Se suelda fácilmente si sus superficies han sido limpiadas esmeradamente.

El plomo se encuentra muy rara vez en estado nativo, pero sí en forma de numerosos minerales que se encuentran ampliamente distribuidos en diversas regiones de la tierra; principalmente en la forma de galena (PbS), un sulfuro de plomo que contiene 86,6% de plomo y 13,4% de azufre.

En cuanto a sus propiedades químicas, el plomo expuesto al aire húmedo se oxida rápidamente, con formación de subóxido de plomo (Pb₂O). Calentado en el aire se combina con el oxígeno, formando litargirio, monóxido de plomo (PbO) de color amarillo característico, que funde bien, y al

solidificarse por enfriamiento se presenta en forma de masa cristalina; a temperaturas elevadas se combina con la sílice, generándose un silicato de plomo de fácil fusión.

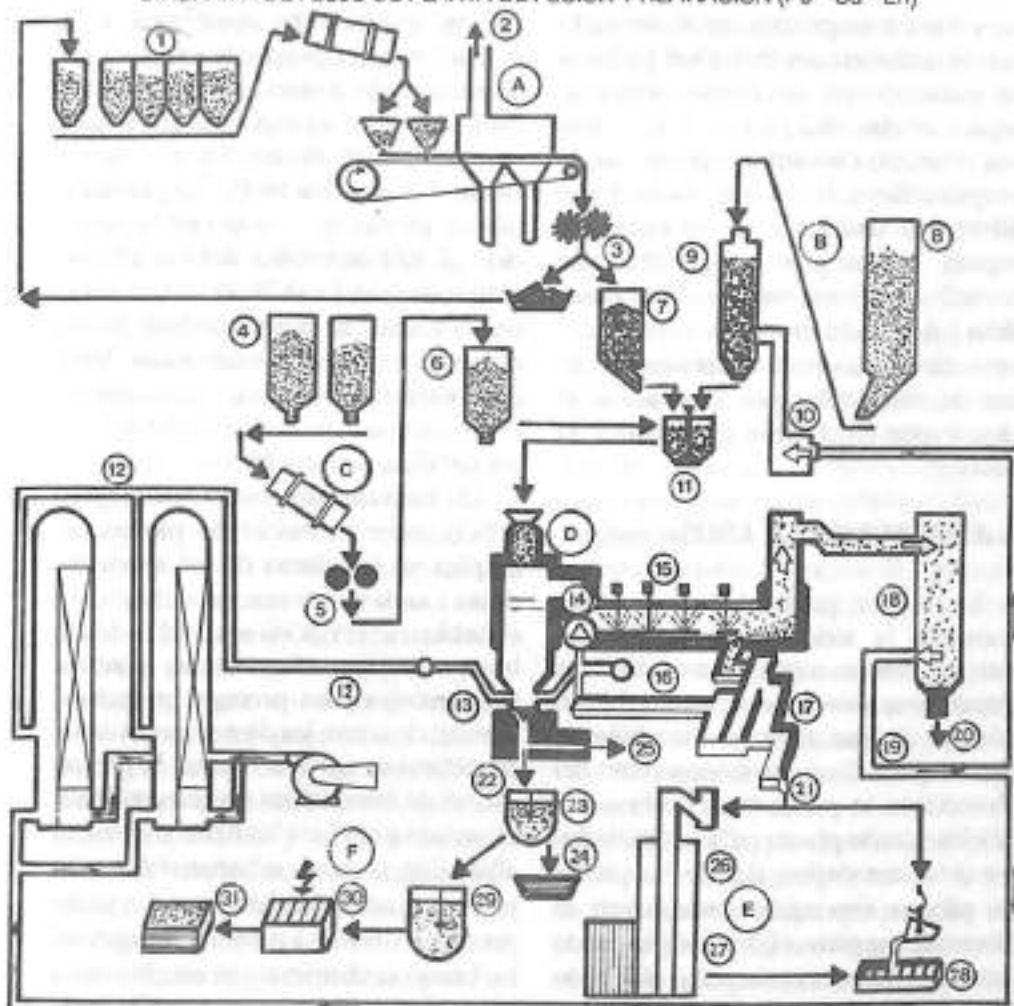
El plomo es uno de los metales de mayor importancia industrial y aún cuando es relativamente abundante, no llega a constituir ni el 1% de los materiales que forman la corteza terrestre.

El plomo metálico no sufre alteración alguna al tomar contacto con numerosos compuestos químicos en estado sólido o en solución. Tampoco lo afecta el agua pura. En cambio, si en el agua se ha disuelto un poco de aire, atacará lentamente al metal para formar un hidróxido de plomo. A esto se debe el peligro de envenenamiento que se corre cuando se bebe agua que ha permanecido retenida en tuberías de plomo durante algún tiempo; es por esto que antiguamente se utilizaba el nombre de plomo como sinónimo de veneno.

Los minerales sulfurados de plomo, luego de un proceso de concentración y de fundición, se pueden refinar comercialmente hasta 99,9%. El precio del plomo refinado fluctúa alrededor de US\$0,20/ libra y los dos aspectos que justifican este bajo precio son la sencillez de su metalurgia y la estabilidad del elemento.

En la Fig. 1 se muestra un diagrama de flujos esquemático de una planta de fusión y refinación de plomo (Imperial Smelting Process) para menas complejas de plomo-cobre-cinc-hierro que aparecen frecuentemente asociados en los yacimientos metálicos. Consiste básicamente

DIAGRAMA DE FLUJO DE PLANTA DE FUSION Y REFINACION (Pb - Cu - Zn)



Fuente: Metallgesellschaft AG - Review of Activities

A. PLANTA DE SINTERIZADO

- 1 Tolvas de Concentrado
- 2 Gases de tostación a la planta de ácido sulfúrico.
3. Sílice (óxidos)

B. INSTALACION DE BRIQUETAS

- 4 Tolvas de minerales calcinados
- 5 Briquetas calientes
- 6 Tolva de briquetas calientes

B. PLANTA DE PREPARACION DE CARGA

- 7 Tolva de sílice
- 8 Tolva de coque

9. Precalentador de coque

- 10 Gases calientes del alto horno
- 11 Taza de carga

D. ALTO HORNO Pb - Zn

- 12 Soplador
- 13 Toberas
- 14 Bombas de plomo
- 15 Condensador de plomo
- 16 Canales de enfriamiento
- 17 Sistema de separación Zn - Pb
- 18 Purificación de Gases
- 19 Gases de alto horno
- 20 Polvo Azul (de Zn - Pb - Cd)
- 21 GDB - Zn

22 Bullión de plomo

- 23 Decapotación
- 24 Bullión Pb decapotado
- 25 Escorias

E. PLANTA DE RECIRCULACION Zn

- 26 Condensador
- 27 Zn de alta pureza
- 28 Moldeo

F. EXTRACCION DE Cu

- 29 Lixiviación de Cu
- 30 Electrólisis de Cu
- 31 Cátodos de Cu

camente en un proceso de sinterizado (eliminación de azufre) y un proceso de reducción en alto horno, donde se separa el cinc del plomo y del cobre por diferencia en sus temperaturas de evaporación y la escoria (hierro) por diferencia de densidad. El cobre se separa luego por un proceso de escorificado. Posteriormente se obtendrán los metales puros de plomo, cobre y cinc, a través de diferentes procesos de refinación; por destilación el cinc y por electrólisis el plomo y el cobre.

2. APLICACIONES Y USOS.-

La mayor parte del plomo que consume la industria se emplea en estado metálico o en forma de diversas aleaciones, siendo muy apreciable el número de sus sales que también se aprovechan. Casi una tercera parte del plomo que se produce se destina a la fabricación de placas para acumuladores de automóviles; donde las placas de plomo esponjoso constituyen el electrodo negativo (-) y las placas de óxido de plomo constituyen el electrodo positivo (+).

Le sigue en importancia el aprovechamiento que se hace de sus propiedades anticorrosivas para forrar cables y alambres que conducen electricidad. Se usan igualmente cantidades considerables en la fabricación de planchas, láminas, tubos, válvulas y otros accesorios que se usan en plomería; municiones, soldaduras, etc.

Se fabrican diversas aleaciones de plomo y de otros metales. Las que contienen antimonio poseen mayor

dureza y son más resistentes a la corrosión. Otra propiedad útil de las aleaciones de plomo es el bajo punto de fusión; por ejemplo, la soldadura que tiene 63% de estaño y 37% de plomo funde a los 180°C. Las aleaciones de plomo que contienen también del 3 al 10% de estaño, del 4 al 23% de antimonio y del 1 al 2% de cobre, ofrecen la ventaja de poseer un bajo punto de fusión y de que al solidificarse, lejos de contraerse, se dilatan ligeramente; esto hace que se reproduzcan fácilmente los detalles del molde.

De las sales de plomo, el litargirio (PbO), o sea el óxido de plomo, se emplea en las placas de los acumuladores y en la vulcanización del caucho; el óxido rojo (Pb_3O_4) se emplea desde hace muchos años como pintura anticorrosiva para proteger piezas de hierro o de acero; los diversos arseniatos de plomo se aprovechan en la preparación de insecticidas de gran utilidad, especialmente para los horticultores; el albayalde, o sea el carbonato básico de plomo, sirve desde hace mucho tiempo como uno de los mejores pigmentos blancos; el cromato se emplea en la preparación de pintura amarilla y finalmente, los silicatos de plomo se emplean en la fabricación de vidrio, peltre y en el vidriado de objetos de cerámica.

3. PROCESOS TECNOLOGICOS DE TRANSFORMACION DEL PLOMO.-

A. PRODUCTOS SEMI-TERMINADOS DE PLOMO:

Los procesos de manufactura de los productos semiterminados de plomo,

están estrechamente relacionados a las propiedades del material. Generalmente no se utiliza para ello el plomo puro, sino aleaciones del mismo (ver Cuadro 1), cuyos bajos consumos de calor para la fusión, la baja tensión térmica necesaria en los equipos de fusión y moldeo, las fáciles condiciones de operación de conformado hacen que el proceso tecnológico de transformación sea de fácil operación y simple control.

1) Fusión y Moldeo: Para la fusión del plomo y obtención de sus aleaciones no hay restricciones en cuanto a los hornos de fusión a utilizarse, ya que las bajas temperaturas de proceso así lo determinan. El método más usado, es la fusión en hornos de crisol con posibilidad de tener un sistema de agitación; los crisoles pueden ser calentados a gas o a petróleo. La capacidad del crisol dependerá de la producción requerida, pero en principio, como la fusión es tan rápida, no es necesario en ningún caso trabajar con crisoles demasiado grandes. También se pueden usar hornos de inducción, pero el costo de este equipo es mucho mayor y la fusión del plomo y de sus aleaciones no lo justifican.

El moldeo de la pieza, lingote o tocho se realiza generalmente en moldes refrigerados, de acero, coquilla o fierro fundido, que para pequeños volúmenes puede ser en forma manual y para grandes volúmenes se puede justificar un sistema de moldeo automático.

Los lingotes que van a ser laminados deben ser necesariamente moldeados con algún sistema en el que se pueda

controlar la solidificación y disminuir así el problema de segregación. Debido a consideraciones económicas y de calidad, se ha introducido el sistema de colada continua para el plomo y sus aleaciones, el cual da la posibilidad de obtener una producción racional de piezas fundidas, que después de ser sometidas a los procesos de deformación mecánica no tengan problemas de fluencia lenta. Actualmente se están poniendo en operación plantas con procesos integrados, es decir, plantas que tienen hornos de fusión (de cualquier tipo), sistemas de colada continua y trenes de laminación, todo instalado en una secuencia constante, garantizando no sólo la calidad sino, la uniformidad de la producción.

Para grandes volúmenes de producción o para producir piezas especiales, existe la posibilidad de instalar también sistemas de moldeo a presión; como en el caso de los electrodos de baterías, la rejilla que constituye el polo negativo se produce por este sistema de moldeo en moldes refrigerados especiales y la aleación utilizada para ello es la de plomo-antimonio, de bajo punto de fusión y de muy fácil obtención en hornos de crisol. En cambio, el polo positivo se obtiene por el método de sinterización de polvo de óxido de plomo, este proceso consiste en colocar en moldes especiales de acero el polvo de óxido y someterlo a compresión. Las presiones usadas para ello fluctúan alrededor de 700 kg-f/cm². La masa frágil comprimida, se calienta entonces en un pequeño horno eléctrico, a una temperatura tal que produzca la sinterización (ver montaje de una

CUADRO 1

COMPOSICION DE LAS ALEACIONES DE PLOMO

ALEACIONES	% EN PESO						
	Pb	Sb	Sn	Cu	Ca	Bi	Cd
BABBIT, plomo-antimonio #6	63,5	15,0	20,0	1,5	-	-	-
Babbitt, plomo-antimonio #12	89,3	10,0	-	0,5	-	-	-
Para el revestimiento de cables (Pb-Sb)	99,0	1,0	-	-	-	-	-
Para el revestimiento de cables (Pb-Ca)	99,9	-	-	-	0,1	-	-
Aleación para fusibles (p. fusión 68° C)	25,0	-	12,5	-	-	50,0	-
Aleación para fusibles (p. fusión 100°)	20,0	-	40,0	-	-	40,0	-
Plomo duro, 6% de antimonio	94,0	6,0	-	-	-	-	-
Plomo duro, 12% de antimonio	88,0	12,0	-	-	-	-	-
PEWTER	10,0	10,0	79,8	0,2	-	-	-
Aleación para soldar, común	50,0	-	50,0	-	-	-	-
Aleación para soldar de fontanería	60,0	2,5	37,5	-	-	-	-
Aleación para emplomar chapa, bajo Sn	75,0	-	25,0	-	-	-	-
Aleación de emplomar chapa, alto Sn	50,0	-	50,0	-	-	-	-
Metal Tipográfico (moldeo)	62,0	24,0	14,0	-	-	-	-
Electrotipos	94,0	3,0	3,0	-	-	-	-
Estereotipos	81,0	14,0	5,0	-	-	-	-

Fuente: Metalurgia de los Metales No Férricos, por John L. Bray

batería en Fig. 2).

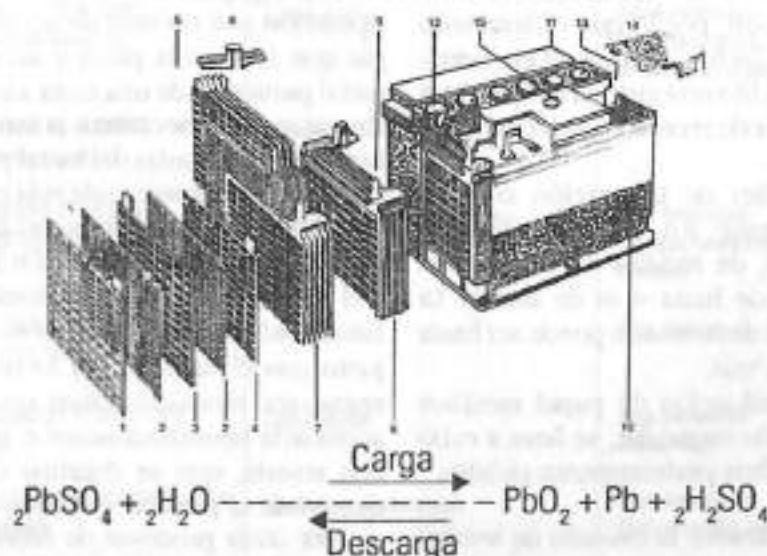
Los tubos de plomo pueden producirse por vaciado centrífugo, aunque no es un método muy utilizado para ello, ya que se requiere de una técnica especializada. Consiste en hacer girar a alta velocidad un molde cilindro metálico sin corazón, a medida que se vacía constantemente el metal líquido en él. La fuerza centrífuga arroja el metal líquido contra la superficie del molde, produciendo un cilindro hueco (tubo) de pared uniformemente gruesa.

2) Extrusión: En una sola operación, partiendo del lingote vaciado, se pueden obtener secciones bastante complicadas con dimensiones tolerablemente exactas. El lingote del metal se calienta a la temperatura de extrusión requerida y se coloca en el recipiente de la prensa de extrusión. El émbolo se aplica entonces hidráulicamente con presión suficiente para forzar al metal, a través de un dado de acero aleado.

Usando esta operación, pueden producirse una gran variedad de sec-

Figura 2

ESQUEMA DE UNA BATERIA DE PLOMO



1. Plancha pastosa de una aleación de Pb resistente a la corrosión
2. Aislador de seguridad de plástico microporoso
3. Electrodo positivo con revestimiento plástico de seguridad
4. Electrodo negativo
5. Marco de electrodo positivo
6. Punto de conexión de Pb Antimonio para electrodos de la misma polaridad
7. Marco de electrodo negativo con el punto de conexión soldado
8. Un elemento de electrodo consistente en un marco de electrodos

- positivos y uno de electrodo negativo con aislamiento
9. Punto de conexión con un pelo final
10. Cauce de la batería de jete duro, poliestireno y polipropileno
11. Cubierta de la batería
12. Sello de seguridad
13. Terminal positivo
14. Cubierta de seguridad por el lado del terminal positivo para prevenir contactos accidentales
15. Conexión para un sistema de control de nivel ácido

Fuente: Metallgesellschaft AG - Review of Activities

ciones, incluyendo varillas redondas, hexagonales, rieles, etc. Los tubos de plomo con diámetros internos hasta de 380 mm pueden ser producidos por este método. Tubos para intercambiadores de calor son generalmente producidos con costura externa e interna para mejorar la eficiencia de calentamiento o de enfriamiento.

3) Laminación: El plomo y la mayoría de sus aleaciones pueden ser laminadas con el fin de obtener planchas, láminas o papel metálico. Una ventaja esencial del plomo sobre otros materiales es su baja temperatura de cristalización, por lo que el laminado se realiza en frío. Y como el endurecimiento en frío no existe, la temperatura intermedia de recocido puede ser omitida.

Un taller de laminación consiste básicamente en una laminadora reversible, de rodillos revestidos con estaño y de hasta 4 m de ancho. La velocidad de laminado puede ser hasta de 250 m/min.

La producción de papel metálico de acabado especular, se lleva a cabo con cilindros perfectamente pulidos.

4) Estirado: El estirado de secciones sólidas y huecas se apoya en la ductilidad del plomo y sus aleaciones; tanto las secciones sólidas como las tubulares se producen por estirado a través de dados de acero aleado; todo el alambre se manufactura por este proceso. En la manufactura de tubos puede mantenerse el agujero por el empleo de un mandril. Las varillas y los tubos se estiran en un banco de estira-

do largo, en el cual una mordaza estira el material a través del dado. El alambre y los materiales que puedan enrollarse, se jalan a través del dado, enrollándose sobre un tambor o bloque rotatorio.

5) Embutido: Esta operación demanda una alta ductilidad en la lámina de plomo y de sus aleaciones, y el objeto de la misma es formar, de una lámina plana, por un proceso de conformado seguido de un estampado, un componente en forma de copa. Como la resistencia del plomo es muy baja, el estampado se realiza en una sola etapa.

Los equipos utilizados para esta operación son prensas de acción simple que extraen la pieza y acopan el metal partiendo de una cinta alimentada por medios mecánicos o manuales. Las láminas delgadas del metal pueden cortarse y acoparse en una sola carrera, esta máquina corta primero el disco, y luego, en combinación con el sujetador y el punzón acopador estacionario, se forma el acopado. El sujetador se mueve junto con el dado y, por lo tanto, se encuentra montado sobre una base accionada neumáticamente o cargada con resorte, que se deprime cuando descende el punzón cortador.

Ver otros procesos de fabricación de productos semi-terminados de plomo en el Cuadro 2.

B. COMPUESTOS DE PLOMO:

Aproximadamente la cuarta parte del plomo empleado en la industria, lo es en forma de uno de sus óxidos.

1) Litargirio: Es el óxido de plomo más corriente (PbO), puede preparar-

PROCESOS DE FABRICACION DE PRODUCTOS SEMI-TERMINADOS DE PLOMO

MATERIAL	PROCESO DE FABRICACION	PROPIEDADES
a) LAMINAS FINAS REVESTIDAS DE PLOMO	Revestimiento por inmersión Revestimiento por galvanización con Plomo	Resistencia a la corrosión Apariencia estética agradable
b) LAMINAS FINAS REVESTIDAS DE PLOMO	Unido por laminación (Roll-bonding)	como a)
c) PANELES LAMINADOS PARA CONSTRUCCION	Laminación	Resistencia a la corrosión Alta densidad
d) LAMINAS DE PLOMO (Laminado elástico)	Laminación	Fácil trefilado Resistencia a la corrosión Impermeabilidad
e) LAMINAS DE PLOMO (laminado plástico)	Laminación	como c)
f) PLANCHAS GRUESAS REVESTIDAS DE PLOMO	Revestimiento homogéneo	Alta densidad Conductividad eléctrica y térmica
g) PLANCHAS DE PLOMO GRUESAS Y FINAS	Laminación	Alta densidad
h) LAMINAS DE PLOMO TIPO PAPEL	Laminación	Alta densidad Ductilidad
i) PLANCHAS FINAS REVESTIDAS DE PLOMO	Unión por laminación	Alta densidad Deformación plástica
j) PLOMO CORRUGADO PARA AISLAMIENTO DEL SONIDO	Laminación	Alta densidad Deformación plástica

Fuente: Metallgesellschaft AG - Review of Activities

se por diversos procedimientos. El método más moderno emplea un horno continuo en el que varios chorros de aire inciden sobre la superficie del plomo con el objeto de provocar el deslizamiento de la película de óxido de plomo hacia el extremo del horno, donde se separa. Con el objeto de que el horno esté lleno siempre, se alimenta continuamente con plomo fresco.

El litargirio es también un subproducto de la fabricación del nitrato sódico, en la que el plomo se emplea para reducir el nitrato sódico.

El minio (Pb_3O_4) se suele obtener a partir del litargirio, calcinándolo en un horno de mufla, en el que penetra una corriente de aire cuidadosamente controlada y cuya temperatura se mantiene aproximadamente a 340°C .

2) Blanco de Plomo: El proceso más efectivo para la obtención del blanco de plomo [$PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$] es el proceso Sperry, el cual permite ejercer un control muy exacto, además es flexible y produce con rapidez un blanco de plomo excepcionalmente puro, de composición y propiedades físicas uniformes y de color blanco brillante.

El proceso consiste esencialmente en la electrólisis de una solución de acetato de plomo entre ánodos de plomo y cátodos de hierro, en una cuba de hormigón armado revestido de asfalto. Los ánodos se moldean a partir de plomo desplastado corriente y los cátodos están constituidos por hojas de chapas de acero encerradas en una envoltura de lona muy tupida, que actúa como diafragma de separación

entre anolito y catolito. Ambas soluciones contienen 4% de acetato de sodio; pero además, el anolito contiene 0,06 a 0,2% de carbonato sódico y 0,05% de bicarbonato sódico. Bajo la influencia de la corriente eléctrica el plomo se disuelve anódicamente para formar acetato de plomo que precipita inmediatamente como blanco de plomo, mientras que el hidrógeno se libera por el cátodo.

El blanco de plomo se sedimenta en el fondo de la cuba y se separa de ésta, suspendido en el anolito, a medida que éste se retira. A continuación esta pulpa se sedimenta, posteriormente se filtra, lava y seca.

Ver otros usos de los óxidos de plomo en la Fig. 3.

4. BREVE ESTUDIO DE MERCADO.-

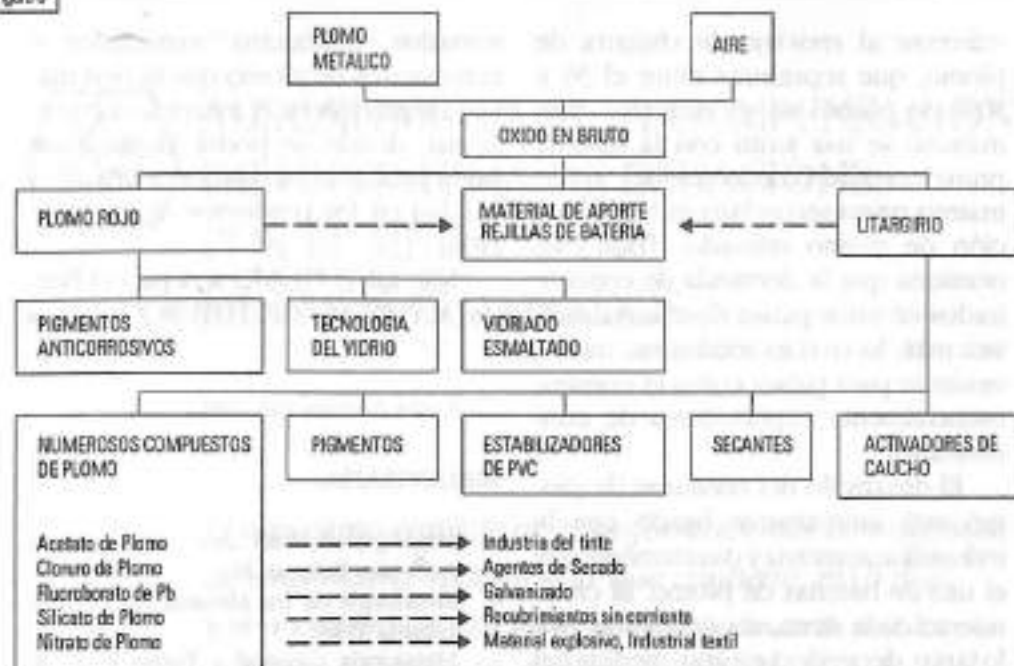
Los mayores productores de concentrado de plomo en orden de importancia son Estados Unidos, Australia, Canadá, Perú y México; durante los últimos 20 años han habido pequeñas variaciones en el orden de prioridad.

Con respecto a la producción de plomo refinado encabezan la relación Estados Unidos, Alemania, Gran Bretaña, Japón, Australia, Canadá y Francia.

Aquellos países que carecen de recursos naturales propios (minerales), como Japón, Alemania y Gran Bretaña se convierten entonces en los mayores consumidores de concentrados de plomo.

Recíprocamente, los países productores de materia prima (concentrados), como Perú y México, siendo

Figure 3



USOS DE LOS OXIDOS DE PLOMO

Fuente: Metallgesellschaft AG.
Review of Activities

menos industrializados, circunscriben su participación en el mercado, sólo como exportadores de concentrado de plomo. Los esfuerzos de estos países por incrementar su participación en el mercado con productos con mayor valor agregado no han dado buenos resultados, ni en una primera instancia en lo consiguiente a la etapa de refinación; esto se puede sustentar, estableciendo una relación con el monto de la inversión nacional y extranjera, en el rubro de la refinación de plomo.

En lo concerniente a la fundición y refinación de plomo a nivel mundial, ninguna planta individual ocupa una posición dominante; la relativa mayor concentración está en Norte América, a parte de una posición especial que ocupa Australia.

Norte América se caracteriza por una relación bien balanceada entre su producción minera y su consumo; Estados Unidos es el mayor productor y el mayor consumidor de plomo, pero a pesar de ello se mantiene como un neto importador de concentrados; en cambio Canadá se muestra como un exportador tradicional.

Los países industrializados que tienen deficiencias de materias primas, tienen una situación totalmente prevista. Tienen una alta importación de concentrados, una gran producción de plomo refinado, pero también tiene un alto consumo del mismo. Llegándose al caso de Alemania, donde la producción de plomo refinado excede el consumo. Una consideración especial debe hacerse en estos países, y es en lo

referente al reciclaje de chatarra de plomo, que representa entre el 30 y 50% de plomo en el mercado. Este material se usa junto con la materia prima esencial (concentrados), como materia prima secundaria en la producción de plomo refinado. Todo ello ocasiona que la demanda de concentrados en estos países disminuya cada vez más; lo cual es totalmente inconveniente para países como el nuestro, esencialmente exportadores de concentrado.

El desarrollo del consumo de plomo está íntimamente ligado con la industria automotriz y directamente con el uso de baterías de plomo. El crecimiento de la demanda del plomo, por lo tanto, dependerá en gran medida del crecimiento de esta industria. Además de las grandes posibilidades de aplicación que tienen actualmente los productos semi-terminados y los compuestos de plomo.

Con el análisis de estos factores operativos, podemos llegar a la CONCLUSIÓN de que la tendencia del consumo de plomo, concentrado o refinado, no excederá un rango mayor de 2 a 3% al año (margen de crecimiento de la industria automotriz). Y como en los países desarrollados ya se tiende a tener una sobreproducción de plomo refinado y a utilizar cada vez en mayor proporción la chatarra de plomo; los países subdesarrollados y productores sólo de materia prima (concentrados), deben empezar a desarrollar su propia tecnología para darle mayor valor agregado a sus exportaciones, fabricando aleaciones, productos semi-ter-

minados, productos terminados y compuestos de plomo que tienen mayor aceptación en el mercado internacional, donde se podrá alcanzar un buen sitio sólo en función a una gran calidad en los productos de exportación.

Sólo así, el PLOMO será para el Perú un "MATERIAL CON FUTURO". ■

BIBLIOGRAFIA.-

- Metallgesellschaft AG - Review of Activities Edition 20
- Metalurgia de los Metales No Férreos John L. Bray
- Metalurgia General - Tomo I F. R. Morral; E. Jimeno; P. Molera