

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA
Y METALURGICA**



**“TECNOLOGIA DE LA REFINACION
DEL ANTIMONIO POR FUNDICION”**

T E S I S

**Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Metalurgista**

RICARDO CASTILLO UNGARO

PROMOCION 87-I

LIMA — PERU

AÑO 1993

DEDICATORIA ·

A mi madre, por el apoyo y aliento que día a día me brindaba, tanto en mis estudios así como en la elaboración de esta tesis.

Gracias.

AGRADECIMIENTO :

A mi Alma Matter por formarme profesionalmente.
A mis asesores, en especial al Ing. Rigoberto Sandoval por su apoyo y consejos.
A mis compañeros Lino y Efraín por su colaboración en las pruebas de fundición así como al personal que labora en el laboratorio y a todas las personas que de una u otra manera hicieron posible la elaboración de esta tesis.

RESUMEN

De acuerdo a la necesidad de contar con plantas de tratamiento para minerales no tradicionales o también denominados minerales secundarios, me ha motivado a llevar a cabo un estudio a nivel de laboratorio de uno de los tantos minerales secundarios que existen en nuestro país; es por ello que presento en esta tesis la "Tecnología de la Refinación del Antimonio por Fundición" , la cual ha sido elaborada gracias al apoyo del personal docente de la Escuela Profesional de Metalurgia de la UNI por brindarme las instalaciones y equipos del laboratorio; además del asesoramiento permanente con el que se contó.

La tesis ha sido elaborada en base a ocho capítulos, a saber :

Capítulo I .- En el cual se hace un comentario de los antecedentes así como de los alcances y objetivos.

Capítulo II .- Como generalidades, se refiere a la historia del antimonio pero como metal, así como sus propiedades físicas y químicas.

Capítulo III .- Se refiere a la materia prima. Mineralogía del antimonio, geología, yacimientos y distribución geográfica tanto a nivel nacional como mundial.

Capítulo IV .- Estudio de mercado. Hace una descripción del producto así como de sus diferentes usos. También un estudio detallado del mercado nacional (producción mundial, comercio internacional y demanda de los principales países). Finalmente se hace un comentario de la demanda y de su proyección hasta el año dos mil.

Capítulo V .- Abarca lo que es la Tecnología del Proceso. Primeramente se hace un comentario de los métodos de extracción, métodos para la producción de antimonio metálico tanto del antimonio crudo como del refinado.

Luego se describen los métodos utilizados · método de licuación, recipitación english y el método de refinación; cada uno de ellos con los requerimientos de equipos, parámetros del proceso, termodinámica del proceso y los resultados experimentales.

Capítulo VI .- Se presenta un perfil económico ,en el cual primeramente se asume unas consideraciones tales como, capacidad de la planta de tratamiento de 600 TMN/anuales , con una producción de antimonio refinado de 280 TMF/anuales. El precio del mineral así como el precio de venta han sido proporcionados por MINPECO.

Luego de todo lo anteriormente mencionado viene lo que es la estructura de la inversión (capital fijo, capital de trabajo), costos de producción, estado de pérdidas y ganancias así como los índices de rentabilidad.

Capítulo VII .- Se refiere a las conclusiones generales las cuales incluyen las respectivas observaciones y sugerencias del caso.

Finalmente se adjunta un Anexo y una relación de consulta Bibliográfica.

R.C.U.

TECNOLOGIA DE LA REFINACION DEL
ANTIMONIO POR FUNDICION

INDICE

	Pag.
CAPITULO I. INTRODUCCION	7
1.1 ANTECEDENTES	8
1.2 OBJETIVOS	8
CAPITULO II. GENERALIDADES	10
2.1 HISTORIA DEL ANTIMONIO	11
2.2 PROPIEDADES DEL ANTIMONIO	13
2.2.1 Propiedades Físicas	13
2.2.2 Propiedades Químicas	14
CAPITULO III. MATERIA PRIMA	18
3.1 MINERALES Y DEPOSITOS DE ANTIMONIO	19
3.1.1 Mineralogía del Antimonio. Características	19
3.1.2 Geología del Antimonio	23
3.2 YACIMIENTOS Y DISTRIBUCION GEOGRAFICA	24
3.2.1 A Nivel Mundial	24
3.2.2 A Nivel Nacional	25
CAPITULO IV. ESTUDIO DE MERCADO	28
4.1 DESCRIPCION DEL PRODUCTO Y USOS	29
4.1.1 Descripción del Producto	29
4.1.2 Usos	30
4.1.2.1 Usos Finales del Sb No Metálico	30
4.1.2.2 Usos Finales del Sb Metálico	31
4.1.2.3 Materiales Sustitutos	34
4.2 MERCADO NACIONAL	35
4.2.1 Producción Nacional	35
4.2.1.1 Minerales y Concentrados	36

4.2.1.2	Antimonio Metálico	37
4.2.1.3	Plomo Antimonial	37
4.2.2	Exportaciones	39
4.2.2.1	Minerales y Concentrados	40
4.2.2.2	Antimonio Crudo	41
4.2.2.3	Plomo Antimonial	41
4.2.3	Importaciones	44
4.2.4	Consumo Aparente Peruano	44
4.3	MERCADO MUNDIAL	47
4.3.1	Producción Mundial	47
4.3.1.1	Minerales y Concentrados	49
4.3.1.2	Antimonio Metálico	52
4.3.2	Comercio Internacional del Antimonio Metálico	55
4.3.2.1	Principales Países Export. de Sb Metálico	57
4.3.2.2	Principales Países Import. de Sb Metálico	58
4.4	DEMANDA DE PRINCIPALES PAISES	61
4.4.1	Demanda de Principales Países Importadores	61
4.4.2	Demanda de Principales Países Exportadores	65
4.5	DEMANDA Y PROYECCION DE LA DEMANDA	70
CAPITULO V. TECNOLOGIA DEL PROCESO		73
5.1	METALURGIA DEL ANTIMONIO	74
5.2	PROCESOS PARA EL TRATAMIENTO DE MENAS DE ANTIMONIO	75
5.2.1	Proceso de Licuación	75
5.2.1.1	Licuación en Hornos de Crisol	76
5.2.1.2	Licuación en Hornos de Reverbero	77
5.2.2	Tostación a Fondo para la Obtención del Tetróxido Estable (Sb_2O_4)	77
5.2.3	Tostación Volatilizante para la Obtención del	

Trióxido (Sb_2O_3)	80
5.2.3.1 El Proceso Herrenschildt	81
5.2.3.2 El Proceso Follisain	82
5.2.4 El Horno de Cuba	84
5.2.4.1 El Tostador Blast	84
5.3 METODOS PARA LA PRODUCCION DE ANTIMONIO METALICO CRUDO	86
5.3.1 Reducción de Oxidos	87
5.3.1.1 En Hornos de Reverbero	87
5.3.1.2 En Hornos de Cuba	90
5.3.1.3 En Hornos de Crisol	90
5.3.2 Precipitación English	90
5.3.3 Por Extracción Directa desde el Mineral	92
5.4 REFINACION DEL ANTIMONIO METALICO CRUDO	93
5.4.1 En Hornos de Reverbero	95
5.4.2 En Hornos de Crisol	97
5.4.3 Estrellado	97
5.5 OBTENCION DEL ANTIMONIO POR VIA ELECTROLITICA	100
5.5.1 Proceso "Sunshine Mine"	101
5.5.2 Proceso Bunker Hill y Sullivan	102
5.6 DESCRIPCION Y TECNICA DEL METODO UTILIZADO	102
5.6.1 Proceso de Licuación	103
5.6.1.1 Materia Prima, Insumos y Equipos	103
5.6.1.2 Marcha Experimental	107
5.6.1.3 Parámetros del Proceso	108
5.6.1.4 Resultados Experimentales	109
5.6.1.5 Conclusiones	110
5.6.2 Proceso de Precipitación English	110

5.6.2.1	Materia Prima, Insumos y Equipos	114
5.6.2.2	Marcha Experimental	116
5.6.2.3	Parámetros del Proceso	117
5.6.2.4	Termodinámica del Proceso	118
5.6.2.5	Resultados Experimentales	120
5.6.2.6	Conclusiones	120
5.6.3	Proceso de Refinación del Antimonio Crudo	124
5.6.3.1	Materia Prima, Insumos y Equipos	125
5.6.3.2	Marcha Experimental	126
5.6.3.3	Parámetros del Proceso	127
5.6.3.4	Resultados Experimentales	128
5.6.3.5	Conclusiones	128
CAPITULO VI.	PERFIL ECONOMICO	133
6.1	ESTRUCTURA DE LA INVERSION	135
6.1.1	Capital Fijo	135
6.1.1.1	Costo de Equipos y Maquinaria	135
6.1.1.2	Costo de Construcciones	136
6.1.1.3	Costo de Instalaciones	136
6.1.2	Capital de Trabajo	137
6.1.2.1	Materia Prima e Insumos	137
6.1.2.2	Mano de Obra	138
6.1.2.3	Energía y Servicios	138
6.2	COSTOS DE PRODUCCION	139
6.2.1	Costos Fijos	139
6.2.2	Costos Variables	141
6.3	ESTADO DE PERDIDAS Y GANANCIAS	142
6.3.1	Ingresos	142
6.3.2	Egresos	142

6.3.3 Indices de Rentabilidad	142
CAPITULO VII. CONCLUSIONES	143
7.1 CONCLUSIONES	144
ANEXOS	
BIBLIOGRAFIA	

CAPITULO I

INTRODUCCION

I.- INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES

Es conocido que nuestro País sustenta la mayor parte de su economía en base al aprovechamiento de sus riquezas mineras, pero éstas, en la actualidad, solo inciden sobre minerales tradicionales tales como Cu, Pb, Zn, etc. y se descuida el aprovechamiento de los llamados minerales secundarios que como la estibina (sulfuro de antimonio), solo son extraídos en pequeñas cantidades y exportadas en su totalidad en forma de mineral, con la consiguiente pérdida en precios que ello implica.

La existencia de centenares de pequeñas minas de minerales de Sb en todo nuestro territorio, nos presenta la oportunidad de su aprovechamiento, pero no solo en su forma bruta extraída, sino, transformada en el metal correspondiente, en el que el trabajo de manos peruanas incrementa el valor de las mismas y puedan ser exportadas a mejores precios.

La ausencia de una planta de tratamiento de minerales de Sb en nuestro medio, hace que toda la producción nacional que está en manos de pequeños mineros sea irregular y de pequeño volumen.

1.2 OBJETIVOS

El objetivo de la presente tesis es la de contribuir en anular las deficiencias que se presentan en lo que se refiere al tratamiento de los minerales de Sb.

Contribuir en parte a la instalación de una planta de tratamiento de minerales de Sb ya que se ha realizado un

estudio Técnico-Científico sobre materias primas, mercado y sobre todo a lo que concierne a la tecnología del proceso cuya experimentación se realizó a nivel planta piloto en el laboratorio de Metalurgia de la UNI.

Es así que presento en ésta tesis la tecnología de la refinación del Sb por fundición, la cual será uno de los pilares para la instalación de plantas de tratamiento, la que nos deberá impulsar en nuestro desarrollo técnico en el campo metalúrgico.

Nuestra condición especial de ser segundo país exportador de minerales de Sb en latinoamérica, justifica ampliamente el presente objetivo.

CAPITULO II

GENERALIDADES

II.- GENERALIDADES

2.1 HISTORIA DEL ANTIMONIO

El antimonio es otro de los llamados metales prehistóricos. En Egipto el antimonio se empleaba como cosmético; la biblia nos dice que Jezabel se pintaba los ojos con "stibium" (de ahí el símbolo químico Sb), y se cree que los egipcios revestían el bronce con antimonio para imitar el aspecto de la plata. Aunque el antimonio se empleó probablemente en la Edad Media, ya que, de vez en cuando, nos encontramos con citas sobre la fusión de menas de plomo-antimonio, su aplicación en gran escala a la industria es muy posterior.

La primera aplicación verdaderamente importante del antimonio se registró en el siglo XV, cuando una aleación de éste metal con el plomo se empleó para fabricar tipos de imprenta fundidos, y otras en la fabricación de espejos y campanas.

Basil Valentine, un monje alemán del siglo XV, y también Agricola escribieron sobre la licuación, precipitación y obtención de régulus. Valentine dió diferentes recetas para la preparación de tricloruro de antimonio, cloruro básico, trióxido y antimoniato de potasio.

En el siglo XVI se utilizaba también en medicina y, desde entonces, debido a las propiedades importantes que confiere a ciertas aleaciones, se ha convertido en un metal industrial muy importante.

De los actuales métodos de la metalúrgia del antimonio, la precipitación del metal desde el sulfuro por la adición de

hierro, fue descrita por Ercker en el siglo XVII y, además el primer tratado científico que se escribió sobre éste elemento se debe a Nicolas Lemery (1645-1715).

En los inicios de la década de 1830 apareció el horno de reverbero; en 1844 el proceso de volatización francés y en 1896 apareció el primer antimonio electrolítico en el mercado.

La palabra antimonio proviene del griego Anti y Monos, que significan "Metal raramente encontrado solo".

Uno de los empleos importantes aunque no en volumen, por que de hecho, se consume una cantidad relativamente pequeña de antimonio en esta aplicación, es en la fabricación de tipos de imprenta.

La función del antimonio no es solo la de endurecer la aleación resultante, sino también la de disminuir la contracción durante el proceso de solidificación. En los proyectiles el antimonio endurece el plomo y lo hace tan frágil de tal manera que revienta en fragmentos. Otro empleo importante del antimonio se desarrolló con el descubrimiento del metal Babbit en 1839, y con el desarrollo subsiguiente de una multitud de aleaciones dotadas de propiedades antifricción. Una gran cantidad de antimonio se consume en la fabricación de las baterías de acumuladores de plomo. El antimonio encuentra otras aplicaciones como agente endurecedor en los revestimientos de plomo de los cables de teléfono y análogos. También se aplica en la fabricación de tubos para envasar grasas, colores y sustancias plásticas y como metal para soldadura

blanda. Desde mediados de la década de los 70, el principal incremento en la demanda ha sido el trióxido de antimonio (antimonio no metálico) que se utiliza como pigmentos en las pinturas blancas y en las granadas de humo empleadas para corregir la puntería en artillería, últimamente su principal uso del trióxido es como de agente anti-inflamable.

2.2 PROPIEDADES DEL ANTIMONIO

2.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS

El antimonio puro es un metal frágil de color blanco-plateado, brillante. Su símbolo es Sb.

Entre otras propiedades físicas tenemos:

Peso Atómico	: 121.76
Número Atómico	: 51
Gravedad Específica	: 6.6-6.7
Dureza	: 3.0-3.5
Calor Específico	: 0.05
Punto de Fusión	: 630.5 °C
Calor Latente de Fusión	: 38.84 cal/gr
Cristalización	: Hexagonal.

Formas alotrópicas de antimonio son: El antimonio explosivo, antimonio negro y antimonio amarillo.

El antimonio explosivo puede ser producido por electrólisis, usando un baño de ácido clorhídrico y protocloruro de antimonio, con antimonio metálico como ánodo y platino como cátodo. Esta forma de antimonio, cuando es triturado en un mortero, detona con gran ruido con desprendimiento de luces y calor. El antimonio negro

es otra forma amorfa metaestable, cuando el antimonio metálico al estado de vapor es enfriado súbitamente. Esta forma de elemento es más activa químicamente que la forma metálica ordinaria, y empieza a arder algunas veces en forma espontánea. A 100 °C cambia gradualmente al metal ordinario; a 400 °C el cambio es repentino.

El antimonio amarillo, el más inestable de todas las formas de antimonio, no posee ninguna propiedad metálica y más bien corresponde a lo que es el fósforo blanco y el arsénico amarillo. Esta forma, se obtiene introduciendo oxígeno a un hidruro de antimonio a - 90 °C, es usado solamente para intereses académicos. Cambia a antimonio negro por encima de - 90 °C, expuesto a la luz ordinaria.

2.2.2 PROPIEDADES QUÍMICAS

El antimonio posee tres valencias: tres, cuatro y cinco. Sus propiedades químicas se asemejan a las del arsénico, similar al germanio y bastante parecido a los del grupo del zinc. El antimonio se oxida ligeramente a temperaturas ordinarias. Sin embargo calentándolo, el metal se oxida rápidamente a trióxido. También se oxida rápidamente con cualquier sal que puede proporcionarle su oxígeno para ello, tal como el óxido de plomo y el peróxido de manganeso. También es oxidado en presencia de vapor.

En lo que respecta a ácidos, el metal no es atacado por el ácido sulfúrico diluido, pero forma sulfato antimonioso con el ácido sulfúrico concentrado y en caliente.

Es atacado por el ácido clorhídrico, solamente, cuando se presenta en la forma de polvo. Con el ácido nítrico

concentrado se convierte en trióxido.

En presencia de agua regia se disuelve rápidamente para dar lugar al pentacloruro. Mezclado con nitrato y soda, el antimonio se convierte en explosivo.

Algunas de las reacciones químicas y constantes fundamentales relacionadas con la metalurgia del antimonio, son las siguientes:

Sb_2S_3 funde a 550°C (según Pelabon); a 540° (Wagemann) y a 546° (Borgstrom).

Sb_2S_3 se volatiliza, en ausencia de aire, entre los 650° y 917°C .

$\text{Sb}_2\text{S}_3 + 9 \text{O} \rightarrow \text{Sb}_2\text{O}_3 + 3 \text{SO}_2$; empieza a 290° , es rápido a 520° y finaliza a 560° (según Saito); empieza a 290° si el tamaño de grano es de 0.1mm de diámetro, a 343° si es de 0.1 a 0.2mm y a 430° si es de 0.2mm (Friedrich); se inicia a 190° , energicamente a 340° y termina a 445° (según S.A. Chakhov y I.I. Slobodskai).

$\text{Sb}_2\text{S}_3 + 2\text{Sb}_2\text{O}_3 \rightarrow 6\text{Sb} + 3\text{SO}_2$; se realiza a 950° (W.R. Schoeller).

$X(\text{Sb}_2\text{S}_3) + Y(\text{Sb}_2\text{O}_3) \rightarrow XY(\text{Sb}_4\text{O}_3\text{S}_3)$; funde bajo una capa de sal a 517°C

$\text{Sb}_2\text{S}_3 + 3\text{Fe} \rightarrow 2\text{Sb} + 3\text{FeS}$

$2\text{Sb}_2\text{S}_3 + 9 \text{O}_2 \rightarrow 2\text{Sb}_2\text{O}_3 + 6\text{SO}_2$; H = -687,000 cal.

$\text{Sb}_2\text{S}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Sb}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{S}$; H = +26,700 cal.

$\text{Sb}_2\text{S}_3 + 5 \text{O}_2 \rightarrow \text{Sb}_2\text{O}_4 + 3\text{SO}_2$; H = -389,900 cal.

$\text{Sb}_2\text{O}_3 + \text{O} \rightarrow \text{Sb}_2\text{O}_4$; comienza a 900° y finaliza a 1030°
(según Chakhov y Slobodskai).

$3\text{Sb}_2\text{O}_5 \rightarrow \text{Sb}_6\text{O}_{13} + \text{O}_2$; entre 620° y 720° (A. Simon y E. Thaler).

$\text{Sb}_2\text{O}_5 \rightarrow \text{Sb}_2\text{O}_4 + \text{O}$; entre 750° y 800° (A. Simon y E. Thaler).

$\text{Sb}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{Sb}_2\text{O}_3 + \text{O}$; a 930° (A. Simon y E. Thaler).

$5\text{Sb}_2\text{O}_3 + \text{O} \rightarrow 2\text{Sb}_5\text{O}_8$; entre 360° y 400° (C.T. Carnelley y J. Walker).

$2\text{Sb}_2\text{O}_3 + \text{O} \rightarrow \text{Sb}_4\text{O}_7$; entre 440° y 500° (C.T. Carnelley y J. Walker).

$2\text{Sb}_2\text{O}_3 + \text{O} \rightarrow \text{Sb}_4\text{O}_7$; estable entre 500° y 565° (Carnelley y Walker).

$\text{Sb}_2\text{O}_3 + \text{O} \rightarrow \text{Sb}_2\text{O}_4$ entre 565° y 585° (Carnelley y Walker).

$\text{Sb}_2\text{O}_3 + \text{O} \rightarrow \text{Sb}_2\text{O}_4$; estable entre 590° y 775° (Carnelley y Walker).

$\text{Sb}_2\text{O}_3 + 3\text{C} \rightarrow 2\text{Sb} + 3\text{CO}$

$\text{Sb}_2\text{O}_4 + 4\text{C} \rightarrow 2\text{Sb} + 4\text{CO}$

$\text{Sb}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \rightarrow 2\text{Sb} + 3\text{CO}_2$; entre 502° y 596°C .

$\text{Sb}_2\text{O}_3 + 6\text{H} \rightarrow \text{Sb}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$

$\text{Sb}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \rightarrow 2\text{Sb} + 3\text{CO}_2$; a 500°C (según Watanabe).

CAPITULO III

MATERIA PRIMA

III. MATERIA PRIMA

3.1 MINERALES Y DEPOSITOS DE ANTIMONIO

3.1.1 MINERALOGIA DEL ANTIMONIO. CARACTERISTICAS

La especie mineral más abundante del antimonio y de la cual se extrae comercialmente, es la estibina ($Sb_2 S_3$) que contiene 71.4% de Sb. El antimonio entra, en forma accesoria, en la composición de muchos minerales valiosos, principalmente de plata, como los sulfo- antimoniuros, llamados minerales rojos de plata, especies muy buscadas por su alto valor comercial.

Como minerales propiamente de antimonio, aunque muchos de ellos de escasa significación industrial, podemos citar los siguientes :

Berthierita.....	Fe $Sb_2 S_4$	56.6% Sb
Senarmontita.....	$Sb_2 O_3$	83.3% Sb
Cervantita	$Sb_2 O_3 . Sb_2 O_5$	78.9% Sb
Kermesita	$Sb_2 S_3 . Sb_2 O_3$	75.0% Sb

Además de estas especies que son las más conocidas y comunes, se dá a continuación una lista de minerales que aunque no son propiamente comerciales, contienen antimonio.

Antimonio nativo

Se presenta raramente, casi siempre asociado con plata, hierro o arsénico. En el Perú es bastante común, aunque no abundante; acompaña a la estibina, a la plata nativa, a la pirargirita, en criaderos de cenizas ó baritina. Así se le ha encontrado en las provincias de Huaylas y de Otuzco (Boletín # 22 del C.I.M.).

Allemontita

Asociada a la estibina arsenical ($Sb As_3$; $Sb = 37.85\%$, $As = 62.15\%$) se le ha encontrado en Salpo, por el ingeniero F. Málaga Santolalla y en Huaylas distrito de Macate, por Raymondi.

Minerales de Plomo Antimonial

La mayoría de las galenas contienen cantidades variables de antimonio y en algunas regiones del Perú las galenas antimoniales son más argentíferas que las galenas puras. El antimonio parece hallarse dentro de las galenas peruanas en forma de solución sólida, lo mismo que la plata. Además de las galenas antimoniales, hay una familia de sulfuros dobles de antimonio y plomo que comprenden las siguientes especies más importantes .

$PbS + Sb_2 S_3$	Zinckenita	41.14% Sb
$4 PbS + 3 Sb_2 S_3$	Plagionita	37.04% Sb
$2 PbS + Sb_2 S_3$	Jamesonita	29.83% Sb
$3 PbS + Sb_2 S_3$	Boulangerita	23.10% Sb
$4 PbS + Sb_2 S_3$	Menighinita	18.83% Sb
$5 PbS + Sb_2 S_3$	Geokronita	16.00% Sb
$6 PbS + Sb_2 S_3$	Kilbrikenita	13.76% Sb

De estas siete especies se ha constatado en el Perú la existencia de zinckenita, jamesonita, boulangerita y menighinita. La zinckenita es frecuente en muchas minas. La jamesonita y su variedad, la plumosita se han encontrado en el Departamento de Ancash y también en Calipuy en el Departamento de La Libertad, en donde es altamente argentífera. La jamesonita de Ancash contiene también plata

y pequeñas cantidades de bismuto. La boulangerita existe en los Departamentos de Huánuco y Junín. La menighinita se ha hallado en el distrito de Marcapomacocha en la provincia de Yauli.

Minerales de Plata Antimonial

Estos son el antimoniuro y los sulfo-antimoniuros de plata, siendo las principales especies las siguientes :

Discrasita.... combinación de Sb con Ag ; 15-36% Sb

Miargirita $Ag_2 S + Sb_2 S_3$ 41.5% Sb y 36.73% Ag

Pirargirita $3 Ag_2 S + Sb_2 S_3$ 22.51% Sb y 59.78% Sb

Estefanita $5 Ag_2 S + Sb_2 S_3$ 15.44% Sb y 68.36% Sb

La pirargirita llamada también rosicler oscuro ó argiritrosa, se ha hallado en muchas minas del Perú, en las regiones de Castrovirreyna, en Huarochiri, Yauli, Huaylas, Hualgayoc, etc. . La estefanita, llamada también psaturosa, abunda en el Perú. Es muy parecida a la pirargirita, distinguiéndosele por su raya negra en vez de roja. Por eso, se le llama rosicler negro en algunas regiones del país.

Minerales de Cobre Antimonial

Se pueden citar los siguientes .

Chalcostibita $Cu_2 S + Sb_2 S_3$ 48.92% Sb y 25.42% Cu

Famatinita $Cu_3 Sb S_4$ 21.78% Sb y 43.64% Cu

Se ha encontrado pequeñas cantidades de famatinita arsenical en Cerro de Pasco.

Minerales de Niquel Antimonial

Breithauptita NiSb 67.8% Sb y 32.2% Ni

Ullmannita NiSbS 57.8% Sb y 27.4% Ni

En los yacimientos niquelíferos del cerro de Rapi en Ayacucho, se encuentra la ullmannita junto con la niquelina antimonífera, la cloantita y otras especies en cantidades considerables.

Minerales Complejos de Antimonio

Panabasa, tetrahedrita, cobre gris antimonial, sulfo-antimoniuro de cobre, plata hierro, y zinc, a veces también, plomo , cobalto, bismuto, mercurio y estaño. Composición muy compleja y variable.

Polibasita, sulfuro de Sb , Ag , Cu y otros minerales.

Malinowskita, (Raymondi) sulfuro de aprox. 25% Sb, 14% Cu, 13% Pb, 12% Ag y 2% Zn.

Durfeltita,(Raymondi) sulfuro de Sb, Ag, Pb, Mn, Fe y Cu.

Todas estas especies minerales se encuentran en el Perú, en donde se denominan pavonados a la panabasa y sus variedades malinowskita y durfeltita, ambas descubiertas y clasificadas por Raymondi, y también en general a los sulfo-antimoniuros y sulfo-arseniuros, que contienen plata y cobre.

En el Departamento de Junín es donde más abundan estos minerales y de ellos provienen probablemente el estaño, el bismuto y el cobalto, que se recuperan en la fundición de la Oroya. Igualmente en los Departamentos de Puno y Cuzco, se encuentran muchas de estas especies antimoniales complejas.

3.1.2 GEOLOGIA DEL ANTIMONIO

La estibina se encuentra usualmente en depósitos próximos a la superficie. Otras veces cerca de las rocas ígneas a mayores profundidades. Por lo general se le encuentra en filones de cuarzo, pero también en depósitos de reemplazamiento. Los filones pueden estar en rocas ígneas ó en sedimentarias; los depósitos de reemplazamiento se hallan casi siempre en rocas calcáreas. Acompañan a la estibina algunos sulfuros, entre los que pueden citarse, pirita, galena, blenda, cinabrio, arsenopirita, rejalgar. Los depósitos de antimonio, según se desprende de la teoría zonal, se han formado a baja temperatura y presión y por esto se logran formar a veces hermosas cristalizaciones de gran pureza y tamaño, de estibina. Estas cristalizaciones permiten hacer mediante un escogido a mano, concentrados puros de estibina, fáciles de vender. Filones antimoniales con este tipo de cristalizaciones pueden ser trabajados por pequeños mineros con poco recurso económico.

La asociación frecuente del antimonio con el oro es un factor que muchas minas en el mundo, especialmente en Europa y Bolivia, continuen operando, cuando han podido recuperar el oro que los minerales contienen. Se siguen con las investigaciones para perfeccionar los métodos metalúrgicos para separar el oro del antimonio y que entonces puedan entrar en actividad muchos yacimientos hoy en receso. En el Perú, en la mina de Santo Domingo de Carabaya, se presenta con el oro, cantidades variables de antimonio que obstaculizan la separación del oro por

amalgamación ó flotación. El ingeniero peruano D. Fernando C. Fuchs propuso, para la disolución del antimonio de los minerales ó concentrados auríferos, lixiviarlos con una solución alcalina, a baja temperatura, que disolvería la estibina, precipitándose luego el antimonio con gas carbónico, con lo cual se regeneraría la solución disolvente.

Tenemos también en el Perú, como en México, muchos minerales de antimonio asociado a especies argentíferas, de los cuales se utiliza solamente el valor de la plata.

3.2 YACIMIENTOS Y DISTRIBUCION GEOGRAFICA

3.2.1 A NIVEL MUNDIAL

China es el país más productor de antimonio. La provincia de Hunan que contiene siete asentos mineros importantes, provee el 90% de la producción nacional china. El yacimiento más importante se presenta en un manto de cuarcita resquebrajada de 50 metros de espesor. La estibina está en las rajaduras y fisuras de la cuarcita. El mineral en conjunto contiene 6% de antimonio, pero por medio del pallaqueo se puede elevar su ley hasta 60% .

En el mismo país se aplican procedimientos de fundición muy primitivos, a los minerales.

En México, en el estado de Sonora, se explotan filones que contienen óxidos de antimonio. En San Luis de Potosí hay depósitos de antimonio en un pórfido que contiene de 5 a 55% de antimonio. Considerable cantidad de antimonio se recupera en forma elemental ó en aleaciones, en las refinerías que se encuentran cerca de Monterrey, cómo un

subproducto de los minerales de plomo. También en Huitzuco, estado de Guerrero, se produce antimonio provenientes de minas que contienen minerales mercurio-antimoniales.

En Bolivia comenzó a trabajarse antimonio desde 1903 ,la producción boliviana solo es sobrepasada por la de China. Las zonas más productoras de antimonio son las de Challapata (Oruro) y Tupiza (Potosí). Casi todas las minas se trabajan en pequeña escala. Algunas tienen en forma variable, valores hasta de 20 gramos de oro por tonelada. Los minerales que se exportan, generalmente concentrados a mano, tienen 60% de antimonio con pequeñas proporciones de cobre y arsénico. Los yacimientos son filonianos, con abundante cuarzo, y las vetas casi siempre en pizarras negras, son angostas e irregulares, presentándose en grandes masas o diseminado en el cuarzo.

3.2.2 A NIVEL NACIONAL

En el año 1906 ,figura por primera vez el antimonio en la Estadística Minera del Perú, habiéndose exportado en ese año minerales que contenían 97.7 toneladas métricas de antimonio metálico, el que procedía en un 60% de Puno.

El antimonio exportado se encuentra en su casi totalidad en forma de estibina y de plomo antimonial.

Las regiones más productoras se encuentran en los departamentos de Puno, Junín, Huánuco y Lima.

Puno es indudablemente la región más antimonífera del Perú desde el punto de vista comercial. En la zona de la Raya situada cerca de la línea ferrea al Cuzco y en lindero con este departamento, hay una cadena de cerros de areniscas,

calizas y conglomerados cuarcíferos a los que atraviesan de Este a Oeste una serie de vetas de estibina muy limpia y que alcanza a tener más de 65% de antimonio. En otras regiones de Puno, tales como Crucero, San Antonio de Esquilache, Maravillas, Santa Lucía, etc. hay también estibina en cantidades variables. En la mina Santo Domingo, la estibina acompaña al oro en el yacimiento, creyéndose que el oro disminuye cuando aumenta la proporción de antimonio. Un estudio minero-gráfico del relleno de ésta mina, parece indicar que el orden de deposición de sus elementos han sido : 1. pirita, 2. oro, 3. estibina, 4. cuarzo lechoso y cuarzo negro.

En el departamento de Junín no hay depósitos consistentes de antimonio; pero abundan yacimientos en el que la estibina se encuentra diseminada en el relleno, sola ó acompañando a otras especies minerales de valor. En las regiones de Carahuacra y Andaychagua, en la provincia de Yauli, es donde el antimonio alcanza mayor desarrollo.

En el departamento de Lima hay antimonio en la provincia de Canta, en donde se trabaja en muy pequeña escala y también en Huarochiri en las regiones de Parac, Viso, Tamboraque y Casapalca, donde se explotan con los minerales de plata.

En Huánuco se encuentra estibina en distintos lugares. Cerca de Obas hay vetas de cuarzo en rocas metamórficas, filitas y esquistos, que contienen masas lenticulares o columnares de estibina. También en la región de Huallanca los planos argentíferos son antimoniales.

En el departamento de Huancavelica abunda el antimonio en

los filones argentíferos, aunque en proporción algo menor. Se le encuentra en Castrovirreyna, en la región de Huachocolpa y en la provincia de Angaraes.

Fuera de estos yacimientos que podríamos llamar comerciales, se encuentra también antimonio difundido en casi todas las regiones mineras del Perú, En Cajamarca, Ancash y La Libertad hay una gran variedad de minerales de antimonio, a los que ya se ha hecho referencia al enumerar las especies mineralógicas de este metal.

CAPITULO IV

ESTUDIO DEL MERCADO

IV. ESTUDIO DE MERCADO

4.1 DESCRIPCION DEL PRODUCTO Y USOS

4.1.1 DESCRIPCION DE PRODUCTOS

El Antimonio en su forma elemental es un sólido cristalino, blanco plateado, frágil que exhibe propiedades de conductividad eléctrica y térmica pobres. El peso atómico del metal es de 121.76; funde a 630.5 °C y hierve a 1,380 °C; su símbolo es Sb. Los principales elementos contaminantes del antimonio son As, Cu, Fe y Pb. El metal de antimonio denominado "Regulus" es usualmente comercializado en unidades de 10x10x10.5 pulgadas conocidas como blocks, barras o lingotes. Su peso promedio es de 60 libras.

El antimonio metálico es identificado bajo la marca de fábrica de las compañías productoras. La marca de fábrica representa una garantía del contenido de antimonio y frecuentemente del máximo de arsénico.

Las principales marcas de fábricas son las siguientes:

1. National Lead C&S RM brand. Tiene una garantía de contenido de antimonio de 99.5% y un máximo de contenido de arsénico de 0.1%
2. National Lead CO'S Lone Star brand. Tiene una garantía de contenido de Antimonio de 99.8% y un máximo de contenido arsénico de 0.05%.

Las cotizaciones del Metal Bulletin para el antimonio metálico tienen como base el antimonio régulus 99.6% en el mercado libre europeo y el antimonio régulus de 99.5 a 99.6% en EE.UU., New York Dealer.

El sulfito de antimonio licuado, variablemente denominado "Crudum", "Antimonio Crudo" o "Antimonio Aguja" es comercializado sobre la base de 70% de contenido de antimonio.

En el Perú se suele llamar "Antimonio Crudo" al antimonio metálico con un contenido de antimonio de 94-96% proveniente de la recuperación de los lodos anódicos en la refinación electrolítica del plomo y el cobre.

El plomo-antimonial es una aleación con un contenido variable entre 1-9% de antimonio. El antimonio en ésta aleación incrementa la resistencia e inhibe la corrosión química del plomo.

El contenido de antimonio de los minerales comerciales varía entre 5-60%, siendo éste determinante en el método de tratamiento a emplearse para su refinación.

Los minerales que actualmente exporta el Perú tiene un contenido promedio de 60% Sb.

Se denomina antimonio no metálico a los trióxidos de antimonio. Estos son usados principalmente como anti-inflamables.

4.1.2 USOS

4.1.2.1 Usos finales de antimonio no metálico (trióxido de antimonio).

El principal uso del trióxido de antimonio es como material anti-inflamable. El mercado potencial para anti-inflamables está creciendo cada año debido a que un creciente número de países introduce legislaciones sobre seguridad contra incendios para un creciente número de productos, tales

como: alfombras, materiales de transporte, materiales eléctricos, plásticos, etc.

El antimonio no metálico es también usado en cerámica y vidrio, productos de jebe, pigmentos y otras aplicaciones. EE.UU. es uno de los principales consumidores de Sb ; veamos lo que sucedió en 1990: se consumió un total 10,185 TM de antimonio, de los cuales 8,372 TM correspondieron lo que es antimonio no metálico y la diferencia como antimonio metálico; esto nos dá un índice del desplazamiento del mercado del antimonio metálico por el no metálico.

4.1.2.2 Usos finales de antimonio metálico

a) Plomo antimonial

El principal uso del antimonio metálico es como constituyente en las aleaciones con Pb y algunos otros metales. El antimonio incrementa la resistencia e inhibe la corrosión química en metales como el plomo. En 1990, el 60% de todo el antimonio primario (sin considerar el reciclado) usado para productos metálicos en EE.UU., fue empleado en la elaboración del plomo antimonial. La mayoría de éste fué usado en la manufactura de baterías.

En el Reino Unido, en el año 1990, el 55% del consumo de antimonio metálico fué usado en plomo antimonial para baterías y un 20% fué usado en plomo antimonial para otros propósitos tales como bombas de productos químicos y tuberías, revestimiento de tanques, láminas para techos y envolturas para cables.

El plomo antimonial puede contener entre 1% y 9% de antimonio. El plomo antimonial conteniendo alrededor de 1%

de antimonio es usado para tubos colapsibles, balas y ánodos insolubles.

Durante la segunda guerra mundial, cantidades sustanciales de plomo antimonial fueron usadas en la manufactura de municiones. La producción de antimonio, particularmente la de China fué mucho mayor en ésta época. En EE.UU., en 1990, el uso en municiones representó solo 2% del total del consumo de antimonio metálico.

b) Metal Antifricción

El antimonio metálico es también usado en cojinetes antifricción. El antimonio forma cristales duros de estaño-antimonio que están incrustados y dispersos en una aleación blanda de estaño-cobre ó plomo.

Un típico cojinete de metal puede contener entre 4% y 15% de antimonio y entre 0.9% y 89% de estaño, siendo el resto plomo. La aleación puede también contener arsénico y cobre. El cojinete de metal es también conocido como metal babbit. Ellos son ampliamente usados en motores de vehículos y en la industria en general. El segundo mayor uso del antimonio metálico en EE.UU., Japón y el Reino Unido, es en la fabricación de cojinetes de metal.

c) Tipos de imprenta

El antimonio incrementa la dureza, minimiza el encogimiento, permite una mayor precisión y disminuye el punto de fusión del metal para tipos de imprenta. Las aleaciones están constituidas de plomo, antimonio y estaño. Cualquier otro metal es una impureza.

Los metales para tipos de imprenta están clasificados en

cuatro grupos principales: Lino-type, Stereotype, Monotype, y electrotype, que contienen 11.5%, 13.5%-14% ,16%-24% y 2%-5% de Sb, respectivamente.

Tecnologías tales como la foto composición y video composición han reemplazado a los tipos de imprenta en algunas aplicaciones. Sin embargo, hay una considerable resistencia al cambio, particularmente en la industria periodística del Reino Unido. En otros países la reducción en el uso del metal-tipo tradicional ha empezado. Para tener una idea de la reducción del consumo para este rubro, veamos lo que sucedió en Estados Unidos en los últimos años; en 1969 se consumió 541 TM, 107 TM en 1974, 13 TM en 1978, 8 TM en 1986 y en 1990 solamente 1 TM.

Pero la reducción del consumo para el metal tipo, se compensa con el incremento del consumo en otros rubros, como es el caso de la soldadura.

d) Soldadura

El antimonio es utilizado para incrementar la dureza de las aleaciones estaño-plomo, siendo el metal más comúnmente añadido a las soldaduras. Puede estar presente en proporciones de hasta 13%, aunque usualmente está debajo de 1%.

El consumo de antimonio en soldadura se ha incrementado regularmente en EE.UU. En 1978 el consumo fué de 121 TM aumentando a 245 TM en 1989.

e) Coberturas de cables

Aleaciones de plomo con antimonio metálico son usados en la coberturas de cables, aunque recientemente ha surgido la

competencia de otros materiales.

Las coberturas de plomo son usados principalmente para cables de transmisión de mediano voltaje. El plomo provee protección efectiva para el material aislante del cable contra la humedad, el ambiente y la oxidación. El antimonio es usado como un constituyente de la aleación cuando es probable que el cable esté sujeto a esfuerzos de vibración en el servicio. Es añadido en cantidades que varían entre 0.75% y 1.0%.

El consumo de antimonio para éste propósito ha venido incrementándose ligeramente en EE.UU. En 1978 se consumió 31 TM, en 1986 fué de 36 TM y en 1989 de 157 TM.

f) Antimonio, como agente aleador del cobre

El cobre que contiene 0.6% de antimonio en presencia 0.02%-0.03% de oxígeno puede ser laminado en caliente sin presentar la menor dificultad.

El antimonio incrementa las propiedades de tensión de las aleaciones. Las propiedades de fatiga son también mejoradas.

g) Semiconductores y otros usos electrónicos

Una pequeña proporción del consumo total de antimonio es usado como "dopant" en los materiales semiconductores tipo-n y en la manufactura de materiales semiconductores compuestos, tales como antimonio de indio, de aluminio y de galio. Un metal de alta pureza (99.999%) es necesario para este propósito.

4.1.2.3 MATERIALES SUSTITUTOS

El antimonio no tiene propiedades que lo hagan

indispensable, pero si tiene avances tecnológicos en muchas áreas de aplicación.

El mercurio, titanio, plomo, zinc, estaño y zirconio pueden desplazar al antimonio en pinturas, pigmentos y esmaltes. El estaño puede sustituir al antimonio en la cubierta de cables, el calcio en las placas de batería, el bismuto al metal tipo, el zinc en fundiciones decorativas, sintéticos orgánicos en textiles a prueba de fuego y el cobre en cojinetes.

Sin embargo, la selección de un nuevo material, es una selección tanto económica como tecnológica.

El antimonio siempre ha sido un metal relativamente barato, sustituto de otros más caros. Los usos específicos y la amplitud en la que es usado el antimonio, le permiten una posición de equilibrio económico.

4.2 MERCADO NACIONAL

4.2.1 PRODUCCION NACIONAL

Los departamentos de Puno, Ancash, Huánuco, Lima, Pasco, Junín, Arequipa y Cuzco son los mayores productores de antimonio, considerándose a Puno como la zona más antimonífera del Perú, donde se ha hallado vetas de estibina con más de 65% de Sb.

Como un promedio de los últimos cuatro años, se puede estimar que un 52% de la producción de antimonio es en forma de minerales y concentrados y un 48% en forma de antimonio metálico de 95% Sb (del que derivan las aleaciones de plomo antimonial) producido por Centromín, como consecuencia de sus operaciones metalúrgicas de

fundición y refinación de concentrados y minerales de plomo y cobre.

Las reservas probadas-probables se estiman en 70,000 TM de antimonio para el Perú, cifra que parece muy conservadora. En América Latina, para Bolivia se dá como reserva 450,000 TM y 225,000 TM para México. Si consideramos un ritmo actual de producción de 1,000 TM anuales tendríamos suficiente antimonio para 70 años.

De otro lado en la exposición sobre el tema "Perú país minero" sustentada por el Ing. Guillermo Flores Pinedo, ex-presidente de Centromín, se menciona un potencial antimonífero peruano de 440,020 TM equivalentes al 5.05% del potencial antimonífero mundial.

4.2.1.1 MINERALES Y CONCENTRADOS

El cuadro Nº IV-1 presenta la serie histórica de la producción nacional de minerales y concentrados de antimonio en los últimos diez años. Los minerales y concentrados tienen un contenido promedio de 60% Sb.

Toda la producción se obtiene de la pequeña minería y se exporta a través de MINPECO. El mineral de antimonio se recepciona en los depósitos de MINPECO. El 98% de la producción, es recepcionada en los depósitos del Callao, Arequipa y Juliaca. Huancayo y Salaverry son depósitos en que eventualmente se efectúan pequeñas entregas. Matarani es un depósito de transferencia para la exportación del mineral de Sb proveniente de Juliaca y Arequipa.

Los depósitos de Juliaca y Arequipa recepcionan aproximadamente el 65% de la producción nacional y el

Callao lo restante.

Los principales productores a nivel nacional son la familia Llanos en la sierra central, Compañía Minera El Carmelo, Compañía Minera San Nicolas S.A., Cía. San Miguel, Compañía Minera Maravillas, Hani P. e hijos, Rubín de Celis J., Schultze A., Lavagna C., etc.

4.2.1.2 ANTIMONIO METALICO

El antimonio metálico de 95%, llamado también antimonio crudo es producido por Centromín de la fundición de la Oroya.

El metal de 95% Sb se obtiene por oxidación selectiva de los lodos anódicos de la refinación electrolítica del plomo y el cobre para separar el Sb en forma de óxidos, los cuales son sometidos a una tostación para la eliminación del arsénico. Luego se lleva a cabo una reducción parcial para separar Pb, Bi, As, etc., y finalmente una reducción total para obtener el metal antimonio 95% Sb.

La capacidad de la fundición de la Oroya es de 1350 TM y su nivel de producción es de 500 TM. La producción de antimonio crudo depende de la programación de la refinación del plomo y cobre.

El cuadro Nº IV-1 presenta la serie histórica de la producción de antimonio metálico de 95% Sb. de los últimos diez años.

4.2.1.3 PLOMO ANTIMONIAL

El plomo-antimonial es producido a partir del antimonio crudo de Centromín. El contenido de antimonio en el plomo antimonial varía entre 1-9%. Es usado principalmente en la

CUADRO Nº IV-1

PRODUCCION NACIONAL DE ANTIMONIO (1980-1990)

T.M.F. (Toneladas Metricas Finas)

AÑOS	Minerales y Concentrados 60% Sb (1)	Sb Crudo 95% Sb (2)	TOTAL
1980	227	393	620
1981	401	433	834
1982	253	394	647
1983	224	323	547
1984	363	372	735
1985	198	377	575
1986	178	356	534
1987	73	318	391
1988	18	246	264
1989	19	304	323
1990	17	307	324

FUENTE : (1) Se ha tomado como producción nacional las exportaciones, por no disponerse información de stocks y por no existir consumo nacional de Sb.
MINPECO S.A. - División de Mod. Mat. y Estadística.

(2) Estadísticas de CENTROMIN PERU.

manufactura de baterías para vehículos.

Las ventas locales de antimonio crudo se realizan en su totalidad a compañías que producen el plomo antimonial para autoconsumo (baterías: Record, Etna, Fulgor) ó para ventas a terceros (Bera, Metales Sol, Química del Pacífico, Químetal, Oxidepsa, etc.). Entre los años 1969 y 1974, la Cerro de Pasco Corporation, actualmente Centromín, produjo barras plomosas de antimonio con un contenido de 55% de plomo y 45% de Sb en vez de antimonio crudo que al presente produce Centromín. Ello se debió al requerimiento del mercado de exportación.

La empresa que más consume localmente antimonio crudo es la Compañía OXIDEPSA.

De las 91 TM de antimonio crudo vendidas localmente de enero a junio de 1991, 42 TM (46%) fueron compradas por OXIDEPSA (Ver cuadro IV-2).

4.2.2 EXPORTACIONES

El Perú, conjuntamente con Bolivia y México son los principales exportadores de antimonio de América del Sur y América Central.

Las exportaciones peruanas de antimonio se realizan bajo la forma de minerales y concentrados (60% Sb), antimonio crudo (95%Sb) y plomo antimonial (3.5% Sb).

El volumen total de exportaciones de antimonio expresado en contenido de fino en el año 1990 fué del orden de las 324 TMF.

4.2.2.1 MINERALES Y CONCENTRADOS

En el año de 1989, exportaron 33 TM. de mineral,

CUADRO Nº IV-2

INVENTARIO DE ANTIMONIO CRUDO-CENTROMIN (Kg.-Cont. de fino) AÑO 1991

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Ventas locales :						
- Oxidepsa	8,000.0	8,461.0	8,224.0	8,245.0		8,609.0
- Baterías Record	3,390.0					3,698.0
- Baterías Capsa	2,210.0	2,021.0	2,050.0	2,343.0	2,684.0	2,296.0
- Fábrica Nac. Acumuladores ETNA	4,700.0		4,362.0	5,048.0		
- Fábrica de acumuladores Fulgor	3,600.0		4,362.0	5,048.0		
- COPLOSA	1,200.0					1,324.0
- INDUMIL	1,200.0	1,045.0				1,344.0
- Acumuladores Técnicos	1,300.0	1,366.0				
TOTAL	25,600.0	12,883.0	14,636.0	15,685.0	2,684.0	19,611.0

FUENTE : CENTROMIN

* A partir del mes de julio información no disponible.

equivalentes a 20 TMF de antimonio. En 1990, hasta el mes de agosto el 100% de las exportaciones fuerón a Bélgica en un volumen de 11 TM.

En el cuadro N^o IV-3, se presenta las exportaciones de mineral de antimonio por país de destino.

Las cantidades están expresadas en toneladas métricas de mineral. Para obtener el contenido de fino de antimonio se debe considerar un contenido promedio de 60% de antimonio.

4.2.2.2 ANTIMONIO CRUDO (Metálico 95% Sb)

En el año 1990, se exportarón 67 TM de antimonio crudo. El 45% de las exportaciones fuerón a Bélgica. Hasta mayo de 1991 se exportarón 20 TMF de antimonio crudo, en su totalidad a EE.UU.

En el cuadro N^o IV-4 se presentan las exportaciones del antimonio crudo por país de destino. Las cantidades están expresadas en toneladas métricas de antimonio crudo. Para obtener el contenido de fino de antimonio se debe considerar un contenido promedio de 95% de antimonio.

4.2.2.3 PLOMO ANTIMONIAL

El contenido promedio de antimonio en el plomo antimonial es de 3.5% de Sb, excepto en las exportaciones de plomo antimonial efectuadas por la Cerro de Pasco y Centromín durante los años 1969-1974 que tuvieron un contenido de 45% de antimonio.

A principios de la década del 80, más del 50% de las exportaciones de plomo antimonial se destinarón a América del Sur especialmente a Colombia. Se puede decir que de las ventas locales de antimonio crudo a empresas como OXIDEPSA,

CUADRO Nº IV-3

EXPORTACIONES PERUANAS DE MINERAL DE ANTIMONIO POR PAISES DE DESTINO

	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990*
<u>Norteamérica</u>											
EE.UU.	20			47	125		75	96			
<u>Europa Occidental</u>											
Bélgica	273	239	404	70	228	120	104	26	32	11	11
España			17	54	23	209	118				
Francia		109		142	229						
Alemania Federal	85	321		62						22	
TOTAL	378	669	421	375	605	329	297	122	32	33	11

FUENTE : MINPECO S.A.

Elaborado por la División de Mod. Mat. y Estadística

* Hasta el mes de Agosto.

CUADRO Nº IV-4

EXPORTACIONES PERUANAS DE MINERAL DE ANTIMONIO CRUDO POR PAISES DE DESTINO

	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
<u>Norteamérica</u>											
EE.UU.		50	81	423	92	213	30	33	22		27
<u>América del Sur</u>											
Brasil			29				10		4	5	
Uruguay		5									
<u>Europa Occidental</u>											
Bélgica			50	73	36				12	10	30
Holanda		274	10							8	
Inglaterra		28	18	10	15	60		10		12	10
TOTAL		357	188	506	143	273	40	43	38	30	67

FUENTE : MINPECO S.A.

División de Estudios de Mercado.

COPLOSA, ITALMUNDO, BERA, etc., el 40% de éste antimonio es transformado a plomo antimonial y exportado.

En 1990 Centromín vendió localmente 300 TMF de antimonio crudo las cuales fueron transformadas a plomo antimonial en el orden de 3429 TM (3.5% Sb)

El cuadro Nº IV-5 presenta las ventas locales de 1990 hechas por Centromín.

4.2.3 IMPORTACIONES

El Perú es básicamente un país exportador de antimonio, (en forma de minerales y concentrados, antimonio crudo y plomo antimonial) sin embargo, importa pequeñas cantidades de antimonio metálico, "régulus", fundamentalmente para la manufactura de metal antifricción. El antimonio metálico crudo (metálico 95% Sb) producido por Centromín no tiene la pureza requerida para la fabricación de estos productos.

Las importaciones de antimonio metálico, "régulus", provienen principalmente de Bolivia y tuvieron un volumen aproximado de 20 TM en 1987.

El cuadro Nº IV-6 presenta las importaciones de los dos mayores consumidores de antimonio metálico, "régulus" SIMA y Fundición de Metales Bera del Perú.

4.2.4 CONSUMO APARENTE PERUANO

No existe consumo nacional de minerales de antimonio, en el presente toda la producción de minerales de antimonio es exportada.

De otro lado, existe consumo de antimonio metálico nacional e importado.

El antimonio metálico nacional (95% Sb) producido por

CUADRO Nº IV-5

INVENTARIO DE ANTIMONIO CRUDO-CENTROMIN (Kg.-Cont. de fino) AÑO 1990

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGS	SET	OCT	NOV	DIC
VENTAS LOCALES:												
OXIDEPSA	11,140	8,461	8,224	--	12,281	--	8,200	10,785	--	8,336	--	8,452
Pronto Import	992	--	--	--	--	--	--	--	--	790	--	--
Acumulad. Fulgor	1,012	--	--	992	1,034	1,016	1,020	--	1,100	1,012	1,066	1,060
Coplosa	973	--	--	1,012	1,031	1,033	980	--	994	1,010	1,050	1,033
Baterias Record	2,006	--	--	3,356	4,602	3,012	3,453	--	4,010	3,300	2,123	4,220
Baterias Capsa	3,272	2,021	2,050	--	2,958	3,338	2,850	--	2,966	1,990	3,100	2,830
Acumulad. Etna	4,000	--	4,362	4,024	8,806	6,106	4,036	--	3,989	3,036	4,008	6,230
Italmundo Ind.	979	--	--	--	--	--	--	--	--	--	836	946
Bera del Perú S.A.	2,311	--	--	--	8,017	2,326	--	--	2,100	--	2,600	--
Acumulad. Técnicos	--	1,366	--	--	--	--	1,033	--	--	--	1,320	--
Indumil	--	1,045	--	--	--	--	828	1,371	--	--	1,033	--
SCHYDLOWSKY	--	--	--	980	1,017	--	--	--	--	--	972	489
Deriv. Ind. de Pb.	--	--	--	--	--	1,016	--	--	--	--	998	--
COIPSA	--	--	--	--	973	--	--	--	491	531	--	--
TOTAL	26,685	12,883	14,636	10,364	40,419	17,847	22,400	12,156	15,650	20,005	19,106	25,260

CUADRO Nº IV-6

IMPORTACIONES PERUANAS DE ANTIMONIO METALICO

(T.M.F.)

AÑOS	CANTIDAD
1987	20
1988	17
1989	12
1990	11
1991	04 *

FUENTE : SIMA Y Bera del Perú.

(*) : Dato proporcionado hasta el mes de junio.

Centromín es usado fundamentalmente en la fabricación de plomo antimonial y el antimonio metálico importado "régulus" se usa principalmente en la fabricación de metales antifricción.

El consumo aparente peruano de antimonio metálico es significativo a partir de 1985.

El consumo aparente de 1985, fué de 194 TM.

En 1990 el consumo aparente fué de 254 TMF, que representó el 83% de la producción nacional producida por Centromín, vale mencionar que, el mayor consumo se produjo en 1987 con 297 TMF.

El cuadro NQIV-7, presenta la serie histórica del consumo aparente de antimonio metálico en el Perú.

4.3 MERCADO MUNDIAL

4.3.1 PRODUCCION MUNDIAL

Desde 1900, el crecimiento de la producción de antimonio se ha debido, primero al uso de antimonio en municiones en la Primera Guerra Mundial y posteriormente al uso del plomo antimonial en baterías para vehículos.

Durante la Segunda Guerra Mundial y la Guerra de Corea, la demanda de antimonio en municiones fué alta y la producción minera mundial alcanzó las 50,000 TM/año.

En 1978, la producción minera mundial alcanzó alrededor de 64,075 TM. Una década despues (1988) alcanzó alrededor de 64,094 TM. En 1989 la producción minera mundial fué de 63,616 TM. En 1990 fué aproximadamente el mismo volumen anterior.

En los últimos años, el principal incremento de la demanda

CUADRO Nº IV-7

CONSUMO APARENTE PERUANO DE ANTIMONIO CRUDO

T.M.F.

Año	Prod. Nacional	Exportación	Importación	Consumo Apar.
1980	393	271	38	160
1981	433	339	79	173
1982	394	179	--	146
1983	323	481	--	232
1984	372	136	--	182
1985	377	259	76	194
1986	356	36	--	286
1987	318	41	20	297
1988	246	36	17	227
1989	304	29	12	287
1990	307	64	11	254

ha sido en trióxido de antimonio, el cual es usado como pigmento, opacificador y principalmente como anti-inflamable.

4.3.1.1 MINERALES Y CONCENTRADOS

Tres países dominan la producción minera mundial de antimonio: Bolivia, República de Sudáfrica y China Popular. En 1989, la producción de estos tres países representó el 69% de la producción minera mundial.

La producción de Bolivia alcanzó un máximo de 10,592 TM en 1987; la de República de Sudáfrica fué máxima en 1985 con 7,390 TM y de China Popular fué de 33,368 TM en 1990.

Aunque estos países dominan el suministro mundial de antimonio; Australia, Guatemala, México, Yugoslavia y Turquía, excedieron las 1,000 toneladas de producción en 1990. El 23% de la producción de 1990 correspondió a América, el 62% a países de economía dirigida, el 8% a Africa, el 3% a Europa, el 3% a Asia y el 2% a Australia. Ver cuadro N^o IV-8, presenta la producción minera mundial desagregada por países.

Como se puede apreciar en el gráfico N^o I, la producción minera mundial tiene un fuerte incremento a partir del año 1985, fecha en la cual China empieza a explotar en grandes volúmenes sus recursos mineros, repercutiendo ésto en el precio internacional que desciende de 27.30 US\$/U.TM a 20.24 US\$/U.TM(*).

(* U.TM = Unidad de Tonelada Metrica (para determinar el precio por TM se multiplica el valor U.TM por el contenido porcentual de Sb en el mineral).

ANTIMONY

World Mine Production

METRIC TONS

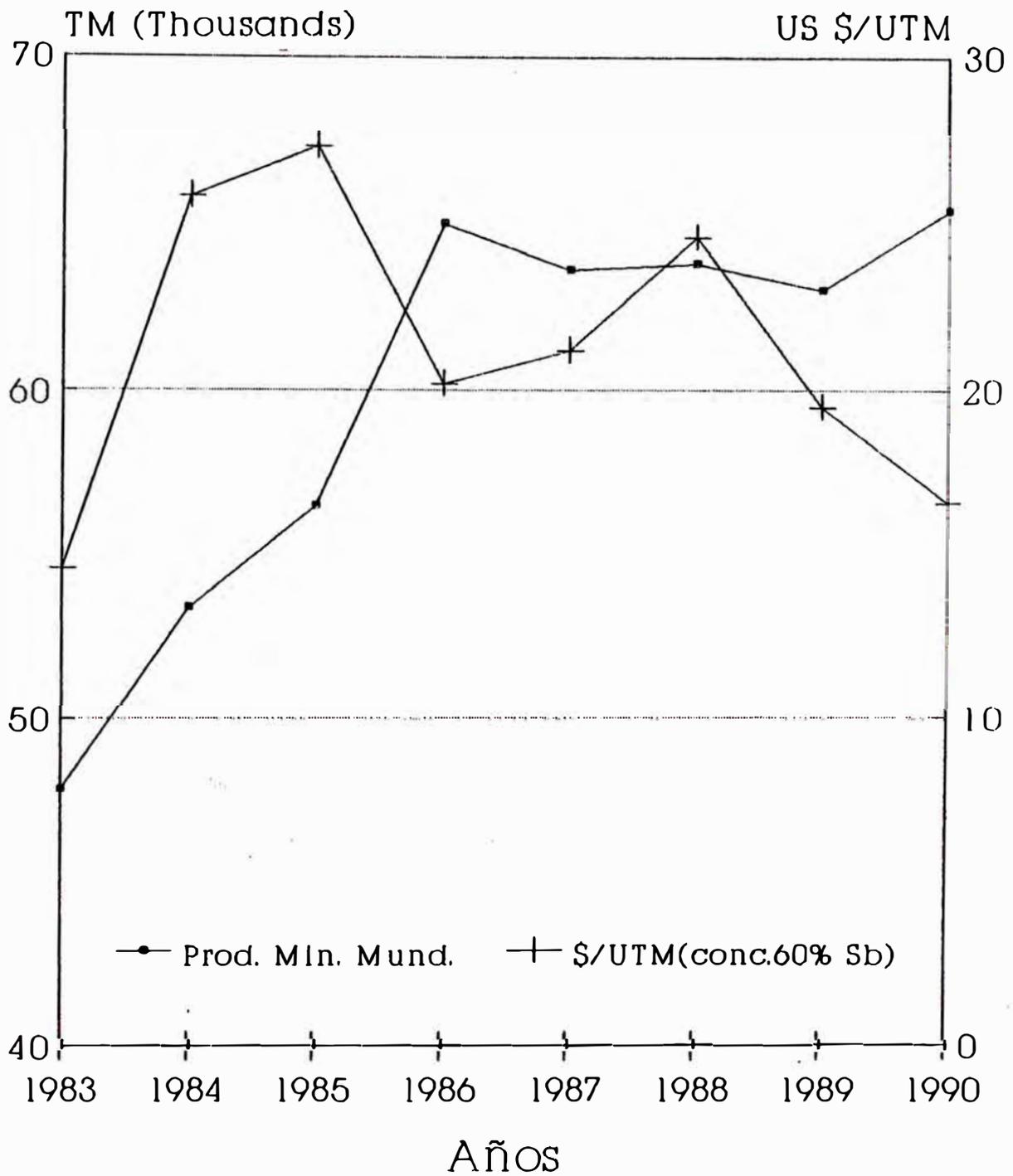
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1990	1990	1990	1990
						Jan-Dec	Jan-Mar	Apr-June	July-Sep	Oct-Dec
EUROPE										
Austria	477	514	355	271	360	515	149	120	125	121
France	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Greece	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Italy	495	278	91	119	-	795	-	265	265	265
Spain	250	45	-	-	-	-	-	-	-	-
Yugoslavia	1 088	859	834	725	798	375	126	176	73	-
Total..	2 310	1 696	1 280	1 115	1 158	1 685	275	661	463	386
AFRICA										
Algeria	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Morocco	787	928	467	228	140	140	35	35	35	35
South Africa	7 390	7 024	6 873	8 264	6 201	4 815	1 203	1 204	1 204	1 204
Zimbabwe	120	122	153	165	136	133	34	34	34	34
Total..	8 297	8 074	7 293	6 657	6 477	6 088	1 272	1 273	1 273	1 273
ASIA										
Burma	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Malaysia	27	-	22	-	-	-	-	-	-	-
Pakistan	5	-	11	-	33	64	16	16	16	16
South Korea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Thailand	1 808	1 486	598	649	625	624	156	156	156	156
Turkey	1 478	1 990	1 673	1 665	1 031	1 032	258	258	258	258
Total..	3 318	3 476	2 302	2 314	1 689	1 720	430	430	430	430
AMERICA										
Canada	1 075	3 805	3 531	3 387	2 818	653	163	163	163	163
U.S.A.	500	200	-	150	2 500	2 500	625	625	625	625
Argentina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bolivia	8 925	10 243	10 592	9 943	8 539	8 158	1 693	2 418	2 000	2 000
Brazil	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Guatemala	90	1 649	1 405	1 335	1 191	1 192	298	298	298	298
Honduras	320	-	-	11	-	-	-	-	-	-
Mexico	4 266	3 337	2 839	2 185	1 906	2 428	287	601	800	750
Peru	452	607	590	420	304	304	76	76	76	76
Total..	15 628	19 841	18 957	17 431	17 258	16 235	3 142	4 181	3 962	3 912
OCEANIA										
Australia	1 458	1 064	1 231	1 377	1 419	1 420	355	355	355	355
TOTAL	31 011	34 151	31 083	28 894	27 001	25 148	5 474	6 800	6 483	8 356
<i>Quarterly Average..</i>	<i>7 753</i>	<i>8 538</i>	<i>7 777</i>	<i>7 224</i>	<i>6 750</i>	<i>6 287</i>				
OTHER COUNTRIES										
Czechoslovakia	900	1 000	600	500	315	270				
U.S.S.R.	6 500	6 000	6 000	6 000	5 800	5 860				
China	17 000	23 000	25 000	28 000	29 900	33 368'	7 038'	10 741'	8 480'	7 108'
Other	700	700	700	700	600	600				
Total..	25 100	30 700	32 300	35 200	36 615	65 954'				
WORLD TOTAL	56 111	64 851	63 383	64 094	63 616	40 390				

This table shows the recoverable antimony content of ores and concentrates produced. Some of the data for the latest quarters are provisional.

Notes 1. Exports only.

FIG. IV - 8

GRAFICO N° 1



A partir del año 1986 la producción minera se mantiene más o menos uniforme hasta 1990. En lo que se refiere al precio se notó una mejoría a partir del año 1986 hasta 1988, a partir de la cual hasta la fecha ha sufrido un descenso desde 24.65 US\$/U.TM a 16.67 US\$/U.TM debido a que el antimonio al igual que otros metales vienen siendo desplazados por otros elementos (no metálicos, plásticos, etc.) a medida que transcurre el tiempo; por ejemplo, en USA el consumo de antimonio para la producción de placas para baterías ha decrecido enormemente de 40% a 15% aproximadamente.

Para el año 1991 se espera una producción minera similar a la de 1990 que fué del orden de 65,454 TM y en lo que se refiere al precio, una recuperación de éste.

4.3.1.2 ANTIMONIO METALICO "Regulus"

En 1988, los principales productores de antimonio metálico fueron: China, Francia, Rusia, Bolivia, Bélgica, Luxemburgo, Reino Unido, Japón y EE.UU.. La producción de estos nueve países representó el 82% de la producción mundial alcanzó las 28,772 TM. El 42% de la producción correspondió a Europa, el 13% a América, el 4% a Asia y el 41% restante a países de economía dirigida.

El cuadro N° IV-9, presenta la producción mundial de antimonio metálico desagregada por países.

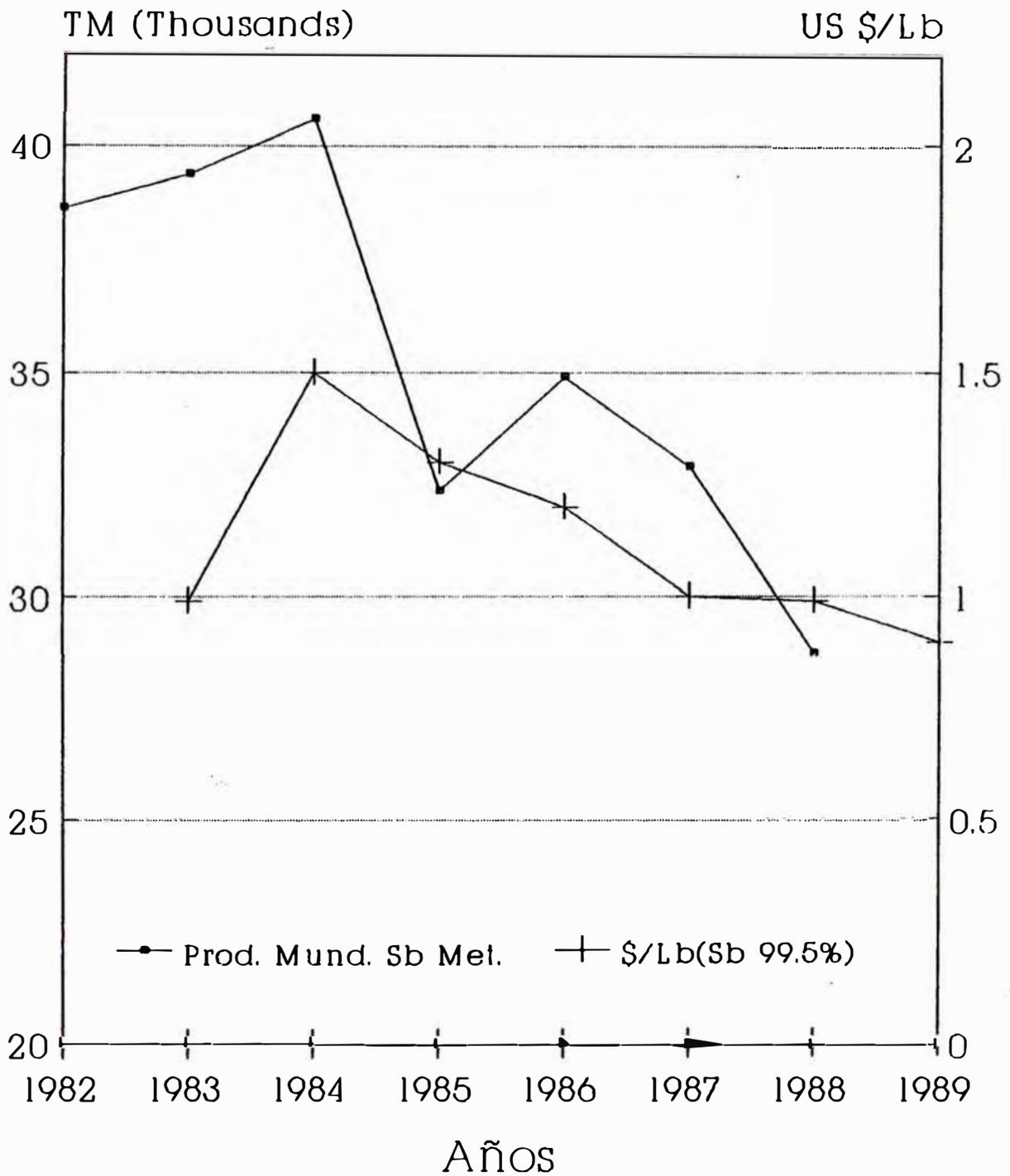
Como se puede observar en el gráfico N°2, la producción mundial de antimonio metálico alcanzó su máximo en 1984 con 40,580 TM. En 1985 la producción disminuyó bruscamente a 32,358 TM debido a la caída del precio del antimonio

CUADRO No IV-9
 PRODUCCION MUNDIAL Sb METALICO

En Toneladas Métricas	1,981	1,982	1,983	1,984	1,985	1,986	1,987	1,988
C.E.E.	6,734	7,410	8,060	9,418	8,087	10,775	9,610	9,213
Europa :								
Bélgica-Luxemburgo	2,500	2,500	2,500	2,800	2,400	2,350	2,000	1,800
Francia	1,526	2,090	2,355	3,117	2,727	4,697	4,562	5,265
Italia	1,008	1,120	1,405	1,501	1,760	2,028	1,548	808
Reino Unido	1,760	1,700	1,800	2,000	1,200	1,700	1,500	1,400
Austria								
España	111	140	560	600	526	650	650	740
Grecia								
Turquia	10	26	63	208	242	91	61	193
Yugoslavia	1,381	1,744	1,999	2,346	2,159	2,332	1,024	1,791
Otros								
Total Europa	8,236	9,320	10,682	12,575	11,014	13,848	11,345	11,937
América :								
Polivia					103	246	2,362	1,953
Canada	100	190	70					
EE.UU.	3,462	3,481	2,594	2,712	2,952	2,814	1,703	1,005
México	300	266	300	300	407	593	934	490
Perú					285	354	496	435
Otros				17				
Total América	3,862	3,847	2,964	3,029	3,747	4,007	5,495	3,883
Asia :								
India	605	984	517	393	238	404	186	
Japón	4,789	3,567	3,211	2,407	2,523	2,207	1,302	1,017
Tailandia	86	19	199	376	336	470	159	35
Total Asia	5,480	4,570	3,927	3,176	3,097	3,081	1,647	1,052
Países Economía Dirigida :								
Checoslovaquia	1,800	1,800	1,800	1,800	1,000	500	400	400
Rusia	7,000	7,000	7,000	7,000	4,500	4,500	5,000	3,500
China	12,000	12,000	13,000	13,000	9,000	9,000	9,000	8,000
Total Países Econ. Dirigida	20,800	20,800	21,800	21,800	14,500	14,000	14,400	11,900
TOTAL GENERAL	38,378	38,537	39,373	40,580	32,358	34,936	32,887	28,772

Anuarios Minimet

GRAFICO N° 2



metálico US \$ 1.49/lb en 1984 a US \$ 1.28/lb en 1985. En 1986 la producción aumenta nuevamente a cerca de 35,000 TM pese al descenso en el precio (promedio en dicho año US \$ 1.17/lb).

Finalmente de 1986 a 1988, la producción disminuyó hasta llegar a 28,772 TM y el precio hasta un promedio de US \$ 0.99/lb.

En 1989 se observa la misma tendencia de caída en el precio que promedió US \$ 0.87/lb.

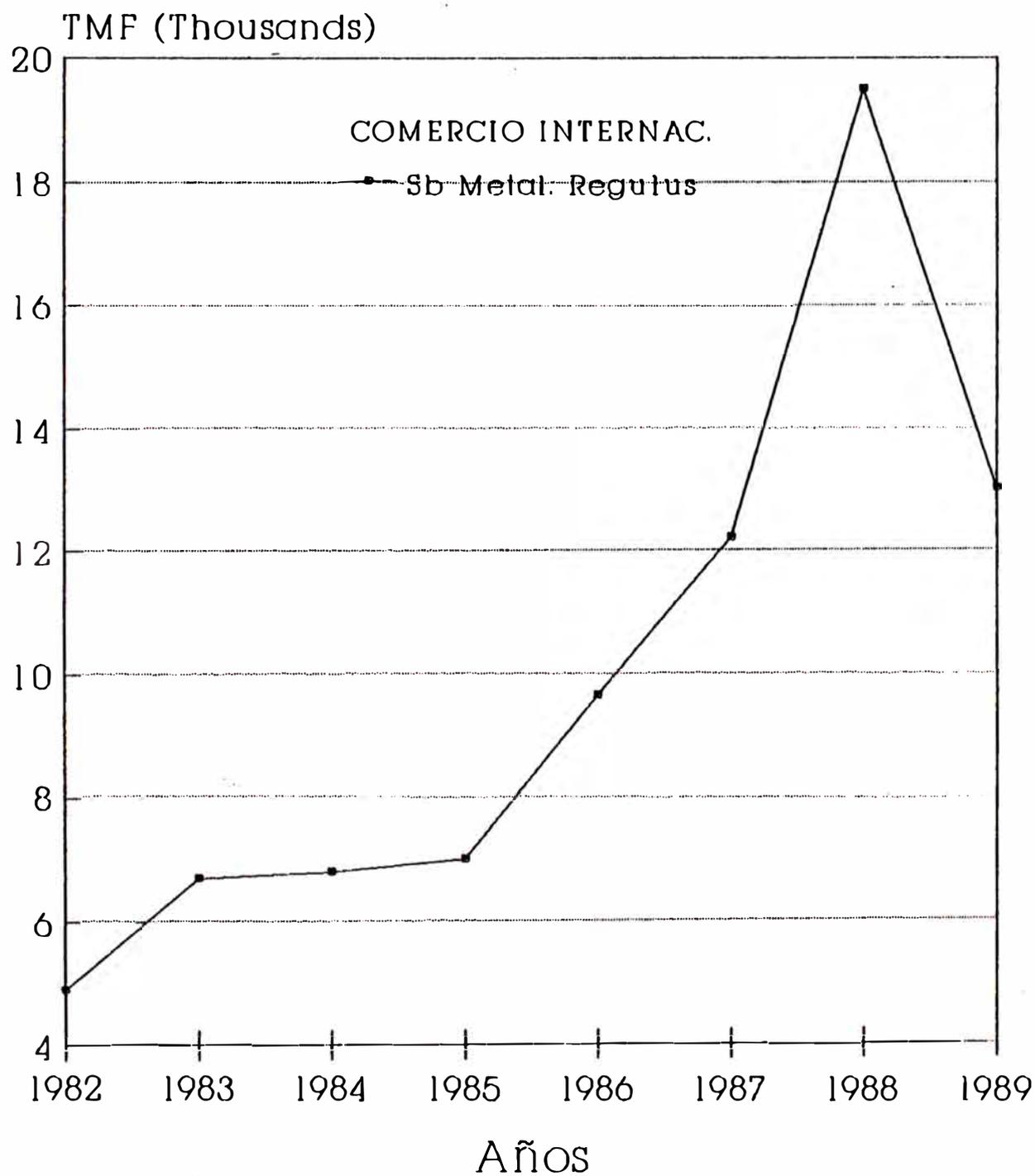
Entre 1981 y 1988, la producción metalúrgica de antimonio metálico presenta una tasa anual de crecimiento de 4%.

4.3.2 COMERCIO INTERNACIONAL DE ANTIMONIO METALICO

"Regulus"

Los principales mercados de minerales y concentrados de antimonio son EE.UU., Europa Occidental y Japón. El comercio internacional de antimonio metálico no es particularmente grande en volumen; la mayor parte del antimonio metálico producido es consumido en el país de origen. El volumen de comercio internacional de antimonio metálico fué alrededor de 13,035 TM en 1989, lo cual representó el 32% de la producción mundial de antimonio metálico. En el gráfico Nº 3 se presenta la serie histórica del volumen de comercio internacional, basada en las exportaciones mundiales. Se ha considerado la curva de exportaciones como la más representativa del comercio internacional, porque abarca mayor porción del universo y es más uniforme que la curva de importaciones mundiales. El comercio internacional de antimonio metálico al igual de

GRAFICO No. 3



la producción minera y metalúrgica mundial, presenta un pico en el año 1988 debido a la gran producción que realizó China Popular.

El comercio internacional de antimonio metálico creció de 4,932 TMF en 1982 a 6,956 TMF en 1985, luego en forma pronunciada hasta 19,485 TMF en 1989 y finalmente ha decrecido rápidamente hasta 13,035 TMF en 1989 debido a la caída en el precio. Este rápido crecimiento del comercio internacional en el período 1985-1988, tiene una tasa promedio anual de crecimiento de 11% y se produce en momentos en que la producción mundial en el mismo período ha disminuido ligeramente con una tasa promedio anual de 3.8%. La tasa anual promedio de crecimiento del comercio internacional desde 1981 a 1988 es de 4.4%.

4.3.2.1 PRINCIPALES PAISES EXPORTADORES DE ANTIMONIO METALICO "Regulus"

En 1988 los principales países exportadores de antimonio metálico fueron: China Popular con 14,245 TMF, Bélgica-Luxemburgo con 2,360 TMF, México con 1,039 TMF, Bolivia con 980 TMF y Reino Unido con 250 TMF.

Las exportaciones de estos cinco países representarán el 89% del volumen mundial del comercio estimado en 1988.

En 1989 los principales países exportadores fueron: China Popular con 9,590 TMF, Bélgica-Luxemburgo con 1,770 TMF, Bolivia con 1,000 TMF, Alemania con 277 TMF y México con 81 TMF.

Las exportaciones de estos países representarán el 97% del volumen mundial del comercio de 1989.

En el cuadro Nº IV-10, se presenta la serie histórica de 1981 a 1989 de las exportaciones de los principales países a nivel mundial. Países como Alemania, Francia y Japón a pesar que registran cifras significativas de exportaciones en algunos años, son fundamentalmente países importadores. Otros países exportadores de antimonio metálico pero en menor escala son: Tailandia, Turquía y Perú. Yugoslavia es otro importante país exportador sin embargo, la mayor parte de sus exportaciones se destinan a Rusia que no ha sido considerado como país importador por no disponerse estadísticas del mismo.

4.3.2.2 PRINCIPALES PAISES IMPORTADORES DE ANTIMONIO METALICO "Regulus"

En 1989 los principales países importadores de antimonio metálico fueron en orden de importancia: EE.UU con 10,469 TM, Francia con 2,718 TM, Alemania con 1,164 TM e Italia con 473 TM.

Las importaciones de estos cuatro países representó aproximadamente el 80% del volumen mundial de comercio en dicho año.

En el cuadro Nº IV-11, se presenta la serie histórica desde 1982 a 1989 de las importaciones de los principales países a nivel mundial.

Países como Bélgica-Luxemburgo, Italia y Yugoslavia a pesar que registran cifras significativas de importaciones en algunos años, son fundamentalmente exportadores. Otros países importadores de antimonio metálico, pero en menor escala son: Suiza, Austria, España, Australia, Brasil,

CUADRO Nº IV-10

EXPORTACIONES MUNDIALES DE ANTIMONIO METALICO

(T.M.F)

Principales Países	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Alemania	nd	9	17	103	73	53	34	138	277
Belg.-Luxemb.	2,300*	2,300*	2,330*	2,650*	2,620*	2,380*	2,320*	2,360*	1,170*
Bolivia	--	--	--	--	--	176*	1,600*	980*	1,000*
China Popular	209	774	2,534	2,596	1,537	4,364	6,373	14,245	9,590
Francia	nd	66	59	44	108	75	36	157	60
Italia	nd	--	23	12	--	1	1	3	--
Reino Unido	150	350	350	585	225	425	325	250	nd
Perú	339	179	481	136	259	38	41	36	29
Japón	1,470	179	6	nd	nd	175	56	61	nd
México	353	349	435	148	415	1,233	898	1,039	81
Dinamarca	54	20	29	59	18	nd	nd	nd	nd
Holanda	92	22	8	59	33	nd	nd	nd	nd
Suecia	31	8	11	5	448	nd	nd	nd	nd
Yugoslavia (1)	1,159	580	408	78	636	221	nd	nd	nd
Turquía (2)	nd	10	26	63	208	242	91	61	193
Tailandia (2)	nd	86	19	199	376	336	470	159	35
TOTAL	6,157	4,932	6,736	6,737	6,956	9,719*	12,245*	19,485*	13,035*

nd : no disponible (1) no incluye Rusia

* : estimado (2) producción

CUADRO Nº IV-11

IMPORTACIONES MUNDIALES DE ANTIMONIO METALICO

(T.M.)

Principales Países	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Alemania	415	351	542	709	961	1,396	1,470	1,164
Francia	1,123	585	566	424	375	2,819	1,044	2,718
Estados Unidos	2,103	1,828	4,096	4,889	7,583	9,012	17,733	10,469
Italia	221	160	148	237	192	146	295	473
TOTAL	3,862	2,924	5,352	6,259	9,111	13,373	20,542	14,824

Anuarios MINIMET

Holanda, etc.

4.4 DEMANDA DE PRINCIPALES PAISES

4.4.1 DEMANDA DE PRINCIPALES PAISES IMPORTADORES

ESTADOS UNIDOS (EE.UU)

En el cuadro N^o IV-12, se puede observar que la producción de antimonio metálico es nula, con excepción de 1986 que tuvo una producción de 343 TM.

Las exportaciones no son significativas por lo que el consumo aparente estaría dado por las importaciones.

Como se puede apreciar, la producción decreció fuertemente a partir de 1986 debido a que la fundición NL Industrias de Laredo, Texas, paralizó permanentemente sus operaciones en noviembre de dicho año. Solo queda una fundición en Kellogg, Idaho.

Una nueva fundición a debido entrar en operación a inicios de 1990 en El Paso, Texas.

Al disminuir la producción desde 1986, las importaciones debieron incrementarse, sin embargo, éstas se incrementaron ligeramente, lo cual se refleja en una disminución del consumo de antimonio primario (1) en 1989. El consumo aparente de antimonio metálico no presenta una tendencia decreciente que se reflejaría en el caso que la producción y las importaciones incluyeran al plomo antimonial, cuyo consumo si ha disminuido fuertemente, debido a la aparición de la batería de mantenimiento libre.

Por lo anteriormente expuesto se deduce que las importaciones van a mantenerse aproximadamente en la misma

(1) Es el procesado industrialmente por primera vez.

Etats-Unis - United States

En tonnes métriques

	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Production minière (métal cont recup)	456	760	505	350	250	250	150*	2 500
Production métallurgique (1)	489	1 017	1 010	855	343		nd	nd
Sb recyclé dans Pb-Sb	11 142	13 206	13 447	13 635	14 081	15 833	16 172	18 249
Importations métal	2 103	1 828	4 096	4 889	7 583	9 012	17 733	10 469
Exportations métal	752	275	484	328	540	795	624	293
Production oxydes	10 491	11 932	14 859	13 969	15 898	18 758	18 226	18 720
Importations oxydes	11 040	9 620	16 224	9 666	12 266	12 377	11 548	11 955
Exportations oxydes	303	399	524	968	634	848	1 478	2 229

	Importations détaillées				Exportations détaillées			
	1986	1987	1988	1989	1986	1987	1988	1989
I. Antimoine brut								
Unwrought antimony								
Europe								
Allemagne (R.F.A.)	18	3	1	20	24	42	9	1
Belgique-Luxembourg				1		41	96	38
Espagne					40	100		
Autres C.E.		40	319	12	45	122	87	57
U R S S	214	171						
Amérique								
Bolivie	176	39	21	93				
Canada		1	2	2	26	181	82	7
Chili	130	96	114	114	6			2
Mexique	1 233	858	1 039	81	26	55	132	10
Pérou	65				5	8		
Divers Amérique-Other America					39	(5)132	(6)121	130
Asie								
Chine	4 364	6 373	14 245	9 590				
Corée du Sud	106	153			9	4	34	
Hong-Kong	1 117	1 074	1 692	286				
Japon				39	118	39	15	44
Taiwan				13	1		2	
Divers Asie - Other Asia	53	60	(4)275		(3)175	9	18	
Divers - Others	107	104	25	(7)218	26	82	50	4
Total	7 583	9 012	17 733	10 469	540	795	624	293
II. Oxydes d'antimoine								
Antimony oxides								
Europe								
Allemagne (R.F.A.)	92	87	170	89	44	47	121	68
Belgique-Luxembourg	429	732	788	779	13	20	12	14
France	799	801	855	605				109
Italie					101	90	148	294
Royaume-Uni	219	143	98	80	9	32	30	39
Yougoslavie		1 442	369					
Divers Europe-Other Europe	86		35	33	21	50	95	109
Afrique								
Afrique du Sud	5 342	3 930	3 930	3 107				
Amérique								
Bolivie	755	495	546	729				
Canada					289	358	487	505
Mexique		417	474	929	38	43	17	837
Divers Amérique-Other America	200	(2)68	84	79	14	43	42	(6)214
Asie								
Chine	3 094	3 088	3 697	5 005			9	
Hong-Kong	1 048	1 001	500	442			59	3
Taiwan	177	170		57	16	21	255	40
Divers Asie - Other Asia		3		20	71	125	165	175
Divers - Others	25		2	1	18	19	38	22
Total	12 266	12 377	11 548	11 955	634	848	1 478	2 229

(1) Production d'antimoine métal y compris l'antimoine contenu dans le plomb antimonieux et dans les autres alliages - Antimony metal production including antimony content of antimonial lead
(2) En provenance du Chili - From Chile - (3) Dont 173 tonnes

métriques vers l'Arabie Saoudite - Of which 173 metric tons to Saudi Arabia - (4) En provenance de l'Indonésie - From Indonesia - (5) Dont 112 tonnes métriques vers le Venezuela - Of which 112 metric tons to Venezuela - (6) Dont 75 tonnes métriques

vers le Venezuela - Of which 75 metric tons to Venezuela - (7) En provenance de Thaïlande - From Thailand - (8) Dont 111 tonnes métriques vers la République Dominicaine - Of which 111 metric tons to the Dominican Republic

FIG. IV-12

proporción que la de los últimos cinco años, para luego seguir creciendo, al ritmo del consumo del antimonio primario que según el Bureau of Mines debería crecer en los años 1980-2000 con un índice anual promedio de 2.2%.

FRANCIA

No existe producción minera de antimonio en Francia desde 1970, sin embargo, es uno de los mayores productores de antimonio metálico en Europa e importa sustanciales cantidades de minerales y concentrados.

En 1989, importó 8,184 TM de minerales y concentrados principalmente de Bolivia (32%), Tailandia (23%), Sudafrica (18%), Marruecos (17%) y Australia (15%).

La producción total de antimonio metálico se ha mantenido casi uniforme desde 1982, como puede apreciarse en el cuadro IV-13.

Las importaciones de antimonio metálico han aumentado a partir de 1986 de 375 TM a 2,718 TM en 1989.

Las exportaciones de antimonio metálico son pequeñas y tuvieron su mayor valor en 1988 con 157 TM.

ALEMANIA

Una pequeña cantidad de antimonio primario de alta pureza es producido por Preussag A.G. Metal en su planta de Oker, pero la mayoría del antimonio metálico usado en Alemania es importado.

En 1982 se importaron 415 TM de antimonio metálico sin manufacturar, mientras en 1989 las importaciones aumentaron a 1,164 TM.

Las exportaciones también se han incrementado, de 9 TM en

France - France

En tonnes métriques	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Production métallurgique (1) ..	52	62	63	70	108	49	68	40
Production totale de mét.(2) ..	5 887	6 425	6 973	7 346	6 823	7 028	6 093	6 910
Importations								
Métal	1 123	585	566	426	375	2 819	1 044	2 718
Oxydes (poids brut)	356	438	505	662	640	735	989	772
Exportations								
Métal	66	59	44	108	75	36	157	60
Oxydes (poids brut)	4 914	5 234	5 931	5 360	4 630	6 018	5 507	5 506

I. Antimoine brut (y compris déchets et débris)

Unwrought antimony (incl. waste and scrap)

	Importations détaillées				Exportations détaillées			
	1986	1987	1988	1989	1986	1987	1988	1989
Europe								
Allemagne (R.F.A.)			22	1	40			
Belgique-Luxembourg	40			1	10	29	77	34
Espagne	31			1	7	3	10	5
Italie			1		11			
Pays-Bas	5							
Suède							44	
Turquie	40		60	129				
U. R. S. S.	69	912		507		2		
Afrique					7		1	
Amérique								
Bolivie		101						
Mexique	23							
Asie								
Chine	126	1 579	553	1 642				
Thaïlande	41	227	407	322				
Divers - Others			1	(8) 115		2	(5) 25	20
Total	375	2 819	1 044	2 718	75	36	157	60
II. Oxydes d'antimoine								
Antimony oxides								
Europe								
Allemagne (R.F.A.)	40	40	25	42	1 098	1 493	1 319	1 284
Belgique-Luxembourg	308	293	341	374	458	516	414	313
Espagne					91	111	118	160
Italie				10	167	333	542	713
Pays-Bas		10	21	67	408	673	666	452
Portugal					28	32	40	40
Royaume-Uni	58	29	100	81	654	882	519	582
Allemagne (R.D.A.)					54	47	55	69
Hongrie					10	21	40	54
Suède					20	86	49	105
Suisse					59	64	48	10
U. R. S. S.	48	25	34	43				
Amérique								
Canada					20	100	283	484
Etats-Unis	12	4	6	6	769	771	752	533
Asie								
Chine	135	259	393	142		18		
Japon					225	291	272	336
Taiwan					418	496	216	270
Divers - Others	39	(4) 75	(6) 69	7	(3) 151	84	(7) 125	(9) 101
Total	640	735	989	772	4 630	6 018	5 458	5 506

(1) Production de régule marchand - Production of commercial regulus. (2) Y compris le métal destiné à la production d'oxydes. - Including metal for oxide production. (3) Dont 72 tonnes métriques vers le Brésil - Of which 72 metric tons to Brazil. (4) Dont 67 tonnes métriques en provenance d'Afrique du Sud - Of

which 67 metric tons from South Africa. (5) Dont 20 tonnes métriques vers le Japon - Of which 20 metric tons to Japan. (6) Dont 68 tonnes métriques en provenance d'Afrique du Sud - Of which 68 metric tons from South Africa. (7) Dont 34 tonnes métriques vers Singapour - Of which 34 metric tons to Singapore.

(8) Dont 65 tonnes métriques en provenance d'Allemagne (R.D.A.) et 50 en provenance de Taïwan - Of which 65 metric tons from Germany (D.R.) and 50 from Taiwan. (9) Dont 39 tonnes métriques vers Israël - Of which 39 metric tons to Israel.

FIG. IV-13

1982 a 277 TM en 1989.

En los últimos diez años las importaciones han fluctuado entre un máximo de 1,470 TM en 1988 y un mínimo de 351 TM en 1983. Ver cuadro NQ IV-14.

4.4.2 DEMANDA DE PRINCIPALES PAISES EXPORTADORES

CHINA POPULAR

De acuerdo a los estimados que figuran en los anuarios franceses MINIMET, la producción de antimonio metálico de China Popular alcanzó un valor máximo de 19,300 TM en 1988 y en 1989 disminuyó a 14,550 TM. La producción de China Popular es notoria a partir de 1986. Es posible que la producción China de antimonio metálico sea inferior a la estimada. Aunque no se dispone de estadísticas completas de las exportaciones Chinas, se puede afirmar que estas raramente han excedido las 10,000 TM de antimonio metálico. Dado que es improbable que el consumo chino exceda las 6,000 TM/año, puede ser que la producción no sea tan grande como ha sido estimada ó que China posea grandes stocks (inventarios) de antimonio.

Los principales mercados para el antimonio metálico chino son: EE.UU., Japón, Alemania y Francia. En 1989, EE.UU. importó 9,590 TM de China; Francia importó 1,642 TM y Alemania 758 TM. En 1990 EE.UU. importó 11,862 TM de China.

BELGICA-LUXEMBURGO

Bélgica es uno de los mayores importadores de minerales y concentrados de antimonio para la manufactura de antimonio metálico y óxidos. No existe producción minera de antimonio en Bélgica.

Allemagne République Fédérale

Germany Federal Republic

En tonnes métriques

	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Importations								
Métal	415	351	542	709	961	1 396	1 470	1 164
Oxydes	3 899	5 167	5 536	4 846	4 581	4 792	4 922	5 411
Exportations								
Métal	9	17	103	73	53	34	138	277
Oxydes	422	571	755	597	747	803	822	689

I. Antimoine brut (y compris

débris et déchets)

Unwrought antimony

(incl. waste and scrap)

Europe

	Importations détaillées				Exportations détaillées			
	1986	1987	1988	1989	1986	1987	1988	1989
Belgique-Luxembourg	73	23	25	18			15	11
Italie						23	112	212
Pays-Bas	15		50					
Turquie	300	340	100	255				
U R S S	157	78	184	69				
Asie								
Chine	341	799	991	758				
Hong Kong		114	99	40				
Divers - <i>Others</i>	75	1144	41	24	53	34	11	54
Total antimoine brut								
Total unwrought Sb	961	1 396	1 470	1 164	53	57	138	277

II. Oxydes d'antimoine

Antimony oxide

Europe

Belgique-Luxembourg	1 315	909	1 009	1 068	88	78		40
Espagne					33	34	35	7
France	1 134	1 589	1 551	1 203	48	25	27	48
Italie	105	55			35	72	136	50
Pays-Bas	276	20	22		55	72	49	50
Portugal						4		
Royaume-Uni	797	1 010	981	930	17	43	80	51
Autriche					16	22	14	13
Bulgarie					13	11		
Suisse					134	129	139	136
Tchécoslovaquie								15
Turquie					5	7		
U R S S			41	35				
Yougoslavie					31	27	29	32
Afrique								
Afrique du Sud					44	35	25	5
Amérique								
Bolivie		58	62	80				
Brésil		19	20	17	13	20	18	39
Colombie					11	12	25	8
Etats-Unis	44	45	64	31	90	99	104	90
Mexique					15	22	22	
Asie								
Chine	882	1 087	1 156	1 684		8		
Corée du Sud					25	39	38	
Hong-Kong	18			39				
Inde					11	19	16	14
Pakistan					24	11	19	21
Taiwan				100	9			
Divers - <i>Others</i>	10		18	124	30	18	68	170
Total oxydes d'antimoine								
Total antimony oxide	4 581	4 792	4 922	5 411	747	803	822	689

(1) Dont 30 tonnes métriques en provenance de la Bolivie.
- Of which 30 metric tons from Bolivia. (2) Dont 18 tonnes métriques en provenance du Japon. - Of which 18 metric

tons from Japan. (3) Dont 12 tonnes métriques vers l'Argentine. - Of which 12 metric tons to Argentina.

FIG. IV - 14

La producción de antimonio metálico se mantuvo en 2,500 TM/año en el período 1980-1990, su pico más alto fué en 1984 con 2,850 TMF y el más bajo en 1989 con 1,970 TMF.

El consumo interno de antimonio es aproximadamente de 200 TMF por lo que la producción se destina fundamentalmente a la exportación.

Las fundiciones de antimonio primario en Bélgica son: Metallurgie Hoboken-Overpelt S.A. y Cía. Metallurgie de la Campine.

BOLIVIA

Bolivia es uno de los más grandes productores de antimonio en el mundo. La producción boliviana de minerales y concentrados está entre 8,900 TM y 11,000 TM anuales.

La primera fundición de antimonio boliviana empezó a operar en setiembre de 1975. La planta fué diseñada por SKODA EXPORT y construida por KLOECKNER INDUSTRIES, para la empresa nacional de fundiciones (ENAF).

La fundición tiene una capacidad de diseño de alrededor de 4,300 TM/año de antimonio metálico, grado régulus, 1,000 TM/año de óxidos y 1,000 TM/año de otras aleaciones.

Se estima que la producción de antimonio metálico en 1988 alcanzó las 1,000 TM y en 1989 las 1,350 TM. No existe estadísticas disponibles de exportaciones ni de consumo interno. Sin embargo, el consumo interno de antimonio metálico es muy reducido, inferior a la 150-300 TM que es el consumo interno peruano.

MEXICO

La producción minera de antimonio en México es alrededor de

2,500 TM/año. Casi todo los concentrados de antimonio exportados por México van a EE.UU.

La mayor parte de los concentrados exportados son de baja ley (contienen 25% Sb ó menos).

La Industria Minera México S.A. produce plomo antimonial y antimonio metálico en su refinería de Monterrey. Republic Mining and Metal Company también produce antimonio metálico en San Luis de Potosí. La producción mejicana de antimonio refinado ha sido alrededor de 400 TM hasta 1985, a partir de la cual aumentó significativamente, 1,300 TM en 1986, 1,000 TM en 1987, 1,200 TM en 1988 y en 1989 se produjo un descenso significativo de la producción a niveles de 90 TM, debido a problemas laborales y a la caída en el precio del metal a US \$/Lb. 0.90 . La mayor parte de su producción es exportada de EE.UU. y lo que resta a otros países sudamericanos como Brasil y Colombia.

No se cuenta con información sobre el consumo. Las cifras de producción incluyen la producción de plomo antimonial a partir año 1986.

ITALIA

La producción minera italiana proviene de la mina Manciano en Tuscany. La producción de antimonio metálico y óxidos se realiza a partir de los concentrados italianos y también de los importados.

La producción de antimonio metálico regulus italiano ha disminuido en relación a años anteriores debido a la caída en el precio internacional; como podemos apreciar, en el cuadro N^o IV-15 ,en el año 1982 la producción fué de 1,047

Italie - Italy

En tonnes métriques	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Production minière (métal cont. récup.)	339		244	495	278	91	119	
Production de métal (1)	1 047	750	1 082	1 039	715	843	621	720
Production d'oxydes (2)	1 111	874	1 275	1 125	827	879	731	865
Importations								
Métal	221	160	148	237	192	146	295	473
Oxydes	427	560	764	893	1 163	1 669	2 067	2 116
Exportations								
Métal		23	12		1	1	3	
Oxydes	220	617	650	362	115	79	36	

	Importations détaillées				Exportations détaillées			
	1986	1987	1988	1989	1986	1987	1988	1989
I. Antimoine métal								
<i>Antimony metal</i>								
Europe								
Allemagne (R.F.A.)	5	23	57	88		1		
Belgique-Luxembourg	14	6	5	2				
France	10						1	
Pays-Bas	69	64	167	99				
Royaume-Uni		31	1	5				
Suède								
Turquie	93		60					
Yougoslavie					1			
Asie								
Chine		21	5	175				
Indonésie				75				
Divers - Others	1	1		(3)29				2
Total	192	146	295	473	1	1	3	
II. Oxydes d'antimoine (2)								
<i>Antimony Oxides</i>								
Europe								
Allemagne (R.F.A.)	50	95	134	94	82	78	13	
Belgique-Luxembourg	517	451	478	603	10			
Espagne	13	15	48					
France	169	388	717	663				
Pays-Bas	75	216	130	82	3			
Royaume-Uni	243	355	222	333	10			
Suisse	18	18	15		5			
Yougoslavie							20	
Amérique								
Etats-Unis	15	35	6	3				
Asie								
Chine	18	37	236	243				
Japon	44	59	76	66				
Divers - Others	1		5	(4)29	5	1	3	(5)32
Total	1 163	1 669	2 067	2 116	115	79	36	52

(1) Il n'est plus produit de régule marchand. La production indiquée comprend l'antimoine total produit dont celui destiné à la production d'oxyde. - There is no commercial regulus produced. The above production is the total anti-

mony produced including the metal used to produce oxide. - (2) Poids brut - Gross weight. - (3) Dont 21 tonnes métriques en provenance du Thaïlande et 8 en provenance d'Autriche. - Of which 21 metric tons from Thailand and 8

from Austria. - - (4) Dont 20 tonnes métriques en provenance du Brésil. - Of which 20 metric tons from Brazil. - (5) Dont 27 tonnes métriques vers le Venezuela. - Of which 27 metric tons to Venezuela.

FIG. IV-15

TM, en 1988 fué de 621 TM y en 1989 de 720 TM.

El consumo interno fué de 295 TM en 1988 y de 473 TM en 1989.

La exportación italiana no es significativa y hasta podría decirse que es nula.

4.5 DEMANDA Y PROYECCION DE LA DEMANDA

La demanda mundial de antimonio metálico se refleja muy de cerca en la producción mundial, ya que aparentemente los niveles de inventario no han variado significativamente en los últimos años.

En el cuadro Nº IV-16 se presenta los stocks industriales y los stocks de la G.S.A. (Administración General de Servicios) de antimonio metálico en los Estados Unidos. Los stocks de la G.S.A. se han manifestado en 30,950 en los últimos cinco años.

La producción mundial alcanzó su valor máximo en 1984 con 40,580 TM. En 1985 la producción disminuyó bruscamente a 32,358 TM debido a una caída en el precio del antimonio. De 1986 a 1988 la producción disminuyó hasta llegar a 28,778 TM en 1988. En el período 1986-1989 la producción de antimonio metálico disminuyó en la mayoría de países con excepción de China Popular que aumentó su producción de 4,364 TMF en 1986 a 9,590 TMF en 1989.

El consumo de antimonio en muchos países ha venido disminuyendo, por ejemplo; En EE.UU. ha disminuido fundamentalmente por el progresivo desarrollo de las baterías de mantenimiento libre, en las cuales se desplaza parcialmente el uso de antimonio, pero actualmente se está

CUADRO Nº IV-16

PRINCIPALES STOCKS DE ESTADOS UNIDOS

(T.M.)

STOCKS	1986	1987	1988	1989	1990
(al final del periodo)					
<hr/>					
<u>-Industriales:</u>					
Minerales y Conc.	934	1148			
Antimonio Metal	867	866	2360	1873	3011
Antimonio Oxido	3646	4081	3977	4077	4542
Sulfuro	17	23	24	16	18
Residuos	96	83	274	302	844
	----	----	----	----	----
	5560	6201	6635	6268	8415
<u>-Adm. Gral. de</u>					
<u>Serv. (G.S.A.)</u>					
Inventario Total	30953	30952	30950	30948	30951
Exceso disponible con autorización de venta.					10600

FUENTE : Word Metal Statistics.

utilizando el antimonio en cantidades muy significativas para la producción de trióxidos de antimonio.

No es posible efectuar una proyección precisa de la demanda futura del antimonio, debido a lo fluctuante de su precio y las alternativas de sustituirlo en sus diferentes usos por otros metales. Sin embargo se puede afirmar que se espera en los próximos diez años la demanda fluctúe entre los 30,000 y 40,000 TM/anuales.

CAPITULO V

TECNOLOGIA DEL PROCESO

V.- TECNOLOGIA DEL PROCESO

5.1 METALURGIA DEL ANTIMONIO

La estibina (Sb_2S_3) ó sulfuro de antimonio, es el principal mineral para la extracción del antimonio. Los otros minerales como la cervantina, kermesita, valentinita, sernarmontita, son óxidos y se encuentran escasamente en la naturaleza.

Los métodos por vía seca o pirometalúrgicos, son los mayormente utilizados para la extracción de este metal. Los métodos electrometalúrgicos han tenido gran atención en América y Alemania pero aún no tiene sustento económico para su aplicación práctica, excepto algunos de ellos, que son raros.

Años recientes, el tratamiento de menas de baja ley ó de mala calidad especialmente las menas sulfuradas han tenido una atención predominante mediante métodos de concentración que han sido adoptados en varios casos.

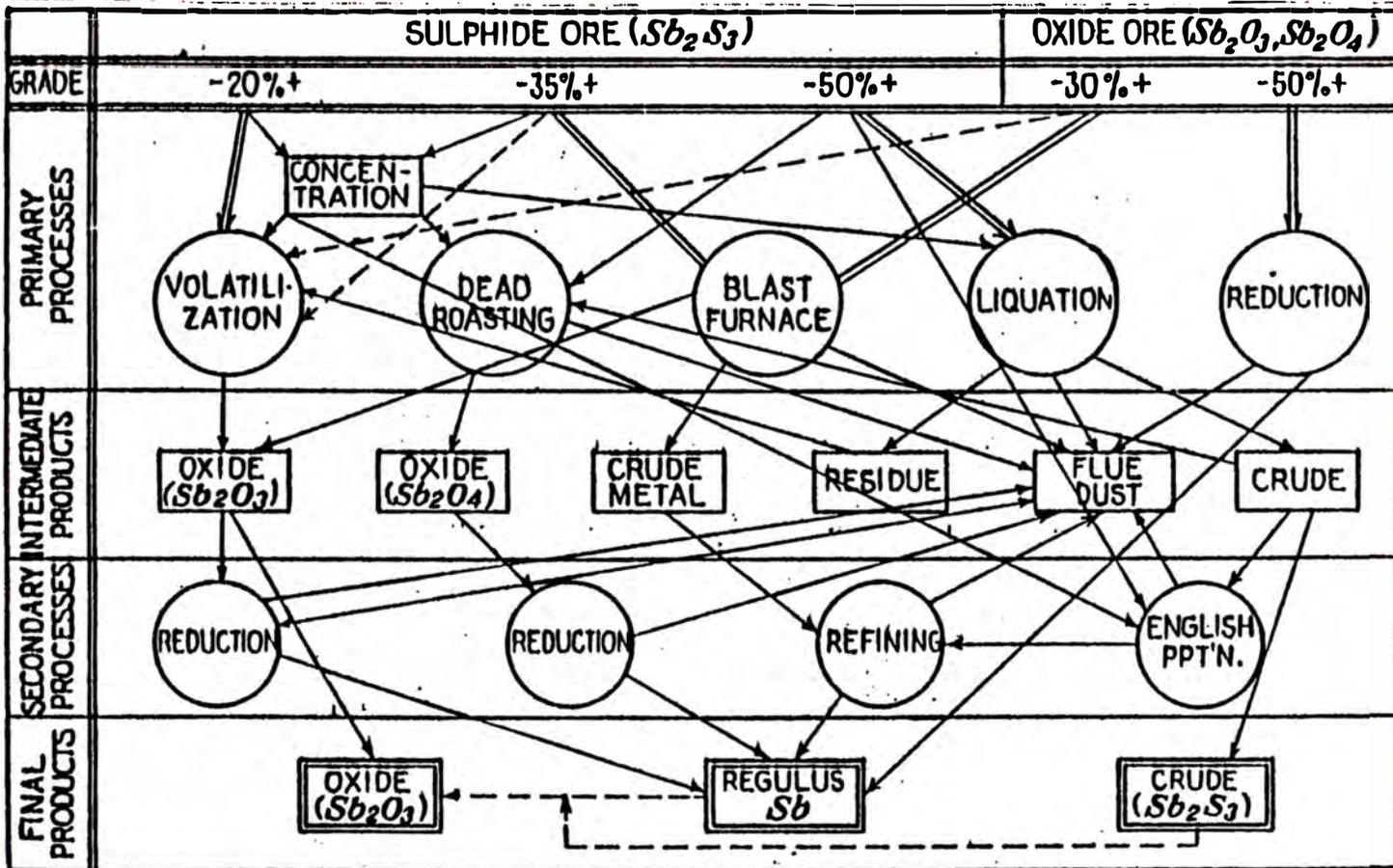
El sulfuro de antimonio resultado del proceso de licuación es llamado "needle" ó "licuado" ; el obtenido por el proceso de precipitación es llamado "antimonio crudo" y el obtenido por refinación es llamado "régulus". El cuadro N^o V-1 nos muestra los diferentes procesos adoptados para el tratamiento de menas de antimonio de diferentes leyes o contenidos.

5.2 PROCESOS PARA EL TRATAMIENTO DE MENAS DE ANTIMONIO

5.2.1 PROCESO DE LICUACION

La primera etapa en la fusión del antimonio es el proceso denominado "licuación" el cual dá lugar a un producto

CUADRO V-1



Proceso de Tratamiento de Materiales
de Antimonio

denominado antimonio licuado. Menas con un contenido superior al 50% Sb son los utilizados en éste proceso de licuación para obtener el antimonio licuado.

La temperatura requerida para éste proceso oscila entre 550 y 600 °C.

El material a ser licuado debe ser triturado a un tamaño adecuado. Si los tamaños son grandes, entonces el calor utilizado no penetraría efectivamente ya que, fundiría solo la parte superficial; y si el tamaño es demasiado pequeño entonces el mineral tiende hacerse una masa compacta y esto traería dificultades para la licuación.

5.2.1.1 LICUACION EN CRISOLES

Este tipo de horno para la fusión de menas de antimonio, ha sido bien desarrollado en China, a pesar de tener una considerable pérdida en antimonio ocasionado durante la fusión; es simple su operación y también su construcción como se muestra en la figura N° 5-1.

El horno generalmente es construido de cuatro pisos de dos pots u ollas cada uno.

El pots de encima, el cual tiene en el fondo agujeros de diámetro más pequeño que el del mineral, es para que el producto licuado gotee a través de él, y el pots de abajo es el receptor del producto licuado.

Cada carga requiere de 2 a 4 horas para la licuación, y la vida de cada pots es generalmente de 15 días. El producto licuado es rápidamente vertido en los moldes, para evitar su enfriamiento.

Para minerales con 60% Sb, La extracción es generalmente de

83%, y para minerales con 45% Sb es más bajo, como de 64%. El residuo en el recipiente contiene de 12% a 30% Sb, el cual más adelante, puede ser extraído mediante el uso del horno de volatilización.

5.2.1.2 LICUACION EN HORNOS DE REVERBERO

El objetivo principal del proceso de licuación es de liberar el sulfuro de antimonio de su ganga asociada. La operación en este tipo de horno presenta un poco de dificultad, ya que, el mantenimiento de una atmósfera reductora para prevenir tanto la formación del trióxido volátil ó el tetróxido estable, no es fácil de obtener.

Mientras que el trióxido puede ser recuperado en parte, mediante una chimenea adecuada ó un aparato de condensación, el tetróxido permanece en el residuo, siendo considerado como pérdida, dado que puede ser "probablemente" recuperado solamente a muy alta temperatura, un poco más alta que el de tratamiento de los residuos, por el proceso de volatilización.

Los residuos del proceso de licuación, generalmente retienen alrededor de 15% a 25% de Sb_2S_3 , y pueden ser tratados en algunos de los hornos de volatilización descritos más adelante.

Las figuras N^o 5-2 al N^o 5-4 nos muestra la construcción de un horno de reverbero para la licuación.

5.2.2 TOSTACION A FONDO PARA LA OBTENCION DEL TETROXIDO ESTABLE (Sb_2O_4)..

La tostación a fondo como proceso, es muy raras veces llevado a cabo, solamente se realiza con minerales que

LICUACION EN CRISOLES

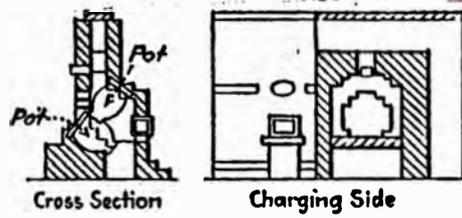


FIG. 5-1 DISPOSITIVO DE UN HORNO USADO EN LA CHINA

LICUACION EN HORNOS DE REVERBERO

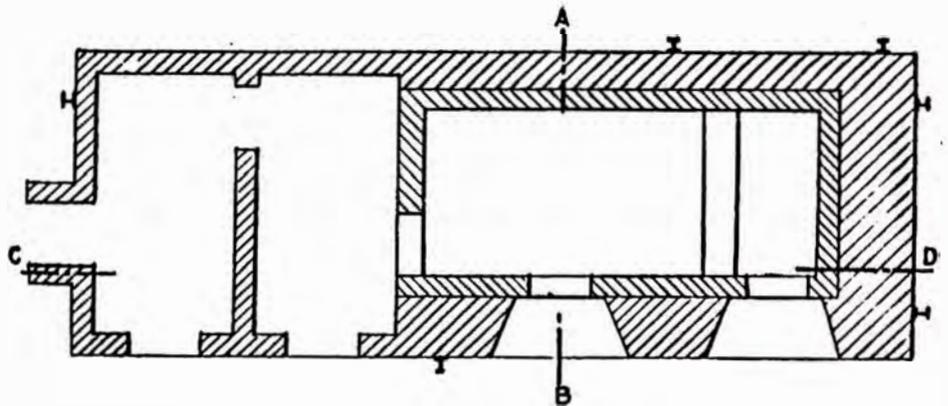


FIG. 5-2 PLANO DE PLANTA

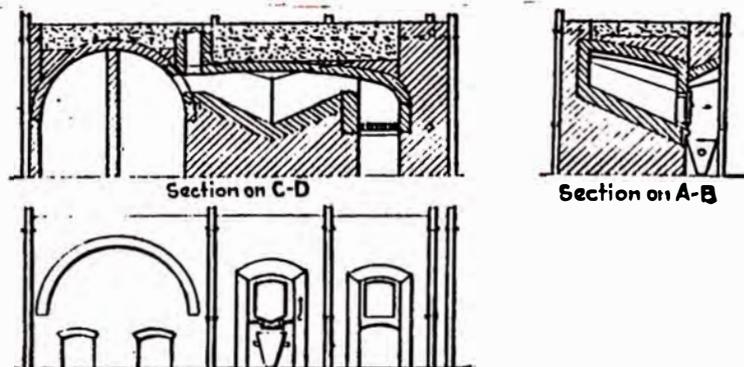


FIG. 5-3 y 5-4 PLANOS DE CORTE Y ELEVACION

tienen gran contenido de azufre o con antimonio licuado; mientras que el producto intermedio tetróxido Sb_2O_4 no tenga mercado, deberá ser reducido a metal.

La tostación oxidante de las menas de antimonio dá lugar a la producción del trióxido volátil (Sb_2O_3) ó del tetróxido (Sb_2O_4) estable y no volátil, según la temperatura y la cantidad de aire en exceso empleados. Los cambios químicos que se dan lugar durante la producción de estos dos óxidos son un poco complicados. El tetróxido es considerado como una sal, resultado de la reacción de el pentóxido Sb_2O_5 de carácter ácido, con trióxido Sb_2O_3 de carácter básico, así:



Después de un estudio del control de la temperatura durante la tostación que dá lugar a los diferentes óxidos, ahora considera que esta reacción no está en la realidad.

Por lo tanto, en general, cuando el sulfuro Sb_2S_3 es tostado, se dan los siguientes cambios químicos:

debajo de $500^{\circ}C$



Entre 500° y $900^{\circ}C$



En otras palabras, el tetróxido se deriva directamente del trióxido, y no es formado por la reacción mutua del trióxido con el pentóxido.

Cuando el sulfuro es calentado por debajo de la temperatura indicada en la reacción (1), se forma el trióxido con desprendimiento de calor de 687,000 cal.

Este calor sería cedido a la partícula de Sb_2O_3 para elevar la temperatura por encima de los $500^{\circ}C$, que dará lugar a la posible reacción (2) siempre y cuando exista un exceso de oxígeno. Como vemos, el tetróxido es estable entre 500° y $900^{\circ}C$, pero éste puede producirse en pequeños hornos de reverbero en los que la temperatura se mantiene a unos $500^{\circ}C$, empleando una agitación constante; si la temperatura pasa mucho de este punto, el sulfuro se convertirá en una mezcla que se conoce con el nombre de vidrio de antimonio, formado por estibina sin descomponer, antimoniatos, arseniatos y sulfatos.

Si no se suministra un exceso de aire, el producto tostado será en su mayor parte el trióxido volátil en vez del tetróxido. El horno usado para la tostación es similar al horno de reverbero que se utiliza en la fundición de plomo. La pérdida de antimonio en este tipo de horno de tratamiento varía de 4 a 8%.

El tiempo requerido para la tostación requiere cerca de 40 horas.

5.2.3 TOSTACION VOLATILIZANTE PARA LA OBTENCION DEL TRIOXIDO ($Sb_2 O_3$)

El producto que generalmente se desea obtener es el trióxido volátil, en cuyo caso se admite menos aire y se recurre a una temperatura más elevada.

Para la producción de éste óxido a partir de menas que contienen de un 15% a un 25% de Sb se emplea hornos de viento que queman coque ó carbón vegetal.

La mena que contiene más cantidad de antimonio tiende a

licuarse y formar vidrio de antimonio. La cantidad de carbón ó de coque empleado varía entre 15% y 50% del peso total de la carga.

Las grandes ventajas que reúne este método de tratamiento de las menas pobres determina que goce hoy de una aceptación general. Estas ventajas son las siguientes:

1. Si se encuentra presente el óxido de arsénico, puede procederse a su separación por ser más volátil que el de antimonio.
2. Los residuos pueden tratarse para recuperar los metales preciosos.
3. Es el único método verdaderamente adecuado para el tratamiento de menas pobres.
4. La condensación es mucho más eficiente y, por consiguiente, las pérdidas de antimonio son pobres.
5. Se precisa menos combustible, ya que puede emplearse como tal el azufre de la mena.
6. El trióxido condensado puede venderse como óxido blanco ó reducirse a antimonio metálico.

5.2.3.1 EL PROCESO HERRENSCHMIDT

La mena triturada que, por regla general, contiene de 10% a 20% Sb, se mezcla con un 4% o 8% de carbón vegetal que se introduce en un horno de tostación de fuego exterior. El trióxido de antimonio volátil que se arrastra con los gases del tragante, se deposita en las tuberías de condensación que se encuentran debajo de éstas. Los gases se arrastran mediante la aspiración producida por dos ventiladores, los cuales, a su vez, les imprimen un movimiento ascendente por

la torre de coque. De éste modo las trazas de óxido sin condensar quedan aprisionadas en el agua que asciende desde la parte superior de la torre. En la producción del trióxido la temperatura de tostación no debe ser superior a 400°C. En el caso de menas corrientes que contienen de un 10% a 15% Sb, pueden tratarse unas 6 toneladas en 24 horas con un consumo de gas de coque del orden del 4% al 5% de dicha cantidad.

La mena debe clasificarse cuidadosamente en cuanto al tamaño (1 a 4 cm de diámetro), ya que si se encuentra muy finamente dividida se arrastrará, por los gases y contaminará el trióxido depositado.

El horno Herrenschildt se presenta esquemáticamente en la figura Nº 5-5.

5.2.3.2 EL PROCESO FOLLSAIN

En 1926, Friedrich Krupp-Grusonwerk A.G. patentó el llamado proceso Waelz para el tratamiento de menas de zinc, plomo y cadmio. El proceso Follisain, relativamente reciente, es una consecuencia del proceso Waelz. La modificación consiste en un horno rotatorio que se divide en dos partes, una parte es para el calentamiento y la otra para la combustión. La mena se somete a un calentamiento previo en un horno de 9 metros de largo y 0.90 metros de diámetro, y, a continuación, se quema en un horno de combustión de 2.4 mt. de largo y 2.1 mt. de diámetro. Estos hornos están apoyados, con independencia el uno del otro, en soportes giratorios con el objeto de que la carga pueda pasar con facilidad del horno de precalentamiento al de combustión.

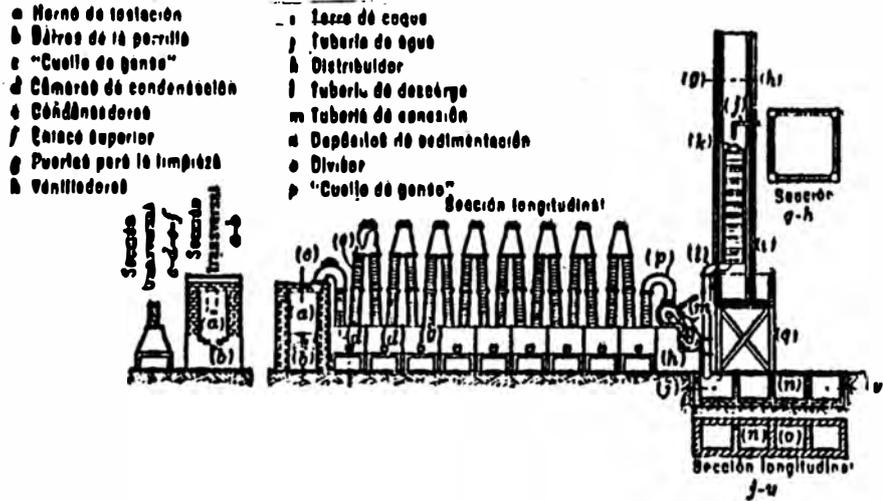


FIG. 5-5 EQUIPO DE VOLATILIZACION Y CONDENSACION HERRENSCHMIDT

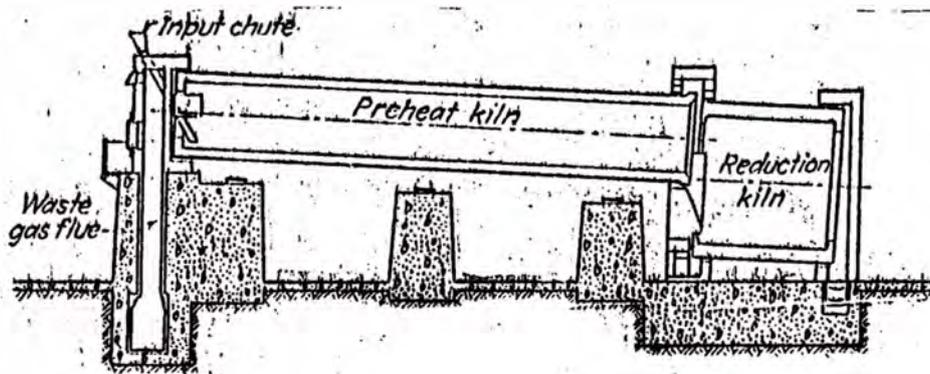


FIG. 5-6 EL HORNO FOLLSAIN

El aire empleado en la combustión se calienta previamente a una temperatura de 700 °C y los gases residuales, que arrastran los humos de trióxido de antimonio, abandonan el horno a una temperatura de 250 °C y se envían a la instalación de precipitación Cottrell, donde se recupera el trióxido. El consumo de combustible es de 25% a 30% del peso del mineral cargado. El consumo de energía es de 5.5 a 6 Kw-hrs. por tonelada de mineral tratado.

El horno Follisain se puede observar en la figura N° 5-6

5.2.4 EL HORNO DE CUBA

5.2.4.1 EL TOSTADOR BLAST

El horno de cuba que se muestra en la figura N° 5-7 está encaminado a ser el horno de alimentación superior de mayor uso para el tratamiento de minerales de antimonio de baja ley. Es en principio una forma modificada de los hornos utilizados para la producción de gas ó vapor, que emplea dispositivos para carga y descarga.

Este horno difiere de los clásicos de alimentación superior principalmente porque usa aire a presión y esto es muy conveniente dado que el producto es el trióxido de antimonio, y el movimiento hacia arriba del aire a presión a través de la cama de mineral, será más beneficiosa para el proceso de volatilización. Cómo el aire es precalentado, el consumo de coque es inferior al horno de alimentación superior. En lo que respecta a la operación, no presenta el efecto de reducción debido a que : (1) El coque en la carga se puede decir que se encuentra aislada , debido a la

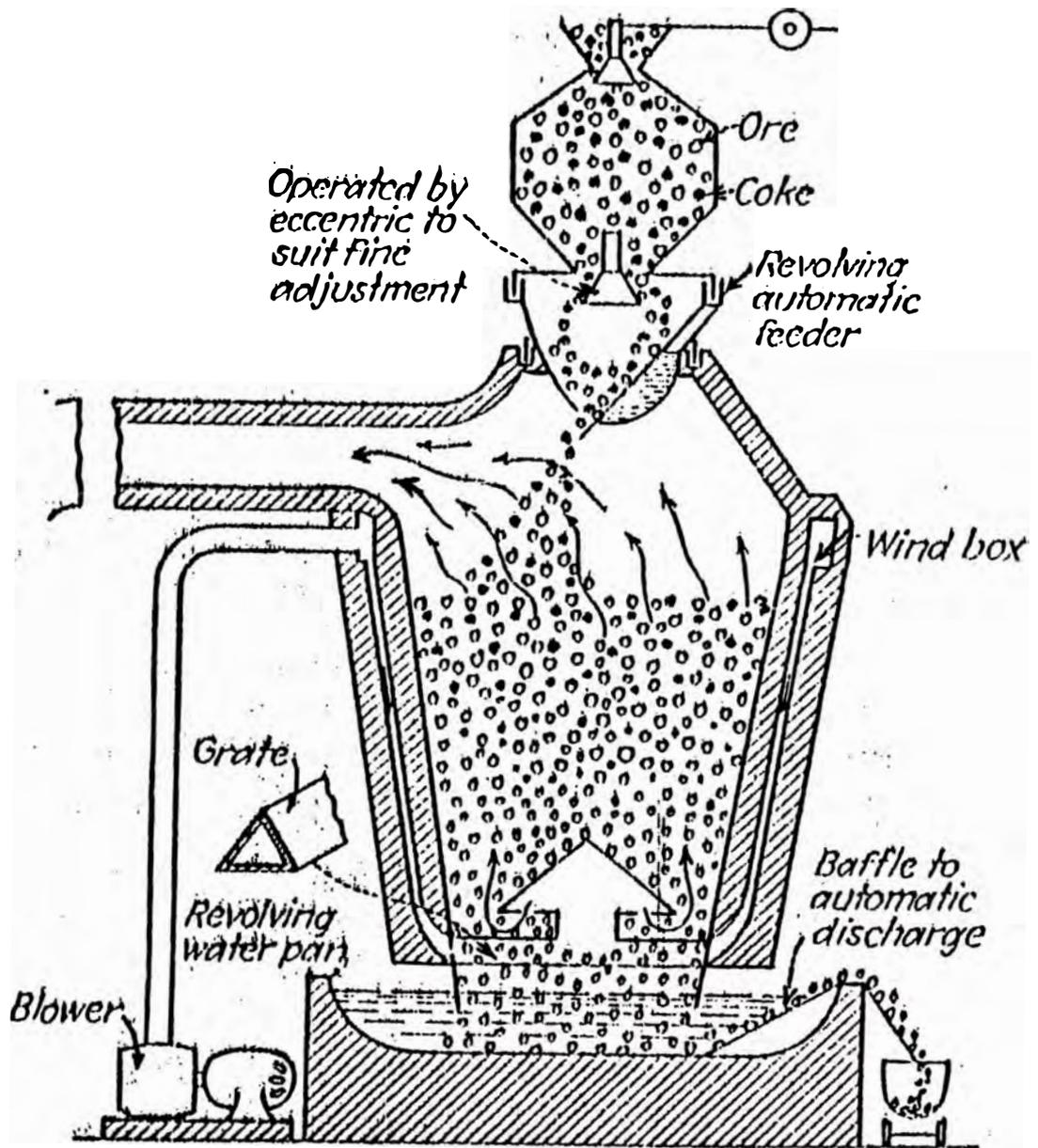


FIG. 5.7 EL TOSTADOR BLAST O DE CUBA

excesiva ganga presente en el mineral y (2) La inyección de aire que se entrega es más que suficiente para una tostación y combustión teórica completa , asegurando así una atmósfera de oxidación a través de la columna de mineral.

Finalmente podemos decir que el horno de cuba cuando es utilizado para el tratamiento de minerales de antimonio, con las modificaciones ya comentadas, se denomina tostador blast.

5.3 METODOS PARA LA PRODUCCION DE ANTIMONIO METALICO CRUDO

El metal de antimonio no refinado es llamado antimonio crudo, pero el metal en ésta forma casi nunca es comercializado.

El antimonio metálico crudo puede ser obtenido de: (1) los óxidos (trióxido ó tetróxido), (2) del antimonio licuado, ó (3) por fundición directa de minerales de antimonio. De estos métodos, la mayor parte del antimonio del mundo hasta el presente, han sido producido por los dos primeros métodos mencionados.

Anteriormente se utilizaba el alto horno para la producción de óxidos, antimonio licuado y antimonio crudo a partir del mineral. Pero actualmente, está bien demostrado que el alto horno ó el horno de cuba, es el mejor dispositivo para ciertas clases de mineral de antimonio, aquellos que contienen de 25 a 40% de metal; estos son muy altos para ser ajustados en tostación y son aún muy pobres para la licuación ó la precipitación.

5.3.1 REDUCCION DE OXIDOS

De los métodos mencionados, la reducción de los óxidos es llevado a cabo ya sea en hornos de reverbero, en hornos de cuba ó en crisoles. En la reducción del óxido se debe tener cuidado en el control de la volatilización y mantener fuera de la masa de metal algunos sulfuros inalterables.

Se utiliza una escoria fusible la cual forma una cubierta que previene la volatilización y la cual disuelve los sulfuros. Esta escoria compuesta de soda, potasa y sales de glauber, actúa como un agente de refinación, retirando el mayor número de impurezas que puedan estar en los óxidos. En los minerales que tienen bajo porcentaje de antimonio, el proceso de volatilización y de reducción son usados por ser considerados los más baratos de todos los métodos y producen un metal muy puro.

5.3.1.1 EN HORNOS DE REVERBERO

De los varios métodos de reducción, el aplicado en hornos de reverbero es simple y fácil de controlar, pero es acompañado de una fuerte pérdida de antimonio, y es por lo tanto usado, cuando el mineral es rico y el combustible barato. La pérdida de material generalmente oscila del 12 al 20% y puede ser tal alto como 30 a 40% cuando se realiza un trabajo descuidado.

En Francia, Austria y New Jersey, los reverberos utilizados tienen aproximadamente las siguientes dimensiones el hogar tiene forma oval, la longitud aprox. es de 8 pies, ancho en el centro 5 pies, ancho en el tabique de fuego 3 pies. En las figs. 5-8, 5-9 y 5-10 se muestran los planos

de un horno de reverbero.

La carga del horno consiste de aproximadamente 500 libras de mineral tostado, minerales oxidados, óxidos, residuos de licuacion, etc. , junto con aproximadamente de 100 libras de fundente, compuesto de sal, soda y aprox. 70 libras de carbón, y algunas veces una pequeña cantidad de sal de glauber. Se ha determinado que es buena práctica volver a fundir aprox. 300 libras de escoria de las cargas anteriores.

Primeramente se carga el fundente en el horno, y cuando está fundido se va agregando el resto de los materiales, aprox. 40 libras cada 15 ó 20 minutos. La carga se agita bien y la escoria producida se va retirando. Una vez que la última carga ha sido adicionada, se eleva la temperatura y se mantiene hasta que el proceso se complete. Durante la fusión, el carbón actúa como un agente reductor, mientras que parte de la soda se combina con el azufre, y el restante ayuda a formar una escoria con la ganga. Cualquier otro metal presente es llevado a la escoria como sulfuro por la acción de la soda, la cual es producida por la reducción de la sal de glauber por el carbón. La sal común sirve con el mismo propósito llevando metales foráneos a la escoria como cloruros.

El consumo de combustible es alrededor de 5 a 6 centavos de dolar por carga y la pérdida es usualmente de aprox. 14 a 15% Cuando la fusión se ha completado, el metal es vertido en moldes. La carga es removida totalmente despues de 6 horas.

REDUCCION DE OXIDOS EN HORNOS DE REVERBERO

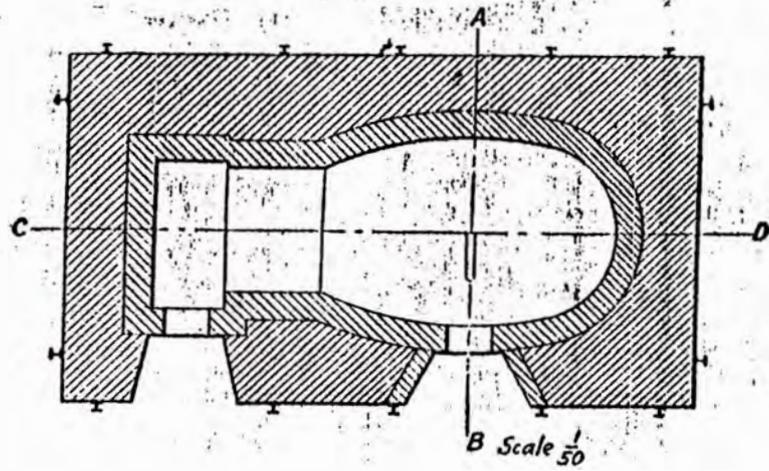


FIG. 5-8 VISTA DE PLANTA

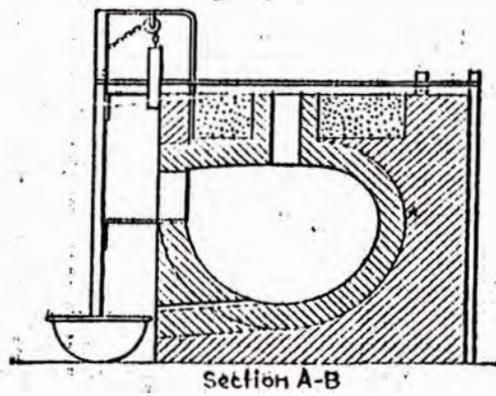


FIG. 5-9 SECCION DE REDUCCION

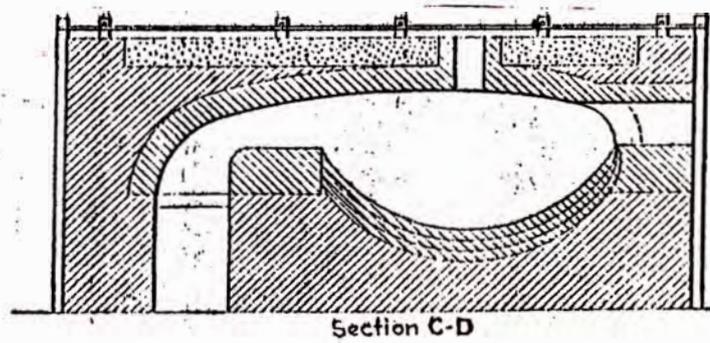


FIG. 5-10 SECCION DE REDUCCION

5.3.1.2 EN HORNOS DE CUBA

En California y en México el horno de cuba para el tratamiento de óxidos de antimonio ha sido llevado a un alto grado de eficiencia. La manipulación del horno y de la carga tienen mucho en común con la práctica ordinaria de un horno de cuba para plomo.

La carga consiste en mineral tostado, óxidos, pequeñas cantidades de estibina, etc. La recuperación del antimonio es de 95 al 98% ,la escoria lleva el 1% Sb y algunas veces es tan bajo como 0.25% de Sb.

Los hornos que generalmente se utilizan son de 28 pies de alto, el área del hogar es de 5x3 pies y es aireado mediante compresoras a una presión de 2 a 3 pulgadas de mercurio. Es necesario la utilización del bag house debido a la alta temperatura alcanzada. Este método, comparado con el anterior en el cual se usa el horno de reverbero, es más costoso y por lo tanto practicamente se ha dejado de lado.

5.3.1.3 EN HORNOS DE CRISOL

Este método es muy raramente usado. El uso de hornos de crisol evitan el trabajo de grandes cargas. El consumo de combustible es alto y cada crisol tiene una vida de sólo siete a ocho cargas; por presentar desventajas económicas no es utilizado.

5.3.2 PRECIPITACION ENGLISH

En Inglaterra, Hungría, Japón y México el método de precipitación permanece de moda, utilizando antimonio licuado como materia prima, que es reducido a metal mediante la adición de hierro metálico, utilizando crisoles

para tal fin.

El principio fundamental presente en este método, es la mayor afinidad que tiene el azufre por el hierro, que por el antimonio. En el proceso de precipitación, el hierro es usado para descomponer el sulfuro de antimonio, y dar sulfuro de hierro y antimonio, como en la ecuación :



El sulfuro de hierro se forma a una relativa baja temperatura y el antimonio empieza a separarse en estado metálico. La alta gravedad específica del sulfuro de hierro, hace difícil, la separación del antimonio del sulfuro de hierro, y es necesario agregar, sulfato de sodio y carbón para producir el sulfuro de sodio, el cual, se combina con el sulfuro de hierro, formando un material fusible de baja gravedad específica. En algunos países como es el caso de Inglaterra, en lugar de sulfato de sodio y carbón, se usa sal común. El hierro es usualmente agregado en forma de virutas, alambres ó en láminas. Hay que tener sumo cuidado en el uso del hierro, ya sea por la cantidad, así cómo por si estuvieran presentes el sulfuro de plomo y arsénico, ellos serían reducidos por cualquier exceso de hierro no tomado por la estibina (Sb_2S_3) y entrará en el metal de antimonio como impureza.

Se ha encontrado en la práctica que la cantidad teórica de hierro requerido para desulfurizar la estibina no es suficiente, debido a que una parte del hierro entra en acción para descomponer el sulfato de sodio.

Las pérdidas de antimonio en el método de precipitación

ocurren en volatilización y en escoria, en un 10% ó más. Ordinariamente, el proceso es llevado a cabo en hornos de crisol. El horno de reverbero y el de alimentación superior son también usados, pero las pérdidas son mayores que el de crisol.

Los crisoles usados en este método, son hechos de una mezcla de grafito y de arcilla refractaria y son generalmente de 20 pulgadas de altura por 11 pulgadas en la boca. El crisol seco, pesa 42 libras, de los cuales 36 libras son de arcilla refractaria y 6 de grafito.

El metal obtenido es conocido como antimonio crudo y contiene cerca de 91.6% Sb ,7.3% Fe ,0.8% S y 0.3% de material insoluble.

Cada crisol tiene una carga de 42 libras de antimonio licuado, 16 libras de hierro, 4 libras de sal común y 1 libra de escoria proveniente de la fundición previa. El tiempo promedio empleado es de cuatro fusiones por crisol por cada 12 horas.

5.3.3 POR EXTRACCION DIRECTA DESDE EL MINERAL

Este método se dá en hornos de reverbero; existen varias patentes (Sanderson, Cookson, Herrenschmidt). A dado buenos resultados pero no ha tenido una aceptación comercial. Una vez que el mineral ha sido cargado en el horno y detenidamente removido se agrega el hierro junto con una cantidad de soda ash, se eleva la temperatura y cuando se ha descompuesto la estibina por efecto del hierro, se lleva a cabo la colada. El agujero de colado es cerrado tan pronto como aparece el sulfuro de hierro. La escoria es

retirada en forma continua.

En una fundición en Mayenne, Francia, se usó un horno de reverbero con una cama de 10 pies de largo por 4 pies de ancho, la carga se lleva a cabo cada 3 horas como sigue

Mineral rico (50 a 60% Sb)	992 lbs.
Mineral desmenuzado (aprox. 45% Sb)	330 lbs.
Escoria de fusión anterior (aprox. 20% Sb)	44 lbs.
Carbonato de sodio	44 lbs.
Viruta de hierro	529 lbs.

Se obtiene un antimonio crudo de 86 a 88% Sb, en escoria de 8 a 10%, pérdidas debido a volatilización de 4 a 6% .

5.4 REFINACION DEL ANTIMONIO METALICO CRUDO

El antimonio no refinado usualmente contiene azufre, hierro, arsénico, cobre y plomo. Estas impurezas con la excepción del plomo, pueden ser eliminadas parcialmente por oxidación , por agentes de escorificación, parcialmente por agentes sulfurizantes y por agentes de clorinación. soda, potasa, vidrio de antimonio (oxisulfuro de antimonio) remueven el sulfuro y convierten el arsénico en arseniato de soda ó potasa. La conversión del cobre y hierro en sus respectivos sulfuros, por efectos del azufre proveniente del sulfuro de antimonio, puede ser facilitado por la adición de soda, potasa, sal de glauber ó carbón de leña. Estos sulfuros forman una escoria con el sulfuro de sodio, producido de la reducción de la sal de glauber con la soda ó potasa. Estos sulfuros son facilmente removidos por el

vidrio del antimonio.

El uso de sal común, carnallite ó cloruro de magnesio para volatilizar algunos de los metales foráneos presentes como cloruros, y otros para escoriar, puede ocasionar gran pérdida de metal debido a la volatilización. Es difícil remover el plomo.

Una de las impurezas más objetables encontrados en el antimonio es el arsénico, por que se pierde metal y los costos están vinculados cuando uno trata de bajar la tolerancia en el mercado. Evidentemente, la mejor manera de salvar esta difilcuta es liberar de arsénico tanto como sea posible en el mineral antes de ser fundido. Esto puede ser hecho por flotación diferencial ó como lo sugieren Koster y Royer, calcinando el mineral ó concentrado de 475 a 500 °C. Se volatiliza el 88% de arsénico con una pérdida de 10 a 15% de antimonio.

Otro método es aplicando aire al metal fundido (G.A. Merson, L. Ya Krol, y O.E. Krein), ha tenido gran éxito. De acuerdo a ellos, las siguientes condiciones óptimas son recomendadas para llevar a cabo el tratamiento de refinamiento, el cual reduce el contenido de arsénico en el metal de 0.70 a 0.05% :

1. Temperatura : 950 °C.
2. Insuflación de aire : 500 ml/min/kg de metal.
3. Duración del refinamiento : 1 hora.

Bajo las condiciones anteriores se obtuvo una producción de antimonio no refinado de 89.5% ; del remanente que es 10.5%, 8.75% pasó a la escoria, mientras que 1.75% se

volatilizó como trióxido de antimonio.

5.4.1 EN HORNOS DE REVERBERO

La operación de refinamiento es en muchos casos llevado a cabo en pequeños hornos, del tipo reverbero, y el procedimiento es como sigue: de 1,200 a 1,500 libras de antimonio crudo, a la cual se le agrega de 3 a 7% de soda mezclada con un poco de coque en polvo ó carbón de leña. Durante la fusión, la capa de escoria gradualmente se va haciendo más gruesa, y después de aproximadamente 3 horas es retirada. Hasta este punto el hierro y el azufre permanecen como impurezas en el metal. Ellos son los siguientes en ser retirados agregándole materiales capaces de formar vidrio de antimonio. Por cada 100 libras de antimonio en la carga, se agrega 3 libras de antimonio licuado y 1.5 libras de tetróxido de antimonio; tan pronto como estos están fundidos, se agrega 4.5 libras de potasa. Debe tenerse cuidado que el baño de metal esté completamente cubierta de fundente.

El metal debe ser "sacado con un cucharón", la manipulación debe ser cuidadosa a fin de asegurar la apariencia estrellada de los lingotes.

El fundente que cubre la parte superior del metal fundido, fluye en el molde con el metal, cubriéndolo así completamente. Esto es esencial para el estrellado del metal.

El análisis típico del antimonio refinado proporcionado por productores ingleses, chinos, americanos, franceses, checoslovacos y yugoslavos es mostrado en el cuadro V-2

CUADRO V-2

Nombre de Marcas	Sb	Cu	Fe	Pb	As	Sn	Zn	S	OTROS
W.C.C. (Chino)	99.848	trazas	0.009	trazas	0.095	0.030	trazas	0.018	Cd, trazas
Hallett's	99.856	0.046	0.007	0.718	0.210	0.012	0.023	0.128	
Cookson's	99.608	0.046	0.004	0.102	0.092	trazas	0.034	0.086	Co, Ni 0.028
Japones	99.195	0.043	0.007	0.424	0.095	0.012	0.023	0.201	
Chino	99.760	0.012	0.004	0.029	0.090	.....	0.027	0.078	Co, Ni, trazas
La Lucette	99.350	0.010	0.060	0.130	0.200	.....	.....	0.200	
U. S. "Lone Star"	99.700	.....	.....	.....	0.050	(Ninguna otra impureza en exceso de 0.10%)			
U. S. "R. M. M."	99.300	.....	.....	.....	0.100	"			
Checoslovaquia	99.700	trazas	0.110	0.040	0.070	.....	.....	0.050	
	99.700	trazas	0.056	trazas	0.031	.....	.....	0.119	Ni, Sn, trazas
Yugoslavia	99,340	.....	0.110	0.040	0.300	.....	.....	0.080	

NOTA : El antimonio Inglés generalmente comanda el premio sobre las marcas foráneas, especialmente la "C" marca de Cookson's que es reconocida mundialmente como el antimonio estandar.

5.4.2 EN HORNOS DE CRISOL

La gran mayoría de plantas de tratamiento, tal es el caso, de China, Inglaterra, Italia, México y otros; utilizan los crisoles de carburo de silicio ó de planchas de hierro revestidos con material refractario, para el proceso de refinación. Una práctica común para este proceso, es como sigue: se utiliza 90 libras de antimonio crudo, debidamente preparadas y analizadas y 1 libra de carbonato de sodio; se introducen al crisol. Se enciende el horno y se eleva la temperatura gradualmente hasta llegar a 850 °C. Cuando la carga está totalmente fundida, se agrega 6 libras de trisulfuro de antimonio (Sb_2S_3) puro y 4 libras de carbonato de sodio. Se remueve toda la carga manteniendo constante la temperatura. Después de 2 horas aproximadamente y cuando el proceso de refinación ha cumplido su ciclo (cuando la mayor parte de las impurezas y en especial Fe y S, han sido segregadas por las escorias formadas) se separa las escorias (sales complejas de antimonio, antimoniatos) y se vierte el metal refinado en pequeños moldes, en el cual se le recubre con una cubierta de escoria previamente preparada, el que le dará a la superficie del lingote una estructura de helecho ó estrellada.

5.4.3 ESTRELLADO

Por mucho tiempo en la práctica de la comercialización, se ha juzgado la pureza del antimonio refinado ,por el desarrollo de una estructura parecida al helecho ó "estrellado" en la superficie del lingote. En realidad la

aparición de ésta estructura no indica la pureza relativa del metal, ya que ésta estructura es el resultado de enfriar lentamente, cubriendo la superficie, con una mezcla preparada ó también llamada cubierta, que viene a ser un tipo de escoria que tiene un punto de fusión más bajo que el antimonio, el cual es de 630 °C. Cuando el régulo contiene impurezas tales como azufre, arsénico, plomo ó hierro en una cantidad apreciable, su superficie muestra la presencia de estos elementos foráneos como manchitas, por una aparición plomiza, o por una aparición pobre de la estructura parecida al helecho. Es verdad por otro lado, que el contenido de impurezas en el régulo, por encima de los que son considerados los límites impuestos por el mercado internacional, con frecuencia se muestran como estrellas con un brillo bien definido, cómo aquellas del régulo bien refinado. Desde que los compradores demandan este adorno en el régulo, la operación de estrellado se ha tomado en cuenta como parte del proceso de refinamiento, adicionando un costo innecesario de 5 a 30 dolares por toneladas.

Diferentes mezclas de ésta cobertura son mostradas en el Cuadro V-3, de acuerdo a las condiciones locales por varios fundidores en China.

En Inglaterra el proceso de refinamiento y de estrellado es como sigue: se utiliza una carga de aprox. 84 libras, junto con suficiente fundente para circundar completamente los lingotes; la cantidad es generalmente 8 libras para lingotes de forma ordinaria. La fundición toma lugar en

CUADRO V-3
VARIEDAD DE CUBIERTAS

CUBIERTAS	Sb Licuado (alto grado) $Sb_2 S_3$	Tetróxido (bien tostado) $Sb_2 O_4$	Trióxido $Sb_2 O_3$	Potasa $K_2 CO_3$	Soda Ash $Na_2 CO_3$	Carbón C	Fundidores que usan cubiertas
I	15	24	--	10	1	1.25	Pao Tai
II	15	24	--	11	3	1.25	Pao Tai
III	2.2	13.2	--	7.5	-	5.70	To-Cheng
IV	4.5	--	20	--	5	0.50	Loong Kee
V	7	--	18	--	4	0.50	Tai Wo
VI	3.4	--	32	--	2-4	1	
VII	5	30	--	--	5-6	1	Pao Tai
VIII	-	--	85	--	15	-	Wah Chang
IX	-	--	4-5	1-2.5	-	-	Wah Chang
X	-	--	8	1	-	-	
XI	-	--	40	1	4	-	
XII	-	--	7	--	1	-	Loong Kee
XIII	6	--	16	--	1	0.50	Pao Tai
XIV	7	14	--	--	0.5	0.50	Pao Tai

crisoles, donde la fusión es más rápida. El metal es cargado primero y es observado cuidadosamente; tan pronto como comienza a fundir, se agrega el fundente; y tan pronto como la fusión parece estar completa, el hornero agita la mezcla una sola vez, con una varilla de hierro, y la carga es entonces vertida. El fundente es usado continuamente, siendo regenerado por la adición de carbonato de potasio. Los lingotes deben estar circundados completamente por el fundente; debe haber una película fina entre el molde y el metal, y también la superficie total del lingote debe estar cubierta con fundente, con un espesor de 1/4 de pulgada. Cualquier traza del fundente que aún esté adherida al lingote, deberá ser removida, lavándolo en agua tibia ó con arena fina.

Para una carga de 60 a 70 libras de metal, con 1 a 2 libras de potasa y 10 libras de escoria; el tiempo requerido es de 3/4 de hora.

5.5 OBTENCION DEL ANTIMONIO POR VIA ELECTROLITICA

La estibina se disuelve con facilidad en el sulfuro de sodio y en los hidróxidos de sodio y calcio, pudiendo precipitarse de estas soluciones por anhídrido carbónico ó ácido sulfuroso. Durante los últimos años se han registrado algunos perfeccionamiento notables en la electrólisis de las disoluciones de antimonio.

La principal dificultad reside en la acumulación de tiosulfato en el ánodo. Al empezar la operación, una solución de hidróxido sódico al 6% puede contener 3% de antimonio, pero a medida que el tiosulfato se va

acumulando, el poder disolvente disminuye hasta un 0.7%. Cuando ésta cantidad de azufre ha pasado a la solución, el ánodo empieza a corroerse y deshacerse con gran rapidez, hasta ahora no se ha encontrado un ánodo insoluble que puede emplearse en este proceso. Llegado a este punto hay que proceder a la regeneración de la solución, ó a sustituirla por una nueva. Durante la Segunda Guerra Mundial, funcionaba una instalación electrolítica en Sunshine Mine, Idaho (Estados Unidos)

5.5.1 PROCESO SUNSSHINE MINE

En éste proceso, los concentrados de tetrahedrita se lixivian en cargas sucesivas con una solución concentrada y caliente de sulfuro de sodio, y la solución así obtenida, se separa, recurriendo a la sedimentación y decantación, mientras que el residuo se lava sometiéndolo a un nuevo batido. Se electroliza la solución en cubos con diafragma, y el antimonio se deposita sobre cátodos de acero suave. Tanto el ánolito como el cátolito se regeneran con una solución de sulfuro de bario y, una vez que la sales de bario se han precipitado y recuperado, las soluciones se devuelven al circuito.

A continuación, estas sales se reducen en un horno pequeño hasta obtener una ceniza que contiene el sulfuro de bario. El proceso es cíclico y regenerativo, si exceptuamos el hecho de que, para satisfacer las exigencias del sulfuro de bario, hay que añadir alguna barita al circuito del horno, y cierta cantidad de soda cáustica al del ánolito, para compensar el sodio que se pierde con el residuo de cobre

enviado a la fundición.

5.5.2 PROCESO BUNKER HILL Y SULLIVAN

Los concentrados de tetrahedrita se mezclan con soda calcinada, sulfato sódico y carbón y se introduce en un horno eléctrico de tres electrodos. Después de fundir la carga a 1250°C, la mata se extrae del horno, enfría y muele hasta un tamaño de malla 80. Esta masa se lixivia con agua a 60°C para formar el electrólito. La pulpa sin disolver se tritura para obtener un concentrado de aleación Sb-Bi-Ag y unas colas que contienen de 25-30% Cu y 1% Sb; este último se añade a la carga de fusión del cobre. A partir del electrólito que contiene el tio-antimoniato (Na_3SbS_4), el antimonio se deposita sobre cátodos de chapa de acero; los ánodos son de chapa de plomo. No se registran ninguna corrosión del material de los electrodos cuando la densidad de corriente es de 1.85 Amp/m². Los cátodos se limpian cada seis días. El antimonio es frágil y se separa fácilmente de los cátodos.

5.6 DESCRIPCION Y TECNICA DE METODO UTILIZADO

El presente trabajo es un informe técnico de las diferentes pruebas metalúrgicas realizadas en el laboratorio de la Escuela de Metalurgia de la UNI, con el fin de fundamentar las bases para la instalación de una planta de tratamiento y poder obtener antimonio metálico "régulus" de 99.5% Sb como mínimo a partir de mineral de antimonio (estibina). Para obtener el régulus de antimonio a partir del mineral estibina cuya ley debe ser superior al 50% Sb, ha sido necesario aplicar y adecuar una serie de métodos. Para éste

caso se ha implementado tres procesos secuenciales, a saber:

1. **Proceso de Licuación;** cuyo producto es el trisulfuro de antimonio Sb_2S_3 , ó antimonio licuado.
2. **Proceso de Precipitación English;** cuyo producto es denominado antimonio crudo.
3. **Proceso de Refinación;** cuyo producto es denominado régulus de antimonio.

Cómo cada uno de estos tres procesos lleva consigo la pérdida de antimonio por volatilización (formación de trióxido ó tetróxido de antimonio), se implementó un sistema de recuperación de polvos en forma de óxido de antimonio, para luego reducirlo y obtener el antimonio crudo.

El diagrama general de procesos se muestra en la figura N^o 5-11 .

5.6.1 PROCESO DE LICUACION

La licuación consiste en separar del mineral bruto, solamente el trisulfuro de antimonio puro (Sb_2S_3) ó antimonio licuado por fusión.

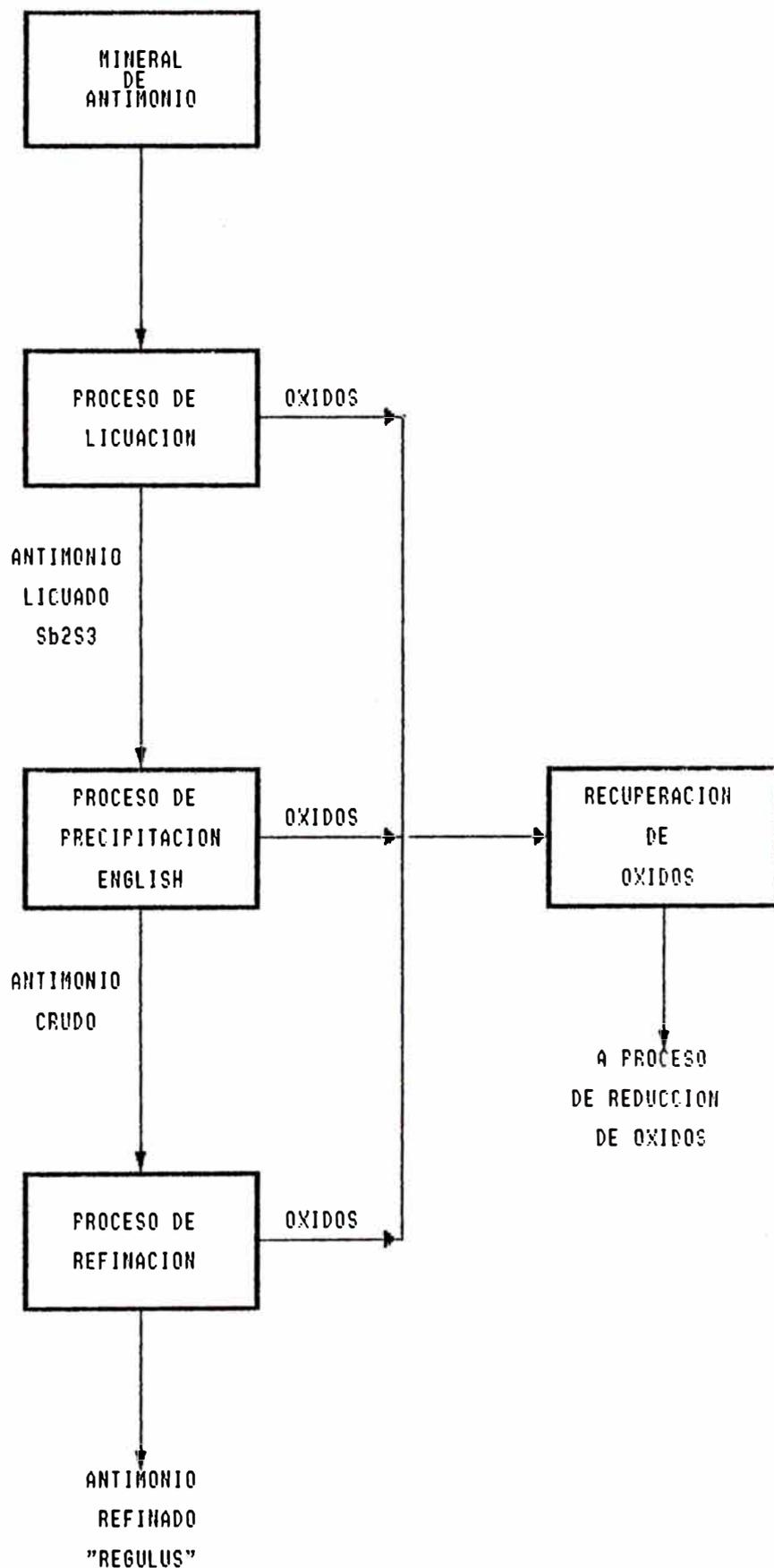
5.6.1.1 MATERIA PRIMA, INSUMOS Y EQUIPO

a) Materia Prima

Se recibieron 200 Kg de mineral de antimonio para la experimentación de parte de la Cía. Zinc Industrias Nacionales (ZINSA).

Las características del material a tratar son:

FIG. 5-11
DIAGRAMA GENERAL DE PROCESOS



<u>Elemento</u>	<u>%</u>
Sb	54-57
Pb	0.15-0.25
As	0.35-0.45
S	18-20

Granulometria

85%	1/8" - 2"
15%	1/8"

b) Insumos

Como insumos se utilizarón, carbón vegetal y petróleo diesel Nº 2.

c) Equipos

- Horno basculante de doble crisol de diseño particular y de 10 Kg. de capacidad c/u. Los crisoles contruídos de planchas de Fe de 1/4", revestido con una mezcla de bentonita y castable.

- Recuperador de polvos (óxidos) y chimenea.

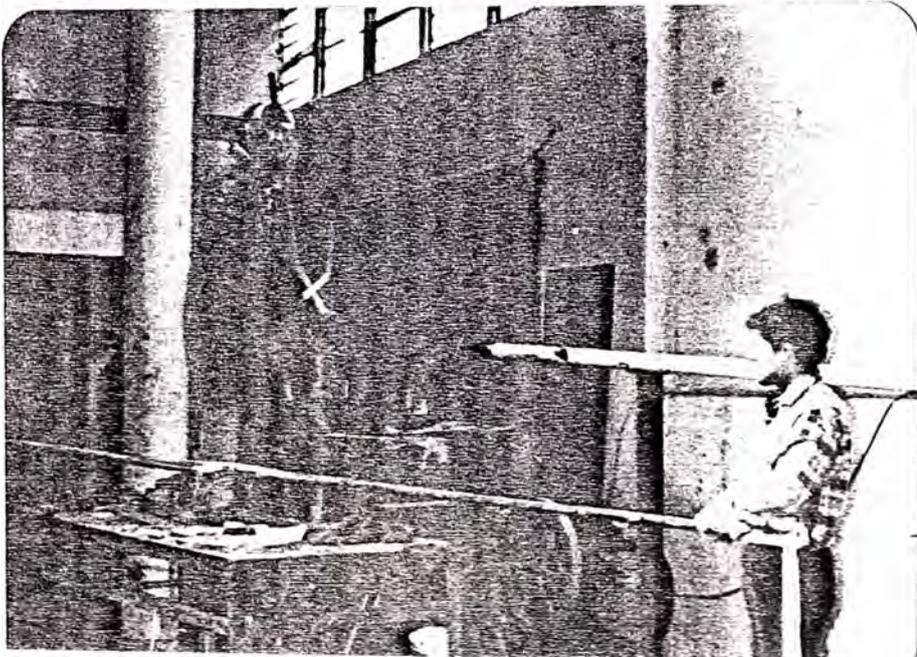
- Pirómetro, lingoteras y punzones.

Los índices técnicos y ecuaciones principales utilizados en el diseño del recuperador de polvos, puede apreciarse en el Anexo 1, así cómo también el valor del coeficiente global de transmisión de calor ($U=13 \text{ Kcal/hr-m}^2\text{-}^{\circ}\text{C} = \pm 20\%$ de seguridad), qué es el factor base para el diseño de cualquier sistema de recuperación del tipo empleado. Esta deberá variar en forma proporcional a la velocidad de los gases a través de los ductos.

El diseño del horno basculante y de los crisoles puede observarse en las figs. No. 5-12 y 5-13 .



FIG. 3-12



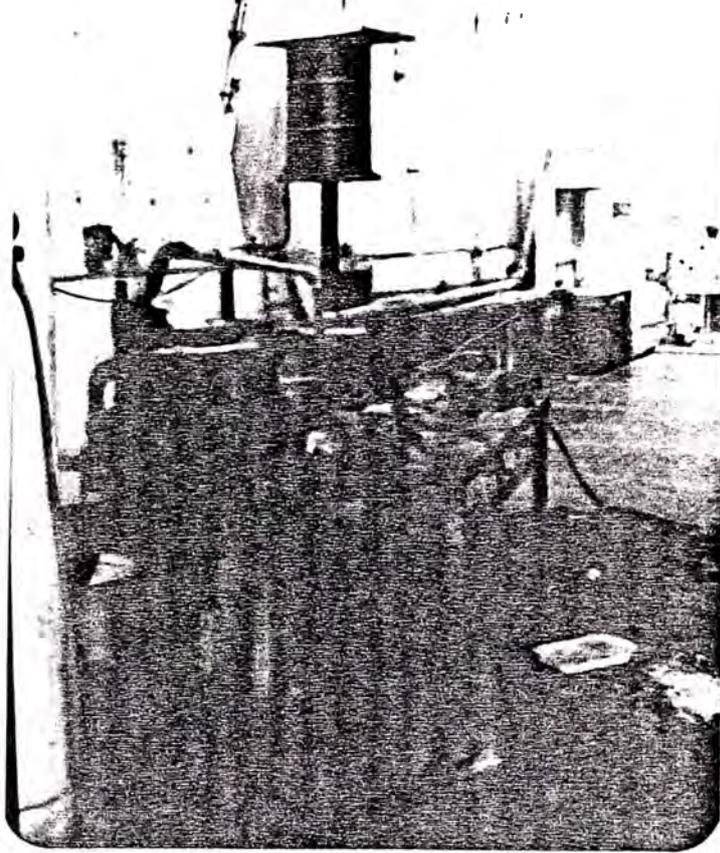
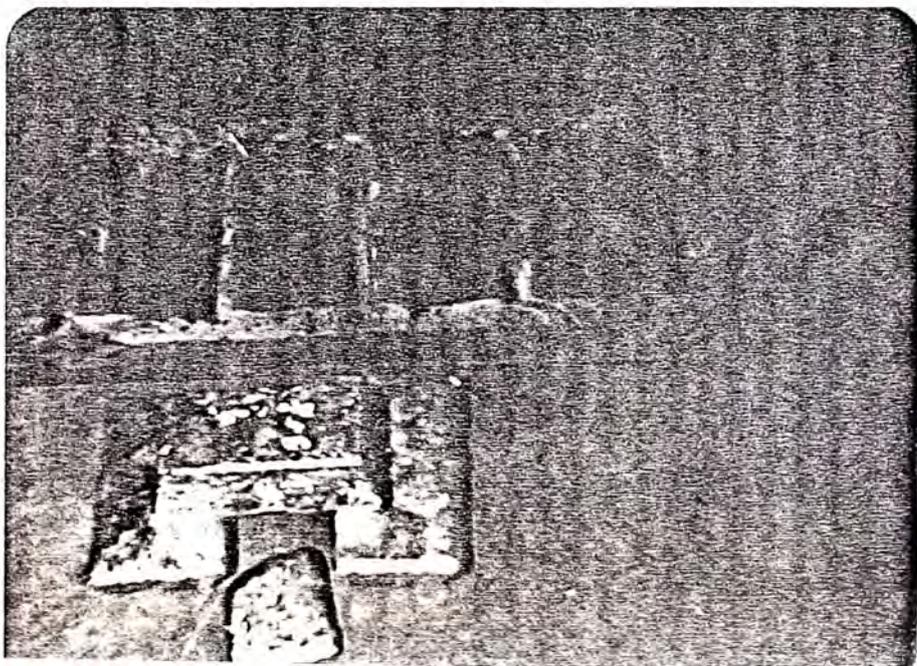


FIG. 5-13



5.6.2 MARCHA EXPERIMENTAL

Se realizó una serie de ocho pruebas.

El objetivo de estas pruebas fué obtener el trisulfuro de antimonio puro Sb_2S_3 , hallar el grado de conversión, determinar las pérdidas en escorias y la recuperación del trióxido volátil Sb_2O_3 .

El procedimiento estructurado y experimentado es cómo sigue:

Se inicia el experimento encendiendo el quemador del horno.

Hora 4 pm.

Se calienta el crisol de $550^{\circ}C-600^{\circ}C$ controlando la temperatura con una termocupla.

Una vez llegado a esta temperatura, se baja la potencia del quemador y se alimenta la primera carga de aproximadamente 2 Kg.

Hora 4.15 pm. T=600°C

El tiempo de alimentación y de agitación de la carga es de siete minutos; enseguida se le cubre con una capa de carbón vegetal y nuevamente se le incrementa la potencia del quemador y se va preparando la segunda carga.

Una vez que el trisulfuro Sb_2S_3 de la primera carga ha pasado en un 50% al crisol que sirve de fondo, se empieza con la segunda carga.

Hora 4.38 pm. T=630°C

Como observación podemos decir que la ganga cuarcífera que no funde crea una capa espesa, mientras que el trisulfuro $Sb_2 S_3$ ó antimonio licuado forma un caldo característico. Se retira la ganga que no funde, se remueve la masa y se

realiza la tercera carga.

Hora 5 pm. T=630°C

Siempre adicionando una capa de carbón para poder cubrir la masa y evitar en parte la volatilización.

De esta manera se continúa las cargas de mineral, manteniendo la temperatura entre 600°C-630°C.

Finalmente se realiza la cuarta carga.

Hora 5.23 pm. T=620°C

Se agita y se va removiendo la ganga lentamente.

Se lleva a cabo el desescoriado y se realiza la colada.

Hora 6.10 pm T=650°C

La carga total fue de 5 Kg. de mineral más 0,5 Kg. de carbón vegetal. El tiempo fué de 2 horas.

5.6.1.3 PARAMETROS DEL PROCESO

Por los resultados obtenidos hasta la etapa experimental, se observa que se debe evitar una alza en la temperatura ya que empieza el antimonio a perderse como óxido, también debe haber remoción de la carga cada cierto tiempo para no tener puntos de elevada temperatura y poder tener en lo posible una temperatura homogénea en todo el material. Los parámetros más importantes son :

a) Temperatura

Este importante parámetro fué estudiado a niveles por debajo del punto de descomposición de los sulfuros (600°C). El mineral fué alimentado a un tamaño de grano de 1/8"-1" para luego iniciar la licuación a 600°C aprox., que provocó una fusión solamente de la estibina Sb_2S_3 ya que su punto de fusión es de 550°C. El régimen de carga fué

intermitente y es necesaria una agitacion de aprox. tres veces por carga.

b) Tiempo

La influencia de éste parámetro fué estudiada tomando en cuenta el comportamiento físico de la carga (fusión parcial) durante la licuación. El tiempo de licuación depende directamente del porcentaje de separación de la estibina de su ganga asociada, determinando de éste modo que el tiempo óptimo fue de 2 horas.

c) Tamaño de grano

El tamaño de grano tiene influencia en la licuación para la máxima separación estibina-ganga, por lo que éste parámetro fué estudiado en dos niveles, de 2" y -1", y las condiciones de operación ,mostrarón que cuando el tamaño de grano era de 2", no lograba una separación efectiva estibina-ganga, de éste modo fué necesario proceder a triturar el material a -1", obteniéndose una separación más óptima.

Resumiendo podemos concluir, que las condiciones óptimas para el proceso de licuación del material de Sb son:

Temperatura : gradual 500-630°C

Tiempo : 2-2,5 horas

Tamaño de grano : 1" a 1/8"

Ratio : 1.33

5.6.1.4 RESULTADOS EXPERIMENTALES

Se realizarón una serie de ocho pruebas experimentales, en la que cada prueba fué alimentada en la proporción :

5 Kg. de mineral de Sb

0,5 Kg. de carbón vegetal

En los cuadros N^o V-4 ,N^o V-5 y N^o V-6 se presentan el porcentaje de recuperación, el Sb recuperado en la volatilización (%) y las pérdidas de Sb en la escoria.

Además se presentan los certificados de análisis químico del producto obtenido ó sea el antimonio licuado, Sb₂S₃.

5.6.1.5 CONCLUSIONES

- El proceso de licuación es apropiado para minerales con leyes superiores a 50%.
- El proceso de licuación propiamente dicho nos arroja una recuperación de 89.5%.
- El recuperador de polvos nos dá una recuperación de alrededor de 6%.
- La recuperación acumulada fluctua entre 92-95%.
- El Sb₂S₃ licuado obtenido tiene una pureza de 70% Sb
- El óxido de Sb tiene una pureza de 74% de Sb.
- La pérdida de Sb en la escoria oscila entre el 4-6% de la carga inicial.
- La temperatura ideal de trabajo es de 600^o-630^oC.
- El consumo de petróleo es de 2.5 gal/hr.
- El ciclo de trabajo de 2-2.5 horas.
- El ratio es de 1.33

5.6.2 PROCESO DE PRECIPITACION ENGLISH

El proceso a emplearse se basa fundamentalmente en la reacción que tiene lugar entre el Sb₂S₃ ó antimonio licuado y el hierro al estado fundido. Practicamente este proceso viene a ser una desulfuración, dada la gran afinidad que tiene el hierro por el azufre.

PRUEBAS DE LICUACION : 8

GRADO DE RECUPERACION

PESO DE LA CARGA : 5.5 Kg.

CUADRO Nº V-4

MATERIAL	PESO (Kg.)	% Sb.	CONTENIDO METALICO (Kg.)	% RECUPERACION
MINERAL DE Sb	5.00	57	2.85	100.0
Sb LICUADO 1	2.00	70	1.40	49.1
Sb LICUADO 2	2.60	70	1.82	63.8
Sb LICUADO 3	2.90	70	2.03	71.2
Sb LICUADO 4	3.55	70	2.48	87.0
Sb LICUADO 5	3.62	70	2.53	88.8
Sb LICUADO 6	3.62	70	2.53	88.8
Sb LICUADO 7	3.70	70	2.59	90.9
Sb LICUADO 8	3.76	70	2.63	92.3
OBSERVACIONES	Se puede notar que a partir del cuarta prueba el % de recuperación comienza a mantenerse casi estable. De los valores obtenidos se puede decir que el valor promedio es de 89.5 % R.			

PRUEBAS DE LICUACIONRECUPERACION DE Sb VOLATILCUADRO NO V-5PESO DE LA CARGA : 5.5 Kg.

MATERIAL	PESO (Kg.)	% Sb.	CONTENIDO METALICO (Kg.)	Sb RECUPERADO %
MINERAL DE Sb	5.00	57	2.850	100.0
Sb ₂ O ₃ 1	0.84	74	0.621	21.8
Sb ₂ O ₃ 2	0.71	74	0.524	18.4
Sb ₂ O ₃ 3	0.53	74	0.390	13.7
Sb ₂ O ₃ 4	0.31	74	0.229	8.0
Sb ₂ O ₃ 5	0.21	74	0.157	5.5
Sb ₂ O ₃ 6	0.23	74	0.171	6.0
Sb ₂ O ₃ 7	0.22	74	0.160	5.6
Sb ₂ O ₃ 8	0.18	74	0.134	4.7
OBSERVACIONES	Se puede comentar que el % Sb recuperado a partir de la carga inicial es de aproximadamente 6% R.			

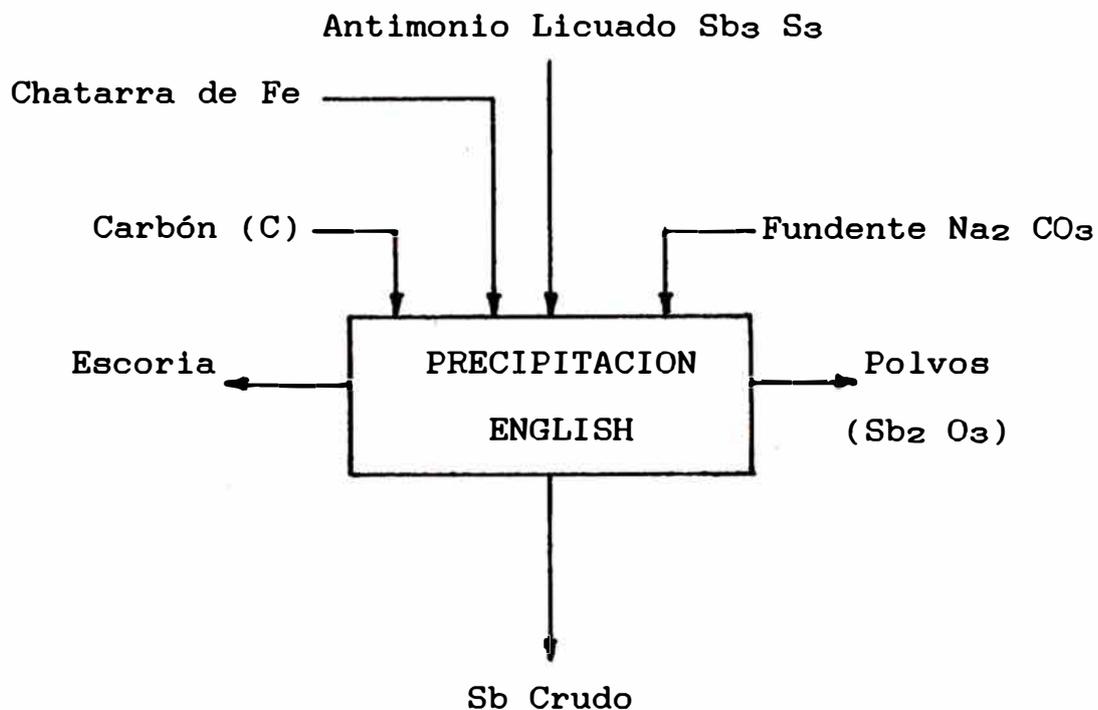
PRUEBAS DE LICUACION
PERDIDAS DE Sb EN ESCORIA

CUADRO Nº V-6

MATERIAL	PESO (Kg.)	% Sb.	CONTENIDO METALICO (Kg.)	PERDIDA DE Sb %
MINERAL DE Sb	5.00	57.0	2.850	100.0
ESCORIA 1	2.30	36.0	0.828	29.1
ESCORIA 2	1.60	32.0	0.512	18.0
ESCORIA 3	1.38	31.0	0.428	15.0
ESCORIA 4	0.46	29.7	0.137	4.8
ESCORIA 5	0.50	31.3	0.157	5.5
ESCORIA 6	0.54	26.8	0.145	5.1
ESCORIA 7	0.42	24.1	0.102	3.6
ESCORIA 8	0.38	23.0	0.087	2.9
OBSERVACIONES	El promedio de pérdida de antimonio en la escoria para este proceso se encuentra entre 4 a 5 %.			

La reacción se acentúa al agregar cualquier fundente, con la cual puede obtenerse rendimientos aceptables.

Se presenta el siguiente diagrama de operaciones:



5.6.2.1 MATERIA PRIMA, INSUMOS Y EQUIPOS

a) Materia Prima

La materia prima empleada para el proceso de precipitación english es el trisulfuro de antimonio ($Sb_2 S_3$) ó antimonio licuado.

El trisulfuro de antimonio obtenido del proceso de licuación tiene una pureza del 70% de Sb.

A continuación se presenta el reporte de laboratorio en lo que se refiere al análisis químico.

PRODUCTO	Componentes en Porcentajes					
	Sb	Fe	S	Pb	As	Residuos
Sb Licuado (Sb ₂ S ₃)	70	2.95	21.54	0.026	0.31	resto

Lab. Químico ZINSA.

b) Insumos

- Chatarra de Hierro: La chatarra empleada debe ser limpia, excepto de toda soldadura plumbífera y en forma de tiras y retazos.

- Fundente: El fundente utilizado fué el carbonato de sodio anhidro, tipo pesado al 99% de pureza.

Cómo segunda alternativa puede utilizarse el bórax, pero con un 20% más en peso.

- Agente reductor: El carbón vegetal ó la antracita es usado cómo agente reductor, reduce los óxidos corrosivos de la escoria, especialmente al FeO.

Tambien permite en cierto grado, a la formación de una atmósfera reductora en el interior del crisol.

- Combustible: Se utilizó el petróleo diesel Nº2

c) Equipos

A continuación damos referencia a los equipos utilizados en éste proceso:

- Horno de fusión a crisol, tipo basculante.

- Sistema de recuperación de polvos.

- Crisol de carburo de silicio, de 10 Kg de capacidad.
- protección refractaria.
- lingoteras y punzones.
- pirómetro.

5.6.2.2 MARCHA EXPERIMENTAL

El objetivo principal de ésta prueba es obtener el crudo de antimonio; hallar el porcentaje de recuperación, pérdidas en escorias y la recuperación del antimonio volatilizado (óxidos). El número de pruebas fué de ocho.

El procedimiento estructurado y experimentado es como se indica:

Horas : 3.30 pm T=250C

Se inicia el experimento bombeando el petróleo hasta llenar el tanque de distribución (50 galones), e inmediatamente se enciende el quemador.

Hora : 4 pm T=2800C

Se introduce la carga consistente en 3 Kg de antimonio licuado, 0.65 Kg de fundente y una capa de carbón de tal manera que cubra la masa.

Oservación. Se observa una gran cantidad de humos blancos (óxidos de Sb: Sb_2O_3 , Sb_2O_5 , etc.) por la chimenea.

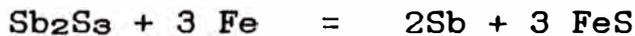
Hora : 4.20 pm T=7000C

Se retira la ganga que no funde y se alimenta 1.5 Kg de viruta de hierro, se remueve toda la masa y se aumenta lentamente la temperatura, siempre adicionando una cierta cantidad de carbón (aprox. 10% carga).

Hora : 4.30 pm T=8500 - 9000C

El hierro es segregado rápidamente por el antimonio licuado

(Sb₂S₃), lo que indica el inicio de la reacción base:



Aproximadamente cada tres minutos se va retirando la escoria formada (FeS), hasta quedar solamente el metal líquido.

Hora : 5 pm T=850º - 900ºC

Se dá por concluído el experimento.

Carga total : 3 Kg

Tiempo total: 2-2,5 hrs.

5.6.2.3 PARAMETROS DEL PROCESO

Se puede decir que el parámetro más importante de este proceso es la temperatura, debido a que, a elevadas temperaturas (superior 900ºC) se corre el riesgo de volatilizar una gran parte del antimonio, y a temperaturas bajas (menor 850ºC), la reacción es lenta y la reducción del antimonio licuado (Sb₂S₃) es pequeña.

De las pruebas experimentales de fundición se han determinado los siguientes parámetros que optimizan los resultados:

- Temperatura de trabajo : 850º - 900ºC.
- Atmósfera en el interior del horno: reductora, aproximadamente 10%.
- Calor necesario : 70,000 a 100,000 Kcal/hora.
- Consumo de petróleo : 2 - 2.5 gal/hora.
- Carga de chatarra de hierro : 45-50% de la carga inicial.
- Carga del fundente : 15% de la carga inicial.
- Carga del carbón : 5 - 10 % de la carga inicial.
- Tipo de escoria : fuertemente básica, 2 a 3

aprox. en la escala carter.

- Tiempo de reacción : Entre 45 y 60 minutos.
- Ciclo de trabajo : 2-3 horas.
- Alimentación : una sola por carga.
- Densidad aparente de la masa fundida: 5 gr/cc.
- Ratio : 1.52

5.6.2.4 TERMODINAMICA DEL PROCESO



El mecanismo de la reacción se fundamenta en la gran afinidad que tiene el hierro por el azufre lo cual determina que, prácticamente, el proceso sea una desulfuración del Sb_2S_3 debido a la acción reductora del hierro.

La reacción es reversible, tendiendo más hacia el lado del Sb a altas temperaturas, pero se corre el riesgo de volatilizar la mayor parte del antimonio y precipitar la escoria en forma de hierro metálico.

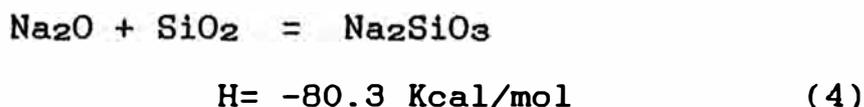
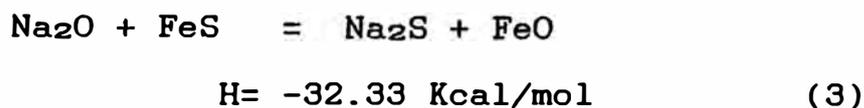
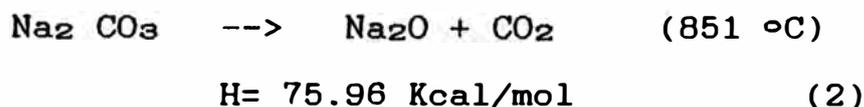
En cambio a bajas temperaturas la reacción es lenta y la conversión del Sb_2S_3 es demasiado pequeña.

La reacción en sí se realiza cuando alcanza cierto grado de activación; es decir, cuando se encuentra al estado fundido y a una temperatura apropiada, en cuyo proceso se desprende aproximadamente unas 29.62 Kcal/mol.

El fundente carbonato de sodio (Na_2CO_3), se emplea fundamentalmente para bajar el punto de fusión de las cargas y la densidad de las escorias. Es decir, permite que las reacciones se realicen a temperaturas menores a 1,000°C

y que las escorias sean más fluidas y menos densas, permitiendo su separación metálica por sedimentación.

Las reacciones principales que ocurren con el Na_2CO_3 son:

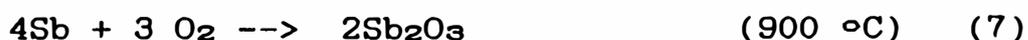
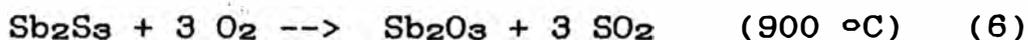


El Na_2O , del carbonato de sodio, (Na_2CO_3) en sí es el verdadero agente fundente.

El carbón (C) es utilizado como agente reductor, reduce los óxidos corrosivos de la escoria, especialmente al FeO según la reacción:



El CO que se libera, permite en cierto grado la atmósfera reductora, evitando de esta manera la oxidación de Sb , de lo contrario se originarían las siguientes reacciones:



La gran afinidad existente entre el antimonio (Sb) y el oxígeno (O_2), es lo que origina la volatilización de éste, al entrar en contacto con el exceso de aire existente dentro del horno.

El porcentaje de chatarra de hierro y fundente puede determinarse de acuerdo a las siguientes fórmulas

prácticas:

$$\% \text{ Fe} = 0.55 x$$

$$\% \text{ Na}_2\text{CO}_3 = 55 - 0.65 x$$

Donde x es el % de antimonio contenido en el mineral estibina. Estas fórmulas son válidas para todo tipo de mineral con leyes mayores de 50% de Sb.

En el Anexo N^o 2 se muestran las propiedades físicas y químicas más importantes de los compuestos que intervienen en el proceso.

5.6.2.5 RESULTADOS EXPERIMENTALES

De las ocho pruebas llevadas a cabo, el régimen de carga fué el de una sola vez por prueba, en la siguiente proporción:

3 Kg de antimonio licuado, Sb_2S_3 .

1.5 Kg de viruta de fierro.

0.65 Kg de carbonato de sodio.

0.30 Kg de carbón vegetal.

En los cuadros N^o V-7, V-8 y V-9 se muestran los resultados tales cómo, el % de recuperación, % de recuperación del antimonio volatilizado y las pérdidas de Sb en la escoria. Asimismo se presentan los certificados del análisis del antimonio crudo.

5.6.2.6 CONCLUSIONES

- La obtención del antimonio crudo por el método de precipitación english es apropiado cuando se parte del Sb licuado.
- El método de precipitación propiamente dicho nos dá una recuperación promedio de 85%, además que con el recuperador

PRUEBAS DE PRECIPITACION : 8 pruebas

% DE RECUPERACION

PESO TOTAL DE LA CARGA : 5.45 Kg.

CUADRO Nº V-7

MATERIAL	PESO (Kg.)	% Sb.	CONTENIDO METALICO (Kg.)	% RECUPERACION
Sb LICUADO	3.00	70.0	2.10	100.0
Sb CRUDO 1	1.48	96.5	1.43	68.1
Sb CRUDO 2	1.52	96.5	1.47	70.0
Sb CRUDO 3	1.63	96.5	1.57	74.8
Sb CRUDO 4	1.71	96.5	1.65	78.6
Sb CRUDO 5	1.76	96.5	1.70	80.9
Sb CRUDO 6	1.86	96.5	1.79	85.2
Sb CRUDO 7	1.89	96.5	1.82	87.7
Sb CRUDO 8	1.97	96.5	1.90	90.5
OBSERVACIONES	A partir de la 5ta. prueba se controló de una manera muy cuidadosa la temperatura, para evitar la volatilización y elevar el % R. Podemos decir que la recuperación promedio es de 85%.			

PRUEBAS DE PRECIPITACION

Sb % VOLATIL RECUPERADO

PESO TOTAL DE LA CARGA

: 5.45 Kg.

CUADRO Nº V-8

PRODUCTO	PESO (Kg.)	% Sb.	CONTENIDO METALICO (Kg.)	% RECUPERACION
Sb LICUADO	3.000	70	2.100	100.0
Sb ₂ O ₃ 1	0.255	74	0.189	9.0
Sb ₂ O ₃ 2	0.312	74	0.231	11.0
Sb ₂ O ₃ 3	0.341	74	0.252	12.0
Sb ₂ O ₃ 4	0.341	74	0.252	12.0
Sb ₂ O ₃ 5	0.341	74	0.252	12.0
Sb ₂ O ₃ 6	0.312	74	0.231	11.0
Sb ₂ O ₃ 7	0.312	74	0.231	11.0
Sb ₂ O ₃ 8	0.227	74	0.168	8.0
OBSERVACIONES	Se puede comentar que el Sb recuperado a partir de la carga inicial es de alrededor del 10%.			

PRUEBAS DE PRECIPITACION
PERDIDAS EN ESCORIA

CUADRO Nº V-9

MATERIAL	PESO (Kg.)	% Sb.	CONTENIDO METALICO (Kg.)	% RECUPERACION
Sb LICUADO	3.000	70.0	2.100	--
ESCORIA 1	3.450	13.4	0.462	22
ESCORIA 2	3.218	12.4	0.399	19
ESCORIA 3	3.010	9.1	0.274	13
ESCORIA 4	2.990	6.3	0.188	9
ESCORIA 5	2.900	3.6	0.104	5
ESCORIA 6	1.600	3.9	0.062	3
ESCORIA 7	0.650	3.2	0.021	1
ESCORIA 8	0.622	3.4	0.021	1
OBSERVACIONES	La pérdida de Sb en la escoria es de aproximadamente 5. %			

de polvos se obtiene un 10% más de recuperación como promedio.

- La recuperación acumulada fluctúa entre 92 - 95 %, lo cual nos dice que éste proceso es factible.

- El antimonio metálico crudo obtenido tiene 96.5% Sb.

-El óxido de antimonio Sb_2O_3 obtenido tiene 74% Sb.

- La pérdida de antimonio en la escoria es relativamente baja, de 5 - 7 % de la carga inicial.

- El ratio de operación es de 1.52

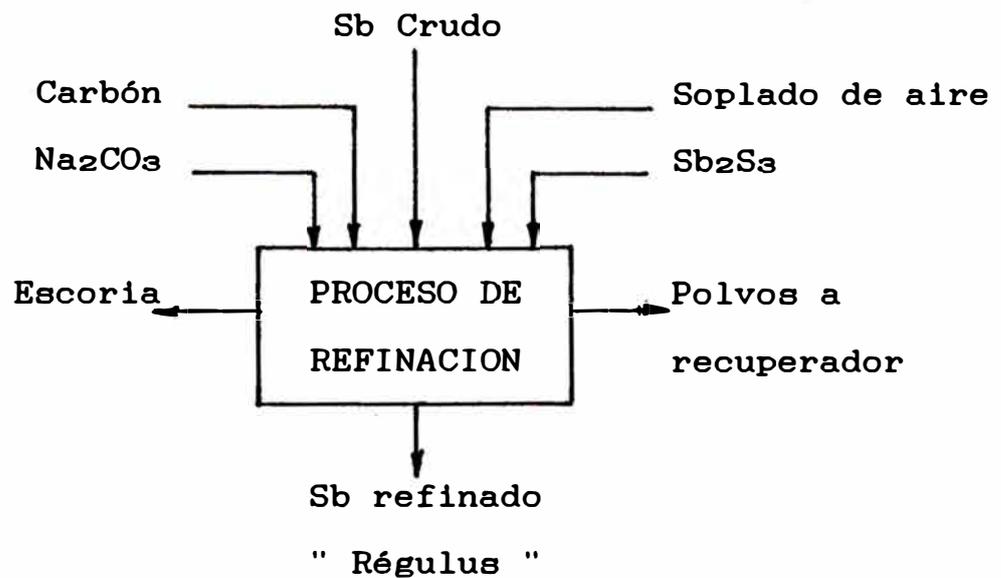
5.6.3 PROCESO DE REFINACION DEL ANTIMONIO CRUDO

Generalmente el antimonio sin refinar suele contener azufre, arsénico, cobre, plomo y hierro. Con la excepción del plomo, todos estos elementos pueden separarse, recurriendo en parte, a la oxidación y escorificación, y en parte, a agentes de sulfuración y de cloruración. La impureza más indeseable es el arsénico, porque al rebajar su contenido hasta la proporción mínima fijada para el producto comercial, tiene lugar una pérdida grande de antimonio y representa un gasto bastante elevado.

El contenido de arsénico se logra reducir, soplando aire a través del metal.

La pureza de antimonio refinado se suele juzgar por el desarrollo de una estructura de helecho ó "estrellado" en la superficie del lingote.

A continuación se presenta el siguiente diagrama de operaciones :



5.6.3.1 MATERIA PRIMA, INSUMOS Y EQUIPOS

a) Materia prima

La materia prima base es el antimonio crudo de 96.5% de pureza, obtenido por el método de precipitación inglés, impurificado por S y Fe en su mayor parte y con un mínimo porcentaje de As y Pb.

b) Insumos

- Carbonato de sodio anhidro, tipo pesado con 99% de pureza.
- Trisulfuro de antimonio (Sb_2S_3), con 98% de pureza como promedio.
- Carbón vegetal ó antracita.
- Soplado de aire, a una presión de 5 Kg/cm².

c) Equipos

- Un horno de crisol tipo basculante de 5 Kg de capacidad.
- Sistema recuperador de polvos.
- Pirómetro, rango 200 - 1,600°C.
- Elementos complementarios, tales cómo portacrisol,

lingoteras, refractarios, punzones, etc.

- Soplador de aire de 1/2 HP, manómetro y lanza para la insuflación de aire.

5.6.3.2 MARCHA EXPERIMENTAL

El número de pruebas metalúrgicas llevadas a cabo fueron ocho, en las cuales el objetivo fue refinar el antimonio crudo, conocer el tiempo de reacción, temperatura de operación y conocer el rendimiento del proceso.

El procedimiento llevado a cabo es tal cómo se detalla a continuación:

PROCEDIMIENTO.-

Dos Kgs. y medio de antimonio crudo debidamente preparados y analizados y 100 gr. de carbonato de sodio, se introducen al crisol.

Se enciende el horno y se eleva la temperatura gradualmente hasta llegar a 850°C. Cuando la carga está totalmente fundida, se agrega 200 gr. de trisulfuro de antimonio (Sb_2S_3) puro y 120 gr. de carbonato de sodio (Na_2CO_3). Se remueve toda la carga manteniendo constante la temperatura y se le adiciona 200 gr. de carbón vegetal en forma de balín.

Se empieza a muestrear cada 30 minutos durante 2 horas y media contadas a partir de la introducción del Sb_2S_3 puro. Luego que el proceso de refinación ha cumplido su ciclo (cuando la mayor parte de las impurezas y en especial el Fe y S, han sido segregados por las escorias formadas) se separa las escorias (sales complejas de antimonio, antimoniatos) y el metal fundido se encuentra listo para la

etapa de remoción del arsénico. Para ésta etapa, se introduce 150 gr de carbón para reducir al máximo la pérdida de Sb por volatilización y 100 gr. de carbonato de sodio; se eleva la temperatura a 950°C y se sopla aire a través del metal líquido mientras éste está recubierto por una escoria de carbonato.

El tiempo de insuflado de aire es de 15 minutos por cada prueba. Como observación, puede comentarse, la gran cantidad de humos blancos (óxidos de As, etc.) que salen por la chimenea.

Finalmente se realiza la colada y se recubren los lingotes con una capa de escoria para originar un enfriamiento lento y formar la superficie estrellada.

El tiempo total empleado en el proceso fué de 3 horas, con un consumo de 2.5 - 3 gal/hora.

La carga total por prueba fue de 3.37 Kg. distribuidos de la sgte. manera:

Antimonio crudo	2.50 Kg.
Carbonato de Sodio	0.32 Kg
Trisulfuro de Sb, (Sb ₂ S ₃)	0.20 Kg
Carbón vegetal	0.35 Kg

5.6.3.3 PARAMETROS DEL PROCESO

De las pruebas experimentales llevadas a cabo, se han determinado los siguientes parámetros que optimizan el proceso:

- Temperatura de refinación : 750 - 850°C
- Tiempo de reacción (después de agregar el refinante principal Sb₂S₃) : 1.5 - 2.5 horas.

- Tiempo total del proceso : 3 - 4 horas.
- Temperatura al momento de insuflar el aire ú oxígeno: 950°C.
- Presión del aire : 5 Kg/cm² aprox.
- Carga de Na₂CO₃ : de acuerdo al % S que contiene el antimonio crudo, oscila entre 4% y 15% de ésta.
- Carga de Sb₂S₃ : de acuerdo al % Fe que contenga el antimonio crudo, oscilando entre 5 - 10% de éste.
- Carga de carbón : aproximadamente 10% de la carga.
- Tipo de proceso : discontinuo.
- Ratio de refinación : 1.04

5.6.3.4 RESULTADOS EXPERIMENTALES

De acuerdo a las pruebas de fundición llevadas a cabo y ~~los análisis químicos respectivos~~ se presentan el % de recuperación, el % de Sb volátil recuperado y la pérdida de Sb en la escoria, en los cuadros N^o V- 10 ,V- 11 y V- 12. Además se presentan los certificados de análisis d laboratorio para el antimonio refinado "régulus".

5.6.3.5 CONCLUSIONES

- El proceso de refinación propiamente dicho nos arroja una recuperación de 94 - 95%.
- La recuperación del Sb en el recuperador de polvos nos dá un 4%.
- La pérdida de Sb en la escoria: 1 - 2%, bien baja comparada con otros procesos.
- La recuperación acumulada para éste proceso tiene como promedio un 98%.
- El antimonio refinado "régulus" tiene un contenido de

99.5% Sb.

- El Sb_2O_3 recuperado es de mayor pureza que el de los procesos anteriores, 76% Sb.
- El contenido de arsénico se rebajó a 0.23% As, mediante la insulfación de aire (O_2), asimismo se rebajó el plomo.
- El tiempo total del proceso es de 3 - 4 horas.
- El ratio de operación es de 1.04
- El ratio total acumulado de las tres pruebas llevadas a cabo es de 2.1
- El porcentaje de recuperación (%R) del conjunto de las tres pruebas es de 83%, esto es sin considerar el % de recuperación de los óxidos de Sb.
- El %R total acumulado es de 90% ,el cual es bastante satisfactorio.

PRUEBAS DE REFINACION : 8
% DE RECUPERACION
PESO TOTAL DE LA CARGA : 3.37 Kg.

CUADRO Nº V-10

MATERIAL	PESO (Kg.)	% Sb.	CONTENIDO METALICO (Kg.)	% RECUPERACION
Sb CRUDO	2.50	96.50	2.41	100.0
Sb REFINADO 1	2.28	98.25	2.24	89.6
Sb REFINADO 2	2.31	98.25	2.27	90.8
Sb REFINADO 3	2.35	98.40	2.31	92.5
Sb REFINADO 4	2.40	99.35	2.38	95.4
Sb REFINADO 5	2.36	99.48	2.35	94.0
Sb REFINADO 6	2.38	99.50	2.37	94.8
Sb REFINADO 7	2.40	99.50	2.39	95.6
Sb REFINADO 8	2.39	99.50	2.38	95.2
OBSERVACIONES	A partir de la prueba Nº 3 se optimizó el tiempo de reacción. Se llegó a una ley de 99.5 % Sb. y un % R de 95% .			

PRUEBAS DE REFINACION : 8
Sb VOLATIL RECUPERADO
PESO TOTAL DE LA CARGA : 3.37 Kg.

CUADRO Nº V-11

MATERIAL	PESO (Kg.)	% Sb.	CONTENIDO METALICO (Kg.)	Sb RECUPERADO DE LA CARGA INICIAL
Sb CRUDO	2.50	96.5	2.41	100.0
Sb ₂ O ₃ 1	0.13	76.0	0.10	4.1
Sb ₂ O ₃ 2	0.15	76.0	0.11	4.7
Sb ₂ O ₃ 3	0.18	76.0	0.14	5.7
Sb ₂ O ₃ 4	0.11	76.0	0.08	3.5
Sb ₂ O ₃ 5	0.10	76.0	0.08	3.2
Sb ₂ O ₃ 6	0.13	76.0	0.10	4.1
Sb ₂ O ₃ 7	0.12	76.0	0.09	3.8
Sb ₂ O ₃ 8	0.12	76.0	0.09	3.8
OBSERVACIONES	Se puede notar que el % Sb recuperado, oscila entre 4-5 % de la carga inicial.			

PRUEBAS DE REFINACION : 8
PEDIDAS DE Sb EN LA ESCORIA
PESO TOTAL DE LA CARGA : 3.37 Kg.

CUADRO Nº V-12

MATERIAL	PESO (Kg.)	% Sb.	CONTENIDO METALICO (Kg.)	% PERDIDA DE Sb
Sb CRUDO	2.50	96.5	2.41	--
ESCORIA 1	0.73	19.2	0.14	5.8
ESCORIA 2	0.75	14.7	0.11	4.6
ESCORIA 3	0.50	8.0	0.04	1.7
ESCORIA 4	0.80	2.5	0.02	0.8
ESCORIA 5	0.78	3.8	0.03	1.2
ESCORIA 6	0.85	3.5	0.03	1.2
ESCORIA 7	0.83	1.2	0.01	0.4
ESCORIA 8	0.85	2.4	0.02	0.8
OBSERVACIONES	En el proceso de refinación la pérdida de Sb en la escoria es bien baja, es alrededor de 1 a 2 %.			

CAPITULO VI

PERFIL ECONOMICO

VI. PERFIL ECONOMICO

CONSIDERACIONES

El presente perfil económico es una proyección de la experimentación en planta piloto, y los análisis de laboratorio efectuados nos aseguran la obtención del producto antimonio refinado "régulus" con una pureza mínima de 99.5% .

Se ha considerado el diseño de una planta para un volumen de tratamiento de 600 TMN al año, para lograr obtener 281 TMF/año de régulus.

Los equipos y materiales para la instalación y puesta en marcha de esta planta son integrante nacionales.

La inversión total asciende a 74,100 dolares . La planta se localizaría en el Dpto. de Lima, provincia de Lima y como segunda alternativa, en la región Wari, provincia de Pisco. El precio de compra del mineral de antimonio es de 300 \$/TMN (5 \$/U.TM). El precio de venta de la libra fina de antimonio refinado "régulus" es de 0.75 \$/Lb

El costo por libra fina producida es de 0.62 \$/Lb.

6.1 ESTRUCTURA DE LA INVERSION

6.1.1 CAPITAL FIJO

6.1.1.1 COSTO DE EQUIPOS Y MAQUINARIA

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNIDAD (US\$)	PRECIO TOTAL(US\$)
1	2	Hornos de crisol tipo basculante.	1,000	2,000
2	3	Crises de grafito 500 Kg. capacidad c/u.	1,000	3,000
3	2	Quemadores, red de com_ bustible y tanque de almacenamiento.	1,500	3,000
4	1	Pirómetro	1,000	1,000
5	1	Filtros de mangas tipo "bag house".	2,000	2,000
6	2	Ventiladores 3 HP	900	1,800
7	1	Extractor de gases de 0.6 HP.	200	200
8	1	Chimenea de 6 mts. de altura.	500	500
9	1	Balanza de 1 TM.	1,000	1,000
10	1	Equipo de Laboratorio	1,000	1,000
TOTAL				15,500

6.1.1.2 COSTO DE CONSTRUCCIONES

ITEM	DESCRIPCION	TOTAL US \$
1	Terreno (en alquiler)	6,000
2	Obras civiles, edificio planta y administración	10,000
3	Contingencias 10% items 1 al 2	1,600
TOTAL		US \$ 17,600

6.1.1.3 COSTO DE INSTALACIONES

ITEM	DESCRIPCION	TOTAL US \$
1	Instalacion de equipos 20% costo equipos	3,000
2	Instalaciones eléctricas y de iluminación	500
3	Implementación de muebles en planta	500
4	Implementación de muebles del laboratorio	500
5	Implementación de muebles para oficina y seguridad	1,000
TOTAL		US \$ 5,500

CAPITAL FIJO = US \$ 38,600

6.1.2 CAPITAL DE TRABAJO

6.1.2.1 MATERIA PRIMA E INSUMOS

Se toma en cuenta los costos para un mes de operación.

- Minerales ó concentrados de Sb :

50 TMN/mes x 1 mes x 300 \$/TMN = 15,000 US \$

- Carbonato de Sodio :

7.5TM/mes x 1 mes x 0.10 \$/Kg x 1,000 Kg/TM = 750 US \$

- Viruta de hierro :

15TM/mes x 1 mes x 0.10 \$/Kg x 1,000 Kg/TM = 1,500 US \$

- Carbón vegetal :

10TM/mes x 1 mes x 0.15 \$/Kg x 1,000 Kg/TM = 1,500 US \$

- Combustible (diesel Nº 2):

2.5gl/hr x 8hr/horno x 2horno/día x 30 días/mes

x 1 meses x 1.3 \$/gl. = 1,560 US \$

SUB-TOTAL = 20,310 US \$

6.1.2.2 MANO DE OBRA

Se va a considerar dos meses de pago de planillas (ver costo de producción)

\$ 8,960

6.1.2.3 ENERGIA ELECTRICA Y SERVICIO DE AGUA

Servicios de electricidad, agua, caja, seguridad, etc.

\$ 6,230

\$ 35,500

CAPITAL DE TRABAJO : \$ 35,500

RESUMEN DE LA INVERSION:

Capital Fijo	38,600 US \$
Capital de Trabajo	<u>35,500 US \$</u>
Inversión	74,100 US \$

6.2 COSTOS DE PRODUCCION

6.2.1 COSTOS FIJOS

- Mano de Obra Indirecta

<u>Planilla</u>	<u>Cant.</u>	<u>\$/mes</u>	<u>\$/año</u>
Jefe de Planta	1	600	7,200
Control de Calidad	1	500	6,000
Mecán.- Electric.	1	350	4,200
Almacenero	1	250	3,000
Secretaria	1	250	3,000
Auxiliar	1	180	<u>2,160</u>
		US \$/año	25,560

- Gastos Administrativos

<u>Concepto</u>	<u>\$/año</u>
Gerente General	12,000
Contador	7,200
Jefe de Logistica	6,000
Secretaria	<u>3,000</u>
	US \$/año 28,200

- Depreciacion

1) **Equipos:** Depreciación lineal en 5 años con 10% del valor de reventa con excepción de crisoles y vidrios.

$$15,500 - 3,000 - 1,000 = \text{US } \$ 11,500$$

$$d = (11,500 - 0.1 \times 11,500)/5 = \quad \$ 2,070$$

2) **Material de Vidrio:** $\$ 1,000$

3) **Construcción:** depreciación lineal en 40 años con valor residual 0.

$$d = 17,600/40 = \quad \$ 440$$

4) **Instalaciones:** depreciación lineal en 10 años con valor residual 0.

d = 5,500/10 = \$ 550

depreciacion total = 4,060 US \$/año

- **Servicios**

Servicios de agua 2,400 \$/año

Servicios de alumbrado 3,600 \$/año

6,000 \$/año

TOTAL COSTOS FIJOS : 63,820 US \$/año

6.2.2 COSTOS VARIABLES

Insumos

- Carbónato de Sodio

7.5 TM/mes x 12 mes/año x 0.10 \$/Kg x
1,000 Kg/TM = 68,400 \$/año

- Viruta de Hierro

15 TM/mes x 12 mes/año x 0.10 \$/Kg x
1,000 Kg/TM = 18,000 \$/año

- Carbón vegetal o antracita

10 TM/mes x 12 mes/año x 0.15 \$/Kg x
1,000 Kg/TM = 18,000 \$/año

- Combustible (petróleo diesel Nº 2)

40 gl/día x 22 días/mes x 12 mese/año x
1.3 \$/gl = 13,728 \$/año
118,128 \$/año

Mantenimiento y reparación

1,000 \$/año

Mano de Obra Directa

<u>Planilla</u>	<u>Cantidad</u>	<u>US \$/mes</u>	<u>US \$/año</u>
Obreros	08	125	12,000
Peones	02	72	1,728
Supervisor	01	200	<u>2,400</u>
			16,128
TOTAL COSTOS VARIABLES :			135,256 US \$/año

RESUMEN COSTOS DE PRODUCCION

Costos Fijos	:	63,820 US \$/año
Costos Variables	:	<u>135,256 US \$/año</u>
Costos de Producción	:	199,076 US \$/año

6.3 ESTADO DE PERDIDAS Y GANANCIAS

6.3.1 INGRESOS

Metal antimonio " régulus"

280 TMF/año x 1,650 \$/TMF = 462,000 US \$/año

TOTAL INGRESOS 462,000 US \$/año

6.3.2 EGRESOS

Materia prima (600 TMN) 180,000 US \$/año

Costo de producción 199,076 US \$/año

TOTAL EGRESOS 379,076 US \$/año

RESUMEN DE UTILIDADES Y PERDIDAS

Total Ingresos 462,000 US \$/año

Total Egresos 379,076 US \$/año

Utilidad Bruta Anual 82,924 US \$/año

Luego :

Utilidad (pérdida) anual 82,924 US \$/año

Costo por TMN tratada 631 US \$

Costo por TMF producida 1,354 US \$

Costo por Lb. fina producida 0.62 US \$

6.3.3 INDICES DE RENTABILIDAD

Rentabilidad sobre Capital Fijo 214 %

Rentabilidad sobre la inversión total 106 %

CAPITULO VII

CONCLUSIONES GENERALES

VII. CONCLUSIONES GENERALES

7.1 CONCLUSIONES

1. El alto rendimiento de recuperación del antimonio, hace que el proceso completo de obtención del antimonio refinado, sea rentable.

2. Las pérdidas totales de Sb en todo el proceso de obtención de Sb refinado, no supera el 10% , lo cual es bastante aceptable para cualquier procedimiento de éste tipo de producto.

3. El equipo de recuperación de óxidos de Sb , tipo "bag house", cumple casi en su totalidad los requerimientos para los cuales fue diseñado e instalado.

4. Los resultados hallados, que son aceptables, no son necesariamente los más óptimos, especialmente en los que se refiere al rendimiento del mismo. El tiempo de reacción y la temperatura de operación encontrados son los más adecuados.

5. El proceso de refinación por escoriación con Sb_2S_3 , Na_2CO_3 e insuflación de aire (O_2), permite la obtención de Sb refinado con una pureza mínima de 99.5 % estando éste sujeto al % de As y Pb que contenga el Sb crudo.

El Sb crudo obtenido tiene una ley de 96.5 % Sb.

6. Los insumos mencionados son apropiados, ya que cumplen con la función de segregar el Fe, S, Cu y parte del As y Pb para formar escorias (sales complejas de Sb) que pueden eliminarse fácilmente. En caso del que el Sb crudo contenga

más del 0.3% As y más de 0.3% de Pb, estos elementos forman compuestos intermedios, que difícilmente se separa del Sb, por lo tanto se debe eliminar en especial el As por efecto de la inyección de aire (oxidación).

7. Las variables y parámetros operativos determinados en los procesos empleados, son satisfactorios y tienen el margen necesario de seguridad para su empleo.

8. El ratio acumulado del conjunto de las tres pruebas es de 2.1 .

9. El %R total de las tres pruebas es de 83% ,esto es sin tener en cuenta el %R de los óxidos de Sb.

10. El %R total acumulado es de 90% .

11. El perfeccionamiento del proceso general estudiado es necesario y está sujeto a la obtención de Sb refinado en una unidad productiva.

12. Se ha considerado para la elaboración del perfil económico el diseño de una planta de tratamiento de 800 TMN al año, cuya inversión total asciende a 74,100 dolares.

13. Se tiene una utilidad anual de 82,924 dolares.

14. Una mayor utilidad será función del costo de la materia prima y del precio de venta del metal "régulus" .

ANEXOS

ANEXO 1

INDICES TECNICOS Y ECUACIONES PRINCIPALES UTILIZADAS EN EL DISEÑO DEL RECUPERADOR DE POLVOS (OXIDO DE Sb).

INDICES.-

- Temperatura de humos en la chimenea	800-900 °C	
- Temp. requerida en la cámara de precipit.	120-150 °C	
- Temp. del agua de referencia	20 °C	
- Punto de rocío del Sb_2O_3	100-120 °C	
- Calor específico de gases	0.37 Kcal/m ³	
- Densidad de gases	1.3 Kcal/m ³	
- Conductividad térmica de gases	0.025 Kcal/m ² -hr-°C	DE EN
- Diámetro del tubo	10.16 cm	
- Volumen de humos	150-200 m ³ /hr	
- Viscosidad de gases	0.03 centipoises	
- Conductividad térmica del tubo de hierro galvanizado	39-46 Kcal/m ² -hr-°C	

ECUACIONES.-

$$- Q = m C_p (T_2 - T_1)$$

$$- Q = U \cdot S \cdot (T_2 - T_1)$$

$$- T_m = \frac{T_2 - T_1}{2.3 \log (T_2/T_1)}$$

$$- \frac{1}{U_2} = \frac{D_2}{h_1 D_1} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_2} \quad (\text{basado en el \u00e1rea externa del tubo})$$

$$- Nu = 0.34 Re \quad (\text{para gases})$$

$$- Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (\text{para el agua})$$

$$- Nu = \frac{h \cdot D_i}{k}$$

$$- Re = \frac{D \cdot V \cdot d}{u}$$

$$- P_i = K_c \cdot v \cdot u$$

$$- P = \frac{r \cdot Q^2}{16} \quad (\text{en mm. de columna de agua})$$

$$- P_b = \frac{V P}{34}$$

$$- Pr = \frac{C_p \cdot u}{k}$$

NOMENCLATURAS.-

Cp	:	Calor específico de gases
D	:	Diámetro De: diámetro externo Di: diámetro interno
d	:	Densidad
h	:	Coefficiente de película
k	:	Conductividad térmica
L	:	Espesor del tubo
m	:	Peso total de gases
Nu	:	Número de Nusselt
Pb	:	Potencia del motor
Pi	:	Caída de presión
Q	:	Velocidad de transmisión de calor
r	:	Resistencia del sistema al flujo de calor
Re	:	Número de Reynolds
S	:	Area superficial
T.-T	:	Diferencias de temperaturas entre los gases en la chimenea y en la cámara de precipitación.
Tm	:	Temperatura logaritmica
T.	:	Diferencia de temperatura entre el inicio y el filtro
u	:	Viscosidad
v	:	Velocidad lineal
V	:	Volumen de gases

DETERMINACION DEL COEFICIENTE TOTAL DE TRANSMISION DE CALOR

Datos experimentales

- Volumen de gases:

120 m³/hr (1.5-2 gal. de petróleo/hr)

- Temperatura de gases:

T₁ = 700 °C (inicial)

T₂ = 150 °C (final)

- Temperatura del agua:

T₃ = 20 °C (inicial)

T₄ = 60 °C (final)

Haciendo uso de la ecuación básica $U=Q/S.T_m$ se determina que $U= 13 \text{ Kcal/m}^2\text{-hr-}^\circ\text{C}$ con un margen de seguridad de $\pm 20\%$ dependiendo de la velocidad de los gases en forma proporcional.

Cálculos

$$Q = m \cdot C_p (T_2 - T_1) = (120) (0.36) (700 - 150)$$

$$Q = 23,760 \text{ Kcal/m}^2\text{-hr-}^\circ\text{C}$$

$$T_m = \frac{\frac{700 + 150}{2} + \frac{20 + 60}{2}}{2} = 232.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$S = 2\pi rh = (2) (3.14) (0.125) (10)$$

$$S = 7.85 \text{ m}^2$$

$$U = \frac{23,760}{(7.85) (232.5)} = 12.9 \text{ Kcal/m}^2\text{-hr-}^\circ\text{C}$$

ANEXO 2

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS MAS IMPORTANTES DE LOS COMPUESTOS QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO

COMPUESTO	PESO MOLECULAR	DENSIDAD gr/cc	PUNTO DE FUSION °C	PUNTO DE EBULL. °C	H. DE FORMACION Kcal/mol
$Sb_2 S_3$	339.70	4.64	550	-	- 38.20
Sb	121.76	6.68	650	1380	0.0
$Sb_2 O_3$	291.52	5.20	652	-	- 165.40
Fe	55.85	7.86	1536	3000	0.0
FeS	87.92	4.80	1193		- 22.60
FeO	71.85		1380		- 64.60
Na_2CO_3	106	2.53	851		- 269.46
$Na_2 O$	61.99	2.27	Sublima		- 99.45
SiO_2	60.09	2.41	1470		- 203.35
Na_2SiO_3	122.05		1088		- 383.10
$Na_2 S$	78.05	1.86			- 89.80
C	12.10	2.26	3500	4200	0.0
CO	28.01		- 207	- 192	- 26.41
CO_2	44.01		- 56.6	- 78.5	- 94.05
$As_2 O_3$	197.82	3.85	Sublima		- 154.10

BIBLIOGRAFIA

- **ENCICLOPEDIA DE TECNOLOGIA QUIMICA**
Raymond Kirk - Donald F. Othner
Ed. U.T.E.H.A. , Tomo II - México 1,961

- **MINERALES ESTRATEGICOS**
De Mille John
Ed. Madrid Aguilar S.A. , 1,949

- **ENCICLOPEDIA DE QUIMICA INDUSTRIAL**
Ullman Fritz
Tomo VI , Barcelona 1931-1935

- **METALURGIA EXTRACTIVA DE LOS METALES NO FERROSOS**
Bray John
Ed. Interciencia - Madrid 1962

- **THE METALLURGY OF ANTIMONY**
Centromin - Perú
Dpto. F.R. (folleto) , 1987

- **" PROCESSING SUMES : The base case and oportunities of
improvement "**
J. of Metals , Ang. 1990 , pp. 38-44

- **INTERNATIONAL LEAD ZINC RESEARCH ORGANIZATION**
Inc. ILZRO Research Digest Nº 18, Octubre 1966.

- " ELECTROLYTIC LEAD REFINING AS PRACTICED by the CERRO DE PASCO CORPORATION AT LA OROYA "

AIME World Symposium on Mining & Metallurgy of Lead & Zinc - 1970 , Vol. II , pp. 891-915 .

- RECOPILACION DE INVESTIGACION

ILZRO Research Digest Nº 21 y Nº 22, 1968.

- ELECTROLYTIC RECOVERY OF ANTIMONY FROM ANTIMONIAL GOLD ORES

U.S. Bur. Mines Rept. Investigation 3491, feb. 1940

- "THE METALLURGE OF NON-FERROUS METALS"

GOWLAND, 4th ed., 1936, pp. 570-575.

- TREATING ANTIMONY ORES

HULST, Vol. 21, p. 727, 1919.

Chem. & Met. Eng.