

# I Introducción

## I.I Antimonio [1, 4, 18]

Antimonio, Sb, en la tabla periódica de elementos se encuentra en el grupo 4, con número atómico 51, masa atómica de 121.75 uma. Tiene 2 isótopos en forma natural con número de masa 121 y 123. Tiene configuración electrónica  $5s^2 5p^3$ . Si sus electrones son cedidos, el Antimonio es electropositivo y trivalente, como en  $SbCl_3$ , o pentavalente como en  $SbCl_5$ ; si tres electrones son adicionados a su configuración electrónica, el Antimonio es electronegativo y trivalente, como en  $SbH_3$ .

Normalmente el Antimonio tiene un lustre blanco metálico, y un promedio de dureza de 3.0 en la escala de Mohs. Es frágil y fácil de pulverizar. Si se solidifica lentamente, el Antimonio puro tiene una estructura foliada, si es rápidamente, una estructura granular. Forma cristales romboédricos.

### I.I.I Propiedades físicas del Antimonio [4]

Las propiedades físicas del Antimonio se enlistan en las tablas I y II.

Tabla I. Propiedades físicas del Antimonio.

Densidad	sólido a 20°C	6.688 g/cm <sup>3</sup>
	líquido a 630.5°C	6.55 g/cm <sup>3</sup>
Punto de fusión		630.5°C
Calor de fusión		10.49 kJ/mol
Punto de ebullición a 101.3 kPa		1325°C
Resistencia a la tracción		10.8 N/mm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad		566 N/mm <sup>2</sup>
Tensión superficial	sólido a 432 °C	317.2 mN/m
	líquido a 630 °C	349 mN/m
	líquido a 1200 °C	255 mN/m

La tensión superficial del sólido disminuye casi linealmente con la temperatura. La pendiente en el punto de fusión es de - 0,07 mN/(m K).

Tabla II. Propiedades físicas (térmicas y eléctricas) del Antimonio.

Capacidad calorífica molar	sólido	30.446 J/ (mol K)
	líquido	31.401 J/ mol K)
Coeficiente de expansión lineal entre 0 y 100 °C		$10.8 \times 10^{-6}$
Resistividad eléctrica a 0 °C		$30.0 \times 10^{-6} \Omega \text{ cm}$
Susceptibilidad molar a 20 °C		$-99.0 \times 10^{-6}$
Conductividad térmica	a 0 °C	18.51 W/ (m K)
	a 100 °C	16.58 W/ (m K)

La conductividad térmica del Antimonio es aproximadamente 5% de la del Cobre y depende del tamaño de grano y la dirección en el cristal.

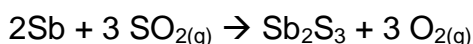
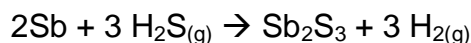
El Antimonio policristalino es diamagnético.

### I.I.II Propiedades químicas del Antimonio [4].

El metal Antimonio puro, al estar expuesto al aire húmedo o agua a temperatura ambiente, no reacciona y no pierde su brillo. Si se calienta al rojo, expuesto al aire, el metal fundido (630.63°C), reacciona inmediatamente con el oxígeno, se inflama. Por encima de 750 °C, el Antimonio líquido se oxida y vaporiza en Trióxido de Antimonio. Si se calienta al rojo, en una corriente de nitrógeno, se desprenden vapores grises, que se condensan en antimonio amorfo. El Antimonio no reacciona en una corriente de gas Hidrógeno. El Antimonio se elimina de las aleaciones base Plomo, por evaporación, el punto eutéctico con plomo contiene un 13% en peso de antimonio y se funde a 246 °C.

El antimonio fundido reacciona con el Fósforo, Selenio, Arsénico, y Teluro, pero no con Boro, Carbono y Silicio.

El Antimonio líquido o sólido no reacciona en Nitrógeno. Con el Flúor, Cloro, Bromo y Yodo reaccionan inmediatamente, incluso a temperatura ambiente, para formar trihaluros. La reacción con el Cloro produce  $\text{SbCl}_3$  o una mezcla de  $\text{SbCl}_3$  y  $\text{SbCl}_5$ . El Sulfuro de Antimonio (III) es el producto de la reacción con Azufre, del Ácido Sulfídrico o Dióxido de Azufre seco.



El Sulfuro de Antimonio es resistente a Ácidos Fluorhídrico concentrado, Clorhídrico diluido y Nítrico diluido. Es fácilmente soluble en una mezcla de Ácidos Nítrico y Tartárico y en agua regia. El Ácido Fosfórico y pocos ácidos orgánicos también lo disuelven, aunque el Ácido Acético apenas pertenece a esta categoría. A temperatura ambiente no es atacado por Ácido Sulfúrico concentrado o diluido, al aumentar la temperatura a 90-95 ° C si reacciona, y se libera Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_{2(g)}$ ).

El metal Antimonio es resistente a las soluciones de Hidróxidos Alcalinos y de Amonio y Carbonato de Sodio fundido. Si se calienta al rojo, reacciona con los Hidróxido de Sodio y Potasio, fundidos, para formar gas de Hidrógeno y Antimonitos.

En la serie electroquímica el Antimonio se encuentra entre el Bismuto y el Mercurio: H, Cu, Bi, **Sb**, Hg, Ag, Pt [28].

El Antimonio metálico es el único alótropo estable, las formas inestables son: Antimonio amarillo, Antimonio amorfo negro, y lo que se conoce como el Antimonio explosivo. El Antimonio amarillo se forma cuando el aire o el Oxígeno pasa a través de Estibinita líquida.

El Antimonio negro es obtenido por rápido enfriamiento de Antimonio vapor y también a partir de Antimonio amarillo, a  $-90^{\circ}\text{C}$ . A temperatura ambiente el Antimonio negro vuelve lentamente a Antimonio metálico, y a  $400^{\circ}\text{C}$  ésta reversión es espontánea.

El Antimonio negro inflama espontáneamente en contacto con el aire. El Antimonio explosivo se obtiene por electrólisis de Antimonio (III) en solución de Cloruro de Ácido Clorhídrico, a una alta densidad de corriente. [5, 7, 16].

## I.II Ocurrencia.

El contenido de Antimonio promedio en la corteza de la Tierra se encuentra entre  $(2 \text{ a } 5) \times 10^{-5}\%$ . La mayoría de vetas de Antimonio se producen en zonas de actividad volcánica y con frecuencia en las mismas rocas volcánicas. Se encuentran principalmente en antiguas formaciones que van hasta el Carbonífero. Sus depósitos rara vez son de origen sedimentario o epigenético.

El mineral de Antimonio más importante es rómbico (*Antimonio vistazo*) (Antimonio gris, Antimonita o Estibinita),  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ . Contiene 71.7% de Antimonio y se presenta en cristales aciculares negros. Otros minerales son los Óxidos de Antimonio (Valentinita  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ , romboédrico; Senarmontita,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ , cúbico; Cervantita,  $\text{Sb}_2\text{O}_4$ , ortorrómbico), Hidróxidos de Antimonio (Estibiconita,  $\text{Sb}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), Oxi-sulfuros de Antimonio (Kermesita, Pyrostibita, Antimonio rojo,  $2\text{Sb}_2\text{S}_3 \cdot \text{Sb}_2\text{O}_3$ ), Antimonio nativo y Sulfuros dobles (Jamesonita,  $\text{Sb}_2\text{S}_3 \cdot 2\text{PbS}$ , que puede contener Plata, tetraedrita,  $\text{Sb}_2\text{S}_3 \cdot 4\text{Cu}_2\text{S}_2$  y Livingstonita,  $2\text{Sb}_2\text{S}_3 \cdot \text{HgS}$ ). Se sabe que hay más de 100 minerales que contienen Antimonio: hay 8 Antimoniuros, 1 Sulfuro (Estibinita), 59 Antimoniuros y Sulfuros mixtos, y 46 Óxidos.

Los depósitos simples de Antimonio consisten principalmente de Estibinita o, raramente, el Antimonio nativo en una ganga silíceo, generalmente con alguna Pirita, y en algunos lugares un poco de Oro y pequeñas cantidades de otros Sulfuros metálicos, principalmente de Plata y Mercurio. La mayoría de estos depósitos de Estibinita simple contienen algunos miles de toneladas de mineral. Los depósitos de este tipo se encuentran en distintos lugares en el mundo como Bolivia, China, México, Rusia y Sudáfrica.

Los complejos depósitos de Antimonio consisten en Estibinita asociada con Pirita, Arsenopirita, Cinabrio, Scheelita o de Sulfosales de Antimonio con distintas cantidades de Cobre, Plomo y Plata, así como los sulfuros de estos metales comunes y Zinc.

En yacimientos complejos donde se extraen principalmente Oro, Plomo, Plata, Tungsteno o Zinc, el Antimonio se recupera como subproducto.

Los minerales de Tetraedrita que se encuentran en Coer d'Alene distrito de Idaho son un ejemplo típico de minerales Plata-Cobre complejos, que se extrae principalmente por su contenido de Plata, Cobre y el Antimonio se recupera, en un concentrado, como un subproducto.

Los depósitos principales de Antimonio identificados en el mundo se estima que contienen  $(3 \text{ a } 5) \times 10^6$  t de Sb. Alrededor de 50% de los recursos mundiales están localizados en China, principalmente en el sur en la provincia de Hunan. Recursos de Antimonio de unos  $(2 \text{ a } 3) \times 10^5$  t de Sb se encuentran en Bolivia, Sudáfrica, México y la ex Unión Soviética (Asia Central, los Urales y las montañas del Cáucaso). Depósitos de aproximadamente 100,000 t se encuentran en Australia, Italia, la antigua Yugoslavia, Malasia, Tailandia, Turquía y Estados Unidos, mientras que los depósitos pequeños se encuentran en Birmania, Francia, Canadá, Marruecos, Austria, Perú, España y Zimbabwe.

Las tablas III y IV muestran la producción minera mundial de Antimonio, la cual se mantuvo prácticamente constante entre 1987 y 1997.

Desde 1987 China ha dominado la producción de minerales de Antimonio y sus concentrados. Su fuerte posición de mercado con una cuota de aproximadamente el 60-70% de la producción minera mundial de Antimonio se ha mantenido casi constante. Otros países con grandes producciones de materia prima de Antimonio son Bolivia (7.1%), los países de la antigua Unión Soviética (6,8%) y Sudáfrica (4,1%).

La mayor mina de Antimonio en el mundo, Murchinson Range, se encuentra en las tierras bajas del noreste de Transvaal, Sudáfrica. Muchos tipos de minerales están presentes en el cinturón de Murchinson incluyendo el Antimonio, Oro, Mercurio, Cobre, Zinc, Tungsteno-titanífero-magnetita y Esmeraldas. Actualmente, sólo tres de estos productos - Antimonio (de Oro como subproducto), oro y esmeraldas - son explotados. El depósito de Antimonio consiste en su mayor parte de Estibinita ( $Sb_2S_3$ ), que se extrae a 60 m bajo tierra.

A diferencia de la minería a gran escala en el sur de África, la mayoría de las minas de Bolivia son mucho menores, siendo la mayor Chilcobija (850,000 t), Caracola (120,000 t) propiedad de Empresa Unificada SA (EMUSA) y San Luis (35,000t).

En Bolivia el mineral de Antimonio se extrae a 50 metros bajo tierra. Otros depósitos más pequeños que se minan económicamente se encuentran en Turquía, donde las 400 t de Sb de producción se divide entre muchos yacimientos pequeños [1, 4, 19, 21-23].

Tabla III. Producción minera de Antimonio por país de 1987 a 1997 en tm [4].

<b>País \ Año</b>	<b>1987</b>	<b>1989</b>	<b>1991</b>	<b>1993</b>	<b>1995</b>	<b>1997</b>
Marruecos	467	140	157	168	170	160
Sudáfrica	6,673	5,201	4,485	4,485	5,537	5,000
Zimbabwe	153	136	104	62	37	5
<b>África total</b>	<b>7,293</b>	<b>5,477</b>	<b>4,746</b>	<b>4,715</b>	<b>5,744</b>	<b>5,165</b>
Bolivia	10,635	9,189	7,287	5,556	6,426	8,700
Canadá	3,531	2,818	429	673	684	673
Guatemala	1,880	1191	590	90	665	880
Honduras	30	44	0	0	0	0
<b><u>México</u></b>	<b><u>2,839</u></b>	<b><u>1,906</u></b>	<b><u>2,752</u></b>	<b><u>1,494</u></b>	<b><u>1,783</u></b>	<b><u>1,909</u></b>
Estados Unidos	0	2,500	2,300	266	262	356
<b>América total</b>	<b>18,915</b>	<b>17,648</b>	<b>13,358</b>	<b>8,079</b>	<b>9,820</b>	<b>12,518</b>
China	66,400	50,000	58,300	60,000	69,395*	95,000*
Tailandia	569	495	96	620	230	60
Turquía	1,673	1,465	288	111	416	400
<b>Asia total</b>	<b>68,642</b>	<b>51,960</b>	<b>58,684</b>	<b>60,731</b>	<b>70,041</b>	<b>95,460</b>
<b>Europa total**</b>	<b>2,280</b>	<b>2,297</b>	<b>1,757</b>	<b>400</b>	<b>400</b>	
Rusia				7,120	6,000	6,000
Kirguistán				2,500	1,500	1,200
Tayikistán				1,200	1,000	1,200
<b>Ex Unión Soviética total</b>	<b>8,800</b>	<b>2,500</b>	<b>8,500</b>	<b>10,820</b>	<b>8,500</b>	<b>8,400</b>
Australia	1,231	1,419	1,300	1,700	900	1,900
<b>Total mundial</b>	<b>107,161</b>	<b>81,301</b>	<b>89,465</b>	<b>86,445</b>	<b>95,395</b>	<b>123,443</b>

\* La producción minera en la fila de China de 60 000 a 120 000 t / año depende de la fuente de la literatura.

\*\* Francia, Austria, Italia, España, República Checa, Eslovaquia, Rumania, la antigua Yugoslavia, Rumania.



Tabla IV. Producción minera de Antimonio por país de 2004 al 2008 en tm [21].

<b>País \ Año</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
<i>México</i>	-	565	778	414	380
Australia <sup>1</sup>	120	120	1,600	1,010	1,500
Bolivia	2,633	5,098	5,460	3,881	3,500
Canadá <sup>2</sup>	88	66	226	162	97
China	125,000	152,000	153,000	163,000	180,000
Guatemala	2,686	1,007	0	1,000	1,000
Kirguistán	20	10	50	10	10
Perú	356	807	810	810	810
Rusia	3,000	3,000	3,500	3,500	3,500
Sudáfrica <sup>2</sup>	4,967	5,979	4,362	3,354	2,800
Tayikistán	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Tailandia	52	347	1,409	0	0
Turquía	700	1,200	1,100	1,200	1,300
<b>Total</b>	<b>142,000</b>	<b>172,000</b>	<b>174,000</b>	<b>180,000</b>	<b>197,000</b>

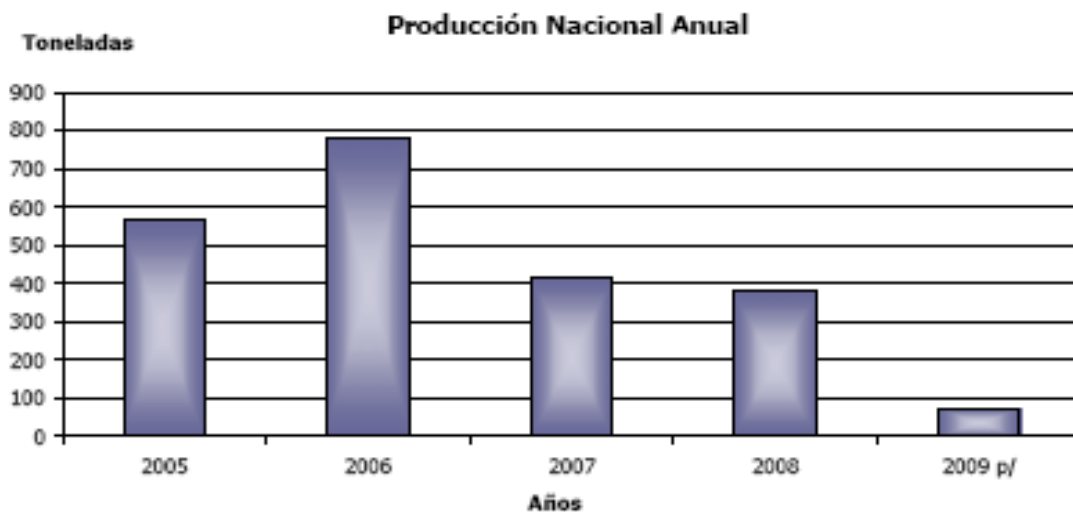
<sup>1</sup>Contenido en Antimonio mineral y en concentrados de Plomo y Zinc.

<sup>2</sup>Contenido en concentrado de Antimonio.

En México, durante la segunda guerra mundial, se llegó a explotar una gran cantidad de Antimonio, pero al término de ésta se abandonaron las minas de Estibinita, en la actualidad la producción de éste metal ha disminuido como lo muestran los siguientes datos (Tablas V y VI, Gráfica 1).

Tabla V. Volumen de la producción por entidad federativa, 2005-2009, (tm) [10].

<b>Estados\Años</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
Coahuila	319.79	778.00	414.00	380.00	74.00
Nuevo León	245.21	-	-	-	-
Total	565.00	778.00	414.00	380.00	74.00



Grafica 1. Producción Nacional Anual en tm [10].

Tabla VI. Valor de la producción por Entidad Federativa, 2005-2009 (millones de pesos) [10].

<b>Estados\Años</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
Coahuila	12.023	45.779	25.618	26.141	4.406
Nuevo León	9.219	-	-	-	-
Total	21.242	45.779	25.618	26.141	4.406