



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

YACIMIENTOS MINERALES DE ANTIMONIO, GEOLOGÍA, CLASIFICACIÓN, ESTUDIO ECONÓMICO Y APLICACIONES

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO GEOLOGO

PRESENTA

LAURA GIRON ARTEAGA

DIRECTOR

ING. GERMAN ARRIAGA GARCIA



MÉXICO, D.F.

2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento muy especial al Ing. Germán Arriaga García, por su gran apoyo en la realización de este trabajo.

Así como también al Ing. Miguel Vera Ocampo, por sus valiosas observaciones.

Y a los ingenieros:

Ing. Carlos Garza González-Vélez
Ing. Juan Medina Ávila
Ing. Fernando Rosique Naranjo

Contenido

I.-Generalidades

I.1.- Introducción.....	1
I.2.- Objetivo de trabajo.....	2
I.3.- Síntesis de la historia del antimonio.....	3
I.4.- Propiedades del antimonio.....	7
I.5.- Minerales del antimonio.....	11

II.-Geoquímica del antimonio

II.1.- Cristalografía.....	16
II.2.- Isótopos.....	21
II.3.- Abundancia en meteoritos.....	22
II.4.- Abundancia en materiales lunares.....	23
II.5.- Abundancia en minerales formadores de roca.....	24
II.6.- Abundancia en rocas ígneas.....	25
II.7.- Abundancia en suelos.....	28
II.8.- Abundancia en aguas naturales.....	28
II.9.- Abundancia en rocas sedimentarias comunes.....	30
II.10.- Abundancia en rocas metamórficas comunes.....	31
II.11.- Bioquímica.....	32
II.12.- Promedio de abundancia.....	33

III.-Clasificación de los yacimientos de antimonio

III.1 Clasificación de los yacimientos de antimonio.....	34
--	----

IV.- Provincias Metálicas de antimonio

IV.1.- La Provincia Sinian, China.....	37
IV.2.- La Provincia Mexicana	
IV.2.1.-Antimonio en el estado de Sonora.....	42
IV.2.2.-Antimonio en el estado de San Luís Potosí.....	45
IV.2.3.-Antimonio en el estado de Durango.....	55
IV.2.4.-Antimonio en el estado de Querétaro.....	60
IV.2.5.-Antimonio en el estado de Oaxaca.....	61
IV.2.6.-Antimonio en el estado de Guerrero.....	65
IV.2.7.-Antimonio en el estado de Chihuahua.....	66
IV.2.8.-Antimonio en el estado de Puebla.....	67
IV.2.9.-Antimonio en el estado de Guanajuato.....	70
IV.2.10.-Antimonio en el estado de Michoacán.....	75
IV.2.11.- Antimonio en los estados de Zacatecas, Aguascalientes y Jalisco	78
IV.3.- La Provincia Andina.....	82
IV.4.- Provincia Cordillera de Norte América.....	85

IV.5.- Provincia Cordillera del Este de Australia.....	87
IV.6.- La provincia de Argelia	88
IV.7.- La provincia Francesa.....	88
IV.8.- La provincia de Yugoslavia.....	89
IV.9.- La provincia Checa y Hungría.....	90
IV.10.- La provincia de Italia.....	91
IV.11.- La provincia de Alemania, España y Portugal.....	92
IV.12.- La provincia de África.....	93
IV.13.- Otras regiones.....	93

V.- Geología de los depósitos de antimonio

V.1.- Geología de los depósitos de antimonio.....	96
V.2.- Modelo de yacimiento de antimonio tipo Wadley.....	99

VI.- Usos y estadísticas

VI.1.- Usos del antimonio.....	104
VI.2.- Efectos del antimonio sobre la salud.....	109
VI.3.- Estadísticas.....	111

VII.- Conclusiones.....117

Bibliografía

I.1.- Introducción

La historia de la minería del antimonio en México data desde el último decenio del siglo pasado. Con anterioridad, aunque ya se sabía que dichos minerales existían aquí, no se les dio mayor importancia ya sea porque los mineros estaban dedicados a explorar y explotar otros metales, o porque no existiendo el mercado y la demanda, no existía un aliciente para inducir a su exploración.

Durante el tiempo que se han trabajado las minas de antimonio en México, la exploración ha sufrido una sucesión de períodos de auge y depresión, señalados por la mayor o menor demanda, que crece enormemente con los grandes conflictos armados, en tales periodos históricos es cuando más se ha producido. La demanda de antimonio se hizo especialmente durante la última guerra, cuando las industrias de los países aislados se veían privados del antimonio chino, que siempre había constituido la principal fuente de abastecimiento del mundo. En consecuencia las minas mexicanas han producido toneladas considerables y el país ha tenido lugar preferente como exportador de minerales de antimonio.

Los indicios de minerales de antimonio en el país son numerosos. Sin embargo, pueden señalarse dos grandes zonas con yacimientos comerciales. Una en la porción “central” del país abarcando los estados de Querétaro, Zacatecas, San Luís Potosí, Durango, y la segunda área es la porción del “Pacífico” que abarca Oaxaca, Guerrero, Michoacán, y Sonora.

Generalmente los yacimientos de antimonio en México están asociados a rocas calizas cretácicas y a pizarras calcáreas o lutitas. Otras veces están asociadas a rocas ácidas efusivas del terciario. Morfológicamente pueden constituir en mantos que se ajusten a las estructuras de los terrenos encajonantes, en vetas siguiendo los planos de fallas y llenando parcialmente zonas de brechas.

El mineral común es la estibinita y óxidos de antimonio, como la cervantita. Ocasionalmente el antimonio se presenta asociado a minerales de plomo y también a minerales con mercurio. Estos productos son de escaso valor comercial y constituye un subproducto de interés secundario.

En México se han explotado minerales de alta ley así como de ley media, es decir superiores al 30% de contenido de antimonio, como sulfuros, óxidos o mezclas de ambos. Por consiguiente, los volúmenes explotados en cada yacimiento han sido relativamente de poco tonelaje al aprovecharse exclusivamente este tipo de minerales. Sin embargo existen áreas que tradicionalmente han sido productoras de antimonio trabajando diversas minas o yacimientos.

El antimonio es de mayor importancia bélica, solo inferior al mercurio. Normalmente el 75% de la producción se usa como plomo antimonial para dar rigidez y estructura a ciertos tipos de aleaciones de plomo. El plomo duro (4 a 12% de antimonio) se usa en la fabricación de acumuladores, cables eléctricos y tubería. El plomo antimonial (3 a 20% de antimonio) se encuentra en cojinetes y acumuladores. El tricloruro se usa como solución de bronceadura para los cañones de fusil, El óxido de antimonio roseado en lonas u otros

textiles los hace incombustibles; también tiene gran uso en pinturas no inflamables, especialmente para barcos, en la fabricación de granadas de metralla, detonadores y vainas. El trióxido y trisulfuro de antimonio se utiliza para fabricar pigmentos blancos y rojos. Con el trisulfuro se preparan pinturas oscuras de camuflaje.

I.2.- Objetivo

El presente trabajo pretende dar a conocer la distribución del antimonio, en provincias antimoniales, extendiéndose un poco más a la distribución de yacimientos de antimonio en México.

Así, como también hacer un recorrido desde sus primeras aportaciones a la humanidad, desde sus principales características, usos, hasta la posición que ocupa este en el mundo en su producción.

I.- Generalidades

I.3.- Síntesis de la historia del antimonio

El conocimiento de la existencia del antimonio precede a la era cristiana, por miles de años, Caldea, Babilonia, Egipto y Roma conocieron este metal. La literatura medieval describe su ocurrencia en la naturaleza y su utilidad, ya que en los remotos tiempos bíblicos se utilizaba para pintarse las cejas, y en Tello, Caldea, se encontró un jarrón de antimonio fundido; por consiguiente, el antimonio y su sulfuro se conocían ya en el año 4000 a. de C.

Los artículos de cobre recubiertos con una delgada capa de antimonio metálico, encontrados en Egipto y que se calcula fueron hechos en el período 2500-2200 a. de C., muestran que los primeros egipcios conocían un método para utilizar el antimonio como revestimiento metálico. Plinio (año 50) dio al metal el nombre de *stibium*, y Geber usó el nombre de *antimonium*. Sin embargo, todavía en la época de Lavoisier se utilizaban ambos términos para indicar el sulfuro. En su *Triumph-Wagen des Antimonnii*, Basilo Valentin muestra que conocía bien el sulfuro y el metal. Benedictino alemán, o príncipe de los alquimistas, fue el primero que, al descubrir el modo de prepararle, o corregirle, introdujo un uso en la medicina. Pronto olvidado, le substituyó Paracelso, a quien siguieron algunos médicos. Pero no pasado mucho tiempo empezó a padecer este remedio un tal descrédito, que la Facultad Médica de París condenó totalmente su uso, por un decreto solemne que tenía una cualidad venenosa, que con ninguna preparación podía corregirse. En consecuencia de esta declaración de la Facultad, el Parlamento de París en el año de 1566, por arresto suyo prohibió enteramente a los médicos de toda la Francia, el uso del antimonio; de modo que Julián de Paulmier, por haber administrado algún tiempo después, aunque era un médico de grandes créditos, fue excluido de la Facultad. Sin embargo algunos médicos lo emplearon secretamente y al crecer el número de éstos, lograron que se incluyese en el antidotario, hecho en París por orden de la Facultad en el año de 1637. Esto dio ocasión a grandes disputas, los más célebres médicos de París se dividieron, unos a favor del antimonio, otros en contra de él, en cuyo tiempo el célebre Guido Patin, que era uno de los contrarios, hizo un grueso catalogo de enfermos, a quienes habían muerto por este mineral, al que dio el título de *Martirologio del Antimonio*. Se propagó más y más el fuego de la disputa; fue justo recurrir a la autoridad del parlamento para que la apagase. El Parlamento decretó que se juntaran en la Facultad a deliberar sobre la materia. Se congregaron cientos de doctores y por el voto de noventa y dos, la facultad emitió un decreto con el cual se aprobó el uso del antimonio.

Se dice también que otra causa de tal aprobación fue una purga antimonial que curó a Luís XIV en 1658.

El uso terapéutico de los preparados de antimonio se inició, al parecer, durante la remota civilización egipcia, cuando se utilizó la estibina (sulfuro natural) en preparados para los ojos como profiláctico contra la conjuntivitis epidémica. En el siglo XVI, se utilizaron mucho los preparados de antimonio para tratar diferentes enfermedades.

En lo que respecta a la metalurgia del antimonio, tanto Agricola (1559), como Biringuccio (aproximadamente 1550) mencionan la licuación de los minerales de antimonio. El segundo enumera diferentes usos del antimonio: su adición al bronce de campanas para aumentar el tono del metal; el peltre; los espejos de vidrio y metal; medicamentos para las úlceras; un pigmento amarillo para pintar la cerámica, y el teñido de los esmaltes y el vidrio. Nicolás Lemery (1645-1715) escribió un tratado científico sobre este elemento. Durante el siglo XVIII se empleó el procedimiento de tostación y reducción del mineral; el horno de reverbero se empleó hacia 1830, y en 1896 se producía ya antimonio electrolítico, si bien este método sólo ha adquirido importancia industrial después de 1940. La fusión de los minerales de antimonio en alto horno recibió considerable atención entre 1915 y 1918 y se convirtió en uno de los principales procedimientos para producir antimonio metálico después de 1930.

En 1827, el químico y botánico inglés John Walker descubrió que si cubría el extremo de un palo con ciertas sustancias químicas y las dejaba secar, podía encender un fuego en cualquier lugar. Estos fueron los primeros cerillos de fricción. Las sustancias que utilizó fueron sulfuro de antimonio, clorato de potasio, goma y almidón. Un tal Samuel Jones vio los cerillos de fricción de Walker y decidió comercializarlos. La cabeza estaba formada por sulfuro de antimonio y cloruro de potasio, aglutinados con goma. Tenían en la caja la advertencia que no los usaran “las personas de pulmones delicados” encendían flotándolos entre dos hojas de papel de lija y se hicieron populares entre los fumadores, tenían un mal olor al quemarse.

Los cerillos actuales tienen en la cabeza sulfuro de antimonio y agentes oxidantes como clorato de potasio y azufre o carbón; y en la superficie de frotamiento, fósforo rojo, vidrio molido y aglutinante.

En 1852 Frankland publica un artículo donde establece que el antimonio, el fósforo, y el arsénico siempre se unen a otros átomos o especies, crea la base de la idea actual de valencia atómica. Los químicos de entonces no tenían aún la conciencia de que el número de enlaces que un átomo podía formar era limitado.

En 1936 el danés C. J. Thomsen expone el Sistema de las Tres edades para clasificar el material prehistórico, propone que los materiales se dividan según provengan de la Edad de Piedra, de la edad del Bronce o de la Edad de Hierro. Los artefactos prehistóricos podían ordenarse cronológicamente y, así, se proporcionaba un método eficaz para el estudio del pasado. Para la Edad de Bronce las aleaciones cupríferas de la antigüedad se realizaban con elementos como el antimonio, el plomo o el arsénico pero, aunque la utilización de este último es bastante común en determinados momentos, la aleación reina es sin duda la de cobre con estaño, es decir el bronce.

En el mundo musulmán, aglutinador de culturas, asume técnicas y repertorios y extiende el uso de la cerámica que se fomenta en los recubrimientos murales. A este fenómeno hay que añadir las innovaciones técnicas que se producen en las que están el vidriado brillante de estaño, los lustres metálicos, el uso del azul cobalto y los amarillos del antimonio.

A partir de la Primera Guerra Mundial el uso del antimonio se expandió en Estados Unidos, estimuló las investigaciones sobre compuestos de antimonio para combatir algunas infecciones a las que estaban expuestos los soldados norteamericanos.

En el año de 1945, tal vez puede considerarse enteramente típico en virtud de la extraordinaria cantidad de antimonio que se utilizó en tejidos y pinturas para hacerlos resistentes a las llamas.

A finales de la guerra, la Cía. Minera y Refinadora Mexicana, S.A., filial de National Lead Co., era la principal compradora de minerales y productora de antimonio metálico. Esta empresa localizada en San Luis Potosí, contaba con agentes compradores que recorrían los diversos centros de producción o estaban establecidos en estos lugares, realizaron operaciones de “rescate” al comprar pequeños volúmenes de mineral a los gambusinos o mineros, que enviaban a la fundición de San Luis Potosí (Wadley).

Posteriormente esta fundición se trasladó a Laredo, Tex., pero continuó la misma organización de compra de mineral. Muchas veces las concesiones mineras (principalmente en Wadley) estaban bajo su control, las rentaban a pequeños mineros que vendían su producción a los agentes de dicha empresa, a la que exportaban el mineral.

A partir de 1960, algunas compañías establecidas en México y dedicadas al comercio internacional de minerales, han intervenido en algunas operaciones del antimonio en aquellos productos no controlados por los agentes de la National Lead Co., tales como Sawco de México, S.A., etc., sin embargo, estas últimas llegaron a obtener un conjunto menor del 20% del total.

En Monterrey se produjo antimonio metálico como un subproducto de las operaciones relacionadas con la compañía Asarco Mexicana, S.A., pero dejó de producirlo hace varios años. Sin embargo (1968), algunas fundiciones de plomo producen pequeños volúmenes de antimonio como subproducto en barras impuras, en cantidades variables entre 200 y 300 toneladas.

La producción de minerales de antimonio en México, se empezó a registrar en forma estadística, a principios de los años veintes, con una producción de menos de media tonelada, en el año de 1922. Desde esa fecha el volumen de la producción se incrementó hasta alcanzar en 1926, un valor de casi 2.5 millones de pesos y en 1931 un volumen de 5,443 toneladas. Esta producción fue afectada por la depresión de principios de los años treinta; la producción bajó en 1932 a 1,735 toneladas con el valor más bajo en la historia del antimonio en México. Esta producción volvió a incrementarse en volumen y valor, en 1940 alcanzó 12,367 toneladas y decreció con un valor de \$20'756,719.

La producción del antimonio ha fluctuado a la baja desde 1951 en que alcanzó una producción máxima de 6,825 toneladas un valor de más de 38.6 millones de pesos, en 1956 y 1957 hubo algunas recuperaciones, pero en general esta tendencia se acentúa posteriormente hasta 1963 en que se obtuvieron 4,836 toneladas, a pesar de que en 1964 la producción fue menor; el valor de la misma tuvo un fuerte incremento a 21.6 millones de pesos hasta 1967.

La situación de desarrollo antes de 1930 fue ampliamente respaldada por la filial de la National Lead Co., que en principio no llevó a cabo ninguna explotación formal de minerales por sí misma; había concesionado numerosos fundos que rentaba a los mineros o pequeños mineros.

A partir de 1962, Metalurgia de Plomo, S.A., inició formalmente la producción de plomo antimonial, por lo que las estadísticas de la producción incluyeron el contenido de antimonio de esta aleación, que en principio, es de aproximadamente 1,000 toneladas anuales, la producción de minerales de antimonio estadísticamente es menor en los últimos años, considerando niveles similares a los de 1950 y 1951, es decir, de aproximadamente 3,200 toneladas métricas de antimonio (contenido metálico). No puede incluirse la producción de plomo antimonial dentro de la producción primaria

Antiguamente se utilizaba el antimonio como metal para estructuras y pigmentos de porcelana, Actualmente, sus propiedades físicas y químicas han ampliado sus aplicaciones industriales.

El antimonio se obtiene por exploración de la estibina y como subproducto de la fusión de menas de otros metales, en particular de los de plomo.

La mayor parte del antimonio que se produce se emplea en aleaciones para tipografía, en placas de baterías y como metales antifricción. Tiene también un empleo considerable como pigmento blanco. Entre las aplicaciones de menor importancia están, la fabricación de vidrio y cerámica, municiones, plásticos y textiles incombustibles.

I.4.-Propiedades del antimonio

El antimonio proviene del latín *antimonium*, con símbolo Sb originado por su denominación latina *stibium*, es un elemento químico cuya abundancia en la corteza terrestre van desde 0.2 a 0.5 ppm, tiene el número atómico 51, peso atómico 121.75. Está en el grupo V del sistema periódico, en el subgrupo que contiene también el nitrógeno, el fósforo, el arsénico y el bismuto, con 5 electrones en la capa exterior del átomo, que permiten números de valencia de +3, +5 y -3. El antimonio es, en general, más metálico en sus propiedades físicas y químicas que ningún otro miembro del subgrupo, salvo el bismuto. Ver fig. I.4.1. En su forma cristalina normal, es de color blanco plateado, muy quebradizo y bastante blando. A causa del tipo hexagonal romboédrico de su estructura cristalina, el metal se fractura fácilmente mostrando planos de cruceo muy brillantes. La escasa ductilidad del antimonio restringe su uso a las aleaciones del plomo y estaño, en las cuales son convenientes la mayor dureza y resistencia que les comunica.

Las propiedades del antimonio se pueden ver en la tabla I.4.1.

Además del metal cristalino normal, existen las formas de antimonio negro, amarillo y explosivo. El antimonio negro, producido por el enfriamiento súbito del vapor de antimonio, es amorfo y químicamente más activo que el material cristalino. Es metaestable y se transforma gradualmente en antimonio normal a 100°C, o súbitamente a 400°C. El antimonio amarillo, que corresponde al fósforo amarillo y al arsénico amarillo, se produce agregando oxígeno al hidruro de antimonio a -90°C. Es no metálico y muy inestable. Solo ofrece interés teórico, pues se transforma en antimonio negro a temperaturas superiores a -90°C. El antimonio explosivo se produce por electrólisis de soluciones que contienen tricloruro de antimonio, en condiciones definidas de temperatura, concentración y densidad de corriente. Una temperatura baja o una gran densidad de corriente favorecen la producción del depósito explosivo. La explosión se produce al transformarse violentamente este antimonio amorfo en la forma cristalina, por trituración o pasando una herramienta afilada sobre la superficie del cátodo, o calentando a 110-125°C. La naturaleza explosiva del depósito se pierde por calentamiento muy gradual. El antimonio destilado en alto vacío es amorfo y también produce una cristalización explosiva cuando se rasca o se calienta.

Reacciones.- Aunque el antimonio sólo se oxida ligeramente en las condiciones ordinarias, forma un óxido volátil cuando se funde en el aire y puede oxidarse en presencia de vapor de agua calentado o por cualquier sal fuertemente oxidante. El ácido sulfúrico concentrado y caliente reacciona con el antimonio, pero no con el ácido sulfúrico diluido. El ácido clorhídrico reacciona con el antimonio pulverizado, pero no con el antimonio macizo, y el ácido fluorhídrico no reacciona en absoluto con el metal. El agua regia en frío disuelve al antimonio. El cloro y el bromo atacan fácilmente el polvo de antimonio calentado. El metal forma compuestos con el azufre, arsénico, telurio, selenio, fósforo y otros elementos, pero no con el silicio, el boro y el carbono. Ver tabla I.4.2.

Fig. I.4.1.- Posición del antimonio en la Tabla Periódica

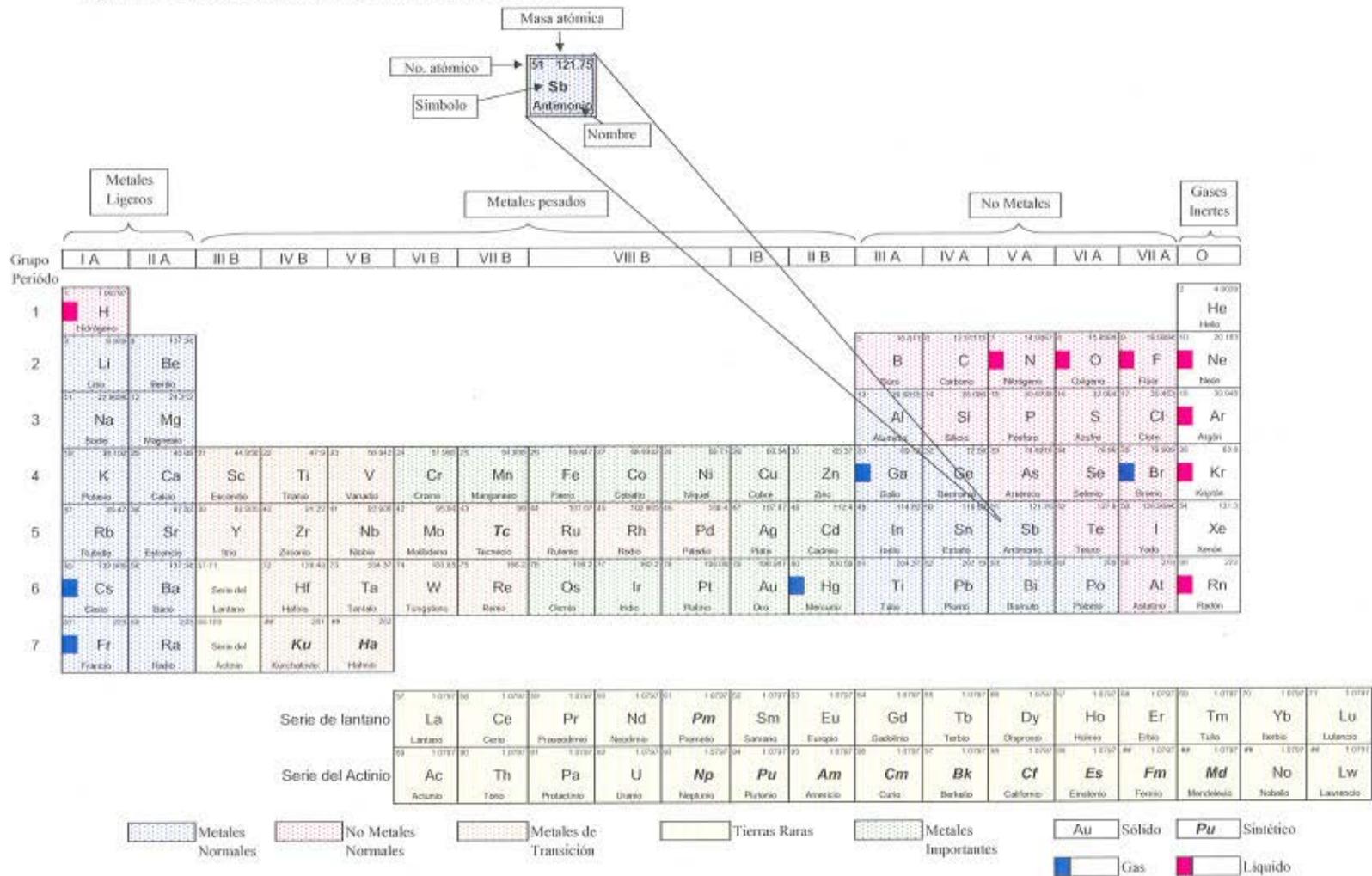


Tabla I.4.1 Propiedades del antimonio

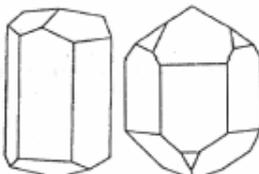
Distribución de los isótopos naturales	No. de masa	121 57.3%	
		123 42.7%	
Estructura cristalina	<p>Sistema cristalino: Romboédrico</p> 		
Estructura electrónica	Kr 4d ¹⁰ 5s ² 5p ³		
Número atómico	51		
Peso atómico	121,75		
Radio atómico (Å)	0,159		
Radio iónico (Å)	Sb3+	Es 0.90 de acuerdo a Goldschmidt	
		0.76 de acuerdo a Arnés	
	Sb5+	Es 0.62 de acuerdo a Pauling	
Radio covalente (Å)	Sb octaedramente	Es 1.41	
	Coordinado		
	Sb tetraedramente	Es 1.36	
	coordinado		
Valencias indicadas	-3, 0, 3, 5		
Electronegatividad	1,9		
Volumen atómico (cm ³ /mol)	18.23		
Coefficiente de temperatura a 0-100C (k ⁻¹)	0,0051		
Densidad a 20C (g cm-3)	6,68		
Punto de ebullición (° C)	1750		
Constante de Celda, (Å)	a=4.307		
Susceptibilidad magnética a 18°C (c.g.s.)	(-99x10 ⁻⁶)		
Estado del material	Policristalino		
Dureza-Mohs	3,0 – 3,3		
Módulo volumétrico (Gpa)	42		
Módulo de Tracción (Gpa)	54,7		
Relación de Poisson	0,25 – 0,33		
Modulo de elasticidad (lb/pulg)	11.3 x10 ⁶		
Calor específico a 250 C (J k-1 kg-1)	205		
Calor latente de evaporación (J g-1)	1370		
Calor latente de fusión (Jg-1)	163		
Coefficiente de expansión térmica a 0-100 C (x10-6 k-1)	9,0		
Conductividad térmica a 0-100 C (W m-1 K-1)	24,4		
Coefficiente de expansión lineal a °C	8 a 11		
En micrón/cm-°C			

Tabla I.4.2.- Resistencia del antimonio a la corrosión

Agente corrosivo	Resistencia	Observaciones
Acido hidroclicrico	Resistente	
Acido hidroclicrico	Ataque moderado	En presencia del aire
Acido hidroflicrico	Resistente	
Agua regia	Ataque severo general	
Acido nitrlico	Ataque severo general	
Acido sulfúrico	Ataque severo general	Caliente, concentrado
Acido sulfúrico	Resistente	Frío, diluido
Amonia	Resistente	
Dióxido de carbón	Resistente	
Cloro	Ataque severo general	
Sales álcalis	Ataque general	
Aire	Resistente	Cuando esta seco
Aire	Ataque moderado general	Cuando esta húmedo y en presencia de luz

Metals handbook, 1948



Fig. I.4.2 Antimonio cristalino



Fig. I.4.3 Estibinita

I.5.- Minerales del antimonio y depósitos de menas de valor comercial.

De acuerdo con F.W. Clarke y H.S. Washington las rocas ígneas de la corteza terrestre contienen $n10^7$ por ciento de antimonio, mientras para J.H.L. Vogt, la proporción es de $n10^5$ por ciento. Es interesante ver que algunas veces el antimonio se ha encontrado en meteoritos.

Trazas de antimonio han sido encontradas en algunos minerales; e.g. leucopirita, löllingita, proustita, blenda, galena, bismutinita, argirodita, espinela, haumastinita, así mismo el total del agua de la tierra contiene antimonio. W. Von Gumbel encontró que el sedimento de Bornio Spring en el Norte de Italia contiene 1.27 por ciento de óxido de antimonio.

Los minerales de los cuales el antimonio es constituyente donde se incluye al elemento antimonio nativo, son sulfuros, sulfosales (sulfuros complejos), óxidos y algunos antimoniatos y antimoides, pueden verse en la tabla I.5.1.

Las principales menas de antimonio que tienen valor comercial están enlistadas en la tabla I.5.2

Tabla.-I.5.2.- Depósitos de antimonio y menas de valor comercial

Clase de mineral	Nombre del mineral	Fórmula	Antimonio %	Gravedad Específica	Modo de ocurrencia
Sulfuro	Estibinita	Sb_2S_3	71.4	4.52-4.62	Hipogénico
	Valentinita (rómica)	Sb_2O_3	93.3	5-5.66	Súpergénico
Oxido	Senarmontita (cúbica)	Sb_2O_3	83.3	5.22-5.30	“
	Cervantita	Sb_2O_4	78.9	4.084	“
Hidróxido Oxisulfuro	Estibiconita	$Sb_2O_4.H_2O$	74.5	5.1-5.28	“
	Kermesita	$2Sb_2S_3.Sb_2O_3$	75	4.5-4.6	“
Nativo	Antimonio Nativo	Sb	94-98	6.65-6.75	Hipogénico
Mena de Mercurio	Livingstonita	$HgSb_4S_7$	53	4.81	“
Mena de plomo	Jamestonita	$Pb_2Sb_2S_5$	29.4	5.5-6	“
Mena de oro	Tetraedrita	$Cu_8Sb_2S_7$	24.7	4.4-5.1	“

El sulfuro de antimonio, (estibinita), forma la mena predominante: lo siguen los óxidos-valentinita, senarmontita, cervantita; en menor importancia, el hidróxido estibiconita y el oxisulfuro kermesita. El antimonio nativo ha sido relacionado por algunos como una alteración producto de la estibinita, pero Lindgren los considera de origen hipogénico: en cualquier caso no es una ocurrencia común. La tetraedrita y livingstonita se han convertido dentro de los importantes minerales que producen antimonio. Las plantas de Kellogg, Idaho, y los Angeles, California trabajaron estas menas. La Jamestonita ha sido encontrada por

varios años especialmente en Zimapán, Hidalgo, México por la existencia de plomo antimonial.

Los óxidos, la hidroxita y los oxisulfuros son minerales secundarios resultados de la alteración de la estibinita. W. Haidinger ha notado que la formación de valentinita y cervantita proviene de la estibinita; y H. Laspeyres observó pseudomorfos del antimonio cercanamente parecidos a la estibinita. La kermesita puede asemejarse a una alteración intermedia, además en oxidación, puede cambiar a valentinita o cervantita.

Otros minerales antimonio-sulfuros tales como la jamesonita y tetraedrita, pueden intemperizarse, pueden cambiar a óxidos, y en particular a bindeimita, si está presente el plomo.

La estibinita algunas veces se encuentra asociada a los siguientes minerales:

- (1) Berthierita y bournonita: en vetas de plomo zinc en Mobendorf, Saxony.
- (2) Tetraedrita: cerca de Monarch Hill, Muchison Range, Transvaal;
Semmon Francia,
En el Distrito Pulacayo, Potosí, Bolivia;
En la provincia de Castrovereyna, Huancavelica, Perú.
- (3) Rejalgar y oropimente: Matra, Corsica: Allchar, Yugoslavia;
y con rejalgar sólo en Monte Cristo, Snohomish Co., Washington.
- (4) Arsenopirita: en minas de oro cerca de Gatooma, Southern Rhodesia;
En el altiplano Central, Francia;
En Faibanks, Alaska;
en Western Nevada.
- (5) Arsénico nativo y rejalgar: en Bidi, British North Borneo.
- (6) Cinabrio: En San Martino, Meria, Corsica;
Rohonez; Hungría; Selvena y otros lugares de Monte Amiata, Italia;
Cermernitsa y Prócer, Yugoslavia;
Tegora, British North Borneo;
Djebel Tayo, Djebel Beba Oued Ali y Sidi-Rheiss, Algeria;
Pulganbar, New South Wales;
Rio Blanco, Querétaro, México;
Cerca de Kamploos Lake, British Columbia;
y en Sandjak de Smyrna, Asia Menor; y en Alaska.
- (7) Menas de Bismuto: en Tasna, Bolivia; y Huancavelica, Cerro de Pasco, Perú.

Los minerales enlistados anteriormente son minados primeramente por su contenido de plata, plomo, cobre o mercurio, más que por el antimonio contenido en ellos. Sin embargo, el contenido de antimonio algunas veces se recupera como un subproducto.

Los minerales metálicos comunes que son encontrados, asociados con antimonio primario son: Pirita, galena, esfalerita, calcopirita, arsenopirita, pirrotita, oro, plata, cinabrio, oropimente y raramente scheelita, molibdenita, casiterita, cobalita, etc. Los minerales comunes de la ganga son: cuarzo, el cual es comúnmente predominante, calcita, barita, yeso, siderita y raramente turmalina, fluorita y otros minerales de contacto silicatados.

TABLA I.5.1.- Minerales del antimonio

Nombre	Composición	Sistema cristalino	Color	Lustre	Peso específico	Dureza Mohs	% de Sb	Manera de ocurrencia
Antimonio Nativo	Sb	Hexagonal	Blanco estaño	Metálico	6,7	3-3½		Ocurre en venas, con Ag, Sb y menas de As
Estibiopalandita	Pd ₂ Sb		Blanco de Plata a gris acero		9,5	4-5		En granos redondos con mena de platino cerca de Potgietersrust, Transvaal.
Estibinita (antimonita, antimonio lustroso, antimonio gris)	Sb ₂ S ₃	Ortorrómico	Gris plomo, se empaña a negro	Metálico	4,65	2	71,4	Es el más común de los minerales de antimonio y la principal fuente del metal. Aunque esta ampliamente distribuida, su ocurrencia en cantidad es rara. Es de origen primario y se encuentra más comunmente en vetas con cuarzo. El contenido de estas vetas fue depositado en condiciones alcalinas o relativamente a poca profundidad. Las vetas ocurren con frecuencia en rocas graníticas. Algunas veces se encuentra como capas en esquistos, como sustitución en la caliza, en depósitos de manantiales termales, en vetas profundas colocadas en rocas intrusivas o cerca de ellas.
Metaestibinita	Sb ₃ E ₃	Amorfo	Rojo ladrillo					Un depósito amorfo de trisulfuro de antimonio, rojo ladrillo, que ocurre con cinabrio
Discrasita	Ag ₃ Sb	Ortorrómico	Blanco de plata	Metálico	9.44-10.2	3½-4	27.1	Encontrado como un mineral de vena en depósitos de plata antimonial
Horsfordita	Cu ₆ Sb		Blanco de plata		8,8		24	Antimoniuro de cobre
Breitauptita	NiSb	Raramente cristales hexagonales	Rojo cobre claro		7,54			Antimoniuro de níquel
Hauchecornita	Ni(Bi,Sb,S)	Raramente cristales tetragonales	Amarillo bronce claro		6,4	5		
Ullmannita	NiSbS NiSb ₂	Isométrico-tetraédrico	Gris acero a blanco plata		6.2-6.7	5		Ocurre en vetas en forme pirooédricas como tetraédricas, frecuentemente con siderita y otros minerales de fierro
Williamita								Descrito como un sulfuro-antimoniuro de cobalto y níquel de Brojen Hill, Nueva Gales del Sur
Gudmontita	FeSbS	Ortorrómico	Blanco plata a gris acero			6		Un mineral hidrotermal formado a un relativo período de tardío en depósitos de sulfuro
Alemontita	SbAs ₃		Blanco estaño Gris Rojizo	Metálico	6,2	3,5		Mayormente en vetas
Wolfachita	Ni(As,Sb)S		Blanco plata a blanco estaño		6,37	4.5-5		
Kermesita (Piroestibinita)	2Sb ₂ S ₃ ·Sb ₂ O ₃	Monoclínico	Rojo cereza	Adamantino	4,7	1-1½	75	La kermesita es un mineral secundario que ocurre como producto de alteración de la estibinita asociada con antimonio nativo, valentinita, senarmonita, etc.
Eichbergita	(Cu,Fe) ₂ S·3(BiSb) ₂ S ₃		Gris fierro		5,36	6		Conocido un solo ejemplar del Eichberg, en los montes Semmering, Austria
Vrbaíta	Ti ₂ S ₃ ·3(As,Sb) ₂ S ₃	Ortorrómico	Negro gris a rojo oscuro		5,3	3,5		
Livingstonita	HgS·2Sb ₂ S ₃	Monoclínico	Gris plomo	Adamantino	4,81	2	53	
Histrixita	5CuFeS ₂ ·Sb ₂ S ₃ ·7Bi ₂ S ₃	Ortorrómico				2		
Zinkenita	PbS·Sb ₂ S ₃	Ortorrómico	Gris acero	Metálico	5.12-5.35	3-3½	41.8	Encontrado en depósitos de vetas formadas de bajas a moderadas temperaturas
Andorita	2PbS·Ag ₂ S·3Sb ₂ S ₃	Ortorrómico	Gris oscuro a negro		5,5	3-3½		
Calcoestibita (Wolfsbergita)	Cu ₂ S·Sb ₂ S ₃	Ortorrómico	Entre gris plomo y gris fierro		4.75-5			

Nombre	Composición	Sistema cristalino	Color	Lustre	Peso específico	Dureza Mohs	% de Sb	Manera de ocurrencia
Miargirita	$Ag_2S \cdot Sb_2S_3$	Monoclínico	Negro fierro gris acero	Metálico	5.1-5.3	2-2½		Encontrada en depósitos de vetas hidrotermales a bajas temperaturas
Aramayoíta	$Ag_2S \cdot (Sb, Bi)_2S_3$	Triclinico	Negro fierro		5.6	2½		Asociada con piritita y tetraedrita
Berthierita	$FeS \cdot Sb_2S_3$	Monoclínico	Gris acero oscuro		4	2-3		Por lo común íntimamente relacionada con la estibinita
Fülöppita	$2PbS \cdot 3Sb_2S_3$	Monoclínico	Gris plomo a gris acero		5,23	2		
Plagionita	$5PbS \cdot 4Sb_2S_3$	Monoclínico		Metálico	5,5	2-3		
Fizelyta	$5PbS \cdot Ag_2S \cdot 4Sb_2S_3$	Monoclínico	Gris plomo a acero oscuro			2		
Ramdohrita	$3SbS \cdot Ag_2S \cdot 3Sb_2S_3$		Gris negro con tinte azulino		5,33	2		
Heteromorfitita	$7PbS \cdot 4Sb_2S_3$	Monoclínico			5,73	2-3		Una sulfosal de plomo y antimonio intermedia entre la plagionita y la semseyta
Jamesonita	$2PbS \cdot Sb_2S_3$	Monoclínico	Gris acero a gris plomo oscuro	Metálico	5.5-6	2½	29.4	Encontrada en drusas y vetas hidrotermales formadas de bajas a moderadas temperaturas
Owyheanita	$8PbS \cdot 2Ag_2S \cdot 5Sb_2S_3$	Ortorrómico	Gris acero a blanco plata			2,5		
Kobelita	$2PbS \cdot (Bi, Sb)_2S_3$		Gris plomo a gris acero		6,3			
Berthonita	$5PbS \cdot 9Cu_2S \cdot 7Sb_2S_3$		Gris plomo		5,49	4-5		
Semseyita	$9PbS \cdot 4Sb_2S_3$	Monoclínico	Gris-negro		5.8-5.95			
Boulangerita	$5PbS \cdot 2Sb_2S_3$	Ortorrómico	Gris plomo azulino	Metálico	5.7-6.3	2½-3	25.7	Ocurre en depósitos de vetas hidrotermales formada a temperatura de baja a moderada
Freieslebenita	$5(Pb, Ag_2)S \cdot 2Sb_2S_3$	Monoclínico	Gris acero claro	Metálico	6.2-6.4	2		
Diaforita	$5(Pb, Ag_2)S \cdot 2Sb_2S_3$	Ortorrómico	Gris Acero	Metálico	6-6.2	2½		
Bourmonita	$2PbS \cdot Cu_2S \cdot Sb_2S_3$	Ortorrómico	Gris de acero o negro de hierro	Metálico	5.7-5.9	2½-3		Ocurre en vetas hidrotermales formada a moderadas temperaturas
Pirargirita (plata roja oscura)	$3Ag_2S \cdot Sb_2S_3$	Romboédrico	Negro a negro grisáceo	Metálico-adamantino	5,8	2½-3	22.3	Formada a bajas temperaturas como una de los últimos minerales de Ag a cristalizarse en la secuencia de deposición primaria
Piroestilpnita	$3Ag_2S \cdot Sb_2S_3$	Monoclínico	Rojo jacinto		4,25	2		
Samsonita	$2Ag_2S \cdot MnS \cdot Sb_2S_3$	Monoclínico	Negro acero	Metálico		2-3		
Estilotipita	$3Cu_2S \cdot Sb_2S_3$	Monoclínico	Negro fierro		4.7-5.2			
Falkenhaynita	$3Cu_2S \cdot Sb_2S_3$							Maciza parecida a la galena
Tetraedrita	$3Cu_2S \cdot Sb_2S_3$	Isométrico-tetraédrico	Gris de acero o negro hierro	Metálico	4.4-5.1	3-4		Ocurre en vetas hidrotermales de Cu, Pb, Zn, y minerales de Ag
Meneghinita	$4PbS \cdot Sb_2S_3$	Ortorrómico	Gris plomo negruzco	Metálico	6.34-6.43			
Estefanita	$5Ag_2S \cdot Sb_2S_3$	Ortorrómico	Negro fierro	Metálico	6.2-6.3	2-2½	15.2	Encontrada en algunos depósitos, usualmente en pequeñas cantidades, como una de las últimas minerales de veta para formarse
Geocronita	$5PbS \cdot Sb_2S_3$	Ortorrómico	Gris plomo	Metálico	6,4	2,3		
Goldfieldita	$5Cu_2S \cdot (Sb, As, Bi)_2S_3 \cdot Te_2S_3?$	Isométrico	Gris plomo oscuro			3-3.5		
Polibasita	$9Ag_2S \cdot Sb_2S_3$	Monoclínico	Negro fierro	Metálico	6-6.2	2-3	9.4	Ocurre en vetas de plata formada de baja a moderada temperatura
Poliargirita	$12Ag_2S \cdot Sb_2S_3$	Isométrico	Negro fierro		6,97	2-3		Pruebas microscópicas muestran que es una mezcla de argentita y tetraedrita
Ultrabasita	$28PbS \cdot 11Ag_2S \cdot 3GeS_2 \cdot 2Sb_2S_3$	Ortorrómico	Negro grisáceo		6	5		
Famatinita	$3Cu_2S \cdot Sb_2S_3$		Gris con tinte rojo de cobre		4,57	3-4		Isomorfa de la enargita.
Franckeíta	$5PbS \cdot 2SnS_2 \cdot Sb_2S_3$	Hexagonal u ortorrómico	Gris negruzco a negro	Metálico	3.5-5.5	2½		
Cilindrita	$6PbS \cdot 6SnS_2 \cdot Sb_2S_3$	Hexagonal u ortorrómico	Gris plomo negruzco	Metálico	5,42	2.5-3		

Nombre	Composición	Sistema cristalino	Color	Lustre	Peso específico	Dureza Mohs	% de Sb	Manera de ocurrencia
Senarmontita	Sb ₂ O ₃	Seudoisométrico	Incoloro o grisácea	Resinoso	5,3	2-2½	83,3	Un mineral secundario formado por la oxidación de estibinita, Sb nativo, y otros minerales de Sb.
Valentinita	Sb ₂ O ₃	Ortorrónica	Incoloro o blanco	Adamantino	5,8	2½-3	83,3	Un mineral secundario formado por la oxidación de estibinita, Sb nativo, y otros minerales de Sb.
Cervantita	Sb ₂ O ₃ , Sb ₂ O ₅	Ortorrónico	Amarillo o Blanco rojizo	Grasiento o perlino; también brillante o terroso	4	4,5	78,9	Ocurre como un producto de la estibina
Estibiconita	H ₂ Sb ₂ O ₅	Isométrica	Amarillo Pálido a blanco rojizo	Perlino o terroso	5,6	4-5½	74,5	Asociada con estibinita, como un producto de su alteración
Stibiotantalita	SbTaO ₄							Ocurre en pegmatitas
Monimolita	R ₃ Sb ₂ O ₈		Amarillento a verde		6,58	5-6		
Manganoestibinita	Mn ₁₀ Sb ₃ O ₁₅	Monoclínico ?	Negro					
Bindeimita	Pb ₂ Sb ₂ O ₆ (O,OH)	Amorfa	Gris amarillenta					Antimonio de plata hidratado. Un resultado de la descomposición de oras menas antimoniales
Romeíta	Ca ₅ Sb ₆ O ₂₀	Seudoisométrica	Amarillo miel		4,7-5,1	5,5		Antimonio de calcio
Weslienita	Na ₂ FeCa ₃ Sb ₄ O ₁₅	Isométrico	Amarillo miel	Vítreo adamantino				
Schneebergita	(Ca,Fe) ₂ Sb ₂ O ₆	Isométrico	Amarillo miel	Adamantino	5,41	6,5		
Swedonborgita	Na ₂ O.2Al ₂ O ₃ .Sb ₂ O ₅	Hexagonal	Incolora		4	8		Ocurre en calcita o hematita granular
Tripuyta	Fe ₂ Sb ₂ O ₇		Amarillo verdoso mate		5,8			
Nadorita	PbSb ₂ O ₄ .PbCl ₂	Ortorrónico	Amarillo a moreno					
Ocrolita	Pb ₂ Sb ₂ O ₇ .2PbCl ₂		Amarillo azufre					
Frajolotita	4FeSbO ₄ .3H ₂ O		Amarillo limón					En masas nodulares
Catoptrita		Monoclínico	Gris negro		4,5	5,5		
Derbilita		Ortorrónico	Negro		5,53	5		
Lewisita	5CaO.2TiO ₂ .3Sb ₂ O ₅				4,9	5,5		
Mauzelita	Titanio-antimoniato de plomo y calcio	Isométrico	Moreno oscuro					Un titanio-antimoniato de plomo y calcio, relacionado con la lewisita.
Amiolita	Antimoniato de mercurio							

II.- Geoquímica del antimonio

II.1.- Cristaloquímica

Desde un punto cristaloquímico el antimonio está estrechamente relacionado con el arsénico y el bismuto. La electronegatividad del antimonio difiere ligeramente del bismuto pero marcadamente del arsénico. El antimonio usualmente aparece con una valencia formal de 3+ y ocasionalmente 5+. Esto muestra su comportamiento anfótero, que puede tener propiedad de ácido o base. Con el metal forma aleaciones y componentes los cuales pueden ser llamados antimoniuros. En minerales el antimonio ocurre con sulfuro en polianiones complejos; con valencia 3+.

En aniones complejos con oxígeno, el antimonio tiene cualquiera de los dos estados 3+ o 5+. La abundancia en minerales ocurre en depósitos de vetas hidrotermales polimetálicos y en zonas de oxidación.

Los numerosos minerales del antimonio pueden ser agrupados como sigue:

- i. Antimonio metálico, Aleaciones y Antimoniuros;
- ii. Sulfuros y Sulfosales;
- iii. Componentes que contienen-oxígeno.

i.- Aleaciones del antimonio (i.e. Antimoniuros)

El antimonio metálico es isoestructural con el arsénico y el bismuto ($Sb^{[3+3]}$) con distancias interatómicas de 3×2.91 y 3×3.36 Å. Su geometría estructural es de un antiprisma trigonal (Barrett *et.al.* 1963). El arsénico y el antimonio son completamente miscibles. Cristalinamente el As Sb es llamado Estibarsénico (Strunz, 1970).

En pequeñas concentraciones el antimonio puede formar aleaciones con la plata. Con menos del 11% de Sb no causa un cambio estructural, mientras que en un 11 y 16% el Sb cambia a forma hexagonal, allargentum, (Ramdohr, 1970).

ii.- Sulfuros y sulfosales

La estibinita, (Sb_2S_3), tiene una estructura-sulfosal típica. Un amplio intervalo de miscibilidad es posible de Sb_2S_3 con Bi_2S_3 . Los cristales $(Sb, Bi)_2S_3$ con una relación Sb a Bi de 11:9 a 11:13 son llamados horobetsuita (Hayase, 1959).

Se han realizado algunos intentos para una clasificación de minerales llamados sulfosales (118 de acuerdo a Nowacki, 1969, 1970). El primer intento fue hecho por Hofmann (1933-1935). Hellner (1957, 1958) sugiere un sistema estructuralmente-orientado usando la estructura de la galena como una referencia. Otra clasificación fue publicada por Nowacki (1969), quien distingue 6 grupos. Estos grupos son subdivididos de acuerdo al enlace de la pirámide trigonal (As, Sb, Bi) S_3 . Este sistema es apropiado para la clasificación de componentes del arsénico en el cual lo predominante de los tres enlaces cortos es útil, con restricciones para el antimonio, donde grandes enlaces adicionales pueden ser considerados

en algunos casos, pero porque la ocurrencia de la coordinación octaédrica a menudo no es aceptada para los sulfosales Bi.

La semejanza del poliedro del antimonio puede ser descrita como una pirámide trigonal con un átomo de antimonio en la cima. Como enlaces adicionales, este arreglo es a menudo modificado a una distorsionada pirámide tetragonal.

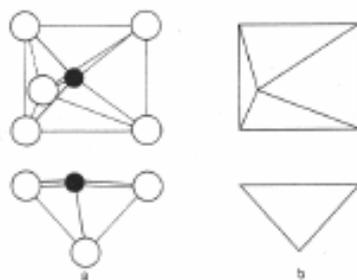


Fig.II.1.1 a) Pirámide Típica [SbS₃]
b) Presentación esquemática

Las largas cadenas tienen un enlace largo entre 2.87 y 3.20 Å (ver Fig.II.1.1) Una característica predominante de las sulfosales es la ocurrencia de un parámetro de celosía entre $n \times 4$ Å (a lo largo del eje).

Más comúnmente son:

- A) Cadenas infinitas SbS₃ en las cuales los bordes basales de pirámides tetragonales son enlazadas
- B) Ensamble de cadenas gemelas las cuales están desplazadas a una distancia de 2 Å a través del eje 2₁. Este y otro tipo de cadenas se muestran en la Fig.II.1.2.

Considerando el papel importante del plomo en la estructura de sulfosal-típica, su limitación es de origen y frecuentemente se observa una duplicidad o multiplicación de los parámetros de red en la dirección de la cadena, por lo tanto ocasionalmente diferencias estructurales entre Sb-y-Bi-sulfosales se relacionan. En el caso del Bi la compatibilidad es muy buena. El isomorfismo entre el Sb y Bi es posible pero no es muy común.

De interés es el grupo de la plagionita con su forma general Pb_{3+2n}Sb₈S_{15+2n} y los minerales (fulopita (Pb₃Sb₈S₁₅), plagionita (Pb₅Sb₈S₁₇), heteromorfita (Pb₇Sb₈S₁₉) y semseyita (Pb₉Sb₈S₂₁). Las estructuras están compuestas por tipo galena.

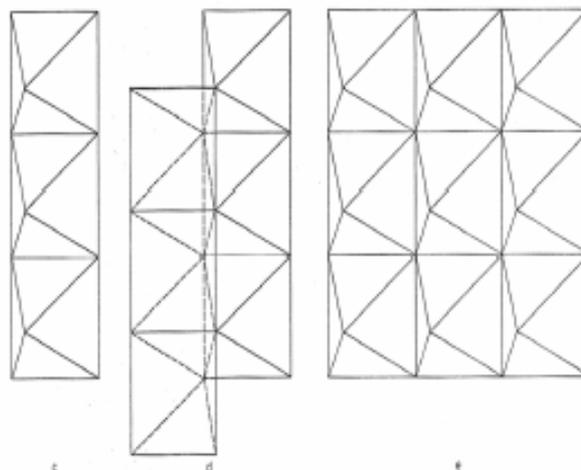


Fig.II.1.2
 Típico ensamble de pirámides [SbS₅]
 c) Cadena simple [SbS₃]
 d) Cadena doble [Sb₂S₄]
 e) Pliegue de cadena simple [Sb₃S₄]

Cadenas finitas, Sb₁₂S₂₄, y grupos aislados, Sb₂, S₄, ocurren en andorita, Pb₄Ag₄Sb₁₂S₂₄, como resultado de una secuencia ordenada de átomos de Ag y Sb en un superperiodo 6-pliegues (Tokonami, 1973).

En el grupo restante de sulfosales la coordinación usual alrededor del antimonio puede ser observada, pero la formación de las cadenas es rara. Comúnmente son más aisladas grupos de SbS₃. La rotura de la regla de la valencia en la tetraedrita, Cu₁₂Sb₄S₁₃, puede ser debido al comportamiento de los átomos de cobre. La no similitud de los componentes isomórficos del bismuto son conocidos en este grupo, pero en algunos casos es una miscibilidad indefinida correspondiendo con sulfosales de arsénico (Cu₁₂As₄S₁₃ y Cu₁₂Sb₄S₁₃). Limitada solamente la diadoquia del Bi es observada. El nuevo mineral skinnerita, Cu₃SbS₃, una excepción (Makovicky and Skinner, 1972) y es cercanamente isoestructuralmente con wittchenita, Cu₃BiS₃ (Matzat, 1972; Kocman y 4Cu6 Nuffield, 1973). La distribución y la coordinación de los átomos de Sb es la misma, pero los átomos de cobre son distribuidos más o menos estadísticamente. Los minerales gudmindita, Fe [3^{Sb}+3^S][Sb[^{3Fe+Sb}]], y la ulmanita isoestructural, NiSbS, cristaliza en un tipo de arsenopirita (EO₇), con un grupo discreto Sb-S.

iii.- Oxisulfuros y Sulfohalogeniuros

El único oxisulfuro conocido natural es la kermesita, $\text{Sb}_2\text{S}_2\text{O}$. No existe analogía en mineral con el arsénico o bismuto. Aunque formada de infinitas capas, la estructura tiene gran similitud a la de las sulfosales. Estas capas consisten en dos tipos de cadenas, $[\text{Sb}_2^{[3+2]}\text{S}_3]$ y $[\text{Sb}_2^{[3\text{O}+1\text{S}]\text{O}_2\text{S}]$. Estas láminas o capas están sostenidas juntas por un enlace débil (distancia interatómica más pequeña $> 3.4 \text{ \AA}$) (ver Fig. II.1.3) Las siguientes distancias interatómicas han sido observadas:

$\text{Sb}_I - \text{S}$: 2.40 \AA , $\text{Sb}_I - \text{O}$: 1.99, 2.07, 2.34 \AA
 $\text{Sb}_{II} - \text{S}$: 2.39 \AA , $\text{Sb}_{II} - \text{O}$: 1.99, 2.05, 2.26 \AA
 $\text{Sb}_{III} - \text{S}$: 2.37, 2.61, 2.64, 3.07, 3.09 \AA
 $\text{Sb}_{IV} - \text{S}$: 2.35, 2.71, 2.75, 2.91, 3.02 \AA

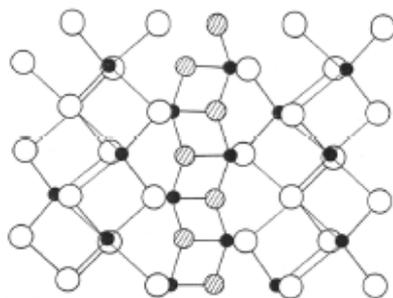


Fig. II.1.3 Kermesita, $\text{Sb}_2\text{S}_2\text{O}$. (solo se muestra una capa)
Sb: Pequeños círculos negros
O: Medianos círculos sombreados
S: Grandes círculos blancos

iv- Compuestos conteniendo-oxígeno

Comparando con los sulfuros, son menos confiables los datos conocidos acerca de los óxidos de antimonio. Una razón para esta falta de información es que la mayoría de los minerales de óxido son pobremente cristalizados, además están íntermezclados e íntercrecidos. Por otra parte en aquellos minerales que supuestamente tienen una estructura picloro, algunas posiciones atómicas deben estar estadísticamente ocupadas. Solo las siguientes estructuras tienen confiable información y son registradas:

Valentinita (Burger, SR 1940-1950,34; Miehe, 1973; Svensson, 1974),

Senamorfita Bozorth, SB 1913-1926, 245),

Schafarzikita (Zemann, SR 1951, 287),

Melanoestibianita $\text{Mn}(\text{Sb}_{0.5}^{+5}\text{Fe}_{0.5}^{+3})\text{O}_3$ (Moore, 1967 y

Manganoestibita $\text{Mn}_5\text{SbAsO}_{12}$ (Moore, 1970)

Las siguientes estructuras son principalmente conocidas, pero la información es menos confiable:

Sendborgita $\text{NaSbBe}_4\text{O}_7$ (Aminoff, Sb 1933-35,381; Pauling, 1960)

Estibiotantalita $\text{Sb}(\text{Ta}, \text{Nb})\text{O}_4$ (Dihlström, SB 1938, 113) y

Sb_2O_4 (Natta y Baccareda, SB 1933-35,359).

La valentinita, Sb_2O_3 , consiste en cadenas infinitas $(\text{Sb}^{[3+2]}\text{O}_3^{[2+1]})$ (ver Fig.II.1.4). De acuerdo con Miede (1973) la valentinita es pseudomórfica triclinica, pero este hecho no tiene consecuencias cristaloquímicas. La coordinación acerca del Sb puede ser descrita como una pirámide-cuadrada deformada. Las distancias Sb-O son 1.975, 2.012, 2.018, 2.630 y 2.53 Å. Los ángulos de estos tres cortos enlaces con otros son 91.92°, 80.14° y 89.24°

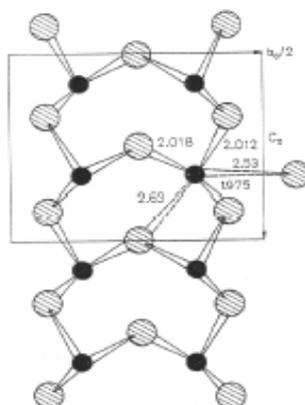


Fig.II.1.4
Estructura cristalina de la Valentinita, Sb_2O_3
Sb: Pequeños círculos negros
O: Grandes círculos sombreados

La estructura de la senarmonita, $(\text{Sb}_2^{[3+3]}\text{O}_3^{[3+2]})_{2k}$, Fig. II.1.5. El poliedro de coordinación es un antiprisma trigonal, forma una estructura con algo complejo de Sb_4O_6 .

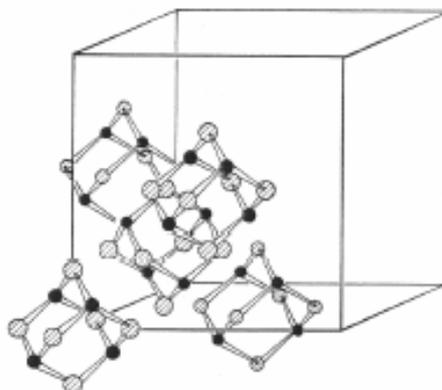


Fig.II.1.5
Estructura cristalina de la Senarmonita, Sb_4O_6
Sb: Pequeños círculos negros
O: Grandes círculos sombreados

Sb_2O_4 probablemente tiene la estructura picloro, $Sb^{+3[6]}Sb^{+5[6+2]}O_4$, y no es idéntica con la cervantita, Sb_2O_4 , la cual es isoestructural con la estibiotantalita, $Sb^{[6]}(Ta,Nb)^{[6]}O_4$. Las distancias interatómicas no son precisamente conocidas.

En los componentes de óxido el isomorfismo entre el antimonio y el arsénico es más comúnmente que entre el antimonio y el bismuto aunque este posiblemente no puede ser completamente excluido. Un remplazamiento isomorfo del antimonio pentavalente por el fierro y el manganeso es posible porque la coordinación de octaedro es común.

La distribución de Sb y Mn o Fe es completamente casual en melanoestibinita,

II.2.-Isótopos

Existen dos isótopos de antimonio estable, ^{121}Sb y ^{123}Sb . Su abundancia convencional es como sigue (Bainbridge y Nier, 1950):

$$\begin{array}{l} ^{121}Sb \text{ 57.25\%} \\ ^{123}Sb \text{ 42.75\%} \end{array}$$

Los radioisótopos de antimonio con los números de masas 116, 117, 118, 119, 120, 122, 124, 125, 126 127, 129 y 132 han sido preparados.

Los nucleidos ^{123}Sb y ^{123}Te forman un par de isobaras cercanas, y de acuerdo a la regla de isobaras uno de ellos puede ser inestable, decayendo para formar el otro miembro del par. La no estabilidad de cualquiera de los dos miembros, sin embargo, ha sido reportada. De acuerdo a Kohman (1948), ^{123}Sb es probablemente un miembro inestable del par y produce ^{123}Te por decaimiento beta negativo. Si ^{123}Sb , es radioactivo, su vida media puede ser extremadamente larga.

^{125}Sb Radioactivo (vida media 2.7 años fue detectado en decaimiento, y su concentración en el aire y suelo fue determinado (Kasai y Yanese, 1963)

Muzaffar (1923) reportó variaciones sorprendentes en el peso atómico del antimonio preparado de estibinita de Hungría, Borneo, Perú, y Bolivia. Krihnaswami (1927), quien analizó cervantita del estado de Mysore y estibinita de Burna, del estado de Mysore, y los estados del sur de Shan y McAlpine (1929), trabajo con estibinita de Hungría y Bolivia, fueron incapaces de confirmar tales resultados. Esto concluye que no hay evidencia de variaciones en el peso atómico del antimonio.

II.3.- Abundancia en meteoritos

El contenido de antimonio en meteoritos de hierro y siderolitos se puede ver en la tabla II.3.1

Tabla II.3.1.-Antimonio en meteoritos de hierro y siderolitos

Material	Sb (ppm)	Autor
Meteorito de hierro:		
Latona, Of	0.03 (N/R)	Smales <i>et al.</i> (1958)
Bethany, Of	0.01	Smales <i>et al.</i> (1958)
Bristol, Of	0.46	Smales <i>et al.</i> (1958)
Cañon del Diablo, Og-Ogg	0.8 (C)	Onishi y Sandell (1955)
Cañon del Diablo, Og-Ogg	0.31 (N/R)	Smales <i>et al.</i> (1958)
Cañon del Diablo, Og-Ogg	0.35 (N/R)	Hamaguchi <i>et al</i> (1961)
Carbo, Om	0.19 (N/R)	Smales <i>et al.</i> (1958)
Casas Grandes, Om	0.07	Smales <i>et al.</i> (1958)
Dúchense, Of	0.04	Smales <i>et al.</i> (1958)
Lago Goose, Om-Og	0.5	Smales <i>et al.</i> (1958)
Hendury, Om	0.5(C)	Hamaguchi <i>et al</i> (1961)
Henbury, Om	0.43 (N/R)	Smales <i>et al.</i> (1958)
Henbury, Om	0.45 (N/R)	
Spearman, Om	0.13 (N/R)	Smales <i>et al.</i> (1958)
Tazewell, Off	0.78	Smales <i>et al.</i> (1958)
Coahuila, H	0.58	Smales <i>et al.</i> (1958)
San Martín, H.	0.09	Smales <i>et al.</i> (1958)
Montañas Sandia, H.	0.09	Smales <i>et al.</i> (1958)
Deep Springs, D.	0.15	Smales <i>et al.</i> (1958)
Sideralitos:		
Admire, P. fase silicato	0.02 (N/R)	Hamaguchi <i>et al</i> (1961)
Admire, P. fase metal	0.26	Hamaguchi <i>et al</i> (1961)
Bolivia P.	0.22 (N/R)	Smales <i>et al.</i> (1958)
Imilac, P.	0.23	Smales <i>et al.</i> (1958)

Handbook of Geochemistry

En 11 octaedritos los intervalos son de 0.01 a 0.8 ppm Sb, el promedio es 0.29 ppm. Tres hexaedritas contienen un promedio de 0.25 ppm. El promedio de 14 meteoritos de hierro (octaedritos y hexaedritas) es de 0.28 ppm Sb.

Las partes interna y externas de una inclusión, probablemente trioilita, del Cañon del Diablo, contiene 0.64 y 0.11 ppm Sb, respectivamente (N/R; Smales, Mapper, Morgan, Wester, y Word, 1958).

El contenido de antimonio en condritos y acondritos se puede ver en la tabla I.6.3.2 El promedio para condritos ordinarios puede tomarse como 0.1ppm Sb. El promedio de condritos carbonáceos es 0.12ppm. La relación atómica de Sb/Si en condritos ordinarios es 0.12ppm. La relación atómica de Sb/Si en condritos ordinarios es 1.3×10^{-7} , usando Si=18%. El promedio de relación de peso en condritos ordinarios es $0.1/2=0.05$

Tabla II.3.2.-Antimonio en condritos y un acondrito

Material	Sb (ppm)	Autor
Compuesto I a 7 Condritos (CH YCL)	1.4 (C)	Onishi y Sandell (1955)
Fase de metal y compuesto I	0.4	Onishi y Sandell (1955)
Compuesto II a 7 Condritos (CH y CL)	0.1	Onishi y Sandell (1955)
Fase de metal de compuestos II	0.6	Onishi y Sandell (1955)
Ciudad Forest, CH	0.12 (N/R)	Hamaguchi <i>et al.</i> (1961 b)
Modoc, CL	0.12	Hamaguchi <i>et al.</i> (1961 b)
Modoc, CL	0.12 (N/R)	Hamaguchi <i>et al.</i> (1965)
Bjurböle, CL	0.064 (N/R)	Esson <i>et al.</i> (1965)
Château Renald, CL	0.075	Esson <i>et al.</i> (1965)
Ochansk, CH	1.14	Esson <i>et al.</i> (1965)
Boriskino, Cc	0.13 (N/R)	Hamaguchi <i>et al.</i> (1975)
Mighei II, Cc	0.16	Hamaguchi <i>et al.</i> (1975)
Murray, Cc	0.06	Hamaguchi <i>et al.</i> (1975)
Nuevo Laredo, a	0.01 (N/R)	Hamaguchi <i>et al.</i> (1961 b)

Handbook of Geochemistry

II.4.-Materiales Lunares

Datos del contenido de antimonio de materiales lunares está compilado en la tabla II.4.1 Como se muestra, investigaciones de diferentes grupos de suelos (finos) han sido analizados.

Los componentes de Apolo 11, 12 y 15 son estimados con aproximadamente 1.8, 1.7 y 1.7 Sb% respectivamente (Morgan *et al.*, 1972); Los condritos contienen un promedio de 0.14 ppm de Sb.

De acuerdo con Morgan *et al.* 1973, el promedio Apolo 15 mare basalto contiene 0.098 ppb de Sb y Apolo 15 puro basalto 0.34 ppb de Sb.

Dieciocho muestras de suelos separadas 1-2 de Apolo 16 se analizaron por antimonio con activación neutrón (Krahenbuhl *et al.*, 1973). El contenido más alto de antimonio es encontrado en fracciones magnéticas (2 muestras: 25 y 31 ppb de Sb) y contrastes con fracciones magnéticas de suelo de Apolo 14.

Rocas del Apolo 16 que muestran el contenido más alto de antimonio (6.9 ppb) también muestran altos en Ge, Zn, Cd, Tl y Se. Manchas de Goetita se observaron en esta roca.

Tabla II.4.1.- Promedio muy aproximado de contenido de antimonio en rocas y suelos lunares:

<i>Apolo 11</i>	Basaltos (tipo A): 8 ppb Sb Basaltos (tipo B): 7 ppb Sb Breccias (tipo C): 6 ppb Sb
<i>Apolo 12</i>	Basaltos: 8 ppb Sb
<i>Apolo 14</i>	Breccias, Variable; suelos: 3 ppb Sb
<i>Apolo 15</i>	Basaltos: 0.1 ppb Sb Breccias, variable: suelos 2 ppb Sb
<i>Apolo 16</i>	Rocas cristalinas: 1 ppb Sb Breccias: variable; suelos: 2 ppb Sb
<i>Luna 16</i>	Suelos: 4 ppb Sb

Handbook of Geochemistry

Así el contenido de antimonio en rocas y suelos lunares es mucho más bajo que de los basaltos terrestres.

II.5.-Abundancia en minerales formadores de rocas

La distribución de antimonio en el número de minerales co-existentes de gabros de la intrusión Skaergaard fue estudiada por Esson *et al.* (1965) ver tabla II.5.1

Tabla II.5.1.-Antimonio en minerales formadores de rocas

Material	Sb (ppm)
Plagioclasa (3 muestras) de Gabro, Skaergaard, Groelandia	0.24; 0.032; 0.036 (N/R)
Piroxeno (3 muestras) de Gabro, Skaergaard, Groelandia	0.11; 0.026; 0.032
Olivino (3 muestras) de Gabro, Skaergaard, Groelandia	0.21; 1.17; 1.38
Magnetita Titanífera (3 muestras) de Gabro, Skaergaard, Groelandia	0.083; 0.026; 0.11
Ilmelita (2 muestras) de Gabro, Skaergaard, Groelandia	0.27; 0.15

Handbook of Geochemistry

Existe aparentemente un marco preferencial de entrada del antimonio dentro de olivinos de magnesio tempranos. La ilmilita parece ser el más favorable huésped por antimonio, probablemente debido a la sustitución de antimonio (III) por hierro (II).

En minerales formadores de rocas antimonio (radio iónico Sb^{3+} 0.76 y Sb^{5+} 0.62 Å) pueden probable sustituir por hierro (Fe^{2+} 0.74 y Fe^{3+} 0.64 Å) (Esson *et al.* 1965).

II.6.-Abundancia en rocas ígneas

En el trabajo de Onishi y Sandell (1955), el nivel de antimonio en rocas ígneas fue encontrado levemente más alto que el límite del método analítico (C).

Por tanto, los compuestos de muestras que fueron analizadas reportan un aproximado promedio.

El contenido de antimonio en rocas ultrabásicas y básicas está compilado en las tablas: II.6.1 y II.6.2, respectivamente.

En la tabla (rocas básicas) dos de los contenidos de compuestos de basaltos que parecen ser cantidades altas anormales (0.9 y 1.4 ppm) de antimonio. Su omisión en la computación de el promedio de un basalto es probablemente justificado. Un promedio tentativo para las rocas básicas (basalto y gabro) es de 0.1-0.2 ppm Sb.

Tabla II.6.1.-Antimonio en rocas ultrabásicas:

Material	Sb (ppm)	Autor
Compuesto de 13 muestras,U.S.A. y Canada peridotita (4), dunita (3),broncitita (1), harburzita (2), piroxenita (1), ultrabásica (2)	0.1(C)	Onishi y Sandell (1955)
Compuesto de 4 muestras, U.S.A.; Serpentinitas(2), dunita(1),Iherzolita (1)	0.1	Onishi y Sandell (1955)

Handbook of Geochemistry

Tabla II.6.2.- Antimonio en rocas básicas:

Material	Sb (ppm)	Autor
Compuesto de basaltos, Principalmente de Norte América .(11 muestras)	0.3 (C)	Onishi y Sandell (1955)
Compuesto de basaltos, principalmente de U.S.A. (6 muestras)	0.9	Onishi y Sandell (1955)
Compuestos de basaltos, Minnessota y Wisconsin, (5 muestras)	0.1	Onishi y Sandell (1955)
Compuesto de basaltos, Michigan, U.S.A. (20 muestras)	0.1	Onishi y Sandell (1955)
Compuesto de basaltos de Olivino, Oregon (7 muestras)	0.1	Onishi y Sandell (1955)
Compuesto de basaltos, Japón (5 muestras)	0.1	Onishi y Sandell (1955)
Compuesto de gabros, U.S.A. y Canada (4 muestras)	1.4	Onishi y Sandell (1955)
Compuesto de Gabros, Minnessota, U.S.A. (5 muestras)	0.2	Onishi y Sandell (1955)
Compuesto de rocas basálticas, Japón (7 muestras)	0.1	Hamaguchi <i>et al.</i> (1961)
Rocas de series estratificadas (principalmente gabros), intrusión Skaergaard, Groelandia	0.038 (N/R)	Esson <i>et al.</i> (1965)

Chilled gabro de olivino, intrusión Skaergaard*	0.025-0.19 (prom.0.11) (N/R)	Esson <i>et al.</i> (1965)
--	---------------------------------	----------------------------

*La roca es tomada a representar quizá la mejor estimación de la composición del magma original (Esson *et al.*, 1965)
Handbook of Geochemistry

El contenido de antimonio en rocas intermedias y rocas graníticas se muestra en las tablas II.6.3 y II.6.4.

Tabla II.6.3.- Antimonio en rocas intermedias

Material	Sb (ppm)	Autor
Compuesto de dioritas y cuarzodioritas, Oeste de Canadá, (10 muestras)	0.2 (C)	Onishi y Sandell (1955)
Compuesto de andesitas, Japón, (6 muestras)	0.2	Onishi y Sandell (1955)
Granófido, intrusión Skaergaard, Groelandia (2 muestras)	0.12;0.21 (N/R)	Esson <i>et al.</i> (1965)
Andesita	0.18 (espectrómetro de chispas)	Taylor (1965)

Handbook of Geochemistry

Tabla II.6.4.- Antimonio en rocas graníticas

Material	Sb (ppm)	Autor
Compuesto de granitos, Alemania (14 muestras)	0.3 (S)	Preuss (1940)
Compuesto de granitos, U.S.A. y Canadá (37 muestras)	0.3 (C)	Onishi y Sandell (1955)
Compuesto de granitos, U.S.A. y otra parte (18 muestras)	0.2	Onishi y Sandell (1955)
Compuesto de rocas graníticas, Minnessota, U.S.A. (11 muestras)	0.1	Onishi y Sandell (1955)
Compuesto de granitos, Región Llano, Texas, U.S.A. (5 muestras)	0.1	Onishi y Sandell (1955)
Compuesto de rocas graníticas, principalmente Japón (12 muestras)	0.2	Onishi y Sandell (1955)
Compuesto de granito-gneiss. Canadá, U.S.A, Y otra parte (14 muestras)	0.3	Onishi y Sandell (1955)
Compuesto de rocas silíceas, U.S.A. (7 muestras)	0.6	Onishi y Sandell (1955)
Compuesto de rocas graníticas, Japón (20 muestras)	0.024 (N/R)	Hamaguchi <i>et al.</i> (1961)
Granófido ácida, intrusión Skaergaard, Groelandia (4 muestras)	0.09-0.44 (prom. 0.20) (N/R)	Esson <i>et al.</i> (1965)
Granodioritas, Lago Mayo, Keno Hiil-galena Area Hill, Yucon, Canadá (compuesto de 4 muestras)	<1.0-1.0 (prom.<1.0)	Boyle (1965)

Handbook of Geochemistry

Para las tablas II.6.3 y II.6.4 un valor de 0.2 ppm Sb es dado como el promedio para rocas intermedias y rocas graníticas. Las rocas graníticas contienen un poco más de antimonio que las rocas basálticas y gabroicas, pero la precisión de los datos no garantiza una conclusión positiva.

El contenido de antimonio en rocas ígneas puede tomarse como 0.2 ppm Sb, basado en los promedios de rocas graníticas, basaltos y gabros. La proporción del peso promedio de Sb/As en rocas ígneas es $0.2/1.5 =$ aproximadamente 0.1. Goldschmidt's (1937) estima de 1 ppm Sb para rocas de la corteza es también alto.

El orden para juzgar la confiabilidad de los análisis de rocas silíceas para antimonio, los resultados de antimonio determinaciones en granito y diabasa son listados en la tabla II.6.5.

Tabla II.6.5.-Resumen de determinaciones de antimonio

Roca	Sb (ppm)	Método	Autor
Granito	0.6	C	Ward y Lakin (1954)
Granito	0.28	N/R	Hamahuchi <i>et al.</i> (1961)
Granito	0.1	Espectrómetro de chispa	Brown y Wolstenholme (1964)
Granito	0.30	N/R	Esson <i>et al.</i> (1965)
Granito	0.35	Espectrómetro de chispa	Taylor (1965)
Diabasa	1.2	C	Ward y Lakin (1954)
Diabasa	0.95	N/R	Hamahuchi <i>et al.</i> (1961)
Diabasa	0.3	Espectrómetro de chispa	Brown y Wolstenholme (1964)
Diabasa	1.03	N/R	Esson <i>et al.</i> (1965)
Diabasa	0.89	Espectrómetro de chispa	Taylor (1965)

Handbook of Geochemistry

Con la excepción de los valores obtenidos por Brown y Wolstenholme, las cifras están bien; los rangos son 0.28-0.6 y 0.89-1.2 ppm Sb para el granito y la diabasa, respectivamente. Los promedios (=media aritmética) son 0.4 y 1.0 ppm Sb para el granito y la diabasa, respectivamente. Estos promedios son recomendados cuando son usados como muestras estándar.

Desafortunadamente la sensibilidad de los métodos colorímetros determina valores ligeramente más altos que el promedio del contenido de antimonio en rocas ígneas. Es deseable tener el método de colorímetro que permita un tamaño grande de muestra, e.g. 5g. La sensibilidad de los análisis de emisión espectrográfica es también bajo para permitir la determinación de antimonio en rocas silicatadas. Sin embargo, Preuss (1940) desarrolló un método usando una técnica auxiliar de calentamiento e incremento de sensibilidad espectrográfica debajo a ~ 0.3 ppm Sb. El análisis de activación del neutrón es probablemente el método más usado. El espectrómetro de chispas es un método muy prometedor.

II.7.-Abundancia en suelos

El comportamiento del antimonio durante el interperismo de los remanentes de rocas puede ser explorado.

Ward y Lakin (1954) reportaron 2.3-9.5 ppm Sb en suelos de Idaho y áreas mineralizadas. En el distrito Nyeba Plomo-zinc de Nigeria, los suelos de 30-120m de distancia de Ameri Lode contienen 1-5 ppm, y suelos de 30-90m de distancia de Wine Palm contienen 1-2 pmm Sb, (Hawkes, 1954).

Suelos residuales del área Heno Hill-Galena, Yucon Canadá fueron estudiados por Boyle (1965). Los suelos que probablemente no han sido influidos por mineralización contienen 1 a 3 ppm Sb; un promedio no pesado fue 1.9 ppm. El promedio de arsénico contenido de estos suelos fue tan alto como 16 ppm.

Si los resultados anteriores son representativos de suelos, el antimonio es concentrado en suelos procedentes de las rocas ígneas.

II.8.-Abundancia en aguas naturales

El contenido de antimonio en aguas de río y subterráneas se pueden ver en la tabla II.6.8

Tabla II.8.1.- Antimonio en aguas de río y subterráneas

Material	Sb (ppm)	Autor
<i>Aguas de río</i>		
Río Skellefte, Suecia	0.05	Landström y Wenner (1965)
Río Ume, Suecia	0.07	Landström y Wenner (1965)
Río Angerman, Suecia	0.08	Landström y Wenner (1965)
<i>Aguas subterráneas</i>		
Cerca de Skelleftå, Suecia	0.01;0.02	Landström y Wenner (1965)
Brån, Suecia (2 sitios)	0.03;0.2	Landström y Wenner (1965)
Sollefteå, suecia (3 sitios)	0.06;0.04;0.5	Landström y Wenner (1965)

Handbook of Geochemistry

Tabla II.8.2- Antimonio en aguas de fuente termal

Localidad	Sb (ppm)	Autor
Isla Umnak, Alaska, U.S.A (4 primaveras)	<0.07-0.93	Byers y Branco (1949)
Ouray Sorings, Colorado, U.S.A	0.5	White, Hem y Waring (1963)
Boiling Springs, Idaho, U.S.A	0.1	White, Hem y Waring (1963)
Steamboat Springs, Nevada, U.S.A.	0.07-0.4	White y Brannock (1950)
Parque de Yellowstone, Wyoming,USA	0.01	White, Hem y Waring (1963)
Kamchatka, (2 springs)	0.0 (S); 0.6	White, Hem y Waring (1963)

Continuación tabla II.8.2		
Localidad	Sb (ppm)	Autor
Aguas termales de Hokkaido, Japón	Max. cerca 0.8 (S)	Nishimura (1958)
Nasu, Tochigi Prefecture, Japón	0.0001 (S)	Ikeda (1955)
Arima, Hyogo Prefecture, Japón	Cerca de 0.0005 (S)	Ikeda (1955)
Tokaanu, Nueva Zelanda (2 saltos)	0.34; 0.68 (C)	Ritchie (1961)
Wairakei, Nueva Zelanda (8 saltos)	0.085-0.12	Ritchie (1961)
Geysir Valley, Nueva Zelanda (2 springs)	0.12;0.14	Ritchie (1961)
Ohaki, Nueva Zelanda	0.90	Ritchie (1961)
Orakei, Korako, Nueva Zelanda (4 springs)	0.017-0.048	Ritchie (1961)
Waiotapu, Nueva ZelandaWaiotapu, Nueva Zelanda(3 saltos)	0.034-0.22	Ritchie (1961)
Waimangu, Nueva Zelanda	0.038	Ritchie (1961)
Whakarewarewa, Nueva Zelanda	0.036	Ritchie (1961)
Rotorua, Nueva Zelanda	0.008	Ritchie (1961)

Handbook of Geochemistry

Tabla II.8.3-Antimonio en agua de mar

Área	Profundidad (m)	Sb (ppb)	Autor
Caribe	3-3,000	0.20-0.31(prom. 0.26) (N/R)	Schutz y Turekian (1965)
Golfo de México			
25° 03' N, 87° 05' W	10	0.58 (Prom. 0.46)	Schutz y Turekian (1965)
25° 03' N, 87° 05' W	3,000	0.24	
N.W. Atlántico	5-4,500	0.12-0.43 /prom 0.24)	Schutz y Turekian (1965)
N.E. Atlántico	8-800	0.14-0.30 (prom 0.21)	Schutz y Turekian (1965)
S.W. Atlántico			
19° 57' S, 34° 03' W	4,000	1.1 (prom. 3=0.53,	Schutz y Turekian (1965)
21° 49' S, 35° 43' W	10	0.30 prom. 2=0.25)	
21° 49' S, 35° 43' W	100	0.19	
Mar Irlandés	superficie	0.13-0.40(prom. 0.24) (C)	Portmann y Riley (1966)
Océano Índico			
25° 57' S, 79° 33' E	Superficie	0.31 (prom. 0.37) (N/R)	Schutz y Turekian (1965)
25° 41' S, 101° 56' E	1,200	0.42	
Pacífico central	Superficial a 4,350	0.18-1.2 (av. 0.51)	Schutz y Turekian (1965)
Pacífico este	14-1,300	0.16-0.38; 1.75 (prom. de todo =0.51,0.26*)	Schutz y Turekian (1965)
Antártida	14-1,300	0.18-0.2 (prom 0.24)	Schutz y Turekian (1965)

*El valor alto de 1.75 ppm fue excluido

Handbook of Geochemistry

Una muestra de Searles Lake brine, California, U.S.A. contiene 5 ppm Sb (White, Hemy Waring, 1963).

Datos de contenido de antimonio en aguas de fuentes termales (incluye algún mineral de fuentes termales) están enlistados en la Tabla

La concentración más alta de antimonio en aguas de fuentes termales es cerca de 1 ppm Sb.

La distribución de antimonio y otros elementos traza en aguas de mar fue investigado por Schutz y Turekian (1965) usando análisis de activación de neutrón. Sus datos son resumidos en la tabla II.8.3.

El promedio para aguas de mar se puede tomar como 0.3ppm Sb (μg por 1). Si se toma el promedio de contenido de cloro como 19,000 ppm (mg por 1), se tiene una relación de $\text{Sb/Cl}=5 \times 10^{-9}$. La proporción de peso de Sb/As en el agua de mar es $0.3/s=0.15$.

II.9.- Abundancia en rocas sedimentarias comunes

El contenido de antimonio de lutitas Mansfeld Cobre (kupferschiefer), Alemania es 0.0012% y 0.03% de Sb de acuerdo con Noddack y Noddack (1931) y Cissarz y Moritz (1933), respectivamente.

Tabla II.9.1.- Antimonio en lutitas arcillosas y del carbonífero

Material	Sb (ppm)	Autor
Compuestos, Europa (36 muestras)	3 (M)	Preuss (1940)
Distrito de Nieba, Nigeria (3 muestras)	(todas) 4 (C) ^a	Hawkes (1954)
Compuestos, Wisconsin, U.S.A. (3 muestras)	0.1 (C)	Onishi y Sandell (1955)
Compuestos, Minnesota, U.S.A. (4 Muestras)	0.2	Onishi y Sandell (1955)
Nueva York y Pensilvania	0.3-2.4 (prom 0.8)	Onishi y Sandell (1955)
Compuestos, Norte América (7 muestras)	2.6	Onishi y Sandell (1955)
Japón (5 muestras)	0.2 – 0.9 (prom 0.4)	Onishi y Sandell (1955)
Compuestos no pesados, Japoneses (24 muestras), Europeos (36) pizarras	2.3	Onishi y Sandell (1955)
Pizarras aceitosas (tastamanita), Tasmania	0.2	Onishi y Sandell (1955)
Pizarras, Granville, Nueva York, U.S.A.	1.7	Onishi y Sandell (1955)
Pizarras, Powlet, Vermont, U.S.A.	0.5	Onishi y Sandell (1955)
Pizarras, Cuyuna Range, Minnesota, U.S.A.	0.4	Onishi y Sandell (1955)

^a esta muestra alta en plomo (67-114 ppm)
Handbook of Geochemistry

Las lutitas son fuertemente variables en antimonio. Algunas contienen no más que las rocas ígneas, mientras que otras contienen algunas partes por millón. El promedio para las lutitas puede tomarse como 1-2ppm Sb. El antimonio contenido en las lutitas como un todo puede ser como 10 veces mas grande que las rocas ígneas. Aunque el antimonio y el arsénico no

varían juntos en las pizarras, la relación de promedio en peso es de Sb/As en lutitas es aproximadamente 0.1.

El contenido de antimonio de varias rocas sedimentarias y otros sedimentos diferentes a las lutitas se muestra en la tabla II.9.2.

Tabla II.9.2.- Antimonio en varios depósitos sedimentarios

Material	Sb (ppm)	Autor
Compuesto, de calizas, mayormente de U.S.A. (9 muestras)	0.3 (C)	Onishi y Sandell (1955)
Compuestos de areniscas, Alemania (23 muestras)	1	Preuss (1940)
Areniscas, Minnessota, U.S.A., lavadas con HCl	0.0 (C)	Onishi y Sandell (1955)
Bauxitas, Guyana Inglesa Haití (2 muestras)	1.9;2.3	Onishi y Sandell (1955)
Cantos rodos de fosfato, Florida U.S.A.	1.3	Onishi y Sandell (1955)
Roca fosfatada, Tennessee Brown	0.2	Onishi y Sandell (1955)
Compuesto de lutitas, Océano Pacífico, profundidad del mar 4096-5794m (4 muestras)	1.4	Onishi y Sandell (1955)
Compuesto de lutitas, Océano Pacífico, profundidad del mar 4293-5844m (4 muestras)	0.7	Onishi y Sandell (1955)
Compuesto de lutitas, Océano Pacífico, profundidad de mar 2140-4540m (6 muestras)	0.2	Onishi y Sandell (1955)

Handbook of Geochemistry

Puesto que pequeñas cantidades de antimonio pueden entrar en el cuarzo, la calcita, o la dolomita, las areniscas, y calizas pueden tener poco antimonio, y si es encontrado puede estar presente en las arcillas o en un componente accesorio. Algunas bauxitas son relativamente ricas en antimonio. Las rocas fosfatadas son evidentemente variables en antimonio.

Las Arcillas son claramente enriquecidas en antimonio comparadas con las rocas ígneas. Un promedio de 1ppm Sb es indicado una décima parte de contenido de arsénico.

II.10.- Abundancia en rocas metamórficas comunes

La tabla II.10.1 muestra el contenido de antimonio de rocas metamórficas. Boyle (1965) considera que, en las rocas estudiadas, la mayoría del antimonio se encuentra en minerales de sulfuros.

Tabla II.10.1.- Antimonio en rocas metamórficas

Material	Sb (ppm)	Autor
<i>Rocas de Keno Hill-Galena Hill area, Canada</i>		
Argilitas grafiticas, esquistos, y pilitas (29 muestras compuestas)	1.0-7.0 (prom. 3.1)	Boyle (1965)
Esquistos cuarzo sericíticos (8 muestras compuestas)	1-1.5 (prom. 1)	Boyle (1965)
Cuarcitas grises de estratificación gruesa y delgada (27 muestras compuestas)	1.0-6.0(prom 1.5)	Boyle (1965)
Cuarcitas blancas silíceas (9 muestras compuestas)	<1-1 (prom.<1)	Boyle (1965)
Cuarcitas calcáreas (3 muestras compuestas)	<1-1 (prom.<1)	Boyle (1965)
Skarn (6 muestras compuestas)	1 (prom. 1)	Boyle (1965)

Handbook of Geochemistry

II.11.- Bioquímica

El antimonio en animales marinos fue determinado espectroscópicamente por Noddak y Noddack (1939), Las muestras fueron tomadas en Gullmarfjord, Suecia. Los resultados se pueden ver en la tabla I.6.12.1. Aunque los datos obtenidos por los Noddack necesitan confirmación, pueden servir como buenos indicadores de magnitud.

Tabla II.11.1.-Antimonio en animales marinos

Material (muestras secas)	Sb (ppm)
Tunicata	
Ciona Intestinal (completo)	0.1
Porifera	
Halichondria (completa)	0.08
Coelenterata	
Cyanea capitalla (completa)	0.16
Metridium dianthus (completa)	1.23
Echinoderma	
Stichopus tremulus (destripado)	0.24
Bissopsis lyrifera (prueba)	0.18
Asterias rubens (destripado)	0.1
Peces	
Ctenolabrus rupestris (completo)	0.2
Squalus acanthius (destripado)	0.2

Handbook of Geochemistry

Son pocos los datos de antimonio en otros materiales biológicos. Con el análisis de activación de neutrones, Wester (1965) reportó 0.0007-0.01 ppm Sb en muestras frescas (mojadas) de tejido conductivo de 4 corazones de ganado vacuno saludable.

Debido a sensibilidad insuficiente de los métodos analíticos (a esa fecha) el contenido de antimonio en carbón no es totalmente conocido.(Tabla I.6.12.2).

Tabla II.11.2.- Antimonio en carbón

Material	Sb (pmm)	Autor
Ceniza de carbón, Virginia,	Prom. < 40	Headlee y Hunter (1953)
Ceniza de carbón, Alemania	Maz.ca. 3,000	Otte (1953)
Carbón bituminoso, Nueva Sur	Prom. < 30 en carbón	Clark y Swaine (1962)
Wales, Australia	Prom.<200 en cenizas	Swaine (1962)

Handbook of Geochemistry

II.12.- Promedio de abundancia

La tabla II.12.1 resume el promedio de abundancia del antimonio en diferentes materiales cósmicos y terrestres. Algunos de los datos son aproximados.

Tabla II.12.1.- Promedio de abundancia de antimonio en diferentes materiales del cosmos y de la corteza terrestre

Material	Sb (ppm)
Meteoritos de hierro	0.3
Condritos ordinarios	0.1
Rocas ígneas	0.2
Basaltos y gabros	0.1-0.2
Rocas graníticas	0.2
Agua de mar	0.0003 (=0.3ppb)
Pizarras	1-2
Arcillas pelágicas	1

Handbook of Geochemistry

Puede ser de interés referir el balance geoquímico del antimonio es similar al del arsénico. Puesto que el material sedimentario como un todo es tan rico en antimonio como las rocas ígneas, se puede pensar que las cantidades significativas de antimonio pueden haber escapado del interior de la tierra en el agua de las fuentes termales y como en exhalaciones volcánicas. Como se muestra en la tabla II.8.2, algunas aguas termales contienen cantidades apreciables de antimonio. Esto hace parecer que el balance geoquímico del antimonio es similar al arsénico.

III.1.- Clasificación de los depósitos de antimonio

Tabla III.1 Clasificación de los yacimientos de antimonio, según Wang, 1952

Hidrotermales	
(A) Depósitos de metamorfismo de contacto	Los depósitos de esta clase son muy raros. La única ocurrencia conocida, donde el mineral de antimonio es asociado con minerales de metamorfismo de contacto, son los de Zimapán, México (jamesonita), y en el Distrito White Horse, British Columbia (estibinita). Otras ocurrencias las cuales pueden clasificarse dudosamente son aquellas encontradas en Sardinia; Alaska; Distrito de Skenna, British Columbia; y Sur Ham, Québec.
(B) Depósitos de alta temperatura	Ejemplos de esta clase son ocurrencias esporádicas de jamesonita y estibinita en los filones de Bolivia estaño-plata-tungsteno-bismuto; la ocurrencia de la estibinita con scheelita en Sardinia; La aparición de plata vetas bindeimita del distrito de Arabia, Nevada; la estibinita encontrada en las vetas de cuarzo normal con oro al Oeste de Australia; y los depósitos de jamesonita en La Sirena, cerca de Zimapán, Hidalgo, México.
Mesotermales	
(C) Depósitos de temperatura intermedia	La mayoría de los depósitos son bien conocidos en varias partes del mundo y pueden ser clasificados bajo este rubro general
(1) Vetas de Fisura	
(a)	No-auríferas y No-argentíferas La mineralización es simple: mayormente estibinita, asociada generalmente a pirita y ocasionalmente a misquípel; el oro está presente a veces en trazas; los productos de alteración, tales como la valentinita, senarmontita y kermesita se encuentran a menudo cerca de la superficie. Ejemplos: En los depósitos de China, especialmente aquellos de Hunan, tales como en Panhsi, Anhua y Chianghsilung; Sonora, México; Kano, Ichinokawa, Japón; Pricov, Checoslovaquia; Saint-Yriex (Haute-Vienne), Freycent y Mercoeur, Francia; Bibi, British Norte de Borneo; Sur de Rodesia; La mayoría de los depósitos de Bolivia; York Co. New Brunswick; Sur Ham, Québec; Endeavour Inlet, Nueva Zelanda; Ribas Valley, España; y Prata, Portugal.

	<p>(b) Auríferas o argentíferas El mineral de estibinita, si es cuidadosamente analizado, a menudo muestra trazas de oro. La pirita y la arsenopirita, cuando se encuentran asociadas con estibinita, frecuentemente contienen oro. Ejemplos: Douro basin, Portugal, La Lúcete, Francia; Magurka, Checoslovaquia; West Gore, Nueva Escocia; Wheaton River, Yucón; Fairbanks, Alaska; Quartzburg, Idaho; Costerfield, Victoria, Australia; Chillagoe, Queensland; Huancavelica y Carabaya, Perú; Hoichi, Kwangsi, China; y algunas localidades de Hunan, China.</p>
	<p>(c) Con presencia de plomo y cobre Los principales minerales de sulfoantimoniuros de cobre son wolfsbergita, famatinita y tetraedrita; y el principal mineral sulfoantimoniuro de plomo son jamesonita, bournonita y nadorita, algunas veces asociada con menas de zinc. Ejemplos: Metelin, Asia Menor (Cu); Mouzaia, Algeria (Cu); Magurka, y Schemnitz, Hungría; Huanchaca, Bolivia (Cu); Hien de la Encima, Chancarcillo y Caracoles, México (Pb); Cajamarca y Huancavelica, Perú (Pb); Freycenet, Francia (Pb); cerca de Freiberg Saxony (Pb); Hamman N´Bail, Algeria (Pb); y en Black Hill de Dakota, U.S.A. (Pb).</p>
	<p>(2) Fallas o zonas de cizalla en calizas, areniscas, o esquistos Las menas están irregularmente distribuidas a lo largo de zonas en grietas y bolsones, usualmente en forma lenticular. Las asociaciones metalíferas son pocas o inexistentes. Ejemplos: Hsikwanshan, Hunan, China; y Hoffnung, cerca de Bruck, Alemania.</p>
	<p>(3) Impregnaciones de poros en capas de calizas y arenisca Estas impregnaciones han resultado de la penetración de soluciones hidrotermales de antimonio dentro de las rocas circundantes. La ganga de otros minerales metalíferos son escasos o faltantes. Ejemplos: Villarange y Arnsberg, Westphalia; y Coyote Creek, Garfield Co., Utah.</p>
	<p>(4) Remplazamiento metasomático</p>

	<p>La ganga y asociaciones metalíferas son pocas o faltantes. Ejemplos: Cettine de Cotorniano, Italia; Su Suergiu, Sardinia; Kok-Kong, Kwangtung, China; Kostainik y Allchar, Yugoslavia; Sidi-Rgheiss, Djebel Bebar, Bou Zitoun, y Djebel Nador, Argelia.</p>
Epitermales	
(D) Depósitos de baja temperatura	<p>Existen varios depósitos de este tipo encontrados irregularmente en diferentes partes de Alemania, Francia, Argelia México, Estados Unidos y Alaska. El cinabrio es usualmente el mineral principal asociado, pero a veces es remplazado por el rejalgar, oropimente o piritita. Ejemplos: Huitzucó, México (Hg); Dobsina, Szlana y Kotterbach, Hungría (Hg); Allchar, Yugoslavia (As).</p>
(e) Depósitos Solfataricos	<p>Tales depósitos son muy raros. Como un ejemplo de este tipo puede ser mencionado los depósitos de antimonio en Pereta, Sur de Toscana.</p>

IV.-Provincias metálicas de antimonio

La aparición de antimonio en regiones del mundo puede ser agrupada en provincias antimoniales, arregladas en orden de importancia, como sigue:

Circumpácifico:

- (A) La provincia de Sinian: Hunan, Kwangtung, Kwangsi, etc.
- (B) La provincia Mexicana
- (C) La provincia Andina
 - (1) Bolivia
 - (2) Perú
 - (3) Argentina
- (D) La provincia cordillera de Norte América
- (E) La provincia cordillera del Este de Australia

Circunmediterráneo:

- (F) La provincia de Argelia
- (G) La provincia Francesa
- (H) La provincia de Yugoslavia
- (I) La provincial de la República Checa y Hungría
- (J) La provincia Italiana
- (K) La provincia de Alemania, España y Portugal

África

- (L) África

Otras Regiones:

Japón, Indio-China, Turquía, India, Suiza, Canadá.

IV.I.- China

El antimonio ha sido encontrado casi todo en las provincias del sur, pero los depósitos más importantes están localizados en las provincias de Hunan, Kawasaki, Kwangtung y Yunnan.

1.- Hunan.- Distribución

Los depósitos de antimonio están extensamente distribuidos en Hunan. Las siguientes localidades producen antimonio (la lista es de acuerdo a la producción y la riqueza relativa en reservas):

Hsinhua	Hsinning	Liuyang	Linwu
Tungan	Wukang	Kiyang	Shouyang
Ichang	Kweiyang	Yuanlin	
Tsekiang	Yiyang	Chenhsien	
Anhua	Hsupu	Chenki	

Relacionadas con la estructura geológica:

Las áreas productivas pueden ser agrupadas, de acuerdo a su relación a la estructura, en dos grandes regiones:

- (a) *Sur de Hunan*. Los depósitos aquí tienen una relación con una estructura dómica. La mayoría de ellos ocurren en estratos de edad del Silúrico al Ordovícico, pero menos abundantes en rocas del Devónico. Con la excepción de la mina de antimonio Changchengling de Ichiang, la cual ocurre en algunos anticlinales, todos los demás están asociados a la estructura dómica. Estos domos están compuestos de rocas del Silúrico en el centro y alrededor por rocas del Devónico y rocas más jóvenes. En alguno de ellos existen afloramientos de granitos cerca de la parte central, lo que sugiere una relación genética entre las menas y el intrusivo granítico.
- (b) *Al norte de Hunan* Los depósitos ocurren en la mitad de un gran anticlinal con una dirección este a oeste, con rocas del Silúrico en el eje y en los alrededores por rocas del Devónico y estratos más recientes en ambos lados. La mayoría de los casos están localizados a una distancia de un afloramiento de granito, lo que indica una baja temperatura durante el tiempo de formación como aquellos de la región sur de Hunan. Esto es más justificado por la ocurrencia de tales minerales como el cinabrio en algunos de los depósitos.

La intrusión de granito: cerca de alguno de los depósitos, el granito ha sido encontrado como intrusión en capas del Devónico. La intrusión del granito en la provincia de Hunan es generalmente considerada que tomó lugar en tiempos pos-jurásicos. Parece que los depósitos de antimonio en Hunan fueron formados en un período similar a la formación de otros depósitos metálicos del área.

Modo de ocurrencia

Si se agrupan estos depósitos de acuerdo a su modo de ocurrencia, pueden ser reconocidos tres tipos, como sigue:

- (a) Hsikwanshan- Aquí la estibinita es el principal mineral de mena, ocurre en arenisca cuarcítica y en lutita negra silíceas, de edad del Devónico. Debido al esfuerzo de tensión producido en el curso del plegamiento, la roca madre está fracturada. La solución ascendente de los depósitos de mena a lo largo de capas planas, o en diaclasas forman vetas, o forman bolsillos en las cavernas. En último caso, los yacimientos son comúnmente grandes y ricos. Este tipo de depósitos se caracterizan por su forma y distribución irregular, con Hsikwanshan como yacimiento tipo.
- (b) Tipo Panshi- Las menas aparecen en vetas de cuarzo formadas a lo largo de diaclasas, fallas y capas planas teniendo un rumbo y buzamiento definido. Las paredes de las rocas tienen color verde con dominante sericitización. La mayoría de los depósitos en Hunan pertenecen a este tipo.
- (c) Tipo Changchingling –Este tipo de depósitos está formado principalmente por remplazamiento de la roca madre por soluciones ascendentes. La estibinita es formada principalmente en forma prismática o como agujas. Los depósitos de antimonio de Changchingling de Chiang son el tipo de ejemplo, se forman a través del remplazamiento de calizas; Los depósitos de Linchiachound de Anhua aparentemente pertenecen al mismo grupo.

Tabla IV.1.1-Los depósitos de antimonio de Hsikwanshan (Hsinhua)

Geología	
(1)Estratigrafía	
Carbonífero Inferior	(8) Calizas (7) Areniscas Hsuehfengshan (6) Calizas Makunao (5) Arenisca férrica Nitongli; Series Hsikwanshan (4) Calizas Tutzutang (3) Lutita Changlungchieh
Devónico Superior:	(2) Cuarzita Chilichiang; Series Shetiengchiao (1) Caliza Lookuangshan
(2)Estructura	La estructura del área es más compleja. Para una conveniente descripción, el área puede ser dividida en tres partes (a) Parte Norte- Compuesta esencialmente de un anticlinal con una dirección NE-SW. El lado oeste de este anticlinal esta cortado por una falla con una dirección de NNE a SSW. Esta región puede llamarse Hhsikwanshan, y fue en tiempos formados la principal área productora. (b) Parte Central –Esta área fue plegada y está cortada por dos fallas con una tendencia aproximada este y oeste. Existen más cortes al oeste por la falla extendiéndose del sector norte. (c) Parte Sur- Está compuesta por dos anticlinales con un sinclinal en medio. La tendencia de los pliegues es en la misma dirección como el anticlinal en la parte norte, y también es cortada por una falla. Esta se conoce como la principal área de producción
Yacimientos	
(1) Origen	
	La ocurrencia del antimonio está prácticamente confinada a capas de cuarzita, especialmente aquellas cerca de la parte central del un anticlinal. Esto parece ser debido al esfuerzo de tensión producido en el curso del plegamiento, la roca es a menudo distintamente fracturada y brechada y algunas veces grandes cavernas son formadas. Esto junto con el hecho que las capas cuarcíticas descansan sobre pizarras impermeables Changlungchief proporcionan un excelente recipiente para el depósitacion gradual de minerales de soluciones ascendentes. Loa afloramientos de granitos ocurren en ambos partes al sur-oeste y al este, algunos (270,000-370,000 km) del área de Hsikwanshan. La solución mineralizada aparece, directamente relacionada a la introducción del magma granítico.
(2) Minerales de mena y minerales de ganga	
	Estibinita, cervantita, pirita, limonita; Cuarzo, barita, yeso, sericita, caolinita

Wang, 1952

Tabla IV.1.2.- Principales depósitos de antimonio, de la provincia Hunan, China

Nombre	Situación	Roca encajonate	Estructura	Yacimientos			Producción Cuantitativa en ton (contenido de metal)
				Modo de ocurrencia	Minerales de mena	Ganga	
(1) Mina Hsikwanshan	25 millas NE de la ciudad de Hsinhua	Cámbrico { Caliza Inferior { Arenisca Devónico Superior { Series Hsikwanshan { Calizas Areniscas Series Chao { Calizas Shetieng { Pizarra Cuarcita Calizas	Pliegue con tendencia NE-SW, cortado por la parte oeste por una falla tendencia N-S	Vetas y depósitos, principalmente en cuarcitas	Estibinita, Pirita, Cervantita, Estibiconita	Cuarzo, Barita, Yeso,	300,000 (hasta de 1933)
(2) Mina Lungshan	Al NE de la ciudad de Shouyang	Filitas del Silúrico con cantos rodados	Rumbo: NNE-SSW Buzamiento: de 50° SE a casi vertical	Vetas de relleno de fisura formados a lo largo de plano de facturas	Estibinita, Oro nativo, Pirita, Cervantita, Kermesita	Cuarzo, calcita	3000 (hasta de 1933)
(3) Mina Houtungchung	30 millas al SW desde la ciudad de Shouyang	Pizarras y calizas del Cámbrico sobreyaciendo inconformemente por conglomerado del Devónico	Rumbo: N 30° e (Pizarras del Cámbrico) Buzamiento: 50° NW a casi vertical	Vetas de fisuras en pizarras del cámbrico	Estibinita, Pirita	Cuarzo	1,500 (hasta de 1933)
(4) Mina Chianghsi	Aprox. 30 millas al NE de la ciudad de Shouyang	Pizarras del Devónico Medio	Rumbo: N 70°W Buzamiento: 28° NE		Estibinita	Cuarzo	2500 (hasta de 1933)
(5) Mina Panhsi	40 millas WSW de la ciudad de Iyang	Filita del Silúrico	Pliegues y fracturas, con buzamiento en general E-W	Vetas formadas a lo largo planos de estratificación y fisuras, dos principales buzamientos de venas NE-SW	Estibinita, Pirita	Cuarzo, Calcita	40,000 (hasta de 1933)
(6) Mina Wangchia-chung	54 millas WSW desde la ciudad de Iyang	Filita del Silúrico intercalado con arenisca	Rumbo: ENE-WSW Buzamiento: 35°-55° hacia el sur	Vetas de fisura formado a lo largo de plano de estratificación y plano de falla	Estibinita, Pirita	Cuarzo	1,500 (hasta de 1933)

Nombre	Situación	Roca encajonate	Estructura	Yacimientos			Producción Cuantitativa en ton (contenido de metal)
				Modo de ocurrencia	Minerales de mena	Ganga	
(7) Mina Liaochiaping	9 millas ENE de la ciudad de Anhua	Filita del Ordovícico, series de pizarras del Cámbrico Inferior, capas cuarzosas	Formando un anticlinal y sinclinal, buzando NW-SW	Vetas de fisura a lo largo plano de estratificación	Estibinita, Arsenopirita, Pirita, Kermesita, Cervantita	Cuarzo	7,000 (hasta de 1933)
(8) Mina Kantzuyuan	3½ millas WSW de la ciudad de Anhua	Filitas del Cámbrico	Rumbo:NE-SW Buzamiento: 30°-65° SE	Vetas de fisura a lo largo plano de estratificación	Estibinita, Pirita, Calcopirita, Malaquita, Esfalerita, kermesita, Cinabrio	Cuarzo	6,000 (hasta de 1930)
(9) Mina Huapanhsi	WSW de la ciudad de Anhua	Filitas del Cámbrico	Rumbo: N70°e Buzamiento: 40°-70° SE	Vetas de fisura a lo largo del plano de estratificación	Estibinita, Esfalerita, Arsenopirita	Cuarzo	6,000 (hasta de 1930)
(10) Mina Chatzushi	84 millas W de la ciudad de Anhua	Filitas del Silúrico intercaladas con Cuarcita	Rumbo: ENE-WSW Buzamiento: 40°-70° SE	Vetas de relleno de fisuras a lo largo de plano de estratificación y fracturas	Estibinita, Pirita, Arsenopirita, Calcopirita	Cuarzo, Calcita	7,000 (hasta de 1933)
(11) Mina Tsengchiahsi	27 millas NE de la ciudad de Hsupu	Capas cuarzosas del Cámbrico, pizarras y calizas	Rumbo:N 30° E- 45° E Buzamiento: SE	Vetas de fisura a lo largo de los planos de estratificación	Estibinita, Pirita, Calcopirita,	Cuarzo	1,700 (hasta de 1933)
(12) Mina Nutauchai y Hsien Changchung	36 millas al N de la ciudad de Tungan	Areniscas y pizarras del devónico medio	Una complicada estructura de anticlinal con tendencia ENE-WSW con la parte central lying en Ta-NiuTou-Chain	Vetas de fisura como impregnaciones en la roca encajonante	Estibinita, Pirita, Calcopirita, Kermesita, Cervantita,	Cuarzo, Barita,	8,800 (hasta de 1933)
(13) Mina Chiangkou	33 millas NNE de la ciudad de Hsinning	Calizas del Devónico medio, conglomerado y areniscas slate del Cámbrico	Rumbo: N-S, con algunos pliegues	Vetas de relleno de fisuras	Estibinita, Pirita	Cuarzo, Barita Calcita	6,920 (hasta de 1933)
(14) Mina Lungkou	24 millas al NE de la ciudad de Hsinning	Conglomerado del Devónico Slate del cámbrico y capas cuarzosas, Filitas del Silúrico	Formando pliegues con tendencia general N30° E	Vetas formadas a lo largo de los planos de estratificación	Estibinita, Pirita, Asenopirita	Cuarzo	10,000 (hasta de 1933)

2.- Kwangsi

Las menas están generalmente asociadas con cuarzo en lutitas o calizas. En Ho Chi la mena encontrada es algunas veces argentífera así como aurífera. La ocurrencia de menas de óxidos es absolutamente difusa.

3.- Kwangtung

En Kok-Kong los depósitos están en la formación de calizas, las cuales yacen sobre lutitas y areniscas. La mena en forma de bolsones diseminados y ocurren en calizas.

4.- Yunnan

En Wen Shan la mena es encontrada en forma de bolsones en calizas. En Ko Mei las menas son encontradas en vetas de cuarzo asociadas con pirita

IV.2.- La provincia mexicana

IV.2.1.-Antimonio en el estado de Sonora

Área El Antimonio

Se localiza en la parte NW del estado y como a 44 km al NE de Caborca.

Las rocas que afloran en este lugar son areniscas y limolitas de edad triásica, en discordancia sobre caliza de edad pérmica; intrusiones en forma de diques y cuerpos irregulares de roca intrusiva: diorita, cuarzodiorita y traquita que cortan y atraviesan a las antes mencionadas.

Las areniscas y limolitas están cortadas por fallas inversas de poco desplazamiento, con una orientación casi paralela a la estratificación; existen otras fallas que son perpendiculares. Las fallas inversas y en ocasiones las transversales presentan vetas con contenido de cuarzo, óxidos de antimonio y en ciertas localidades oro nativo, plata, calcedonia y calcita.

Dentro del área existen algunas minas, cuyas vetas se encuentran alojadas en las rocas triásicas y algunas en las rocas ígneas; el mineral se localiza generalmente en donde la veta tiene menor inclinación y en o debajo de las intersecciones de las vetas principales con fracturas y fallas anteriores a la mineralización.

Área Tonichi

Existen las minas denominadas Potrero de Flores, La Providencia y La Patricia

Mina Potrero de Flores

Se localiza al S50°W de Tonichi y como a 1km del rancho Potrero de Flores. Vetas de cuarzo amorfo y cristalizado con zinc, antimonio, pirita, y óxidos de zinc, antimonio y fierro y probable argentita. El rumbo de las vetas es NW18-22°SE, echado variable de

vertical a 60° al NE; espesor de 0.05 a 15m. La veta aflora unos 15m. La roca encajonante es un granito-granodiorita con pirita diseminada en parte oxidada y turmalina.

Mina Providencia

Se localiza a 21km al NE 75° de Tonichi. El acceso es por camino de brecha sobre arroyos Cervantes y Las Colmenas, llegando al rancho Tarango. Consiste de una veta de rumbo NW60° echado de 80° al NE que contiene óxidos de antimonio y como ganga cuarzo, calcita, barita; roca encajonante andesita muy alterada. Existen reportes de que ahí se encontraron grandes fragmentos de antimonio (Boleos) y sobre las faldas, unos 3m debajo de la veta, se observaron óxidos de antimonio y fragmentos de diferentes tamaños, de 1 a 10 cm, incluidos en material de suelo. Se considera interesante el prospecto.

Mina Patricia

Se localiza a 6 km al SE 40° de Onavas y a 21 km al SE 23° de Tonichi, zona de exploración de la Cía Minera Zapata (1974). Vetas de rumbo NE 80° SW y NE 40° SW echados de 64° al NW y 67° al SE; espesor 5 a 10 cm. Roca encajonante: andesita porfídica con pirita y óxido de fierro. La veta contiene cuarzo, óxido de fierro y sulfuro de antimonio (estibinita).

Área Mesa de Galindo

Existen las minas de antimonio ubicadas al norte del poblado Mesa de Galindo, en zona que exploró e incluso perforó, la Cía. Minera Torión.

Mina El Palmar

Se localiza a 11 km al N 13° E de la Mesa de Galindo, se encuentran vetas de calcita, barita y cuarzo con óxidos y sulfuros de antimonio. El rumbo de vetas NE 55-80° SW y echado vertical. Con un espesor de unos mm a 5 y 10 cm. Roca encajonante: andesita alterada-aglomerado. Al NE y sobre falla de cordón se encuentran rodados de vetas de cuarzo, óxidos y sulfuro de antimonio por lo que es probable que la veta continúe y se encuentre cubierta por suelos.

Mina Estrella Amarilla

Se localiza a 10 km al NW 6° de Mesa de Galindo. Consiste en una veta de cuarzo y barita con pirita, óxidos de fierro y estibinita (principalmente en el terrero). El rumbo es NE 60-65° SW con 72° echado al NW, tiene un espesor de 0.30 a 0.50 m. Roca encajonante: andesita muy fracturada y alterada por oxidación, pirita diseminada en la andesita. La veta corta a un arroyo. En el terrero la estibinita se encuentra asociada con el cuarzo y escasamente con la barita.

Aguas abajo a unos 40 m hay una veta que presenta las mismas características de mineralización, tiene rumbo y echado de la veta antes descrita, su espesor es de 0.20-0.30 m; no hay trabajos de desarrollo.

Por la ubicación de estas vetas y la del Palmar, localizada a 3.7 km al NE 67°, se cree factible que exista una continuación de la estructura mineralizada y por lo mismo, esta zona ofrece características interesantes para una futura exploración.

Mina Las Tierritas

Pequeño prospecto de antimonio que se localiza a 5 km al NW 10° de Mesa de Galindo. Es una veta de cuarzo con escasa calcita; óxidos de fierro y estibinita (en terrero) con un rumbo NE 47° SW y echado de 33-37° al NW, tiene espesor variable de 0.05 a 0.40m; Roca encajonante: andesita-aglomerado volcánico.

Área Santa Rosa

Mina La Ilusión

Se localiza a 8.5 km al NW 56° de Santa Rosa de Yécora. Existen pequeños terreros y zanjas que hicieron los antiguos. Al parecer, la veta tiene un rumbo NE 40-60° SW y echado al NW, espesor indeterminado. En el terrero se apreciaron sulfuros de antimonio con cuarzo como ganga y escasa calcita. Roca encajonante: andesita alterada y fracturada, en los alrededores se presentan zonas piritizadas, oxidadas y caolinizadas.

De acuerdo a reportes de mineros de esa región, existen en los alrededores de esta zona otros prospectos denominados San Pedro y La Palma.

Área Tepache

El único prospecto conocido, es el denominado Los Chinos, se localiza a 18.7 km al SE de Tepache, en donde hay trabajos antiguos, túneles que siguen la veta de rumbo NE 15-25° SW y echado de 29° al NW. Dentro de los trabajos no se reporta mineralización de antimonio en las vetas que son de cuarzo con óxidos de fierro, con espesor variable de 0.01 a 0.15m; en el terrero se encontraron cristales de estibinita, por lo que se piensa que la veta principal se encuentra oculta por derrumbes. La roca encajonante es granítica y en los alrededores existen rocas volcánicas y sedimentarias.

Mina Las Palomas

Se localiza a 18.8 km al NW 52° de Arizpe y a 3.7 km al NW 82° del rancho de Repente. Es una veta-manto con rumbo, echado y espesor muy variable; la roca encajonante es una caliza de color negro; en parte la veta tiene textura brechoide y la estibinita se presenta en pequeñas bolsas. El rumbo aproximado de la veta es N-S y NW 20° SE, con echado de 23° al NE.

En los alrededores de la mina existen rodados de estibinita alterada a óxidos de antimonio. Tobas riolíticas y andesíticas en las partes altas y cubren a las calizas.

Mina El Cerrito

Se localiza a 16.2 km al NW 65° de Sinoquipe y a 2.5 km al NW 68° del rancho Tehuachi, son vetas de cuarzo, calcita, estibinita y óxidos de fierro, con rumbo NW 80-85° SE y E-W, echado variable de vertical a 50° al NE, tiene un espesor de 0.01 a 0.05m; roca encajonante: arenisca cuyas capas presentan el mismo rumbo de las vetas. Existen crestones silicificados en las partes altas que forman El Filo, y con vetillas de cuarzo con óxidos de fierro.

IV.2.2.- Antimonio en el estado de San Luís Potosí

Sierra de Catorce

La Sierra de Catorce, tiene una gran tradición e importancia en la explotación minera, aquí se localizan tres distritos importantes: Wadley (antimonio), Real de Catorce (plata, plomo, zinc), Santa María de La Paz (cobre, plomo, zinc).

Existen además numerosas minas secundarias enclavadas en la sierra que han sido trabajadas por las sustancias referidas y también por mercurio y barita, aunque en menor escala. El antimonio sin embargo, es una de las sustancias que tiene más amplia distribución.

Fisiografía

La topografía de la sierra es abrupta, muestra profundos cañones con pendientes de grandes ángulos. La Sierra de Catorce se encuentra en la provincia fisiográfica, de la Meseta Central en el flanco oeste. Está considerada como el comienzo de la provincia de la Sierra Madre Oriental, provincia que se extiende hacia el este. La provincia de la Mesa Central se caracteriza en esta parte del país por su amplitud, grandes valles llanos cerca de 2,000 m en elevación, separados por cadenas montañosas sin fallamientos de sedimentos mesozoicos plegados. La provincia de la Sierra Madre Oriental se caracteriza por altas cadenas montañosas y profundos cañones de fuerte plegamiento y fallamiento de sedimentos mesozoicos.

Geología

Las rocas que afloran en el área son en su mayor parte sedimentarias de ambiente marino, calizas, margas y lutitas. Están expuestas también rocas sedimentarias de ambiente continental como lutitas, areniscas y conglomerados agrupados dentro de la Formación Huizachal. En algunas localidades afloran rocas ígneas extrusivas e intrusivas, las primeras son basaltos y andesitas principalmente, las rocas intrusivas consisten en cuarzomonzonita, granodiorita y pórfidos andesíticos, (área El Jordán, San Bartola, El Venteadero y Potrerillos). Las rocas intrusivas tienen una distribución más amplia que las extrusivas.

Las rocas metamórficas de contacto son skarn, tactitas y hornfels, observadas con mayor detalle en la serranía de El Fraile. Las rocas producto de metamorfismo regional como pizarras, filitas, esquistos y cuarcitas, se presentan subyaciendo a la Formación Huizachal y constituyen el complejo basal de la región (Pesquera V., Rubén). Estas rocas y condiciones

se han observado en el arroyo general de Catorce, en las vecindades al poblado de este mismo nombre.

Estratigrafía

Mesozoico

Triásico Superior-Jurásico Inferior

Formación Huizachal.- Esta formación suprayace discordantemente a la secuencia de rocas metamórficas que constituyen el complejo basal de la región. Está compuesta por sedimentos continentales dispuestos en tres horizontes más o menos definidos. El horizonte inferior está formado por conglomerado, en el intermedio hay una alternancia de conglomerado y areniscas, predominando estas últimas, el superior está constituido por lutitas y limolitas, el espesor de estos tres horizontes es del orden de los 200 m. Son frecuentes en esta unidad las intrusiones de cuerpos microdioríticos o bien de composición cuarzomonzonítica. El color de la unidad es predominantemente rojo, pardo y morado, con tonos verdes y amarillentos. Tiene una amplia distribución dentro del área, y ha sido identificada en las vecindades de los poblados de Real de Catorce y La Alberca, en el Astillero, Arroyo El Barco, Arroyo Potrerillos, La Maroma, El Jordán y Ojo de Agua de Los Rodríguez, entre otras.

La posición estratigráfica de la Formación Huizachal y sus características perfectamente distinguibles, hacen de ella un horizonte guía muy favorable. La edad que se le ha asignado queda comprendida entre el Triásico Superior-Jurásico Inferior.

Jurásico Superior

Caliza Zuloaga.- Es la más distribuida y en ella se encuentran la mayoría de las minas de antimonio importantes, desde el punto de vista económico. Esta unidad descansa sobre la Formación Huizachal, en su base está constituida de calizas de grano fino de estratificación delgada y lutitas. Hacia arriba están expuestas calcarenitas y calizas con nódulos de pedernal, con frecuentes fragmentos de gasterópodos entre los que se distinguen nerineas mal preservadas. El color es gris claro, de estratos gruesos entre 0.40 y 3.00 m o más, con numerosas vetillas de calcita y estilolitas de gran amplitud. En ocasiones se presentan interestratificados horizontes arcillosos.

Se incluyen en esta unidad estratos concordantes formados por una caliza conglomerática, brechada de un espesor variable entre los 2m a 10m, y posiblemente corresponda a una brecha o conglomerado intraformacional, relacionado con condiciones de sedimentación.

En la Mesa de Yerbanis, existe un afloramiento pequeño y malo, constituido por una roca clástica clasificada megascópicamente como una arcosa, que al parecer esta interestratificada con la Caliza Zuloaga.

La caliza Zuloaga se presenta sumamente fracturada, sin embargo es la que define las estructuras regionales como son anticlinales y sinclinales, cuyos ejes se orientan en dirección norte sur, aunque tienen variaciones al noroeste y al noreste. Esta unidad presenta numerosas intrusiones en forma de diques y stock, como el expuesto en el área de La Maroma Jordán.

El espesor de la formación en el área, es del orden de los 500 a 550 m, la edad que se le asigna comprende el Jurásico Superior.

Formación la Caja.- Está constituida por estratos delgados de limolitas con pedernal, lutitas y calizas arcillosas. Hacia arriba se definen mejor las calizas arcillosas con capas de pedernal negro y ocasionales estratos de limolita y lutita, el color es gris pardo, con tonos rojos. La unidad por lo regular es muy fosilífera destacando las amonitas y los gasterópodos. La edad que se le asigna corresponde al Jurásico Superior y tiene un espesor del orden de los 80 m.

Esta formación tiene una distribución más o menos continua a lo largo de dos líneas localizadas una en la vertiente poniente y la otra en la vertiente oriente de la sierra.

La importancia de esta formación radica en que actuó como sello a las soluciones epitermales, dando como resultado bonanzas de antimonio en la Caliza Zuloaga y en ella misma, que ha sido explotadas económicamente, tal es el caso de la “Capa Cero” de las minas de San José de Wadley, otro ejemplo similar está representado en la mina La Blanca, localizada en la parte opuesta de Wadley. En la Formación La Caja además del antimonio, se ha observado mineralización de mercurio, tal es el caso de la mina La Asunción.

Cretácico Inferior

Formación Taraises.- Esta formación sobreyace a la Formación La Caja y por lo regular el contacto es transicional y aparentemente concordante.

La litología consiste en calizas de color gris a gris claro, con tonos rosados, presenta lentes y nódulos de pedernal negro con aureola parda, en estratos de 20 a 50 cm; está intercalada con horizontes de calizas arcillosas y lutitas de estratificación delgada.

La distribución es un tanto restringida y en ocasiones tiene espesores mínimos, se ha localizado más frecuentemente en la vertiente oriente de la sierra, al sur y noreste del Potrero Catorce.

Caliza Cúpido.- Esta unidad representa una facie de poca profundidad y tiene mucha similitud con las calizas del Jurásico Superior, concretamente con la caliza Zuloaga. Consiste en Calizas y Calizas dolomitizadas, de grano fino, de color gris con tonos rojos y ocasionales y delgadas capas de lutitas. Presenta nódulos y lentes de pedernal crema, siendo notorias la presencia de concreciones de pirita oxidada, el espesor de los estratos oscila entre 0.50 a 1.50m, y presenta estilolitas de menor amplitud que las desarrolladas en la Caliza Zuloaga.

Formación La Peña.- En la parte norte del área, esta unidad expone tres miembros. El inferior lo componen estratos gruesos de caliza con vetillas de calcita; en la parte media las calizas son más arcillosas, de estratificación delgada. La parte superior está representada por calizas en estratos delgados y lentes de pedernal negro con intercalaciones de lutita laminar.

Las localidades donde se observan los tres miembros son al poniente de Laureles y en El Cañón Grande. Tentativamente se estima un espesor de 150 m.

Formación Cuesta del Cura.- Esta formación está representada por una caliza gris oscura, de grano fino, en estratos de 0.05 a 0.40 m de espesor, con bandas y lentes de pedernal negro. Normalmente presenta una estructura característica de boudinage y estratificación ondulante. El espesor que le han asignado en la serranía de El Fraile es de 225 m. (Cajero M., L.H., 1975).

La unidad está expuesta en ambos flancos de la Sierra de Catorce, se presenta en ocasiones en contacto discordante por fallamiento, con unidades como La Caliza Zuloaga. En cambio el contacto con la Formación La Peña subyacente es transicional.

Se observa en el Cañón Grande y al oriente del Guajolote.

Cretácico Superior

El Cretácico superior en el área ha sido definido predominantemente en la vertiente oriental de la sierra, comprende las Formaciones Agua Nueva, San Felipe y Méndez, que no presenta mayor interés en cuanto a mineralización de antimonio se refiere.

Formación Agua Nueva.- La unidad está constituida por una alternancia de estratos de caliza de color gris y negro, calizas arcillosas y lutitas calcáreas bituminosas, cuyo espesor varía entre 0.10 a 0.40 m, presenta ocasionalmente capas de pedernal. Es importante en la sierra de El Fraile, ya que en gran parte es la roca encajonante de la mineralización de cobre, plomo, zinc.

Formación San Felipe.- Esta formación está representada por calizas grises y oscuras. Hacia arriba las calizas son más arcillosas y se emplean para definir estratos de lutitas, que son más frecuentes en la parte superior. La unidad normalmente está bastante plegada y presenta un color de intemperismo amarillento muy característico.

Formación Méndez.- Esta formación descansa sobre la Formación San Felipe y el contacto entre ambas en ocasiones no es fácil de determinar debido a la similitud de su litología en esta parte. Hacia arriba se definen margas de fractura concoidal y lutitas laminares, que son rocas predominantes, el color que presenta es amarillo ocre y gris verdoso.

Cenozoico

Terciario

Rocas ígneas extrusivas.- Estas rocas ocupan las localidades aisladas y son afloramientos de escasa magnitud. Consisten en basaltos y andesitas, como las localizadas al poblado Tanque del Refugio. Los basaltos, que son los que predominan, son vesiculares, de color negro y a veces presentan una estructura columnar muy característica, bien expuesta en los basaltos situados a 1.5 km al sureste de San Juan de Las Venegas. Otra localidad donde afloran es en el cerro del Mogote, al sur de Wadley.

Las extrusiones de los basaltos y andesitas, tuvieron lugar en el Terciario, posiblemente en el Mioceno o Plioceno.

Rocas ígneas intrusivas.- Este tipo de rocas tiene una distribución mucho mayor que las ígneas extrusivas y son en su mayor parte pórfidos de composición cuarzomonzonítica y andesítica. Los primeros son de color verde y crema con tonos rojos cuando están intemperizados, el color rojizo lo adquieren en gran parte por la oxidación de las piritas de hierro. La textura es fanerítica. Las estructuras, son en su mayoría diques emplazados con más frecuencia en las Formaciones Huizachal, Zuloaga y La Caja. En los contactos con las intrusivas hay metamorfismo de contacto.

El alineamiento de los diques es en dirección norte-sur y un número mucho menor en dirección este-oeste. Tanto los diques, apófisis y stocks del área excluyendo los de la Sierra El Fraile, están distribuidos predominantemente a lo largo de una franja imaginaria orientada de sur a norte, de 20 km de largo a 4 de ancho aproximadamente, que se define entre potrero de Catorce al norte y al sur con las intrusiones cuarzomonzoníticas del poblado Ojo de Agua de Los Rodríguez. Hacia el norte de este poblado está la serie de diques paralelos del Venteadero, le siguen las intrusiones de Potrerillos, La Maroma, Jordán, San Bartolo y Cerro Los Cómales. Más al norte las intrusiones son menos frecuentes, sin embargo las presentes siguen el mismo alineamiento, muchos de los diques alojados en la franja aludida conectan entre sí a dos o más stocks de la misma composición. Las intrusiones de pórfidos andesíticos son menos frecuentes y ocupan áreas más locales, siendo en la generalidad cuerpos hipabisales de poca profundidad, presentan coloraciones como gris verdoso, violeta con tonos pardos y rosados con tintes oscuros.

Cuaternario

Conglomerado.- Esta unidad es diferenciada del aluvión, aunque se podría considerar como tal, sin embargo es una unidad que presenta características propias diferenciales.

Está constituida por fragmentos de rocas derivadas de formaciones litológicas preexistentes, donde predominan los de caliza. Se encuentran mal clasificados, empotrados en una matriz arcillo-arenosa y mal cementada por carbonatos de calcio y en ocasiones por óxidos de hierro, el tamaño de los fragmentos es variable entre 0.005 y 0.40 m.

Tiene una distribución amplia dentro del área y bordea prácticamente a la Sierra de Catorce y prominencias topográficamente altas. Con frecuencia forma lomas y cerros de poca altura y son numerosos los abanicos aluviales y terrazas aluviales localizadas sobre todo en la desembocadura de los valles, de los arroyos y ríos principales.

Aluvión.- Esta unidad la forman gravas, arenas y arcillas, derivadas de las formaciones rocosas preexistentes, se le encuentra relleno de las partes bajas y centrales de los valles, que en la región son de gran amplitud.

Estructura

La unidad orográfica de la Sierra de Catorce, representa un anticlinorio con buzamientos al norte, cuyo origen se remonta a épocas en que tuvo lugar la Orogenia Laramide, posteriormente intervinieron los empujes causados por las intrusiones de rocas ígneas, localizadas preferentemente a lo largo de la parte central de la sierra. Mismas que afectaron

a las unidades litológicas comprendidas desde las rocas metamórficas del complejo basal de edad Pre-mesozoica hasta las unidades del Cretácico Superior, como las formaciones Agua Nueva, San Felipe y Méndez.

Los efectos causados por las intrusiones fueron fallamiento, fracturamiento y plegamiento secundario, formando anticlinales y sinclinales, en lo general asimétricos o recumbentes y domos. Según observaciones de Martínez R., Maldonado R., Chew R., (1975), el anticlinorio de la Sierra de Catorce, está en parte recostado al oriente, se observa en la sección comprendida entre la serranía de El Fraile a potrero de Catorce.

Yacimientos Minerales

Los yacimientos de San José, se localizan a 12 km al oriente de la estación Wadley, en la parte alta de la Sierra de Catorce, a 2,800 m.s.n.m.; el desnivel que existe con respecto a los valles es de 1,000m.

La mineralización de antimonio en San José, está en vetas y capas favorables y se les ha llamado mantos, son estratos de caliza que han sido recristalizados y transformados a mármol y calcita. Estos mantos son concordantes a la estratificación de la Formación Santa Emilia no se tomó en cuenta la intensidad de su echado para usar el término manto. Los minerales de antimonio son estibiconita, cervantita, estibinita y en menor escala está la valentinita y senarmontita. El mercurio se encuentra ocasionalmente y no representa un mineral de mena. El principal mineral de ganga es la calcita, le sigue el cuarzo y en menor proporción el yeso, en algunos lugares se observan óxidos de hierro y azufre nativo. El reemplazamiento de antimonio predomina en los mantos, en las vetas los minerales de antimonio por lo general están como relleno de cavidades, sin embargo ambos procesos son observables indistintamente con mayor o menor intensidad.

Los siete mantos expuestos en San José han sido agrupados en dos series. La primera de ellas consta de cuatro mantos, existe otro manto que no se ha considerado por ser estéril y queda entre el segundo y tercer manto El Bastardo. De estos mantos el No.1 es el de mayor interés pues es el más altamente productor de antimonio, tiene un espesor de 1m y se distingue por su contenido de sílice de color gris azulado, distribuida preferentemente en la parte superior.

La segunda serie de mantos queda localizada aproximadamente a 180 m estratigráficamente abajo del manto No.4, el último de la primera serie. La segunda serie comprende un total de tres mantos o sea el quinto, sexto y séptimo manto. Este último ha sido el más productivo de la segunda serie, tiene un espesor variable entre 1 a 8 m. Debajo del séptimo existen estratos similares a los mantos, pero donde están mejor expuestos y corresponden a horizontes de yeso sin mineralización de importancia.

Querol (1972), “considera que la formación de capas favorables (mantos), precedió a la mayor deformación estructural del área, con base en:

- a) Continuidad de las capas favorables, a través de las estructuras mayores, no hay ninguna diferencia obvia entre las características físicas de las capas favorables a través de los pliegues o fallas. Las capas favorables se comportaron como cualquier

otra capa de caliza en la Formación Santa Emilia y junto con las demás fueron falladas y plegadas como parte de la columna sedimentaria.

- b) Ninguna correlación obvia de campo fue encontrada entre el espesor de la capa favorable y la posición estructural de la capa”.

El fallamiento más importante es en dirección NW-SE, con echados al SW y al NE. Cardona (1971), consideró que las fallas mineralizadas están orientadas con rumbo N60°W y echado al SW y las no mineralizadas se orientan igual, pero el echado es al NE, sin embargo esto es variable, incluso algunas fallas mineralizadas tienen echado vertical.

Las minas de San José tuvieron una producción de 350 ton mensuales con una ley del 22% de antimonio.

El desarrollo de las minas se estima en 150 km aproximadamente. La mayoría de las obras son de exploración, debido a lo errático del antimonio.

Áreas y minas de interés

Área No.1

Se localiza en la parte central de la vertiente oriental de la sierra. La caliza Zuloaga es la unidad más ampliamente distribuida, afloran además las formaciones La Caja, Taraises, Cúpido y parte del intrusivo de La Maroma, el de Poterillos y algunos diques del Venteadero. Ver tabla IV.2.2.1 e IV.2.2.2

Tabla IV.2.2.1.-Valores Área No.1

Mina	Estructura	Espesor (m)	% Sb
Cristalitos	Manto	1.50	4.49
La Tacuba	Manto	1.00	1.93
La Plomosa	Manto	0.50	4.28
La Lagunita	Manto	0.70	3.00
El Capulín	Vetas	1.20	8.99
La Blanca	Vetas	1.00	8.78
De Sosa	Vetas	1.00	9.85
Capulín Viejo	Estrato	1.50	7.49
La Luz	Vetas	.060	--

CRM, Archivo Técnico, 1975

Tabla IV.2.2.2.- Valores Área No.1 Afloramientos

Localidad	Estructuras	Espesor (m)	% Sb
La Tacuba	Manto	Muestra de suelo	0.86
La Tacuba	Manto	6.00	2.56
La Tacuba	Manto	2.00	0.86
La Tacuba	Manto	3.00	0.86
La Tacuba	Manto	1.00	1.08
La Tacuba	Manto	3.00	0.85
La Tacuba	Manto	1.00	1.43
La Tacuba	Manto	1.50	0.43
La Tacuba	Manto	1.00	0.43
La Tacuba	Manto	1.50	0.43
La Tacuba	Manto	2.50	0.43
La Tacuba	Manto	0.80	0.64
La Tacuba	Manto	1.00	1.93
La Tacaba	Manto	1.50	0.85
La Tacaba	Manto	0.80	0.43
Co. Gavilanes	Manto	1.50	0.64
Co. Gavilanes	Manto	0.60	0.43

CRM, Archivo Técnico, 1974

Área No.2

Localizada al norte del área No.1. Afloran rocas metamórficas no diferenciadas, las formaciones Huizachal, Caliza Zuloaga, La Caja y algunos diques andesíticos y cuarzomonzoníticos. Algunas características se pueden ver en las siguientes tablas.

Tabla IV.2.2.3.- Valores Área No.2

Mina	Estructura	Espesor (m)	% Sb
San Francisco	Manto	2.00	4.70
El Hormiguero	Manto	1.00	5.77
Nueva Esperanza	Veta	0.80	8.80
Santa Fé No.2	Veta	0.40	2.1

CRM, Archivo Técnico, 1974

Tabla IV.2.2.4.- Valores Área No.2 Afloramientos

Localidad	Estructura	Espesor (m)	% Sb
SE Cerro Viejo	Veta	0.50	9.20
Mesa del Madroño	Manto	2.00	2.30
Mesa del Madroño	Manto	2.00	0.21
Mesa del Madroño	Manto	1.00	0.21
Mesa del Madroño	Manto	2.50	0.43
Mesa del Madroño	Manto	1.50	0.43
Mesa del Madroño	Manto	2.50	0.86
Mesa del Madroño	Manto	1.00	0.64
Mesa del Madroño	Manto	3.00	0.20

CRM, Archivo Técnico, 1974

Área No.3

Localizada al norte del área No.2. Esta área presenta las mismas características geológicas que el área No.2. Ver tablas IV.2.2.5 e IV.2.2.6.

Tabla IV.2.2.5.- Valores Área No.3

Mina	Estructura	Espesor (m)	% Sb
La Escondida	Manto	1.00	9.12
El Carmen	Manto y Veta	1.50	*17.2
Santa Ursula	Manto	1.00	10.2
Ceniceros	Veta y Manto	0.50	*12.09

CRM, Archivo Técnico, 1974

*Veta

Tabla IV.2.2.6.- Valores Área No.- 3 Afloramientos

Localidad	Estructura	Espesor (m)	% Sb
Co. Palo Mocho	Manto	0.80	0.43
Co. Palo Mocho	Manto	1.00	0.43
Co. Palo Mocho	Manto	2.50	0.43
Co. Palo Mocho	Manto	3.00	0.47
Co. Palo Mocho	Manto	3.00	1.07
Co. Palo Mocho	Manto	3.00	0.43
Co. Palo Mocho	Manto	2.00	0.43
Cerro Botijón	Manto	1.00	6.80
Co. Frentón del Peñasco	Manto	1.00	3.42
Co. Frentón del Peñasco	Manto	0.70	0.64
Picacho La Zorra	Manto	1.00	1.43

CRM, Archivo Técnico, 1974

Área No.4

Se localiza al oriente de los límites de las áreas Nos. 1 y 2. Las formaciones expuestas son: La caliza Zuloaga, La Caja, Taraises, Agua Nueva y San Felipe. Ver tablas IV.2.2.7 e IV.2.2.8.

Tabla IV.2.2.7.- Valores Área No.4

Mina	Estructura	Espesor (m)	% Sb
Nuevo Dolores	Veta	0.90	21.80
Nuevo Porvenir	Veta	2.00	10.30
La Asunción	Veta	1.00	10.6
La Cachiranga	Veta	1.00	19.90
Nvo. Potosí No.2	Veta	0.80	12.0
Nvo. Potosí No.3	Veta	0.70	12.80
Sinfonola	Veta	0.60	10.70
Nvo. Dolores No.2	Veta	0.60	9.60
Nvo. Dolores No.3	Veta	0.80	9.40
La Majada Verde	Veta	0.70	5.15

CRM, Archivo Técnico, 1974

Tabla IV.2.2.8.- Valores Área No.4 Afloramientos

Localidad	Estructura	Espesor (m)	% Sb
Co. Los Munices	Manto	0.80	0.64
Co. Los Munices	Manto	0.50	0.43
Co. Los Munices	Manto	1.00	0.64
Co. Los Munices	Manto	1.5	0.43
Co. Los Munices	Manto	0.50	0.43

CRM, Archivo Técnico, 1974

Área No.5

Se localiza en la parte centro-meridional de la sierra. La Caliza Zuloaga es la unidad más ampliamente distribuida, afloran además la Formación Huizachal, stocks, apófisis y diques de composición cuarzomonzonítica. Ver tabla IV.2.2.9.

Tabla IV.2.2.9.- Valores Área No.5

Localidad	Estructura	Espesor (m)	% Sb
El Encinalito	Manto	6.00	0.43
Arroyo Las Calabazas	Manto	1.50	0.43
*Arroyo Las Calabazas	Estrato Caliza conglomerática	3.00	1.08
Arroyo Las Calabazas	Manto	10.00	0.85
Ojo de Agua	Manto	3.00	0.85
Ojo de Agua	Manto	2.00	0.43

CRM, Archivo Técnico, 1974

*Afloramiento de caliza conglomerática que probablemente corresponda a una brecha intraformacional de la Caliza Zuloaga.

AREA No.6

Se localiza en la parte vertiente poniente de la sierra. Las formaciones expuestas son La Huizachal, Zuloaga, La Caja, Taraises y Cupido, afloran también diques cuarzomonzoníticos. Ver tabla IV.2.2.10.

Tabla IV.2.2.10.- Valores Área No.5

Mina	Estructura	Espesor (m)	% Sb
Noche Buena	Veta y Mantos	0.70	3.15
Co. San Juan	Manto	1.00	2.40
La Capirucha	Manto	1.00	0.70
San Juan	Veta	0.50	1.00
Co. San Juan	Manto	1.00	2.07

Continuación tabla IV.2.2.10

Mina	Estructura	Espesor (m)	% Sb
El Sarro	Manto	1.25	3.80
Las Torres	Manto	1.00	1.25
Las Torrecillas	Manto	0.60	1.96
Noche Buena No.2	Manto	0.70	2.75
Co. Jaboncillal	Manto	1.00	---

CRM, Archivo Técnico, 1974

IV.2.3.-Antimonio en el estado de Durango

Casi la totalidad de las minas y prospectos se encuentran en zonas áridas o semiáridas; la altura sobre el nivel del mar varía de 1,600 a 2,100 metros, sin embargo, hay minas que están a 1480 metros S.N.M.

Las obras que presentan prospectos en su generalidad son pobres, zanjas, pequeños pozos de 3 a 5 metros y socavones que no pasan de 20 metros de profundidad a excepción de las minas que han sido ampliamente trabajadas como El Caballo, Montecarlo, La Concha, Evangelina y La Palma: la mina que presenta exploraciones a mayor profundidad es la del Caballo (100 m). Carrasco Centeno, (1974).

En general las minas están denunciadas por pequeños mineros y en ocasiones permanecen libres

Geología

Con excepción de los prospectos Tejamen, La Esperanza, El Tigre, Llano Flores, San Pedro y Cordón de la Cruz todos los demás prospectos se encuentran encajonados en rocas sedimentarias, principalmente calizas del Cretácico Inferior al Cretácico Superior; el prospecto que se encuentra encajonado en rocas más antiguas es Cordón de la Cruz en cual está en areniscas y pizarras del Jurásico. En San Andrés de la Sierra, municipio de Santiago Papasquiaro.

Todos los depósitos son epitermales de tipo relleno de fisura, relleno de oquedades o reemplazamiento y están íntimamente relacionadas las mineralizaciones a intrusivos que están cercanos a las áreas mineralizadas que ascienden y se depositaron en fisuras, cavernas de disolución de las calizas o reemplazaron a éstas, para lo cual fue necesario un entrapamiento que no permitiera continuar el ascenso a estas soluciones.

Las estructuras se encuentran en forma de vetas, mantos y depósitos irregulares que además adoptan la forma de veta y mantos; y los cuerpos irregulares tienen la forma de caverna de disolución de la caliza que fue rellena por estibinita; el rumbo que más predomina en las vetas es NW-SE. Los mantos por los que general son casi horizontales presentan ondulaciones por lo cual el rumbo es variable. (Carrasco Centeno, 1974).

Yacimientos Minerales

Los minerales de antimonio que se distinguen son:

Estibinita (Sb_2S_3),

Cervantita ($Sb_2O_3Sb_2O_5$),

Estibiconita ($H_2Sb_2O_3$),

Senarmontita (Sb_2O_3) y

Valentinita (Sb_2O_3),

La principal mineralización está constituida por óxidos; sin embargo, las minas que presentan mayor exploración cuentan únicamente con sulfuros (El Caballo, Los Negritos, Eolina, etc.) y hay prospectos donde existen óxidos y sulfuros. (Carrasco Centeno, 1974).

Zonas de antimonio en el estado de Durango

Zona Cuencamé

Se localiza a 142 km en línea recta de la ciudad de Durango, el área está bien comunicada, presenta una red de caminos vecinales, además de las carreteras Cuencamé- Fresnillo Torreón - Durango. Ver tabla IV.2.3.1.

Tabla IV.2.3.1.- Antimonio Zona: Cuencamé

Nombre Mina o prospecto	Ancho (m)	Reservas calculadas (ton)	Sb %	Mineralogía
Los Negritos	0.75	35,000	2.58 10.28 14.81	Estibinita Cervantita
El Rebaje	0.90	21,000	6.12 6.88	Cervantita Estibinita
Berrendos	1.50	20,000	7.61	Cervantita Estibinita
La Sirena	1.50	12,500	17.61	Cervantita
Monte Carlo	Irregular	12,500	0.61	Cervantita
Vallecitos	1.20	12,000	19.78 1.29	Cervantita
Dos Amigos	0.50	7,500	7.74	Cervantita
Pirita	1.00	6,250	9.25	Cervantita
Quiensabe	1.50	7,500	10.58	Cervantita Estibinita
Santa Ana	0.90	5,000	9.03	Cervantita Estibinita
Angelito	1.0	4,000	8.60	Cervantita Estibinita
La Canela	0.75	5,000	13.62	Cervantita Estibinita
La Perla	0.90	3,000	13.55	Cervantita Estibinita

Continuación tabla IV.2.3.1

Nombre Mina o prospecto	Ancho (m)	Reservas calculadas (ton)	Sb %	Mineralogía
Cerritos Colorados	0.60	1,500	6.73	Cervantita
Claudia	1.0	3,500	11.50	Cervantita
El Cayuco	Errático	1,000	9.03	Cervantita Estibinita
La Campana	0.40	1,000	13.55	Cervantita
Las Rusias	0.40	1,000	1.63	Cervantita
Las Amapolas	0.60	900	1.29	Cervantita
Magdalena	0.70	787	1.51	Cervantita

CRM, Archivo Técnico, 1974.

Zona de San Pedro del Gallo

Esta zona se localiza a 170 km en línea recta y al norte de la ciudad de Durango, el área se encuentra bien comunicada, entre las carreteras Durango – Parral y La Zarca – Bermenejillo, tiene salida a ambas carreteras por medio de caminos de tierra que son transitables en todo tiempo. Ver tabla IV.2.3.2.

Tabla IV.2.3.2.- Antimonio: Zona San Pedro del Gallo

Nombre Mina o prospecto	Ancho (m)	Reservas calculadas (ton)	Sb %	Mineralogía
La Unión	4.00	105,000	16.65	Estibinita Cervantita
San Francisco de los Pobres	1.50	70,000	19.35 2.94	Cervantita Senarmontita
San Isidro	2.00	50,000	3.61	Cervantita Estibinita
La Cahita	1.0	7,500	1.22	Cervantita
El Naranjero	1.0	3,800	5.59 0.65	Cervantita Estibinita
La Escondida	1.0	3,500	5.59	Cervantita
Luz Alicia	1.0	3,125	12.78 8.54	Cervantita
Cerro de la Santa Cruz	1.0	2,500	3.01	Cervantita
La Palma	1.0	-	3.01 18.61	Cervantita Estibinita

CRM, Archivo Técnico, 1974.

Zona Santo Domingo

Esta zona se localiza a 200 km en línea recta y al norte de la ciudad de Durango; la carretera Bermejillo La Zarca pasa a uno y otro lado del área, comunicada con las carreteras

de Durango – Hidalgo de Parral y Torreón – Chihuahua, donde se encuentra la estación de ferrocarril más cerca en Bermejillo. Ver tabla IV.2.3.3.

Tabla IV.2.3.3.- Antimonio: Zona Santo Domingo

Nombre Mina o prospecto	Ancho (m)	Reservas calculadas (ton)	Sb %	Mineralogía
Evangelina	1.50	126,000	11.61	Cervantita
			13.22	Estibinita
			22.36	Senarmontita
			10.40	Estibiconita
			9.55	
			2.45	
			6.02	
Santo Niño	3.00 1.20 1.20	62,000	3.43	Cervantita
			10.32	Estibinita
			1.29	
			13.22	
			4.65	
Olivia	1.50	28,125	13.76	Cervantita
			10.11	Estibiconita
			5.16	
Los Penales	8.0	150,000	0.98	Cervantita
			0.86	Estibiconita
			1.35	
Eloina	1.50	18,750	9.03	Cervantita Estibinita
Parrita	1.50	18,750	1.229	Estibinita
San Lorenzo	1.0	10,200	0.86	Cervantita
La Fortuna	0.60	5,000	13.76	Cervantita? Valentinita

CRM, Archivo Técnico, 1974.

Zona Mapimí

Esta zona se localiza a 225 km en línea recta a al N20°E de la ciudad de Durango; el área está bien comunicada pues además de la carretera Bermejillo – La Zarca, hay un red de caminos. Ver Tabla IV.2.3.4.

Tabla IV.2.3.4.- Antimonio: Zona Mapimí

Nombre Mina o prospecto	Ancho (m)	Reservas calculadas (ton)	Sb %	Mineralogía
La Concha	3.0	25,000	1.72 25.16 5.26 7.10 3.66	Cervantita Estibinita
Estela	1.50	20,000	6.88 16.56	Cervantita
La Zacatecana	1.0	2,500	9.89	Cervantita
SW de Mapimi	.075	1,000	8.36 11.41	Cervantita

CRM, Archivo Técnico, 1974.

Otras Zonas

Los siguientes prospectos y minas quedan distribuidos aisladamente en el estado, las cuales se agruparon en zonas.

Cabe hacer notar que en la subprovincia de quebradas de la Sierra Madre Occidental, no se conocen yacimientos de antimonio, más que en el Cordón de la Cruz en San Andrés de La Sierra. Debido a la falta de vías de comunicación hacen incosteables la explotación de minas en esta subprovincia. Ver tabla IV.2.3.5.

Tabla IV.2.3.5- Antimonio: Otras zonas

Nombre Mina o prospecto	Ancho (m)	Reservas calculadas (ton)	Sb %	Mineralogía
La Esperanza	0.75	7,500	30.72	Cervantita Estibinita
Cruz de Mayo	0.20	1,000	8.32	Cervantita
Cinco Señores	0.40	-	6.73	Cervantita Estibinita
El Caballo	3.50	107,000	4.30 3.01 11.61	Estibinita Cervantita
El Zorrillo	Indefinido	1,500	4.23	Cervantita
Llano de Flores	0.50	1,250	11	Estibinita
San Gabriel	0.80	1,450	0.65 1.72	Cervantita Valentinita?
Los Juanes	1.70	120,000	0.98 4.41 13.71	Estibinita Cervantita

Continuación tabla IV.2.3.5

Nombre Mina o prospecto	Ancho (m)	Reservas calculadas (ton)	Sb %	Mineralogía
San Lucas	0.90	10,000	7.34 10.77 13.83	Estibinita Cervantita
Santa Rosalía	1.50	19,000	3.67	Estibinita Cervantita
La Virginia	1.50	105,187	1.22 14.69	Estibinita Cervantita
San Pedro	0.40	22,500	1.22 14.69 7.71	Estibinita Cervantita
El Sagal	1.0	23,500	17 1.37 31	Cervantita Estibinita
Tejamen	0.20	-	10	Cervantita
Cordón de la Cruz	10	12,500	11.02	Estibinita

CRM, Archivo Técnico, 1974.

El total de reservas de mineral de antimonio calculadas en el estado de Durango, es el siguiente:

Reservas probadas: 3,000 ton métricas
Reservas Probables 307,700 ton métricas
Reservas Posibles 1, 014, 837 ton métricas

El cálculo de las reservas en tentativo, se tomaron como base los metros que aflora superficialmente la estructura, el ancho promedio que presenta, la profundidad hasta donde hay obra, y el peso específico de 2.5. (Carrasco Centeno 1974).

IV.2.4.- Antimonio en el estado de Querétaro

En este estado los yacimientos de antimonio ocurren en dos regiones, la de Soyatal, municipio de Peña Millar y la de Vizarrón-Sombrerete en el municipio de Cadereyta.

En general los depósitos de antimonio en estas zonas se presentan encajonados en calizas de la Formación El Doctor del Cretácico Inferior, con vetas o cuerpos lenticulares concordantes con la estratificación.

Las vetas son en general angostas (5 y 60 cm de espesor), con rumbos diversos y buzamiento casi vertical, su origen puede atribuirse a las soluciones hidrotermales de baja temperatura que depositaron su "carga" de minerales en espacios abiertos de fallas o

fracturas ampliadas por disolución. Los minerales primarios de valor son estibinita y ocasionalmente algo de cinabrio, la ganga está constituida casi exclusivamente por calcita. Las vetas que normalmente presentan adelgazamientos muy notables, en algunos lugares hay cervantita, producto de la oxidación de mineralización original. Por las condiciones de formación, las vetas producen mineral de alta ley y se encuentran como estibinita o cervantita de color pardo a blanco.

Los cuerpos lenticulares generados por procesos hidrotermales y de oxidación, se forman por el relleno de fracturas pequeñas y abundantes en capas delgadas de calizas sobre las que descansan capas arcillosas que sirvieron de sello a las soluciones ascendentes, esto provocó un desplazamiento horizontal de dichas soluciones y el depósito de “carga” sobre áreas que alcanzan hasta 250 m de diámetro. El espesor de estas lentes varía de unos 50 cm hasta 2 m y ocasionalmente hay cuatro niveles estratigráficos separados entre sí de 4 a 20 m. La ley de estos cuerpos mineralizados varía entre 4 y 8% de antimonio.

VI.2.5.-Antimonio en el estado de Oaxaca (Mixteca)

Uno de los yacimientos más grandes de minerales de antimonio, en forma de óxidos y sulfuros conocidos en México, es el de mineral de Tejocotes, en el pueblo de San Juan Mixtepec, Oaxaca, donde se ha trabajado desde antes de la Revolución; en tiempos de la Segunda Guerra Mundial su explotación fue de gran auge. Estas minas ahora se trabajan a una escala muy pequeña.

Estas minas están tituladas, suman un número de 25 y cubren una superficie total de 435.09 ha.

Al suroeste de estas concesiones y como a 10 km, se localizan otros fundos en el pueblo de Santa María Yucunicoco y en la misma dirección a mayor distancia se localizan otros fundos más, como es el cerro del Chicharrón de San Isidro Chichahuaxtla y el de Paraje Pérez de Sto. Domingo del estado todos estos fundos se han explotado someramente donde se encuentran boleos y pequeñas vetas de antimonio.

La zona de antimonio referida se localiza en las montañas que están comprendidas dentro de los límites de los distritos de Juxtlahuaca, Putla y Tlaxiaco

Geología (Mixteca)

De acuerdo con el Ing. Héctor Ugalde (1967), en la Mixteca, se generaliza un extenso basamento metamórfico de esquistos y gneisses sobre el cual descansa un voluminoso remanente de una sección que comprende considerable espesor de calizas; con gran favorabilidad para la mineralización de antimonio. Las calizas son gruesas y delgadas. Se observan con una constante asociación con intrusivos hipabisales.

El control de mineralización de antimonio es muy variado, donde actúan los factores; aparentemente en relación con el volumen del yacimiento: primero una situación

estructural, que parecen favorables las zonas relacionadas con intrusivos y las zonas que han sufrido intenso fracturamiento y segunda una situación estratigráfica que parecen favorables las calizas en vecindad a lutitas.

Zapotitlán Lagunas

La mineralización conocida se ubica en el cerro de la Campana, 6 km al W de Zapotitlán Lagunas, cabecera del municipio del mismo nombre en la porción NW del estado, limítrofe con el de Guerrero a 190 km al NW 70 del estado de Oaxaca.

Fisiografía

El relieve es del tipo altiplano (1300 m) arredondeado suave con desniveles de 200 m. Suelos muy fértiles con profunda vegetación arbórea y de arbustos. El drenaje local es endorreico de subsuelo muy permeable, con numerosas dolinas y sumideros.

Geología

En gran extensión afloran suaves plegamientos de una potente sección de caliza, margas y yeso con gruesa estratificación, tentativamente del Cretácico Inferior, orientado regionalmente al norte-sur.

Varios kilómetros al sur afloran potentes depósitos clásticos continentales de gruesa estratificación (Terciario).

La alta solubilidad de los cuerpos calcáreos produce numerosas dolinas, cavidades cársticas, sumideros, etc. Se registra múltiple fracturamiento, con frecuente e irregular dislocación y fallamiento de bloques de calizas con yeso diapírico.

Mineralización

Se reconoce mineralización de estibinita sobre unos dos km² y 20 m de profundidad, en dos localidades del cerro de La Campana: “El Carmen” en su porción norte (la más desarrollada de las obras mineras) y “La Soledad” en la sur. Dicho cerro está constituido por un anticlinal de suaves flancos, casi cóncavo, de calizas, margas y yeso.

La profusa vegetación y la compacta cementación calcárea de gruesa regolita y potente aluvión, obstaculizan la prospección minera superficial.

En la zona de El Carmen, se encuentra estibinita acicular y granular, ampliamente distribuida en pequeños volúmenes, en un sistema irregular de vetillas, cuerpos irregulares, bolsas, mantos, diseminación intergranular, grandes incrustaciones sobre fracturas, etc.

La mineralización es primaria epitermal sobre espacios libres y por reemplazamiento, se aprecia una aparente afinidad mineralizante por los cuerpos de yeso.

En la vecindad no se conoce cuerpo ígneo intrusivo y que pudiera representar alguna asociación genética.

Se han registrado bonanzas hasta de 10 ton, provenientes de tres tajos y cuatro galerías horizontales de 300 m de desarrollo total obras muy irregulares debido a la caprichosa forma de las cavidades de soluciones naturales se tienen cavernas, potholes, etc, haciendo tales obras inaccesibles o de muy peligroso acceso por derrumbe y azolve.

Hay referencias sobre una producción de 10 ton/mes proveniente de unos cuantos socavones dispersos de poca profundidad.

Juxtlahuaca

En la porción NW del estado de Oaxaca a la fecha se conocen tres regiones con mineralización de antimonio económicamente aprovechables: Tejocotes o San Juan Mixtepec, cerro Lucero y los Chichahuaxtlas.

Fisiografía Regional

Con desniveles relativos de 1000 m, el relieve es abrupto, con fuertes pendientes y elevadas cumbres formando amplias serranías y angostos valles alineados de NNW a SSE por 5 a 10 km.

El drenaje es irregular, con una tendencia regional orientada, por una parte, al NNW: en los ríos S.J. Mixtepec o San Diego y Santa Catarina, afluentes del río Mixteco y por otra, hacia el SSE, los ríos de El Pájaro y Chichahuaxtla Concepción, afluentes del río Purificación-Yolotepec-Verde (Cuenca del Alto Balsas).

Geología Regional

Las regiones de los Tejocotes, Cerro Lucero y Chichahuaxtlas se consideran relacionadas en una provincia metalogenética, que en 25 km de N a S se caracteriza por:

- Análogos caracteres litológicos y estructurales
- Amplia y frecuente distribución de indicios, manifestaciones y yacimientos de estibinita
- Análogos caracteres genéticos de ocupación de espacios libres, remplazamiento sobre calizas solubles y depósitos residuales.

Sobre un basamento regional metamórfico aflora casi totalmente una sección sedimentaria mesozoica marina y continental de calizas, lutitas, areniscas y conglomerados, sección cubierta localmente con dispersos pero potentes depósitos volcánicos principalmente tobas.

De dicha sección sedimentaria, profusamente afloran unos 300 metros de calizas gris claro muy pura en estratificación gruesa casi masiva. En esta unidad se registra común y extensamente una fuerte disolución y consecuentemente resultan numerosas formas cársticas, como dolinas.

Solamente en la región de Tejocotes afloran cuerpos ígneos intrusivos en forma de diques, acordes con la estructura regional.

Mineralización

Se encuentra estibinita acicular, siempre en caliza, principalmente formando vetas, vetillas, mantos, bolsadas de irregular morfología y también diseminado como impregnaciones e incrustaciones.

También se le encuentra como boleos incluidos en cuerpos de arcilla residual cárstica y en estado eluvial, como pequeñas masas transportadas a corta distancia y encajonadas en eluvión conglomerático y arenoso.

El proceso de mineralización es por relleno de espacios libres y por reemplazamiento en calizas. Por tanto, como principales controles de mineralización aparentes, que servirán como guías para exploración, se han considerado los siguientes:

- Presencia y cercanía de cuerpos intrusivos
- Abundancia de espacios libres: (cavidades, disolución y fracturas, fallas, planos de estratificación, etc.)
- Silicificación de calizas.

Tejocotes

Es la principal región respecto a su desarrollo minero por haber alcanzado primer lugar en la producción nacional de Antimonio. Se ubica a 6 km al W de San Juan Mixtepec por el camino a Santiago Juxtlahuaca.

Es la región que cuenta con mayor desarrollo minero, en una faja angosta y alargada de N a S por 4 km², con más de 40 catas, rebajes, tajos, socavones, túneles y galerías abandonadas por más de tres años, actualmente azolvadas e inaccesibles. Estas obras son conocidas como Yucunnamí, Dolores, Los Chivos, La Mora, Cacho, Primera, Segunda, Tercera y Cuarta, Los Reyes, El Águila, La Providencia, Escondida, Capulín, La Paz, etc.

Cerro Lucero

Es una elongada y elevada serranía de 20 km, en su mayor parte inaccesible por caminos, en donde se han descubierto dos localidades antimoniales.

No hay desarrollo minero propiamente dicho. Son menos descapotes en afloramientos de estibinita: vetillas discontinuas en cavidades de solución de caliza gruesa.

Estas localidades son accesibles con guía conocedor de veredas que ascienden la serranía desde Agua Fría.

Extracción y embarques eran realizados con burda herramienta y en bestias, en tiempo seco.

Chichahuaxtlas

Con este nombre convenientemente se designan dos localidades, cerro de Chicharrón y San Dionisio distante 6 km uno del otro de norte a sur, al W de la carretera Yucuda-Tlaxiaco-Putla en los km al E de Huajuapán de León.

Tampoco hay desarrollo minero. Son recientes descubrimientos y descapote muy superficial de estibinita en vetillas discontinuas sobre cavidades de disolución en caliza gruesa.

IV.2.6.-Antimonio en el estado de Guerrero

Prospectos por antimonio, plata El Huizache y Las Canoas.

Se localizan al sureste y suroeste de la ranhería denominada Los Hoyos, en el municipio de Heliodoro Castillo. Los Hoyos se localizan al N72°W de la ciudad de Chilpancingo con una distancia en línea recta de 70 km y al S73°W de Tlacotepac a unos 18 km; este poblado es cabecera de municipio y es el más cercano que cuenta con carretera de terracería.

Fisiografía

Se localiza en la subprovincia Cuenca del Balsas-Mezcala de la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur. La cuenca Balsas-Mezcala es una región que muestra desde rocas precámbricas hasta rocas recientes, sigue un rumbo W-NW y mide unos 100 Km de ancho de N a S.

El drenaje es por medio de los ríos Oatlán y Naranjo que más al norte se unen y forman el río Huautla, afluente del río Balsas, que corre hacia el poniente y desemboca en el Océano Pacífico.

Las montañas que forman la topografía de la zona, localmente alcanzan alturas desde los 800 a 2,150 m sobre el nivel de mar; el clima varía de un lugar a otro y depende principalmente de la altura; la vegetación está formada por oyameles, pinos, ocotes, huizache y otras especies características de este tipo de ambiente.

Geología

Las rocas identificadas en el área de estudio, son en orden de abundancia en, metamórficas, sedimentarias e ígneas.

Rocas metamórficas.- Son Pizarras de color gris oscuro, estructura compacta, con abundantes vetillas de cuarzo y es frecuente encontrarlas oxidadas e intrusionadas por diques aislados de rocas básicas (diorita y andesita); algunas localidades adquieren un color pardo amarillento debido al interperismo y ocasionalmente dentro de ellas se hallan bancos de areniscas silicificadas. Estas rocas cubren la parte sur y oeste de la ranhería Los Hoyos.

Rocas Sedimentarias.- Al noroeste de Los Hoyos y en contacto con las pizarras, se encuentran calizas de color gris oscuro, estructura compacta, masiva y con pequeñas y esporádicas dolinas; probablemente de edad Cretácico Inferior.

Rocas Ígneas.- Existe un cuerpo ígneo extrusivo muy alterado, que puede ser una toba riolítica, en varios kilómetros cuadrados de superficie; color pardo verdoso, estructura deleznable y textura afanítica. Hay presencia de diorita y andesita en forma de diques dentro de las pizarras, la diorita es de color verde claro, estructura compacta cristalina y textura fanerítica y la andesita de color verde oscuro, estructura compacta cristalina y de textura afanítica.

Yacimientos Minerales

El Huizache

Se localiza al sur franco de la ranchería Los Hoyos, más o menos a 3 km de distancia. En este prospecto se presenta un hilo mineralizado con rumbo NWSE y buzamiento 40°NE, con una longitud de 60 cm y un espesor de 1.5 cm; este hilo presenta minerales de antimonio (estibinita y algo de óxidos) y se encuentra sobre un pequeño corte que tiene 4x2x3 m, y existe un fracturamiento y plegamiento de las pizarras que lo encajonan por la presencia de los diques básicos (dioríticos y andesíticos) dentro de las pizarras, se deduce que fueron los causantes de la mineralización debido a procesos hidrotermales.

Las Canoas

Prospecto que se localiza al noreste de El Huizache como a 1.5 km, contiene minerales de antimonio y probablemente plata. El mineral se encuentra en pizarras de la misma naturaleza y afectadas por los mismos procesos que El Huizache.

Es un pequeño tiro de 2 x 3 m de sección y 4 m de profundidad se ven como estructuras principales dos pequeñas fallas de aproximadamente 1.5 m de longitud, paralelos entre sí y separadas una de otra 1.5 m; en este intervalo y a los lados de ellas se presenta mineralización de antimonio, pirita, marcasita y probablemente plata. Además de esas dos fallas existe una cantidad de fracturas y vetillas de cuarzo mineralizadas con antimonio, todas dentro de la roca metamórfica que es muy compacta, de color gris oscuro y textura pizarrosa.

IV.2.7.-Antimonio en el estado de Chihuahua

Características de los yacimientos

Con raras excepciones los depósitos conocidos se ubican en la Sierra Madre Occidental, bien en su borde SE; o bien en la región de las Barrancas, encajonados o próximos a “Ventanas” metasedimentarias del Cretácico.

Por lo que respecta al borde sudoriental de la sierra se han trabajado a pequeña escala varios prospectos en las zonas periféricas a los grandes distritos mineros de Parral-Santa Bárbara-San Francisco del Oro. Dichos depósitos consisten la fuente de suministro con más actividad en el pasado, gracias a sus facilidades de acceso. Los depósitos se presentan tanto en lutitas apizarradas, como en rocas volcánicas ácidas; en general son demasiado pequeños, irregulares en su forma y erráticos en su contenido. Solo dos localidades son susceptibles de una exploración inmediata a pequeña escala. Terrenos de la hacienda de la

Estanzuela, municipio de Parral; y Rancho del Vallecito, municipio de Zaragoza. Los trabajos mineros se han limitado a la exploración de mineral rico superficial, por la total falta de incentivos para desarrollar reservas.

Entre las zonas reconocidas en el interior de la Sierra merecen citar las siguientes:

Zona de Baborigame

Dos depósitos de baja ley y mediano tonelaje en rocas volcánicas, la Cía. Minera y Refinadora, compañía que realizó un estudio de evaluación el año de 1971, resultaron positivas las primeras estimaciones de tonelaje, pero el mineral ensayó impurezas de plomo arriba del límite deseado. Si al problema metalúrgico se añade la falta de vías de comunicación, resulta poco probable que dichos yacimientos sean explotados en un futuro cercano.

Zona de Moris

Depósitos irregulares de reemplazamiento dentro de una amplia ventana de rocas sedimentarias, intrusionadas por potentes troncos y diques riolíticos. Se han explotado poco por el aislamiento de la región.

IV.2.8.-Antimonio en el estado de Puebla

Se considera de posible aprovechamiento económico Tulcingo, Puebla. Regiones de Coyul y de Paredones.

Por más de 40 años estos distritos han producido variable tonelaje anual, con marcadas y prolongadas interrupciones, atribuidas éstas principalmente a la característica variabilidad de la demanda y al valor comercial del mineral de antimonio.

En la mayoría de los casos, el aprovechamiento ha sido improvisado y rústico, mediante localizaciones fortuitas, tumba y extracción burdas y una tosca concentración manual de patio.

Tulcingo

Se ubica a 110 km al S15°W de la ciudad de Puebla, porción extrema sur central del estado, limítrofe con Guerrero, 3 km al W de Tulcingo del Valle.

Fisiografía

Lomerío arredondeado con desniveles de 100 m. Drenaje conforme a la foliación y fracturas de los esquistos. Clima cálido y semiseco con sequía de otoño a primavera.

Geología

Afloran en una sección metamórfica con variedad de esquistos sericíticos, micáceos, bituminosos, y algunas grauvacas y arcosas, derivadas de rocas clásticas marinas. Esta sección se asigna al Paleozoico o basamento metamórfico regional que aflora extensamente en la porción sur del estado de Puebla.

Al este y oeste, dos sierritas alargadas al NNE por más de 5 km, con su desnivel de 300 m. Están esencialmente constituidas por clásticos, marinos costeros en gruesa estratificación, y continentales, asignados al Jurásico; estos últimos consisten de conglomerados cuarzosos de pobre clasificación, arenisca conglomerática y lutitas. Sobre y en las laderas de éstas sierras, como remanentes aislados se expone estratificación gruesa de caliza asignada al Cretácico. Dispersos en la región, afloran débilmente algunos intrusivos ígneos hipabisales de composición intermedia, de reducido afloramiento, probablemente del Cenozoico Inferior.

Al oriente, entre Tulcingo y Tecamatlán, por varios kilómetros aflora potente sección volcánica de efusivos y piroclastos terciarios (tobas aglomeráticas, areniscas, derrames) con un peculiar interperismo rojizo.

Por varios kilómetros la sección metamórfica está ampliamente afectada por vetas de cuarzo hidrotermal con variada intensidad a veces concentrados en zonas o bien alineados por fallas y en ocasiones dispersos, siempre bajo control genético estructural de permeabilidad sobre zonas y planos de debilidad (foliación y fracturamiento). Estas zonas a veces se identifican fisiográficamente por erosión diferencial como crestones en roca esquistosa encajonante débil.

La sección metamórfica manifiesta en general una uniforme foliación que varía de N a S (en la porción del S) hasta N 30 E (en la porción del N), con frecuentes y suaves variaciones en rumbo e inclinación.

Mineralización

Se encuentran manifestaciones y yacimientos de estibinita con sus óxidos relativos en rocas metamórficas, amplia y numerosos distribuidos sobre unos 14 km². Los óxidos afloran con coloraciones amarillentas del relleno arcilloso de los esquistos. Los sulfuros se encuentran en forma de vetas, vetillas, impregnaciones, incrustaciones e ínter granular constituyendo bolsas, lentes, masas irregulares en forma y dimensiones, siempre como relleno de espacios libres, alojados sobre fallas, fracturas y planos de foliación. La morfología más general puede señalarse como cuerpos discontinuos alojados en zonas de forma tabular.

El proceso mineralizante es epitermal epigenético con relleno de espacios libres, hábito genético común en mineralización de antimonio.

Se aprecia mineralización en un intervalo vertical mayor de 100 m. La persistencia lateral se ha registrado de 3 a 100 metros.

Litológicamente la mineralización de antimonio parece asociarse preferentemente a cuerpos bituminosos, aunque bien pudiera ser preferencia de asociación estructural, por presentar esta roca más espacios libres, por menos tenacidad, muy frágil y poco competente como unidad litológica.

Como mineralización aparente asociada con las concentraciones de estibinita, se observan fuertes silicificaciones hidrotermales de cuarzo irregular y de veta. Esto parece constituir una asociación más bien mecánica-estructural que litológica.

Los yacimientos y prospectos conocidos se localizan sobre una línea principal y notable de N a S, de acuerdo a la foliación regional de las rocas metamórficas. La foliación y los fallamientos principales parecen ser paralelos. La foliación se presenta generalmente vertical o fuertemente inclinada, con raras excepciones se torna horizontal (Prospecto La Constantina).

La alineación de las estructuras mineralizadas también indica un sistema plano o subparalelo o escalonado (prospectos El Tres, El Dos, Hueso del Muerto).

La mineralización de antimonio no aparece relacionada con cuerpos ígneos intrusivos cercanos. Sólo se encuentra un pequeño dique al NE del área.

Obras Mineras

La exploración minera ha sido rústicamente orientada y a poca profundidad. La poca tenacidad de la roca encajonante, variados tipos de esquistos, principalmente el bituminoso, en general obstaculiza y encarece la explotación y exploración subterránea, por lo cual el desarrollo a profundidad ha sido escaso. Sin embargo a bajo ritmo se ha obtenido un considerable tonelaje de estibinita durante más de 15 años. Se tienen referencias sobre frecuentes bonanzas hasta de 10 ton.

El Coyul

Así se asigna a la porción norte de la zona de antimonio de Tulcingo, localizada a tres km al NW de Tulcingo del Valle, accesible aguas abajo por el cauce del arroyo de Coyul.

Comprende las obras de Coyul propiamente conocidas, La Ilusión, de Cuatolote y Quintonil, exploradas por estibinita hace 4 décadas con interrupciones de varios años.

Las obras mineras son numerosas, dispersas y de gran magnitud, tajos, túneles, y galerías irregulares, que en su mayor parte se encuentran abandonadas, lo que ocasionan su consecuente casi total derrumbe y azolve, motivado principalmente por la debilidad del esquisto bituminoso, y a la irregularidad a sistemática de las excavaciones, hechas con un propósito improvisado y burdo tumbe selectivo de mineral.

El Quintonil

Grupo de unas 6 catas y 50 m de tajos localizados a 500 metros al SW de las obras de El Coyul. Estas obras exploratorias fueron excavadas y abandonadas hace varias décadas, en posible prospección de oro, sobre llamativos crestos formados por vetas de cuarzo encajonadas en la sección metamórfica de esquistos. Reportes de muestreo, muestran contenidos de 260 ppb de Oro.

Paredones

Porción sur de la zona antimonífera de Tulcingo, accesible por veredas al SW de Tulcingo o bien por el camino Acoxtlauacan y Xicotlán.

Comprende los prospectos comúnmente conocidos como Gema, El Hueso del Muerto, El Diamante y El Pochote, El Dos, Azomiate, El Tres, La Leona.

Prospectos independientes localizaron y han extraído, estibinita, transportándola en bestia de Paredones, donde era quebrada y seleccionada a mano para vender el producto óptimo en pureza al principal concesionario minero local.

No ha habido suficiente ni adecuada exploración siendo la existente rústica muy superficial y escasa.

IV.2.9.-Antimonio en el estado de Guanajuato

La mayoría de los denuncios por antimonio se encuentran en la parte noreste del estado de Guanajuato. En el municipio de Victoria están las zonas mineras de Bonanza, Corralitos y Siempre Viva. En el municipio de San José Iturbide está la zona de El Jovero y parte de la zona El Tángano (Españita). En el municipio de San Miguel de Allende están las zonas de La Márgara y El Tángano. Entre las zonas de El Jovero y La Margara existen manifestaciones de plomo y cobre.

La zona La Bonanza está localizada a 8 km al SW de Villa Victoria, Gto. cabecera del municipio de Victoria, se comunica por medio de veredas hasta este poblado; un camino de terracería de 20 km une con un camino pavimentado de 19 km que llega a San Luis de La Paz, Gto.

Fisiográficamente rodean a la zona de Bonanza las montañas de Mesa Alta, Puerto de Guerra, Mesa Segura, Mesa de Ortiz y Cerro Colorado. Drenan a la región los arroyos de Palomas, Hervidora y Bonanza, los que vierten sus aguas en el río Victoria.

La zona minera Corralitos se localiza a 6.5 km al sur de Victoria y a 6 km al este de Bonanza; el camino de terracería que une Victoria con el poblado de Tierra Blanca y Santa Catarina pasa a 500 metros al oriente de la zona de Corralitos.

La zona minera Corralitos se encuentra fisiográficamente ubicada en las zonas de la Cruz y loma de La Cantera, separadas por el arroyo Naranjo; hacia el norte y oriente, drenan las zonas de los arroyos Árbol y Panalillos, quienes vierten sus aguas en el Río Victoria. Ambas áreas forman las primeras estribaciones del flanco suroccidental de la sierra Gorda, separadas en parte por el río Victoria que corre paralelamente a la sierra, con un curso NW a SE.

La zona minera de Siempre Viva se localiza a 3.5 km al NW del poblado de Álamos de Martínez, cerca de los límites del estado de Guanajuato con el de San Luis Potosí, se comunica con este poblado por medio de una vereda y un camino de terracería de 2.5 km. Las zonas mineras El Jovero, La Márgara, El Tángano y Española se encuentran al sur de la planicie de San Luis de La Paz, entre las primeras estribaciones de la sierra, que forma un arco y une la sierra de Codornices con la Sierra Gorda. Una línea recta que une las ciudades de San Miguel de Allende con San José Iturbide pasaría ligeramente al sur de las zonas de antimonio. La zona de El Jovero se encuentra en la parte sur de la antigua hacienda del mismo nombre, se comunica con un camino de terracería de 31 km de longitud, que parte hacia el SW de Dr. Mora llega a las inmediaciones de la zona, el acceso a las diferentes obras mineras es por medio de veredas de 2 a 5 km de longitud.

La zona de La Márgara se localiza al oriente del poblado de Santa María que se encuentra junto a la carretera 49 que une a la ciudad de San Miguel de Allende con la carretera central 57 (Querétaro a San Luis Potosí); el poblado de Santa María se desprende hacia el oriente una brecha, con desarrollo de 8 km hasta el rancho de El Moral; a partir del poblado de Paso de Nieto y hacia el norte existe una vereda de aproximadamente 8 km que da acceso a la zona de antimonio de La Márgara. Continúa hacia el oriente del rancho de El Moral una vereda de aproximadamente 8 a 15 km de longitud que conduce a las zonas de El Tángano y Española.

Fisiográficamente las zonas de El Tángano, La Márgara y El Jovero están enclavadas en un pequeño macizo montañoso, aislado en parte y rodeado por los valles de San Miguel de Allende, San Luis de La Paz y San José Iturbide; al sur por el valle de Querétaro; al poniente se une con los cerros de El Toro y de La Tábula. Los cerros que forman el macizo montañoso son el de La Márgara con 2700 m, cerro el Alto con 2680 m, cerro de El Macho con 2630 m y cerro Pelón con 2630 m s.n.m. Estos cerros están rodeados por lomeríos de escasa elevación que se pierden gradualmente hacia los valles; las partes altas de los cerros están en parte cubiertos por encinos y madroños, en las partes bajas solamente existen pequeños arbustos aislados. De las cimas de este macizo se forman corrientes temporales, que en forma radial drenan la región, sus principales corrientes son: al norte el arroyo de Piedras de Amolar y El Jovero; al oriente los arroyos de El Chupadero y El Guajolote; al sur el arroyo de Pecerra; al poniente los arroyos de El Nacho y La Márgara.

Geología

Las rocas que afloran en las diferentes zonas están constituidas por rocas metamórficas, sedimentarias y volcánicas. Su edad no ha sido determinada; pero dada la cercanía de estos afloramientos, se consideran tentativamente, tanto las rocas metamórficas como

sedimentarias pertenecientes a la Formación Soyatal, de la base inferior del Cretácico Superior. Sobre una superficie fuertemente erosionada fueron depositadas rocas volcánicas a las que se le considera pertenecientes al Terciario. Parte de estas rocas han sido erosionadas en algunas zonas y se observan coronando las partes altas de los cerros. Los sedimentos del reciente lo forman terrazas, aluvión, depósitos de talud, caliche y suelos, con espesores desde unos cuantos centímetros a varios metros de espesor. La mineralización de antimonio ocurre en lutitas de la Formación Soyatal, así como en riolitas.

Pizarras

En el arroyo de Bonanza, aproximadamente a 2 km al NW de la zona explotada por antimonio, existe un afloramiento de pizarras de color gris a negro, en capas de 10 a 15 cm, presenta hilos delgados de pirita que son paralelos y perpendiculares a la foliación.

En la región del El Tángano las pizarras afloran sobre la margen izquierda de la cañada de Españita, próximo a la confluencia con el arroyo de El Chapote, su coloración es negra, en capas que varían de 10 a 20 cm de espesor, sobreyacen a las pizarras calizas de color gris en concordancia aparente. Otro afloramiento de pizarras negras se observa en el fondo de la cañada de Palo Alto, consisten en capas delgadas que varían de 10 a 50 cm de espesor, sobre las pizarras afloran areniscas de grano fino.

Areniscas

Estas rocas afloran en la parte suroccidental del área de Bonanza, se encuentran silicificadas y su coloración es verde pardo, ocupan una superficie de aproximadamente de 600 metros cuadrados.

En la zona de El Jovero las areniscas afloran en la cañada de Palo Alto, su color es amarillo ocre, grano fino, en capas que varían de 5 a 30 cm de espesor.

Calizas

En la confluencia de los arroyos de El Charape y Españita, y en la cañada de Palo Alto, afloran calizas de color gris claro, en capas delgadas de 20 a 60 cm de espesor. En la zona de Bonanza las calizas son de color gris oscuro, en capas de 10 a 70 cm de espesor. En la zona de El Tángano las calizas descansan sobre las pizarras, donde no afloran las areniscas, debido probablemente a su no depositación.

Lutitas

En la zona de Bonanza las lutitas afloran en los arroyos que rodean a la zona, se observan mejor en el interior de las obras mineras, las coloraciones varían de pardo amarillento a gris oscuro; cerca de las estructuras mineralizadas, la roca se presenta a veces silicificada con una coloración gris oscuro; el espesor de sus capas es de 15 a 50 cm, con una exfoliación en capas de 1mm de espesor; la lutita sirve como roca encajonante a la mineralización del antimonio.

En las zonas La Márgara y El Tángano, las lutitas afloran en los arroyos de El Jovero y El Tángano, la roca se encuentra muy fracturada, forma fragmentos prismáticos con tamaños que oscilan entre unos cuantos milímetros a 3 cm de largo; otras localidades son el cerro de El Tángano, arroyo de Palo Alto y mina de Rancho Viejo; la roca intemperizada tiene un color blanco grisáceo a crema, en fracturas frescas la roca es de color gris oscuro a pardo amarillento.

Calcilutitas

Estas rocas aparentemente se encuentran en concordancia con las lutitas. Sus afloramientos en la zona de Bonanza son de color rojo oscuro a amarillo ocre, en capas de 5 a 10 cm en la zona de La Márgara sus afloramientos ocurren en el arroyo de El Moral, en la ladera occidental del cerro de El Macho.

Calizas

Estas rocas afloran en la loma del Tío Limas, al poniente del cerro de La Márgara, desaparece hacia el sur al quedar cubiertos por el valle de San Miguel de Allende. La zona de la Siempre Viva (Álamo de Martínez), las calizas son de color gris, en capas de 10 a 40 cm de espesor, oxidación y caolinización se observa en los contactos con las rocas riolíticas que en parte cubren a las calizas, la mineralización de antimonio y fluorita ocurre en las rocas sedimentarias.

Riolitas

En la zona de La Márgara y El Tángano, las riolitas aparecen coronando las partes altas de los cerros de La Margara, cerro de El Macho y cerro de La Tinaja; esta roca se depositó sobre una superficie erosionada de las rocas sedimentarias. En la zona de Bonanza la riolita rodea a las lutitas y calcilutitas, éstas forman una pequeña ventana. Las emisiones se prolongan hasta la zona de Corralitos, la roca se encuentra fracturada con textura fluidal y fenocristales de cuarzo, su coloración es rosa y presentan mineralización de antimonio.

Aluvión

Con excepción de la zona Siempre Viva, donde los suelos, derivados de la erosión de las calizas, alcanzan varios metros de espesor, en las áreas restantes solamente existen suelo de unos cuantos decímetros de espesor y capas de caliche de 10 a 20 cm de espesor

Roca encajonante

En la zona de El Jovero, El Tángano y Bonanza, la roca encajonante ha sido la secuencia de lutitas y lutitas calcáreas que afloran en esta área, mientras que en la zona de Corralitos la roca encajonante está formada por riolitas y en la zona de Siempre Virgen por calizas grises.

Estructuras

Los yacimientos de antimonio se encuentran alojados en un sistema de fracturas, las fracturas tienen rumbos que varían de E-W a N70°W; una dirección secundaria de fracturas con rumbos de N-S a N25°E. Estas estructuras están asociadas a fallas de cortos desplazamientos y son paralelas a las fracturas. El plegamiento de las rocas mesozoicas, principalmente donde se formaron anticlinales, favoreció la formación de fracturas que sirvieron de canal para la depositación del antimonio.

Yacimientos Minerales

La mineralización del antimonio es de origen hidrotermal; relleno de fracturas o fallas de corto desplazamiento, en una secuencia de lutitas a calcilutitas (zona mina Siempre Viva) y riolitas (Zona Corralitos). La potencia de las vetas varía de unos cuantos milímetros a 50 cm; existe antimonio en forma diseminada dentro de la roca encajonante, estas estructuras se formaron durante el plegamiento de las rocas mesozoicas a las que fueron erosionadas y cubiertas durante el terciario por emisiones riolíticas; puede ser factible que esta roca haya servido como capa impermeable a las soluciones mineralizantes, las que se depositaron en los sistemas de fracturas y lateralmente en la roca encajonante, la presencia de antimonio en el contacto de riolita y lutitas en la mina de El Tajo de Rancho Viejo (zona Jovero) confirma lo anterior. Fracturas en las riolitas han permitido la depositación de antimonio.

Mineralogía

Los minerales de antimonio de la zona de Bonanza consisten en su mayoría de óxidos (cervantita) en forma de agujas dispuestas en formas radiales, en tamaños de uno a cinco cm de largo; gran parte de las agujas han sido disueltas y solamente se conservan los moldes, tienen como matriz lutita silicificada. Entre las capas de la lutita se encuentran películas amarillentas de óxido de antimonio. Pequeñas oquedades han sido consideradas como moldes de minerales de antimonio. Puntos negros brillantes diseminados en la roca y solamente observables al microscopio han sido considerados como sulfuros de antimonio, ya que análisis cualitativos indican la existencia de antimonio; como ganga se encuentra calcita y cuarzo.

En la zona de El Tángano, la mineralización consiste en Cervantita en forma de agujas pequeñas y en forma de película en el contacto de las riolitas y lutitas (Mina san Martín). En las láminas de El Tángano y Rancho Viejo los óxidos de antimonio se encuentran en las lutitas; en forma diseminada se observaron al microscopio huecos o moldes en los que ocasionalmente se observaron cristales negros de sulfuro de antimonio, cristales de color rojo ladrillo se han observado tentativamente como metaestibinita (Sb_2S_5); pequeñas agujas de color negro de estibinita, piritas oxidadas, cristales y pequeñas manchas de cinabrio se presentan en menor escala.

En la zona de La Márgara (mina Tío Dimas), la cervantita tiene forma acicular dispuesta en forma radial, pequeños cristales de antimonio dentro de la matriz de cuarzo se ven al microscopio, análisis por plata dieron 6 gr/ton.

En la zona de Siempre Viva (Álamos de Martínez) la mineralización de antimonio en las calizas es de estibinita en formas aciculares dispuestas radialmente, en tamaños que varían de unos cuantos milímetros a 2 cm de largo; este mineral se encuentra asociado con fluorita, el antimonio se depositó en los planos de fractura de la fluorita, como agujas de estibinita, por lo que se estima que la mineralización de antimonio es posterior a la fluorita.

Obras Mineras

Todas las obras son del tipo de gambusino o de minero en pequeño, ya que la mayoría de ellos solamente alcanzan unos cuantos metros de desarrollo, las más profundas son las de la zona de Bonanza que tienen longitudes de 41 y 45 metros. Sus obras consisten en frentes de 1.5 m de ancho por 2 metros de altura., siguen las estructuras mineralizadas en un plano horizontal o con una ligera inclinación a buscar la mineralización a la profundidad. En la intersección de dos estructuras mineralizadas existen fuentes secundarias que se forman en su cruce pequeños rebajes tanto de piso como de cabeza. Algunas obras que muestran un ancho mayor del normal deben haberse hecho para extraer mineral que existió en la roca encajonante. En la zona de Bonanza existen dos tajos de 20 m de longitud y 5 m de ancho, colocados perpendicularmente a la dirección general de las vetas. Se estiman que existen unas 25 obras mineras que no pudieron ser visitadas por encontrarse aterradas o inundadas. Según datos recabados no existió ningún equipo para la concentración del mineral; era este escogido a mano.

Muestreo y análisis

Los resultados de los exámenes al microscopio de la roca encajonante así como análisis cualitativos, indicaron la presencia de antimonio, por lo que se hizo un segundo muestreo en las zonas de Bonanza y El Tángano; en la primera zona se tomaron 15 muestras a 10 m de distancia de las estructuras mineralizadas, haciéndose pozos hasta llegar a la roca, a fin de eliminar la contaminación superficial, los resultados obtenidos oscilan de 0.55% a 5.5% de antimonio. En la zona del Tángano 2 muestras fueron tomadas en la lutita y dieron valores de 18 a 20% de antimonio.

IV.2.10.-Antimonio en el estado de Michoacán

Lote Sacramento, municipio de Tzitzio. Esta área se encuentra al S35°E y 11 km en línea recta del poblado de Tzitzio, estado de Michoacán

Geología Regional

Pizarra

Roca del periodo Pérmico, se encuentra ocupando afloramientos extensos con estratos de 1 a 10 cm, que en conjunto tienen un espesor superior a los 600 m, con rumbo predominante al N30° W y echados al NE 15°, fuertemente plegados, con pequeños pliegues de tipo recumbente.

Pizarras y Areniscas

Estas rocas suprayacen en concordancia paralela a las pizarras, con un rumbo general NW 25°SE y echado al NE 20° SW, con estratos de 2 a 40 cm, que en conjunto llegan a tener de 0.5 a 15.0 m de espesor, está intensamente fracturado.

Conglomerado Balsas

Cubriendo a la alternancia pizarras-areniscas, se presenta en discordancia el Conglomerado Balsas, de edad Eoceno – Oligoceno, sus afloramientos están orientados sensiblemente Norte – Sur, con espesores que varían de 4 a 50 cm.

Dique porfido dacítico

Estas rocas intrusionan a las pizarras y a la alternancia pizarras – areniscas, con rumbo general NW 20°SE y echado al NE 70°, existen otros diques, con espesores que varían de 0.40 a 20 m y de 30 a 2,500 m de longitud en superficie.

Para la geología local, se presentan las pizarras, las cuales ocupan casi la totalidad del área, y el dique de pórfido dacítico el cual intrusiona a las pizarras, con un espesor que varía de 0.20 a 0.80 m y longitud de 40 m, de color gris claro a crema con alteración de caolinización y silicificación.

Las estructuras (vetas) se localizan en el franco oriente de un anticlinal de tipo regional en donde su eje longitudinal se extiende desde el poblado de Tiquicheo hasta el de Tzitzio. Afectado por una falla de tipo regional, con rumbo N20°W, la cual ocasiona fracturas y fallas con rumbo NW y echado al NE, que sirvieron para el emplazamiento de las vetas mineralizadas y al dique pórfido dacítico con rumbo N20°W y echado al NE 70°. La estructura principal dentro del lote Sacramento es una veta falla con rumbo N20°W y echado al SW20°-30° y longitud inferida de 200 m.

La mineralización de tipo hidrotermal, la cual se presenta en forma diseminada y en relleno de vetas acompañadas por cuarzo y está compuesta por sulfuros de antimonio, plata y plomo, así como óxidos de antimonio.

Las estructuras mineralizadas se presentan en forma de rosario, la fama que tiene la veta Sacramento son bolsadas de mineral que se encuentran alineadas dando la forma y continuidad de una veta.

La veta Sacramento tiene un rumbo N40°-60°W y echado al SW 65°-80° y ancho de 0.20 a 2.5 m de longitud.

La mineralogía está compuesta por sulfuros de antimonio (estibinita), plata (argertita) y Pb (galena), así como óxidos de antimonio (cervantita).

Como alteración principal se tiene oxidación y en menor proporción silicificación.

El área tiene gran variedad de obras mineras, solo se tiene datos de la mina La Providencia donde los valores son del orden de 1.6 a 14.4% de antimonio y de 0.3 a 125 gr/ton de Ag.

Área San Patricio y Las Minitas, municipio de Tzitzio

El área se encuentra ubicada a 11 km en línea recta al S 35 °E del poblado de Tzitzio.

Las rocas aflorantes son un paquete metasedimentario (pizarras, filitas y areniscas intercaladas).

Los efectos tectónicos han provocado en el área, fallas fracturas y plegamientos intensos en las rocas metasedimentarias, este fracturamiento ha propiciado el emplazamiento de los diques pórfido dacíticos y sus ramaleos, en las rocas metasedimentarias.

El plegamiento dominante tiene, un rumbo promedio N 25° W con echado al NE. Un producto de fracturas posteriores a las estructuras de plegamiento, poseen rumbos preferentes que varían de N 25° E a N 40° W.

La alteración de las rocas de interés económico es del tipo hidrotermal, y consiste en una silicificación de sulfuros de hierro, que se encuentran diseminadas en trazas en los metasedimentos.

La mineralización es de tipo hidrotermal, y se presenta en dos etapas, siendo la primera de ellas la más importante. Ambas épocas de mineralización tuvieron lugar en vetillas y pequeñas vetas o bien capas de espesores respectivos de 1 a 3 cm, de 5 a 20 cm.

En la primera época de formación de estas estructuras se tiene como minerales de mena: la estibinita acompañada por sulfosales de plata (estefanita, polibasita con cantidades subordinadas de proustita) en partes aparece pirita, calcopirita y escalerita; la ganga se encuentra constituida por cuarzo y las propias rocas encajonantes.

El segundo efecto mineralizante se caracteriza por un conjunto de minerales que incluyen: pirita, calcopirita, esfalerita y galena.

De acuerdo al muestreo geoquímico realizado por el C.R.M.(1975), el conjunto de muestras tomadas, se analizaron por cobre, plomo, plata y antimonio, resultando valores bajos para los elementos de cobre, plomo y zinc, pero se obtuvo zonas de anomalías por antimonio.

De los resultados obtenidos de análisis de las muestras, se escogieron dos conjuntos de valores que fluctúan entre los intervalos 201 a 333 y mayores a 333 de partes por millón de antimonio.

Siendo el primer intervalo correspondiente a una anomalía alta y el segundo como una anomalía muy alta.

Se configuraron una anomalía alta y 5 de valores muy altos, las que se localizan un tren N-S. La primera de ellas se encuentra en el extremo norte dentro de la zona del rancho San Patricio, cubre un área aproximada de 6 has, involucrando a las minas El Zarco, La Trinidad, San Patricio El Viejo y El Nuevo.

La segunda anomalía se localiza al sur a 700 m de la anterior, entre las obras mineras de La Blanca, San Ramón, Lampaz Nuevo y El Viejo, con una superficie aproximada de 6 has. La

tercera anomalía cubre una superficie de 17 has, y se localiza a 700 m y al oeste del rancho Las Minitas, esta anomalía guarda una orientación NW 35° SE, involucrando a las minas Del Sacramento, El Poder de Dios, Lourdes, El Águila, San Nicolás, La Nueva Leona y La Providencia. Más al sur y a 500 m de la anterior, se tienen 2 anomalías que cubren una superficie aproximada de 4 has; una de ellas se considera de valor alto y la otra de valor muy alto y cubre a las minas Las Águilas. Finalmente y 200 m más al sur, se encuentra la última anomalía muy alta, que tiene una superficie de 1.5 has, donde se localiza la mina San Francisco.

IV.2.11.-Antimonio en los estados de Zacatecas, Aguascalientes y Jalisco

Las diversas zonas de antimonio están localizadas en los municipios de:

- Mazapil, Nieves, Villa de Cos, Río Grande, Sombrerete, Fresnillo, Guadalupe, Ojo Caliente, Villa Hidalgo, Pinos y Villa García en el estado de Zacatecas.
- El municipio de Ramos Jesús María en el estado de Aguascalientes;
- En el municipio de Tecolotlán en el estado de Jalisco.

Fisiografía

Las zonas de antimonio localizadas en las provincias fisiográficas:

- Sierra Madre Oriental: municipio de Mazapil, estado de Zacatecas
- Mesa Central: municipios de Nieves, Villa de Cos, Río Grande, Sombrerete, Fresnillo, Guadalupe, Ojo Caliente, Villa Hidalgo, Pinos y Villa García, estado de Zacatecas.
Y municipio de Jesús María, estado de Aguascalientes
- Límites de la zona Neovolcánica Transversal y Sierra Madre Occidental, municipio de Tecolotlán, estado de Jalisco.

Geología

Los afloramientos más abundantes que se han registrado en las localidades donde existen depósitos de antimonio, son rocas sedimentarias marinas representadas por calizas y lutitas principalmente, así como areniscas. En áreas más reducidas están expuestas en andesitas y riolitas.

Tanto las rocas sedimentarias como las ígneas extrusivas están relacionadas con pequeños afloramientos de rocas graníticas. Por lo que respecta a la edad de estas rocas varían del Cretácico Inferior al Reciente.

Yacimientos Minerales

Los depósitos son de origen hidrotermal debido a soluciones que ascendieron por fracturas y fallas paralelas y transversales a los planos de estratificación, reemplazamiento de caliza y relleno de fisura, se forman cuerpos mineralizados de dimensiones irregulares con

minerales de antimonio en forma de sulfuros, posteriormente oxidados, localizados en cimas de los anticlinales y en los respaldos de las fracturas, los cuerpos mineralizados se presentan en forma de bolsas hasta de 5 metros de diámetro; mantos de 5 a 30 centímetros de espesor y vetas que llegan hasta 80 cm de ancho, de forma y valores muy irregulares.

Mineralogía

Los minerales que constituyen los yacimientos de antimonio son: Estibinita, valentinita, cervantita, quermesita, y escasa esfalerita, asociados a cinabrio, azufre, barita y minerales de oxidación (limonita y hematita), caolinización y en menor grado cloritización. La ganga está representada por calcita y cuarzo.

Zonas Mineralizadas

Municipio de Mazapil, estado de Zacatecas

Los depósitos de antimonio se localizan en las zonas de Gallos Blancos, cerro del Alamito, cerro de La Cruz y Noche Buena. Sus obras mineras son tajos, pozos y catas de 6 a 11 metros a rumbo y a profundidad.

La mineralización está constituida por valentinita, cervantita, hematita e indicios de barita y cinabrio en ganga de caliza y cuarzo en calizas y lutitas.

Los cuerpos de mineral se presentan en forma de bolsas de 1 a 3 metros de diámetro y mantos de 5 a 10 cm de espesor, en sitios donde existen plegamientos.

Municipio de Nieves, estado de Zacatecas

Los depósitos de antimonio se localizan en las zonas El Tánger y Pacheco.

Las obras mineras están constituidas por frentes, socavones y rebajes que tienen desarrollos del orden de 200 m como máximo y varias catas de 2 a 5 m de profundidad.

La mineralización está constituida por estibinita, valentinita, mercurio, hematita y azufre en ganga de calcita y cuarzo encajonados en calizas y lutitas.

Los cuerpos de mineral son irregulares, adoptan la forma de bolsas hasta de 5 m de diámetro que se adelgazan siguiendo los planos de estratificación y algunas capas de caliza oscura que fueron reemplazadas formando de esta manera mantos y lentes de 5 a 30 cm de espesor.

Municipio de Villa de Cos, estado de Zacatecas

Los depósitos se localizan en las zonas: sierra El Sabino, cerro La Cardonsita y cerro Verde, esta última localidad está ubicada en los límites de Zacatecas y San Luís Potosí. Las obras mineras las componen un gran número de catas y frentes de 2 a 10 m a rumbo y a profundidad.

La mineralización está constituida por valentinita, cervantita y escasa estibinita, limonita, hematita e indicios de cinabrio en ganga de calcita cristalizada y cuarzo encajonados en calizas y lutitas.

Los cuerpos mineralizados son irregulares en forma de bolsas de 0.20 a 1.00 m. de diámetro, mantos de 5 a 30 cm y relleno de fisuras angostas.

Municipio de Río Grande, estado de Zacatecas

Las zonas se encuentran localizadas en el cerro Los Encinos y en la sierra El Azufre.

Los trabajos en Los Encinos son 4 frentes con rebajes de 38 m de desarrollo máximo. En la sierra El Azufre son catas y rebajes de 2 a 8 m de desarrollo.

La mineralización está constituida por estibinita, valentinita, cinabrio y azufre en ganga de calcita cristalizada y cuarzo encajonados en calizas y lutitas.

El mineral se presenta en forma de bolsas de 0.20 a 2.50 m de diámetro, mantos y lentes de 10 a 20 cm de espesor.

Municipio de Sombrerete, estado de Zacatecas

Existen depósitos de antimonio localizados en la zona La Mojada, cerro El Cristo y cerro Gordo.

Las obras más trabajadas y desarrolladas se encuentran en la Mojada, son rebajes y frentes de 5 a 40 m a rumbo y a profundidad. En el cerro El Cristo y cerro Gordo son catas y pozos de 1 a 5 m de profundidad. La mineralización está constituida por estibinita, valentinita y cervantita en ganga de caliza cristalizada y cuarzo encajonados en calizas, lutitas y areniscas.

Los cuerpos de mineral son irregulares en forma de bolsas de 0.20 a 1.00 m de diámetro, mantos hasta de 30 cm de espesor, localizados en sitios de plegamiento, horizontes de lutita rojiza y en capas de cizalla susceptibles de reemplazarse.

Municipio de Fresnillo, estado de Zacatecas

Los depósitos de antimonio se localizan en las lomas del Xoconoxtle.

Sus obras son trabajos de exploración realizados por gambusinos y constituyen más de 30 obras a manera de zanjas, pozos, tajos y catas de 2 a 15 m tanto a rumbo como a profundidad.

La mineralización está constituida principalmente por valentinita, cervantita, estibinita y hematita en ganga de calcita cristalizada y cuarzo; encajonadas en calizas y lutitas.

Los cuerpos de mineral se presentan en forma de mantos 5 a 10 cm de espesor, concordantes con las capas de roca estratificada, bolsas de 0.20 a 2.00 m de diámetro y relleno de angostas fisuras.

Municipio de Guadalupe, estado de Zacatecas

Existen depósitos de antimonio en las zonas: La Calderota, El Águila, Loma de Paladero y Loma de Los Perros; esta última se ubica en los límites de los municipios de Guadalupe, Zac. y Ramos, S.L.P.

Las obras o trabajos mineros están constituidos por rebajes y galerías de 2 a 5 m. de profundidad; las demás obras son zanjas, rebajes de piso y catas de 2 a 20 m tanto a rumbo como a profundidad.

La mineralización está constituida por estibinita, valentinita, cervantita, kermesita e indicios de cinabrio, limonita y hematita en ganga de calcita y cuarzo, encajonada en lutitas, areniscas y andesita. El mineral se presenta en forma de bolsas hasta de 5 m de diámetro, mantos de reemplazamientos de 0.50 a 3.00 m de espesor y vetas de fisura de 10 a 30 cm de ancho alojados en andesita. Estos depósitos ofrecen posibilidades económicas.

Municipio de Ojo Caliente, estado de Zacatecas

Se localizan depósitos de antimonio en las zonas de Cerros Pelonas principalmente, Chepinque y Pastoría. Los trabajos mineros están constituidos en la primera zona por pequeños cruceros y frentes, las demás obras son pozos y tajos encontrándose aterrados.

Para la Zona El Chepinque un tajo abierto de 3 m. de alto y catas de 4 m de profundidad en Pastoría.

La mineralización es valentinita, cervantita, escasa estibinita, hematita y alteraciones de caolín, la ganga está localizada por abundante calcita cristalizada encajonados en lutitas y areniscas.

Los cuerpos de mineral son irregulares en forma de pequeñas bolsas y mantos delgados alojados en los pliegues, también existe el mineral de relleno de fisura.

Municipio de Villa Hidalgo estado de Zacatecas

Existen depósitos de antimonio en las zonas: cerro de La Leona, cerro de la Cal, San Marcelino, Tres Marías, cerro Blanco y cerro de La Pelona.

Las obras mineras en el cerro de La Leona son varias catas de 1 a 4 m de profundidad y una sola obra que tiene un desarrollo de 30 m. Existe un gran número de catas y pequeños socavones de 1 a 10 m a rumbo como a profundidad.

La mineralización está constituida por óxidos de antimonio: valentinita, cervantita, escasa estibinita y limonita en ganga de calcita cristalizada muy abundante, encajonadas en lutitas y calizas.

El mineral es muy irregular constituye cuerpos en forma de pequeñas bolsas, delgados mantos y mayor concentración en vetas de fisura, emplazadas en fallas que se tienen reconocidas a lo largo de 200 m.

Municipio de Pinos, estado de Zacatecas

Los depósitos de antimonio se encuentran localizados en las zonas El Espejo y cerro Los Pelones.

Las obras mineras en El Espejo consisten en tajos abiertos de 3 a 120 m a rumbo de fractura y profundidad hasta 60 m. En El Cerro Los Pelones hay tres pozos de 2 a 10 m de profundidad.

La mineralización está constituida por valentinita, cervantita, asociada a limonita, en ganga de cuarzo; existen oxidación y cloritización. La roca encajonante es riolita, tobas, lutitas y calizas.

Los cuerpos de mineral se alojan en fracturas que tienen hasta 80 cm de ancho y 120 m a rumbo predominando la dirección al NW y echados al SW.

Municipio de Tecolotlán, estado de Jalisco

Existe un depósito de antimonio y barita localizado en el cerro Los Mezcales en el ejido de Ayotitlán.

La obra minera es un tajo abierto de 10 m a rumbo de veta por 5 m de profundidad.

La mineralización está representada por barita, estibinita, valentinita, indicios de mercurio en ganga de calcita y cuarzo encajados en caliza fosilífera. El mineral se encuentra alojado en un plano de estratificación concordante con la caliza, de 20 cm de ancho y asociado a la barita.

IV.3.- La Provincia Andina

IV.3.1.-Bolivia

Los depósitos se encuentran en una larga cordillera, que comienza desde La Paz al norte y se extiende a través de Oruro hasta Potosí sobre el sur. Los más importantes son aquellos encontrados en los distritos de Turpiza en Potosí y Challapata en Oruro.

El antimonio conocido sólo en depósitos ubicados en la zona altiplánica de Bolivia está, en cierta forma, restringido a los flancos occidentales de la Cordillera Oriental.

Los depósitos de antimonio en Bolivia se presentan casi exclusivamente en vetas, se conocen algunos depósitos aluviales pero de pequeña extensión y contenido debido a las características propias del mineral.

Minas de antimonio están distribuidas desde el extremo norte de la Cordillera Oriental que continúa del Perú hasta el sur del país frontera con Argentina.

Los filones o vetas antimoníferas encajan predominantemente en rocas generalmente blandas y porosas y en anticlinales, aunque se conocen vetas en rocas ígneas de tipo granítico. Tienen una típica estructura en “rosario” o “bolsonera” y forman extensas estructuras que rellenan preferentemente zonas de fracturamiento.

La estibina es el más abundante de los minerales de antimonio y casi siempre se halla acompañado de cuarzo que llega a constituir una guía para este mineral. Existen varios minerales de antimonio que junto a sulfuros, wolframita y oro, en algunas zonas, acompañantes normales o sustitutos de la estibinita.

Las minas que explotan óxidos de antimonio son cada vez menores. Se ha afirmado que la mineralización antimonífera en Bolivia es parte de un solo ciclo con la wolframífera, sin embargo, este criterio es aún analizado para ser de total aceptación.

Los yacimientos de antimonio han sido clasificados en Bolivia en forma general como de origen magmático y de edades mesozoica y terciaria, presentándose una removilización de los primeros, de tipo hidrotermal, sin mayor importancia económica hasta el presente.

Entre los depósitos mesozoicos, unos 300 son de importancia y una generalización de su distribución parece formar la “faja antimonífera en Bolivia”.

Una característica notable es que los depósitos de antimonio ocupan zonas que circundan plutones formando anillos que en conjunto con los correspondientes a minerales de plomo zinc y cobre son la base para el concepto de zonación aplicada a las provincias metalogenéticas bolivianas.

En el caso del antimonio es más conveniente señalar distritos o fajas antes que minas, pues en cada distrito el número de minas es a veces muy grande.

De norte a sur se tiene: Amarete-Escoma; Huarina-Palca; Sicasica-Caracollo; Caluyo, Conde Aunque, Undía, Amayapampa-Irpa; Irpa; Tinquipaya, Porco-Cotagaita; Yura-Oploca, Chilco-Rosa de Oro.

Los depósitos terciarios sub-volcánicos de antimonio son polimetálicos y ocurren en forma de complejos de plomo y estaño; se presenta en la mayoría de los depósitos trabajados por estaño, plata y cobre. Oruro, Poopó, Huari-Huari y Chocaya son ejemplos típicos de este tipo de yacimientos.

Tabla IV.3.1.1.- Depósitos de antimonio en Bolivia

Nombre de la mina	Situación	Observaciones generales
Espíritu Santo	Distrito de Catarata, provincia de Loayza, 40 millas de La Paz	Vetas de cuarzo irregular en una zona de lutitas negras 160 pies de amplitud.
Malliri	Provincia de Abaroa, N.E. de Challapata	Estibinita en vetas de cuarzo de dos a tres pies de amplitud, y desde 30 a 80 pies en longitud y profundidad.
Challviri	25 millas al norte de Uncia	Vetas de cuarzo y estibinita diseminada en cuarzo, Calcopirita está presente en pequeñas cantidades.
La India	En la provincia de Bustillos, 30 millas al sur de Uncia	Depósitos irregulares de estibinita en cuarzo. Ferberita es encontrada también en esta mina en vetas separadas.
Irpa Irpa	En la provincia de Chayante, 40 millas, S.E. de Uncia	Vetas de Cuarzo irregular, con estibinita y oro en cantidades provechosas, pagables encontradas en una zona de pizarras negras en una distancia de aproximadamente 40 millas.
Churata	En la provincia de Porco cerca de Cantón Yura	Existen 100 pequeñas minas en la zona de pizarras, en una distancia de 85 millas.
Churquini	En la provincia de Chichas, 20 millas al norte de Escorian	Vetas pequeñas de cuarzo en una muy distribuida zona de pizarras friables. Uno de los depósitos grandes.
Cobija	25 millas al oeste de la estación de tren de Oro Ingenio	En una zona fracturada en una cordillera de pizarras negras que se extiende por 20 millas. El yacimiento es una rica veta de cuarzo, tres pies de ancho minado de un pozo de 500 pies de profundidad. Esta zona se cree que es una de las más ricas en Bolivia
Santiago	3 millas al oeste de Oploca	En esta área una zona mineralizada de pizarras negras ha sido trazada por tres millas. La zona de Santiago es 300 millas de amplitud. Un conteo 2 a 4% de plomo en el concentrado.

Wang, 1952

IV.3.2.-Perú

Los depósitos de antimonio ocurren cerca de once departamentos de Perú, los más importantes se pueden ver en la siguiente tabla IV.3.2.1.

Tabla IV.3.2.1.-Depósitos de Antimonio en Perú

Departamento	Región	Descripción general
Cajamarca	Distrito de San Felipe, provincia de Contumaza -	Vetas de cuarzo con estibinita, asociado con pirita y esfalerita, ocurren en areniscas metamorfoseadas La estibinita también se encuentra en calizas
La Libertad	Provincia de Santiago de Chile	Jamesonitas argentíferas y ferríferas ocurren en Santa Rosa
Anchach	Distrito de Recuay, provincia de Huaraz Provincia de Cajatambo	Estibinita contiene cerca de 12-5oz. de plata por tonelada El antimonio es abundante de esta provincia; invariablemente argentífera
Junin	En Huancavelica, provincia de Cerro de Pasco	Estibinita, asociada con bismutinita y enargita, en filones de cuarzo
Huancavelica	La mina candalosa, provincia de Castrovireyna	Los filones llevan galena, blenda, bournonita, pirita, estibinita y tetraedrita en pórfidos estratificados y conglomerados porfiríticos
Cusco	Chimboya, provincia de Canchis	Filones de estibinita con galena y esfalerita en una ganga de cuarzo, calcita y ocasionalmente barita.
Puno	-	La estibinita es encontrada en depósitos de remplazamiento en calizas.

Wang, 1952

IV.3.3.-Argentina

Existen algunos depósitos de antimonio encontrados en Argentina. Las ocurrencias hasta ahora conocidas son aquellas encontradas en Charillos, en el departamento de San Antonio de los Cabres, provincia de Salta; y en la sierra de Córdoba.

IV.4.-Provincia cordillera de Norte América

IV.4.1.-Nevada

Puede hacerse mención de las ocurrencias de antimonio en los distritos Nacional y Arabia.

Las vetas del distrito Nacional son estrellas, que varían en amplitud de 1 a 5 pies. El principal mineral es estibinita, los minerales asociados son calcopirita, pirita, arsenopirita, esfalerita, galena, plata y oro. Donde el contenido de antimonio es relativamente alto los valores del oro y la plata son bajos, y viceversa. La mena principal es cuarzo. Los sulfuros secundarios, tales como marcasita, estibinita, rejalgar y oropimente ocurren por debajo del

nivel freático. Probablemente el rejalgar y el oropimente son derivados de la oxidación de la arsenopirita.

En el distrito de Arabia los yacimientos ocurren como vetas de fisura en las granodioritas y hornfels. La mena aparece muy compleja, consiste de bindeimita argentífera con plumbojarosita asociada (sulfato básico de plomo y hierro férrico), escorodita (arseniato férrico hídrico), cerusita, yeso y cuarzo. La bindeimita es pseudomorfa de jamesonita, y la escorodita es derivada de la arsenopirita, así indica que este depósito es una mena altamente oxidada.

IV.4.2.-Idaho

En el distrito Pine Creek, las menas de antimonio contienen oro, los minerales dominantes en las vetas son estibinita y cuarzo, asociadas con pirita.

Los depósitos de antimonio del distrito Yellow Pine, Valley Country han sido descritos por Donald E. White quien los resume así: “Las menas de antimonio, son en general de baja ley. La estibinita es sólo el mineral presente del antimonio, ocurre en vetas y vetillas en parte ampliamente diseminadas en zonas de cizalla en cuarzo monzonitas del batolito de Idaho. Dos períodos de mineralización se representan en esta área, el primero por pirita, arsenopirita y oro, el segundo por antimonio y plata. De las reservas minadas al oeste del yacimiento, se conocen datos de estimación de 193,000 ton de mena, con 7,620 ton de antimonio recuperable. Cerca de 2,625,000 ton más el contenido estimado 18,350 ton de antimonio recuperable puede estar entre el nivel de la cordillera y a una profundidad de 61 m”

IV.4.3.-California

Una ocurrencia de estibinita en asociación con el cinabrio se encuentra en la colina del Antimonio en la esquina NE del condado de San Benito; los minerales de mena son encontrados en pizarras, y la ganga es principalmente cuarzosa.

La ocurrencia de antimonio en cuarcita asociada con una roca porfídica, en Erskine Creek, en el condado Kern. Aquí el antimonio nativo es encontrado como nódulos cuyo peso varía desde 1 onza a 300 libras.

En San Emigdio, una veta de cuarzo desde algunas pulgadas hasta algunos pies en amplitud aparece estibinita y atraviesa a una intrusión de granito. Las minas de oro Los Borros en el condado de Monterey también se produce estibinita. El antimonio se encuentra en lugares como Ingo, Calaveras, San Benito y San Bernardino.

IV.4.4.-Alaska

La estibinita es muy común en Alaska. Tres tipos de depósitos se conocen, estibinita con oro, sílice, estibinita-cinabrio, y estibinita galena. Las principales localidades de las cuales las menas de antimonio han producido son Faibanks, Kantishna y la Península Seward.

IV.4.5.-Arkansas

El antimonio se encuentra principalmente en el condado Servier, los depósitos ocurren como vetas de cuarzo con estibinita, zinkenita asociada, jamesonita, galena, oropimente, bismutinita, pirita y calcopirita. G.F. Mitcheell describió que los depósitos como relleno de vetas en zonas de falla, mientras H.H. Shriver consideró la mena de estibinita formada como por un remplazamiento de las lutitas.

IV.4.6.-Utah

En Coyote Creek en el condado Garfield, las menas consisten de estibinita, valentinita y senarromontita, en areniscas y conglomerados. El antimonio ocurre también en el condado Iron.

IV.4.7.-Washington, Oregon

El antimonio ha sido encontrado en los condados de Okanogan y Snohomish, Washington; y en el condado Curry, Oregon.

IV.5.-Provincia cordillerana – este de Australia

IV.5.1.-Nueva Wales del Sur

Los depósitos de antimonio están distribuidos en una dirección general NE SW, desde el condado Buller al condado Forbes; algunos de los depósitos traen también oro.

La División Hillgrove, Co. Sandon, ha rendido mucho de la producción en Nueva Wales del Sur. Gran cantidad del antimonio ha venido del arrecife, el cual consiste de pizarras silíceas azul-oscursas cruzadas por una red de vetas de cuarzo.

En el área Broken Hill, en la Barrier Range, las menas son argentíferas, una veta ocurre en esquistos acarreados por esta región; sin embargo estos cruzan intrusiones anfibolíticas, ricas en menas plata –antimonio, discrasita, estromeyerita, antimonio nativo, cloruro de plata, la ganga aparece con calcita. La mena ha sido oxidada a una profundidad de más de 40 m.

Otros depósitos ocurren en Bowra, Co. Raleigh; Carangula, Co. Dudley; Nundle, Co. Parry; Walberton, Co. Roxburgh; y cerca de Orange Co. Wellington.

IV.5.2.-Victoria

El Distrito Bendigo, Costerfield, forma el principal centro de producción de antimonio en Australia. La estibinita aurífera ocurre, junto con el óxido de antimonio, en vetas de cuarzo que corta a capas de pizarras del Ordovícico. Los promedios de minado de las menas son 8% de antimonio y 10 onzas de oro por ton. En Whroo, Co. Rodney, concentraciones de antimonio se encuentran en algunas vetas. Los sulfuros están encerrados en sucesivas capas concéntricas de óxidos, donde están esparcidos granos de oro. La estibinita también es encontrada en Munster Gully, Dunolly, y la Ensenada de Donovan; el filón de la localidad

más tardía consiste de pura estibinita, que alcanza una amplitud variando desde 1 pie a 6 pulgadas a 2 pies. En Sunbury, Co. Bourke, ocurre una veta en un curso irregular que aprovecha el rumbo en el estrato del Silúrico. Esta veta de 3 pulgadas a 8 pulgadas en espesor lleva cerca de 2 onzas de oro por ton.

IV.5.3.-Queensland

La faja del mineral de Chillagoc, cerca de 30 millas en longitud, consiste de pizarras arcillosas, pizarras y areniscas, contienen la más extensiva área de aparición de antimonio en el estado. La mayoría de los filones llevan oro y plata

IV.5.4.-Nueva Zelanda

El antimonio se encuentra principalmente en Endeavour Inlet, Queen Charlotte Sound, Provincia de Marlborough.

IV.6.- Provincia de Argelia

Los depósitos de antimonio de Sidi-Rgheiss están situados en la parte sur-oeste de la provincia de Constantina, y han sido minados a Sempsa y Djebel-Hamimat. Estas ocurren en las arcillas y calizas del Neocomiano Inferior. La mena, de acuerdo con Coquand, está en parte como un óxido de antimonio compacto, y en parte como una variedad cristalina irregular con senarmontita. A veces los depósitos de óxidos pueden descansar sobre de estibinita en agujas. Los depósitos poseen pequeñas gangas y están generalmente en forma de masas muy irregulares, paralelamente al plano de la estratificación. De acuerdo con Beck existen impregnaciones; De Launay los clasifica más debajo de depósitos sedimentarios, mientras Coquand, (1952) los considera contemporáneos a las rocas encajonantes.

En Djebel-Taia, la estibinita está asociada a cinabrio. En Djebel Nador, el mineral raro nadorita es encontrado asociado con smithsonita como un depósito irregular en arcillas yesíferas y travertino, los afloramientos de los cuales están formados de smithsonita con galena, cerusita, mimetita y nadorita.

IV.7.- Provincia Francesa

La mayor parte de los depósitos de antimonio se encuentran en el Macizo Central. Generalmente ocurren en forma de vetas, las cuales han sido más o menos explotadas. La producción ha declinado rápidamente, debido al agotamiento de los depósitos.

En La Lucette, Mayene, las vetas de cuarzo auríferas atraviesan verticalmente cuarcitas y esquistos de edad del Silúrico Superior. El espesor promedio de los depósitos minados fue cerca de 3 metros. Los minerales esenciales, en orden de frecuencia, son: estibinita, arsenopirita, pirita, blenda, oro libre. La estibinita se agotó a los 298 metros de profundidad.

En la mina de Nades, en Bourbonnais, la ganga es principalmente cuarzo. En Bresnay, Canoton Savigny, los depósitos están formados por dos vetas contenidas en el granito. Aquí los minerales son acompañados por una variedad de granulita micácea blanca- análoga a la que se encontró en Magurka en Checoslovaquia- y consiste de cuarzo y estibinita, posteriormente se encontró cubierta finamente con el óxido.

En Villerange, en la Creusete, las vetas de antimonio presentan una interesante fase, en la que ellos cortan a través de la grauvaca de la Formación Culm, y en consecuencia su edad puede ser muy fácilmente determinada. Al sur de Saint-Yrieix (Haute Vienne) los esquistos micáceos o anfíbolíticos son intersectados por numerosas vetas de granulita, a lo largo de los ejes de los cuales a menudo se encuentran vetas de cuarzo cargadas con sulfuros de antimonio.

En Bretnay, este de Allier, y en Montignat, oeste de Montlucon, se observa una adición de metamorfismo con un origen común para la estibinita y la roca contiene mica blanca, como si el antimonio haya sido lixiviado fuera de la roca por agua subterránea.

Los depósitos más importantes en el Macizo Central son aquellos, que han sido trabajados en Freycenet y Licoulne, y aquellos en Puy-deDome, Cantal y Haute-Loire. Los depósitos están desarrollados en las formaciones de gneiss, esquisto de mica y granito. Las vetas aparecen generalmente verticales, contienen lentes de estibinita separadas a intervalos por gangas cuarzosas. A veces la estibinita está íntimamente mezclada con la ganga cuarzosa y siempre es acompañada por sulfuro de hierro.

Se puede hacer mención de los depósitos de antimonio en Ardèche, del cual se dice que es de un origen sedimentario. Pero puede ser una impregnación o una alteración metasomática de la dolomita del Triásico en la cual los depósitos se encuentran.

En Córcega las vetas ocurren en esquistos de sericita, los minerales de ganga son cuarzo, calcita, blenda, y raramente pirita, cinabrio y bournonita. Otras localidades pueden ser: Auvergne, Gard, Aude, Vendée, Lyonnais y Buoc y Septèmes cerca de Marseille.

IV.8.- Provincia de Yugoslavia

Los depósitos de Kostainik

La principal masa de rocas de esta localidad son calizas de gris claro ceniza, probablemente de edad del Triásico, arriba de las cuales descansan pizarras-arcillosas gris y negruzcas, y en parte también pizarras grauvacas clásticas. Estas calizas y pizarras están cortadas en varias localidades por traquitas, y menos frecuente por andesitas de horblenda de textura traquítica. Estas rocas eruptivas aparecen como diques, y stocks dentro de los estratos, y también quizá de flujos de lava efusivos. El origen de los depósitos de antimonio está claramente conectado con rocas ígneas.

Las menas aparecen en tres diferentes formas, es decir:

(1)Tobas con lentejones de estibinita, cuarzo y calcita son encontrados en las minas de Kik y Stolitza.

(2)Vetas de antimonio en pizarras. En Rovine, hay ocurrencias de vetas compuestas, que buzcan 30 grados. Lentejones transversos contienen estibinita y están bordeadas por dos fisuras paralelas, de las cuales las yacientes son siempre ricas, mientras las colgantes son mayormente estériles.

(3)Menas de masas interestratificadas. Los depósitos de este tipo consisten principalmente de una masa oscura de cuarzo muy finamente cristalizada oscura, íntimamente crecida con tobas con estibinita. Estas yacen sobre pizarras y subyacen a calizas, y siempre están acompañadas por una intrusión traquítica cercana, cortan en una dirección paralela en un ángulo agudo. La estibinita ha sido superficialmente alterada en el antimonio, o valentinita, y en algunos casos ha sido lixiviada enteramente y deja un esqueleto de cuarzo gris. A veces las menas cuarzosas han sido aplastadas y re-cementadas juntos por cuarzo o calcita.

En otros lugares como en la mina Zavorita III, las masas cuarzosas mineralizadas cortan en calizas subyacentes con bordes muy irregulares, así lo que sugiere que considerables porciones de carbonato de calcio ha sido lixiviado y remplazado por la mena cuarzosa.

Todos los fenómenos observados indican la credibilidad de que las menas fueron depositadas de soluciones de aguas ascendentes que han disuelto el contenido de antimonio de las rocas eruptivas, y que estas soluciones se depositaron no solo en ranuras o fisuras, si no que también penetraron lateralmente en diaclasas entre los estratos, siempre que se haya formado un estrato que restrinja el flujo descendente de las soluciones; y que también, algunas veces se pueda estancar, así se disuelven las calizas subyacentes y son remplazadas por la carga de minerales que son acarreados.

Las menas de antimonio también se encuentran en Slovenia, Croacia, Bosnia, y en Yugoslavia Macedonia (Monastir).

IV.9.-República Checa y Hungría

En Magurka, de acuerdo con von Cotta, el granito es atravesado por algunos cuerpos de cuarzo, que varían de algunos centímetros a 4 metros en espesor.

El cuarzo incluye a la estibinita y oro libre.

Los minerales asociados encontrados en este tipo de vetas son galena, blenda, pirita, ankerita, y calcita. Ordinariamente los cuarzos ocurren a lo largo de las paredes de las vetas, mientras que la estibinita ocupa la parte central.

En Pricov, cerca de Selcan, la estibinita se encuentra de acuerdo con A. Hoffman, en vetas de pedernal, generalmente acompañado por diques de kersanita, que corta al granito. A una profundidad de 18 m, la estibinita ha sido descompuesta a estibiconita.

Algunas de las vetas llevan menas de antimonio en el Rechnitz Montains y se encuentran a una distancia de 3 km donde cortan esquistos cristalinos. De acuerdo con A. Schmidt, las vetas son especialmente ricas cuando la roca encajonante es un esquisto clorítico o grafitico. Los principales rellenos de fisura son cuarzo, calcita, estibinita, estibiconita y pirita. El esquisto (grafítico) encajonante está a veces impregnado con estibinita que puede ser explotado en una distancia de 3 o 4 metros de la pared de las vetas.

Entre Arany Idka y Rosenau, en Hungría Superior, las vetas de estibinita con cuarzo y carbonatos, junto con pequeñas cantidades de jamesonita, berthierita, blenda y pirita aurífera.

En Felsöbánya, a lo largo del límite de una traquita de anfibola y de una reciente, se encuentra un conglomerado el que contiene cuarzo con pirita, y a menudo rejalgar y estibinita con galena, blenda, etc. Esto es clasificado por De Launary de origen sedimentario.

Las menas de antimonio también se encuentran en Kremnitz, Toplitzka, Selmech (Schemnitz), Nagybánya, Dobschau, Gisno y Gross-Göllnitz.

Un ejemplo típico de vetas de oro-cuarzo antimonial, como lo describe Posepny, se encuentran en Krásnáhora (o Schönberg) y Milesov (o Milleschau) en Bohemia Central. La mayoría de las vetas están acompañadas por diques, principalmente lamprófito, algunos son pórfidos que cortan a través de un stock intrusivo de granito intercalado entre esquistos. La estibinita a menudo constituye una gran parte del relleno, con contenido de oro de 100-133 gr. por ton.

Las vetas de antimonio también se encuentran en Hata, Brodkowic, Pribram y Michaelsberg.

IV.10.- Provincia de Italia

Los principales depósitos se encuentran en la provincia de Toscana y en Sardinia. La mina La Pereta en Toscana fue descubierta en una masa de cuarzo calcedónico en la cual la estibinita es escasa e irregularmente diseminada; así se obtiene una escasa ganancia con altos costos de explotación. De acuerdo con Coquand y Toso, la masa del cuarzo blanco aplastada existe en la forma de un gran elipsoide, de la cual ni una ni otra el techo o el piso puede ser exactamente determinada, intercalado por pizarras calcáreas del Eoceno en el norte y corta calizas del Mioceno en el sur. La estibinita es encontrada en forma de lentejones y bolsadas incluidas en cuarzo el cual es a veces incrustado con estibinita, encerrados en forma de cristales pequeños y agregados de sulfuro.

Indudablemente las rocas encajonantes han sido sujetas a metamorfismo y han sido impregnadas con emanaciones de sulfuros, los cuales han transformado la alberca (una variedad de rocas calcáreas del Eoceno encontradas en Toscana) en parte en yeso y en anhidrita.

En San Martino, Toscana, el cinabrio acompaña a la estibinita.

En Monte Auto existe una ocurrencia peculiar de menas de antimonio, los cuales se encuentran en grandes bloques distribuidos en una arcilla negra, ocasionalmente con masas de dolomita, impregnadas con estibinita.

En Siena, La mina Cettine di Cotorniano fue descubierta en una veta de cuarzo negruzco, cerca de la superficie, el óxido de antimonio reemplaza al sulfuro hasta cierta profundidad.

En Rosia la estibinita es acompañada por calcita y por cuarzo.

En Su Suergiu, en Sardinia los depósitos ocurren en el contacto de calizas Rhaetic con pizarras del Pérmico. El antimonio brillante, acompañado por piritas, se encuentra en la mica esquisto. Traverso da la opinión de que esos depósitos son de origen sedimentario más que de formación de vetas.

IV.11.- Alemania, España y Portugal

IV.11.1.-Alemania

La menas de antimonio algunas veces ocurren en rocas del Devónico de Rhenish Prusia entre Wintrop y Mentrop, 4 millas de Arnsberg , donde se encuentran bandas de calizas bituminosas de 6 a 18 pulgadas en espesor, ínterestratificadas con pizarras arcillosas y pizarras silíceas. La estibinita penetra todo este estrato, el cual está sobreyacido por arenisca. Es también notorio que la estibinita acumula más cantidad hacia la parte media de varias capas, pero gradualmente adelgaza cerca de los planos de estratificación. Algunos fragmentos de la roca encajonante son incluidos en porciones más masivas.

La estibinita ocurre en la mina Hoffnung, cerca de Bruk, en La Ahr. La estibinita, algunas veces se asocia con piritas de hierro y ankerita, se encuentran en verdaderas vetas, o entre los planos de estratificación, o en fisuras de clivaje.

En Böhmsdorf y Wolfsgalgen, cerca de Schleiz, la estibinita se encuentra en vetas de cuarzo atravesando esquistos del Paleozoico. Los minerales subsidiarios son blenda, estibinita plomosa, pirofilita y fierro-espático.

En Mobendorf, Saxony, las menas de antimonio ocurren en vetas, que cortan la formación de gneis, con relleno de estibinita y alguna berthierita, bournonita, caolín, steinmannita, cincita, kermesita, estibiconita, pirita, cuarzo, y ankerita. En Braunsdorf, a algunos kilómetros en la misma mena se asocia con menas ricas en plata. En la vecindad de Freiberg, la veta de cuarzo-estibinita es simplemente la continuación de la verdadera formación de cuarzo; por esta razón Freiesleben lo llamó la "Formación Mobendorf".

IV.11.2.-España

En la Pirineos Catalanes, vetillas de cuarzo, con estibinita, ocurren generalmente en una faja de esquistos y lutitas, sus rumbos están entre W10° S, E10° N, y SW a NE. Las lutitas, para una extensión de cerca de tres pies, parece ser mineralizada por vetillas de cuarzo con estibinita y por bolsadas e impregnaciones de aquel mineral, sus paredes no están generalmente bien definidas.

Cerca de Vivuela, en Málaga, el antimonio nativo está diseminado en las pizarras arcillosas, el tamaño de las partículas dispersas varían del tamaño de un huevo a diminutas lentejuelas.

Otras localidades que pueden ser mencionadas son Extremadura, Badajoz, Caurel, Brollou y Orense.

IV.11.3.-Portugal

En el distrito de Evora, las menas de antimonio ocurren en filones de cuarzo en contacto con rocas de capas del Paleozoico y granito.

Las principales vetas de antimonio, en la vecindad de Valongo, Paredes y Gondomar, en el distrito de Oporto, se dividen en dos sistemas de acuerdo a la dirección de sus rumbos. Un sistema tiene un rumbo N 10° a 20°W, coincide con el de la roca encajonante y por consiguiente los depósitos pueden ser descritos como filones capas; el otro sistema tiene un curso N30° a 60° E. Ambos ocurren en rocas del Silúrico. Cerca del pueblo de Alcontim, en el distrito de Faro, existen dos distintos filones; uno E a W y el otro al NW; el último tiene el mismo buzamiento que la roca encajonante. Estos filones se encuentran en las pizarras de la Formación Culm. Además de estas localidades puede mencionarse Braganza.

IV.12.- África

Los depósitos de antimonio ocurren en la cadena montañosa Murchison, Transvaal y en sur de Rhodesia están generalmente asociados con oro. En la cadena montañosa Murchison hay dos horizontes paralelos de rocas cuarcíticas – llamadas Bar Choritoid y Bar de Antimonio. La principal zona mineralizada de antimonio y oro puede ser trazada en una distancia de algunas 50 millas, orientada paralelamente y al sur de la barra del antimonio, las rocas de las cuales esta altamente alterada, capas sedimentarias, consisten de esquistos cloríticos, esquistos de carbonatos, cuarcita, esquistos cuarzosos y filitas. Aunque los yacimientos son lenticulares en carácter, son persistentemente observables a profundidad. Las minas de oro y antimonio en el distrito Letaba fueron trabajadas por el Consolidated Murchison Goldfields y Development Co. Las estadísticas de 1948 muestran que la Unión de Sudáfrica fue entonces el cuarto en la lista de productores mundiales de antimonio.

IV.13 Otras regiones

IV.13.1.-Japón

Los principales depósitos de antimonio en Japón ocurren en las formaciones del Mesozoico las cuales se encuentran en la provincia de Yamoto en Honshu, Tosa y Iyo en la isla de Shikoku, de Hyugo y Osumi en Kyushu.

De acuerdo con K. Yamada, las vetas de estibinita se presentan en Shikoku. Existe, como una regla, y ocurre en esquistos y otras rocas paleozoicas. La ganga es generalmente compuesta de cuarzo y algunas veces de cuarzo y pirita.

En Itshinokawa las menas ocurren en esquistos de sericita, y como materiales de ganga cuarzo y poca calcita, bandeado con drusas las cuales contienen muy grandes y hermosos cristales. En la mina Nakase la estibinita aparece con oro.

En Kano, en la parte más meridional de la península de Hondo, las vetas no exceden de dos pies de anchura, y continúan en una distancia de 6,000 pies que cortan al esquisto crisalino. En Totsugawa, al sur de Kioto, las vetas cortan esquistos cuarcíticos y graníticos.

Otras localidades son Nara, Ehime y Yamaguchi

IV.13.2.-Indiochina

De acuerdo con S.E. Lavrov en el área de Cao-Bang, existen depósitos con unas 250,00 toneladas de mena comerciable. El antimonio ha sido encontrado entre Quan-Yuen y Moucai en Tonkin.

IV.13.3.-Turquía, Grecia, Macedonia

En Allchar, en Macedonia, los depósitos de antimonio se encuentran asociados a una gran cantidad de rejalgar, junto con oropimente. El sulfuro es indudablemente derivado de la descomposición de la estibinita, y es el principal agente en cambiar algunos de los óxidos en sulfuros. Otras localidades de menas de antimonio son Edirne (Adrianopolis), Rozdan, las islas de Grecia de Mytilene y Cois, y Eudemisch.

Asia Menor- En Anatolia, la estibinita a veces está asociada con menas de mercurio y se encuentra en mantos irregulares, usualmente interestratificadas con esquistos y gneisses.

En el distrito de Smyrna, provincia de Aidin, existen algunas vetas de antimonio las que ocurren en esquistos cristalinos.

IV.13.4.-Borneo

En la parte norte de Borneo (Sarawak) las menas de antimonio están algunas veces acompañadas por arsénico puro y sulfuro de arsénico, ocurre en vetas de cuarzo que cortan formaciones de calizas y pizarras.

IV.13.5.-India

El antimonio se encuentra en muy pequeñas cantidades en Mysore, Madras, Bihar, Orissa y Baluchistan, pero los depósitos de alguna importancia han sido localizados en el distrito de Raipur de la Provincia Central y en Valle de Kangra este de Punjab.

IV.13.6.-Canadá

British Columbia- La ocurrencia de minerales de antimonio es más esparcida en British Columbia que en alguna otra provincia. Lentes de cuarzo siguen fisuras y zonas de cizalla las cuales se extienden de Mt. McGillivray al lago Youghton, contienen estibinita, libre de arsénico, zinc y plomo, con oro de 12 onzas por ton. En un tiempo el antimonio fue recuperable como un subproducto en la refinación de lingotes de plomo en la planta Trail.

New Brunswick- La estibinita se encuentra en pizarras y cuarcitas de Prince William, York Co., cerca de masas de granito y dolerita. Una pequeña cantidad de antimonio nativo ocurre con la estibinita.

Nueva Escocia- En el oeste de Gore existen los depósitos de antimonio de Hants Co. Son tres vetas paralelas cercanas entre sí y ocupan planos de falla en pizarras grises y cuarcita. La estibinita ocurre aquí con poco antimonio nativo, asociado a arsenopirita, pirita y galena.

Québec- Las vetas de cuarzo en Sur Ham, Wolfe Co., tienen antimonio nativo y pequeñas cantidades de estibinita, kermesita, senarmontita y valentinita. Estos depósitos son pirometasomáticos, a lo largo del contacto con la intrusión de dolerita y serpentina.

Yucón- En el Carbón y Chieftain Hills, cerca del Río Wheaton, los depósitos de antimonio ocurren como vetas de fisura, principalmente en granitos y andesitas.

V.1.- Geología de los depósitos de antimonio

La mayoría de los depósitos de antimonio bien conocidos en varias partes del mundo ocurren, directamente o indirectamente, asociados con rocas ígneas. Generalmente están en granitos y rocas de ácidas intermedias, tales como dioritas, cuarzo-dioritas, monzonitas y cuarzo monzonitas. La excepción a la asociación general a rocas ígneas son los depósitos de remplazamiento metasomático en calizas.

Edward Halse, contiene un breve informe de depósitos de antimonio en varias partes del mundo:

“Las menas de antimonio, como aquellas de mercurio, ocurren en rocas de todas las edades, desde el pre-Cámbrico al Cuaternario y en varias rocas estratificadas e ígneas. En algunos depósitos, como aquellos de Hsikwanshan, China, y West Gore, Nueva Escocia. Las rocas no ígneas han sido observadas dentro o cerca de ellas, mientras algunos depósitos de antimonio parecen estar íntimamente conectados con rocas eruptivas, por ejemplo los depósitos de Bidi Borneo; aquellos del área de Bridge River, British Columbia; South Ham, Québec; área de Wheathon River, Yukón; Distrito de Hillgrove, New South Wales; Kostainnik, Bela Reca, y Cermernitsa, Yugoslavia; Panhsi, Wushi, etc., China; La Sirena, Hidago, México; también como filones de antimonio de Alaska; de Servier Co., Arkansas; de Western Nevada, y de los departamentos de Junin, Huancavelica y Cusco, Perú.

El antimonio aparece en vetas propiamente, como una regla, es sólo rico cerca de la superficie, o a una profundidad moderada; debajo de ésta, las menas de antimonio comúnmente aparecen reemplazadas a bajas profundidades por otros minerales. Así la blenda parece ser reemplazada por estibinita en Sevier Co., Arkansas; Scheelita predomina en niveles bajos en Su Suergiu, Sardinia; la pirita reemplaza a estibinita en las minas Djinlikaya, Asia Menor, y en las minas de Chiangsilung, China; y cuarzo ampliamente predominante sobre estibiconita a bajas profundidades en el distrito de Altar, Sonora, México.

Generalmente las vetas de estibinita no han sido encontradas más allá de algunos metros de profundidad. Así las principales minas de antimonio de New South Wales en el distrito Hillgrove trabajadas a una profundidad entre 60 y 90 metros. En Endeavour Inlet, New Zeland, las minas de antimonio fueron acertadamente exploradas entre 122 y 152 metros. Algunas de las minas chinas han sido trabajadas entre 150 y 180 metros y algunas de Meseta Central de Francia han sido explotadas en una altitud de 305 metros.

En vetas auríferas, la estibinita aparece extendida y a mayores profundidades que en aquellas que solo hay estibinita. Así en West Gore Escocia, una veta ha sido minada a una profundidad de 259 metros; en Costerfield, cerca de Bendigo, Victoria, la estibinita aurífera continua hasta a una profundidad de 305 metros, y en el filón Georges de La Lúchette, Francia, cerca de 304 metros de profundidad.

Las menas de antimonio, en ocurrencias esporádicas parecen encontrarse todavía más profundas. La jamesonita es encontrada a una profundidad de 265 metros en los granitos en Foxdale en minas de plomo, en Isla of Man. En las minas de Cam y Motor, Gattooma,

Southern Rodesia, un pequeño porcentaje de estibinita, junto con alguna arsenopirita, ocurre en vetas cuarzo auríferas a grandes profundidades (549 metros). La mina de Phoenix, distrito Sebakwe, southern Rodesia, la estibinita se encuentra impregnando la veta a una profundidad de 701 metros”

Las principales menas y ocurrencias del antimonio las podemos ver en la siguiente tabla:

V.1.1.- Principales menas y ocurrencias del antimonio, adicionadas a la estibinita

NOMBRE DE LA MENA	OCURRENCIAS PRINCIPALES	OBSERVACIONES
Antimonio Nativo	(1) West Gore, Nueva Escocia (2) Wolfe Co., Quebec (3) Near Armidable Co. Sandon, New South Wales (4) Erskine Creek, Kern Co., California (5) Cerca de Viruela, Malaya, España (6) Bidi, British Norte de Borneo (3) Masivo, con una corteza de oxido (4) Nodular, revestido con oxido de antimonio (5) Impregnando pizarras (6) En vetas y detritos
Los óxidos	(1) Sidi—Rgheiss, Argelia (2) Sensa, Algeria	(1) Como Senarmontita (2) Como Valentinita
El hidróxido Estibiconita	El Altar, Sonora, México
Los oxisulfuros, Kermesita	Toscaza
Jamesonita	(1) Sur de Rodesia (2) Hastings & Frontenac Co. Québec (3) Distrito Oruro plata-estaño, Bolivia (4) Distrito Tatasi, plata, Bolivia (5) Soana di Campligia, Italia (6) Santa Rosa, Santiago de Chuco, Perú (7) Distrito Ywelo, Sur de Rodesia (8) Wolfsberg, E. Harz (9) Servier Co. Arkansas (10) Pribram, Bohemia	(1) Impregnando esquistos (2) Asociada con plata (3) Asociado con tetraedrita (4) Asociado con tetraedrita, con alguna estefanita, franckeita y kylindrita (5) Asociada con tetraedrita rica en plata (6) Jamesonita argentífera asociada a tetraedrita (7) Asociada a estibinita (8) Asociada a estibinita, zinkenita, bournonita, y calcoestibinita (9) Asociada a estibinita y zikenita (10) Asociada a Boulangerita en lodos apareciendo plata

	<p>(11)Rosená, Checoslovaquia</p> <p>(12)Zimapán, Hidalgo, México</p> <p>(13)Distrito de Arabia, Nevada</p>	<p>(11)Asociada a berthierita y estibinita</p> <p>(12)Asociado a pirita, arsenopirita, etc., Jamesonita en grandes cantidades.</p> <p>(13)Asociado a Bindeimita</p>
Tetraedrita	<p>(1)Area de Wheaton River, Yukon</p> <p>(2)México, Bolivia, Perú, etc.</p> <p>(3)Idaho, U.S.A.</p>	<p>(1)Asociada a galena argentífera</p> <p>(2)Frecuentemente se presenta en vetas apareciendo-plata</p>
<p>Nadorita (PbSbO₂Cl)</p> <p>Dicrasita (Ag₃Sb)</p> <p>Livingstonita y Barcenita</p> <p>Menas de oro</p>	<p>Djebel Nador, Argelia</p> <p>Broken Hill y Chancarcillo</p> <p>Huitzucó, Guerrero, México</p> <p>Por ejemplo: West Gore, Nueva Escocia; en Costerfield, cerca de Bendigo, Victoria; en La Lucette, Francia; Murchison Range, Treansvaal, Sur África; en Alaska, Nevada, México, Nueva Zelanda.</p>	<p>Asociado a menas de plomo zinc</p> <p>estibinita</p> <p>En la mayoría de los casos el objetivo es recubierto de oro; el contenido de antimonio es considerado como de importancia secundaria.</p>

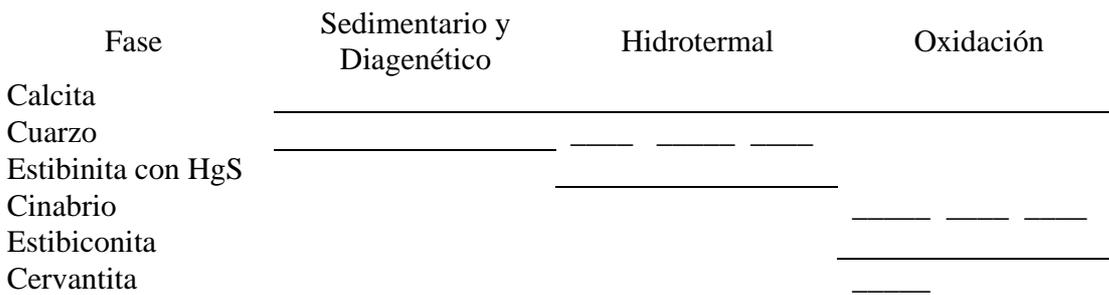
V.2.- Modelo de yacimiento de antimonio tipo Wadley

V.2.1.- Características del yacimiento

a) Paragénesis y sucesión.

La mena de antimonio esta compuesta de antimonio (estibiconita y algo de cervantita) con menores cantidades de estibinita y cinabrio. Los minerales de ganga son calcita en menor cantidad cuarzo de grano fino, yeso y azufre nativo. La paragénesis es: calcita, el mineral más antiguo así como el mineral más reciente en la mena, esta presente en capas favorables de la roca encajonante, y como intercrecimientos de estibinita. La estibinita y el sulfuro de mercurio parece que se han precipitado juntos o en solución sólida, no hay datos disponibles del campo Querol, (1973), porque el sulfuro de mercurio es observado en la zona de oxidación, como revestimiento al cinabrio. El HgS aparentemente esta incluido en los cristales de la estibinita. Durante la oxidación, la mayoría de la estibinita fue pseudomórficamente remplazada por estibiconita y cervantita (raro),

Figura V.2.1.-Diagrama paragenético



Los óxidos de antimonio, estibiconita, no solo remplazan la estibinita en lugar, fue transportada en solución y precipitada en otra parte, como es mostrado el revestimiento de estibiconita en cristales de calcita. En general revierte algunas fracturas en las capas favorables, que indica alta movilidad, Sin embargo, el principal mineral de mena ocurre como seudomorfo.

b) Alteraciones

Las principales alteraciones que se observan en superficie son oxidaciones, silicificación y argilización. La abundancia de calcita, que ocurre tanto en zonas de vetas como constituyendo el grueso del volumen de los mantos, es una buena guía para reconocer las estructuras.

c) Leyes y composición y química

La mineralogía de los depósitos es simple, consiste de calcita y cuarzo como los principales minerales de ganga, y la estibiconita como el principal mineral de mena. En

lugares donde la oxidación no esta completa la asociación de minerales es más compleja, e incluye estibinita, cervantita y azufre.

Querol, (1973) revela la presencia de estibiconita, cervantita, azufre nativo, estibinita, cinabrio, cuarzo, calcita y yeso. Los cuales se describen a continuación:

Estibiconita

(un oxido de calcio y antimonio), es el principal mineral de antimonio presente. Un análisis químico completo realizado por M.E. Coller, de cristales individuales muestra la siguiente composición:

Sb	51%
O	16.3%
CaO	13.9%
H ₂ O ⁻	4.42%
H ₂ O ⁺	8.82%
SiO ₂	5.20%
Al ₂ O ₃	0.11%
Fe ₂ O ₃	0.60%
<u>MgO</u>	<u>0.09%</u>
Total	100.3%

Cervantita (Sb₂O₄)

Identificada por difracción de rayos X, Querol, (1973). Encontrada en intercrecimientos con estibiconita en pseudomorfos antes estibinita, de la mena parcialmente oxidada.

Azufre

Es abundante en la mena parcialmente oxidada, como un asociado de estibiconita. En la mayoría de los lugares, se encuentra en forma cristales eudrales, en cavidades y en espacios abiertos o en bandas muy bien cristalizadas.

Cinabrio

Es relativamente común en pequeñas cantidades en especímenes de mena. En la mayoría de los especímenes esta presente como un fino polvo de cristales diseminado sobre superficies de los pseudomorfos de estibiconita. El cinabrio ocurre en lugares en la ganga alrededor de la estibiconita.

Cuarzo, calcita y yeso

La calcita y el cuarzo son los minerales de ganga más abundantes. El yeso esta presente en pequeñas cantidades. Las texturas de la calcita van de mármol de grano muy fino a cuarzo en cristales individuales en dos formas cristalográficas, romboédrico y escalenoedro. El Cuarzo es de grano muy fino y usualmente diseminado en la calcita. El yeso esta presente solo en cavidades en la calcita. Las cavidades varían de un tamaño de de microporos a grandes cavidades de más de un metro de diámetro.

Estibinita

No es muy común. Se encuentra parcialmente oxidada a estibiconita y cervantita. Algunos especímenes están muy bien cristalizados en agujas interstratificados en una matriz de calcita. Otros minerales examinados al microscopio revela la presencia de yeso cortando los planos de clivaje de los cristales. Querol, (1973).

d) Reservas

Para 1991 las reservas rebasaban hasta los 3 millones de toneladas de mineral con un promedio de 2.5% de antimonio, siendo el mercado y el precio principalmente de antimonio, los factores que condicionarán su explotación en el futuro.

V.2.2.- Características de la roca encajonante

a) Ambiente geológico

Este distrito se ubica en la porción central del frente occidental de la Sierra de Catorce, a 12 km al oriente de estación Wadley.

En esta zona afloran rocas jurásicas de las formaciones: Zuloaga, (calizas), La Caja (limonitas, margas, areniscas) y cretácicas de las formaciones: Taraises (margas y lutitas), Tamaulipas Inferior (calizas) Otates o Formación La Peña (calizas arcillosas, margas y lutitas), Tamaulipas Superior y Cuesta del Cura (calizas y calizas arcillosas).

Roca encajonante

Las principales rocas encajonantes de los cuerpos tipo mantos y las vetas en que se puede encontrar el mineral principalmente de antimonio que se extrae de este distrito, son las calizas de la Formación Zuloaga, en donde ocurre prácticamente la totalidad de los mantos mientras que las vetas en forma de fallas con zonas brechadas y alteración pueden darse también en las rocas cretácicas.

Forma y dimensiones

El distrito Wadley se extiende por más de 70 u 80 km² en la porción occidental y suroccidental de la Sierra Catorce, en donde se reconocen varios cuerpos mineralizados de tipo manto que ocurren dentro de la Formación Zuloaga y alcanzan espesores de hasta varios metros de calcita y en parte sílice y óxidos de antimonio son regularmente zonas brechadas con espesores muy variables de unos centímetros de calcita y en parte sílice y óxidos de antimonio son regularmente zonas brechadas con espesores muy variables de unos centímetros hasta 1.5 m y de notable orientación preferencial noroeste, siendo de especial interés económico las intersecciones de estas vetas y los mantos cortados por las mismas.

b) Estructuras

Las principales características estructurales del área son pliegues. Los ejes del pliegue tienen una tendencia N-S a N20°E con un buzamiento hacia el norte con un ángulo general de 10°. Algunas estructuras dómicas locales se han observado. Los pliegues son típicamente asimétricos y volcados hacia el este.

El fallamiento y fracturamiento son importantes características estructurales en el área. Las fallas son normales. Los desplazamientos son variables pero no mayores que 50 m. Existen 3 direcciones principales:

Tren NNW-SSE.- El más dominante y más importante, porque su persistencia atraviesa el área, es de N10°W a N20°W y consiste de fallas de desgarre (o rumbo deslizante), que forman un ángulo de 60° con el eje de pliegue. Estas fallas son usualmente verticales o con una fuerte inclinación.

Las zonas de falla de principal mineralización se encuentran a lo largo de este grupo y han sido nombradas como las minas, Fallas Colorada y San Elías. Las principales estructuras son paralelas una con otra, con una dirección NW-SE, con una separación de 150 m a 270m.

Tren NW-SE.-La segunda dirección de diaclasamiento y fallamiento es de menor importancia y es N60°W, y esta asociado con el principal tren que interfecta a un ángulo de 30°. Las fallas de este tren comúnmente se inter seccionan con las fallas del principal tren; son descritas como fallas de ramificación.

Tren NE-SW.- El tercer grupo de fallas tiene un tren N10°E, se encuentran paralelas a los ejes del pliegue y se caracterizan por pequeños desplazamientos y una pobre continuidad. Estas fallas probablemente representan fracturas de tensión producidas durante el plegamiento.

La mayoría de las zonas de falla en la Formación Zuloaga son estrechas, pero su amplitud en algunos lugares es de más de 1 m. Las zonas están compuestas de calcita y arcillas como relleno de fallas. Y algunas contienen menas de antimonio.

c) Rocas ígneas cercanas

Las rocas ígneas no son abundantes en la Sierra de Catorce. Existen dos tipos de afloramientos en la zona, andesita y cuarzo-monzonita. La andesita ocurre en diques y en pequeños apófisis. La cuarzo-monzonita se encuentra como un gran cuerpo intrusivo en La Maroma y Santa María de La Paz o diques como en Real de Catorce. La cuarzo-monzonita es la única roca ígnea en la zona de Catorce asociada con la mineralización.

1.- Cuarzo-monzonita

La cuarzo-monzonita es observada en el distrito de Catorce en forma de diques alterados, con una dirección noreste, comúnmente N20°E. No se encuentra mineralizado ni muestra una relación con la mineralización. Una cuarzo-monzonita similar está presente en el distrito La Maroma, como un cuerpo grande que intrusión a rocas metamórficas y parte del fondo de la Formación Huizachal. Las rocas mineralizadas se encuentran a lo largo de fallas y fracturas en vetas de cuarzo con sulfuros cercanamente relacionadas a diques aplíticos. La alteración de la monzonita fue principalmente a sericita, caolín, cuarzo y pirita. La edad de estas rocas es desconocida. Baker (1922) sugiere una edad del Terciario

Medio. García Gutiérrez (1967) da una edad tentativa a la intrusión en Matehuala como Mesozoico Superior o Terciario Inferior. Otros cuerpos intrusivos de esta composición están presentes en la Sierra Madre Oriental.

2.- Rocas andesíticas

Las rocas andesíticas afloran cerca de Minas de San José. Son las únicas rocas de vecindad inmediata de la mina pero no tiene relación con los procesos de mineralización

Dos diques afloran en Las Maravillas cortando el Cañón de La República al oeste de Minas San José. Tienen aproximadamente dos metros de espesor y no muestran ningún metamorfismo de contacto con las capas adyacentes.

Chism (1889) y Baker (1922), describen una apófisis andesítico-basáltico en el distrito de Catorce que ligeramente recristalizó la caliza que fue intrusionada. Esta apófisis tiene similares características a los diques y apófisis en el distrito San José y nuevamente no muestra relación con la mineralización. Otras pequeñas intrusiones de la misma composición han sido reportados en el área entre Real de Catorce y Minas San José. La edad de estas rocas andesíticas no se conoce pero probablemente son más jóvenes del Cretácico Superior.

d) Síntesis de la historia geológica

El fallamiento y el plegamiento tuvo lugar durante el Cretácico Medio Tardío (Anikouchine, 1958) y se extendió probablemente al terciario temprano. El plegamiento y callamiento puede haber sido contemporáneo como lo pueden indicar algunas evidencias de campo Querol, (1973):

El tren de los ejes de pliegue cambian de dirección en proximidad de las fallas, y algunos se convierten paralelos a las fallas.

La intrusión de los cuerpos ígneos y la mineralización posterior de el primer periodo de deformación y probablemente tomaron lugar en los últimos estados de el tectonismo en la de La Sierra Catorce cuando fue levantada por las fallas de frente de montaña.

e) Génesis

La mineralización de antimonio, que puede estar ligada a varias etapas o eventos, se interpreta en general como resultado de un hidrotermalismo que removilizó elementos contenidos en las capas rojas que subyacen a la Formación Zuloaga, así como en las zonas de fallas y fracturas principalmente de orientación noroeste. El hidrotermalismo en si pudiera estar relacionado a las intrusiones que localmente solo ocurren en forma de algunos diques hacia la porción noreste del distrito en las cercanías de Alamitos y hacia el norte en el distrito de Catorce, causando en la zona de este una mineralización de características epitermales.

VI. –Usos y estadísticas

VI.1.- Usos del Antimonio

Los principales usos del antimonio, se enlistan a continuación de acuerdo al orden de magnitud de consumo:

a) Usos metalúrgicos en la forma de aleaciones:

1.- Baterías

El gran uso de antimonio es en la fabricación de rejillas de baterías, usadas extensamente en motores de carro, el porcentaje de antimonio puede ser de 5 al 12%; hay, sin embargo elaboradas con un 7% y el resto de plomo. La razón por la cual se utiliza el antimonio es que las aleaciones se esparcen mejor, están menos sujetas a la corrosión electroquímica, y son mecánicamente más fuertes que las de puro plomo.

El forro de plomo para envase del depósito de baterías, puede hacerse de hojas de aleaciones de plomo-antimonio con un 4 a 8% de antimonio. La calidad de fundición de esta aleación puede ser mejorada adicionando de un ¼ a ½ % de estaño.

Ventajas en baterías Plomo-antimonio

- El antimonio añade fortaleza (6% positivo/2.75 negativo)
- Rápidas tasas de carga y descarga
- Múltiples descargas hasta 50-80% de su capacidad
- Menor desprendimiento de material activo

Comparación de Baterías				
	Vida	Ciclado	Gaseo	Costo
Plomo-antimonio	Regular	Bueno	Moderado	Bajo
Plomo-calcio	Regular	Pobre	Bajo	Bajo
Plomo bajo-antimonio	Buena	Excelente	Moderado	Alto
Calcio, níquel, cadmio	Excelente	Excelente	Alto	alto

2.-Cojinetes

Los cojines de metal son algunas veces conocidos como *metal-blanco*. Existen dos clases de metales-blancos, el de tipo de base de estaño y el de tipo de base de plomo; la forma en que son comercialmente conocidos son como “metal de babbitt”. (Babbitt: un metal antifricción, suave, blanco no ferroso, para cojinetes lisos. Generalmente consiste de una aleación principalmente de cobre, antimonio, estaño y plomo).

La mayoría de los cojines de metal blanco, caen dentro del siguiente rango de composición: estaño de 0 a 95%, plomo de 0 a 80%, antimonio de 3 a 20%, y cobre de 0 a 10%. Los cojines de metal de base de estaño son superiores a las de base de plomo, en que la razón de uso es menor, el coeficiente de fricción es menor, y la conductividad termal es alta. El

precio de metal de base de estaño es más alto. Por esta razón los metales de base de plomo son ampliamente usados para aplicaciones ferroviarias, maquinaria pesada, bombas y otros propósitos donde el estrés y la velocidad no son excesivamente altos, y donde el tamaño y el peso son de menor importancia.

-Metal blanco de base de estaño-El metal babbitt genuino, generalmente contiene menos del 10% de antimonio y 8% de cobre, algunas veces una pequeña cantidad de plomo, pero a veces muy raramente más del 30% de plomo, y solo por el propósito de reducir el costo.

Las propiedades de los cojines de las aleaciones de base de estaño como en contra de las aleaciones de base de plomo son: alto grado de dureza y correosidad, retención de sus cualidades especiales a elevadas temperaturas, enfriamiento en el servicio y baja viscosidad.

-Metal blanco de base de plomo-El contenido de antimonio en este tipo de aleaciones generalmente es menor al 15%.

El antimonio combina con el estaño formando cubos: $SbSn$, los cuales en pequeñas cantidades

3.-Metal de imprenta

La facilidad con que se vuelve a fundir el plomo antimonial con estaño para convertirlo en formas complicadas es especialmente útil en la fabricación de metales para tipos de imprenta. La composición de estas aleaciones varía desde 3-4% de estaño y otro tanto de antimonio en el metal para electrotipos, hasta 20-24% de antimonio y 12-14% de estaño en algunos de los metales duros para tipos de fundición. La mezcla eutéctica ternaria a 239° , contiene 84% de plomo, 4% de estaño y 12 % de antimonio.

4.-Metal inglés y peltre

El metal inglés es esencialmente una aleación de estaño con antimonio en proporciones variables, con pequeñas cantidades de cobre (1 a 3%), zinc, plomo, bismuto y otros metales. La adición del antimonio al estaño da una aleación que posee una apariencia de plata-blanca y su punto de fusión es alto, y su dureza es mayor, que con la de estaño solo. La fragilidad incrementa y la maleabilidad decreta de acuerdo a la proporción de antimonio aumenta. Una aleación que consiste del 80% de estaño y 20% de antimonio es suficientemente maleable a ser martillado. Esta proporción es la mejor proporción de estaño y antimonio para hacer ollas y grabados de platos.

El peltre original, como es usado para la fabricación de platos y vasijas por varios siglos, consiste en 80% de estaño y 20% de plomo, con cantidades variables de antimonio y cobre

5.- Municiones

Una composición común de granadas y balas es de 12 al 15% de antimonio y el resto es de plomo. Las aleaciones de plomo-antimonio para municiones, para ambos propósitos militares y deportivos, pueden contener arsénico en más del 1%.

6.- Revestimiento de cables

El revestimiento de cables para teléfonos y cables eléctricos, ordinariamente está hecho de plomo endurecido con aproximadamente 1% de antimonio, tiene gran importancia por el enorme tonelaje de cables que se fabrica. El antimonio hace que aumente muchísimo la resistencia a la fatiga de la cubierta de plomo de los cables.

7.- Plomo antimonial

Basta agregar trozos de antimonio metálico a un baño de plomo fundido para formar una aleación de los dos metales. La mezcla eutéctica contiene 12% de antimonio y se funde a 247°C. El punto de fusión del plomo es 327°C. Aproximadamente 2.4% de antimonio es soluble en plomo a la temperatura eutéctica, pero esta solubilidad del sólido disminuye hasta aproximadamente 2.25% a 20°C. Esto hace posible el endurecimiento por maduración ulterior, enfriando rápidamente la aleación desde una temperatura comprendida entre 200 y 247°C. El antimonio endurece al plomo, y esta es su cualidad principal, pero además mejora otras propiedades mecánicas y aumenta su resistencia a la corrosión. Las principales fuentes de plomo duro, o sea, plomo con 5 a 16% de antimonio, son las refinerías de plomo primario y las de metal secundario. Este plomo antimonial se utiliza en su propio estado o como material de aleación.

8.- Otras aleaciones útiles

Láminas y tubos.- La industria química utiliza plomo antimonial con un contenido aproximado de 6% para revestir tanques y hacer conducciones destinadas al manejo de soluciones corrosivas. Casi el mismo material se utiliza en la industria de la edificación en forma de láminas y tubos para techumbres, canales y canalones. Para fundir piezas arquitectónicas o piezas de bombas, válvulas, etc., se utiliza un plomo más duro, con 12% de antimonio. Los trozos de láminas y tubos de plomo antimonial se unen fácilmente sobre el soplete empleando una técnica de fusión local o mediante soldadura

Piezas fundidas.- Las piezas fundidas en matrices metálicas se hacen a menudo con plomo antimonial de 10%, y se fabrican diversos juguetes y otras cosas pequeñas y baratas con plomo antimonial o aleaciones de plomo, estaño y antimonio.

Con plomo antimonial se hacen ánodos insolubles para galvanoplastia. La propiedad del antimonio de disminuir la contracción del plomo en la solidificación contribuye a dar mayor exactitud de líneas de superficies a las piezas fundidas. Esto es importante en la confección de piezas fundidas ornamentales.

Soldadura blanca.- La soldadura blanca usual contiene estaño y plomo en proporciones variables, pero con frecuencia se añade antimonio hasta 2.0 ó 2.5% para aumentar la resistencia. Cuando las soldaduras de estaño-plomo han producido dificultades a consecuencia de su baja temperatura de fusión, se ha empleado una soldadura con 95% de estaño y 5% de antimonio.

Aleaciones diversas.- Cuando se reviste el acero con una película de plomo para protegerlo contra la herrumbre, se añade al plomo 2 ó 3% de antimonio, mejor con un poco de estaño,

al fin de facilitar la adherencia y aumentar la fluencia y la resistencia a la abrasión. Con una proporción de 8-10% de antimonio se aumenta bastante la dureza y la resistencia a la corrosión en condiciones de humedad.

Los tubos compresibles de plomo contienen hasta 3% de antimonio para comunicarles la resistencia necesaria, y el papel de plomo tiene hasta 1%. Las empaquetaduras metálicas a base de plomo y algunos polvos de plomo contienen antimonio. Para hacer joyas se ha utilizado una aleación de oro y antimonio. El negro de antimonio, preparado precipitando antimonio de una solución de sales en solución ácida por adición de zinc, se usa para dar aspecto metálico a la cerámica y a otros objetos no metálicos.

b) Usos químicos

1.-Esmaltes

Se usa como un agente opacador para los esmaltes blancos, el óxido de antimonio y una gran cantidad de óxidos de zircón, óxidos de titanio y werite, (un fluotitanato de calcio antimonio) han sido reemplazantes del óxido de estaño, principalmente por el alto precio de éste último. Más aún los compuestos de antimonio son en ciertos aspectos superiores a los compuestos de estaño; los óxidos de antimonio disminuyen los efectos de ampollas, que frecuentemente vienen durante el uso de óxido de estaño y da un terminado más brillante al esmalte. El antimoniato de sodio es usado para opacar el vidrio y en los esmaltes para hierro fundido. El uso del óxido para estos propósitos, es debido a su índice refractario.

2.-Incombustibles

El gran simple uso del antimonio durante la Segunda Guerra Mundial, tubo una nueva demanda, la preparación de un componente con clorinato de caucho o clorinato de parafina, empleándose aproximadamente 10,000 ton. de el metal por año. Los materiales tratados con el componente rápidamente extinguen las llamas. La composición de dicho componente puede ser:

Clorinato de parafina conteniendo de 30 a 50% de cloro.....	25%
Trióxido de antimonio (Sb_2O_3).....	25%
Solvente de petróleo	50%

3.- Vulcanización de caucho

En la fabricación de compuestos sulfurosos de antimonio, para usarse en la industria del hule, se acostumbra usar las palabras “aúreo” y “carmesí”, que indica el pentasulfuro y el oxisulfuro respectivamente y “oro-carmesí”, cuando ambos se presentan.

4.- Pigmentos

El blanco de antimonio es el óxido de antimonio, el cual esta como polvo fino en las cámaras de polvos y tubos de los hornos de tostado de antimonio, puede ser colectado en esta forma y ser usado sin posterior tratamiento, para ciertos propósitos de pinturas, pero

un óxido preparado y molido especialmente llamado timonox, de superior textura y blancura es producido en Inglaterra.

El antimonio negro es un antimonio metálico depositado eléctricamente o químicamente, como un polvo fino de una solución de antimonio. Es usado como pigmento bronceador para objetos de metales fundidos y plásticos.

5.-Mordientes

El tartado hermético y antimínulos, son los compuestos principales de antimonio, usados como mordientes.

c) Otros usos

En forma de sales u óxido se emplea también en la fabricación de cerillas, o cerillos, de pinturas y plásticos termo resistentes

El antimonio es usado como medicina para infecciones parasitarias, pero las personas que toman demasiada medicina o que son especialmente sensibles a ella experimentan efectos en su salud.

Unos cuantos remedios contra el resfriado utilizan compuestos de antimonio

El polvo de antimonio es uno de los productos de belleza más antiguos utilizados por faraones y reinas, el colirio en polvo de sulfuro de antimonio protege los ojos de las gentes del desierto, con excelente protección contra las fuertes reacciones de la luz emitidas por las arenas del desierto.

El tartado doble de antimonio y potasio es utilizado como agente medicinal; el cristal de antimonio es utilizado como pigmento amarillo y en el vidrio y la porcelana.

El antimonio no tiene propiedades que lo hagan indispensable pero tiene ventajas tecnológicas en algunas áreas de aplicación y en dónde otros productos aún no igualan estas características.

El alto porcentaje de antimonio es producido por fuentes secundarias provenientes de su recuperación en la chatarra.

La fuente principal de chatarra está en relación con el contenido de plomo antimonial en automóviles.

Los términos de mineral o concentrado de antimonio, generalmente son comercializados especificando con su contenido de antimonio y el máximo de arsénico y con un contenido de plomo menos de 0.75%.

El mineral "grado químico" es aquel cuya pureza permite su uso directo para la producción de óxido, cloruro y otros compuestos químicos a base de antimonio.

El "Crudum" es negociado sobre bases de un contenido del 70% de antimonio.

El antimonio metálico denominado “Regulus” es usualmente comercializado en lingotes de 10 x 10 x 2½ pulgadas.

VI.2.-Efectos del antimonio sobre la salud

¿Qué le sucede al antimonio cuando entra al medio ambiente?

- El antimonio es liberado al medio ambiente desde fuentes naturales e industriales.
- Puede permanecer en el aire adherido a partículas muy pequeñas por muchos días. La mayoría del antimonio en el aire se deposita en el suelo, en donde se adhiere firmemente a partículas que contienen hierro, manganeso, o aluminio.
- El antimonio se encuentra en bajos niveles en algunos ríos, lagos y arroyos.

¿Cómo se podría estar expuesto al antimonio?

- Debido a que el antimonio ocurre naturalmente en el medio ambiente, la población general está expuesta diariamente en los alimentos, el agua potable y el aire.
- Se puede encontrar antimonio en el aire cerca de industrias que lo procesan o lo liberan, tales como fundiciones, plantas donde se quema carbón, y donde se incinera basura.
- En áreas contaminadas que contienen altos niveles de antimonio, puede encontrarse en el aire, el agua y el suelo.
- Trabajadores en industrias que procesan o usan minerales de antimonio pueden estar expuestos a niveles de antimonio más altos.

¿Cómo afecta a la salud el antimonio?

La exposición a altos niveles de antimonio puede producir una variedad de efectos perjudiciales para la salud.

Respirar altos niveles de antimonio por largo tiempo puede irritar los ojos y los pulmones, y puede causar trastornos del corazón y de los pulmones, dolor de estómago, diarrea, vómitos y úlceras estomacales.

En estudios de exposición leve, los animales que respiraron niveles muy altos de antimonio, fallecieron. Los animales que respiraron altos niveles sufrieron daño a los pulmones, el corazón, el hígado y los riñones. Los animales que respiraron niveles muy bajos de antimonio por largo tiempo sufrieron irritación de los ojos, caída de pelo, daño al pulmón y trastornos al corazón. También se observaron efectos sobre la fertilidad en ratas que respiraron niveles muy altos de antimonio por unos meses.

Ingerir grandes cantidades de antimonio puede causar vómitos, sin embargo, no se sabe que otros efectos puedan ocurrir al ingerir el antimonio. Los estudios de larga duración en animales han demostrado lesiones del hígado y alteraciones en la sangre. El antimonio puede irritar la piel si no se remueve prontamente.

El antimonio puede tener efectos beneficiosos cuando se usa por razones médicas. Se ha usado en medicina para tratar gente infectada con parásitos.

¿Qué posibilidades hay de que el antimonio produzca cáncer?

Ni el departamento de salud y Servicios Humanos (DHHS- USA), ni la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC- USA) ni la EPA-USA han clasificado el antimonio en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos.

En algunos estudios en ratas que respiraron altos niveles de antimonio se observó un cáncer de pulmón. No hay estudios en seres humanos, por tanto no se sabe si el antimonio produce cáncer en seres humanos.

¿Hay algún examen médico que demuestre que ha estado expuesto al antimonio?

Hay exámenes para medir los niveles de antimonio en el cuerpo. Se puede medir antimonio en la orina, las heces y la sangre varios días después de la exposición. No obstante estos exámenes no dicen a que cantidad de antimonio se estuvo expuesto o si en la exposición le afectará la salud.

¿Qué recomendaciones existen para proteger la salud pública?

La EPA permite una concentración de 0.006 partes de antimonio por millón de partes de agua potable (0.006 ppm). La EPA requiere que se le notifique de descargas o derrames al medio ambiente de 5,000 libras o más de antimonio.

La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) ha establecido un límite máximo en el trabajo de 0.5 miligramos de antimonio por metro cúbico de aire (0.5mg/m³) durante una jornada de 8 horas diarias, 40 horas semanales.

Actualmente, el instituto Nacional de la Salud y Seguridad Ocupacional (NIOSH) y la Conferencia Americana de Sanitarios Industriales de Gobierno (ACGIH) recomiendan las normas ocupacionales que OSHA.

VI.-3.ESTADÍSTICAS

VI.-3.1.-Producción minera de antimonio en México (2001-2005)

La producción total nacional en los años 2004 y 2005 ha sido de 503.40 y 565.00 de toneladas con una variación de 12.24%, que equivalen a aproximadamente 16, 449,300.00 y 21, 242,300.00 de pesos corrientes con una variación de 29.14%.

La producción total de antimonio en los últimos 5 años se puede ver en la siguiente tabla.

Tabla No. VI.3.1. Producción minera total de antimonio (2001 a 2005) en México

Año	2001	2002	2003	2004	2005
Producción Minera Total (pesos corrientes)	1,078,900.00	2,953,400.00	10,826,200.00	16,449,300.00	21,242,300.00

Fuente: Anuario estadístico de la minería mexicana 2005, edición 2006

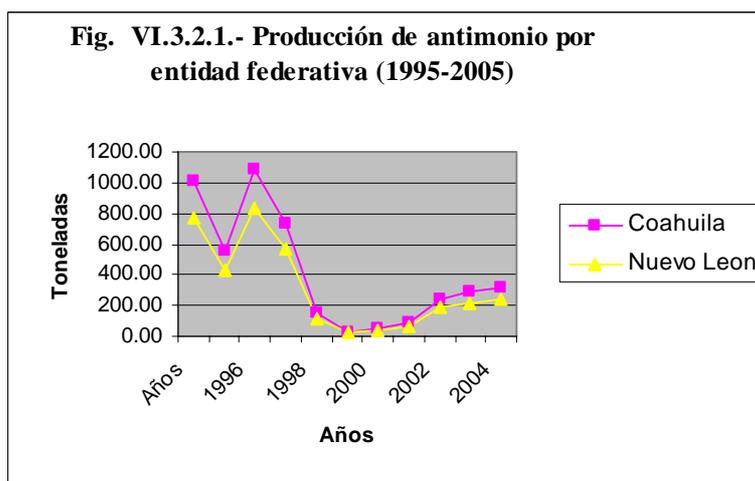
VI.3.2 Producción Minera de antimonio por entidad federativa (2001-2005)

Tabla No. VI.3.2.1- Volumen de la producción minera de antimonio por entidad federativa (2001-2005) (Toneladas)

Estados/Años	2001	2002	2003	2004	2005
Total	81.10	154.90	434.40	503.40	565.00p/
Coahuila	45.90	87.67	245.87	284.93	319.79
Nuevo León	32.50	67.23	188.53	218.47	245.21

p/ Cifras preliminares

Fuente: Anuario estadístico de la minería mexicana 2005, edición 2006

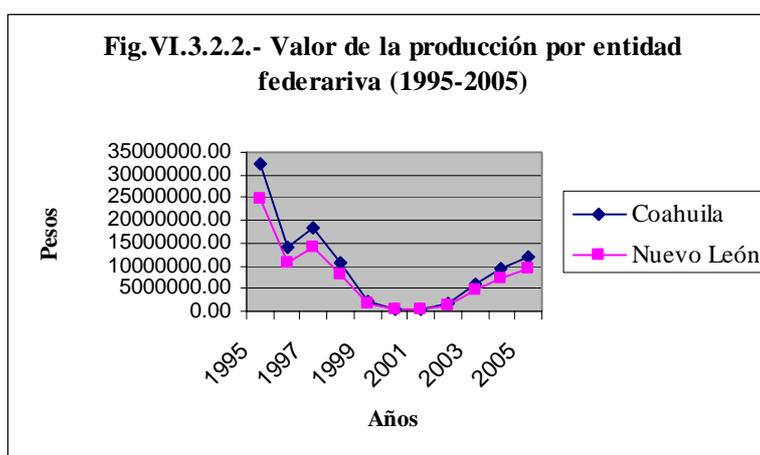


Fuente: Anuarios estadísticos de la minería mexicana (1995 al 2005)

Tabla No. VI.3.2.1.- Valor de la producción minera de antimonio por entidad federativa (2001-2005) (Toneladas)

Estados/Años	2001	2002	2003	2004	2005
Total	1,078,900.00	2,953,400.00	10,826,200.00	16,449,300.00	21,242,300.00
Coahuila	610,658.75	1,671,628.10	245.87	284.93	319.79
Nuevo León	468,241.25	1,281,771.90	4,698,557.25	7,138,975.62	9,219,131.62

Fuente: Anuario estadístico de la minería mexicana 2005, edición 2006



Fuente: Anuarios estadísticos de la minería mexicana (1995 al 2005)

VI.3.3.- Posición de México en la producción mundial de antimonio, 2005

El antimonio junto con el plomo ocupa el 5°. lugar en la producción mundial de minerales para el 2005 con 117,366.00 de toneladas métricas. Y para México 566.00 con una variación de 0.48%. El antimonio ocupa la posición en la producción minero-metalúrgica nacional en 2005 el primer lugar en el estado de Coahuila con un volumen de 319.79 toneladas y el estado de Nuevo León ocupa la segunda posición con un volumen de 245.21 toneladas

Tabla VI.3.3.1. Posición de México en la producción mundial de antimonio y minerales metálicos, 2005. (Toneladas métricas)

Posición	Producto	Mundial A	México p/B	% B/A
3°	Plata	20,185.59	2,565.59	12.71
3°	Bismuto	4,962.41	892.41	17.98
4•	Arsénico	53,764.00	1,664.00	3.10
4°	Cadmio	15,426.70	1,626.70	10.54
5°	Antimonio	117,366.00	566.00	0.48
5°	Plomo 1/	3,258.67	121.67	3.73
6°	Zinc 1/	10,174.06	427.06	4.21
6°	Molibdeno	164,205.20	4,245.20	5.59
8°	Manganeso 1/	9,782.87	132.87	1.36

Posición	Producto	Mundial A	México p/ B	% B/A
9°	Oro	2,480.78	26.78	1.08
12°	Cobre 1/	14,848.25	373.25	2.51
15°	Fierro 2/	1,518.01	7.01	0.46

p/ Cifras preliminares

1/miles de toneladas

2/millones de toneladas métricas

Fuente: Anuario estadístico de la minería mexicana 2005, edición 2006

VI.3.4.- Exportación e importaciones de antimonio (2004-2005)

VI.3.4.1.Exportaciones

Tabla.-V.3.4.1.-Exportación en volumen y valor, por fracción arancelaria, presentación y destino, 2004-2005
(Kilogramos y dólares corrientes)

Fracción arancelaria, forma y presentación y país de destino	2004		2005	
	Kilogramos 1/	Dólares	Kilogramos 1/	Dólares
Total:		2,699,647		3,203,055.00
2,617.10.01 Minerales de antimonio y sus concentrados	1,220,178.00	304,524.00	773,176.00	136,512.00
China (República Popular de)	.	-	773,176.00	136,512.00
Estados Unidos de América	1,220,178.00	304,524.00	-	-
2,617.90.99 Los demás minerales de antimonio y sus concentrados	86,547.00	2,395,123.00	101,405.00	2,816,361.00
Australia(Comunidad Australiana)	20,545.00	586,168.00	-	-
Estados Unidos de América	66,002.00	1,808,955.00	101,405.00	2,816,361.00
8,110.10.01 Antimonio en bruto; polvo	-	-	178,260.00	250,182.00
China (República Popular de)	-	-	165,098.00	224,125.00
Corea del Sur	-	-	12,245.00	22,137.00
Costa de Marfil	-	-	751.00	3,230.00
Estados Unidos de América	-	-	51.00	-
Guatemala (República de)	-	-	115.00	690.0

p/ Cifras preliminares

1/Peso Bruto

Fuente: Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 2005, edición 2006

VI.3.4.2.-Importaciones

Tabla VI.3.4.2.-Importación en volumen y valor, por fracción arancelaria, presentación y destino, 2004:2005

(Kilogramos y dólares corrientes)

Fracción arancelaria, forma y presentación y país de destino	2004		2005	
	Kilogramos	Dólares	Kilogramos	Dólares
Total:		2,054,850.00		2,718,865.00
2,617.10.01				
Minerales de antimonio y sus concentrados	94,343.00	174,769.00	129,499.00	240,479.00
Australia(Comunidad Australiana)	19,343.00	3,869.00	-	-
China (República Popular de)	-	-	999.00	3,729.00
Guatemala (República de)	75,000.00	170,900.00	128,500.00	236,750.00
2,617.90.99				
Los demás minerales de antimonio y sus concentrados	638.00	324.00	1,470.00	10,948.00
Canadá	-	-	-	481.00
China (República Popular de)	-	-	2.00	3,964.00
Estados Unidos de América	628.00	314.00	1,068.00	2,224.00
Grecia	10.00	10.00	-	-
Perú (República de)	-	-	400.00	4,279.00
8110.10.01				
Antimonio en bruto; polvo	549,935.00	1,879,757.00	574,757.00	2,467,438.00
Alemania (República Federal de)	-	256.00	-	-
China (República Popular de)	256,000.00	961,555.00	483,562.00	2,108,438.00
Corea del Sur	40,000.00	134,295.00	-	-
Estados Unidos de América	253,935.00	783,651.00	91,195.00	358,417.00
R. Unido de Gran Bretaña e Irlanda	-	-	-	583.00

p/ Cifras preliminares

Fuente:Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 2005, edición 2006

VI.3.5- Cotizaciones internacionales

VI.3.5.- Cotización internacionales por presentación y origen, 2004-2005 1/

(En moneda corriente por unidad medida)

(Dólares por tonelada métrica)

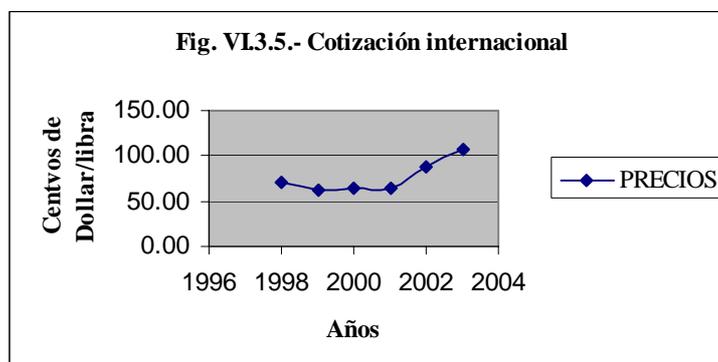
Forma de presentación y lugar de cotización	2004		2005p/	
Afinado				
Con un contenido de 99.65 de pureza distribuidor de Nueva York	de 2,617.08	a 2,676.23	de 3,731.83	a 3,376.83
Distribuidores de Nueva York 2/	de 127.72	a 135.29	de 159.62	a 165.98
Antimonio, costo, seguro y flete, Estados Unidos	2,614.97			

p/ Cifras preliminares

1/Promedio anual

2/Centavos de dólar por libra

Fuente: Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 2005, edición 2006



Fuente: Anuarios Estadísticos de la Minería Mexicana (1998 al 2003)

VI.3.6.-Producción Mundial en volumen por país

Tabla III.3.6.-Producción Mundial en Volumen por País, 2004-2005 1/
(Toneladas métricas)

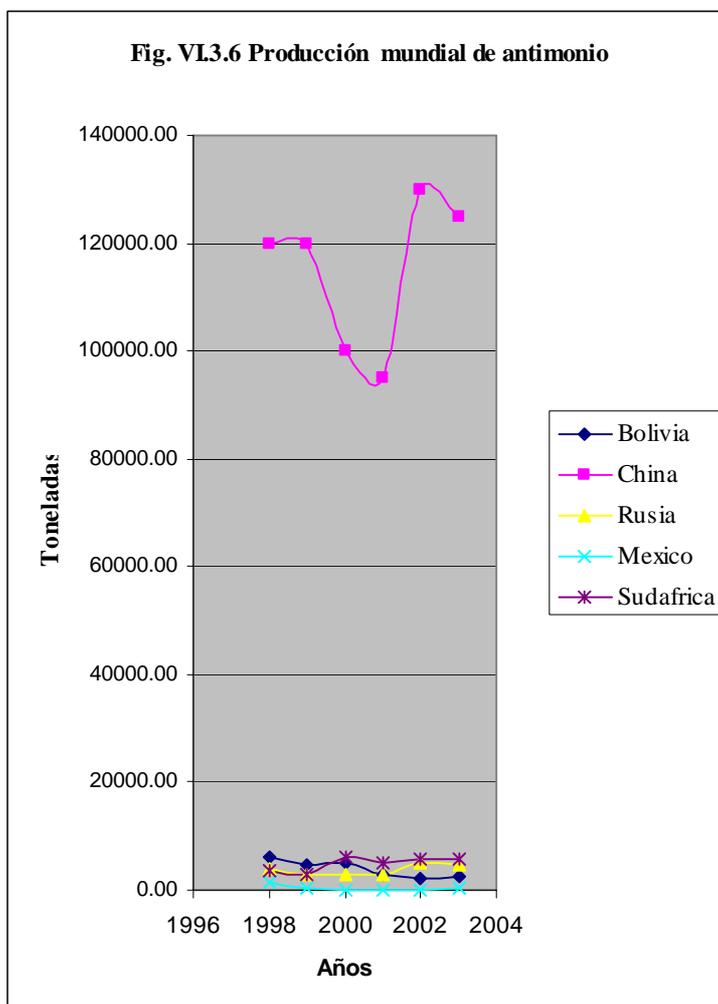
Países productores	2004	2005 e/
Total:	113,603.38	117,366.00
Bolivia (República de)	3,000.00	2,500.00
China (República de)	100,000.00	105,000.00
México (República de)	503.38	566.00 p/
Sudáfrica (República de)	5,300.00	5,300.00
Tayikistán (República de)	2,000.00	1,800.00
Otros Países	2,800.00	2,200.00

p/ Cifras preliminares

e/Cifras preliminares

1/Producción minera en contenido metálico

Fuente: Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 2005, edición 2006



Fuente: Anuarios Estadísticos de la Minería Mexicana (1998 al 2003)

VI.3.7.- Empresas con inversión extranjera directa en México, 2005

Clase de actividad	Empresas	%
<i>En Minería y Extracción</i>		
Total	551	100.00
Extracción y /o beneficio de mercurio y antimonio	1	0.18

Fuente: Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 2005, edición 2006

VII- Conclusiones

Aunque el antimonio se emplee en cantidades relativamente pequeñas, y que la mayor parte es subproducto de otras menas, desempeña un papel importante en la industria, en los diferentes puntos, que han sido analizados, se puede decir que:

- El estado elemental del antimonio es de un color blanco plateado, brillante quebradizo, (susceptible de ser pulverizado fácilmente) de estructura hojosa y cristalina, el cual muestra poca conductividad eléctrica y térmica. No se altera en contacto al aire o humedad a temperatura ordinaria.
El metal al solidificar sufre un cambio de volumen, con una expansión de 1%
- El sulfuro de antimonio, (estibinita), forma la mena predominante: lo siguen los óxidos- valentinita, senarmontita, cervantita; en menor importancia, el hidróxido estibiconita y el oxisulfuro kermesita. La tetraedrita y livingstonita son importantes minerales que producen antimonio. Son minerales secundarios resultados de la alteración de la estibinita son la valentinita y cervantita; pseudomorfos del antimonio cercanamente parecidos a la estibinita. La kermesita puede asemejarse a una alteración intermedia, además en oxidación, puede cambiar a valentinita o cervantita.
Otros minerales antimonio-sulfuros tales como la jamesonita y tetraedrita, pueden intemperizarse, pueden cambiar a óxidos, y en particular a bindeimita, si está presente el plomo.
- La mayor parte de los depósitos de antimonio están formados por soluciones hidrotermales a bajas temperaturas y escasa profundidad.
- Los indicios de yacimientos de antimonio en México son numerosos, sin embargo pueden señalarse dos zonas con yacimientos comerciales. Una en la porción “Central” del país abarcando Querétaro, Zacatecas, San Luís Potosí, Durango y la segunda área es la posición del “Pacífico” que abarca Oaxaca, Guerrero, Michoacán y Sonora.
- Los principales aplicaciones industriales del antimonio son:
 - Las aleaciones de plomo, para la fabricación de celdas, forros de tanques y techados. La función del antimonio en estas aleaciones es incrementar su consistencia y evitar corrosión química.
 - El antimonio se emplea para preparar aleaciones con plomo, estaño y cobre. Tales combinaciones adquieren una dureza y la propiedad de dilatarse cuando pasan de estado líquido al sólido, Por ello, son especialmente adecuadas para la fabricación de piezas metálicas a partir de moldes, a los que la aleación se sujeta perfectamente
 - Usado como aleante se emplea en distintas aleaciones como peltre, metal fricción (aleado con estaño), metal inglés (zinc y antimonio), etc.
 - El antimonio es usado para tipos de metal de imprenta, ya que incrementa su dureza y permite una definición clara de los cortes.

- Su durabilidad, belleza metálica y economía hacen que las aleaciones antimoniales sirvan con fines decorativos de artículos de molde.
 - También es usado en la fabricación de granadas de metralla, detonadores y vainas, es la de mayor importancia bélica, solo inferior al mercurio.
 - Usado ampliamente en la industria de esmaltes cerámicos y pigmentos blancos para pintura. El uso de pinturas no inflamables, especialmente para barcos. Roseado en lonas u otros textiles los hace incombustibles.
- De acuerdo a los datos tomados de Anuario Estadístico de la Minería Mexicana. La producción de antimonio mundial es de 117, 366.00 toneladas métricas (2005). China ocupa el primer lugar de productor de antimonio a nivel mundial con una producción 105,000.00 toneladas métricas para el 2005. Con respecto a México, ocupa la posición número 5, con una producción 566.00 toneladas métricas. Siendo el estado de Coahuila el primer lugar con una producción de 319.79 toneladas y El estado de Nuevo León ocupa la segunda posición con una producción de 245.21 toneladas.

Bibliografía

- Amaya M. R.; Arreola R. L. 1974. Inventario minero por antimonio en el estado de Sonora. Consejo de Recursos Naturales No Renovables. Archivo Técnico inédito, 260870,
- Archibald C. J. Jr., Estudio de los depósitos de antimonio y su extracción en las minas de San José, Wadley, San Luís Potosí, México. Instituto Norteamericano de Ingenieros de Minas y Metalurgistas (AIME). 4p.
- Barbosa G. R.; Álvarez M. M.; Torres H. R. 1998. Informe de la carta geológico-minera y geoquímica hoja Real de Catorce F14-A24, esc: 1:50,000. Consejo de Recursos Minerales-Instituto de Geología de la Universidad Autónoma de San Luís Potosí.
- Brownlow A. H., 1996. Geochemistry. (2do.edición) Prentice Hall., 580 p.
- Cantero P. E.; Guerrero J. H.; Bravo C. J., 1974. Inventario de los depósitos de antimonio en el estado de Guanajuato. Consejo de Recursos Minerales. Archivo Técnico, inédito, 110264.
- Carbonel C. M., 1974. Informe sobre algunos yacimientos de antimonio en el estado de Querétaro. Consejo de Recursos Naturales No Renovables. Archivo Técnico, inédito, 220119.
- Cardin J. F. Jr. 2004. Antimony. U.S. Geological Survey Minerals Yearbook. 12p. [http:// minerals.usgs.gov](http://minerals.usgs.gov)
- Cardin J. F. Jr. 2000. Antimony recycling in the United States in 2000. U. S. Geological Survey Circular 1196-Q. 12p. <http://minerals.usgs.gov>
- Carrasco C. M., 1974. Evaluación de los yacimientos de antimonio en el estado de Durango. Consejo de Recursos Minerales. Archivo Técnico, inédito, 100129.
- Chávez G. J., 1975. Informe unificado de avance en las áreas de San Patricio y Las Minitas, municipio de Tzitzio, Mich. Consejo de Recursos Minerales. Archivo Técnico, inédito, 160123.
- C. F. M. 1968. Antimonio. Comisión de Fomento Minero. SUS-8, 45p.
- Cortéz A., J. G. 1975. Los yacimientos minerales de Bolivia. Universidad Simón Bolívar. 34 p.
- Dana S. E.; Ford E.W., 1976. Tratado de mineralogía. Compañía editorial Continental, S.A. de México.

- González R. J., 1956. Riqueza minera y yacimientos minerales de México. Banco de México. 497 p.
- González R. J., White E. D., 1947. Los yacimientos de antimonio de San José, Sierra de Catorce, estado de San Luís Potosí. Comité Directivo para la Investigación de los Recursos Minerales de México. Boletín No.14, 36 p.
- Guzmán A. J., 1982. Informe de la 1ra. Etapa zona de reserva minera Tzitzio, municipio de Tzitzio, Michoacán. Consejo de Recursos Minerales. Archivo Técnico, inédito, 160194.
- Herrera M. I.; Alemán G. S., 1974. Inventario de los depósitos de antimonio en los estados de Zacatecas, Aguascalientes y Jalisco. Consejo de Recursos Minerales Archivo Técnico, inédito, 010011.
- Juárez J. J., 1989. Informe de la visita de reconocimiento al lote Sacramento, exp. 5569 municipio de Tzitzio, edo. de Michoacán. Consejo de Recursos Minerales. Archivo Técnico, inédito, 160232.
- López Ch. L., 1968. Informe sobre las minas de antimonio visitadas en la mixteca y estudio económico preliminar para la instalación y operación de una agencia compradora de minerales de antimonio. Estudio de los recursos del estado de Oaxaca. Consejo de Naturales No Renovables. Archivo Técnico, inédito, 200175.
- Martínez R. C.; Maldonado R. R.; Chew M. J., 1975. Exploración geológico minera por antimonio, en la Sierra de Catorce, estado de San Luís Potosí. Consejo de Recursos Naturales No Renovables. Archivo Técnico, inédito, 240048.
- Querol S. F., 1973. The genesis of the antimony at deposits a Wadley, San Luis Potosi, Mexico: field investigations and stibinite solubility studies. Stanford University, Department of Geology. 180p.
- Rámirez O. E., 1974. Estudio preliminar sobre las reservas de antimonio en el estado de Chihuahua. Consejo de Recurso Naturales No Renovables. Archivo Técnico, inédito, 080631.
- Rankama. K. 1954. Isotope in Geology. Mc. Graw Hill. 535p.
- Roush G.A. 1939. Strategic minerals supplies. First Edition, Mc. Graw Hill Book Company, Inc. 239-273p.
- Sánchez B. J.; Bustillo S. G., 1972. Informe geológico minero de los prospectos de antimonio, plata y plomo, El Huizache, Las Canoas y El Zapote en la zona de los Hoyos, municipio de Heliodoro Castillo, Guerrero. Proyecto Sierra Madre del Sur. Consejo de Recursos Minerales. Archivo Técnico, inédito, 120049-05.

Secretaría de Economía. 1955. Monografía del Antimonio. Secretaría de Economía. 29p.

Servicio Geológico Mexicano. 2006. Anuario estadístico de la minería mexicana 2005, ed. 2006. Servicio Geológico Mexicano 450 p. <http://www.coremisgm.gob.mx>

Simons E. 1967. Guide to uncommon metals. New York: Hart, 1-7 p.

Turekian K. K.: Zemman J. 1969. Handbook of Geochemistry. Editorial Board

Ugalde V., 1974. Antimonio en los estados de Puebla y Oaxaca. Consejo de Recursos Minerales. Archivo Técnico, inédito, 210143.

Wang, C. Y., 1952. Antimony - Its geology, metallurgy, industrial uses and economics. (3 ed., revised): London: Charles Griffin and Co., 170 p.