

## LIXIVIACIÓN DE CONCENTRADOS Pb/Ag CON ALTO CONTENIDO DE As/Sb

### LIXIVIATION OF CONCENTRATED Pb/Ag WITH HIGH CONCENTRATE OF As/Sb

Ángel Azañero Ortiz, Pablo Antonio Núñez Jara, Aquiles Figueroa Loli,  
Sósimo Fernández Salinas, Manuel Caballero Ríos, Xioma Chávez, Aldo Valenzuela

#### RESUMEN

En la zona central y norte del Perú existen minerales de Pb-Ag que tienen altos contenidos de As y Sb. Por flotación no se pueden eliminar estos elementos y se reportan en el concentrado de flotación. Si el porcentaje hallado va de 0.50% a 2.0% reciben castigos económicos (por cada 0.10% adicional); si llegase al 3%, los castigos son más severos y, a veces, es difícil colocarlo en el mercado. Mayores porcentajes de arsénico y antimonio simplemente son rechazados por las fundiciones. En este trabajo de investigación flotamos un mineral de Pb-Ag produciendo un concentrado con alto contenido de impurezas, dicho producto, llamado concentrado sucio, fue lixiviado con hidróxido de sodio y sulfuro de sodio a diferentes concentraciones de los reactivos, dilución de pulpa y tiempo de retención, determinando las condiciones óptimas de lixiviación; al final se obtuvo un concentrado limpio y con leyes más altas en Pb-Ag de fácil comercialización (véase Tabla N.º 6). En la Figura N.º 4 se muestra el diagrama de flujo propuesto para procesar minerales similares al estudiado.

**Palabras clave:** Lixiviación, arsénico y antimonio, metalurgia.

#### ABSTRACT

In the northern and central zones of Peru there exist minerals of Pb-Ag that contain high amounts of As-Sb; by flotation one can not eliminate these elements and they yield in the concentrate of flotation; from 0.5% to 2.0% they receive economic losses for each additional 0.10%; up to 3% the losses are more severe and at times difficult to place it in the market; major percentages of arsenic and antimony simply are rejected for smelting; in this research work we float a mineral of lead-silver, producing a concentrate with high amounts of impurities, said product, called unclean concentrate was leached out with sodium hydroxide and sodium sulfide at different concentrations of the reactants, dilution of pulp and time of retention, determining the optimal conditions of leaching, obtaining a clear concentrate with higher grades of Pb-Ag (Table N.º 6) for easy commercialization. The flow diagram proposed to process similar minerals to the study is on Figure N.º 4.

**Keywords:** Leaching, arsenic and antimony, metallurgical.

## I. INTRODUCCIÓN

En la naturaleza se encuentra una amplia gama de minerales; metálicos y no metálicos, sulfuros y óxidos, que concentrándolos, se puede obtener –en algunos casos– productos de buena calidad, es decir, tienen buenas leyes y se encuentran libres de impurezas. En otros minerales que tienen contaminantes sus respectivos concentra-

dos, igualmente, salen contaminados; entre los elementos más perjudiciales tenemos al As, Sb, Hg y Bi; en el caso del arsénico (As), cuando está bajo la especie mineral de arsenopirita es posible controlarlo por flotación; sin embargo, cuando está como geocronita ( $Pb_5SbAsS$ ), jamesonita ( $Pb_4FeSbS_{14}$ ), enargita ( $3Cu_2SAs_2S_5$ ), tetrahedrita ( $4Cu_2SSb_2S_3$ ) y otros, no es posible controlar o reducir las impurezas por flotación, por lo que se hace necesario darle

\* Docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.  
E-mails: {aazanero, pnunezj, afgueroal, sfernandezs, mcaballero}@unmsm.edu.pe

tratamientos piro o hidrometalúrgicos; los primeros están en declive por razones medioambientales. Entre los reactivos químicos que han demostrado su poder disolvente selectivo sobre el arsénico y antimonio, las principales impurezas son el hidróxido de sodio y el sulfuro de sodio [1, 2].

Las reacciones químicas generalizadas que representa la lixiviación son:



Donde: M representa As o Sb.

### I.1. Objetivos

- Reducir mediante pruebas de lixiviación alcalina, concentrados con alto contenido de As-Sb, a determinados niveles para que sea factible su aceptación por las fundiciones.
- Aplicar esta tecnología a otros concentrados de Pb-Ag que tienen el mismo problema, muy abundantes en nuestro país.

El As-Sb es aportado por la jamesonita, owehita y otras sulfosales; la ganga la constituye el cuarzo, la calcita y los óxidos de zinc.

## II. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

El mineral proveniente de la zona central del país fue primeramente triturado, molido y flotado. El concentrado obtenido, fuertemente contaminado con Sb (12.25%), nos ha servido como materia prima para realizar pruebas experimentales de lixiviación alcalina en caliente (90 °C) con agitación vigorosa, teniendo como variables la dilución de pulpa, el tiempo de reacción y la concentración del lixivante; lo cual nos permitió determinar las condiciones óptimas de lixiviación. Con dichos parámetros se han realizado pruebas de lixiviación, obteniendo un concentrado limpio de fácil comercialización [2, 3, 4 y 5].

### 2.1. Prueba de flotación para obtener el concentrado

Tabla N.º I

Producto	Peso %	Leyes % (Ag-Au en Oz/TC)					Recuperaciones		%	R.C.
		Pb	Zn	Ag	As	Sb	Pb	Zn		
Conc. Pb-Ag	10.21	32.30	6.20	216.0	1.34	12.25	75.42	10.81	74.37	9.80
Medios Pb-Ag	5.13	4.10	12.45	27.6			4.82	9.26	4.78	
Conc. Zn	10.34	1.20	53.00	12.8	0.25	0.54	2.34	70.80	4.46	9.67
Medios Zn	6.34	2.11	4.64	13.4			3.07	3.00	2.86	
Rel. Gral.	67.98	0.89	0.72	5.9			13.05	6.53	13.53	
Cab. Calc.	100.00	4.37	7.74	29.7			100.00	100.00	100.00	
Cab. Eñp.		4.72	7.90	28.9	0.55	1.57				

### I.2. Materiales, equipos y maquinarias

- Molino de bolas.
- Celdas de flotación.
- Potenciómetro digital con control de T°, pH y potencial de oxidación.
- Estufa eléctrica.
- Agitador magnético de T° y velocidad variable.
- Mineral de Pb-Ag / As-Sb.
- Reactivos de flotación y lixiviación.

### I.3. Materia prima

El mineral tiene valores metálicos de Pb-Ag-Zn, que están en forma de esfalerita, marmatita, galena, pirita y óxidos de plomo y zinc.

### 2.2. Pruebas de lixiviación alcalina: Determinación de variables [1, 7]

Condiciones comunes de trabajo

Temperatura: 90 °C.

Agitación: Vigorosa.

Muestra: Concentrado de flotación.

### 2.3. Pruebas de lixiviación alcalina: Determinación de variables

Condiciones comunes de trabajo

Temperatura: 90 °C.

Agitación: Vigorosa.

Muestra: Concentrado de flotación.

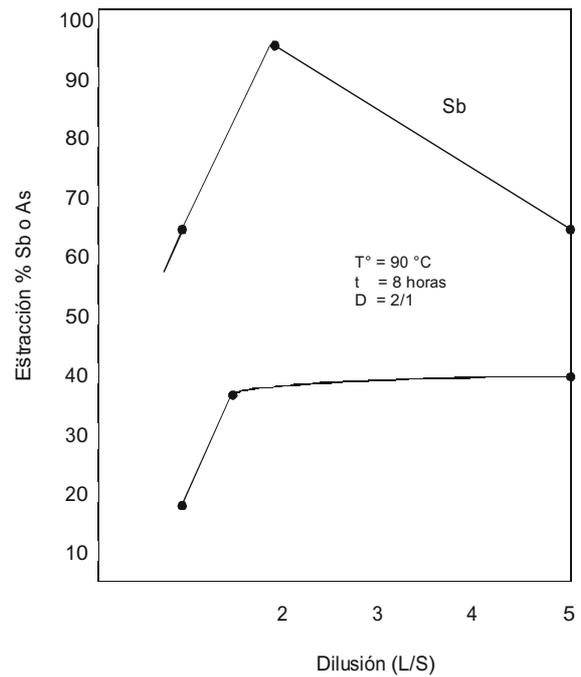
**III. RESULTADOS**

Los resultados se presentan en las siguientes tablas y figuras.

**3.1. Lixiviación As/Sb variando la dilusión de pulpa (véase Figura N.º 1)**

**Tabla N.º 2**

Dilusión L/S	Estracción As	% Sb
1	18.6	62.8
2	37.2	93.7
3	38.1	85.0
4	38.9	75.0
5	39.3	64.8

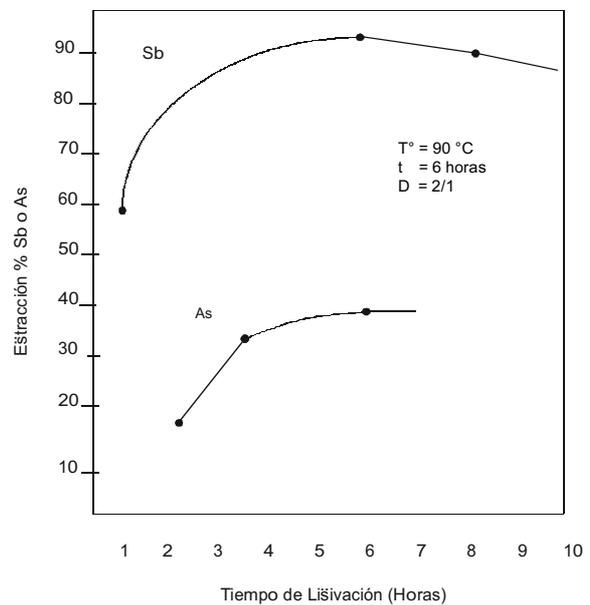


**Figura N.º 1.** Extracción de As/Sb versus dilusión de pulpa.

**3.2. Lixiviación As/Sb variando el tiempo (véase Figura N.º 2)**

**Tabla N.º 3**

Tiempo h	Estracción As	% Sb
2	18.1	82.0
4	32.0	89.0
6	39.5	93.0
8	39.0	88.0

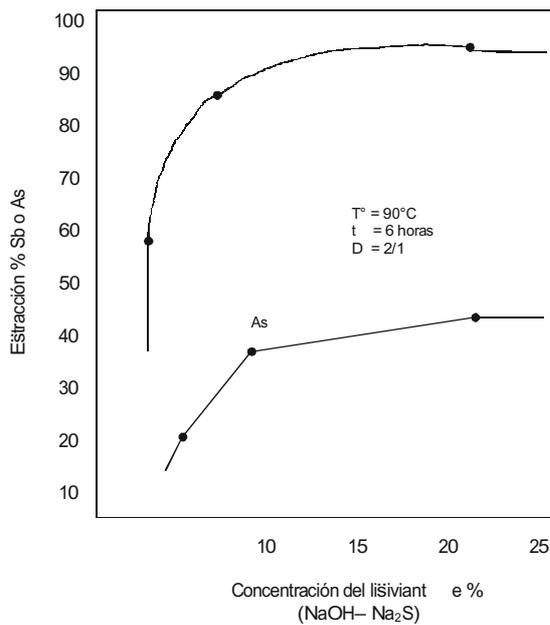


**Figura N.º 2.** Variación de extracción de As/Sb versus tiempo de lixiviación.

**3.3. Lixiviación As/Sb variando la concentración de lixivante (NaOH-Na<sub>2</sub>S)**

**Tabla N.º 4**

Concentración lixivante %	Estracción As	% Sb
5	18.0	55.0
10	38.0	83.0
15	39.0	89.0
20	42.0	94.0
25	43.0	92.0



**Figura N.º 3.** Extracción de As/Sb versus concentración de lixivante (NaOH – Na<sub>2</sub>S).

### 3.4. Pruebas de Lixiviación Alcalina

De acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas anteriores, donde se ha tenido como variables la dilución de pulpa, el tiempo de reacción y la concentración de reactivos, se han determinado los parámetros óptimos de lixiviación, para lo cual realizamos tres pruebas de lixiviación con la finalidad de confirmar la bondad del proceso, las condiciones de trabajo y los resultados obtenidos, éstos se describen a continuación (ver Tabla N.º 5 y 6).

#### Condiciones óptimas

Temperatura: 90 °C.

Dilución: 2/1

Tiempo: 6 horas

Concentración del lixivante: 20% (10% NaOH-10% Na<sub>2</sub>S).

## IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Conclusiones

- En concentrados sucios donde el Sb es alto, la lixiviación alcalina es lo más adecuado, la tostación es ineficiente debido a que el punto de fusión del plomo es menor que el del antimonio; por lo que el Pb fundido atrapa al Sb y no lo deja evaporarse.
- Es factible disminuir el contenido de As y principalmente del Sb de los concentrados de Pb-Ag con alto porcentaje de estos contaminantes, mediante lixiviación alcalina con NaOH y Na<sub>2</sub>S.
- La solución de lixiviación que contiene el As y Sb disueltos pueden ser tratados, posteriormente, con el objeto de recuperar el Sb como Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> o como antimoniato de sodio (NaSb(OH)<sub>6</sub>), ambos productos son comerciales. El As se puede estabilizar como arseniato de calcio (Ca<sub>3</sub>(AsO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>), que es un producto casi insoluble y de esta manera dejarlo sin riesgo en el medio ambiente.
- El consumo de reactivos de lixiviación es alto, pero en un proceso continuo, las soluciones de lixiviación son recicladas al circuito primario de lixiviación, con lo que se logra disminuir sustancialmente, el consumo de reactivos (ver Figura N.º 4).

**Tabla N.º 5.** Resultados de pérdida de peso en lixiviación alcalina

Prueba N.º	Concentrado de flotación Gr	Residuo de lixiviación Gr	Pérdida de peso %
1	30	25.4	15.3
2	20	17.0	15.0
3	10	8.6	14.0

**Tabla N.º 6.** Resultados de lixiviación alcalina.

Producto	Leyes % (Ag en Oz/TC)					Recuperación %	
	Pb	Ag	Zn	As	Sb	As	Sb
Concentrado de flotación	32.30	216.0	6.20	1.34	12.25		
Residuo de lixiviación*	44.60	278.90	8.21	0.99	0.91	37.20	93.68

\* Concentrado limpio

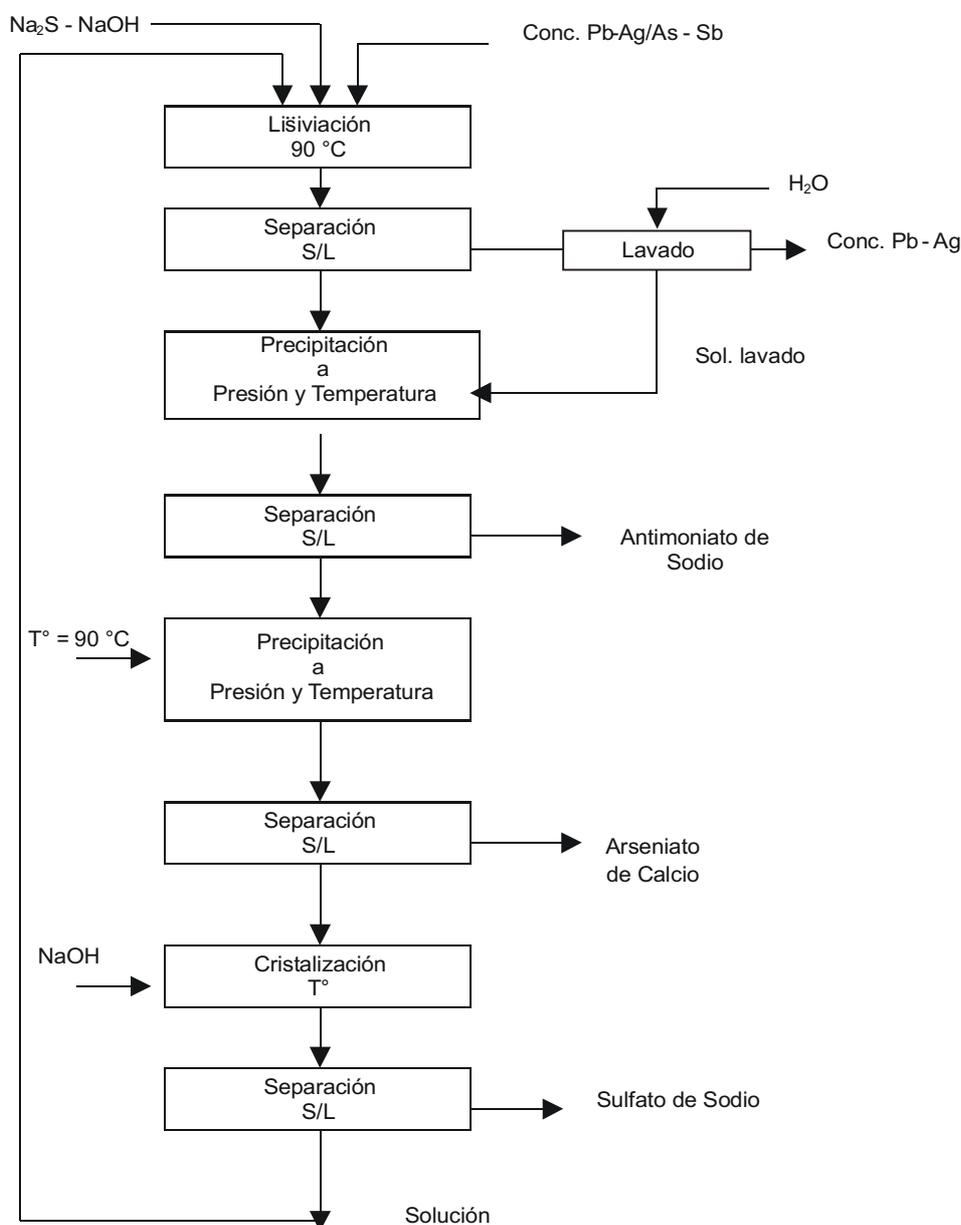
**4.2. Recomendaciones**

- La hidrometalurgia es lo más adecuado para concentrados con alto contenido de Sb, y la pirometalurgia la más conveniente para concentrados con alto contenido de As; no obstante, por razones medio ambientales, lo más recomendable es la lixiviación cuando están presentes en cantidades apreciables los dos contaminantes.
- Las condiciones de trabajo de lixiviación alcalina realizados para el mineral estudiado se pueden aplicar a otros concentrados con similares problemas; sin embargo, se debe encontrar los

parámetros más adecuados para cada caso específico. El diagrama de flujo mostrado en la Figura N.º 4 [6], puede servir de marco referencial a seguir para disminuir el As y Sb presentes en concentrados de flotación sucios.

**AGRADECIMIENTO**

Al Consejo Superior de Investigación de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por el financiamiento del Proyecto N.º 031601061-2003 y a todos los que colaboraron en el desarrollo de este trabajo de investigación.



**Figura N.º 4.** Diagrama de flujo de lixiviación de concentrados de Pb-Ag con alto contenido de As-Sb.

**V. BIBLIOGRAFÍA**

1. Ángel Azañero Ortiz. «Flotación de tres compositos de la minera Yuruchagua, Banco Minero del Perú». Cerro de Pasco, Informe Técnico N.º 1987, agosto 1987.
2. Ángel Azañero Ortiz. «Pruebas de flotación selectiva Bulk y lixiviación alcalina de muestras de mineral de la mina Santa Margarita», Banco Minero del Perú, Informe Técnico N.º 1837 LMC, abril 1986.
3. César Bado Pérez y Ruiz de Somocurcio A. «Condiciones generales de compra a la pequeña minería concentrados plomo-plata», MIMPECO, 1982, pp. 1-2.
4. Pedro Penagos y Harry Almonacid. «Condiciones de compra para la pequeña minería de Bulk de Zinc», 1982, pp. 1-4.
5. Roberto Orihuela Salazar. «Informe Técnico N.º 15, Complementario Minera Yaruchagua», mayo 1983, pp. 1-15.
6. Stan Dayton (ed.). «Extracción de As/Sb de un concentrado con alto contenido de plata-cobre», Traducción M. Gotizolo L., 1991, pp. 1-9.
7. Yoplac Castromonte Edwilde. «Tratamiento hidrometalúrgico de minerales de As y Sb», Laboratorio Metalúrgico, Banco Minero del Perú, pp. 1-5.
8. Wenner Joseph. Cu Concentrates with high As/Sb, Cía. Minera Hochschild, Lima-Perú, mayo 1973, pp. 1-8.