

ASPECTOS AMBIENTALES DEL TRATAMIENTO METALÚRGICO DE MINERALES DE TANTALIO

Carlos Velasco H.

Carrera de Ingeniería Metalúrgica
y Ciencia de Materiales
Universidad Técnica de Oruro

Resumen

En este trabajo, se realiza una revisión de los aspectos ambientales del procesamiento metalúrgico de tantalitas, las características físico-químicas de los efluentes que se producen durante el tratamiento, una revisión de la reglamentación existente sobre el tema, y se muestra una evaluación del impacto sobre el medio ambiente y la salud humana.

Se concluye que para la implementación en el país de una planta metalúrgica para el procesamiento de tantalitas, es necesaria la instalación de una etapa de tratamiento de sus efluentes, que responda a los siguientes fines:

- Reciclar reactivos a las etapas de tratamiento.
- Recuperar metales de valor económico (W, Sn, Be, Mn, tierras raras).
- Precipitar metales en la forma de sales insolubles e inertes hacia el medio ambiente.
- Obtener un efluente final libre de contaminantes y que cumpla con las regulaciones de los reglamentos ambientales.

1. Introducción

El tantalio es un metal esencial para la industria electrónica; su utilización en condensadores, microprocesadores, microcircuitos de computadoras y teléfonos celulares, ha incrementado la demanda mundial de este metal; debido a que no irrita los tejidos orgánicos, es esencial para la fabricación de material quirúrgico. Sus propiedades anticorrosivas hacen del referido metal un material ideal para la construcción de reactores para la industria química.

La escasez de reservas y la baja producción mundial, hacen que este metal tenga un precio elevado.

La región del precámbrico boliviano, situada en la parte oriental del país, es rica en una variedad de especies minerales, entre las que se encuentran la tantalita [(Fe,Mn)Ta₂O₆] y la columbita [(Fe,Mn)Nb₂O₆] [1].

La producción de tantalita está a cargo de cooperativas y empresas pequeñas, que se encuentran situadas en las provincias Velasco y Ñuflo de Chávez de Santa Cruz. Las exportaciones de este mineral en el año 1998 fueron de 15,264 kg, por un valor de \$us 559,827; en el año 2000 la producción fue de 9,403 kg con un valor bruto de \$us 40,608 [2].

2. Proceso de tratamiento de minerales de tantalio

En la Universidad Técnica de Oruro, se ha adecuado un flujograma para el tratamiento de minerales de tantalita producidos en el país, con el fin de obtener productos intermedios (óxidos y fluotantalato) [8].

El procesamiento, comprende las etapas de beneficio de los minerales, lixiviación, fusión y cristalización.

Las etapas de procesamiento, llevan a la obtención de los siguientes efluentes:

- Efluente 1. Efluente de lixiviación alcalina del fundido.
- Efluente 2. Efluente del lavado del residuo de la lixiviación alcalina con agua
- Efluente 3. Efluente de la lixiviación con HCl
- Efluente 4. Efluente del lavado con agua ácida
- Efluente 5. Efluente de la cristalización del fluotantalato de potasio.

Su composición química es variable y depende básicamente del contenido de impurezas de los concentrados que ingresan al proceso

3. Características de los efluentes

Los efluentes del tratamiento metalúrgico de los minerales de tantalio, corresponden a la categoría de “residuos líquidos con constituyentes minerales” [12], son efluentes que contienen fundamentalmente metales pesados, complejos, compuestos halogenados y una serie de sustancias inorgánicas que presentan un elevado índice de toxicidad y peligrósidad.

Los valores de los parámetros físicoquímicos más importantes son mostrados en la siguiente tabla de una manera cualitativa para los contaminantes principales:

TABLA 1. Características de los efluentes del proceso de tratamiento de tantalitas.

PARAMETROS	EFLUENTE 1	EFLUENTE 2	EFLUENTE 3	EFLUENTE 4	EFLUENTE 5
PH	14	7.5 – 8.5	1	5.5 – 6.5	2
Temperatura	70 °C	20 °C	45 °C	20 °C	20 °C
Sólidos disueltos totales	Muy alto	Bajo	Muy alto	Bajo	Medio
DQO	Muy alto	Bajo	Muy alto	Medio	Alto
Sólidos sedimentables	Bajo	Bajo	Muy bajo	Bajo	Muy bajo
Na	Muy alto	Medio	Bajo	Muy Bajo	Muy bajo
CO ₃ ⁻²	Muy alto	Medio			
OH ⁻	Muy alto	Medio			Medio
Cl			Muy alto	Medio	Muy bajo
F					Alto
Fe	Muy bajo		Muy alto	Medio	
Mn	Muy bajo		Muy alto	Medio	
Ta					Bajo
Nb					Medio

La presencia o ausencia de las impurezas metálicas presentes como cationes o aniones en los diferentes efluentes en concentraciones mayores a las prescritas por los reglamentos ambientales es:

TABLA 2. Posibles contaminantes metálicos en los efluentes

METAL	EFLUENTE 1	EFLUENTE 2	EFLUENTE 3	EFLUENTE 4
Al			+	+
Sb			+	+
Cr ⁺²			+	
P	+			
Si	+	+		
Sn			+	
W	+	+		
U	+	+		
V	+	+		
Mo	+	+		
Ba			+	+
Mg		+	+	+

De acuerdo al criterio CRETIB (Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable, Biológico – infeccioso), los efluentes pueden ser considerados como residuos líquidos peligrosos.

4. Reglamentación sobre descargas líquidas

El Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica regula las descargas de los efluentes, con el fin de preservar y controlar de la contaminación con el objeto de conservar la calidad hídrica.

Las descargas líquidas no deben exceder los límites de los parámetros del anexo A – 2 de este reglamento (tabla 3).

5. Impacto sobre el ambiente y la salud humana

La incidencia mediambiental del tratamiento de las tantalitas, es importante a pesar del reducido tamaño de las instalaciones, y se centra fundamentalmente, en el

vertido de aguas residuales que contienen elevadas concentraciones de metales pesados, así como valores extremos de acidez y alcalinidad.

El vertido es originado de manera puntual (discontinuo) cuando se procede a la lixiviación de los sólidos o el lavado de los mismos. Este vertido es de menor importancia en cuanto a su volumen, pero su repercusión es grave dada la elevada concentración de contaminantes. Este tipo de aguas residuales puede ser considerado como un residuo líquido, si en vez de evacuarse a través del conducto de aguas residuales, se almacena convenientemente para ser tratado posteriormente.

TABLA 3. Límites permisibles para descargas líquidas en mg/l [13].

PARÁMETROS	PROPUESTA	
	DIARIO	MES
PH	6.9	6.9
Temperatura (*)	± 5 °C	± 5 °C
Sólidos suspendidos totales	60	
DBO5	80	
DQO (e)	250	
Cobre	1.0	0.5
Zinc	3.0	1.5
Plomo	0.6	0.3
Cadmio	0.3	0.15
Arsénico	1.0	0.5
Cromo +3	1.0	0.5
Cromo +6	0.1	0.005
Mercurio	0.002	0.001
Fierro	1.0	0.5
Antimonio (&)	1.0	
Estaño	2.0	1.0
Cianuro libre (a)	0.2	0.10
Colifecales (NMP/100 ml)	1,000	
Aceites y grasas (c)	10.0	
Amonio como N	4.0	2.0
Sulfuros	2.0	1.0

(*) Rango de viabilidad en relación a la temperatura media del cuerpo receptor.

(a), (c), (e) Aplicable a descargas de procesos mineros e industriales en general.

(&) En caso de descargas o derrames de antimonio iguales o mayores a 2,500 kg se deberá reportar a la autoridad ambiental.

5.1 Efectos sobre los cuerpos de agua

Una evaluación sobre el potencial de contaminación de cuerpos de agua causado por efluentes de la planta de tratamiento de tantalitas en función de sus características principales muestra lo siguiente:

5.1.1 Alteraciones físicas

Materiales sólidos. La presencia de materias sólidas en disolución y/o suspensión le confiere a esta un grado de turbidez tal que en ocasiones puede impedir el paso de la luz a partir de determinadas profundidades, con los desequilibrios para el desarrollo de la vida acuática que ello puede acarrear.

Temperatura. Un primer aspecto dependiente de la temperatura es el grado de solubilidad que presenten las distintas sustancias solubles. La solubilidad de la mayoría de las sales en agua aumenta como consecuencia de una elevación de la temperatura. Por el contrario, la solubilidad de los gases disminuye al producirse un aumento de la temperatura.

Otro aspecto que depende de la temperatura es la velocidad y el rendimiento de las reacciones biológicas que se llevan a cabo en medio acuoso.

Color. La existencia de aguas con un color anormal muestra la existencia de sustancias disueltas o en suspensión. En el caso de las tantalitas, los efluentes 1 y 2 presentan una coloración azul – verdosa, y los efluentes 3 y 4 de verdosa a amarilla, características del hierro y manganeso disueltos en estas soluciones. El color intenso de estas soluciones es una muestra del elevado grado de contaminación por metales pesados de las mismas.

Radiactividad. La presencia de minerales de uranio y thorio como impureza en las tantalitas, hace que el manejo de estos minerales deba estar dentro de las normas de seguridad industrial para radiación. En las etapas de lixiviación estos metales puedan ser disueltos y crear vertidos con una radiactividad suficientemente elevada para representar un peligro cierto.

Los efectos de la radiación sobre los humanos pueden ser somáticos (anemia, fatiga, pérdida de cabello, cáncer, etc.), o genéticos (cambios hereditarios como resultado de mutaciones en las células reproductoras).

Los diferentes tipos de radiación producen diferentes efectos si la exposición es interna o externa. La exposición externa a las partículas alfa representa poco peligro debido a que difícilmente penetra la piel. Su ingestión puede ser lesiva puesto que pueden producir ionización externa al colisionar con los tejidos de los órganos. Las partículas beta son más pequeñas y se mueven más rápido que las alfa, pueden atravesar la piel y son peligrosas aún por exposición externa, internamente son más peligrosas que externamente, pero no producen tanta lesión como la exposición interna a las partículas alfa.

Debido a los potenciales efectos sobre la salud relacionados con la exposición a la radiación, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos ha establecido estándares para el agua potable y residual para varios tipos de radioactividad. Éstos incluyen las emi-

siones de partículas alfa, beta y fotones, uranio, radón, y dos isótopos del radio, el ^{226}Ra y el ^{228}Ra [14].

5.1.2 Alteraciones químicas

pH. El efluente de lixiviación del fundido tiene un pH de 14, y el de la lixiviación con HCl un pH de 1; el pH del cuerpo receptor se ve bruscamente modificado como resultado del vertido de estas sustancias.

El control de pH en el cuerpo receptor es muy importante, debido a que las variaciones de pH afectan considerablemente la vida de los microorganismos y plantas acuáticas, que sólo se pueden desarrollar en un medio cuyo pH está comprendido en un intervalo determinado, y por lo tanto si sale de éste mueren.

DQO. La medida del DQO es una estimación de las materias oxidables presentes en el agua, cualquiera sea su origen orgánico o mineral (hierro ferroso, nitritos, sulfuros y cloruros). El vertido de efluentes con elevado contenido de DQO, puede ocasionar un consumo elevado de oxígeno disuelto en el receptor, con las consiguientes consecuencias para los organismos que lo consumen.

La presencia de contaminantes inorgánicos puede además afectar la solubilidad del oxígeno disuelto en el agua.

Toxicidad. Las sustancias inorgánicas con carácter tóxico comprenden un grupo amplísimo, y cada una provoca diferentes alteraciones y precisa de un tratamiento distinto.

Los metales pesados son tóxicos incluso a muy bajas concentraciones, y se van acumulando en los organismos hasta alcanzar una concentración letal.

El EPA define los residuos tóxicos como aquellos que se consideran fatales para los seres humanos en dosis bajas o, no poseyendo datos de toxicidad humana, se ha mostrado en estudios que tienen una toxicidad oral de LD50 (rata) o menor de 50 mg/kg y una toxicidad por inhalación de LC50 (rata) o menos de 2 mg/l; o una toxicidad de piel de LD50 (conejo) o menos de 200 mg/kg; o por otro lado es capaz de causar, o significativamente contribuir, a un aumento de enfermedades graves irreversibles o no que causen incapacidad. Un residuo tóxico también es aquel que contiene o se degrada a materiales tóxicos relacionados, en concentraciones suficientemente grandes para suponer un riesgo potencial hacia las personas y/o al medio ambiente [15]

TABLA 4. Datos toxicológicos de las sustancias disueltas en los efluentes del tratamiento metalúrgico de tantalitas [16]

NOMBRE QUÍMICO	DRF ORAL mg/kg.día	DRF DE INGESTIÓN POR INHALACIÓN, mg/kg.día	CLASIFICACIÓN CARCINOGENICA
Antimonio	0.0004		
Arsénico, inorgánico	0.0003		A
Berilio	0.0005		B2
Cadmio	0.0005		B1
Ácido clorhídrico		0.002	
Cobre			D
Cromo III	1.00		
Cromo VI	0.0005		A
Fluor (como fluoruro)	0.006		
Manganeso	0.02	0.000114	D
Molibdeno	0.005		
Uranio, sales solubles	0.003		

- A Sustancia cancerígena para el ser humano
- B1, B2 Probable sustancia cancerígena para el ser humano
- C Posible sustancia cancerígena para el ser humano
- D Sustancia no clasificable en relación a su carcinogenicidad para el ser humano
- E Evidencia de no carcinogenicidad en el ser humano

En la tabla 5, se muestran los elementos tóxicos presentes en el agua, los métodos físico - químicos para su determinación y la concentración límite establecida por la norma europea para el agua potable.

5.2 Efecto sobre el alcantarillado

Si los efluentes del tratamiento de minerales son descargados directamente a una red de alcantarillado, tanto los metales pesados como otros residuos no metálicos pueden producir efectos tóxicos o inhibido-

res sobre el sistema de tratamiento de aguas negras, especialmente en el caso de tratamientos biológicos. Los metales pesados como el cobre, cinc, níquel,

plomo, cadmio y cromo, pueden reaccionar con las enzimas microbiológicas y retrasar o inhibir completamente el metabolismo.

TABLA 5. Elementos tóxicos presentes en el agua y sus efectos [12].

ELEMENTO	MÉTODOS DE MEDIDA	EFFECTOS SOBRE EL HOMBRE	CONCENTRACIÓN LÍMITE, mg/l
Antimonio	Rhodamina B	Se elimina por vía intestinal y renal	0.1
Arsénico	Método de Cribier Colorimetría Absorción atómica Polarográfico	Perturbación de los procesos de oxidación-reducción. Alteración del metabolismo glúcido-lipídico.	0.05
Cromo	Colorimetría Absorción atómica	Acción tóxica hepática, renal, cancerígena.	0.05
Cobalto	Colorimetría Absorción atómica	Sistema nervioso neuro-vegetativo, sistema cardiovascular.	1
Estaño	Colorimetría	Sólo son tóxicas las sales orgánicas. Se solubilizan en los líquidos orgánicos.	
Fluor	Electrodo específico	Alteraciones óseas. Alteraciones dentarias. Sintomatología neuro-muscular y gastrointestinal.	1.5
Níquel	Colorimetría Absorción atómica	Anomalías biológicas y alteraciones. Se acumula en el organismo.	0.1 a 0.05
Selenio	Colorimetría Polarografía Absorción atómica	Caries dentales. Trastornos digestivos, pulmonares, nerviosos y cutáneos.	0.05
Uranio	Fluorofotometría	Toxicidad química radioactiva de los distintos isótopos. Acción sobre las membranas proteicas (Impide la reabsorción de la glucosa en el tubo renal).	1.8
Vanadio	Colorimetría Absorción atómica	Alteración del metabolismo del colesterol, azufre y calcio. Alteraciones enzimáticas. Disminuye las resistencias inmunológicas. Lesiones renales y hepáticas.	0.01
Talio	Polarografía	Sólo presente en aguas residuales industriales. Diversos síntomas de intoxicación.	

Los metales pesados presentes en forma de precipitados pueden solubilizarse como consecuencia de un cambio en el pH y reducir la eficacia de los procesos de tratamiento biológicos. La degradación de ciertos compuestos orgánicos, como los ácidos cianhídrico y húmico, puede provocar la liberación de metales tóxicos de complejos solubles y provocar a su vez nuevas alteraciones en la actividad biológica. Si no se consi-

gue una aclimatación y unas condiciones adecuadas, la presencia de algunos residuos no metálicos en concentraciones superiores a determinados valores también puede conducir a la pérdida de eficacia de los procesos de tratamiento biológico. Los niveles altos de metales pesados pueden inhibir la digestión anaerobia de las aguas negras de alcantarilla, y pueden

hacer inútiles los fangos para su aplicación al terreno o almacenamiento en vertederos controlados.

6. Conclusiones

Del estudio realizado, se puede concluir lo siguiente:

- Es necesario la realización de investigación aplicada sobre la explotación y el tratamiento de minerales no tradicionales, que lleve al desarrollo de la minería y la metalurgia en el oriente boliviano, en la región del precámbrico, dentro el marco de la protección al medio ambiente y el desarrollo sostenible.
- La instalación de una planta para el tratamiento metalúrgico de tantalitas, para obtener óxidos de tantalio y niobio, permitirá al país la creación de un polo de desarrollo en las provincias Ñuflo de Chávez y Velasco del departamento de Santa Cruz.
- El tratamiento metalúrgico de minerales de tantalio, produce efluentes tóxicos, reactivos, corrosivos, y eventualmente radiactivos, que son considerados como residuos líquidos peligrosos, que no pueden ser vertidos directamente a cuerpos de agua o al sistema de alcantarillado municipal, por lo que es necesario el tratamiento de estos para conseguir un efluente final que sea amigable con el medio ambiente.
- Debido a que los minerales de tantalio tienen como impurezas otros metales raros, que en las diferentes etapas de lixiviación se concentran en la fase líquida, la etapa de tratamiento de efluentes debe servir también para la recuperación de estos metales.

7. Referencias

1. Velasco, C.; "Aspectos ambientales del tratamiento metalúrgico de los minerales de tantalio", Maestría en Tecnología de Protección Ambiental", UTO, 2002.
2. Ministerio de Desarrollo Económico, Viceministerio de Minería y Metalurgia, "Anuario Estadístico Minero – Metalúrgico 2.000" Imprenta Editorial Tupak Katari, Sucre – Bolivia, 2001.

3. Rickles, R., "Exotic Metals", Noyes Development Corporation, Nueva York, 1965.
4. Miller, G. L., "Tantalum and Niobium", Butter Scientific Publications, Londres, 1959.
5. Borchers, P. Y Korineck, G., "Extractive Metallurgy of Tantalum", Extractive Metallurgy of Refractory Metals, Ed. Por H. Y. Sohn, O. Norman Carlson, J. Thomas Smith. The Metallurgical Society of AIME, 1980.
6. Ullman, F., "Enciclopedia de Química Industrial", Sección IV, Gustavo Gili Editores, España, 1932.
7. Kirk Othmer "Enciclopedia de Química Industrial"
8. Ajhuacho, E., "Tecnología del Tantalio", Perfil de Proyecto de Grado, Carrera de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, UTO, 2001.
9. Perry's Chemical Engineers' Handbook, Seventh Edition, Mc Graw-Hill, USA 2000.
10. Dean, J., "Manual de Química," Tomo II, McGraw-Hill, México, 1988.
11. Zamora, G., Apuntes de Tecnologías de Protección Ambiental II, Maestría en Tecnología de Protección Ambiental, UTO, 2000.
12. Seoáñez M., Medio Ambiente y Desarrollo: Manual de Gestión de los Recursos en función del Medio Ambiente. Ediciones Mundi-Prensa, España, 1998.
13. Reglamento en materia de contaminación hídrica, Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, 1995.
14. Sawyer, C.; McCarty, P.; Parkin, G.; "Química para Ingeniería Ambiental", Mc Graw Hill, Colombia, 2000.
15. Atallah S., Shah J., Control de residuos peligrosos, Risk & Industrial Safety Consultants Inc. México, 1999.
16. La Grega M., Buckingham P., Evans J., Gestión de residuos tóxicos, Volumen II. McGraw-Hill, México, 1998.
17. Metcalf & Eddy; Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización. Tomo I, Mc Graw-Hill, México, 1996.