

CONCENTRACIÓN DE MINERAL DE TUNGSTENO DE ATACAMA

Luis Valderrama, Mario Santander, Mario Guevara & Bruno Zazzali

Departamento de Metalurgia - CRIDESAT - Universidad de Atacama
Avenida Copayapu 485, Copiapó Chile
Fono: 056-52-206636 E-mail luis.valderrama@uda.cl

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es analizar la factibilidad técnica de concentrar un mineral de tungsteno a través de jig y mesa vibratoria. Para cada fracción granulométrica fue estudiada las variables de operación en función de ley de WO_3 en el concentrado y su recuperación. Los resultados indicaron que la ley de WO_3 para la fracción - 12 + 20 malla fue de 3,4%; en el rango -20 + 100 mallas tiene una ley de 3,7 % de WO_3 . En las pruebas de laboratorio utilizando un jig Denver, se obtiene un concentrado con una ley de 71,2 % WO_3 , y una recuperación de 24,9%. En la mesa Wilfley, donde se analizó con un ángulo de inclinación, los mejores resultados fueron obtenidos con un ángulo de 8°, obteniendo un concentrado de 42% WO_3 y una recuperación de 62,8%.

PALABRA CLAVE: Mineral de tungsteno, concentración gravitacional.

ABSTRACT

The objective of this work is to analyse the technical feasibility of concentrating a tungsten ore by using Jig and vibratory table. For each granulometric fraction the operation variables were studied according to WO_3 grade in the concentrate and the corresponding recovery. The results showed that WO_3 grade for fraction mesh -12 +20 was 3.4%; in the range mesh -20 +100 it had a grade of 3.7% WO_3 . In the laboratory tests, utilizing a Denver Jig, a concentrate with grade 71.2% WO_3 and a recovery of 24.9% were obtained. In the Wilfley table where the analysis had an inclination angle, the best results were got with an 8° angle, obtaining a concentrate of 42% WO_3 and a recovery of 62.8 %.

KEY WORDS: tungsten ore, gravitational concentration.

1. INTRODUCCIÓN

El tungsteno se encuentra en la naturaleza combinado con otros metales, como la scheelita (CaWO_4), wolframita [(Fe, Mn) (WO_4)], Ferberita (FeWO_4), Hübnerita (MnWO_4), y la Stolzita (PbWO_4). Los principales países productores de tungsteno en el mundo son: China (86%), le sigue Rusia (4,9%), Austria (1,5%), Canadá (2,9%), Bolivia (1,0%), Portugal (0,9%), Corea (0,7%), de acuerdo con USGS (2009).

Se le utiliza en aleaciones ferrosas 40%, carburo de tungsteno 38%, tungsteno metálico puro en alambre, barras y láminas representando el 15% y otras aplicaciones como varillas para soldar, cátodos para tubos, distribuidores de automóviles y en aeronaves con un 7%. Los precios del tungsteno aumentaron sustancialmente en el año 2006 y siguieron siendo fuertes a principios del 2007. El valor promedio de la tonelada métrica unitaria de concentrado de tungsteno, en los Estados Unidos, durante el año 2007 fue de US\$ 200, mientras que en el año 2007 bajo a US\$ 190.

El tratamiento de las menas de tungsteno, se realiza generalmente por medio de procesos de concentración gravitacional, fundamentalmente por el alto peso específico de los minerales de tungstenos ($5.900 - 7.500 \text{ kg/m}^3$), lo cual es ideal para este tipo de tratamiento. Sin embargo, esta técnica es eficiente para tamaños relativamente gruesos. Cuando el tamaño de liberación de la partícula de mineral de tungsteno es intermedio, se hace necesario el uso de una molienda fina, bajando drásticamente la eficiencia cuando se trata mediante concentración gravitacional. Asimismo, algunas menas de tungsteno, son fácilmente deleznable, produciéndose una porción de material fino en las etapas de chancado, las cuales no pueden ser recuperadas en el proceso gravitacional. Se requiere, entonces, de la flotación como medio para recuperar el tungsteno contenido en las partículas finas; según Mac Innis, and Shrewsbury (1987); Werner y otros (1998).

El proceso de tratamiento de los minerales de tungstenos se inicia primero sometiendo el mineral a una etapa de chancado, seguido de una molienda, que permite obtener la partícula útil completamente liberada. Posteriormente se realiza la concentración por medio de métodos gravitacionales, flotación o mezcla de ambos procesos cuando sea necesario. En algunos casos se aplica lixiviación y separación magnética. Finalmente, es necesario obtener un concentrado, que contenga como mínimo 65% de WO_3 , para ser comerciable en los diversos mercados internacionales.

En la Región de Atacama, existen distintas sierras con mineralización de tungsteno, las cuales se distribuyen en las provincias de Chañaral, Copiapó y Huasco. Entre los principales lugares se pueden mencionar San Pedro de Cachiyuyo, Cachiyuyo de Oro, Cachiyuyo de Llampos, Los Azules, Los Plomos, Sierra Monroy e Indiana y Cabeza de Vaca. Varios estudios han sido realizados con el objetivo de encontrar procesos para concentrar estos minerales de tungsteno, Valderrama y Li kao (1985), Tapia (2002), Maggi y Vega (2008).

La finalidad de este trabajo es concentrar, mediante métodos de concentración gravitacional, un mineral de tungsteno, con el fin de obtener un concentrado de tungsteno atractivo y comercial.

2. METODOLOGIA

El material utilizado, fue un mineral de tungsteno, proveniente de la mina María Luisa, de la Región de Atacama. Esta muestra fue seleccionada mediante luz ultravioleta; la cual fue chancada y clasificada para las pruebas de concentración gravitacional. La muestra fue separada por intervalos granulométricos, la fracción -12 mallas +20 mallas, fue usada para realizar las pruebas en Jig y la fracción -20 mallas +100 mallas en mesa vibratoria.

Las pruebas para las fracciones más gruesas fueron realizadas en un Jig Denver de laboratorio, y fue utilizando una criba de acero de abertura correspondiente a la malla 6. El flujo de agua se reguló por medio de un flujómetro conectado directamente a la red. Con relación al lecho se utilizó baritina, y el tamaño fluctuó sobre la malla 6 y bajo $3/8''$. Las variables de operación usadas fueron amplitud y velocidad de la pulsación y altura de la cama; las otras variables tales como dilución de la pulpa, abertura de tamiz, granulométrica del lecho fueron mantenidas de manera constante.

La caracterización mineralógica fue realizada usando microscopía óptica de polarización por luz transmitida, difracción de rayos X y microscopía electrónica. Los análisis químicos fueron realizados por fluorescencia de rayos X.

Las pruebas para la fracción -20 mallas +100 mallas se realizaron en una mesa vibratoria Wilfley, la cual está constituida por un tablero de PVC. La mesa presenta un sistema de agua de lavado, que consta de una tubería de 25 mm de diámetro, la cual contiene 15 micros aspersores que regulan el flujo de agua. El flujo de agua utilizado se reguló por medio de un flujómetro conectado directamente a la red. Solamente en las pruebas se varió los ángulos de inclinación de la mesa concentradora de 2° , 4° , 6° y 8° . Para todas las pruebas realizadas, los concentrados, mixtos y relaves obtenidos, fueron filtrados, secados en estufa y pesados, para posteriormente ser pulverizados para y analizados químicamente.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Análisis Químico de la Muestra de Tungsteno

En la tabla I, se aprecia la composición química del mineral de tungsteno. Se puede observar que los principales elementos son el silicio, en menores cantidades: aluminio, tungsteno, cobre, hierro etc. La muestra presenta una ley de cabeza de 2,9 % de tungsteno, se puede observar también una ley de silicio y aluminio, esto indica que es factible concentrar gravitacional estos minerales.

Tabla I. Composición química por elemento de la muestra de tungsteno.

Elemento	Si	Al	W	Cu	Fe	K	Ca
Porcentaje (%)	35,9	4,4	2,9	2,4	1,9	1,8	1,0

La composición mineralógica del mineral realizada mediante microscopía óptica, difracción de rayos X y microscopía electrónica reveló que la especie más abundante es el cuarzo, le sigue la scheelita, crisocola, malaquita, wolframita, magnetita, hematita, anfíbola y apatito.

3.2. Análisis Granulométrico

La tabla II muestra el análisis granulométrico del mineral de tungsteno. Se observa, que la fracción de material retenida en la malla -12 + 20 corresponde al 47,2 % del material, el 40,1% se encuentra retenido entre las mallas -20 + 100 y el 12,7 % restante se encuentra bajo la malla 100.

Tabla II. Análisis granulométrico de la muestra de tungsteno.

Malla	Abertura	Peso	Porcentaje Parcial	Porcentaje Acumulado	Porcentaje Pasante
ASTM	(mm)	(g)	(%)	(%)	(%)
12	1700	14,5	6,2	6,2	93,8
16	1180	53,7	22,9	29,1	70,9
20	0,850	42,5	18,1	47,2	52,8
40	0,425	49,2	21,1	68,2	31,8
50	0,300	19,4	8,3	76,5	23,5
70	0,212	15,1	6,4	82,9	17,1
100	0,150	10,3	4,4	87,3	12,7

La fracción -12 + 20; fue usada en las pruebas en jig, y que tiene una ley de 3,4% de WO_3 ; para la fracción -20 + 100 mallas, que fue utilizada en las pruebas de concentración gravitacional en mesa Wilfley entregó una ley 3,7 % de WO_3 .

El peso específico del mineral de tungsteno determinado mediante el método de Le Chatelier fue de 2.720 kg/m³. Este valor sirve como referencia para realizar la concentración gravitacional, tanto en jig Denver como en mesa vibratoria, indica también que la densidad del lecho del jig para una buena separación tiene que ser mayor al mineral, en este caso se utilizó baritina.

3.3. Pruebas de Concentración Gravitacional en Jig

3.3.1. Resultados variando el flujo de agua. En la figura 1, se observa la variación de la ley de WO_3 y la recuperación con respecto al flujo de agua. En estas curvas se visualiza que para un flujo de agua de 3,03 (L/min) se obtiene un concentrado con una ley de 39,1% WO_3 con una recuperación de 79,1 %; para un flujo de agua de 5,7 (L/min) se obtiene un concentrado con una ley de WO_3 de 71,2 % con una recuperación de 24,9 % y con un flujo de agua de 7,6 (L/min) se obtiene un concentrado con una ley de 69,1% WO_3 con una recuperación de 49,0 %. Se puede indicar que a la derecha de la intersección de ambas curvas, la ley de trióxido de tungsteno aumenta considerablemente pero se obtienen bajas recuperaciones. Esto indica a que al aumentar el flujo de agua se va obte-

niendo un concentrado cada vez más limpio, debido a que dicho flujo contrarresta el paso de partículas livianas a través de la camada, saliendo estas por un flujo transversal para ser eliminados como relaves.

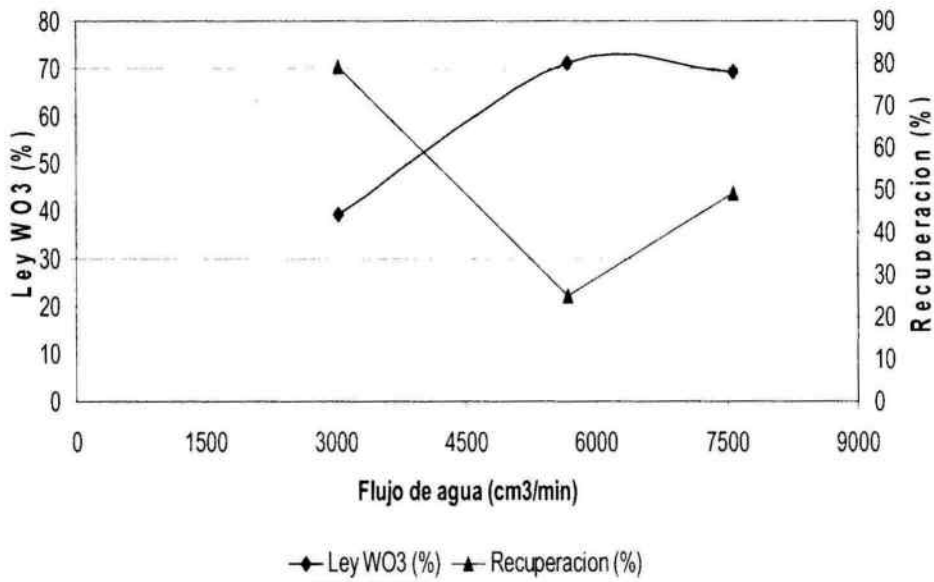


Figura 1. Resultados de leyes y recuperaciones obtenidos al variar el flujo de agua

3.3.2. Resultados variando la altura de la camada. La figura 2 muestra la variación de la ley de WO_3 y la recuperación con respecto a la altura de la cama. El concentrado obtenido con una cama de 2,54 centímetros, obtuvo una ley de WO_3 17,7 % con una recuperación de 79,9 %; con una altura de 3,81 centímetros, la ley es de WO_3 de 39,1 % con una recuperación de 79,1, y con una altura de 5,08 centímetros, la ley de WO_3 es de 57,2 % con una recuperación de 68,2.

En estas curvas se observa que a la derecha de la intersección de ambas curvas, se puede apreciar que a medida que la altura de la cama aumenta, la ley del concentrado aumenta, pero esto trae consigo una disminución considerable en la recuperación. El aumento de ley se debe al aumento de la altura de la cama, debido a que si se aumenta la altura de la cama, existe una menor probabilidad de que partículas livianas atraviesen la camada y se vayan directamente al concentrado.

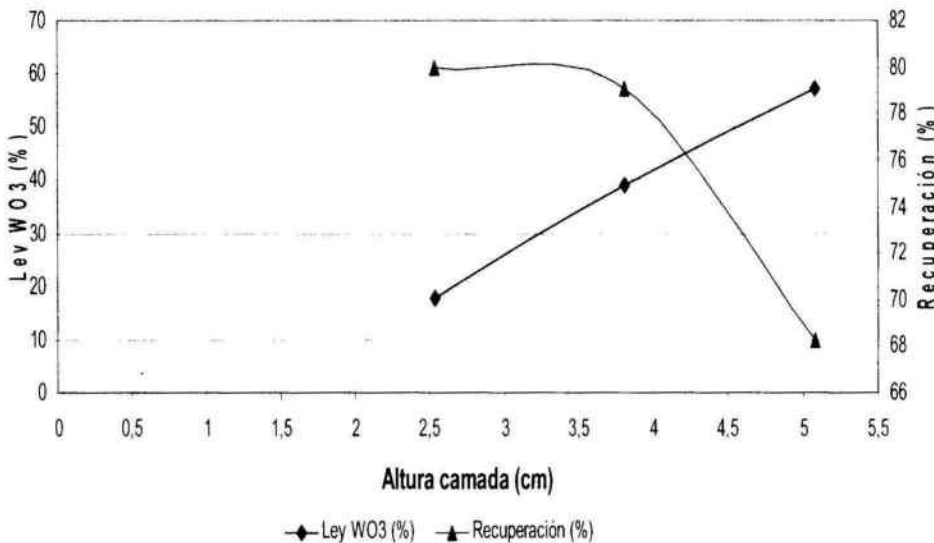


Figura 2. Resultados de leyes y recuperaciones obtenidos al variar la altura de la cama

3.3.3. Resultados variando la carrera del pistón. La figura 3 muestra la variación de la ley de WO_3 y la recuperación en función de la carrera del pistón. Se observa que para una carrera del pistón de 0,7 centímetros, se obtiene un concentrado con una ley de 17,7% de WO_3 con una recuperación de 79,9%; al aumentar el largo de la car-

raera del pistón a 1.5 centímetros, se obtiene un concentrado con una ley 16,0 % WO_3 con una recuperación de 86,3 %; cuando se trabajo con una carrera de pistón de 2 centímetros, se obtuvo un concentrado de 15,1 % WO_3 con una recuperación de 96,4 %.

A la derecha de la intersección de ambas curvas, se aprecia que a medida que la carrera del pistón aumenta, la ley del concentrado disminuye cada vez más, pero esto trae consigo un aumento considerable en la recuperación. La disminución de la ley en el concentrado se debe, a que al ir en aumento la carrera del pistón, permite un mayor aumento en la expansión de la camada, lo que permite un mayor paso de partículas livianas al concentrado, las cuales disminuirían la ley misma.

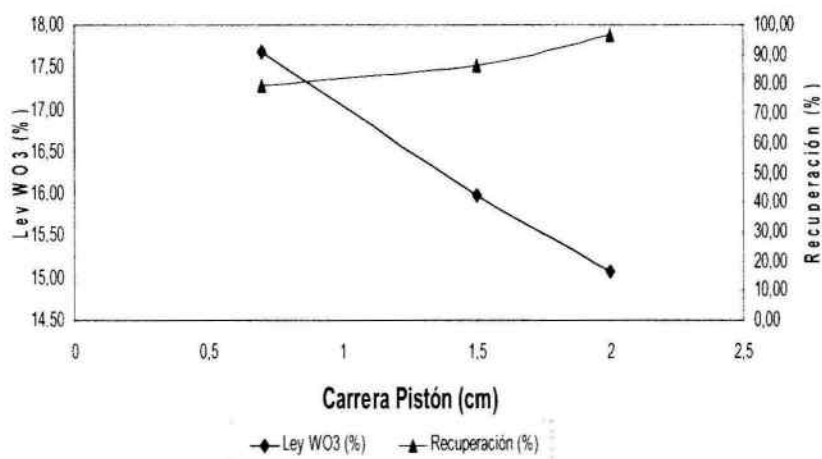


Figura 3. Resultados de leyes y recuperaciones obtenidos al variar la carrera de pistón

3.4. Pruebas de Concentración Gravitacional en Mesas Wilfley

La figura 4 muestra la variación de la ley de WO_3 y recuperación obtenidos al variar el ángulo de inclinación de la mesa Wilfley. Se puede observar que con un ángulo de inclinación de 2° , se obtiene un concentrado con una ley de 3,8 % de WO_3 , con una recuperación de 98,6; con un ángulo de 4° , se obtiene un concentrado con una ley de 7,8 % de WO_3 y una recuperación de 86,8 %; con un ángulo de inclinación de 6° , se obtiene un concentrado con una ley de 33,3 % de WO_3 , con una recuperación de 76,8 %; y con un ángulo de inclinación de 8° , se obtiene un concentrado con una ley de 42,0 % de WO_3 , con una recuperación de 62,8 %.

En estas curvas se visualiza que la ley de WO_3 es inversamente proporcional a la recuperación. A partir de la intersección ambas curvas, se puede apreciar que se establece claramente el ángulo de inclinación que puede diferencia una etapa rougher de una etapa cleaner. Se puede observar que a la izquierda de este punto las recuperaciones son altas y las leyes bajas, lo que indica que se está en presencia de una etapa rougher, en cambio a la derecha del punto de intersección la recuperación es baja, pero la ley es alta, lo que indica que se está en presencia de una etapa cleaner.

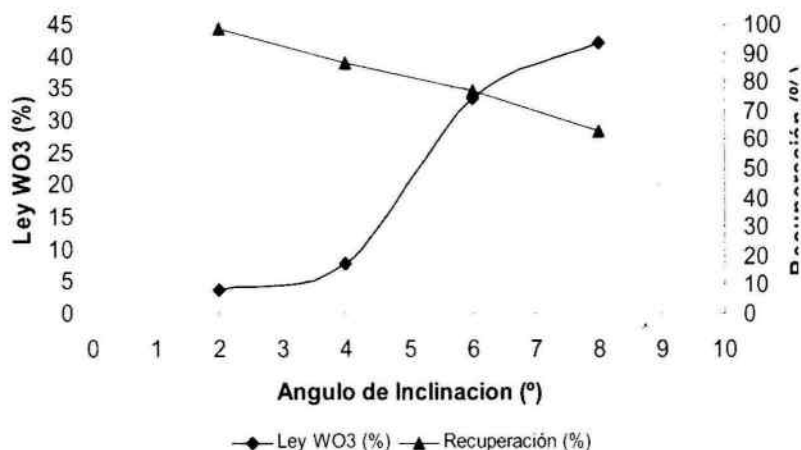


Figura 4. Resultados obtenidos al variar el ángulo de inclinación de la mesa Wilfley.

4. CONCLUSIONES

De las pruebas realizadas en este estudio y de los resultados obtenidos, se puede concluir lo siguiente:

- La muestra de tungsteno presenta una ley de alimentación de 3,6 % de WO_3 , con una alta ley de SiO_2 y Al_2O_3 . Al separar el mineral de tungsteno en fracciones de tamaño; para el rango - 12 + 20 mallas la ley es de 3,3% de WO_3 y para el rango -20 + 100 la ley es de de 3,7% de WO_3 .
- En las pruebas realizadas utilizando el jig Denver, los mejores resultados se obtuvieron con un flujo de agua de 5,7 (L/min), una altura del lecho de 2,54 (cm) y una carrera de pistón de 0.7 (cm), se obtiene un concentrado con una ley de 71,2 % WO_3 , con una recuperación de 24,9 %.
- En las pruebas utilizando la mesa Wilfley, los mejores resultados obtenidos fueron con un ángulo de inclinación de 8°, obteniendo un concentrado con una ley de 42,0 % de WO_3 y una recuperación de 62,8 %.

A partir de los resultados obtenidos en este estudio, se esta investigando el uso de espirales y la flotación para aumentar la recuperación de tungsteno.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Empresa Nacional de Minería (ENAMI) y al Centro de Regional de Investigaciones y Desarrollo Sustentable de Atacama (CRIDESAT) por el apoyo financiero.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Mac Innis, M.B and Kim Shrewsbury, "Proceedings of the Fourth Internacional Tungsten Symposium", U.K; MPR Publishing Services Ltda. Vancouver, September 1987.
- Maggi M. y Vega C. Beneficio de un mineral de tungsteno de la Región de Atacama. Universidad de Atacama, Trabajo para obtener el Titulo de Ingeniero Civil en Metalurgia, 2008.
- Tapia J. Estudios de micro flotación y potencial zeta en calcita y scheelita", Universidad de Atacama, Trabajo para obtener el Titulo de Ingeniero Civil en Metalurgia, 2002.
- U. S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2009
- Valderrama, L. y Li kao, J. Tratamiento Hidrometalurgico de Concentrados de baja Ley de Tungsteno. Anales de la Primera Jornada de Tungsteno, Copiapó, Pág. 48-55; 1985.
- Werner A, Sinclair D, Amey E, "International Strategic Mineral Issues, Summary Report – Tungsten" Washington; p:10 – 12, 1998.