

EXTRACCION DE Mo (VI) CON AMINAS TERCIARIAS EN UN REACTOR DE MEMBRANAS LIQUIDAS DE SOPORTE SOLIDO

F. VALENZUELA*, F. PIZARRO, C. BASUALTO, J. SAPAG Y C. TAPIA

Laboratorio de Operaciones Unitarias e Hidrometalurgia,
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas,
Universidad de Chile, P.O.Box 233- Santiago 1, Chile
e-mail*: fvalenzu@abello.dic.uchile.cl
(Recibido: Marzo 15, 2000 - Aceptado: Marzo 22, 2001)

RESUMEN

Esta comunicación describe el estudio de la recuperación y concentración de Mo(VI) con Alamine 336, una amina terciaria de larga cadena alquílica, desde una solución acuosa generada en la lixiviación ácida de concentrados de molibdenita, empleando un sistema extractor en base a membranas líquidas que utiliza "fibras huecas" como soporte sólido. Se observó un importante transporte y concentración de los iones de molibdeno desde la solución de alimentación hacia la fase acuosa de retroextracción. La transferencia de molibdeno a través de la membrana es fuertemente afectada por la concentración del extractante transportador en la película orgánica que conforma la membrana y por la adición de una cierta concentración de NH_4NO_3 en la solución amoniacal de stripping. El extractante Alamine 336 presentó una gran afinidad por Mo(VI), no detectándose coextracción notoria de otros metales existentes en la solución residual de lixiviación.

El mecanismo de transporte del metal en la membrana corresponde a un fenómeno de transferencia de masa con reacción química, controlado por la reacción de extracción de las especies iónicas de molibdeno con la sal de amina del extractante básico mediante intercambio de aniones. Sin embargo también es posible plantear que la permeación de los oxianiones de Mo(VI) a través de la fase membrana es controlada por fenómenos difusivos del metal basados en la diferencia de concentración de molibdeno a ambos lados de la membrana.

Los resultados comunicados en este estudio confirman la posibilidad práctica de recuperar y concentrar metales en este tipo de extractor de membrana líquida basado en la impregnación con un adecuado solvente orgánico de la estructura porosa de fibras huecas usadas como soporte sólido.

PALABRAS CLAVES: Membranas líquidas, fibras huecas, extracción, molibdeno, Alamine 336.

ABSTRACT

This communication describes the application of a hollow-fiber-type solid supported liquid membrane technique to the study of recovery and enrichment of molybdenum with Alamine 336 (a long chain tertiary amine) from acid leach residual solution of molybdenite concentrate. It was observed a notorious transport and enrichment of molybdenum ions from feed solution towards receiving strip liquor. The transport of molybdenum through the membrane was greatly influenced by the amine concentration in the organic film and by the addition of a certain amount of NH_4NO_3 into the stripping agent. Alamine presented a high affinity for Mo(VI) practically being not observed coextraction of all contaminant ions.

The transport of metal through the membrane corresponds to a mechanism of mass transfer with chemical reaction, controlled by the extraction reaction of ionic species of molybdenum with the amine salt of Alamine "carrier" via anion exchange. However it is

possible to indicate that under certain conditions, the Mo(VI) ions permeation through the organic membrane is expected to be a diffusion-controlled process based on metal concentration gradients at both side of membrane.

The results communicated in this report confirm the practical feasibility of recovery and enrichment of metals in this extractor using impregnated hollow-fibers-type liquid membranes.

KEY WORDS: Liquid membranes, hollow fibers, extraction, molybdenum, Alamine 336.

INTRODUCCION

En los últimos años se ha venido trabajando intensamente en la aplicación de las denominadas "membranas líquidas" para la recuperación y/o separación de iones metálicos desde soluciones acuosas, siendo posible indicar en estos momentos que se trata de una tecnología que será absolutamente competitiva con otros procesos convencionales de recuperación, tales como intercambio iónico con resinas sólidas (IX) y extracción líquido-líquido o extracción con solventes (SX) en reactores del tipo mezclador-decantador, hoy de intenso uso en los procesos minero metalúrgicos del país ^{1,2)}.

El concepto de membrana líquida fue introducido por Li ³⁾ y colaboradores hacia fines de los años sesenta para la separación de componentes orgánicos de sus mezclas. Su aplicación a la recuperación de metales fue primero descrita por Cussler ⁴⁾ y su grupo hacia fines de la década siguiente.

Tal como lo hemos informado anteriormente, existen dos tipos de membranas líquidas conocidas: las denominadas "de soporte sólido" en la cual un solvente orgánico es retenido en la matriz porosa de un polímero inerte y de naturaleza hidrofóbica y las membranas líquidas "surfactantes" o tensoactivas que corresponden a una doble emulsión agua/aceite/agua ⁵⁾.

Desde un punto de vista operacional, las membranas líquidas orgánicas transportadoras de metales contienen un extractante, normalmente específico para el ion metálico de interés, disuelto en un diluyente de naturaleza orgánico. En toda membrana líquida, los procesos de extracción y retroextracción (*stripping*) del metal ocurren simultáneamente en lados opuestos de ella. Este hecho permite establecer que el uso de esta tecnología en base a membranas es más simple que la de los procesos SX, conducidos normalmente en operaciones multietapas y con sub-etapas de separación de fases.

En los últimos años se ha alcanzado un avance sustancial en la recuperación de metales mediante este tipo de extractores de membrana líquida de soporte sólido ⁶⁻⁹⁾, en particular en lo concerniente al estudio del transporte selectivo de diferentes especies iónicas a través de la pared de la membrana, generalmente en estudios que consideran la extracción de ciertos metales a partir de soluciones sintéticas preparadas en laboratorio.

En este estudio se emplean extractores basados en membranas líquidas de soporte sólido del tipo "fibras huecas" (*hollow fibers*) de probada alta eficiencia de funcionamiento, y que presenta una mayor área y habilidad de flujo respecto a sus similares de configuración "plana".

En la actualidad hemos podido avanzar en proponer mecanismos para clarificar el proceso de transporte del metal a través de la membrana, incluyendo un modelo de reacción interfacial heterogénea que considera la adsorción interfacial de la molécula extractante en la interfase entre las fases participantes ^{10,11)}. En otros estudios hemos explicado los resultados experimentales de la extracción de cobre mediante un modelo difusional que predice que la reacción química de extracción ocurriría en la interfase membrana líquida/solución acuosa de alimentación ^{12,13)}. Claramente se puede concluir por el momento, que la correcta elección del extractante y el medio acuoso de *stripping*, junto a parámetros de estabilidad de la membrana, constituyen los factores claves en la consecución de un sistema efectivo para la recuperación de metales ¹⁴⁾.

En esta comunicación se presentan los resultados de la recuperación selectiva de molibdeno (VI) desde una solución acuosa generada en la lixiviación ácida de concentrados de molibdenita (MoS_2),

empleando un sistema extractor en base a membranas líquidas que utiliza "fibras huecas" como soporte sólido. El propósito final de esta investigación es desarrollar un sistema práctico de recuperación o remoción de metales desde soluciones acuosas industriales. Los resultados obtenidos en este tipo de estudio contribuirán en forma importante en el diseño final de un módulo extractor a escala piloto, el cual se encuentra en etapa de pruebas exploratorias.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

En la preparación de la membrana líquida se utilizó como transportador selectivo de molibdeno el extractante Alamine 336 [*tri-(C₈-C₁₀) amina*], una amina terciaria comercial de Chile Hartig-Henkel, la cual fue utilizada tal cual fue recibida, sin purificación adicional. Corresponde a un líquido amarillo pálido, de peso molecular 392 g/mol-g y que posee una densidad relativa de 0,81 (25°C) y una viscosidad absoluta de 11 cp (30°C). En su disolución se empleó n-hexano técnico. No se requirió el uso de algún reactivo modificador de fase durante los experimentos.

Como soporte sólido se utilizaron fibras huecas microporosas de politetrafluoroetileno (Japan Gore Tex), de alta resistencia química y mecánica, muy flexibles, cuyas especificaciones indican 50-60% de porosidad, 2,0 mm como máximo tamaño de poro, 1,0 mm de diámetro interno, 1,8 mm de diámetro externo y 230 mm de longitud efectiva.

La fase acuosa de alimentación contenedora de molibdeno, correspondió a una solución de descarte del proceso de lixiviación con HNO₃ de los concentrados de molibdenita de la División El Salvador de Codelco, Chile. Es una solución fuertemente ácida cuyo pH promedia un valor de 0,5 y que presenta una densidad relativa de 1,05 a 20°C. La solución utilizada en estos experimentos contiene entre 1,0 y 1,4 g/L de Mo(VI), 0,4 g/L de Cu(II), 0,4 g/L de Fe(III), y contenidos menores y variables de Re(VII) y de otros elementos. La elevada fuerza iónica de esta solución fue mantenida constante durante todos los experimentos. Como solución acuosa aceptora del metal, es decir de retroextracción, se emplearon soluciones concentradas de NH₄OH y NH₄OH/NH₄NO₃.

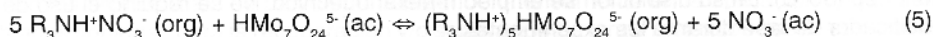
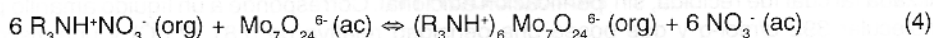
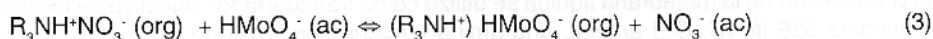
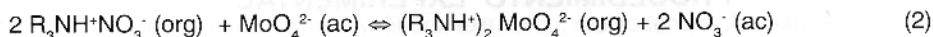
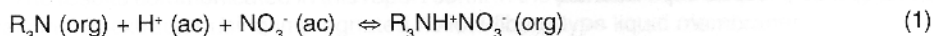
En la Figura 1 se presenta un esquema del equipo extractor, el cual consistió en incluir varias fibras huecas en el interior de una carcaza de vidrio de 16 mm de diámetro interno, provista de una doble pared para la circulación de agua a una temperatura constante de 30°C.

Las fibras fueron previamente impregnadas mediante circulación a través de ellas de la fase orgánica por el tiempo mínimo necesario. Debido al carácter hidrofóbico de las fibras, la estructura porosa de ellas se llenan rápidamente con el solvente que contiene el extractante transportador del metal. Posteriormente, las fibras impregnadas fueron contactadas con la solución acuosa de alimentación y la solución amoniacal de retroextracción, las cuales fueron hechas circular por el exterior e interior de las fibras respectivamente, mediante bombas peristálticas Masterflex durante un tiempo variable, con velocidades de flujo de 1.10^{-7} a 1.10^{-9} m³/seg. Con el propósito de mantener retenida por capilaridad la solución orgánica en la estructura porosa de la membrana y así evitar contaminación de ella hacia las fases acuosas, se debió mantener presiones de flujo adecuadas a ambos lados de la membrana. Muestras de ambos efluentes acuosos (*refino y licor de stripping*) se tomaron a intervalos de tiempo para determinar la concentración de los iones metálicos. A excepción de molibdeno, el contenido de todos los otros metales se determinó mediante espectrofotometría de absorción atómica en un equipo GBC-902. La concentración de molibdeno fue medida empleando una técnica espectrofotométrica UV-Visible en un equipo UV/VIS UNICAM UV3, a 477 nm, tal como ha sido descrito anteriormente¹⁵.

RESULTADOS Y DISCUSION

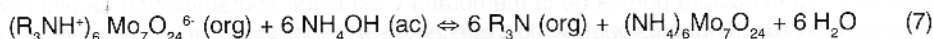
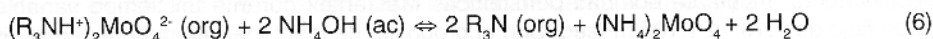
Es posible establecer que el mecanismo de extracción de molibdeno con Alamine 336 en un extractor de membrana líquida, que emplea *fibras huecas* como soporte sólido, procedería por difusión de los iones de molibdeno desde el seno de la solución de alimentación hacia la pared externa de las fibras, fase que actúa como barrera física difusora. Considerando por una parte, la química del molibdeno en soluciones acuosas, los múltiples estados de oxidación que presenta, y las diversas especies iónicas que presentaría a su vez en cada estado de oxidación^{16,17}, y que dado el fuerte carácter oxidante de la solución empleada en este estudio en la cual el metal se encuentra totalmente oxidado al estado

hexavalente y, que en las condiciones de pH de la solución, predominarían las especies aniónicas de este metal y, tomando en cuenta por otro lado el mecanismo de extracción del extractante básico Alamine 336 del tipo intercambio aniónico, es posible pensar que, al impregnarse completamente la estructura porosa de las fibras con la amina, el siguiente tipo de reacciones ocurriría en la interfase:



Los términos (org) y (ac) denotan soluciones orgánicas y acuosas respectivamente, adyacente a la interfase. La ecuación 1 representa la formación de la sal de amina, mientras que las ecuaciones 2-5 representan los intercambios aniónicos entre el extractante transportador y las especies predominantes de molibdeno (VI), bajo las condiciones de transporte ¹⁷⁾. Tal como ha sido explicado en un trabajo anterior ¹⁸⁾, Alamine 336 contiene un átomo de nitrógeno básico que es capaz de formar sales de amina con una gran variedad de ácidos orgánicos y ácidos inorgánicos, tales como el HNO₃ usado como medio acuoso en este estudio. Este extractante actúa en base a un mecanismo de formación de pares iónicos o asociación iónica. La especie R₃NH⁺, que corresponde a una especie orgánica de gran tamaño y cargada positivamente, es capaz de causar la extracción de complejos metálicos aniónicos hacia la fase orgánica, provocando al mismo tiempo la expulsión de iones nitrato hacia el refino. Los complejos Mo(VI)/ R₃NH⁺ altamente solubles en la fase orgánica se forman rápidamente y en reacciones cuyo equilibrio químico está absolutamente desplazado hacia la derecha. Dicho equilibrio se explica por la gran afinidad de los iones NO₃⁻ con la amina y por la estabilidad de los oxicomplejos de Mo(VI) predominantes en la fase acuosa de alimentación. De la misma forma, a mayor afinidad relativa de los oxianiones de Mo(VI) por el catión orgánico (R₃NH⁺), las reacciones de intercambio aniónico representadas en las ecuaciones 2-5 ocurren más espontáneamente.

En el lado opuesto de la membrana ocurren las reacciones de retroextracción de los complejos Mo(VI)/amina con la solución amoniacal de *stripping*. En un medio amoniacal fuertemente básico, como el empleado en estos experimentos, se produce la formación de un licor de *stripping* constituido por soluciones de molibdatos de amonio, produciéndose la regeneración del extractante transportador R₃N que difunde en sentido contrario, hacia la interfase de extracción. En esta etapa del proceso ocurrirían los siguientes equilibrios de retroextracción:



A su vez las especies polimerizadas Mo₇O₂₄⁶⁻ sufrirían equilibrios de transformación a molibdatos del tipo siguiente:



En estado estacionario, el flujo promedio de molibdeno a través de la membrana líquida, J(Mo), expresado en mol-g/cm².seg, se obtuvo para la etapa de extracción a partir de un balance de masa para este metal en la fase acuosa de alimentación, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$J(\text{Mo}) = Q_{\text{aq}} \cdot C_{\text{Mo inicial}} \cdot E / (2\pi r_1 L) \quad (9)$$

Donde Q_{aq} y C_{Mo inicial} corresponden a la velocidad volumétrica (caudal) y al contenido inicial de molibdeno de la solución acuosa de alimentación respectivamente, E representa el grado de extracción de molibdeno [-], y r₁ y L el diámetro externo y la longitud efectiva de la fibra hueca empleada como

soporte sólido. A su vez, el grado de extracción del metal, E, que corresponde a la fracción del metal que difunde a través de la membrana líquida hacia la interfase de retroextracción, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$E = (C_{\text{Mo inicial}} - C_{\text{Mo final}}) / C_{\text{Mo inicial}} \quad (10)$$

Donde $C_{\text{Mo final}}$ indica el contenido del metal en el refino que abandona el extractor.

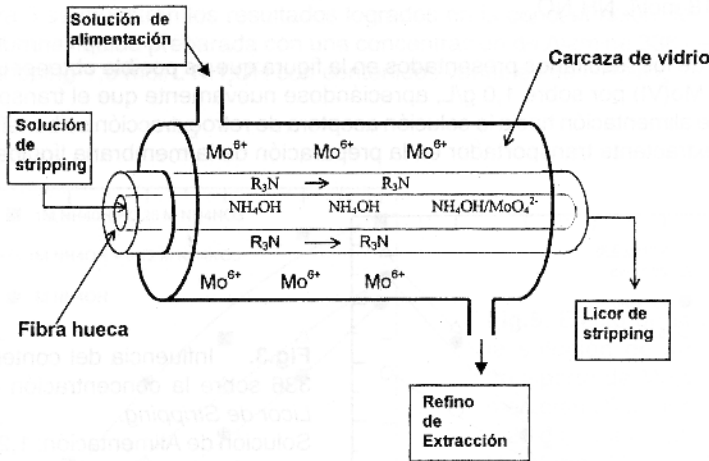


Fig.1. Esquema del extractor de membrana líquida.

En la Figura 2 se presenta la relación entre el flujo promedio de molibdeno, $J(\text{Mo})$, a través de la membrana, y el tiempo de proceso, siendo evidente que una condición de estado estacionario de transferencia del metal es alcanzado aproximadamente en una hora. Estos experimentos fueron realizados haciendo circular soluciones frescas de alimentación que contenían alrededor de 1100 mg/L de Mo(VI), con un pH inicial de 1,60. Como medio de *stripping* se emplearon soluciones 1,5 mol/L de NH_4OH , utilizando concentraciones variables del extractante Alamine 336 para impregnar la estructura porosa de la membrana. De la Figura se observa por un lado, que los flujos de molibdeno transportados alcanzan valores en un rango entre $1 \cdot 10^{-11}$ y $1 \cdot 10^{-10}$ mol-g/cm².seg, similares a los informados por otros autores en estudios que emplean otro tipo de transportador¹⁹⁾, los cuales resultan en promedio, un orden más alto que los alcanzados en sistemas de extracción convencional del tipo mezclador-decantador. A su vez, se observa un aumento del flujo de metal transportado con el aumento de la concentración de la amina terciaria en el solvente orgánico.

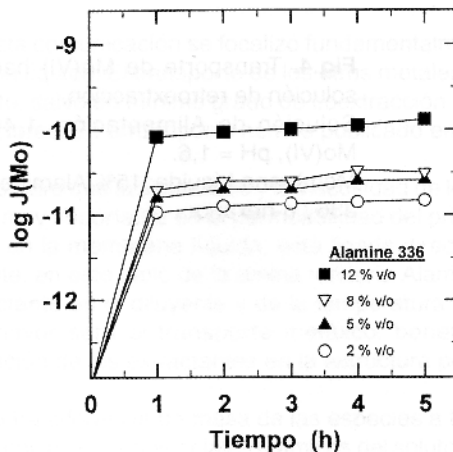


Fig.2. Efecto de la concentración de Alamine 336 sobre el flujo de Mo(VI) en estado estacionario.

Solución de Alimentación: 1,10 g/L Mo(VI), pH = 1,6.
Solución de Retroextracción: 1,5 mol-g/L NH_4OH .

Con el propósito de posibilitar la obtención de un *licor de stripping* concentrado en molibdeno, los siguientes experimentos fueron realizados bajo la modalidad de hacer recircular permanentemente la solución resultante de retroextracción (solución aceptora del metal) hacia el extractor, tal cual ocurre en el funcionamiento de una planta SX continua del tipo mezcladora-decantadora. La alimentación al proceso en estos experimentos estuvo constituida siempre por solución fresca al extractor, es decir sin recircularla.

En la Figura 3 se presenta el efecto de variar la concentración de Alamine 336 en la membrana líquida, sobre la concentración de molibdeno resultante en el *licor de stripping*, medida en mg/L de Mo(VI) en la solución amoniacal de retroextracción constituida en estos experimentos por una solución 2 mol/L $\text{NH}_4\text{OH} + 0,18 \text{ mol/L } \text{NH}_4\text{NO}_3$.

Se observa de los resultados presentados en la figura que es posible obtener un *licor de stripping* con contenidos de Mo(VI) por sobre 1,0 g/L, apreciándose nuevamente que el transporte neto de metal desde la solución de alimentación hacia la solución aceptora de retroextracción se beneficia con el aumento del contenido del extractante transportador en la preparación de la membrana líquida.

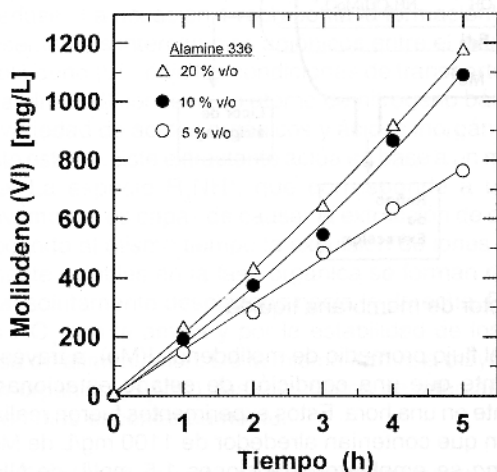


Fig.3. Influencia del contenido de Alamine 336 sobre la concentración de Mo(VI) en el *Licor de Stripping*.

Solución de Alimentación: 1,22 g/L Mo(VI), pH = 1,6. Solución de Retroextracción: 2,0 mol-g/L $\text{NH}_4\text{OH} + 0,18 \text{ mol-g/L } \text{NH}_4\text{NO}_3$.

En la Figura 4 se presenta el efecto de agregar una cierta concentración de NH_4NO_3 en el *licor de stripping*.

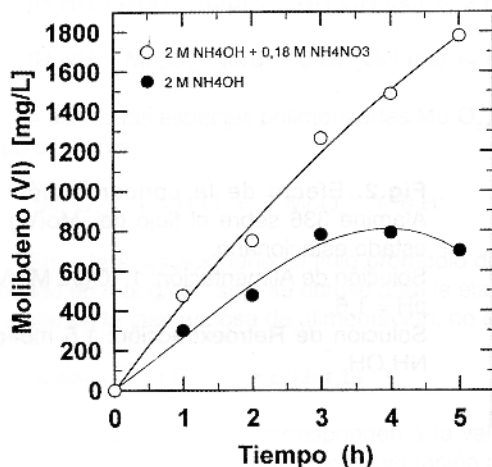
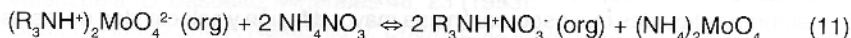


Fig.4. Transporte de Mo(VI) hacia la solución de retroextracción.

Solución de Alimentación: 1,40 g/L Mo(VI), pH = 1,6. Membrana Líquida: 15% Alamine 336 / n-hexano.

La adición de una cierta concentración de NO_3^- en el medio de retroextracción permitiría regenerar directamente en la interfase de retroextracción la sal de amina $\text{R}_3\text{NH}^+\text{NO}_3^-$, la especie activa en la extracción de especies aniónicas metálicas con Alamine 336, tal como se observa en las ecuaciones 1-5. De esta forma dicha especie difundiría en esa condición hacia la pared externa de la fibra hueca, aumentando por tanto la cinética global del proceso. Es posible pensar en el siguiente equilibrio de retroextracción, el cual ocurriría en paralelo a los planteados anteriormente en las ecuaciones 6 y 7.



En la Figura 5 se muestran los resultados logrados en la concentración del *licor de stripping*, al emplear una membrana líquida preparada con una concentración de Alamine 336 del 30% en n-hexano, una solución de *stripping* 1,0 mol/L NH_4OH con contenidos variables de NH_4NO_3 .

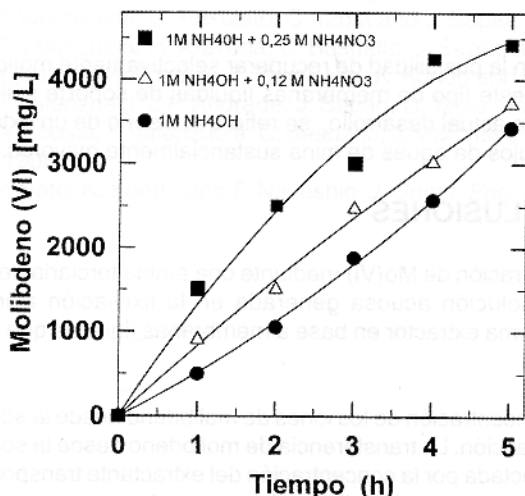


Fig.5. Efecto de la composición de la solución de *stripping* sobre el transporte de Mo(VI) a través de la membrana Solución de Alimentación: 1,27 g/L Mo(VI), pH = 1,6. Membrana Líquida: 30% Alamine 336 / n-hexano.

Se observa por una parte, que el transporte de Mo(VI) se beneficia al aumentar la adición de NH_4NO_3 en el medio de *stripping* y por otra, que los niveles alcanzados de molibdeno en el *licor de stripping* son superiores al emplear una membrana líquida con 30% de Alamine 336 en n-hexano. Dicho valor en la práctica constituye el límite superior del extractante transportador en el solvente orgánico. No sería posible aumentar en forma excesiva el contenido de extractante en la membrana líquida, pues ocurriría un aumento de la viscosidad de la solución orgánica que impregna las fibras, lo que se traduce en una difusión muchísima más lenta de todas las especies que migran a través de la membrana.

Esta comunicación se focalizó fundamentalmente en la transferencia de masa de molibdeno en la membrana líquida. El transporte de los otros metales presentes en la solución no fue detectado en forma importante, salvo un mínimo grado de coextracción de Fe(III), bajos ciertas condiciones de operación de los extractores. En otro reporte hemos publicado en extenso dichos resultados ¹⁵.

Es claro que la solubilidad y la viscosidad de los reactivos que impregnan la membrana constituyen un factor muy importante en la permeabilidad del proceso. La solubilidad, que afecta la difusividad de las especies en la membrana líquida, está ligada directamente a la lipofilicidad de la cadena alquílica del extractante, en este caso de la amina terciaria Alamine 336. La viscosidad depende de la concentración del extractante en el diluyente y de la temperatura de transporte. A mayor lipofilicidad de la membrana líquida mayor será el transporte metálico, beneficiándose además la calidad y estabilidad de la impregnación de los extractantes en la estructura porosa de las fibras huecas altamente hidrofóbicas.

La transferencia de masa de las especies a través de la fase membrana propiamente tal se basa en la diferencia de los potenciales químicos del soluto (metal) en las dos soluciones acuosas (alimentación/

receptora de *stripping*), es decir la intensidad del flujo difusional del metal es controlado por la diferencia de concentración a ambos lados de la membrana. Es decir, se suma a las propiedades de selectividad que ofrecen los extractantes líquidos-líquidos, las mejoradas condiciones de permeación de especies por difusión en la membrana.

Sin embargo se pueden prever avances adicionales en esta tecnología. La síntesis de polímeros químicos de mejor calidad, de menor espesor de pared y mayor porosidad y tortuosidad, redundará en soportes sólidos de membranas líquidas que asegurarán una mayor difusión y selectividad de las especies transportadas en ella.

Se está preparando un reporte que comunicará en extenso y detalladamente un análisis cuantitativo completo de los resultados observados en este estudio, con el propósito de elucidar el mecanismo del transporte de molibdeno en este tipo de extractor. Dicho tratamiento matemático de los resultados experimentales observados emplea un método numérico basado en ecuaciones diferenciales que describe la disminución de la concentración del metal a lo largo de las fibras bajo determinadas condiciones de borde.

El propósito de este estudio se centraba en la posibilidad de recuperar selectivamente molibdeno desde una solución real de la minería mediante este tipo de membranas líquidas de soporte sólido. El paso siguiente de esta línea de investigación, y en actual desarrollo, se refiere al diseño de un extractor a escala piloto que permitirá el tratamiento de flujos de aguas de mina sustancialmente mayores.

CONCLUSIONES

Se ha estudiado la recuperación y concentración de Mo(VI) mediante una amina terciaria de larga cadena alquílica (Alamine 336) desde una solución acuosa generada en la lixiviación ácida de concentrados de molibdenita, empleando un sistema extractor en base a membranas líquidas que utiliza "fibras huecas" como soporte sólido.

Se observó un importante transporte y concentración de los iones de molibdeno desde la solución de alimentación hacia la fase acuosa de retroextracción. La transferencia de molibdeno desde la solución inicial a través de la membrana es fuertemente afectada por la concentración del extractante transportador en la película orgánica que conforma la membrana y por la adición de una cierta concentración de NH_4NO_3 en la solución amoniacal de stripping. El extractante Alamine 336 presentó una selectiva afinidad por Mo(VI), no detectándose coextracción notoria de otros metales existentes en la solución residual de lixiviación.

El mecanismo de transporte del metal en la membrana corresponde a un fenómeno de transferencia de masa con reacción química. Bajo ciertas condiciones de experimentación, el proceso global puede ser controlado por la reacción de extracción de las especies iónicas de molibdeno con la sal de amina del extractante básico mediante intercambio de aniones. Sin embargo también es posible plantear que la permeación de los oxianiones de Mo(VI) a través de la fase membrana es controlada por fenómenos difusivos del metal basados en la diferencia de concentración de molibdeno a ambos lados de la membrana.

Los resultados experimentales comunicados en este estudio confirman la posibilidad práctica de recuperar y concentrar metales en este tipo de extractor de membrana líquida basado en la impregnación de la estructura porosa de fibras huecas usadas como soporte sólido, con un adecuado solvente orgánico. El módulo extractor a escala piloto en actual prueba corresponde al de este tipo, demostrando que esta tecnología de reactores continuos en base a membranas, es una real alternativa a los procesos SX convencionales que funcionan en extractores del tipo mezclador-decantador.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento de esta investigación al Fondo Nacional para el Desarrollo de Ciencia y Tecnología (FONDECYT) proyecto N° 1980697. También desean expresar su gratitud a Japan Gore Tex y a Química Harting Chile Co. por la provisión de las fibras huecas y el extractante Alamine 336 respectivamente.

BIBLIOGRAFIA

1. L. Bromberg, I. Lewin and A. Warshawsky. *Hydrometallurgy*, **33**, 59 (1993).
2. B.M. Kim. *J. Membrane Sci.*, **21**, 5 (1984).
3. N.N. Li. *Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev.*, **10**, 215 (1971).
4. D.K. Schiffer, A. Hochhauser, D.F. Evans and E.L. Cussler. *Nature*, **250**, 484 (1974).
5. F. Valenzuela, C. Basualto. *Minerales* **48**, 23 (1993).
6. Y. Sato, K. Kondo and F. Nakashio. *J. Chem. Eng. Japan*, **23**, 23 (1990).
7. E. Anticó, A. Masana, M. Hidalgo, V. Salvadó and M. Valiente. *Hydrometallurgy*, **35**, 343 (1994).
8. J. Marchese, M. Campderrós and A. Acosta. *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, **64**, 293 (1995).
9. L. Hernández-Cruz, G.T. Lapidus and F. Carrillo-Romo. *Hydrometallurgy*, **48**, 265 (1998).
10. F. Valenzuela, F. Nakashio and K. Kondo. *Lat. Amer. Appl. Res.*, **24**, 33 (1994).
11. F. Valenzuela, C. Basualto, C. Tapia, J. Sapag and C. Paratori. *Minerals Eng.*, **9**, 15 (1996).
12. F. Valenzuela, C. Basualto, J. Sapag, C. Tapia y R. Verdugo. *Bol. Soc. Chil. Quím.*, **41**, 57 (1996).
13. F. Valenzuela, C. Basualto, J. Sapag and C. Tapia. *Minerals Eng.*, **10**, 1421 (1997).
14. F. Valenzuela, C. Basualto, C. Tapia and J. Sapag. *J. Membrane Sci.*, **155**, 163 (1999).
15. F. Valenzuela, H. Aravena, C. Basualto, J. Sapag and C. Tapia. *Sep. Sci. Technol.*, **35**(9), 1409(2000)
16. Y. Sato, F. Valenzuela, T. Tsuneyuki, K. Kondo and F. Nakashio. *J. Chem. Eng. Japan*, **20**, 317 (1987).
17. F. Valenzuela, J.P. Andrade, J. Sapag, C. Tapia and C. Basualto. *Minerals Eng.*, **8**, 893 (1995).
18. A. Acosta, F. Valenzuela, C. Basualto, J. Marchese and M. Campderrós. *Bol. Soc. Chil. Quím.*, **43**, 401 (1998).
19. Y. Sato, K. Kondo and F. Nakashio. *J. Chem. Eng. Japan*, **22**, 200 (1989).

