

Recibido: 11 / 11 / 2009, aceptado en versión final: 23 / 11 / 2009

## Estabilidad química de reactivos de extracción por solvente de cobre del tipo hidroxioxima bajo diferentes condiciones operacionales

Chemical stability of copper solvent extraction reagents type hydroxoxime under different operational conditions

Patricio Navarro<sup>1</sup>, Cristian Vargas<sup>1</sup> y Sergio Valladares<sup>1</sup>

### RESUMEN

En este trabajo, se estudió la estabilidad química de dos reactivos extractantes para cobre; uno sin modificador (LIX-860N-IC) y el otro conteniendo un modificador de baja viscosidad. Durante 103 días, se contactaron soluciones orgánicas de los reactivos extractantes disueltos al 35% en volumen en diluyente Shellsol 2046 AR con soluciones acuosas que contenían 35 g/l de cobre, 180 y 290 g/l de ácido sulfúrico, respectivamente, trabajando a dos condiciones diferentes de temperatura (25 y 45 °C).

Para ambos casos, se observó un efecto negativo del aumento de temperatura y concentración de ácido sulfúrico, efecto que comienza a visualizarse a partir del día número 50. Para el caso de la Aldoxima sin modificador, se observa un fuerte deterioro en las isotermas de extracción, carga máxima y la formación de aldehído en todos los casos a partir del día 53. En el caso de la Aldoxima con modificador de baja viscosidad, fue posible observar un leve deterioro en el desempeño metalúrgico respecto de su condición inicial a partir del día 53. Para la condición más severa, 45 °C y 290 g/l, la isoterma de extracción muestra una leve caída, la carga máxima disminuye, aproximadamente, un 25%.

**Palabras clave:** Cobre, extracción por solvente, hidroxioxima, estabilidad química.

### ABSTRACT

The chemical stability of two reagent extractants for copper, one without modifier (LIX 860N-IC) and the other containing a low viscosity modifier was studied. During 103 days the organic solutions (35% v/v in Shellsol 2046 AR diluent) were contacted with aqueous solutions containing 35 g/l copper, 180 and 290 g/l of sulfuric acid, respectively, working at two different conditions of temperature (25 and 45 °C).

For both cases a negative effect of increased temperature and concentration of sulfuric acid was found. This effect begins to display from the day 50. For the aldoxime without modifier the extraction isotherms and maximum load were deteriorate and the formation of aldehyde in all cases from day 53. For the aldoxime with low viscosity modifier was possible to see a slight deterioration in the metallurgical performance in relation with the initial condition from the day 53. For more severe condition 45 °C and 290 g/l the extraction isotherm showed a slight drop, the maximum load decreased by approximately 25%.

**Keywords:** Copper, solvent extraction, hydroxoxime, chemical stability.

<sup>1</sup> Universidad de Santiago de Chile (USACH), Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Metalúrgica. E-mail: patricio.navarro@usach.cl

## I. INTRODUCCIÓN

La extracción por solventes es un proceso de separación muy utilizado en muchas industrias, incluyendo la química, la metalúrgica, la farmacéutica y el tratamiento de aguas. En la hidrometalurgia del cobre, la separación de metales se logra mediante el uso de reactivos extractantes de alta especificidad, los cuales reaccionan selectivamente. Es muy importante que el reactivo extractante y el complejo ión cúprico-extractante sean muy solubles en la fase orgánica y tengan una muy baja o nula solubilidad en la fase acuosa. Los requerimientos de solubilidad en la fase orgánica exigen el uso de diluyentes con algún contenido de compuestos aromáticos, (Ritcey, 1984; Szymanowski, 1993).

Por el lado de la lixiviación química, se han desarrollado procesos que consideran la aplicación de altas temperaturas y presión como forma de acelerar o hacer más eficiente el proceso de disolución del cobre en el medio lixivante; y por el lado de la biolixiviación, se están estudiando nuevas bacterias o nuevos procesos biohidrometalúrgicos de manera de biolixiviar en forma más eficiente, minerales del tipo sulfuros y/o concentrados de cobre provenientes del proceso de flotación. En ambos casos, y a diferencia de los procesos de lixiviación química o biolixiviación realizados a temperatura y presiones normales, se obtienen soluciones que contienen mayores concentraciones de cobre, del orden de 30 a 50 g/l a temperaturas cercanas a los 35 - 40 °C. El hecho de trabajar con mayores concentraciones de cobre, obliga a aumentar la concentración y/o modificar la composición del reactivo usado en la etapa de extracción por solvente, lo cual impone exigencias operacionales y requisitos especiales para el o los reactivos extractantes a utilizar; lo anterior, con el fin de poder captar estas mayores concentraciones de cobre contenidas en las soluciones provenientes de las etapas de lixiviación, (Kordosky *et al.*, 2000; Haig, 2002).

Estas nuevas condiciones de mayor temperatura y mayores concentraciones de cobre y ácido en la solución de lixiviación someterá a la fase orgánica a condiciones de hidrólisis química y de degradabilidad más exigentes y drásticas que en las condiciones normales de operación actual, haciendo perder capacidad de extraer cobre, lo cual producirá un mayor consumo de extractante (Stepniak, 1981; Ritcey, 2002). El mercado ofrece algunas alternativas de reactivo extractante a estas nuevas exigencias, alternativas que no han modificado las moléculas de extractante conocidas desde hace 20 años, sino que han variado la composición de estos productos por adición de nuevos reactivos modificadores o mezclas de aldoximas y cetoximas, (Connor, 1991; Hurtado, 2003). Todo lo anteriormente planteado hace necesario conocer la

estabilidad química o degradabilidad que pudiesen experimentar los reactivos extractantes frente a estas nuevas condiciones operacionales de mayor acidez y temperatura.

## II. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Se sabe que los reactivos extractantes se degradan y producto de ello, se incorporan especies que afectarán adversamente las propiedades hidrometalúrgicas de la solución orgánica, incrementándose las pérdidas de orgánico y reduciéndose la eficiencia del circuito. El control de las causas más conocidas y difundidas de degradación de las hidroxioximas utilizadas en los circuitos de cobre son: Degradación química (hidrólisis química, presencia de nitratos, halógenos y manganeso), Degradación fotoquímica (por efecto de la radiación ultravioleta) y Degradación microbológica (Sastre, 2004; Sole, 2003).

**2.1. Hidrólisis química.** La principal reacción de degradación de oximas comerciales es la hidrólisis producida por el contacto entre la fase orgánica y el electrolito, que contiene altas concentraciones de ácido sulfúrico (180-260 g/l o superiores), los productos de esta degradación son aldehídos y cetonas dependiendo de la oxima de origen. La Figura N.º 1 muestra el mecanismo de reacción más probable que explica cómo se degrada la hidroxioxima por efecto de la presencia de ácido en un medio acuoso, se puede observar la pérdida del grupo oximino, lo cual altera la funcionalidad de la molécula de hidroxioxima, para formar finalmente la molécula de aldehído correspondiente.

El producto resultante presenta características muy diferentes a la de la molécula original. El hecho que una parte del reactivo orgánico se degrade afectará la eficiencia de la extracción de cobre. Se ha verificado que un incremento en la proporción de tridecanol o nonilfenol como agente modificador de fases, reducen la estabilidad de las oximas de acuerdo a la reacción de alcoholólisis que se muestra en la Figura N.º 2, el resultado global es el mismo que se muestra en el mecanismo de hidrólisis ácida.

**2.2. Degradación fotoquímica.** Estas reacciones toman lugar por efecto de la exposición del reactivo extractante a la luz solar (radiación ultravioleta). El resultado es la pérdida de carga de cobre, mayores tiempos de separación de fases y aumento de pérdidas por arrastre. La Figura 3 muestra el mecanismo más probable del efecto de la radiación ultravioleta sobre las moléculas de hidroxioximas. La reacción anterior se produce fundamentalmente en las piletas de refinación, donde la fase orgánica permanece expuesta a la radiación ultravioleta por algún tiempo y desde donde se

recupera fase orgánica por medios mecánicos. El producto final formado en esta reacción sería inerte al proceso de extracción de cobre, lo cual incide en la eficiencia de la oxima.

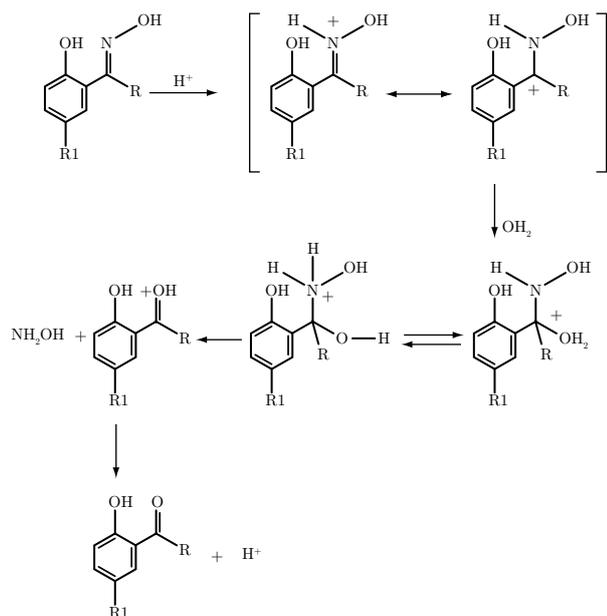
**2.3. Degradación microbiológica.** En los últimos tiempos, han surgido inquietudes sobre la probable actividad microbiológica sobre la fase orgánica, en la cual, debido a la acción de bacterias u hongos, podría producir degradación del reactivo extractante o del diluyente por acción de estos microorganismos. De existir esta actividad microbiológica, lo más probable es que ocurran reacciones del tipo que se indican en la Figura N.º 4.

Los microorganismos podrían actuar sobre la cadena alifática del sustituyente de la oxima y/o del diluyente. El mejor indicador de esta actividad sería la formación de ácido carboxílico, el cual debe ser evitado o removido del circuito, debido a que forma complejos de cobre muy estables y no son fácilmente extraíbles.

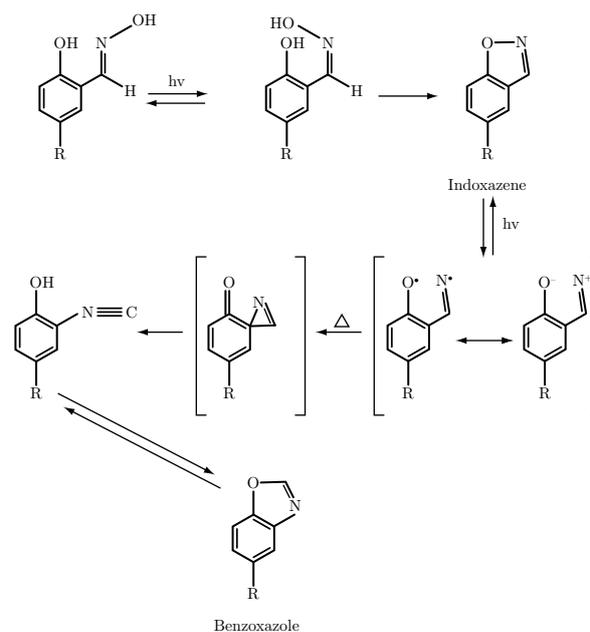
El objetivo de este trabajo de investigación fue estudiar y evaluar la estabilidad química o grado de degradación de dos tipos de aldoximas comerciales características, sometiéndolas a una combinación de dos factores o exigencias de tipo operacional, como son la temperatura y acidez sulfúrica, realizando pruebas experimentales a tiempos prolongados que alcanzaron a 103 días.

**III. PARTE EXPERIMENTAL**

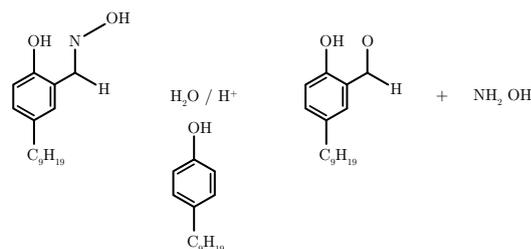
Se diseñó un plan experimental con el propósito de evaluar la estabilidad química de dos tipos de reactivos extractantes: Aldoxima no modificada concentrada LIX 860N-IC (Caso 1) y Aldoxima conteniendo un modificador de baja viscosidad LIX 612 N-LV (Caso 2), los cuales fueron disueltos en el diluyente Shellsol 2046 AR de la compañía Shell Chemicals Chile, siendo sometidos a dos distintas condiciones de temperatura y de concentración de ácido sulfúrico, usando para ello los electrolitos E1 y E2. Luego de contactos prolongados de las fases



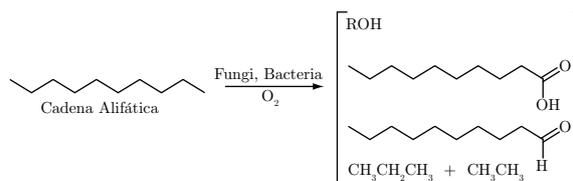
**Figura N.º 1.** Mecanismo de degradación de una hidroxioxima en medio ácido.



**Figura N.º 3.** Mecanismo de degradación fotoquímica.



**Figura N.º 2.** Mecanismo de degradación en presencia de un modificador.



**Figura N.º 4.** Mecanismo de degradación microbiológica.

orgánicas con estos electrolitos, a diferentes tiempos, se sacaron muestras de la fase orgánica y se construyeron con dichas muestras las isoterms de extracción, se determinó la carga máxima en cobre y se cuantificó la cantidad de aldehído formado. Se establecieron como niveles de evaluación las temperaturas de 25 y 45 °C y las concentraciones de ácido sulfúrico de 180 y 290 g/l.

La condición de 25 °C se logró manteniendo el medio de ensayo a temperatura ambiente del laboratorio. La condición de 45 °C se obtuvo llevando el medio de ensayo a un baño termostatzado. En ambos casos, se hizo uso de reactores de vidrio, equipados con sistema refrigerante y agitación mecánica.

En la Figura N.º 5, se muestran los reactores usados para las experiencias a 25 °C y 45 °C; en ambos casos,

se usaron reactores de vidrio de 1 litro de capacidad con bocas para la toma de muestras y mediciones de temperatura.

Las tablas 1 y 2 muestran las composiciones de las soluciones acuosas y orgánicas usadas en el trabajo experimental.

### 3.1. Procedimiento experimental

El procedimiento experimental obedeció a la siguiente secuencia de pasos en serie:

- Se tomaron 1000 cc de solución orgánica compuesta de uno u otro reactivo orgánico diluido al 35% en volumen en el diluyente Shellsol 2046 AR y 1000 cc de solución electrolito E1 y E2, respectivamente, dependiente de cada condición experimental en estudio.



Figura N.º 5. Reactores usados en ensayos de estabilidad química.

Tabla N.º 1. Soluciones acuosas

Solución acuosa	Composición	Identificación
Electrolito de cobre pH 1,15	15g/l de CuII; 5g/l de Fe II; 20g/l Ac. Sulfúrico	PLS, sintético
Electrólito E1, pH 0,95	30g/l de CuII; 5g/l de Fe II; 180 g/l Ac. Sulfúrico	E1
Electrólito E2, pH 0,95	30g/l de CuII; 5g/l de Fe II; 290 g/l Ac. Sulfúrico	E2

Tabla N.º 2. Soluciones orgánicas

Solución Orgánica	Composición
LIX 860N-IC	35% p/v en Shellsol 2046 AR
LIX 612N-LV	35% p/v en Shellsol 2046 AR

- Se contactaron ambas fases a la temperatura deseada en cada caso, y se tomaron muestras de fase orgánica a los tiempos de  $t=0$  días (condición de referencia);  $t=39$  días;  $t=52$  días y  $t=103$  días.
- A cada una de las muestras de solución orgánica obtenidas fueron sometidas a los ensayos para la construcción de Isoterma de extracción, Carga máxima y Medición de degradación hidrolítica. Para la realización de los ensayos de construcción de isoterma de extracción y carga máxima se utilizó la solución acuosa electrolito de cobre o PLS.

Los análisis de cobre de las soluciones acuosas fueron realizados mediante la técnica de absorción atómica, y la determinación de cobre en la fase orgánica se obtuvo por balances de masas de las fases acuosas.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

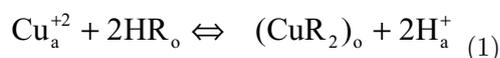
Se presentan los resultados del estudio de estabilidad química realizado con hidroxioximas comerciales de tipo aldoxima. La estabilidad química de los extractantes fue evaluada a través de pérdida de carga en cobre de la fase orgánica y por cambios en las isotermas de extracción además de la cuantificación de la formación de aldehído.

##### 4.1. Caso I: Aldoxima sin modificar (LIX-860N-IC)

El reactivo LIX-860N-IC corresponde a una aldoxima sin modificador y de mayor concentración que otras aldoximas comercialmente equivalentes. Este reactivo presenta una concentración 1,3 veces superior a LIX-860N-I, por lo cual la solución al 35% p/v de LIX-860N-IC es una solución concentrada (y tiene una concentración de aldoxima, de 64,5%), y por ende una mayor viscosidad.

##### 4.1.1. Isoterma de Extracción

La isoterma de extracción es una representación gráfica del equilibrio químico alcanzado en la reacción química de extracción de cobre (Ecuación 1):



Donde, los subíndices a y o representan a la fase acuosa y orgánica, respectivamente. Un mayor desplazamiento hacia la derecha de este equilibrio químico indicará una mayor capacidad de extracción de la aldoxima, por lo que cualquier alteración que pueda afectar la capacidad de complejamiento de cobre afectará la eficiencia de la aldoxima. Sin embargo, la isoterma no da cuenta de la presencia de los compuestos producto de una potencial degradación, solo indica la capacidad de extracción de la aldoxima. En este caso, las isotermas de extracción, Figura N.º 6, muestra una importante caída en la capacidad extractiva

de la aldoxima en todas las condiciones estudiadas (temperatura y concentración de ácido). Lo cual indica que se ha afectado notoriamente la capacidad extractiva de la aldoxima. El análisis de estas isotermas muestra que tanto las concentraciones de ácido usadas en ambos electrolitos y la temperatura de 45 °C son condiciones que deterioran la capacidad de extracción de la aldoxima sin modificar. El resultado obtenido con el electrolito conteniendo 180 g/l (E1) a 25 °C es importante de considerar ya que muestra solo el efecto del ácido en estas condiciones de concentración de la aldoxima, es decir, 35% p/v de LIX 860N-IC o 45,5% de aldoxima pura.

En la Figura 6b, se muestra el resultado obtenido para las isotermas a 45 °C, aquí se observa que el efecto de la concentración de ácido sumado a la temperatura provoca un mayor deterioro de la aldoxima sin modificar. Lo cual limitaría su uso a altas temperaturas y altas concentraciones de ácido sulfúrico. En ambos casos, la caída de las isotermas denota una menor capacidad de extraer cobre, lo cual puede estar asociado a la formación de aldehído o degradación del extractante, siendo mayor este efecto con el aumento del tiempo de contacto de las fases acuosas y orgánicas, y especialmente con el aumento de la temperatura. La reacción de degradación es la que se muestra a través de la Figura N.º 1.

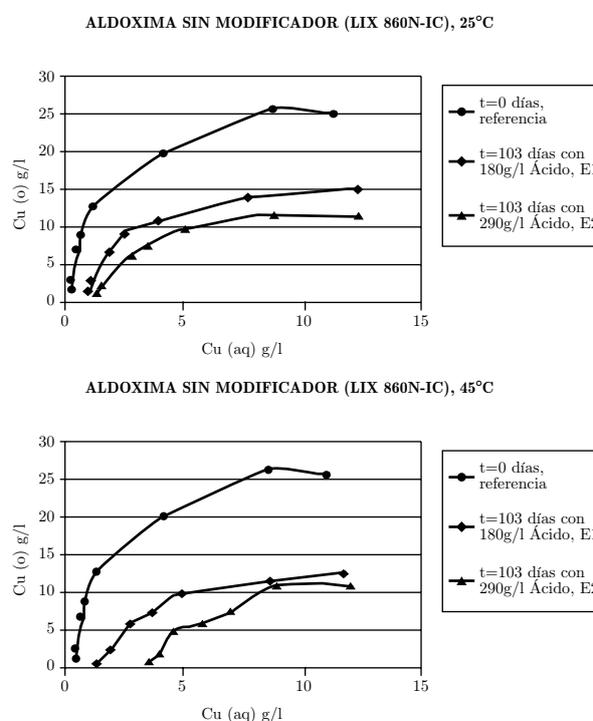
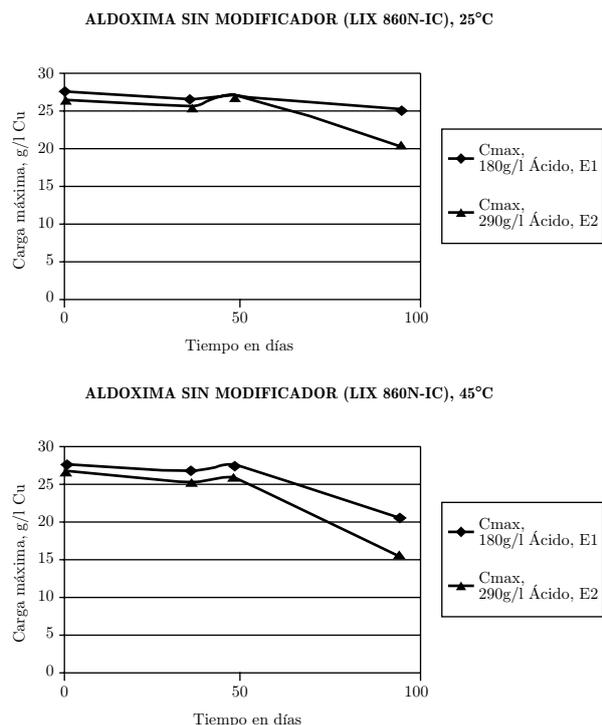


Figura N.º 6. Isoterma de Extracción de Aldoxima sin modificador. a) LIX 860N-IC a 25 °C. b) LIX 860N-IC a 45 °C. [LIX 860N-IC] = 35%; E1: Electrolito conteniendo 180 g/l de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; E2: Electrolito conteniendo 290 g/l de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.



**Figura N.º 7.** Carga Máxima Aldoxima sin modificar. a) LIX 860N-IC a 25 °C. b) LIX 860N-IC a 25 °C. [LIX 860N-IC] = 35%; E1: Electrólito conteniendo 180 g/l de H2SO4; E2: Electrólito conteniendo 290 g/l de H2SO4

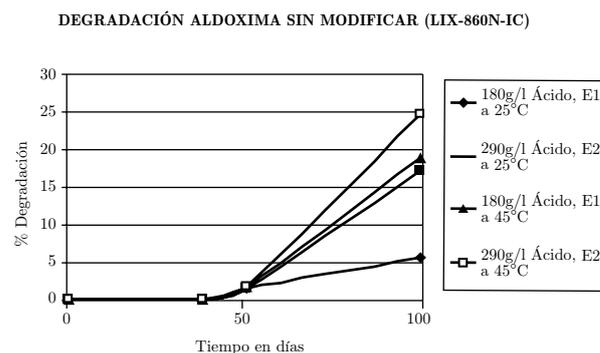
#### 4.1.2. Carga máxima

La Figura N.º 7 muestra el comportamiento en carga máxima de esta aldoxima. En la Figura 7a se puede ver que la carga máxima presenta una disminución de 8,12% con electrolito E1 y 21,7% con electrolito E2, lo cual está indicando que la concentración de ácido sulfúrico de 290 g/l está provocando serios daños a la aldoxima en tan solo 103 días.

La Figura N.º 7b muestra una fuerte disminución, de 27 a 14 g/l de Cu en el caso de la condición a 45 °C y 290 g/l de ácido. Podemos observar que al cabo de 103 días la carga máxima cae en, aproximadamente, 50%. Estos resultados confirman que el efecto combinado de alta concentración de ácido sulfúrico y alta temperatura son significativamente dañinos para esta aldoxima.

#### 4.1.3. Degradación hidrolítica

La degradación fue cuantificada por cromatografía en columna. De esta forma es posible separar selectivamente y cuantificar el analito derivado de la reacción hidrolítica de degradación, está técnica de análisis detecta y mide solo los compuestos con grupos aldehídos. La Figura 8 muestra que a partir del día 50 es posible comenzar a detectar la presencia del aldehído. Aquí también se observa,



**Figura N.º 8.** Degradación Hidrolítica a 25 y 45 °C. [LIX 860N-IC] = 35%; E1: Electrólito conteniendo 180 g/l de H2SO4; E2: Electrólito conteniendo 290 g/l de H2SO4.

al igual que en las isotermas y carga máxima, que los mayores efectos negativos se dan a 25 y 45 °C, con electrolito E2 conteniendo 290 g/l de ácido sulfúrico. El resultado obtenido con electrolito E1 conteniendo 180 g/l de ácido sulfúrico a 25 °C, es menor a 10%, y estaría dentro de los parámetros normales de degradación de los reactivos extractantes que trabajan en condiciones normales actuales de planta.

### 4.2. Caso 2: Aldoxima modificada, LIX-612N-LV

El reactivo LIX-612N-LV surge como una necesidad del mercado por contar con un reactivo que permita trabajar en plantas de extracción por solvente de cobre en concentraciones entre 35 a 50% p/v, considerando que debido a los nuevos procesos de lixiviación (a alta temperatura y presión) o biolixiviación de concentrados se esperan soluciones de lixiviación con altos contenidos de cobre, alta temperatura y que requerirán altos niveles de ácido sulfúrico.

#### 4.2.1. Isotermas de extracción

Las isotermas de extracción obtenidas para la condición de 25 °C, Figura N.º 9a, muestran que a dicha temperatura y a las dos concentraciones de ácido sulfúrico utilizadas, 180 y 290 g/l de ácido sulfúrico, no se produce un efecto nocivo significativo en la aldoxima modificada. Sin embargo, a 45 °C, se observa un efecto perjudicial cuando se contactó la fase orgánica con electrolito E1 y E2, tal como se muestra en la Figura 9b, atribuyéndose esta caída en las isotermas involucradas principalmente al efecto de la temperatura, ya que las curvas para las dos diferentes concentraciones de ácida prácticamente son las mismas. De acuerdo a lo encontrado, es posible deducir que para esta aldoxima modificada la caída en la isoterma de extracción luego de 103 días de contacto orgánico-acuoso se produjo principalmente por el efecto de la temperatura, siendo prácticamente menor el efecto de la acidez de los electrolitos, lo cual de-

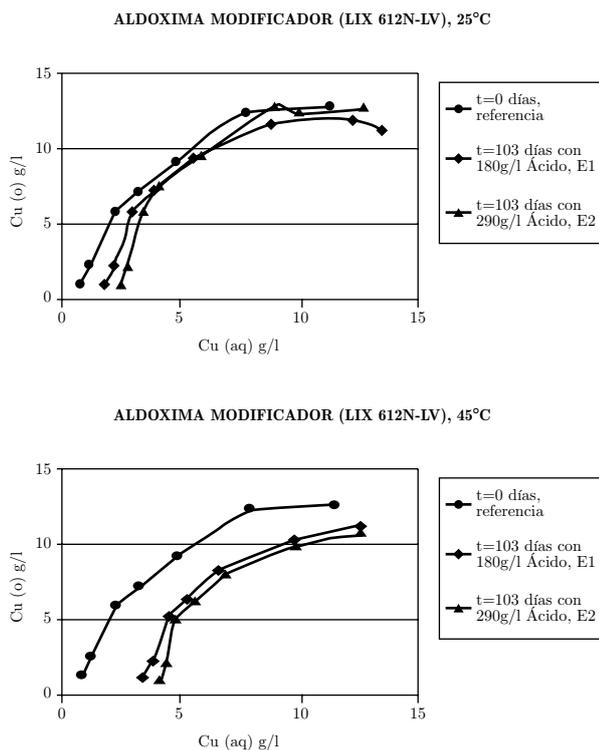


Figura N.º 9. a) Isoterma de Extracción LIX- 612N-LV a 25 °C. b) Isoterma de Extracción de LIX-612N-LV a 45 °C [LIX 612N-LV] = 35%; E1: Electrolito conteniendo 180 g/l de H2SO4; E2: Electrolito conteniendo 290 g/l de H2SO4

quiera estar relacionado con la degradación de este extractante.

#### 4.2.2. Carga máxima

Los resultados obtenidos en la evaluación de carga máxima para ambas temperaturas se muestran en la Figura 10. La observación de la figura 10a indica que a 25 °C, para ambas concentraciones de ácido sulfúrico, la aldoxima modificada presenta una buena estabilidad química. La variación es tan solo del 6% respecto de la condición inicial luego de 103 días de contacto. A 45 °C, la situación cambia notablemente en forma negativa, la figura 10b muestra una disminución de la carga máxima del orden del 28% luego de 103 días de contacto, lo cual indica que para este extractante el efecto de la temperatura es el más incidente en el aumento de la degradación electrolítica. Lo anterior sugiere que se podría trabajar con esta aldoxima modificada utilizando electrolitos conteniendo 290 g/l de ácido sulfúrico pero a una temperatura inferior a los 45 °C, cercana a temperatura ambiente.

#### 4.2.3. Degradación Hidrolítica

Los resultados obtenidos al medir la cantidad de aldehído formado en la reacción de degradación

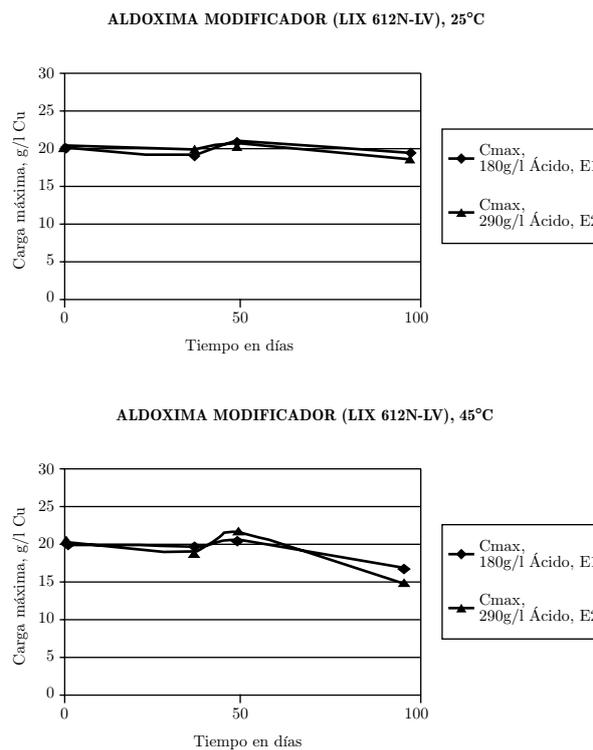


Figura N.º 10. a) Carga Máxima de LIX 612N-LV, a 25 °C. b) Carga Máxima de LIX-612N-LV, a 45 °C. [LIX 612N-LV] = 35%; E1: Electrolito conteniendo 180 g/l de H2SO4; E2: Electrolito conteniendo 290 g/l de H2SO4.

hidrolítica confirman lo explicado anteriormente en el sentido que es la temperatura el factor que posibilita una mayor degradación a altas concentraciones de ácido, obteniéndose una degradación del 10 y 20% para la condición a 45 °C con los electrolitos E1 y E2 conteniendo 180 y 290 g/l de ácido sulfúrico, respectivamente, luego de 103 días de contacto. En cambio, la degradación hidrolítica solo fue de 3 y 5%, a 25 °C con electrolitos E1 y E2, respectivamente. Todo lo anterior es mostrado gráficamente en Figura 11. Para este

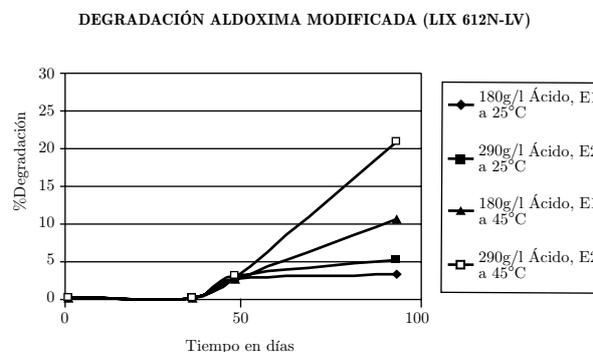


Figura N.º 11. Degradación Hidrolítica. LIX 612N-LV.[LIX 612N-LV] = 35%; E1: Electrolito conteniendo 180 g/l de H2SO4; E2: Electrolito conteniendo 290 g/l de H2SO4.

reactivo, la velocidad de degradación del reactivo es catalizada fuertemente con la temperatura.

Los valores de degradación reportados por los proveedores de reactivos, en evaluaciones hechas en plantas, alcanzan valores del orden del 7% luego de seis meses de operación en condiciones normales de operación, es decir, temperaturas cercanas a 25 °C, concentración de reactivo extractante menor que 25% y concentración de ácido sulfúrico del orden de 180 g/l en los electrolitos pobres de reextracción. No hay información en la literatura de valores de degradación en plantas a temperaturas superiores a 35 °C y concentraciones de ácido sulfúrico mayores a 180 g/l.

El resultado obtenido en este estudio, a 25°C para ambas concentraciones de ácido sulfúrico, muestran que una solución (fase orgánica) de LIX 612N-LV al 35% p/v, puede ser utilizada para extraer cobre desde soluciones concentradas (35 g/l de Cu) y con electrolitos de alta concentración de ácido sulfúrico manteniéndose en los rangos normales de degradación conocidos en la operación de faenas mineras de extracción de Cu.

## V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados para el desarrollo de este estudio y los resultados obtenidos en las experiencias realizadas, las principales conclusiones que se obtuvieron son:

Para el caso de Aldoxima LIX-860N-IC

- El análisis de las curvas correspondientes a las isotermas de extracción indican que esta aldoxima se ve fuertemente afectada al trabajar con concentraciones de ácido sulfúrico superiores a 180 g/l tanto a 25 como a 45 °C.
- Los resultados de carga máxima muestran que la condición de 45 °C y 290g/l de ácido sulfúrico son las más severas; en este caso, la carga máxima cayó en un 27%, y solo en 8% para la condición de 25 °C y 180 g/l.
- La evaluación de la degradación hidrolítica confirma el deterioro que ha sufrido la hidroxioxima. En este caso, la aldoxima se ha degradado en el aldehído respectivo. La degradación de la aldoxima fue observada en todas las condiciones evaluadas a partir del día 53.
- El análisis global e integrado de todos los resultados obtenidos señalan que al trabajar con esta aldoxima en alta concentración (45% v/v) y en condiciones de mediana (180 g/l) y alta acidez

sulfúrica (290 g/l) a 45 °C, se producen fuertes efectos en las propiedades del reactivo.

Para el caso de Aldoxima modificada LIX-612N-LV

- Las isotermas de extracción correspondientes muestran que solo la condición a 45 °C y 290 g/l de ácido sulfúrico provocan deterioro en el comportamiento de este reactivo extractante.
- La pérdida de capacidad extractiva medida a través de la carga máxima es mayor a 45 °C y 290 g/l de ácido sulfúrico. Los resultados obtenidos a 25 °C para ambas concentraciones de ácido sugieren que este reactivo extractante es apto para trabajar con altas concentraciones de ácido (igual o inferior a 290 g/l) a temperatura ambiente.
- Los valores de degradación hidrolítica obtenidos a 25 °C para ambas concentraciones de ácido, muestran que este fenómeno está dentro de los parámetros normales conocidos en planta. Sin embargo, a 45 °C la degradación es mayor.
- En todas las condiciones evaluadas para la degradación hidrolítica, se detecta la presencia del respectivo aldehído, a partir del día 53, lo cual indica que la degradación de la aldoxima ocurre según lo indicado por la reacción de hidrólisis ácida de la molécula de hidroxioxima.

## VI. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la Universidad de Santiago de Chile (USACH) por el patrocinio otorgado y a las empresas SHELL CHEMICALS S.A. y COGNIS S.A. por la colaboración en el desarrollo de este tema de investigación.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ritcey G. (1984). "Solvent Extraction: Principles and Applications to Process Metallurgy". Vol. 1, Elsevier Science Ltda, Amsterdam.
- [2] Szymanowski J. (1993). "Hydroxyoximes and Copper Hydrometallurgy". CRC.
- [3] Kordosky G, Virnig M, Tello A, Vera G. (2002). "Extracción por Solventes Aplicada a Soluciones de Lixiviación de Concentrados de Cobre. Propiedades de los Reactivos y Selección de éstos". Mining Chemical Technology, Cognis Corporation, USA.
- [4] Haig P. (2002). "Diluent Chemistry". Shell Chemicals presentation for: WMC Olympic Dam.
- [5] Stepniak-Biniakiewicz D, Szimanowski J. (1981). "The influence of the structure of oxime derivatives of 2-Hydroxy-5-alkylbenzaldehyde on copper ex-

- traction from dilute acidic sulphate solutions". *Hydrometallurgy*, 7: 299-313.
- [6] Ritcey G. (2002). "Some Design and Operating Problems Encountered in Solvent Extraction Plants", *ISEC*, pp. 871-878.
- [7] Connor J, Tindale N, Dalton R. (1991). "Mechanistic studies of extraction copper (II) from aqueous acid by 5-nonyl-2-hydroxybenzaldoximes in organic solvents. The effects of mixed solvents and modifiers". *Hydrometallurgy*, 26: 265-280.
- [8] Hurtado-Guzmán H, Menacho J. (2003). "Oxime degradation chemistry in copper solvent extraction plants". *Copper*, 6: 719-734.
- [9] Sastre A, Szymanowski J. (2004). "Discussion of the Physicochemical effects of modifiers on the extraction properties of hydroxyoximes". *Solvent extraction and Ion exchange*, 22(5): 737-759.
- [10] Sole C, Feather A. (2003). "Solvent extraction of copper from high tenor pressure leach solutions using new modified aldioximes". *Santiago de Chile, Copper*, 6: 691-704.