

I. INTRODUCCION:

El proceso de extracción por solventes actualmente tiene gran aplicación en la industria de la metalurgia y es el proceso de mayor importancia dentro de la hidrometalurgia. Este fue un proceso desconocido hasta hace algunos 20 años, con una aplicación estricta en el campo nuclear y menos común en la recuperación de metales y en el laboratorio analítico. La importancia de este proceso unitario en hidrometalurgia es que se obtiene una separación, purificación y concentración de iones metálicos y sales inorgánicas, para posteriormente aplicar otro proceso que permita obtener un producto de alta calidad. Hoy en día es usado en el procesamiento de cobre, níquel, cobalto, zinc, uranio, molibdeno, tungsteno, vanadio, tierras raras, otros metales y algunos compuestos más [1].

La extracción por solventes es, en esencia general, una técnica para la separación de los componentes de una mezcla homogénea por adición de un segundo solvente, inmiscible con el primero y una distribución de los solutos entre las dos fases.

Las interacciones que ocurren en el sistema soluto-solvente causan que cierta cantidad de un soluto en particular se distribuya preferencialmente en el solvente añadido (fase orgánica).

Estas interacciones caen en dos amplias categorías. En la primera, solo las interacciones físicas están involucradas entre las dos especies por ejemplo la extracción preferencial de un soluto polar en un solvente polar. Separaciones basadas en tales interacciones son comunes en la industria de la química orgánica, particularmente en la petroquímica. En la segunda categoría es posible distinguir una interacción química definida entre soluto y solvente con la formación de un compuesto químico. En este grupo caen la mayoría de los procesos de extracción de metales por solventes.

1.1 Descripción del Proceso de Extracción de Metales por Solventes.

La extracción por solventes se aplica normalmente en hidrometalurgia cuando se desea remover selectivamente o extraer una especie desde una solución a otra. Esto se puede aplicar a cualquier caso donde se desea remover los componentes metálicos valiosos de una solución de los contaminantes o remover los contaminantes de una solución de los componentes metálicos valiosos. La solución originalmente contendrá las especies deseadas, la solución con las especies deseadas y la solución con los contaminantes deben de ser inmiscibles para efectos de separación y purificación.

La técnica anterior se usa en hidrometalurgia para el tratamiento de licores de lixiviación acuosos o corrientes de procesos similares, conteniendo mezclas de sales metálicas con el objeto de separar los metales contenidos y así producir soluciones disponibles para el tratamiento subsecuente y obtener compuestos o metales puros. Los principales objetivos del proceso de extracción por solventes son los siguientes:

- i. Purificación de un metal de contaminantes indeseables.
- ii. Concentración de valores metálicos a un punto en el cual su procesamiento subsecuente sea económico.
- iii. Conversión de valores metálicos a una forma que simplifique su recuperación.

El proceso de extracción por solventes como se aplica en hidrometalurgia consiste en poner en contacto un licor de lixiviación acuoso, que contiene una concentración baja de la especie metálica que se encuentra impura, con un solvente orgánico capaz de extraer selectivamente una o más de las especies iónicas metálicas contenidas en forma de sal o complejo.

El solvente orgánico consiste de una mezcla de una solución extractante (componente activo) en un diluyente. El extractante extrae el metal (especie iónica metálica) que se transfiere a la fase orgánica, mientras que el diluyente por si mismo es inefectivo como extractante. Los diluyentes (regularmente hidrocarburos líquidos) podrían modificar las propiedades extractivas de un extractante. Estos se añaden para mejorar las propiedades físicas de una solución extractante, vgr: viscosidad. Después de poner en contacto la fase acuosa (licor de lixiviación) y la fase orgánica seguidas por la separación de fases, el resultado es una solución refinada y una solución orgánica cargada (extractante cargado). La siguiente etapa en la extracción por solventes es generalmente el despojamiento del orgánico cargado, en la cual la solución de orgánico cargado se pone en contacto con una solución acuosa que es el medio de despojamiento (solución electrolítica con alta concentración de ácido). En esta última etapa los metales deseados se despojan de la fase orgánica cargada dando como resultado una solución orgánica descargada y un licor cargado (solución electrolítica rica en iones metálicos). La solución orgánica descargada (extractante) se recicla a la etapa de extracción y, el licor rico a un nuevo procesamiento de recuperación del metal para fines comerciales (deposición electrolítica).

En la Figura 1 se muestra un diagrama esquemático para un sistema de extracción de cobre por solventes y deposición electrolítica, donde se puede observar cómo el circuito de la fase orgánica enlaza a los dos circuitos acuosos (licor de lixiviación y electrolito), donde las corrientes de flujo quedan definidas de la siguiente manera:

1. Corriente de flujo de licor de lixiviación.
2. Corriente de flujo de licor agotado o refinado.
3. Corriente de flujo de orgánico cargado.
4. Corriente de flujo de orgánico descargado o despojado.
5. Corriente de flujo de electrolito rico.
6. Corriente de flujo de electrolito descargado.
7. Producción de cobre catódico o cátodos de cobre con alta pureza (99.97%).

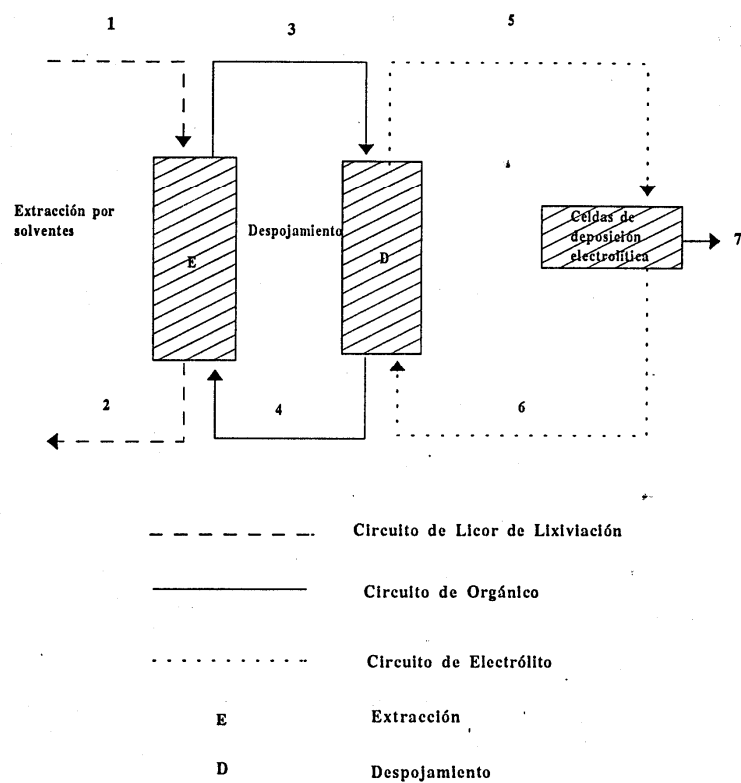


Figura 1. Diagrama esquemático, para la extracción de cobre por solventes y deposición electrolítica.

Las celdas de deposición electrolítica, son reactores donde se lleva a cabo la reacción electroquímica de deposición (reducción), de los iones de cobre disueltos en el electrolito que se les alimenta, promovida por la aplicación de un potencial eléctrico (voltaje), suministrado por una fuente de energía externa.

El proceso de extracción por solventes consiste en varias etapas de extracción y despojamiento. En donde en cada etapa se mezclan las dos fases en un reactor tipo tanque agitado en el cual las dos fases pueden ser dispersas y subsecuentemente separadas [2].

El reactor que generalmente se utiliza para este tipo de operación, es el tanque mezclador-asentador, en el cual la dispersión se lleva a cabo en el mezclador y la separación de fases en el asentador. La combinación de un mezclador y un asentador constituyen una etapa y cuando las dos fases fluyen a contracorriente a través de varias etapas, se le conoce como un tren de mezcladores-asentadores. Idealmente una mezcla de dos fases en equilibrio fluyen de un mezclador a su correspondiente asentador donde ocurre una completa separación de fases y de la cual fluyen en dirección opuesta a los mezcladores adyacentes. Bajo condiciones ideales de flujo la eficiencia de etapa es entonces de 100 % y la etapa de mezclador-asentador es equivalente a una etapa teórica. En la Figura 2, se muestra un reactor (tanque) mezclador-asentador [2].

1.2 El Proceso de Extracción por Solventes Aplicados a la Purificación de Metales.

El proceso de extracción por solventes (extracción líquido-líquido) es una técnica de separación que involucra transferencia de metal de una fase acuosa a una no acuosa o viceversa. Sin embargo, para nuestro caso, se restringirá la aplicación de la técnica de extracción por solventes al procesamiento metalúrgico. Básicamente, el proceso de extracción por solventes como se aplica en la purificación de metales, requiere solamente

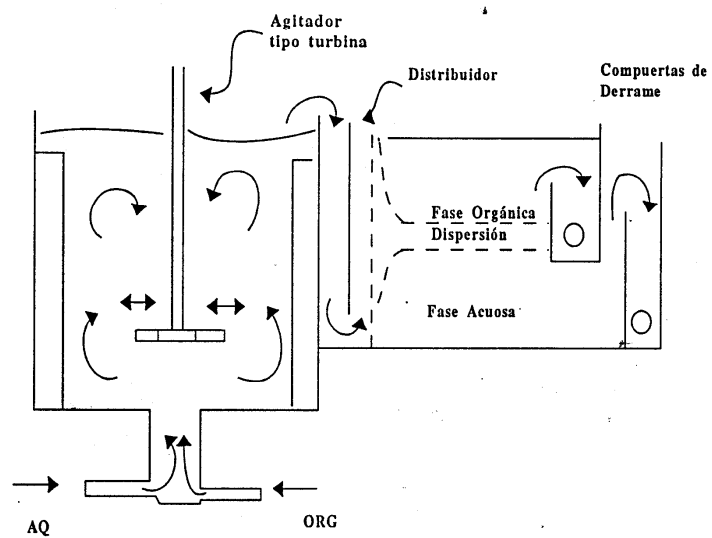


Figura 2. Diagrama del tanque MEZCLADOR-ASENTADOR

que un metal específico sea transferido de, inicialmente una fase acuosa a una no acuosa, seguido por la reacción inversa de esta transferencia.

Tal proceso puede ser definido simplemente por la siguiente ecuación:



En la ecuación anterior, la fase no acuosa se denota por la barra (-) sobre las especies consideradas que están presentes en esa fase. La ecuación (1) representa entonces una situación donde una especie metálica M en una fase acuosa se contacta con una fase no acuosa conteniendo el extractante $\bar{R}$, donde ocurre una transferencia del metal M a través de la interfase para producir una especie $\overline{MR}$ la cual es soluble en la fase no acuosa. Este fenómeno es descrito como extracción y tiene como objetivo la separación de un metal (en este caso M) de otros metales o componentes de un sistema acuoso. Este proceso de extracción es un proceso de equilibrio y para que la extracción ocurra, es necesario que el equilibrio se desplace de izquierda a derecha de acuerdo con la ecuación (1). El proceso de extracción así proporciona la transferencia de metales de una fase a otra. En el procesamiento metalúrgico, se requiere de un segundo proceso para transferir de la fase orgánica a una (nueva) fase acuosa. Este proceso de despojamiento es el inverso del proceso de extracción y requiere que el equilibrio en la ecuación general (1) se desplace hacia la izquierda.

Es evidente que la separación y recuperación de un metal particular pueda, al menos teóricamente, ser acompañado por dos operaciones básicas de transferencia de masa que involucra dos fases líquidas. Por razones económicas, las dos fases involucradas tienen una mínima solubilidad entre ambas.

Básicamente el proceso de extracción por solventes, de cualquier manera depende, esencialmente, en manejar la condición de equilibrio químico de un sistema de dos fases, lo cual significa que ya sea extracción o despojamiento del metal, se lleve a cabo. Pero generalmente estas operaciones básicas se aplican a situaciones reales incrementando de alguna manera su complejidad. De cualquier manera, la simplicidad básica de la extracción por solventes es una opción particular para su uso en procesos metalúrgicos.

Los más importantes factores involucrados en un sistema de extracción por solventes son las condiciones que prevalecen en la fase acuosa y la composición de la fase solvente (orgánica). Para hacer una distinción de este sistema, ya que es imposible hacerlo por consideración de la fase acuosa, estos sistemas están clasificados de acuerdo al tipo de extractante.

Los extractantes se pueden clasificar convenientemente en un número de grupos. Para su disponibilidad comercial de acuerdo al tipo de reacción y su estructura, los extractantes se pueden clasificar de la siguiente manera [2]:

- 1) Extractantes catiónicos (sistemas que involucran formación de compuestos), subdivididos a la vez en:
 - a) Extractantes ácidos.
 - b) Extractantes de quelación.

Alta selectividad por un ión específico debido a la fuerte estabilidad de la estructura anular del complejo quelato.

- 2) Extractantes aniónicos o extractantes formando asociación iónica (sistemas que involucran asociación iónica).

El proceso de intercambio aniónico es análogo al de resinas de intercambio iónico.

3) Extractantes por solvatación (sistemas que involucran solvatación).

Transferencia de una sal metálica neutra o complejo metálico de la fase acuosa a la fase orgánica por solvatación del ión metal.

En la actualidad se encuentran operando en el mundo un número considerable de plantas de extracción de cobre por solventes, en las cuales la técnica es aplicada para corrientes de flujo (licor de lixiviación) provenientes diferentes de minerales y métodos de lixiviación como se muestran en la Tabla 1 [20].

Tabla 1. Plantas de Extracción de Cobre por Solventes en el Mundo.

Empresa y Localización	Fecha de Arranque	Producción Anual (T.M.)	Licor de Lixiviación [Cul]/l pH		Extractante	Diluyente
Ranchers Bluebird	1968	6,000	2.0	1.9	LIX 84N	Map 470B
Cyprus Bagdad Arizona	1970	6,500	1.1	2.0	LIX 84N HS	Kernac 470B
Zambia Consolidated Cooper Mines, Zambia	1974	100,000-120,000	5.0	1.9	ACORGA PT-5050 LIX 864/984	Escaid 100/LSGO
Magma Copper Co. Pinto Valley Division Arizona	1976	4,200	0.8	2.0	LIX 86	Philips SX-7
Cerro Verde, Peru	1977	33,000	2.7	2.0	LIX 84 NHS, LIX 860	Keroseno
Cyprus Miami Mining Corp Arizona	1979	60,000	2.8	1.8	ACORGA M 5615 ACORGA P 5100	Chevron
Asarco Ray Mine, Arizona	1980	39,000	5.0 0.96	1.8 2.2	ACORGA M 5397	Exxon 200
Soc. Min. Pudahuel, Chile	1980	15,000	3.0	1.9	LIX 864	Escaid 100
Cia. Minera de Cananea, México	1980	12,700	2.5	2.0	ACORGA M 5615 LIX 622	Hidrosol 1000
Centromin, Cerro de Pasco, Peru	1980	6,000	1.0	2.0	ACORGA P 5100 ACORGA M 5615	Keroseno
Magma Copper Co. Pinto Valley Division Arizona	1981	7,000	0.6	2.1	LIX 864	Philips SX-7
Cyprus Casa Grande (Noranda Lakeshore) Arizona	1981	6,000 40,000	1.5 8.0	1.6 1.9	ACORGA M 5640	Philips SX-1
BHAS, Port Pirie S. Australia	1984	3,500	35.0	1.5	ACORGA P 5100	Shellsol 2046
Phelps Dodge, Burro Chief, Tyrone New México	1984	39,000	2.6	2.0	LIX 984	Philips SX-7
CODELCO El Teniente, Chile	1985	5,000	1.2	3.0	ACORGA PT 5050 LIX 864	Escaid 100
Sunshine Mining Idaho	1985	2,800	8.0	2.0	ACORGA PT 5050	Chevron IES
Magma Copper Co. San Manuel Div. Arizona	1985	46,000	1.7	2.0	LIX 622	Chevron IES
Gibraltar Mines Canada	1986	6,000	1.0	2.0	ACORGA PT 5050 ACORGA P 5100	Shellsol 180
Phelps Dodge Morenci, Arizona	1987	43,000 21,500 9,000	1.9 1.9 0.4	2.0 2.0 2.5	LIX 984 ACORGA M 4560	Philips SX-7
Tocopilla, Chile	1987	1,500	8.0	1.5	ACORGA PT 5050	Escaid 100
Cyprus, Sierrita	1987	4,300	0.6	2.5	LIX 984	Philips SX-7
CODELCO Chuquibambilla, Chile	1988	80,000	6.0	2.0	ACORGA PT 5050	Shellsol 2046
Roxby Downs Olympic Dam S. Australia	1988	3,500	1.0	1.1	LIX 622	Shellsol 2046
Phelps Dodge, Chino	1988	41,000	1.1	2.0	ACORGAM 5640	Philips SX-7
Cananea II México	1989	34,500	2.2	1.9	LIX 622	Hidrosol 1000