

FLOTACIÓN COMO PROCESO DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES AVANCES Y APLICACIONES EN LA FLOTACIÓN POR AIRE DISUELTO

Jorge Rubio y Fabiana Tessele

Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

Pamela Alhucema Porcile y Edgardo Marinkovic

Idesol Ingenieros S.A., Santiago.



Celda de Flotación por Aire Disuelto (30 L/s) diseñada por Idetec S.A. Planta Tratamiento de Efluentes Punta Chungo, Minera Los Pelambres.

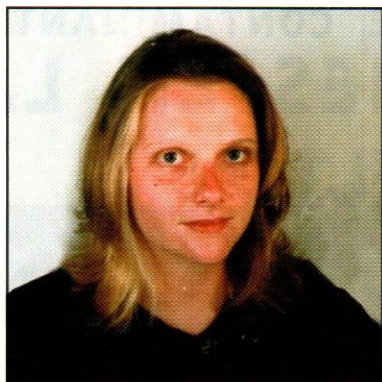
Resumen

Se discuten los principios y aplicaciones más importantes de la flotación por aire disuelto, FAD, el proceso que utiliza microburbujas y el más empleado en separaciones sólido/líquido, líquido1/líquido2 y/o sólido/líquido1/líquido2. Finalmente se describen aplicaciones de esta tecnología FAD en el tratamiento de efluentes industriales en el área minero-metalúrgica.

Abstract

Principles and applications in dissolved air flotation (DAF) are discussed. The process utilizes micro-bubbles and is the main and most used in solid/liquid, liquid/liquid and solid/liquid1/liquid 2 separations. Finally, applications of the dissolved air flotation technology in the mining and metallurgical areas are described.

La flotación por aire disuelto, FAD, es considerado uno de los procesos mas importantes en el tratamiento de efluentes industriales y presenta un enorme potencial en el sector minero-metalúrgico. Este artículo resume el estado del arte de la FAD, describe los aspectos fundamentales del proceso, sus parámetros operacionales, costos y las aplicaciones industriales ya existentes.



Fabiana Tessele

Ingeniero Químico (Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Brasil), Master en Ingeniería Sanitaria y Ambiental (UFRGS) y estudiante de doctorado en el Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH – UFRGS, Brasil). Sus áreas de interés de investigación y actuación profesional son sistemas de tratamiento de efluentes líquidos para el reuso del agua, sistemas naturales de tratamiento (wetlands) y aplicaciones de la flotación en el tratamiento de efluentes orgánicos, biológicos e inorgánicos.



Jorge Rubio

El profesor Jorge Rubio es Licenciado en Química de la Universidad de Chile (1971), realizó estudios de postgrado en el Imperial College de la Universidad de Londres, donde obtuvo un MSc (1976) y un PhD (1977) en ingeniería de los recursos minerales. Realizó también actividades de post-doctorado en el Instituto de Coloides y Superficies, de la Universidad de Clarkson, New York, entre 1977 y 1978, y en el Departamento de Ingeniería y Ciencias de los Materiales, en la Universidad de California, Berkeley, en 1979. En su vida laboral el Dr. Rubio se ha desempeñado desde 1979 a la fecha como profesor adjunto y jefe del Laboratorio de Tecnología de Minerales del Departamento de Ingeniería de Minas de la Universidad Federal de Rio Grande do Sul, Brasil. Ha ejercido además como profesor visitante en el «Istituto per il Trattamento dei Minerali», Italia (1984), en la Universidad de Aachen, Alemania (1988), en CIMM (jefe de proyecto en 1992-1993) y en la

Universidad de Nevada, EE. UU. (1996 y 1998). El Dr. Rubio ha publicado más de 60 artículos en revistas y libros científicos, ha realizado alrededor de 100 presentaciones en congresos internacionales y ha producido tres patentes de desarrollo tecnológico. Producto de su labor científica el Dr. Rubio ha recibido importantes premios: en 1997 el primer premio en la VI Feria de Iniciación Científica, por su trabajo sobre el tratamiento de efluentes líquidos; en 1999 el primer premio en el 19º Congreso Brasileiro de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, por su trabajo sobre la remoción de contaminantes de efluentes; y también en 1999 el primer premio como investigador destacado en el área de ingeniería del Estado de Rio Grande do Sul, Brasil.



Pamela Alhucema Porcile

Ingeniero Civil Químico, UTFSM 1991, Diplomada en Ingeniería Ambiental USACH 1993. Se ha desempeñado en Centros de Investigación y en empresas especializadas en el desarrollo de tecnologías para el tratamiento de RILES. Su especialidad principal es el análisis investigación y desarrollo de tecnologías para el tratamiento de Residuos y recuperación de las especies útiles contenidas. Actualmente ocupa el cargo de Gerente Técnico en Idetec S.A.



Edgardo Marinkovic Herrera

Ingeniero Civil de Minas, Mención Metalurgia Extractiva, U. de Chile, 1976. Se ha desempeñado en la Gran Minería del Cobre y Oro y en empresas

del área Química. Su especialidad principal es la Administración de Proyectos y Operación en Empresas productivas de la Industria Minera y Química.

Actualmente ocupa el cargo de Gerente General Idetec S.A. y Director Idesol S.A.

PROCESO FAD, PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS Y ESTADO DEL ARTE

El proceso de flotación por aire disuelto surgió en 1924 en los países escandinavos y fue desarrollado para la recuperación de fibras en la industria del papel.

Hoy en día se reconoce a la FAD como uno de los más económicos y efectivos métodos de recuperación-remoción de sólidos, iones, microorganismos, reducción de la Demanda Química (DQO) y Biológica de Oxígeno (DBO) y en el espesamiento de lodos.

ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El proceso de flotación por aire disuelto surgió en 1924 en los países escandinavos y fue desarrollado para la recuperación de fibras en la industria del papel.

Los principales hitos en el desarrollo de equipos y procesos FAD son descritos en la Tabla N° 1 y Figura N° 1.

Hoy en día se reconoce a la FAD como uno de los más económicos y efectivos métodos de recuperación-remoción de sólidos e iones, el tratamiento de aguas de procesos y potable, la reducción de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y en el espesamiento de lodos. Por ejemplo, todas las plantas de potabilización de aguas en los países bajos usan FAD en su proceso primario en substitución a la coagulación-sedimentación.

En America Latina las aplicaciones deben aumentar en el área industrial, en la recirculación (reciclo) de aguas de proceso, potabilización de aguas (0.6 m³/s, la mayor planta en Brasil y 2 m³/s en Uruguay) y en plataformas marítimas.

La creciente utilización de la FAD en todos los campos, se debe a las diversas ventajas con relación al proceso de coagulación-sedimentación. Entre otras pueden ser citadas:

- Alta eficiencia (incluyendo cinética) en la remoción de sólidos.

- Menor área requerida para instalación. El equipo de flotación ocupa apenas una fracción del área ocupada por unidades de sedimentación (para capacidades similares).
- Mayor eficiencia en la remoción de DBO que otros procesos de separación.
- Alta tasa de separación (o flujo superficial). Existen unidades FAD modernas con capacidad hasta de 40 m/h (m³/m²/h). Esto permite su aplicación en efluentes voluminosos.
- Remoción de microorganismos y precipitados difíciles de sedimentar y filtrar.

Las desventajas observadas son:

- Comparada con la sedimentación, la FAD es más sensible a variaciones de temperatura, concentración de sólidos en suspensión (> 3-4 %), recargas hidráulicas y principalmente a variaciones en las características químicas (fase solución, pH, Eh, "especiación", entre otros y físicoquímicas de los sólidos en suspensión (carga, hidrofobicidad, área superficial).
- Costos operacionales elevados, principalmente cuando existe necesidad de un riguroso control automático, de parámetros y dosis de reactivos.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO FAD

La Figura N° 2 muestra un diagrama de un sistema de FAD continuo, convencional con reciclo de agua tratada al saturador.

El proceso se compone de los siguientes subprocesos:

- Saturación de agua con aire a presión > 3 atmósferas.
- Generación de microburbujas, vía cavitación-nucleación en constrictores de flujo (venturi, válvulas de aguja, placas de orificio).
- Coagulación y/o floculación de las partículas a separar.
- Acondicionamiento para contacto y adhesión de microburbujas y partículas (zona de "captura").
- Flotación y remoción de sólidos flotados (zona de separación).

A continuación se describe cada etapa.

Saturación de aire en agua

Este proceso tiene como objetivo disolver aire en agua a presión elevada para proveer, una vez reducida la presión, del gradiente de concentración de aire y energía necesario para la formación de microburbujas. La disolución de aire en agua depende de la temperatura y presión y está determinada por la ley de Henry (ver luego). La cinética de disolución depende

de las características ("design") del sistema de saturación. Ésta se lleva a cabo en "saturadores" o estanques herméticos resistentes a la presión, operando en continuo con alimentación de agua y aire.

Existen varias formas para contactar el aire con el agua y entre los más utilizados están un difusor (burbujeador) tipo placa porosa sumergido en el líquido y un sistema que emplea un empaque (anillos Rashig) por el cual se distribuye el agua bajo presión y se contacta íntimamente con el aire. Este último método es el más utilizado en el ámbito industrial y su eficiencia (90%) es superior a la del burbujeo. La figura siguiente muestra algunos detalles de un saturador con empaque (Figura N° 3).

Generación de microburbujas

Estas se producen en los constrictores de flujo, situados entre el saturador y la celda de flotación. La selección de este sistema de constricción del flujo es importante porque de su eficiencia depende la distribución de tamaño de burbujas y la cantidad de aire "liberado", dos de los factores de mayor importancia en la FAD. Por ejemplo, simples constricciones ("nozzles") de placas con orificios de diámetro variable son baratos y eficientes, consiguiendo valores de "liberación", del orden de 90 % del aire disponible.

La energía transferida en el proceso de expansión y generación de burbujas ΔF depende de la tensión superficial líquido/aire γ y de la diferencia de presión entre el saturador P_0 y la constricción P_s . La ecuación (Takahashi et al., 1979) que define estas relaciones es:

$$\Delta F = \frac{16 \pi \gamma^3}{3 (P_0 - P_s)^2}$$

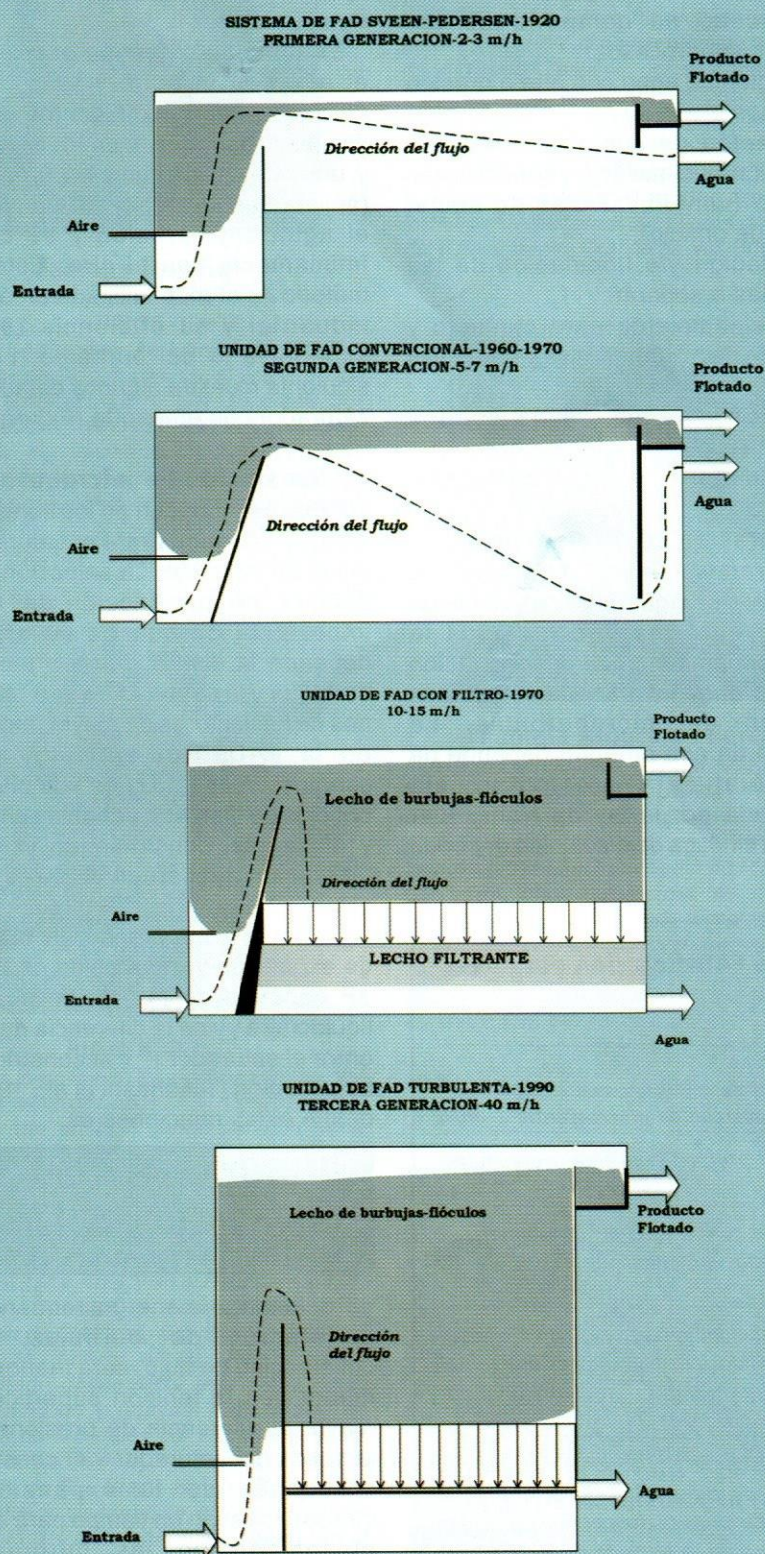
Por lo tanto, la energía requerida en la generación de burbujas, en la constricción de flujo, será menor cuanto menor sea la tensión superficial γ y mayor la diferencia de presiones entre la salida del saturador y el constrictor.

Después de la expansión, las cavidades llevan un tiempo para alcanzar el tamaño de las burbujas. La "precipitación" del aire en la forma de

Tabla N° 1: Recopilación de antecedentes sobre FAD-flotación por aire disuelto.

Año	Características
1924	Primera generación. Celdas Pedersen, celdas con capacidad de proceso entre 2- m/h
1960	Segunda generación ("convencionales"). Celdas mas profundas y con mayores flujos superficiales (5-7 m/h)
1970	Unidades FAD con filtros en la parte inferior. En estas condiciones el flujo superficial aumenta y el flujo de líquido es direccionado hacia el sistema de filtración. La capacidad aumentó hasta 10-15 m/h
1990	Tercera generación. Unidades FAD turbulentas con capacidades de procesamiento hasta 40 m/h. En estas celdas, la zona de "captura" de sólidos por burbujas es horizontal y profunda. El estanque de separación es profundo y el filtro se substituye por cilindros perforados que direccionan el flujo del líquido.
1995	Quarta generación. Unidades FAD en co-corriente. Desaparece la zona de captura y el sistema de difusión (inyección) de las microburbujas se sitúa en el medio del estanque de separación (Eades y Brignall, 1995). En estas condiciones se asemejan a las celdas columnares de flotación de minerales (Cocco-DAFF).

Figura N° 1: Desarrollo histórico de unidades FAD-flotación por aire disuelto.



burbujas no es total en esta expansión a través del constrictor y muchas burbujas son "nucleadas" y formadas en superficies sólidas. Avances en el sistema de generación de burbujas en presiones de saturación menores que 3 atmósferas, disminuyendo la tensión superficial del líquido, se encuentran en desarrollo (Figura N° 4).

Coagulación y/o floculación de partículas a remover

Esta etapa involucra la desestabilización de suspensiones coloidales o emulsiones, condición necesaria para que estas se puedan unir en agregados de mayor tamaño, susceptibles de ser capturadas por las microburbujas. La agregación puede ser realizada vía coagulantes, floculantes o ambos, como ya fue discutido anteriormente.

El tiempo de residencia en esta etapa depende del grado de dispersión de los sólidos (o emulsiones) a remover, del tipo y concentración de reactivos y de la hidrodinámica requerida.

Otros factores que influyen en el diseño de coaguladores o floculadores son las características del efluente, la cinética de adsorción de contaminantes, en el caso de usar precipitados coloidales adsorbentes y del punto de adición de los reactivos (con buena mezcla).

Acondicionamiento para contacto y adhesión de microburbujas y partículas

Esta etapa tiene como objetivo lograr la captura de partículas por burbujas y la formación de agregados "aireados" (con aire aprisionado). Corresponde a la zona donde se libera el agua saturada (reciclo). Normalmente el diseño de esta zona es del tipo inclinado con una expansión en la dirección del flujo al tanque de separación. Las unidades modernas tienen un diseño horizontal y una profundidad bien mayor que las convencionales. En las inclinadas puede ocurrir, dependiendo del nivel de turbulencia, rompimiento de los agregados procedentes de los estanques coaguladores o floculadores.

Flotación de partículas

La flotación propiamente tal ocurre en

un estanque que recibe la suspensión proveniente de la zona de contacto y tiene por objetivo separar las fases flotada y efluente tratado (agua). Los sistemas de descarga del agua tratada, normalmente por el fondo emplea mecanismos especiales, como canaletas provistas de ranuras que las atraviesan longitudinalmente por su parte inferior, o dispositivos que minimizan la formación de corrientes de agua. El parámetro más importante que debe ser considerado en el diseño de esta etapa, es el "flujo superficial" que es una medida del tiempo de residencia medio del fluido dentro del estanque.

En relación con el producto flotado, su extracción es normalmente realizada con un raspador (colector) mecánico que atraviesa lentamente la superficie de la unidad de flotación o situado en el extremo final del estanque separador. Existe un balance ideal entre el tiempo de drenaje del agua presente en los sólidos flotados y sus propiedades mecánicas. Generalmente cuando se flotan coloides o precipitados, se obtienen productos flotados con 1-8 % de sólidos, con buena fluidez en la descarga y adecuado drenaje.

Además de la adherencia de partículas o gotas a burbujas por mecanismos de hidrofobicidad, otros mecanismos son también importantes en la FAD. Se reconocen por lo menos 3 distintos fenómenos que pueden o no actuar simultáneamente:

- Precipitación de aire disuelto en la forma de microburbujas en la superficie sólida por fenómeno de nucleación de soluciones saturadas en aire;
- Aprisionamiento u oclusión de microburbujas ascendentes en el interior de la estructura de los flóculos, precipitados o coloides;
- Absorción de burbujas por flóculos en formación. Estos otros mecanismos no son dependientes de las características interfaciales y sí de las características físicas de flóculos y burbujas. Por estos motivos, no existe mucha *selectividad* en la remoción de sólidos o líquidos utilizando microburbujas.

Otros factores y fundamentos fueron discutidos en la Parte 1 de esta serie.

FORMAS DE OPERACIÓN

La FAD se puede clasificar en función

Figura N° 2: Unidad de flotación por aire disuelto, FAD.

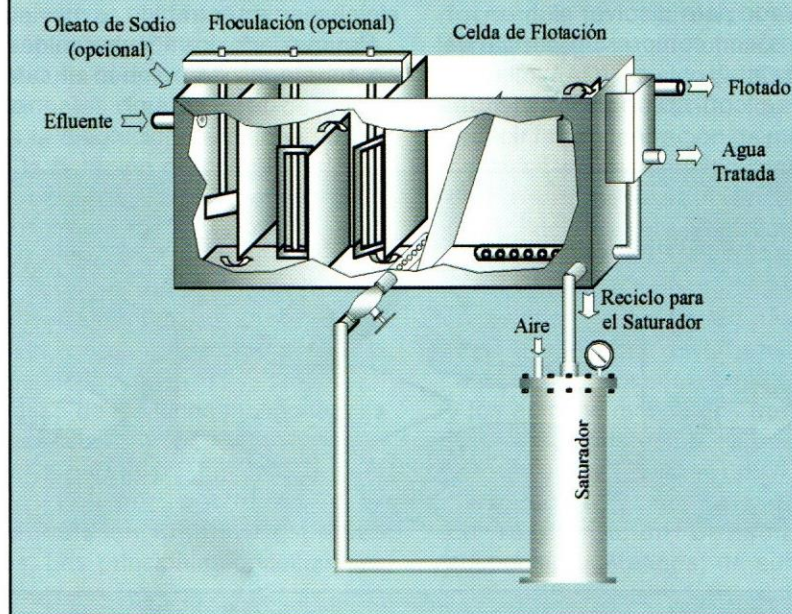
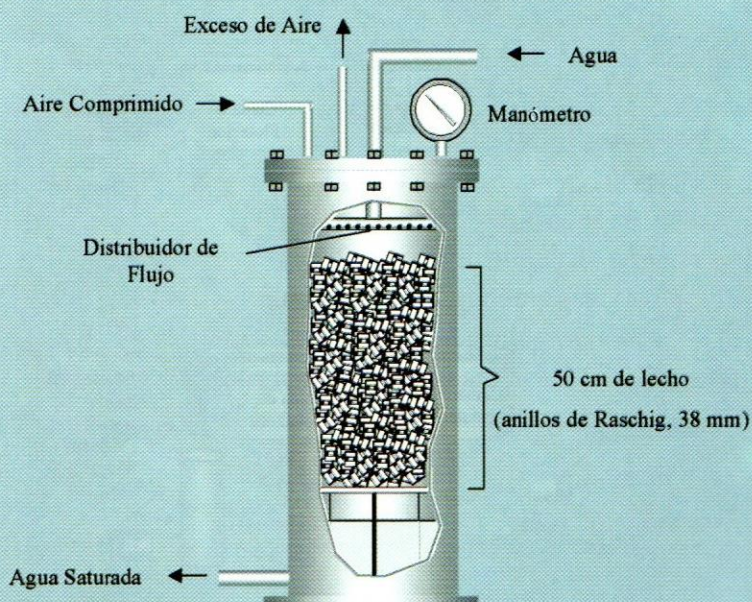


Figura N° 3: Saturador de aire (gas). $V_t = 67$ litros, Diámetro = 30cm y altura = 95 cm; Lecho de percolación con anillos de Raschig (38 mm) = 50 cm de altura; agua saturada = 30 cm (21 L); Compresor continuo con reservatório de ar comprimido de 257 L. Tiempo de residencia de 2-3 min.



del método empleado en la disolución del aire en 3 tipos:

1. Sistemas con compresión total del efluente. Todo el caudal a ser tratado es saturado para disolver el aire;
2. Unidades con compresión parcial del flujo a tratar; y
3. Sistemas con compresión de una

fracción del efluente tratado (reciclo).

El primer sistema tiene la ventaja de requerir menores presiones de saturación, pero se torna caro cuando el volumen a ser tratado es muy elevado.

Por otro lado, los flóculos se destruyen en las etapas de bombeo al saturador, dentro del mismo y en la

despresurización. La compresión de reciclo (5-50 %) es bastante empleada cuando se requiere de una floculación previa, pero tiene el inconveniente de aumentar la carga hidráulica total del sistema.

La decisión sobre el mejor sistema depende de la necesidad de una etapa de floculación, del volumen tratado y de las características de la FAD (cinética principalmente). Esto se muestra en la Figura N° 5.

Figura N° 4: Constrictor de flujo tipo Venturi.

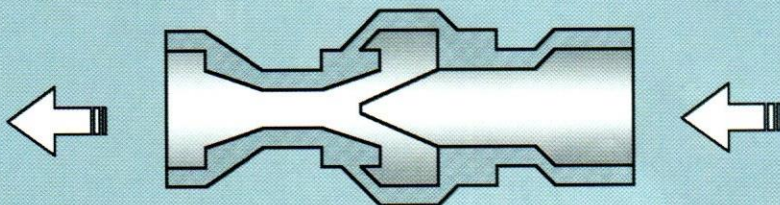
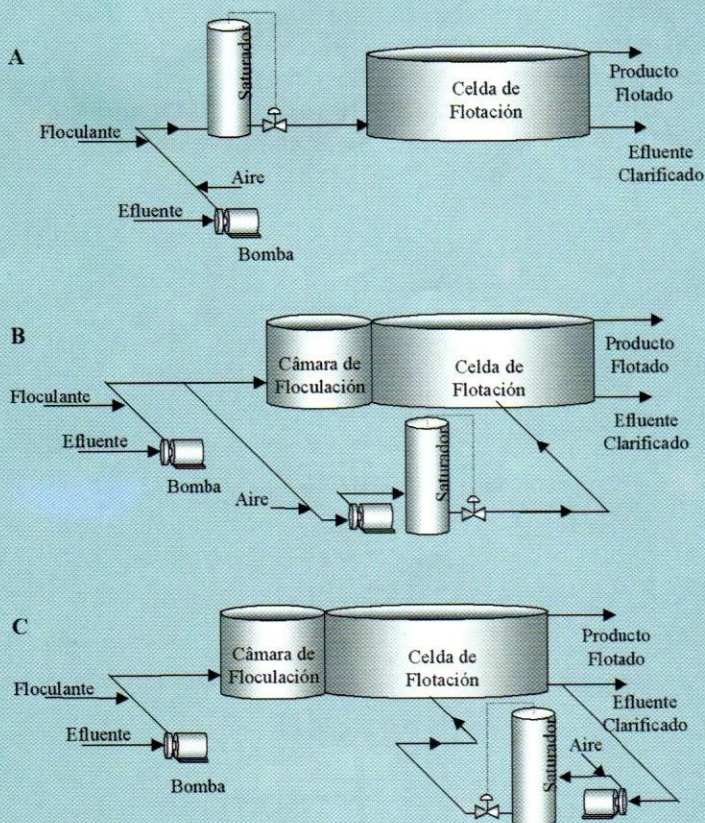


Figura 5. Sistemas compresión/flotación con aire disuelto.



APLICACIONES POTENCIALES EN EFLUENTES INDUSTRIALES

La FAD actualmente se caracteriza por la variada gama de aplicaciones en diversas áreas. Entre las principales se destacan:

Aplicaciones en la industria minero-metal- mecánica.

- Remoción de iones (metales pesados y aniones) en la forma de precipitados o como iones en efluentes o en soluciones de lixiviación. En Chile se ha llevado a cabo la remoción de iones molibdeno (molibdatos) desde efluentes mineros, en estudios de laboratorio, piloto y escala industrial. La técnica empleada fue la de adsorción coloidal usando precipitados de hierro.
- Otros ejemplos de flotación ya reportados, en otros lugares, son: separación de torio de uranio; sales de mercurio; ion cloroplatino, complejos de plata, sales de oro, iones magnesio, cobre, cromo, molibdeno, arsénico, níquel, zinc, plomo, etc.
- Tratamiento de aguas recicladas de flotación-espesamiento o efluentes de servicios de manutención.
- Remoción de sólidos, microorganismos, emulsiones, aceites y grasas.
- Otras aplicaciones
- Tratamiento de aguas recicladas de flotación-espesamiento o efluentes de servicios de manutención. Separación de sólidos, iones, emulsiones, aceites y grasas desde efluentes voluminosos.
- Separación de tintas, pigmentos y coloides.
- Tratamiento de efluentes de la industria de alimentos y pesqueras. Remoción de aceites, grasas y recuperación de proteínas.

- Separación de fibras residuales en la industria textil y papelera.
- Recuperación de aceites emulsionados en la industria petroquímica, servicios de transporte y almacenamiento de combustibles.
- Potabilización de aguas.
- Aplicaciones en química analítica.
- Tratamiento de aguas residuales domésticas. Separación de microorganismos, algas, bacterias, hongos.
- Tratamiento de suelos contaminados.
- Reducción de DBO y DQO.

RILES MINEROS

Los efluentes de plantas concentradoras de sulfuros de cobre y molibdeno presentan concentraciones variadas de diversos elementos inorgánicos, principalmente aniones sulfatos, cloruros y molibdatos.

En el caso del Mo, pueden alcanzar

hasta 20 ppm constituyéndose en contaminante por sobrepasar límites máximos establecidos por las normas vigentes en Chile. Estos efluentes pueden alcanzar flujos voluminosos del orden de cientos de litros por segundo, lo que dificulta la aplicación de procesos convencionales. Las fuentes de estos iones es la disolución de óxidos de Mo durante la flotación de concentrado de cobre o por lixiviación indeseable de molibdenita en procesos de descubrición de estos concentrados.

Otros contaminantes son los iones manganeso, sólidos en suspensión, iones cobre, sulfuros (o sulfidatos) y fierro en suspensión.

En el caso de los iones molibdatos se han realizado en Chile diversos estudios y proyectos para el abatimiento de este elemento que causa problemas de molibdenosis en algunas especies animales. Las principales conclusiones

de estos estudios son las siguientes:

- El proceso de co-precipitación de los aniones molibdato junto con adsorción en precipitados coloidales de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ formados por hidrólisis de sales férricas seguido de flotación por aire disuelto (FAD), ha sido demostrado ser técnicamente factible, lográndose reducir la concentración de molibdeno hasta los valores permitidos por normas chilenas. La reacción de co-precipitación ocurre en el momento de la formación del hidróxido de fierro y la adsorción es función del pH debido al tipo de reacción superficial, de naturaleza electrostática entre el "adsorbente" coloidal cargado positivo y los aniones molibdatos (negativos). Por ello la adsorción es máxima en valores de pH menores que 5.5, cerca del punto isoelectrico del precipitado.
- La recuperación de sólidos en suspensión ultrafinos, de sulfuros de

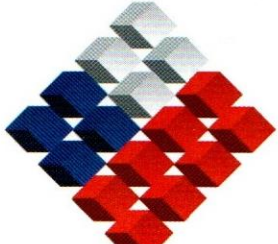


JRI
Ingeniería para el mundo

JRI
INGENIERIA

Ingeniería de Procesos Metalúrgicos
Ingeniería de Transportes de Fluidos
Diseño de Infraestructuras Mineras
Desarrollo Internacional de Proyectos Mineros
Ingeniería de Operaciones
Soluciones Ambientales Multidisciplinarias
Capacitación Especializada en Minería

Manuel Montt 2632 Ñuñoa - Fono: (56-2) 341 7370 - Fax: (56-2) 225 2606
E-mail: jri@jri.cl - Sitio Web: www.jri.cl
Santiago - Chile



GOBIERNO DE CHILE
SERVICIO NACIONAL DE
GEOLOGIA Y MINERIA

"Nuestra misión de servicio, es estimular
e impulsar el desarrollo de la minería
del país, investigando y generando
la información geológica básica,
protegiendo el medio ambiente y las personas,
a través de una acción normativa y fiscalizadora"

Avda. Santa María 0104 • Casilla 1347 • Santiago
Fono: 737 50 50 • Fax: 737 20 26

www.sernageomin.cl

cobre, en concentraciones mayores que 20 [mg/L], ha sido observada en conjunto con la separación-flotación de los precipitados de fierro.

- La remoción de iones sulfatos es posible vía precipitación con sales de bario y flotación FAD. La limitación, sin embargo, de este proceso es el costo de las sales de bario.
- Es factible reducir concentraciones de sulfhidrato superiores a 10 [mg/L] mediante la oxidación con ion férrico seguida de precipitación con ion ferroso para producción de pirrotita (FeS) y de FAD, produciendo con una cinética rápida, un efluente con menos de 1 [mg/L] de sulfuro y con la producción de pirrotita. Otra alternativa es precipitar estos aniones con sales de cobre. La presencia de sulfhidrato en las aguas reduce la remoción de Mo con sales férricas debido a su influencia directa en la precipitación y estabilidad de los precipitados coloidales de fierro. Si la concentración de HS^- es $>$ que 2 [mg/L], se debe disponer de dos etapas de reacción/flotación en serie para eliminar, en la primera al sulfhidrato y en la segunda, al molibdeno disuelto. La primera etapa del tratamiento puede ser llevada a cabo con un reactivo precipitante distinto del ion férrico, tal como iones cúprico, cuproso, ferroso y, en general, aniones metálicos disponibles, pensando en reducción del costo.
- El costo operacional de la remoción de molibdeno hasta 0,01 [mg/L] por FAD, es del orden de 0,07 [US\$/m³], para efluentes del orden de 72 m³/h, en ausencia de sulfuro.
- El lodo separado en la flotación puede ser mezclado concentrado de cobre, recuperando el cobre y estabilizando el fierro. En la ausencia de sulfuros de cobre es posible el reciclaje (re-uso) parcial de precipitados de fierro con obtención de sales de Mo (precipitación con sales de calcio), vía "desorción" de los iones MoO_4^{3-} en condiciones especiales de pH y temperatura.

REFERENCIAS CONSULTADAS

- Alhucema, P. Elaboración de informe técnico-económico para procesos y equipos de extracción de metales pesados, en aguas efluentes del tranque Carén, CIMM, Proyecto, P-871, 1992, 121 p.
- Bratby, J. y Marais, G. V. R. Dissolved air (pressure) flotation - an evaluation of inter-relationships between process variables and their optimisation for design. *Water S. A.*, Cape Town, v.1, n.2, p.57-69, 1975.
- Bratby, J. y Marais, G. V. R. Flotation. In: PURCHAS, D. B. (Ed.). *Solid/liquid separation equipment scale-up*, Croydon: Upland Press, 1977. Cap.5, p.155-198.
- Ciriello, S., Barnett, S. y Deluise, F. J. Removal of heavy metals from aqueous solutions using microgas dispersions. *Separation Science and Technology*, Rhode Island, v.17, n.4, p.512-534, 1982.
- Conferencia de la EUF, Engineering Science Foundation-Froth flotation-Dissolved air flotation-bridging the gap, Lake Tahoe-California, Mayo de 2001.
- Congreso IAWQ, Flotation processes in water and sludge treatment. Orlando, Florida-USA, 26-28 de Abril de 1994.
- Congreso IAWQ. Dissolved air flotation technology in water treatment - an art or a science? International Conference, London, Inglaterra, 16-18 de Abril de 1997.
- Congreso IWA. The 4th International Conference Flotation in Water and Wastewater Treatment, Finnish Water and Wastewater Association, Helsinki-Finlandia 11-14 de setembro de 2000.
- Eades, A. and Brignall, W. J., Counter-current dissolved air flotation/Filtration, *Water Science and Technology*, 1995, 31, 173-178.
- Féris, L. A., 2001, Aproveitamento de subprodutos do beneficiamento de carvão mineral na remoção de poluentes por sorção-flotação FAD, Ph.D. Thesis. P.Alegre-Brazil, in portuguese.
- Féris, L. A. and Rubio, J. Dissolved air flotation (DAF) performance at low saturation pressures. *Filtration and Separation*, 1999, 36, N°9, 61-65.
- Féris, L. A., Rubio J. and Schneider, I.H. Remoção de corantes em efluentes do tingimento de ágatas por flotação de partículas adsorventes. Proc. 19^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 1999, 1079 - 1086.
- Féris, L.A., Gallina, C.W., Rodrigues, R.T. and Rubio, J., Optimizing dissolved air flotation design and saturation. *Water Science and Technology*, 2001, 8, 145-152.
- Idesol Ingenieros. Tratamiento de Efluente de Tranque Carén mediante FAD. Informe Final Proyecto.
- Marinkovic E., Project Punta Chungo on removal of Mo ions, 2001, personal communication.
- Mavros, P. y Matis, K. Innovations in flotation Technology. Nato Series, 1992. Vol. 29, N°1.
- Rubio, J. y Cooper, M. Remoção de íons cobre por flotação por ar dissolvido. IV Southern Hemisphere Meeting on Mineral Technology, Concepción-Chile, Noviembre de 1994, S. Castro e J. Alvarez, (Eds.), Vol. 4, p.109-122.
- Schneider, I. A. H., Manera Neto, V. Soares, A. Rech, R.L y Rubio, J. Primary treatment of a soybean protein bearing effluent by dissolved air flotation and sedimentation, *Water Research* (en prensa).
- Solari, J. A. Selective dissolved air flotation of fine particles. London: Department of Mineral Resources Engineering of Imperial College, 1980. 292 p. Tesis de Doctorado, University of London, 1980.
- Solari, J. y Rubio, J. Effect of polymer flocculants on dissolved air flotation of heavy metals. En "Reagents in the minerals industry", Congreso organizado por el IMM, London. Roma, Septiembre, 1984. Proceedings, p. 271-276.
- Stalidis, G. A. et al. Dissolved air flotation of metal ions. *Separation Science and Technology*, Thessaloniki, v.27, n.13, p.1743-1758, 1992.
- Zabel, T. Flotation in water treatment. In: Innovations in Flotation Technology, Mavros, P.; Matis, K. A. (Eds.). Netherlands, p. 431-454, 1992.
- Zabel, T. The advantages of dissolved-air flotation for water treatment. *Journal AWWA, Management and Operations*, p.42-46, 1985. 