

# Advances in mineral flotation

Hermitanio Ascate Anampa<sup>1</sup>, Alison Percy Loloy Ascate<sup>1</sup>, Brayan Vásquez Toribio<sup>1</sup>, Fermin Valderrama-Altamirano<sup>1</sup>, Juan Antonio Vega-Gonzalez, Dr.<sup>2</sup>, Marco Antonio Cotrina-Teatino, Dr.<sup>1</sup>, Hans Roger Portilla-Rodriguez, Mg.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, [hascatea@unitru.edu.pe](mailto:hascatea@unitru.edu.pe), [aloloy@unitru.edu.pe](mailto:aloloy@unitru.edu.pe), [hbvasquez@unitru.edu.pe](mailto:hbvasquez@unitru.edu.pe), [fvalderrama@unitru.edu.pe](mailto:fvalderrama@unitru.edu.pe), [mcotrinat@unitru.edu.pe](mailto:mcotrinat@unitru.edu.pe)

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, [jvega@unitru.edu.pe](mailto:jvega@unitru.edu.pe)

<sup>3</sup>Departamento de Ciencias, Universidad Privada del Norte, Perú, [hans.portilla@upn.pe](mailto:hans.portilla@upn.pe)

*Abstract* – *The research study focused on the advancement of mineral flotation. This topic has gained great importance in the mining industry since it allows the recovery of the mineral, thus increasing production and profitability. The purpose of this study is to analyze, detail and publish the development of mineral flotation. The methodology is to carry out an analysis of bibliographic reviews of scientific articles taken from the Scopus database, ScienceDirect, theses, posters, etc. Reviewed bibliography of the article Innovations in mineral fleet systems have grown rapidly in recent decades, such as froth flotation, columnar flotation cells, fine and coarse particle flotation, and nanobubble flotation. It was concluded that the development of mineral flotation is very important because it has a positive effect on the profitability of the process, since it allows obtaining a high percentage of minerals.*

*Keywords: Flotation, minerals, columnar, scopus*

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

# Avances en la flotación de minerales

Hermitanio Ascate Anampa<sup>1</sup>, Alison Percy Loloy Ascate<sup>1</sup>, Brayán Vásquez Toribio<sup>1</sup>, Fermin Valderrama-Altamirano<sup>1</sup>, Juan Antonio Vega-Gonzalez, Dr.<sup>2</sup>, Marco Antonio Cotrina-Teatino, Dr.<sup>1</sup>, Hans Roger Portilla-Rodriguez, Mg.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, [hascatea@unitru.edu.pe](mailto:hascatea@unitru.edu.pe), [aloloy@unitru.edu.pe](mailto:aloloy@unitru.edu.pe), [hbvasquez@unitru.edu.pe](mailto:hbvasquez@unitru.edu.pe), [fvalderrama@unitru.edu.pe](mailto:fvalderrama@unitru.edu.pe), [mcotrinat@unitru.edu.pe](mailto:mcotrinat@unitru.edu.pe)

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, [jvega@unitru.edu.pe](mailto:jvega@unitru.edu.pe)

<sup>3</sup>Departamento de Ciencias, Universidad Privada del Norte, Perú, [hans.portilla@upn.pe](mailto:hans.portilla@upn.pe)

**Resumen** – El estudio de investigación se enfocó en el avance de flotación de minerales, Este tema ha cobrado suma importancia en la industria minera ya que permite la recuperación del mineral, aumentando así la producción y la rentabilidad. El propósito de este estudio es analizar, detallar y publicar el desarrollo de la flotación de minerales. la metodología es realizar un análisis de revisiones bibliográficas de artículos científicos tomados de la base de datos Scopus, ScienceDirect, tesis, posters, etc. Se revisó la bibliografía del artículo las innovaciones de los sistemas de flota mineral han crecido rápidamente en los últimos decadas, tales como flotación por espuma, celdas de flotación columnar, flotación de partículas finas y gruesas, y flotación de nanoburbujas. Se concluyó que el desarrollo de la flotación de minerales es muy importante porque tiene un efecto positivo en la rentabilidad del proceso, ya que permite obtener un alto porcentaje de minerales.

**Palabras clave:** Flotación, minerales, columnar, Scopus

## I. INTRODUCCIÓN

La flotación, a menudo llamada el desarrollo metalúrgico más importante en el siglo 20, continúa procesando toneladas cada vez mayores y encontrando nuevas aplicaciones. Una encuesta de la Oficina de Minas de 1970 reportó un récord de 405 millones de toneladas o mineral procesado por flotación [1], frente a 279 millones en 1965 y 198 millones en 1960. Los minerales de sulfuro siguen dominando las estadísticas de flotación, pero otros minerales han tenido recientemente tasas de crecimiento más altas. Espuma flotación ha sido uno de los métodos más importantes y ampliamente utilizados para concentrar minerales desde su introducción hace más de cien años. Durante las últimas décadas para procesar más mineral mientras se reducen los costos de capital [2].

Hoy en día, debido a la complejidad del proceso de flotación de cobre, los ajustes a las variables operativas controladas por el operador a menudo no se realizan de manera oportuna. Por lo tanto, se debe adquirir una estrategia de agrupación para impulsar a los especialistas en marketing a adoptar una estrategia de adaptación rápida y efectiva. Basado en el algoritmo de agrupamiento de propagación de afinidad (AP) y el modelo de mezcla gaussiana (GMM), se propone un algoritmo de agrupamiento llamado AP-GMM. El número óptimo de clases y sus respectivas probabilidades se puede obtener sin especificar un número de clases favorable [3].

El retratamiento de viejos relaves por flotación también es una práctica muy extendida, ya que contienen muy poco

estaño concentrable por gravedad. El grado óptimo para producir es una relación entre la recuperación, el grado, los costos de transporte y los términos de fundición disponibles. Hay dos tipos de colectores en uso común - sulfosuccinatos y ácidos fosfónicos [1].

Normalmente, hay dos escenarios para extraer metales procedentes de minerales finamente molidos; es decir, [1]. La agrupación de minerales valiosos a usando "flotación" seguido del proceso de fundición y (2) extracción directa de metales de minerales finamente molidos por "lixiviación" seguida de procesos de purificación y recuperación (por ejemplo, extracción con disolventes y electro obtención (SX-EW) [4].

El avance de nuevas tecnologías y la fuerte demanda del mercado, la industria minera ha experimentado diversas transformaciones y mejoras en las etapas de producción y procesamiento para reducir los costos operativos. Todo esto está sucediendo en el contexto de la baja de los costos de los metales [5].

La flotación de minerales es un método de separación interfacial basado en las diferencias en la humectabilidad superficial de las partículas finas. Desempeña un papel importante en la industria del proceso de minerales [6]. Es ampliamente utilizado para el rescate de diversos minerales, principalmente cobre, hierro, oro, plata, plomo, zinc, níquel y otros sulfuros [7]. Por otro lado, la flotación es el paso más significativo en el procesamiento de minerales, ya que es este proceso permite precipitar los minerales sulfurados de la forma más económica.

Hoy, casi 2 mil millones de toneladas de mineral han sido exitosamente procesadas por flotación. En este intercambio, revisamos brevemente los avances clave en la química de superficie/coloides de flotación en relación con los desafíos que enfrenta la industria minera[8].

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Tipo de Investigación

Se empleó una metodología cualitativa con un estudio descriptivo y exploratoria de la base de datos Scopus, realizando un análisis bibliográfico de los artículos de revista sobre el tema de estudio avance en la flotación de minerales.

### B. Procedimiento

Esta investigación se realizó mediante la revisión bibliográfica de la base de datos Scopus, ScienceDirect, tesis, afiches, ect. utilizando palabras claves como avances, mineral y flotación, obteniendo como resultado diferentes artículos de revista sobre avance en la flotación de minerales.

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### A. Avances en la flotación de minerales dad minera

Los avances tecnológicos para optimizar procesos como la flotación tienen altibajos, con resultados alentadores y decepciones cuando no se cumplen las expectativas. La flotación sigue siendo un área de investigación porque persisten problemas difíciles. La ausencia de una medida como el grado de hidrofobicidad, aunque estén presentes otras medidas, da la falsa impresión de que la medida es un paso en la realización del tratamiento[9].

El proceso de flotación en la concentradora es un paso fundamental en el proceso minero, donde se recolectan minerales valiosos, los cuales se ven reflejados en las características metalúrgicas del proceso; se refiere al manejo de materiales y la calidad del producto; todos tienen un impacto directo en las operaciones de la empresa.

En la planta de flotación se pueden observar condiciones de operación no estándar para varios componentes de la planta de flotación, que afectan su operación, homogenización de lodos con aire de la planta de flotación, todo lo cual conduce a una operación ineficiente de la planta de flotación.[10].

Eriez Floation Division (EFD) se especializa en ofrecer tecnología de aspersión y flotación al sector de procesamiento de minerales. Los principales mercados de metales básicos, oro, minerales industriales, hierro, potasa, fosfato, carbón y productos energéticos son atendidos por EFD, que tiene oficinas en seis países. Junto con otros sistemas de separación hidráulica, la línea de productos de EFD también incluye sistemas de flotación de columnas y esparcidores [10].

#### 1) Etapas de efd, the stackcell and the tank feed air jet Stackcell

se desarrolló básicamente como una torre avanzada de purificación de carbón para usos térmicos y metalúrgicos. Los ventiladores con alta eficiencia y bajo mantenimiento se pueden usar para operar cerca de la atmósfera de aire suplementaria. Resulta que este método puede reducir efectivamente la demanda de energía y aumentar la tasa de recuperación y ahora está probando otras aplicaciones utilizando nuestro sistema de desarrollo de productos.

Otro método es el aire de entrada del tanque que se puede usar para la flotación de partículas finas. La alimentación se airea mientras aún se encuentra en el entorno increíblemente turbulento de la línea de alimentación, que es cómo funciona el sistema. Las partículas en las burbujas chocan y se agrupan debido a la alta energía, la alta concentración de minerales y las finas burbujas de aire. Las aplicaciones que involucran sulfuro de metal base han probado con éxito el chorro de aire de alimentación del tanque. Una ventaja de esta aplicación es que, como se muestra en la figura 1, la gravedad natural puede usarse para generar la caída de presión requerida en el CavTube, lo que reduce el requerimiento total de energía [11].



Figura. 1 Representación de la instalación chorros de aire de alimentación de tanques en una planta de metal base en América del Sur.

#### B. Celda de flotación columnar

Las celdas de flotación de columna industriales son estructuras metálicas cilíndricas o rectangulares con una altura típica de 9 a 14 metros y un diámetro de sección transversal de 0,5 a 3 metros como se puede apreciar en la figura 2. La alimentación de lodo generalmente representa 2/3 de la altura total de la torre. La suspensión de alimentación es impulsada hacia arriba por una corriente burbujeante impulsada por un mecanismo en la parte inferior de la columna. Además, hay orificios de drenaje lavables en esta área [5].

Una columna de flotación trabaja con la misma iniciación que una celda de flotación mecánica: el apartamiento de mineral se realiza en una suspensión aireada donde el área de los minerales selectos se acondiciona mediante reactivos de flotación, volviéndose hidrofóbicos.

La cinética de la flotación de columna se puede mejorar [12]. a pesar de su menor velocidad en comparación con las celdas mecánicas convencionales. En la refinación de cobre, se han observado ganancias de calidad del 2 al 4 por ciento.

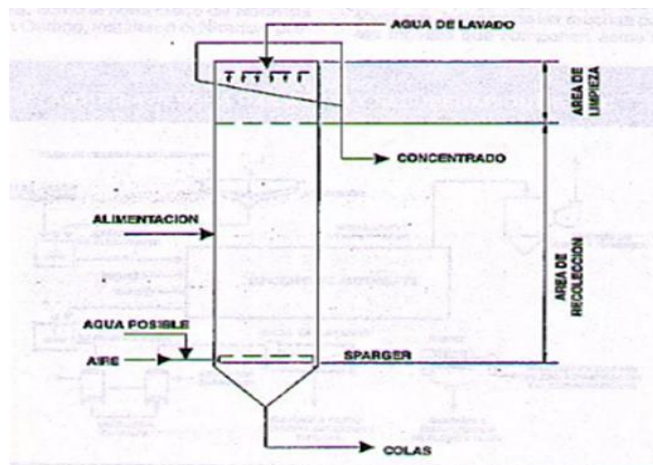


Figura. 2 Celdas de flotación columnar

#### C. Adsorción de tensioactivos en la interfase mineral/agua

Uno de los avances importantes en la investigación de la flotación es la introducción de la teoría de la doble capa eléctrica para comprender y describir el mecanismo de adsorción de los tensioactivos en la interfaz del agua minera.

Las moléculas colectoras de flotación (y los tensioactivos en general) constan de grupos funcionales polares y cadenas hidrocarbonadas no polares (alifáticas o aromáticas) o esqueletos poliméricos. Los minerales de

sulfuro y los colectores de sulfhidrilo no se incluyen en esta discusión porque la química de estos sistemas es completamente diferente. Al diseñar colectores selectivos, se deben buscar factores que determinen la adsorción del surfactante sobre un mineral y no sobre otro [8].

#### D. Flotación de finos: cavitation system

El sistema Dobby® fue creado por Eriez Fleet como una chispa de ingeniería de flota diseñada para maximizar la recuperación y el reciclaje de finos. Los principios hidrodinámicos se utilizan en este tipo de dispositivo de pulverización, que necesita crear burbujas de boquilla increíblemente pequeñas. El área superficial de las burbujas y la probabilidad de contacto con las partículas aumentan a medida que se hacen más pequeñas, lo que aumenta la tasa de recuperación. La relación entre el tamaño de la burbuja y el área de la superficie esta representado en la Figura 3 [10].

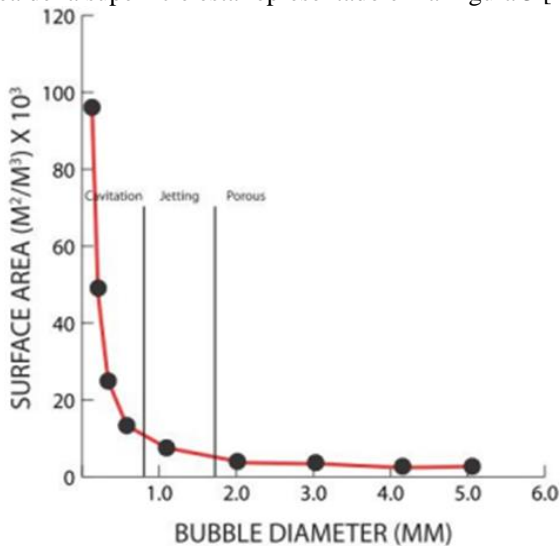


Figura. 3 Replatación del diámetro de burbuja y la generación de área superficial

Una bomba de recirculación, colectores de aire y almacenamiento y tubos Cavitation® conforman el sistema Cavitation® (Figura 4). El colector de lodos (ubicado alrededor de la torre) recibe los lodos no líquidos que son aspirados por la bomba de circulación mientras está funcionando [13].

La pérdida de minerales valiosos en la fracción fina (38 m) es un problema común en muchas concentradoras. En la Figura 4 se muestra un análisis del valor neto de los residuos del concentrador depurador/colector de Cu/Mo en los EE. UU. Es obvio que la pérdida de minerales valiosos (cobre y

molibdeno) es mayor en tamaños inferiores a 38 m. alrededor de la torre, instalado.

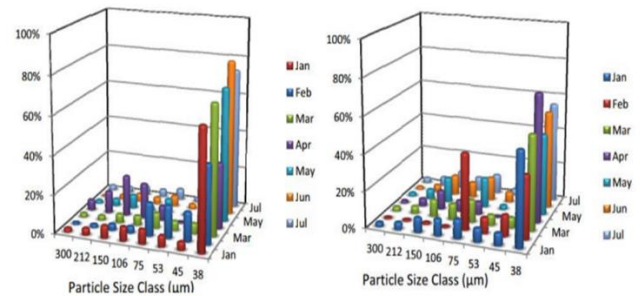


Figura. 4 Representación de mallas de Cu (a la izquierda) y MoS2 (a la derecha) valoradas para relaves más depuradores.

#### E. Flotación a granel

La batería HydroFloat® fue creada por Eriez. Después de que la alimentación mineral hidrofóbica se mezcle selectivamente con burbujas de aire, la celda HydroFloat® separa las partículas en función de la diferencia de densidad entre las partículas hidrofílicas y los agregados de burbujas de partículas [13].

principios de HydroFloat®

- **Gravimetry:** utilizando diferencias en la densidad aparente de los minerales.
- **Flotation:** Agregados de burbujas minerales formados por aglomeración selectiva de burbujas minerales hidrofóbicas.

La celda HydroFloat® se representa esquemáticamente en la Figura 5 con dos zonas distintas que se pueden distinguir: la zona superior, donde se produce la separación, y la zona inferior (cono), donde se descarga la pulpa.

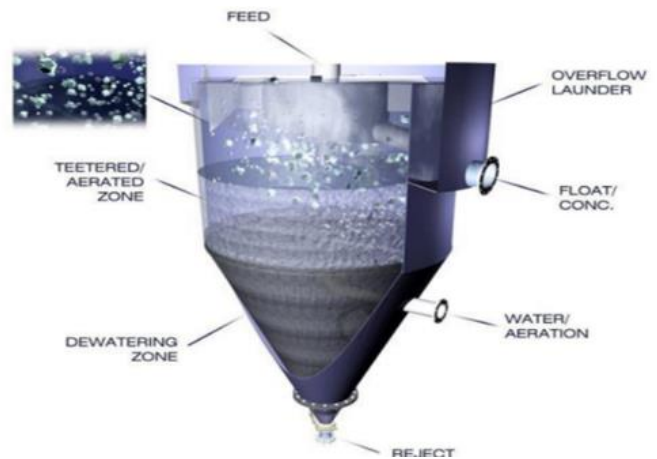


Figura. 5 Representación del esquema de la celda HydroFloat®.

El agua de fluidización se suministra a través de un sistema de tuberías instaladas en la parte inferior de la sección transversal del tanque, mientras que el suministro (suspensión) se realiza en la parte superior. Añadir aire de flotación (comprimido) y una pequeña cantidad de espuma junto con el agua de dilución. Las partículas minerales hidrofóbicas, junto con las burbujas de aire y el agua líquida, se transportan a la parte superior de la piscina, donde se regeneran en el fregadero. Los desechos se descargan desde el fondo del tanque a través de la válvula de compresión[13].



## F. Flotación matrix

Es una nueva táctica para concentrarse en la recuperación de especies valiosas a través de la mejora de la flotación.

El sistema de flotación Matrix 100™ se muestra en la Figura 6 y su objetivo es proporcionar una serie de resultados cuantificables que se pueden contabilizar.

- Rendimiento de reactivo mejorado.
- Recuperación mejorada de todas las especies importantes que están presentes.
- Un aumento en la cantidad de procesamiento o tratamiento.
- Concentrados de calidad superior.
- Aplicación acelerada de las recomendaciones a la luz del análisis de necesidades.



Figura. 6 Esquema de proceso de flotación Matrix

### 1) factores técnicos a considerar son:

- Química de reactivos.
- El tipo de mineral.
- La apariencia de la espuma (capacidad de procesamiento y tenacidad).
- La química (tipo y accesibilidad) del agua.
- los principales minerales que se encuentran en los hongos.
- Estabilidad físico-química de los componentes de la composición del reactivo
- Distribución y liberación del tamaño de las partículas
- Funcionamiento de flujo, ciclo y recirculación de fluidos
- Productos reciclables valiosos
- Cadena de fábrica
- Condiciones de operación del proceso
- Compatibilidad con otros reactivos

## G. Flotación por espumas

La flotación de espuma mineral es un procedimiento fisicoquímico que tiene como objetivo separar los minerales valiosos de los minerales indeseables. Se puede describir como un procedimiento químico de mineral cinético [14]. Por consiguiente, en la figura 7 está representado el esquema de la flotación por espuma.

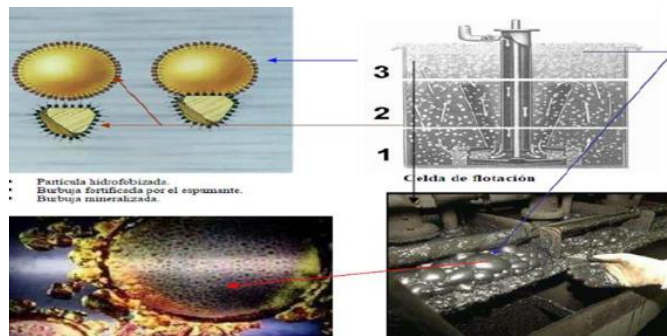


Figura 7 Proceso de flotación de espumas

### 1) Modelos de flotación de espuma

- Flotación directa, el concentrado valioso es efervescente, el mineral es escoria de celulosa.
- Flotación inversa o inversa, donde los gases gaseosos quedan atrapados en la espuma, pero los minerales considerados valiosos permanecen en la pulpa de desecho y luego se recuperan.
- Flotación a granel o concentrada, cuando todos los minerales valiosos de la mena se obtienen en concentrado y relaves y no existen materiales valiosos ni relaves.
- La flotación selectiva o flotación diferencial, utilizando el efecto selectivo de los reactivos en el concentrado, puede obtener minerales valiosos, es decir, concentraciones más altas variables operacionales en el proceso.

### III.G.1.1 Granulometría de mena

El volumen de la partícula exhibe un mayor recuperación metalúrgica, y el tamaño de partícula generalmente disminuye para tamaños de mineral más gruesos y más finos. Debido a que no tienen suficiente energía cinética para formar agregados estables de partículas/burbujas, los tamaños pequeños tienen una tasa de recuperación más baja, lo que está relacionado con la dificultad de la adhesión de partículas/burbujas [15].

### III.G.1.2 Tipo y cantidad de agentes de flotación.

El principal reactivo químico empleado en la flotación es el colector, cuya función es hidrofobizar la superficie del mineral deseado. Cabe señalar que el agente de flotación necesita un cierto tiempo de adaptación antes de entrar en contacto con la celulosa, para que pueda actuar eficazmente sobre las sustancias útiles contenidas en el mineral.

### III.G.1.3 Densidad de pulpa o porcentaje de sólidos

a masa a granel o la proporción del sólido en la flotación de minerales se determina mediante el paso de molienda o clasificación. La densidad de la suspensión afecta el tiempo de residencia de los minerales en la etapa de flotación y por ende la capacidad de la cadena.

### III.G.1.4 Periodo de residencia

Al producir el concentrado en etapas, es posible estimar cuánto tiempo necesitará realmente el mineral para la flotación.

## H. Avances recientes en fundamentos y aplicaciones de flotación de espuma mejorada con nanoburbujas

Hay dos tipos principales de nanoburbujas: nanoburbujas de superficie (SNB) y nanoburbujas a granel (BNB). Las nanoburbujas de superficie se refieren a bolsillos/sacos llenos de gas en forma de casquete esférico en superficies sólidas con una altura de 10 a 100 nm y un diámetro de espacio trifásico en el rango de 50 a 500 nm, mientras que las nanoburbujas a granel se refieren al diámetro del gas-burbujas esféricas llenas, por debajo de 1000nm. En la figura 8 representa la formación de las nanoburbujas.

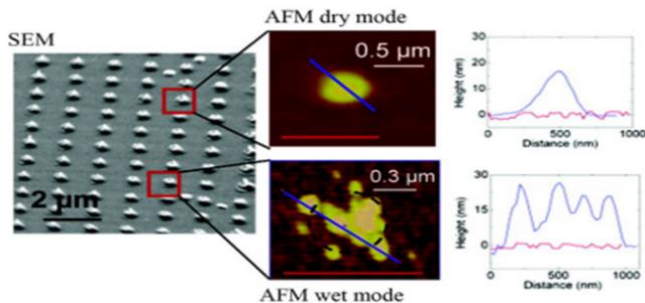


Figura. 8 Formación de las nanoburbujas

### 1) Formación de las nanoburbujas

Las nanoburbujas se han utilizado ampliamente para la flotación de minerales, y los resultados muestran que pueden mejorar significativamente el rendimiento de la flotación, incluida la velocidad constante del proceso, la recuperación y la calidad del concentrado, el consumo de reactivos, etc [16].

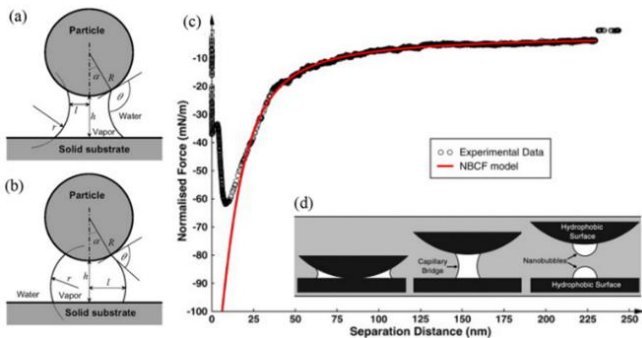


Figura 9 Efecto de las nanoburbujas en la flotación de partículas

### 2) Tamaño más pequeño y mayor concentración de nanoburbujas

Como se muestra en la Figura 10, existen diferencias significativas entre la flotación de nanoburbujas y la tecnología basada en la flotación convencional [17].

En la flotación tradicional, las burbujas de aire generalmente se crean al separar el aire externo usando impulsores en celdas de flotación mecánicas o burbujas en columnas de flotación. Su tamaño suele oscilar entre unos cientos de micrómetros y unos pocos milímetros.

Se prefieren tamaños de burbujas más pequeños para aumentar la flotabilidad de las partículas selectas porque tienen una menor probabilidad de colisionar con burbujas de aire de tamaño normal

Por el contrario, tanto las nanoburbujas superficiales como las nanoburbujas a granel se forman mediante la flotación de nanoburbujas, que precipita el aire disuelto de las

soluciones acuosas según la cavitación hidrodinámica o principios similares.

El tamaño medio de las nanoburbujas a granel suele oscilar entre 150 y 280 nm, que es mucho más pequeño que el que se utiliza en los procesos de flotación convencionales, que se sabe que mejoran la probabilidad de recogida de finos [16].

Además, se encontró que la concentración o densidad numérica de nanoburbujas en soluciones acuosas era de  $1,6 \sim 4 \times 10^9$  nanoburbujas mL<sup>-1</sup>. En otras palabras, las nanoburbujas con menor volumen y mayor densidad numérica crean condiciones más favorables para la flotación hidrodinámica de partículas finas.

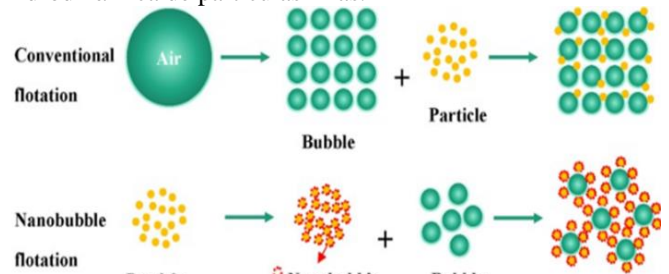


Figura. 10 Ilustración de flotación convencional y flotación de nanoburbujas

### 3) Aplicaciones y ventajas de las nanoburbujas en la flotación de partículas

Las nanoburbujas a granel (BNB) y las nanoburbujas de superficie (SNB) se han utilizado con éxito en la flotación de varios tipos de carbón y minerales, incluidos los minerales de fosfato, cuarzo, moscovita y sulfuro [16].

### III.H.3.1 Carbón (C)

Primero intentaron aplicar el principio de cavitación a la flotación del carbón, lo que dio como resultado un aumento en el rendimiento de flotación de hasta un 15 % (en peso), una reducción del 10 % en el consumo de vaporizador y una reducción del 10 % en el consumo del colector, aunque una nanoburbuja. la flotación no se propuso oficialmente en ese momento.

Utilizaron nanoburbujas generadas con base en el principio de cavitación hidrodinámica en flotación mecánica y de columna de carbón y demostraron que el uso de nanoburbujas aumentó la recuperación de flotación de cierta categoría de productos en un 8 % ~ 27 % y mejoró la fracción de tamaño constante de la tasa de flotación de varios carbonos. tipos son tanto como 98.4%.

La presencia de nanoburbujas aumentó la recuperación de la flotación de carbón entre un 10 % y un 39 % para la ceniza de carbón limpia específica y redujo la cantidad de colectores y skimmers a la mitad [17].

Las nanoburbujas generadas con base en el método de diferencia de temperatura redujeron el tiempo de inducción del lignito de 400 ms a 27 ms y el tiempo de unión de 208 ms a 128 ms. Como resultado, la recuperación de la flotación de lignito aumentó un 5,2 % y la dosis del colector se redujo de 2 kg/h a 1,5 kg/h [18]. La Figura 11 muestra que las nanoburbujas formaron tamaños regulares en el dominio de la celulosa.

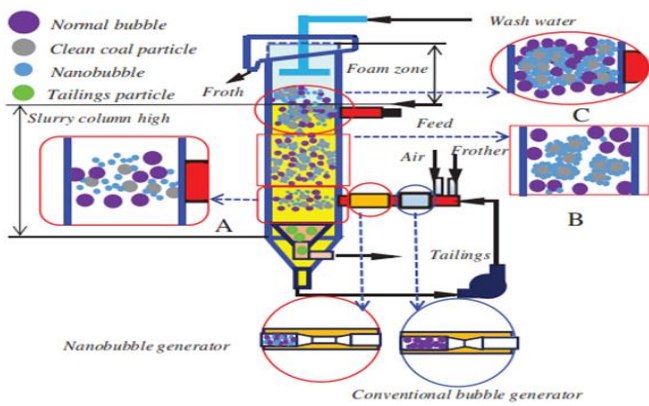


Figura. 11 Mecanismos de nanoburbujas adsorbidas en la superficie de partículas de carbón

### III.H.3.2 Cuarzo (SiO<sub>2</sub>)

El uso de nanoburbujas (200–720 nm) mejoró la recuperación por flotación de cuarzo fino y ultrafino hasta en un 20–30 %, con ángulos de contacto más altos y agregación de finos de cuarzo en presencia de nanoburbujas que se cree que son los principales mecanismos involucrados.

La presencia de nanoburbujas en la flotación mecánica aumentó la recuperación de flotación de cuarzo grueso de -425 106 μm hasta en un 21 % y la tasa de flotación constante hasta en un 36 %. La recuperación y mejora de la constante de velocidad depende del diámetro del impulsor y la velocidad de rotación, la velocidad del aire y el número de Reynolds [19].

#### I. Reactivos aplicados a la flotación de minerales de suelos raros (REE)

La mayoría de la naturaleza de tierras raras en el mundo provienen de recursos naturales. Se dividen en varias categorías según su formación y el tipo de mineral predominante. Se agrupan en cuatro entornos geológicos: rocas carbonatadas, rocas ígneas alcalinas/peralcalinas, sedimentos de emplazamiento (arenas minerales) y arcillas adsorbidas por iones. [20].

#### J. Flotación de metales de tierras raras (REM)

La flotación de REM, particularmente bastnaesita (Ce, La, Y)CO<sub>3</sub>F) y monacita, (CePO<sub>4</sub> LaPO<sub>4</sub> NdPO<sub>4</sub> SmPO<sub>4</sub>), generalmente se logra utilizando colectores de oxhidrilo, como hidroxamatos, carboxilatos y ésteres de ácido fosfórico. Esta clase de colectores se denomina colectores de oxhidrilo, ya que sus grupos funcionales consisten en un anión de oxígeno y un oxígeno de doble enlace al que se unirá un catión metálico.

Para REM, especialmente la flotación de bastnaesita (Ce, La, Y)CO<sub>3</sub>F) y monacita (CePO<sub>4</sub> LaPO<sub>4</sub> NdPO<sub>4</sub> SmPO<sub>4</sub>), se usan hidroxamatos, carboxilatos y fosfatos. Estos colectores se denominan colectores de hidroxilo porque su grupo funcional consta de un oxianión y un oxígeno con doble enlace al que se unirá el catión metálico.

#### 1) Ácidos hidroxámicos (RC(C=O)NHOH)

Los ácidos hidroxámicos son un grupo de colectores quelantes que forman complejos con los cationes metálicos presentes en las superficies minerales. Varios investigadores propusieron que la formación del complejo hidroxamato-metal ocurre reemplazando el átomo de hidrógeno del grupo

hidroxilamida con un catión metálico y cerrando el anillo a través del átomo de oxígeno del carbonilo [21].

Los ácidos hidroxámicos y sus sales (conocidos colectivamente como hidroxamatos) generalmente se consideran los colectores más efectivos para la flotación de cerita (Ce, La, Y) CO<sub>3</sub>F) y monacita (CePO<sub>4</sub> LaPO<sub>4</sub> NdPO<sub>4</sub> SmPO<sub>4</sub>). Trabajos demostrando su selectividad y colectividad con respecto a bastnaesita y monacita [6].

Abarca determinar que el pH adecuado para la flotación suele rondar el pH 9. es aprox. Eliminador de ácido hidroxámico pKa [8]. A este pH, también hay una alta concentración de grupos hidroxilo de tierras raras, lo que proporciona las condiciones ideales para la adsorción del colector.

Tabla. I

Resumen de estudios de flotación de un solo mineral en monacita utilizando colectores de hidroxamato

REM	Hydroxamate collector	Gangue minerals	Other surfactants
Monzanite	POH		
		Zircon	Sodium metasilicate
		Rutile	
	OHA	Calcite	
		Calcite	
		calcite	sodium silicate
			sodium

#### 2) Carboxilatos (R-COOH)

Las sales de carboxilato son los colectores más utilizados en la práctica industrial y tradicionalmente fueron los colectores de elección en la flotación REM hasta que se desarrollaron hidroxamatos como colectores de flotación viables[22].

Como resultado, la investigación reciente se ha centrado en la flotación REM con hidroxamatos, y ha habido un trabajo limitado que investiga la flotación REM distinta de la bastnaesita, la monacita y la xenotima

#### K. Agentes modificadoras de pulpa/superficie

#### 1) Carbonato de sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)

El carbonato de sodio se usa ampliamente en la flotación de bastnaesita para regular el suministro de iones de carbonato en solución [23]. Los minerales de bastnaesita y ganga como la calcita y la barita se ven afectados por los iones de carbonato en términos de pH de la solución y características de la superficie (el anión de carbonato es un ión potencialmente dominante para estos minerales) [23]. La adición de carbonato de sodio en exceso inhibirá la flotación de bastnaesita.

#### 2) Ácido cítrico (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>)

El ácido cítrico ayuda a la flotación de la monacita[24]. proporciona un efecto de limpieza en las superficies de monacita al quelar y eliminar los iones de monacita [24] se probó como reactivo de flotación para el mineral de Strange Lake (M, 2016). La recuperación de REM se puede mejorar con Florrea 7510, Flotador 1682 y KBX<sub>3</sub>. Para obtener los mejores resultados de flotación, los autores recomiendan combinar Flotador 1682 con ácido oxálico y ácido cítrico[25].

### 3) Poliacrilato de sodio ( $C_3H_3NaO_2$ ) n

La extracción de monacita a partir de residuos de arcilla de caolín utilizando el poliacrilato de sodio dispersante, esto proporciona una mejora significativa sobre la flotación sin dispersión, lo que da como resultado una recuperación del 50% y aprox. Aumento de 1,6 veces en la calidad [26]

## IV. CONCLUSIONES

Se analizó que la flotación columnar es más lenta que las celdas mecánicas tradicionales, aunque permite una cinética mejora y se han informado mejoras en la ley del 2% al 4% después de una limpieza de cobre.

El avance de flotación por espuma aplicando nanoburbujas permite tener una mejor recuperación de los metales, permitiendo tener un aumento de la recuperación de la flotación del carbón entre un 10 % y un 39 % con una ceniza de carbón limpia y en la recuperación de cuarzo mejoró fino y ultrafino hasta en un 20–30 %.

En los agentes modificadores de pulpa en la flotación se demostró que el carbonato de sodio se usa en la flotación de bastnäsita para regular el suministro de iones de carbonato en solución, se demostró que el uso excesivo de  $Na_2CO_3$  deprimirá la flotación de bastnäsita.

## V. REFERENCIAS

- [1] Anon, «lotation: The no. 1 Beneficiaton process,» Engineering and Mining Journal,, 2022.
- [2] D. B y . R. Mesa, «Scale-up in froth flotation: A state-of-the-art review,» Separation and Purification Technology, vol. 210, 2018.
- [3] z. H, D. L y . B. Wang, «Clustering of Copper Flotation Process Based on,» IEEE Access, 2019.
- [4] I. Park, «Advances in Selective Flotation and Leaching Process,» Metals, vol. 12, n° 144, p. 4, 2022.
- [5] C. Castro, H. Vargas y G. Farias, «Modeling and multivariable analysis of a flotation column system,» IEEE ICA-ACCA, 2019.
- [6] L. Xia y B. Hart, «Hydroxamate collectors for rare earth mineral flotation,» Annual conference of Metallurgists Vancouver, 2014.
- [7] Pochteca, «QUÉ ES EL PROCESO DE FLOTACIÓN Y SUS APLICACIONES INDUSTRIALES,» 2021.
- [8] D. W. Fuerstenau y Pradip, «A Century of Research Leading to Understanding the Scientific Basis A Century of Research Leading to Understanding the Scientific Basis,» Mining, Metallurgy & Exploration, 2019.
- [9] E. Rivera, «lotación y sus retos: Innovación como la llave maestra,» Nueva Minería y Energía, 2019.
- [10] B. Quinde, «Rumbo Minero,» 2021. [En línea]. Available: <https://acortar.link/zteb9x>.
- [11] E. Bain, Artist, Nueva Tecnología y Aplicaciones para la Flotación Mediante Desarrollo Sistemático de Productos. [Art]. 2014.
- [12] SGS, «SGS Société Générale de Surveillance,» 2022. [En línea]. Available: <https://acortar.link/UFrL0a>.
- [13] B. Lorena, «Flotación de Finos y Gruesos Aplicada a la Recuperación de Minerales de Cobre,» 2012.
- [14] H. CARI y O. MANUEL, Artists, Replacement of conventional collectors (xanthatos) by innovative collectors in the flotation process of cupriferous minerals”. [Art]. UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN, 2018.
- [15] M. B. G. L. E. M. & R. C. Bianca Foggiatto, «The economics of large scale ore sorting,» ResearchGates, vol. 1, n° 1, p. 11, 2014.
- [16] D. Tao, «Recent advances in fundamentals and applications of nanobubble enhanced froth flotation: A review,» Minerals Engineering, vol. 138, 2022.
- [17] F. Ma, D. Tao y Y. Tao, «Effects of nanobubbles in column flotation of,» International Journal of Coal Preparation and Utilization, 2019.
- [18] Z. Zhang y L. RenYimin , «Role of nanobubbles in the flotation of fine rutile particles,» ScienceDirect, 2020.
- [19] S. NazariSied y Z. ShafaeiMahdi , «Effects of nanobubble and hydrodynamic parameters on coarse quartz,» International Journal of Mining Science and Technology, 2019.
- [20] G. K y M. D, «A review of reagents applied to rare-earth mineral flotation,» Advances in Colloid and Interface Science, vol. 2017, 2017.
- [21] M. LiKai y G. Dongliang, «The influence of temperature on rare earth flotation with naphthyl hydroxamic acid,» Journal of Rare Earths, 2017.
- [22] A. Jordens y Y. Ping, «A review of the beneficiation of rare earth element bearing minerals,» Minerals Engineering, 2013.
- [23] Pradip y D. Fuerstenau, «The role of inorganic and organic reagents in the flotation separation of rare-earth ores,» International Journal of Mineral Processing, 9991.
- [24] W. ZhangRick y H. Cheng, «Flotation of monazite in the presence of calcite part II: Enhanced separation performance using sodium silicate and EDTA,» ScienceDirect, 2018.
- [25] O. M, «Flotation development testwork on REE samples from the strange Lake Alkalic Complex,» International mineral processing congress proceedings, 2016.
- [26] L. Filippov y Q. Dehaine, «are earths (La, Ce, Nd) and rare metals (Sn, Nb, W) as by-products of,» ScienceDirect, 2016.
- [27] Z. H. D. L. B. Wang, «Clustering of Copper Flotation Process Based on,» IEEE Access, vol. 7, n° 9, pp. 160650 - 160659, 2019.
- [28] C. Rios, «Economic impact of mining in Peru,» South Florida Journal of Developmen, 2021.
- [29] i. Park, «Advances in Selective Flotation and Leaching Process,» Metals, 2022.
- [30] D. Michaud, "Ore Sorting & Pre-Concentration," 12 Julio 2016. [Online]. Available: <https://www.911metallurgist.com/blog/ore-sorting-pre-concentration>. [Accessed 16 Diciembre 2020].
- [31] D. B.-P. P. R. Mesa, «Scale-up in froth flotation: A state-of-the-art review,» Separation and Purification Technology, vol. 210, n° 12, pp. 950 - 962, 2018.
- [32] W. V. P. H. K.-A. D. Lindon Pyle, «Pre-Concentration: more than bulk ore sorting,» ResearchGate, vol. 1, n° 2, p. 19, 2022.
- [33] Z. P. Lewis-Gray, «Advanced comminution circuit design – essential for industry,» AusIMM Bulletin, vol. 1, pp. 38-42, Agosto 2010.
- [34] D. Fuerstenau, «Zeta potentials in the flotation of oxide and silicate minerals,» Advances in Colloid and Interface Science, 2005.
- [35] A. Cestari, «Clasificación de minerales a granel en metales básicos y preciosos,» ThermoFisher, p. 3, 05 Diciembre 2020.
- [36] Y. Xing y M. Xu, «The role of surface forces in mineral flotation,» Journal Pre-proof, 2019.