

## Fundamentos del Proceso de Flotación

La definición tradicional de flotación sostiene que es una técnica de concentración de minerales en húmedo, en la que se aprovechan las propiedades físico-químicas superficiales de las partículas para efectuar la selección. En otras palabras, se trata de un proceso de separación de materias de distinto origen que se efectúa desde sus pulpas acuosas por medio de burbujas de gas y a base de sus propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas.

Según la definición, en la flotación se admite presencia de tres fases: sólida, líquida y gaseosa.

La fase sólida son las materias a separar, la fase líquida es el agua y la fase gas es el aire. Los sólidos finos y liberados y el agua, antes de la aplicación del proceso, se preparan en forma de pulpa o suspensión densa con un porcentaje de sólidos variables, normalmente no superior a 40-50% de sólidos. Una vez ingresada la pulpa al proceso, se inyecta el aire para formar las burbujas, sobre las cuales se adhieren las partículas sólidas.

Para lograr una buena concentración, se requiere que las especies que constituyen la MENA (mineral que contiene la/s especie/s valiosa/s) estén separadas o liberadas. Esto se logra en las etapas previas de trituración y molienda. Para la mayoría de los minerales, un grado adecuado de liberación se obtiene moliendo hasta tamaños de 100 micrones (0,1 mm). Tamaños mayores de partícula, ocasionan escasa adherencia a la burbuja de aire; en tanto que si las partículas son menores no tienen el suficiente impulso para provocar un encuentro efectivo partícula- burbuja.

En un proceso de concentración de minerales ideal, la mena mineral se divide en un concentrado enriquecido con el componente valioso y una cola con los minerales que componen la ganga.

Por su parte, la estabilidad de la burbuja dependerá del espumante agregado.

### Reactivos Usados en la Flotación

Los reactivos de la flotación son sustancias orgánicas que promueven, intensifican y modifican las condiciones óptimas del mecanismo físico-químico del proceso.

Pueden clasificarse en:

**Colectores:** Son sustancias orgánicas que se adsorben en la superficie del mineral, confiriéndole características de repelencia al agua (hidrofobicidad).

**Espumantes:** Son agentes tensoactivos que se adicionan a objeto de:

1. Estabilizar la espuma
2. Disminuir la tensión superficial del agua
3. Mejorar la cinética de interacción burbuja - partícula
4. Disminuir el fenómeno de unión de dos o más burbujas (coalescencia)

Los reactivos conocidos como *Modificadores*, por otro lado, tales como *activadores*, *depresores* o *modificadores de pH*, se usan para intensificar o reducir la acción de los colectores sobre la superficie del material.

## Mecanismos de Flotación

Para entender el mecanismo de la flotación es necesario conocer qué sucede entre la partícula de mineral y la burbuja de aire para que formen una unión estable partícula-burbuja.

El proceso de flotación está basado en las propiedades hidrofílicas o hidrofóbicas de los sólidos a separar. Se trata fundamentalmente de un fenómeno de comportamiento de sólidos frente al agua, es decir de mojabilidad de los sólidos. Los metales nativos, sulfuros metálicos o especies tales como grafito, carbón bituminoso, talco y otros, son poco mojables por el agua y se llaman minerales hidrofóbicos. Por otra parte, los minerales que son óxidos, sulfatos, silicatos, carbonatos y otros son hidrofílicos, o sea, mojables por el agua. Se puede observar además que los minerales hidrofóbicos son aerofílicos, es decir, tienen gran afinidad por las burbujas de aire, mientras que los minerales hidrofílicos son aerofóbicos, o sea, no se adhieren normalmente a ellas.

Es necesario incrementar especialmente la naturaleza hidrófoba en las partículas minerales de una pulpa para facilitar la flotabilidad. Esto se efectúa mediante los reactivos llamados colectores, que son compuestos generalmente orgánicos, con carácter heteropolar, donde una parte de la molécula es un compuesto evidentemente apolar (hidrocarburo) y la otra es un grupo polar con las propiedades iónicas, es decir, con carga eléctrica definida.

La partícula queda cubierta por el colector que se adhiere a su superficie por medio de su parte polar, proporcionándole propiedades hidrofóbicas.

El agregado de *espumantes*, como se ha dicho, permite la formación de burbujas de tamaño, cantidad y calidad adecuada para el proceso. El contacto partícula-burbuja requiere que las primeras estén en constante agitación, la cual la otorga el rotor de la máquina de flotación, de tal modo que para realizar la unión con las burbujas son necesarios:

- a) su encuentro
- b) condiciones favorables para formar el agregado.

El contacto partícula-burbuja se acerca hasta el punto en que la película de agua que las separa es muy fina. En este momento, para que la partícula pueda acercarse más a la burbuja tiene que superar lo que se considera una barrera energética. Para las partículas hidrofílicas, en que la asociación de la partícula con las moléculas de agua es muy firme, esta barrera nunca se supera y las partículas no flotan. Para las partículas hidrofóbicas, la barrera queda repentinamente rota por fuerzas no bien conocidas, permitiendo un contacto trifásico (sólido-líquido-gas).

### Variables Operacionales Relevantes en el Proceso

Algunas de las variables de mayor importancia para el proceso de flotación son:

1. *Granulometría*: Adquiere gran importancia dado que la flotación requiere que las especies minerales útiles tengan un grado de liberación adecuado para su concentración.
2. *Tipo de Reactivos*: Los reactivos pueden clasificarse en colectores, espumantes y modificadores. La eficiencia del proceso dependerá de la selección de la mejor fórmula de reactivos.
3. *Dosis de Reactivo*: La cantidad de reactivos requerida en el proceso dependerá de las pruebas metalúrgicas preliminares y del balance económico desprendido de la evaluación de los consumos.

4. *Densidad de Pulpa*: Existe un porcentaje de sólidos óptimo para el proceso que tiene influencia en el tiempo de residencia del mineral en los circuitos.

5. *Aireación*: La aireación permitirá aumentar o retardar la flotación en beneficio de la recuperación o de la ley, respectivamente. El aire es uno de los tres elementos imprescindibles en el proceso de flotación, junto con el mineral y el agua.

6. *Regulación del pH*: La flotación es sumamente sensible al pH, especialmente cuando se trata de flotación selectiva. Cada fórmula de reactivos tiene un pH óptimo ambiente en el cual se obtendría el mejor resultado operacional.

7. *Tiempo de Residencia*: El tiempo de residencia dependerá de la cinética de flotación de los minerales, de la cinética de acción de reactivos, del volumen de las celdas, del porcentaje de sólidos de las pulpas en las celdas y de las cargas circulantes.

8. *Calidad del Agua*: En las Plantas la disponibilidad de agua es un problema. Normalmente se utiliza el agua de recirculación de espesadores que contiene cantidades residuales de reactivos y sólidos en suspensión, con las consecuencias respectivas derivadas por este flujo de recirculación.

### **Reactivos de Flotación Utilizados en laboratorio**

Colector SF - 323 (Isopropil Etil Tionocarbamato)

Propiedades Químicas:

El SF-323 es un reactivo relativamente estable en medios ácidos, a pH alcalino presentando una buena estabilidad en los rangos normales usados en los procesos de flotación.

Usos:

El SF-323 es un colector fuerte, más selectivo que los Xantatos y ampliamente usado en la flotación de minerales sulfurados de cobre en medio alcalino o neutro.

Su uso debe normalmente debido a que su selectividad lo hace adecuado para la flotación de Sulfuros de Cobre en presencia de Pirita y Oro libre a pH alto; 10 a 11.5.

El reactivo requiere de un tiempo de acondicionamiento, por lo que se recomienda su dosificación durante la molienda.

Las dosificaciones normales de SF-323 varían de 10 a 40 g / t de mena alimentada al circuito.

Precauciones de Manejo:

Durante su manejo se deben tomar precauciones para evitar el contacto prolongado, mediante el uso de anteojos y guantes de neoprene o PVC.

Puede ser almacenado al aire libre cuidando que la protección contra la oxidación y corrosión de los envases sea adecuada.

Se recomienda que los envases permanezcan cerrados.

Debido a su naturaleza inflamable debe ser almacenado y manejado lejos de calores excesivos a llamas abiertas. En caso de inflamación debe ser usado un extintor tipo B o C.

### **Colector XAP ó xantato amílico de potasio**

Propiedades químicas y usos : es un producto que se aplica generalmente en aquellas operaciones que requieren el más alto grado de poder colector. Se usa en la flotación de minerales sulfurosos de cobre. Los Xantatos tienden a descomponerse en soluciones con pH inferior a 6.0.

Se aplica con especial éxito en la flotación de la Pirita que contiene oro.

## **Precauciones de Manejo**

Los Xantatos son estables durante largos períodos de tiempo, siempre y cuando se almacenen en lugar seco y fresco. Las personas que manejan las Xantatos deben tomar ciertas precauciones. Debe evitarse someterlos a la cercanía de llama viva o fuego, puesto que las Xantatos y algunos de sus productos de descomposición son combustibles.

Los Xantatos, en términos generales, deben manipularse con el mismo grado de precaución que se aconseja para otros productos químicos orgánicos.

## **Espumante MIBC (Metil-isobutil carbinol)**

Descripción : el MIBC es usado ampliamente como espumante en la flotación de minerales sulfurados de cobre y en la flotación de Oro y Plata. Se utiliza también una mezcla con otros espumantes cuando se requiere de una espuma más resistente.

La velocidad de la producción de espuma del MIBC es mayor que la obtenida con otros espumantes, por lo tanto la persistencia de ésta es menor, hecho ventajoso en aquellos casos en que desea un manejo adecuado de los concentrados en instalaciones que no admiten excesos de espuma o no es recomendable.

El MIBC permite un excelente control del proceso de flotación porque no tiene características colectoras.

## **Precauciones de manejo**

El MIBC debe ser manejado con los cuidados que requiere un producto inflamable y deben tomarse las precauciones correspondientes. En caso de inflamación, debe utilizarse para la extinción un extintor tipo B ó C. La práctica usual recomienda una dosificación entre 30 y 70 g / t de mineral alimentado al circuito.

## **Aplicaciones de la Cal en Flotación**

Las plantas de procesamiento de minerales, usan cal como modificador de pH.

El objeto de adicionar cal en los procesos de flotación es para ajustar el pH, cambiando las propiedades electroquímicas de la pulpa, y así lograr una mejor acción de los reactivos espumantes y colectores, mejorando la interacción del colector con la superficie de mineral útil.

El ambiente alcalino favorece la depresión de ciertas especies como la Pirita.

La cal puede ser adicionada en forma sólida, ya sea como cal hidratada o en forma de lechada de cal. Su dosificación depende del aumento de pH necesario, a partir del pH natural de la pulpa, y el contenido de CaO hidrolizable de la cal.

Así, cada sistema de flotación tendrá un consumo de cal particular, el cual debe de ser determinado experimentalmente.

## **Formulación Matemática del Proceso**

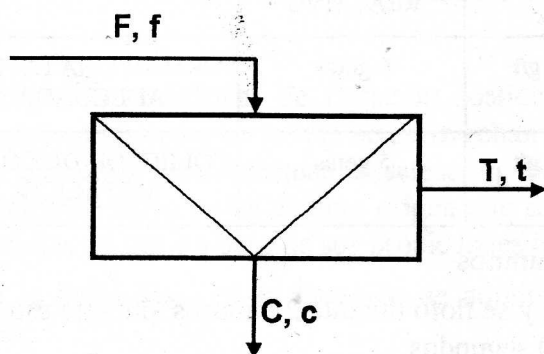
### **Evaluación del Proceso**

Los índices que se utilizan para evaluar una operación de concentración son:

**Recuperación (R)**: Es la razón entre la masa del material útil obtenido en el concentrado y la masa del material útil de la alimentación.

**Razón de Concentración (Rc)**: Es la razón entre la masa de alimentación y la masa de concentrado. En términos prácticos, se refiere a las toneladas de mineral necesarias de beneficiar para obtener una tonelada de concentrado.

## Balances en Concentración por Flotación



Eficiencia | \* confiabilidad  
\* Rendimiento teórico.  
Eficiencia

$$\text{BIAS} = \frac{C}{F}$$

### Recuperación Metalúrgica:

$$R = \frac{C * c}{F * f} * 100 = \frac{c * (f - t)}{f * (c - t)} * 100$$

### Razón de concentración:

$$R_c = \frac{F}{C} = \frac{c - t}{f - t}$$

Con F, C, T: Flujos másicos de alimentación, concentrado y relave, respectivamente.

f, c, t: Leyes de alimentación, concentrado y relave, respectivamente.