

292

Minería

CONCENTRACION POR FLOTACION

Publicamos una pequeña parte de la interesante tesis "Beneficio Económico de Minerales" del Ingo. Noé Reyes C. y llamamos la atención a los estudiantes sobre esta tesis que puede serles muy útil como obra de consulta.

El proceso de concentración de minerales metálicos y no metálicos por flotación, es sin duda el que más desarrollo y más variaciones ha introducido en la industria del beneficio durante el presente siglo. Se inició con la flotación colectiva de los sulfuros metálicos y en la actualidad se ha extendido a casi todos los minerales industriales para separarlos de las gangas y el proceso selectivo para aislar unos de otros.

Tipos de minerales flotables: minerales en que los metales están en forma nativa; sulfuros, arseniuros, telururos; minerales no metálicos: grafito, talco, mica, fosfatos, espato flúor, silicatos diversos, bauxita, casiterita, calcita, carbonatos y sulfatos en general. También se ha concentrado con éxito minerales solubles en el agua como Hialita (NaCl). En general se puede afirmar que todo mineral puede ser concentrado por flotación cuando el procedimiento resulte más económico que los otros. Es de lamentar que en Colombia presentándose minerales con características especiales para la flotación, no se haya introducido el tratamiento que donde quiera que se aplica se han obtenido enormes economías y facilidad para minerales que de otra manera permanecerían como riquezas potenciales. La utilidad que representa la flotación en el tratamiento de minerales complejos de oro y plata es invaluable, pues con el proceso selectivo se eliminan cianidas, disminuyen tonelajes de concentrados sin afectar la recuperación, lo que representa disminución en el costo de mano de obra, transportes costosos, equipos dispendiosos. Por ejemplo: un mineral que contenga un 5% de sulfuros asociados al oro; el proceso de flo-

tación reduce el concentrado de 20:1 y por consiguiente la capacidad de la planta de cianuración en el caso del mineral crudo y en el caso flotado estarán aproximadamente en la misma relación.

Fundamentos científicos de la flotación: El arte de la flotación lo mismo que otros procedimientos metalúrgicos se desarrolló atendiendo a las condiciones difíciles de la industria y desde entonces ha venido perfeccionándose prácticamente quedando los fundamentos científicos muy relegados. Casi todo beneficio hace experimentos de concentración por el sistema llegando al máximo de recuperación para el mineral, basándose en principios empíricos sin que una ley regule exactamente las condiciones más favorables. Muchas teorías que tratan de explicar la flotación se han emitido en forma completa; unos autores sostienen que el fenómeno se debe a la tensión superficial y modificaciones por agentes mecano-químicos; otros a estados coloidales y reacciones físico-químicas de la sustancia, y otros a la atracción eléctrica y campos con distinta intensidad creados por reacciones físicas y químicas.

Serie de Schürman. En el año de 1888 E. Schürman publicó los resultados de una serie de experimentos tendientes a demostrar la escala de afinidad de los metales por el azufre; en orden descendente es: Mercurio, Plata, Cobre, Bismuto, Cadmio, Plomo, Zinc, Níquel, Cobalto, Hierro y Manganese; su objeto fue demostrar el enriquecimiento de los depósitos secundarios: "la sal de un metal es descompuesta por el sulfuro del siguiente en la serie y precipitado en forma de sulfuro". Según Schürman el orden de solubilidad de los sulfuros es el inverso de la serie. Los experimentos en flotación demuestran que la escala de flotabilidad sigue a grandes rasgos la serie de Schürman.

Fases químicas de la flotación. La flotación selectiva moderna, tal como se aplica a los minerales sulfurosos, puede decirse que se inició con la aplicación de los xantatos y otros compuestos similares, cuyo efecto es reconocidamente químico. Los xantatos son compuestos orgánicos a base de un alcohol, un álcali y bisulfuro de carbono, y actúan sobre las sales metálicas produciendo compuestos insolubles y flotables; la precipitación de los xantatos insolubles de las soluciones metálicas sigue aproximadamente la serie de Schürman, como por ejemplo: un mineral o solución que contenga sales solubles de Plata, Cobre, Plomo, Zinc, Hierro, una pequeña cantidad de xantato amílico de sodio será suficiente para iniciar la precipitación y de los análisis de la solución antes de agregar nuevas cantidades de reac-

tivo se verá el orden de precipitación. Como se dijo antes, los xantatos insolubles son fácilmente flotables sin adición de otro promotor y para la recolección se precisa un espumante.

Reacciones químicas de los reactivos depresores. Los reactivos depresores tienen por objeto prevenir la flotación de un sulfuro, óxido, carbonato, etc. El más conocido es la cal que impide la flotación de los sulfuros de hierro; este reactivo acompañado de la acción del aire cambia la superficie de los sulfuros convirtiéndolas en tiosulfatos, sulfatos, sulfatos básicos e hidróxidos; el efecto acompañado del aire es visible aun a simple vista; el cianuro de sodio es otro depresor muy activo: sobre las partículas oxidadas produce una capa de ferrocianuro y prácticamente es inactivo para la galena; existen otros reactivos destinados al mismo fin como dicromatos, sulfatos de zinc, permanganato, cuyo efecto es debido probablemente a reacciones secundarias como con los colectores. En la práctica a menudo se presenta el problema de separar unos minerales de otros; el tratamiento es deprimir temporalmente unos mientras los otros flotan y después, por la acción de un activante ponerlos en condiciones de flotar. Separando una galena de blenda y pirita, la separación se puede efectuar usando un xantato alcalino acompañado de cianuro de sodio y sulfato de zinc; estos dos reactivos deprimen la pirita y la blenda respectivamente con escasa acción para la galena que flota en el medio; una adición de sulfato de cobre reactiva la blenda y una de ácido sulfúrico a la pirita.

Fases físico-químicas de la flotación. Los reactivos que producen comúnmente estos fenómenos son los ácidos grasos y jabones derivados; la manera de comportarse es formando emulsiones que absorben las partículas metálicas flotándolas.

Reacciones físicas de los promotores. El poder colector de los distintos reactivos se mide por la afinidad que tienen los núcleos por las partículas minerales. Los experimentos del profesor Taggart y colegas demuestran que la intensidad de la flotación varía con cada mineral y con cada reactivo usado. El grado de flotabilidad es pues inherente a estas dos condiciones.

Espumantes. La formación de glóbulos producida por un agente espumante es una fase puramente física de la flotación; dichas sustancias tienen la propiedad de rebajar la tensión superficial del líquido solvente por absorción. Los reactivos que llenan los requisitos

son compuestos polares orgánicos que contienen al final de la fórmula el grupo hidroxil, y son típicos: ácido cresílico y aceite de pino.

Propiedades de los minerales: El gran desarrollo de la flotación ha traído como consecuencia un conocimiento mejor de las condiciones de trabajo y de la acción de los reactivos sobre las partículas. El Beneficio de Minerales obra para producir minerales separados unos de otros de manera que se presten a un tratamiento metalúrgico. Cada metal tiene propiedades físicas y químicas que difieren de otros y sacando partido de ello se pueden separar unos de otros aplicando principios físicos y químicos que produzcan condiciones fijadas; de la misma manera, cada mineral es una sustancia de composición química definida y propiedades físicas distinta de los otros; así por ejemplo: la densidad, la conductibilidad eléctrica, la permeabilidad magnética y la facilidad de ataque por reactivos; el grado de todas esas diferencias quizá no sea posible conocer y usualmente en el tratamiento de minerales se combinan el conocimiento con tanteos.

Factores que afectan la flotación. Almacenamiento del mineral: cuando un mineral se tritura, la oxidación de los sulfuros comienza rápidamente, lo cual es muy perjudicial cuando la flotación es selectiva; las maneras de contrarrestar el efecto son las siguientes: agitación mecánica de las pulpas y adición de los reactivos en el circuito de flotación; uso de máquinas de subaereación que evitan el exceso de aire y disminuyen el tiempo de almacenamiento en las tolvas.

Finura de la pulpa. En general se puede afirmar que una molineta demasiado fina, aparte de lo costosa produce pérdidas en los lodos; hay minerales que flotan bien con una finura relativamente baja: 20 mallas; otros intermedia y finalmente a más de 100 mallas.

Cantidad y calidad del agua. La cantidad de agua conveniente para la flotación se determina experimentalmente; el objeto es mantener la circulación entre las distintas máquinas del tratamiento, servir de vehículo de clasificación, mantener las partículas suspendidas de modo que tengan un contacto muy íntimo con los reactivos y disolver o emulsionar éstos. La flotación requiere menos agua que cualquier otro proceso de concentración en húmedo; en las máquinas de flotación la relación sólido-agua varía desde 1:4 hasta 1:1, y la tendencia moderna es aumentar el porcentaje de sólidos que hace más efectiva la concentración. La dilución de la pulpa está prácticamente

gobernada por las necesidades de la clasificación, operación que requiere una cantidad muy superior a la conveniente para la flotación; si la dilución del clasificador es demasiado grande, se debe entrar al estudio de la economía que produciría el espesamiento. Fijada la dilución óptima, debe permanecer constante, pues una variación implicaría variación en la alimentación de reactivos, variación de factores físico-químicos, etc. La pureza de las aguas es otro factor interesante: en muchos beneficios hay necesidad de abastecimiento de las aguas de la mina que contienen sales y ácidos disueltos; la neutralización con cal es un proceso eficiente y barato. Es muy reconocida la acción depresora de las aguas que contienen sustancias minerales u orgánicas reductoras, y especialmente en el proceso selectivo; el permanganato u otros oxidantes activos dan buenos resultados en la purificación.

Clase de reactivos y cantidad. Cada mineral encierra problemas propios, y aun en el mismo beneficio hay variaciones que producen condiciones diversas. El estudio de la variación con la alimentación, la introducción de los reactivos en diversos puntos, produce grandes economías.

Acondicionamiento de las pulpas. En la flotación el tiempo requerido por las reacciones físico-químicas, la intensidad y cantidad de agitación, producen variaciones grandes en la recuperación. El acondicionamiento reduce la cantidad de reactivo porque obra más intensamente. Para pulpas muy refractarias hay necesidad de acondicionamientos superiores a una hora, con agitación fuerte y aire.

Temperatura. Por lo general la flotación es más efectiva aumentando la temperatura de las pulpas. Debido al costo del procedimiento, debe ser objeto de un balance económico antes de adoptarlo. Entre los minerales que flotan mal en aguas muy frías están: la blenda, los minerales de manganeso y hierro, etc.

Método de introducción del aire. El aire es esencial para la flotación y su efecto es mayor cuanto más grande es el estado de división en que se aplica; la introducción violenta causa una recuperación baja aparte del alto costo y no es práctico introducir gran volumen cuando sólo una pequeña cantidad es efectiva. Se deben fijar las condiciones de presión y flujo para hacerlas constantes, evitando así bajas recuperaciones o concentrados muy altos en gangas.

Separación del concentrado. Después de que el mineral ha flotado, hay necesidad de retirar el producto; esto se hace por medio de paletas normales al labio de la celda y con un movimiento lento de rotación producido por un eje horizontal; el nivel de la celda se debe controlar de modo que las paletas no arrastren más que el concentrado.

Tipo de máquina. Hay dos generalizados: la neumática y la mecánica; de cada una se puede decir que tiene desventajas y ventajas para un mineral; las primeras son especialidad de The Mineral Separations Co. y la segunda con la unidad "Sub A" de la Denver Equipment Co. En la primera hay tendencia a un exceso de aire, que como antes se dijo, es perjudicial por el costo y por los efectos deprimientes; la segunda **es más apta** para las distintas flotaciones y en especial para el tratamiento selectivo. Como toda máquina, debe ser objeto de estudio para la eficiencia, el costo inicial, reparaciones y costo de operación.

Concentración mecánica de los concentrados. Se ha demostrado prácticamente la conveniencia de una mesa vibratoria al final del circuito, destinada a la limpieza del concentrado; las ventajas son la eliminación de ganga, quedando el concentrado más alto. El tipo Wilfley de mesa vibratoria es el que llena mejor los requerimientos. Las colas de la concentración se devuelven al circuito de la flotación.

Asentamiento y espesamiento. En la flotación el producto necesita un espesamiento relativamente bajo y, como anotamos antes, la tendencia moderna es practicar la operación antes de la flotación. Si se trata de concentrados que van a salir del beneficio sin otro tratamiento o a cianurarse sin remolido, se asientan en tanques de pequeña capacidad.

Filtrado y fundición.—El concentrado tal como queda en los tanques asentadores se somete al filtrado, operación que se practica en aparatos Oliver, conos, filtros, prensas, etc. Para ciertos casos hay mayor economía en la venta del concentrado después de la filtración y para otros es más conveniente obtener el metal o metales en la misma planta. Si para la cianuración hay necesidad de tostación a muerte de sulfuros o sustancias cianicidas, los hornos se calculan teniendo en cuenta el tonelaje producido y de 6 a 12% de humedad. Yo creo que entre nosotros resultaría económica la construcción de

pequeños hornos de traspaleo, contruídos con material refractario común y alimentados con carbón mineral, de leña o desperdicios.

Ensaye de los concentrados. En el mismo beneficio se presenta la conveniencia de equipo para ensayes y análisis químicos; es de vital importancia conocer la eficacia de un tratamiento y para esto se requiere el ensaye y análisis de los concentrados y colas. Respecto a la manera de tomar muestras y ensayarlas omito detalles por ser una cuestión de técnica en la materia de ensayes y muestreo.

Noé Reyes Cancino