

Flotación de minerales. Una mirada desde la Geología

Mario Rojo; Geólogo Asesor, Sept 2020

Quiero hablarles de la flotación de minerales. ¿Que significa?. En Chile, país minero, deberíamos saber. Debería enseñarse en los colegios, pero en fin, es una de tantas materias que no se exige en nuestro modelo educacional.

La flotación de minerales, en simple, consiste en poder separar un mineral valioso del material sin valor que lo contiene en un medio líquido. Esto está basado en que los minerales tienen densidades diferentes de acuerdo al peso específico del metal a recuperar.

Los métodos más sencillos son los gravimétricos en cursos de agua, sedimentos o playas, en que se puede separar minerales o metales libres y densos solo con agua, ya sea en un lavadero de metales pesados (diamantes, oro, platino, magnetita) con una challa, o en una canoa o en una cuna. Aquí se usa solo agua para obtener los minerales densos o pesados (peso específico sobre 4,5; oro, platino, diamantes, rutilo, magnetita, zircón) respecto de los livianos (menores de 4,5; silicatos en general). La naturaleza aquí ha liberado la partícula valiosa (erosión, acumulación), pero en la generalidad tendremos una roca que moler para recuperar el metal valioso, y aquí ya entran otros parámetros y el hacerlo se nos complica.

Materiales rocosos con minerales sulfurados de Cu (calcopirita y otros), de Mo (molibdenita), de Zn (blenda), de Pb (galena) u otros que contienen oro muy fino adherido, oro grueso u otros metales valiosos densos, requieren ser chancados y molidos para lograr su liberación desde la roca que los contiene. Obviamente la mayor parte del material tratado, y que se extrajo de una mina, a tajo abierto o subterránea, se va a un depósito de roca molida en conjunto con aditivos de flotación que cada vez se han hecho más amigables con el medio ambiente. Esos son los famosos y odiados relaves, pero sin su generación, no podría hacerse minería. El material que se flotó, se llama concentrado de minerales y pueden ser varios metales los que están contenidos, incluso algunos que son muy escasos en la naturaleza. Las recuperaciones del metal valioso contenido, normalmente supera el 85 %.

Hay otros minerales que son tan “evidentes”, que requieren procesos menores, siempre incluyendo los procesos de chancado y/o chancado y molienda. En esos encontramos a la caliza en cualquiera de sus formas (Carbonato de Calcio en calcita, caliza, mármol, coquinas), cuarzo y también el desprestigiado carbón, qué si bien no es un mineral, se explota bajo los esquemas de la minería. Si es necesario, tanto el

cuarzo, la caliza y el carbón pueden ser sometidos a un tratamiento para eliminarles impurezas (lavado, deslamado, flotación aniónica o inversa).

No me voy a referir a las sales (salitre, potasio, bórax, litio), pues son procesos químicos con los cuales no me ha tocado convivir. Pero hay dos tipos de minerales que si conozco bien y tienen algún grado de parentesco. Me refiero a las rocas fosfáticas y fosforitas y a los minerales de hierro.

Las rocas fosfáticas son relevantes para el desarrollo de la agricultura y la vida. En la medida que los suelos se empobrecen de este elemento, hay que adicionarlo a la tierra para que continúe dando riqueza. En su proceso se hace una flotación aniónica para eliminar la "impureza" más grosera, obtener un concentrado "pobre" en Fósforo, rico en calcio y se puede aplicar a los campos. Pero también hay un producto más reactivo con el suelo que es el superfosfato triple que se produce ocupando ácido sulfúrico y una precipitación de los "licores" empobrecidos en fósforo, generando ácido fosfórico que se vuelve agregar a la roca fosfórica para generar el superfosfato triple.

¿Cuál es el parentesco del P con el Fe?. En Chile, Suecia, México, Irán y otros, los depósitos magmático/hidrotermales de Fe, contienen cantidades variables de apatita, que es un mineral de P y Ca. En las regiones de Atacama y Coquimbo existen las mayores cantidades de apatita, que incluso antes de la aparición masiva en el mercado de la fosforita de origen marino (Marruecos, Florida), eran vendidas como fertilizantes. De hecho, en el Puerto de Coquimbo hay una población que se llama Fosfatos, pero la mayoría de la gente no tiene idea porqué. Allí se acopiaba apatita para la exportación.

¿Y que pasa con los minerales de hierro?. Son dos, hematita y magnetita y en el caso de Chile, la magnetita varias veces superior a la hematita en volumen. Y la magnetita, por sus características naturales, se puede concentrar con imanes, posterior a su chancado. En el fondo se le elimina lo que es groseramente no magnético. La ley natural de la magnetita es 72,36 % de Fe, el resto es Oxígeno. Los concentrados de hierro, en general, son comercializables dependiendo de la variación en su granulometría y contenido de Fe total, variando desde 57 % en minerales de tipo Yandí (hidróxidos de hierro), hasta 71 % en un producto que tiene la apariencia de un "talco" de magnetita o hematita (pellet feed). Ahora bien, hay otros parámetros de calidad que no los mencionaré, pero los minerales pueden quedar fuera de mercado si contienen valores altos indeseados por las fundiciones. En Chile se vende fundamentalmente a Asia, concentrados desde 62 hasta 68 % en Fe total.

La flotación en los minerales de hierro se usa fundamentalmente en menas hematíticas en dos formas. Primero como flotación inversa (aniónica) en minerales de alta ley de hierro hematítico, pero con impurezas lateríticas acompañantes, para eliminarlas junto a minerales arcillosos y los que contienen aluminio. Lo máximo que se puede lograr es el valor estequiométrico de la hematita, 69,5 % en Fe total.

La otra manera de ocupar flotación es la tradicional, usando reactivos de flotación específico para hematitas laminares, dejando como rechazo los materiales acompañantes indeseados. Entre otros usos, esa hematita se usa como suplemento alimenticio, en mezcla como fertilizante y para tinción.

Pero también se puede usar en yacimientos del tipo taconita magnético (magnetita, cuarzo), ya que la diferencia de densidades entre el cuarzo y la magnetita es muy alta, razón por la cual se puede flotar la sílice finamente molida y quedar como concentrado el material magnético. Pero no tiene mucho sentido flotar taconitas, sabiendo que su propiedad magnética permite usar imanes de distinta potencia para recuperarla.

En los minerales de carácter magmático/hidrotermal, la flotación es bien deficiente. Hay un carácter gradacional de los pesos específicos de los minerales que forman el conjunto del material a procesar. Se ha demostrado su complejidad en las faenas Planta de Magnetita y Romeral, de propiedad de Compañía Minera del Pacífico. En Romeral (La Serena) y Planta de Pellets se desechó una vez construida y en Cerro Negro Norte (Copiapó), su construcción final está suspendida. Lo mejor que se puede hacer en las menas de baja ley magnéticas magmático/hidrotermales, es optimizar todo lo que corresponde a concentración seca y las líneas de tambores húmedos, pero con intensidades normales, pues si se aplican intensidades mayores a 2.000 Gauss, se corre el riesgo de ensuciar el producto.

En resumen, para los minerales magnéticos chilenos magmático/hidrotermales, se debe dejar de pensar en la flotación, salvo en menas tan complejas como la de Mina Candelaria que son de extremada baja ley en el material molido bajo 200 mallas (relave del Cu), entre 8 y 12 % en ley magnética en la generalidad de los casos (9 a 14 % en Fe total).

Al acometer proyectos de aprovechamiento de magnetita en otros futuros relaves, por ejemplo Santo Domingo Sur (Diego de Almagro) y Manto Verde hipógeno (Chañaral), se debe recoger todas las experiencias de Planta de Magnetita, ocupando todas las propiedades del mineral, quizás considerando inicialmente una

concentración masiva de minerales pesados contenidos, mediante espirales y luego ese concentrado tratarlo en sucesivos pasos por tambores magnéticos.

Por conclusión, indico que en general la flotación de minerales magmático/hidrotermales de baja ley de hierro es muy deficiente. Es más óptimo agotar todos los procesos previos para conseguir un producto económicamente atractivo.

Es importante destacar qué al conocer las características microscópicas de los minerales a tratar, no de las pulpas, sino de cortes pulidos/transparentes del mineral in situ, se pueden optimizar los pasos a decidir para iniciar un proceso de pruebas. Una geometalurgia detallada de las variedades de minerales a encontrar, permitirá diseñar los procesos metalúrgicos.

Y una última consideración para los profesionales del área. Las menas chilenas de hierro magnético no tienen arcillas propiamente tales. Éstas se generan a partir de la molienda de feldespatos, hornblendas y actinolita. Por lo tanto, siempre se generan problemas en el deslamado de los ultrafinos.