



“Mineralogía aplicada para resolver la baja recuperación metalúrgica de cobre en el sector sur del proyecto Yanacocha Verde”

Karin Davalos Flores

Geólogo Consultor, (karin.davalos@hotmail.com)

RESUMEN

En el proyecto Yanacocha Verde, localizado en el departamento de Cajamarca, en el denominado sector sur se encontraron problemas de baja recuperación metalúrgica de cobre, obteniéndose valores menores al 40% en las pruebas de flotación. Estudios mineralógicos previos realizados por la empresa en esta área, indican una disminución en el tamaño de los minerales de cobre, por lo que se atribuyó a esta condición la causa del problema.

Considerando estos antecedentes, dicha investigación tuvo como objetivo confirmar esta hipótesis y verificar, además, la existencia de otros factores geológicos relacionados.

Los resultados de este estudio indican que la baja recuperación metalúrgica de cobre; son causa de diversos aspectos geológicos. Por una parte, se estableció que la disminución del tamaño de los minerales afecta la recuperación de cobre, pero que está a su vez, está controlada por la dirección de mineralización del cobre, definida según la paragénesis mineral observada, con sentido NO – SE.

Por otra parte, se determinó también, que existe un control litológico, relacionado a la secuencia piroclástica principal de Yanacocha, en el sentido de que a medida que se aleja de las posibles fuentes de mineralización (relacionadas a las brechas hidrotermales e intrusivos), el tamaño de grano de los minerales de cobre va disminuyendo dentro de esta unidad.

Los resultados indican además, que de los minerales de cobre de mayor abundancia en el proyecto (enargita, covelina, calcosina y óxidos de cobre), la enargita es el mineral que más influye en la recuperación de cobre debido a su abundancia, tamaño de grano y grado de liberación. La covelina, por su parte, no influye en la recuperación de cobre en este proyecto debido a que presenta un tamaño de grano muy pequeño ($\sim 9\mu\text{m}$ en promedio), menor al rango de efectividad de flotación de partículas (entre 20 y $150\mu\text{m}$ de diámetro) (Jameson, 2010). De otro lado, la calcosina, influye negativamente en la recuperación de cobre, debido a la ocurrencia de una capa de óxidos de cobre, que recubre este mineral, haciendo que el comportamiento de la calcosina cambie ante la flotación, al actuar como un óxido.

Finalmente, existe también una influencia del tipo de alteración. En la alteración de tipo sílice masiva, caracterizada por la presencia de cuarzo como mineral principal, se observa una correlación positiva entre los contenidos de enargita y la recuperación de cobre, mientras que en presencia de jarosita y la pirita, la correlación disminuye. En el caso de la alteración argílica avanzada, caracterizada por la paragénesis de minerales como alunita, pirofilita, diáspora, \pm caolinita, \pm dickita y \pm cuarzo, la presencia de minerales como la esfalerita y la pirita junto a la enargita, disminuye la recuperación de cobre, indicando que la relación de enargita con esta alteración, presenta problemas para flotar, básicamente por el contenido de arcillas que contamina los concentrados.

PALABRAS CLAVE

Yanacocha Verde, baja recuperación de cobre, flotación, disminución de tamaño minerales de cobre, influencia enargita, influencia calcosina.

ABSTRACT

In the Yanacocha Verde project, located in the Cajamarca area, in the called south sector problems of low copper metallurgical recovery were found, obtaining values lower than 40% in the flotation tests. Previous mineralogical studies carried out by the company in this area indicate a decrease in the size of copper ores, which is why the problem was attributed to this condition.

Considering these antecedents, this investigation was aimed at confirming this hypothesis and verifying, in addition, the existence of other related geological factors.

The results of this study indicate that the low metallurgical recovery of copper, are the cause of various geological aspects. On the one hand, it was established that the decrease in the size of minerals affects the recovery of copper, but that it is, sequentially, controlled by the direction of mineralization of copper, defined according to the observed mineral assemblage, with NO - SE direction.

On the other hand, it was also determined that there is a lithological control, related to the main pyroclastic sequence of Yanacocha, in the sense that as it moves away from the possible sources of mineralization (related to hydrothermal and intrusive breccia), the grain size of copper ores decreases within this unit.

The results also indicate that of the most abundant copper minerals in the project (enargite, covelina, chalcocite and copper oxides), enargite is the mineral that most influences the recovery of copper due to its abundance, grain size and degree of liberation. Covelina, on the other hand, does not influence the recovery of copper in this project because it has a very small grain size (~ 9µm on average), lower than the effectiveness range of particle flotation (between 20 and 150µm in diameter). (Jameson, 2010). On the other hand, chalcocite has a negative influence on copper recovery, due to the occurrence of a layer of copper oxides, which covers this mineral, causing the behavior of the chalcocite to change before floating, and acting as an oxide.

Finally, there is also an influence of the type of alteration. In the massive silica type alteration, characterized by the presence of quartz as the main mineral, a positive correlation is observed between the enargite contents and the copper recovery, while in the presence of jarosite and pyrite, the correlation decreases. In the case of the advanced argillic alteration, characterized by the minerals assemble such as alunite, pyrophyllite, diaspora, ± kaolinite, ± dickite and ± quartz, the presence of minerals such as sphalerite and pyrite together with enargite, reduces the recovery of copper, indicating that the relationship of enargite with this alteration, presents problems to float, basically by the content of clays that contaminates the concentrates.

KEYWORDS

Yanacocha Verde, low recovery of copper, flotation, copper mineral size decrease, enargite influence, chalcocite influence.

DESARROLLO DEL RESUMEN

El proyecto Yanacocha Verde se ubica debajo del actual tajo Yanacocha, localizado en el departamento de Cajamarca, al norte del Perú.

Para esta investigación, se compiló información geológica, mineralógica y ensayos químicos del área de estudio, y se realizaron 3 secciones geológicas, una a lo largo de la tendencia principal de cobre de dirección NO-SE (AA'), y dos secundarias perpendiculares a la anterior, que cortan al cuerpo de baja recuperación metalúrgica, (secciones BB', CC', Figura 1). Con esta información se seleccionaron las muestras para los estudios mineralógicos y las pruebas de flotación (Figura 1).

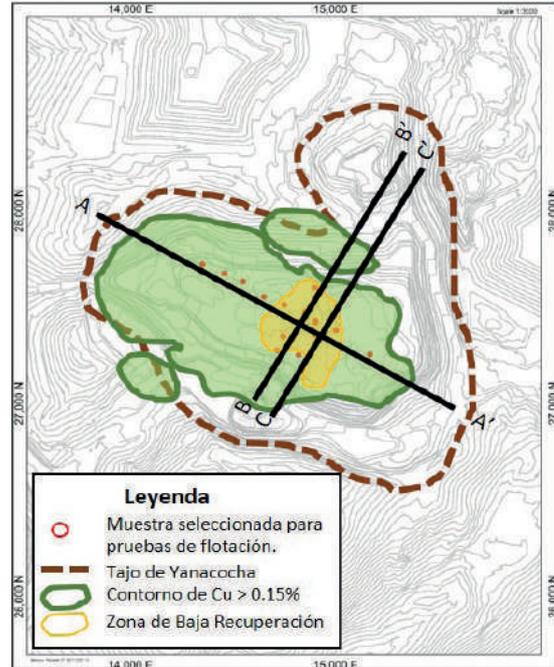
Los resultados de microscopía, en función a la paragénesis de los minerales de cobre, indican que la ocurrencia de calcopirita y bornita, están relacionados a las partes profundas del cuerpo intrusivo, representados al N-O de la sección AA', de acuerdo a los diagramas Log fS2 - 1000/T de Einaudi et al, con una temperatura alrededor de los 400°C, posiblemente relacionadas a la cercanía de un sistema tipo pórfido (Figura 2a). Mientras que la mineralización de covelina y calcosina en el sector más S-E de la sección principal, indican una menor temperatura, posiblemente alrededor de 180°C, en condiciones de muy alta sulfuración de acuerdo a Einaudi et al. (2003). Por lo que se

propone una dirección de mineralización NO-SE; con una menor temperatura en dirección S-E, esta última zona coincidente con los valores de baja recuperación y con la disminución de tamaño de minerales, de acuerdo a los análisis de QEMSCAN realizado en la cabeza y colas de las muestras de flotación.

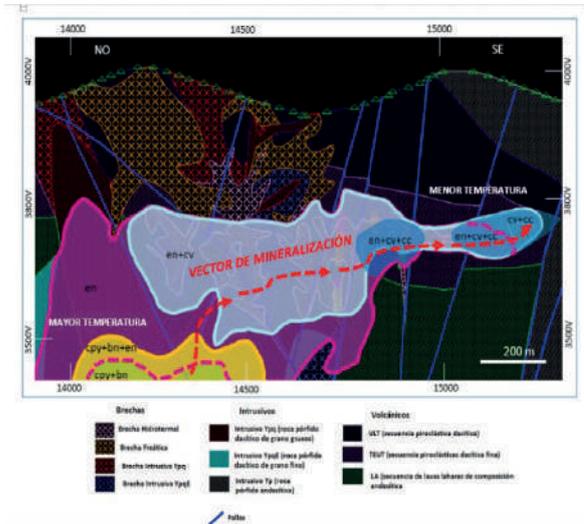
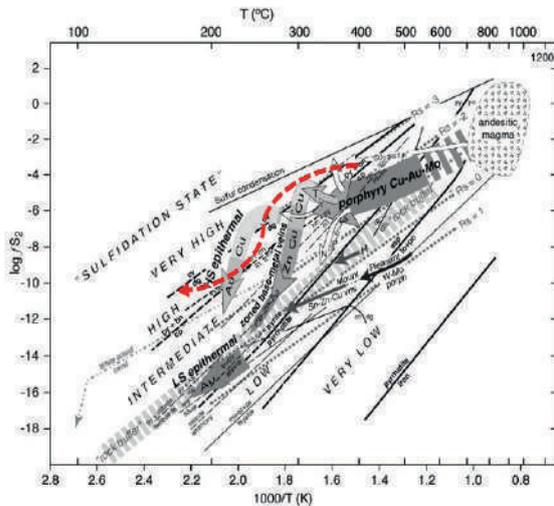
Además se observa que de los principales minerales de mena de cobre como enargita, covelina, calcosina y óxidos de cobre, reportados, la enargita es el más abundante y el incremento del grado de liberación de este mineral incrementa parcialmente la recuperación de cobre.

Mientras que el grado de liberación de calcosina y la asociación de este mineral con enargita y óxidos de cobre disminuye la recuperación.

Por otro lado al trabajar por separado las muestras de alteración como variables geometalúrgicas se evidencian una mayor influencia de otros minerales en la recuperación.



Figural: Selección de pruebas de flotación. El plano en planta muestra la ubicación de las muestras en las que se realizaron las pruebas de flotación y los estudios mineralógicos.



2a. A la izquierda, el diagrama $\log fS_2 - 1000/T$, ilustra fluidos en un ambiente de pórfido de cobre, venillas de metales base, y depósitos epitermales Au-Ag, en términos de un posibles patrones de enfriamiento. (Einaudi et al., 2003). En rojo la posible secuencia de enfriamiento de Yanacocha Verde. 2b. A la derecha, vector de mineralización de cobre, considerando los minerales de cobre que se desarrollan de mayor temperatura a menor temperatura de acuerdo a la secuencia paragenética del proyecto Yanacocha Verde. Descripción mineralógica: calcopirita (cpy), bornita (bn), enargita (en), covelina (cv), calcosina (cc).

CONCLUSIONES

- Las bajas recuperaciones en el área de estudio se deben a la disminución del tamaño de grano de los minerales, pero existen también otros factores que controlan la recuperación

de cobre. El principal está relacionado a la dirección del cuerpo de cobre NO-SE y la litología, que controla la migración de fluidos mineralizantes y el tamaño de los minerales, demostrándose una disminución del tamaño mineral hacia la zona SE, donde disminuye

también las recuperaciones de cobre.

- Con respecto a la influencia de los minerales mena, la enargita es el mineral que más influye sobre la recuperación de cobre, pero con una correlación moderada. Esto quiere decir que la recuperación de cobre, no sólo depende de la cantidad de enargita que ingrese a la celda de flotación, sino que depende también del tamaño de grano y el grado de liberación de este mineral. Probablemente debido a que la enargita se presenta como un mineral primario a diferencia de los otros minerales reportados. Por lo que en este caso, el desarrollo del tamaño de grano estaría influenciado directamente por la dirección de fluidos mineralizantes (dirección NO-SE).
- La influencia del grado de liberación y tamaño de mineral de la calcosina en la recuperación de cobre es moderadamente negativa debido a que este mineral se encuentra rodeado de óxidos de cobre y por tanto se comporta ante la flotación como un óxido, decreciendo su flotabilidad.
- Los óxidos de cobre por su parte, muestran una correlación negativa en el concentrado, perjudicando la flotación. Pero esta correlación sólo se presenta moderada debido a la baja abundancia de este mineral en las celdas de flotación.
- Por último, con respecto a la influencia de los minerales mena, el porcentaje en peso de la covelina no presenta relación con la recuperación de cobre. Esto debido que este mineral presenta un tamaño de grano tan pequeño (promedio 9 μm), que la flotación no es efectiva para este rango. Por tanto su recuperación tampoco depende de su grado de liberación, ni de la asociación mineral con la que se encuentre.
- Con respecto a la influencia de los minerales de ganga en la recuperación de cobre, la pirita y la jarosita tienen una correlación negativa moderada. Debido que los minerales no liberados de cobre están mayormente asociados a estos minerales, por lo que pueden ocluirlos o dejarlos parcialmente liberados, afectando así su flotabilidad.
- Otra influencia de la ganga, se observa al separar las muestras por tipo de alteración. Sep-

arando de esta forma se observa un mayor incremento de la recuperación de cobre con la enargita para la alteración sílice masiva, y problemas en recuperación de cobre con la enargita en la alteración argílica avanzada. Básicamente esta relación con la recuperación de cobre, se da por la ausencia de arcillas en la primera alteración y la mayor presencia de ellas en el segundo tipo de alteración. Esto debido al comportamiento hidrofóbico de las arcillas que al flotar junto a la mena, contaminan los concentrados, teniendo que requerirse mayor cantidad de reactivos para deprimirlos, perjudicando así la flotación.

- Finalmente, en el caso de la alteración argílica avanzada hay una muy alta y perfecta correlación negativa con la pirita y la esfalerita, lo que indica que a mayor presencia de estos minerales ocurre una baja recuperación de cobre. Probablemente esto ocurre porque estos minerales flotarán junto a la mena perjudicando así la recuperación de cobre. Asimismo se esperaba encontrar una alta correlación negativa de la recuperación de cobre con la pirofilita, sin embargo sólo presenta una baja correlación negativa por la escasa presencia de este mineral en porcentaje en peso (menor al 6%) y por la poca representatividad de muestras para este tipo de alteración en este estudio.

REFERENCIAS

- Jameson, G. (2010). Advances in fine and coarse particle flotation. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 49. 325- 330.
- Einaudi, M., et al., Hedenquist, J., y Esra Inan E. (2003). Sulfidation State of Fluids in Active and Extinct Hydrothermal Systems: Transitions from Porphyry to Epithermal Environments. *Society of Economic Geologists and Geochemical Society*, 10. 1-50.