



## XVIII Congreso Peruano de Geología

# Caracterización mineralógica detallada en el depósito de Cu-Au Cerro Corona - La clave fundamental para la geometalúrgia y la optimización de procesos.

**Regina Baumgartner<sup>1</sup>, Gustavo Escobar<sup>2</sup>, Paul Gomez<sup>3</sup>, y Angel Uzategui<sup>4</sup>, Flor Nuñez<sup>5</sup>**

Gold Fields La Cima S.A., Av. El Derby 055, Torre 1, Of. 301, Santiago de Surco, Lima, Perú: <sup>1</sup> (Regina.Baumgartner@goldfields.com.pe)

<sup>2</sup> (Gustavo.Escobar@goldfields.com.pe)

<sup>3</sup> (Paul.Gomez@goldfields.com.pe)

<sup>4</sup> (Angel.Uzategui@goldfields.com.pe)

<sup>5</sup> (Flor.Nunez@goldfields.com.pe)

### 1. Introducción

La geometalúrgia se aplica cada vez más en operaciones mineras, así como durante proyectos avanzados en etapa de exploración. Como la raíz de la geometalúrgia está ligada a la mineralogía, la determinación y el conocimiento mineralógico de un depósito es fundamental para luego poder optimizar el proceso de extracción.

Cerro Corona esta en operación desde el julio del 2008 y tiene recursos estimados de 3.05 Moz de oro a 0.81 g/t y 108 Mt de cobre a 0.42 % y reservas de 1.75 Moz a 0.9 g/t de oro y 60.5 Mt de cobre a 0.47% (Gold Fields Ltd.). El conocimiento de su mineralogía se ha incrementado a lo largo de los años. Los estudios iniciales fueron cualitativos, y se concentraron principalmente en la caracterización de la litología y hasta cierto punto en la mineralización. Fue necesario contar con caracterización cuantitativa en un número importante de muestras de los diferentes dominios geometalúrgicos y así poder incrementar la información, por ejemplo, obtener la mineralogía modal y análisis de partículas.

### 2. Geología General

Cerro Corona es un pórfido típico de Cu-Au y se encuentra en el norte de Perú. La geología alrededor del depósito consiste en una serie de intrusivos porfiríticos dioríticos del Mioceno, los cuales intruyen una secuencia de calizas cretácicas. En la región también

ocurren intrusivos porfiríticos dioríticos, monzodioríticos y granodioríticos. La diorita de Cerro Corona consiste de un conjunto de seis stocks y solo cuatro de estos generaron alteración hidrotermal en las rocas adyacentes acompañada de mineralización. El stock más extenso, corresponde al primero, el cual produjo alteración en las calizas adyacentes pero sin mineralización económica. La alteración y mineralización es típica de un pórfido de Cu-Au, con presencia de alteración potásica, propilítica y en menor proporción, fílica. La alteración argílica se ha sobreimpuesto a las alteraciones anteriores. La silicificación está representada por un stockwork denso de vetillas. En las partes superiores del depósito ocurre una alteración argílica avanzada, la cual es controlada estructuralmente y ha sobreimpuesto parte de la mineralización ligada al pórfido. Debido a esta sobreimposición, la alteración tiene límites graduales con las otras alteraciones.

La mena de cobre de mayor ocurrencia es calcopirita, en menor proporción ocurren, bornita, covelita y calcocita. Los minerales de oro incluyen oro nativo y menor contenido de electrum. La pirita está presente en todo el yacimiento y no muestra un zoneamiento como ocurre en otros pórfidos de Cu-Au.

### 3. Estudios mineralógicos y metalúrgicos

Fueron recolectadas un total de 98 muestras. El tipo de alteración así como la distribución espacial y el grado

de cobre y oro fueron criterios de selección para asegurar la representatividad de la ocurrencia de las alteraciones en el depósito.

Los estudios mineralógicos incluyeron análisis Qemscan para determinar la mineralogía modal de todas las muestras (por alteraciones) así como el tamaño de granos, las asociaciones y la liberación de los minerales de interés (calcopirita y pirita) y su relación con las partículas de oro. También ha sido completado un estudio semi-cuantitativo mediante difracción de rayos X con glicolación, básicamente para la determinación de arcillas (por tipo de alteraciones). En paralelo, todas las muestras han sido sometidas a pruebas de flotación "rougher" en laboratorio hasta máxima extracción (sólidos en pulpa: 25-30%, tiempo: 15 min, pH 9.5 regulado con cal, p80 de 140 micras y con reactivos colectores que usa la planta de operaciones). También en la mayor cantidad de muestras se desarrollaron pruebas de pre-concentración de oro por líquidos densos para obtener una cantidad de granos de oro estadísticamente representativa.

### 3. Resultados e interpretaciones

Los resultados han permitido de identificar dos tipos de pirita incluyendo una pirita común y una pirita "amorfa" (Ilustración 1). La pirita amorfa presenta oquedades y parece ser el resultado de una recristalización. Contiene hasta 1.7 % de cobre y hasta 0.1 % As. Se denomina amorfa porque no puede ser identificada por difracción de rayos X por tener una estructura cristalina deficiente.

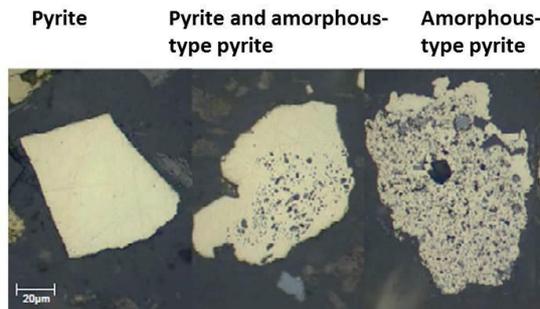


Ilustración 1: Ocurrencia de dos tipos de pirita. Nótese la textura porosa de la pirita tipo "amorfa".

El análisis de partículas de calcopirita y oro provee información sobre la textura de las partículas con el mineral de interés. Esto ayuda a entender ciertas pérdidas metalúrgicas pero también predecir el comportamiento de las partículas y de un material antes de ser procesado. Para obtener eso, es necesario tener la información con anticipación para la predicción. La Tabla 1 muestra los posibles intercrecimientos que ocurren en Cerro Corona. El análisis de partículas de las cuales se obtiene la data de texturas también provee información sobre la liberación y asociaciones. La calcopirita tiene un tamaño promedio P80 de 87  $\mu\text{m}$ . El oro tiene un tamaño menor y varía entre 1 y 50  $\mu\text{m}$  (promedio 10  $\mu\text{m}$ ). La liberación y tamaño de grano

analizados pueden ser utilizados para predecir una curva teórica de grado-recuperación. En este estudio se comparó las curvas teóricas de grado-recuperación con las recuperaciones obtenidas en laboratorio. Se utilizó los resultados de liberación y asociaciones para predecir la recuperación así como justificar recuperaciones bajas de cobre y oro en la planta.

El primer ejemplo es un ejemplo de predicción de recuperación de dos muestras. La ilustración 2 muestra curvas teóricas de grado-recuperación. La curva roja que corresponde a una recuperación de cobre de 84% en laboratorio es más plana que la curva amarilla que corresponde a una recuperación de cobre más alta (93%). La muestra que tiene una recuperación menor contiene granos liberados pequeños y pocas partículas binarias (ilustración 3a) mientras que la muestra que tiene buena recuperación contiene granos de calcopirita liberada más grandes y mayor liberación (ilustración 3b). Por lo tanto, la liberación y asociaciones permiten predecir la recuperación de cobre mediante curvas teóricas.

El segundo ejemplo es la recuperación de oro en planta. La recuperación de oro en el circuito "rougher" fue de 70 %, pero disminuyó de manera drástica en el circuito de limpieza a 51%. La ley de oro del "overflow" de los ciclones estuvo de 0.51% de cobre y 0.72 g/t de oro. Analizando en detalle la ocurrencia del oro, los resultados mineralógicos indican que la mayor parte del oro es muy fino y está encapsulado en pirita "amorfa", pirita y en menor cantidad en calcopirita. Por lo tanto, la pirita se llegó a recuperar en el circuito "rougher" pero fue deprimida en el circuito de limpieza y por consecuencia, se perdió el oro.

### 4. Conclusiones

El entendimiento y caracterización mineralógica de un yacimiento permite predecir el comportamiento de un material durante el proceso. La caracterización mineralógica durante el proceso en Cerro Corona permite no solamente justificar una pérdida en cobre u oro en los relaves pero también monitorear la performance de la planta. En efecto, el análisis mineralógico de los relaves informará si es la naturaleza del material la que puede justificar los cambios en las recuperaciones, o si es debido a un problema operativo.

El estudio en Cerro Corona permitió caracterizar las diferentes alteraciones que se encuentran en el depósito así como conocer la variabilidad en la mineralogía en cada una de ellas. Este estudio continuará con una mayor cantidad de muestras.

### Agradecimientos

A Gold Fields La Cima por autorizar la publicación de este trabajo y a todo el equipo de geometalúrgia de Cerro Corona que ha participado de una u otra manera en la ejecución de este trabajo.

**Referencias**

Amstutz, G. C, 1961. Microscopy applied to mineral dressing. Quarterly of the Colorado School of Mines, 56: 445-481.

Gold Fields Ltd, 2015. Mineral Resource and Mineral Reserve Supplement to the Integrated Annual Report 2015, 146p; disponible en <http://www.goldfields.com>.

Tabla 1: Ejemplos de texturas en Cerro Corona que podrían impactar en el proceso (modificado de Amstutz, 1961). Colores: naranja = calcopirita, verde = pirita “amorfa”, amarillo = pirita, rosado = cuarzo. Imágenes de análisis de partículas de Qemscan o electrones retro-dispersados.

Tipo	Micro-estructuras típicas	Descripción	Ejemplos en Cerro Corona	Ocurrencia y solución de extracción
1a		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inter-crecimiento simple o tipo encapsulado.</li> <li>- Rectilíneo o límites ligeramente curvos</li> <li>- Tipo más común</li> </ul>		<p><b>Abundante</b></p> <p>Molienda más fina.</p>
1b		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inter-crecimientos o encapsulamiento tipo moteado, manchado, tipo ameoba</li> <li>- Patrón común simple</li> </ul>		<p><b>Abundante</b></p> <p>No solución directa, puede flotar si calcopirita está asociada a pirita. Si asociado con ganga, será deprimido.</p>
2a		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recubierto, envuelto, o tipo corona, borde, anular, o atolón.</li> </ul>		<p><b>Escaso</b></p> <p>Molienda más fina</p>
3a		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo veta, tipo "stinger".</li> <li>- Ejemplos comunes</li> </ul>		<p><b>Escaso</b></p> <p>Molienda más fina para aumentar la liberación.</p>

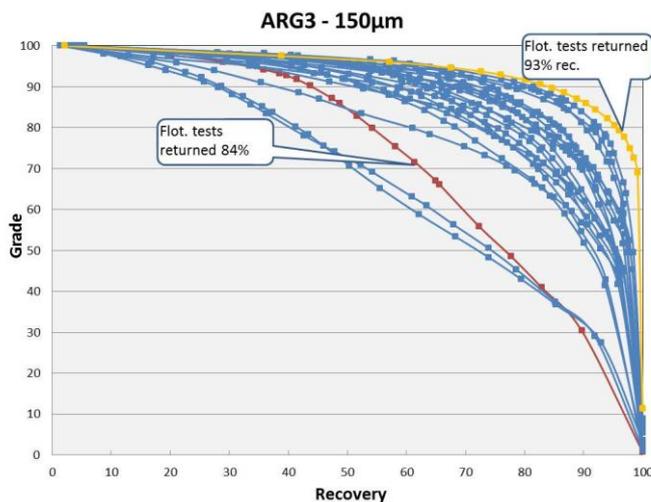


Ilustración 2: Curvas teóricas de grade-recuperación calculadas. Las dos curvas de colores muestran también dos cuadros con los resultados de flotación que se obtuvieron en el laboratorio.

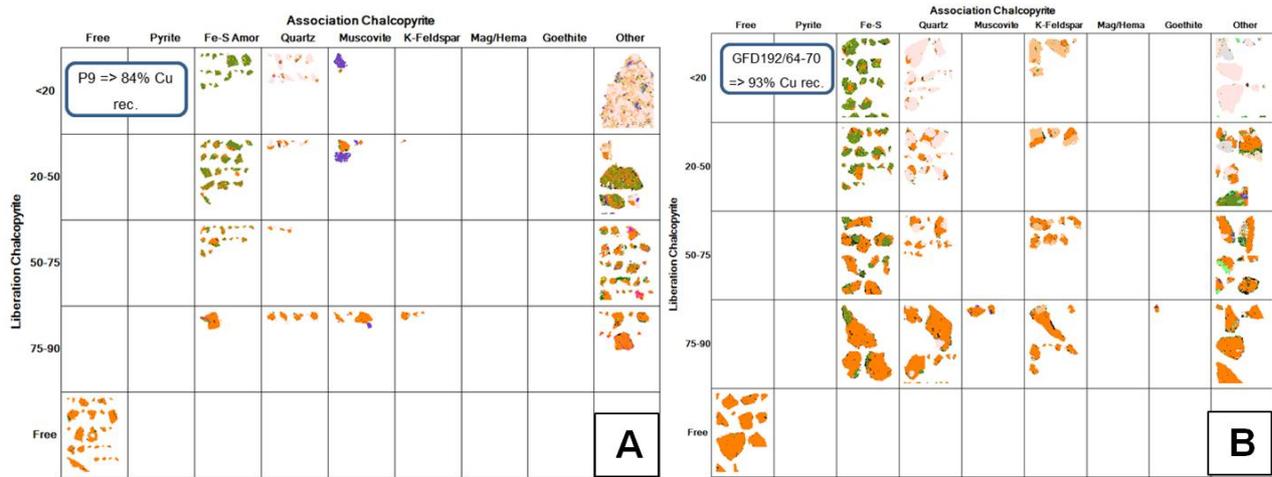


Ilustración 3: Mapa de partículas mostrando las asociaciones y la liberación para granos de calcopirita. A) mapa de partículas para la muestra con baja recuperación de cobre (84%) y B) mapa para muestra de más alta recuperación de cobre (93%).