**Cobriza: Desarrollo de exploraciones con nuevas tecnologías tras 15 años de pausa**

(Geología y Exploraciones - Desarrollo y evolución de nuevas tecnologías para la exploración y desarrollo de proyectos)

**Eddy Zapana1**

1 Autor: Operadores Concentrados Peruanos S.A.C., Av. El Derby 250 Int. 3ro, Lima, Perú, (ezapana@ocpperu.com, 987958265)

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**RESUMEN**

Operadores Concentrados Peruanos S.A.C. (OCP) apuesta por la incorporación de tecnologías de vanguardia en la industria minera y con el objetivo de ampliar su portafolio de proyectos de exploración para incrementar recursos minerales, tras 15 años de pausa sin actividades de exploración, OCP a partir del año 2024 plantea intensificar las exploraciones en las concesiones mineras que fueron adquiridos conjuntamente con la Unidad Minera Cobriza, para lo cual incorpora tecnologías actuales para la caracterización mineralógica, geoquímica, geofísica, con la finalidad de definir *targets* de exploración en áreas más focalizadas.

El levantamiento topográfico se ha realizado en la totalidad del área cubierta por las concesiones mineras, utilizando tecnología LIDAR y fotogrametría, empleando dron y avioneta. Este proceso ha generado resultados de alta precisión, como curvas de nivel con intervalos de 1 metro y ortofotos con resolución (píxel 10 x 10cm).

La aplicación de estudios de microscopía electrónica de barrido (SEM) han permitido identificar minerales de interés comercial y ensambles minerales para plantear el tipo de depósito mineral. Al contrastar los resultados con los análisis de cobre secuencial y geoquímicos, se determina mineralización de cobre tipo “sulfuro primario” (calcopirita) con propiedades óptimas para su posible procesamiento en la planta metalúrgica actual.

La prospección geofísica mediante magnetometría se realizó con vehículo aéreo no tripulado (UAV) o dron, la aplicación del método ha sido considerando el contexto geológico como también la complejidad del terreno por sus restricciones de accesibilidad. Los resultados obtenidos han sido datos geofísicos de alta resolución y calidad, para realizar interpretaciones en dos y tres dimensiones, delimitando blancos de exploración al Oeste y Sur de la Mina Cobriza, denominados Cobriza DC y Chojec, respectivamente.

La prospección geofísica mediante polarización inducida en tres dimensiones (IP3D) en el Proyecto de Exploración Pukatoro, se realizaron para incrementar la profundidad de investigación hasta 800 metros en un área de 2Km2. Los resultados de este estudio representados mediante modelos de inversión 3D, permitieron ratificar la ocurrencia de mineralización con sulfuros interceptados mediante perforación diamantina y determinar la continuidad de mineralización en un emplazamiento tipo manto; además, las anomalías de alta cargabilidad por debajo de los 400 metros de profundidad, revelan la posibilidad de mineralización diseminada perteneciente a un “sistema tipo pórfido”, quedando abierto nuevas oportunidades para continuar las exploraciones.

La implementación de la tecnología actual existente en el mercado, durante las etapas tempranas de la exploración minera en OCP ha permitido definir y priorizar los Targets de Exploración con mayor rapidez y eficiencia, optimizando costos y delimitando áreas de alto interés geológico para continuar con las siguientes etapas exploración mediante perforación diamantina. (1) Cobriza DC, mineralización Cu-Ag. (2) Chojec, mineralización polimetálica Ag-Pb>Zn±Au. (3) Pukatoro, mineralización Cu-Ag.

**Palabras Clave**: Cobriza, cobre, exploración, geofísica, dron.

**1. Introducción**

Operadores Concentrados Peruanos SAC (OCP) adquirió la Mina Cobriza en octubre de 2022, además de 58 concesiones mineras que en conjunto cubren un área de 51,878 hectáreas. Cabe destacar que las concesiones mineras fueron formuladas en diferentes años 1970, 1975, 1995, 1997, 2006. Actualmente, las operaciones mineras están centrados en tres concesiones mineras, mientras que en las demás concesiones declarados sin actividad minera generan un gasto anual para la compañía alrededor de un millón de dólares por derechos de penalidad.

Los diferentes titulares anteriores de estas concesiones mineras (Cerro de Pasco Corporation, CENTROMIN Perú, Doe Run Perú) realizaron exploraciones a escala regional y perforación diamantina hasta el año 2008.

**2. Objetivos**

Ampliar el portafolio de proyectos de exploración, para incrementar recursos minerales, manteniendo un firme compromiso con la cultura en seguridad y salud, la protección del medio ambiente y la responsabilidad social.

Intensificar la exploración minera en las concesiones mineras, mediante la incorporación de tecnologías de vanguardia en la industria minera.

**3. Compilación de Datos y Desarrollo del Trabajo**

**Levantamiento topográfico**

Debido al relieve accidentado, con pendientes pronunciadas y de difícil acceso para el ser humano; además con cobertura vegetal en algunas áreas, el levantamiento topográfico del área cubierta por las concesiones mineras de OCP se ha realizado utilizando tecnología LIDAR y fotogrametría, empleando dron y avioneta. Este proceso ha generado resultados de alta precisión, como curvas de nivel con intervalos de 1 metro y ortofotos con alta resolución (píxel 10 x 10cm).

Los planes de vuelo se realizaron siguiendo los parámetros y especificaciones técnicas para la producción de cartografía básica de la Norma Técnica del IGN. La ejecución de vuelos ha sido realizada por una empresa especializada que cuenta con los permisos de Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancias (RPA) y están acreditadas para operar en el territorio nacional, los equipos utilizados descritos por Hinostroza (2024): RPAS Drone (Mavic 3 Enterprise/Multiespectral), GNSS y colector de datos (trimble R8S, TSC3). La altura promedio de vuelos sobre el terreno fue de 330m, asegurando una distancia de muestreo GSD constante, el tiempo de vuelo en cada ejecución fue en promedio 17 minutos abarcando áreas entre 60 y 100 hectáreas.

Como resultado se ha obtenido el modelo digital de terreno (MDT) que es la superficie que se obtiene luego de generar el correcto filtrado de la nube de puntos densa procedente del modelo digital de superficie (MDS) discriminando por distintos procedimientos diversos puntos de la nube que no corresponden al terreno natural sino por el contrario representan objetos artificiales como edificios, postes, cables, vegetación baja, vegetación media, vegetación alta, polvo, barandas, vehículos en movimiento, entre otros, estos filtros se aplican por color, por densidad, por puntos clave, por índice de vegetación, de acuerdo a la característica del terreno utilizamos el software Terrasolid (Hinostroza, 2024), en la figura 1 se representación el filtrado de la nube de puntos y en figura 2 el modelo de elevación digital del terreno.

|  |
| --- |
|  |

**Figura 1**. Diferencia entre modelo digital de terreno (MDT) y modelo digital de superficie (MDS). FUENTE: Hinostroza (2024)

|  |
| --- |
|  |

**Figura 2**. Modelo de elevación digital (DEM) del modelo digital de terreno (MDT). FUENTE: Hinostroza (2024)

Otro resultado obtenido son las ortofotos digitales a partir de las imágenes Aero trianguladas y la nube densa de puntos, garantizando la perfecta unión entre cada Ortofoto evitando traslapes o elementos repetidos (figura 3).

|  |
| --- |
|  |

**Figura 3**. Ortofoto, resolución (píxel 10 x 10cm). Se diferencia suelos de afloramiento de roca. FUENTE: Hinostroza (2024).

**Caracterización geológica y geoquímica**

La caracterización geológica se ha respaldado mediante estudios de microscopía electrónica de barrido (SEM), permitiendo identificar minerales de interés comercial y ensambles minerales para plantear el tipo de depósito mineral. La mineralización Cu-Ag está constituido principalmente por calcopirita como mineral de cobre (figura 4), para el caso de la plata se ha identificado en sulfosales (pirargirita) y galena argentífera; Asimismo, se identificaron minerales como bismuto – bismutinita, arsenopirita, pirita, pirrotita, esfalerita, siderita, baritina, magnetita. Los ensambles minerales granates (grosularia, andradita, almandino) y piroxenos (hedembergita, diópsido), permitieron definir el tipo de depósito mineral Skarn (exoskarn).

|  |
| --- |
|  |
|  |

**Figura 4**. Espectros que muestra resultados de microscopía electrónica de barrido (SEM). Espectro de Calcopirita en tamaño aproximado de 10μm. Espectro de Andradita, en tamaño aproximado de 16μm. FUENTE: Yparraguirre (2024).

Las muestras con minerales de interés comercial han sido contrastadas con los resultados de cobre secuencial y resultados de análisis geoquímicos (multi elementos). La evaluación del cobre residual versus el cobre total evidencia mineralización de cobre tipo “sulfuro primario” (calcopirita), como se representa en la figura 5.

La caracterización del tipo de mineralización y ensambles minerales han permitido definir que el manto Cobriza DC, tiene propiedades óptimas para su posible procesamiento metalúrgico en la planta actual de la Unidad Minera Cobriza.

|  |
| --- |
|  |

**Figura 5**. Representación de sulfuros primarios a partir de resultados de análisis por cobre secuencial. Fuente: Elaboración propia.

**Prospección geofísica**

La prospección geofísica mediante magnetometría se realizó con vehículo aéreo no tripulado (UAV) como se representa en la figura 6, metodología elegida considerando el contexto geológico como la complejidad del terreno por sus restricciones de accesibilidad. El levantamiento en campo ha sido por una empresa especializada que cuenta con los permisos de Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancias (RPA) y están acreditadas para operar en el territorio nacional. Para la planificación de vuelos se ha considerado el modelo de elevación digital (DEM) del terreno realizado como parte del levantamiento topográfico, líneas eléctricas de alta tensión, poblados. Los equipos utilizados fueron los que se describen a continuación (Fernández, 2024): Magnetómetro Móvil (MagArrow SX Geometric, GPS incluido), Magnetómetro base (Gem System, GSM 19 W Overhauser), Drone (RPAS/UAV) matrice 300 RTK DJI.

Durante la adquisición de datos, se alcanzó un rendimiento promedio con una velocidad de vuelo de 8.3 metros por segundo (20Km/día) y un intervalo de 20 lecturas por segundo por el equipo móvil, altura del sensor (móvil) de 40m, descrito por Fernández (2024), permitiendo cubrir el total del área de estudio programado (4,179 hectáreas).

|  |  |
| --- | --- |
| Un hombre parado en una montaña  Descripción generada automáticamente | Un avión en una montaña  Descripción generada automáticamente con confianza media |

**Figura 6**. Fotografías levantamiento geofísico con dron, inicio de vuelo y fin de vuelo. FUENTE: Fernández (2024).

Los resultados obtenidos han sido datos geofísicos de alta resolución y calidad, para realizar interpretaciones en dos y tres dimensiones. Mediante el cual se ha delimitado blancos de exploración al Oeste y Sur de la Mina Cobriza, denominados Cobriza DC y Chojec, respectivamente (Zapana et al., 2024)

|  |
| --- |
|  |
|  |

**Figura 7**. Variación de la susceptibilidad magnética a 100m de profundidad, Cobriza DC. Variación de la anomalía residual, Chojec. FUENTE: Fernández (2024).

La interpretación de resultados por Fernández (2024), tales como campo magnético total, señal analítica (AS), reducción al polo, integrada vertical, señal analítica de la integración vertical (ASVI), anomalía residual, susceptibilidad magnética. El manto Cobriza (mina), resalta como resultado la anomalía M2 de la figura 7. En Cobriza DC, se ratifica el *Target* Oeste (M1) el de mayor prioridad para continuar la exploración (figura 7). En Chojec, la anomalía del Sur define la zona de contacto intrusivo con sedimentario, la estructura magnética se relaciona con ocurrencia de vetas angostas (figura 7); sin embargo, la anomalía del Norte tiene relación con la continuidad del horizonte calcáreo (para mineralización tipo manto), y diques de intrusivo (figura 7).

La prospección geofísica mediante polarización inducida en tres dimensiones (IP3D) en el Proyecto de Exploración Pukatoro, ha sido para mejorar la calidad de datos, definir con alta resolución los modelos de inversión 3D e incrementar la profundidad de investigación hasta 800 metros en un área de 2Km2, método seleccionado debido al contexto geológico y la complejidad del terreno.

Los equipos utilizados fueron los que describe Fernández (2024): Receptor (GDD Rx, 32/24 canales), Transmisor (GDD Tx 5000 Watts, Tx Innova 5000 Watts).

|  |
| --- |
|  |
|  |
|  |

**Figura 8**. Interpretación de Resultados de inversión IP3D-DAS. Sección L500 cargabilidad. Sección L500 resistividad. Vista isométrica 3D cargabilidad. FUENTE: Fernández (2024).

La anomalía de resistividad (RES1) está relacionado con el intrusivo sin contenido de minerales del grupo de sulfuros o ferromagnesianos (figura 8). Las anomalías de cargabilidad (muy fuertes) denominadas IP1, IP2 están rodeando a la anomalía de resistividad (RES1); sin embargo, la anomalía IP3 está emplazada en ambiente conductivo y está abierta hacia el Este (figura 8). Las otras anomalías IP4s, IP5s, IP6s subsuperficiales (100 a 200 metros de profundidad) se distribuye en forma estratificada o mantiforme (Fernández, 2024).

Los resultados de este estudio representados mediante modelos de inversión 3D, permitieron ratificar la ocurrencia de mineralización con sulfuros interceptados mediante perforación diamantina y determinar la continuidad de mineralización en un emplazamiento tipo manto; además, las anomalías de alta cargabilidad por debajo de los 400 metros de profundidad, revelan la posibilidad de mineralización diseminada perteneciente a un “sistema tipo pórfido”, quedando abierto nuevas oportunidades para continuar las exploraciones (Zapana et al., 2024).

**4. Presentación y discusión de resultados**

La implementación de la tecnología durante las etapas tempranas de la exploración minera en OCP, ha permitido definir y priorizar los Targets de Exploración con mayor rapidez y eficiencia, optimizando costos y delimitando áreas de alto interés geológico para continuar con las siguientes etapas exploración y plantear los objetivos de perforación diamantina. (1) Cobriza DC, con potencial de mineralización Cu-Ag, tipo skarn – manto. (2) Chojec, con potencial de mineralización polimetálica Ag-Pb>Zn±Au, tipo vetas y mantos “sistema cordillerano”. (3) Pukatoro, con potencial de mineralización Cu-Ag, tipo skarn – manto, y posible mineralización “sistema tipo pórfido”.

OCP adopta la tecnología magnetometría con Dron como innovación, considerando las principales ventajas.

* Cubrir áreas con limitaciones de acceso terrestre (por topografía agreste).
* Reducir el tiempo de trabajo en campo y los riesgos de seguridad operacional respecto a estudios convencionales aéreos y terrestres.
* Mayor sensibilidad, precisión absoluta y resultados de alta calidad.
* Menor costo efectivo para exploración minera.

Es importante resaltar para la selección y aplicación de esta tecnología es según el contexto geológico, objetivos que se requiere determinar, factores de clima (ausencia de lluvias y tormentas eléctricas, poca neblina, menor viento).

**5. Conclusiones**

El uso de vehículos aéreos no tripulados en los levantamientos topográficos y geofísicos no solo proporciona ventajas técnicas y operativas significativas, también protege la integridad de las personas y garantiza el respeto al tránsito por la propiedad superficial.

La caracterización del tipo de mineralización, determinados con estudios de microscopía electrónica de barrido y ensayos por cobre secuencial, en contraste con las anomalías geofísicas, han permitido clasificar y priorizar los *targets* de exploración, para iniciar los instrumentos de gestión ambiental (IGA) y continuar la exploración mediante perforación.

**7. Referencias bibliográficas**

Fernández, G. 2024. Reporte geofísico Proyecto Cobriza DC - Magnetometría aérea con drones. Informe interno de OCP, v. 01, p. 1-20.

Fernández, G. 2024. Reporte geofísico Proyecto Chojec - Magnetometría aérea con drones. Informe interno de OCP, v. 01, p. 1-19.

Fernández, G. 2024. Reporte geofísico Proyecto Pukatoro - Polarización inducida IP3D-DAS. Informe interno de OCP, v. 01, p. 1-21.

Hinostroza, D.G. 2024. Informe final servicio de aerofotogrametría sobre 34700ha OCP - Cobriza. Informe interno de OCP, v. 02, p. 1-69.

Yparraguirre, J.A. 2024. Análisis mineralógicos por microscopía electrónica de barrido. Informe interno de OCP, v. 01, p. 1-486.

Zapana, E., Cueto, E.N., Chavez, E.M. 2024. Reporte anual de exploraciones. Informe interno de OCP, v. 01, p. 1-94.

**Eddy Zapana Yanarico**

Superintendente de Exploraciones en OCP Cobriza. Experiencia en geología y exploración minera, desarrollando proyectos de exploración *brownfield / greenfield* en diferentes tipos de depósitos minerales y en operaciones mineras subterránea y tajo abierto.

Ingeniero Geólogo graduado en la Universidad Nacional del Altiplano, con maestría en Gestión Minera en la Escuela de Postgrado GERENS, maestría en Exploración Geológica en la Universidad Nacional de San Agustín y especializaciones en Geología Económica, Gestión de Proyectos, Gestión de Procesos.