INSTITUTO DE INGENIEROS DE MINAS DEL PERÚ

proEXPLO 2019

AG-DAS: la siguiente generación del método geofísico de polarización inducida en modelamiento geofísico tridimensional

José R. Arce Alleva[1]

[1]Arce Geofísicos S.A.C.

Resumen

El método de polarización inducida con señal completa y en configuración distribuida nació con John Kingman, de la Anaconda Copper Company, en la década de 1980 (Kingman, 2013 y 2014). Desde entonces se han creado varios de estos sistemas a nivel mundial como el Newdas (Eaton, 2013), entre los cuales está el AG-DAS, el cual entró en operaciones a mediados del 2015. La aplicación del AG-DAS tiene diversas ventajas sobre el método de polarización inducida convencional. La tecnología DAS brinda mayor confiabilidad en la detección y modelamiento tridimensional de mineralización metálica con geometría compleja a profundidades de hasta más de 800 metros.

Abstract

(AG_DAS): The Next-Generation Induced Polarization in Three Dimensional Geophysical Modelling.

The start of the Induced Polarization with full-waveform distributed array measurements was in the decade of 1980 with John Kingman, from Anaconda Copper Company (Kingman, 2013 and 2014). Since then a handful of these systems have been developed worldwide like Newmont's NEWDAS (Eaton, 2013), amongst which there is the AG-DAS, which started operations in mid-2015. The application of AG-DAS has multiple advantages over conventional IP applications, and has proved to be a reliable exploration tool.

Palabras clave: IPDAS, DAS, polarización inducida y resistividad.

1. El sistema AG-DAS

Las siglas DAS provienen del inglés y quieren decir Sistemas de Configuración Distribuida, lo cual indica la naturaleza de estos sistemas de trabajar con una población de receptores de polarización inducida

instalados en un área, en vez del uso tradicional de mediciones a lo largo de líneas en el IP convencional.

Los distintos sistemas de DAS disponibles en la actualidad cumplen objetivos distintos, que varían desde la cobertura de grandes zonas con IP o métodos magnetotelúricos (MT), hasta estudios 3D a detalle, como es el caso de las aplicaciones para las cuales fuera diseñado el AG-DAS.

El sistema AG-DAS fue diseñado entre el 2013 y 2015 con nuestros socios estratégicos de Iris Instruments. El concepto del sistema fue el uso de múltiples receptores de dos canales, que registran la señal completa con sincronización de tiempo por GPS. Esta última función nos permite seleccionar los tiempos de inyección de corriente con cada receptor, identificando también así las estaciones de transmisión y recepción.

Las ventajas del sistema AG-DAS en las aplicaciones de exploración minera son las siguientes:

1.1. Compensación por anisotropía

Este es un problema inherente al trabajo de generar información de polarización inducida tridimensional en base a líneas o planos de medición. Por esta razón, los estudios de IP convencional deben evitar tener orientaciones distintas en sus líneas de medición. El desarrollo del AG-DAS conllevó también desarrollo de rutinas geofísicas para compensación y corrección de mediciones de campo. Hoy en día podemos combinar distintas configuraciones y orientaciones de mediciones de IP a través de estas rutinas, pero teniendo en cuenta que para poder compensar correctamente anisotropía, solo se podría lograr inyectando campos eléctricos y midiendo potenciales en varias direcciones.

1.2. Mediciones de señal completa

Los receptores de IP convencional miden el promedio de curvas de descarga de cargabilidad de todos los pulsos inyectados al terreno. En principio esto es correcto cuando son mediciones someras y hay un alto cociente señal a ruido (S/N). Por lo general, conforme la información proviene de profundidades mayores, el cociente S/N disminuye y la señal queda eventualmente oculta por el ruido. En estos niveles, el promedio de las curvas de descarga de cargabilidad ya no se puede utilizar. El sistema AG-DAS graba cada 0.1s mediciones de potencial en sus canales y la señal de tiempo proveniente del GPS. De esta manera cada receptor se convierte esencialmente en un sistema de grabación continua de potenciales. Con esta función se puede escoger curvas o tramos de curvas de descarga, entre una mayor cantidad de pulsos de corriente (comúnmente más de 100 pulsos) en vez del los 10 a 15 del IP convencional. En la *Figura 1*, se muestran tramos de curvas de descarga seleccionados para una reconstrucción de cargabilidad profunda. El poder tomar mediciones con señal completa nos permite alcanzar profundidades no menores a los 800 metros y con alcances máximos del orden de lo 1,300 metros, dependiendo fundamentalmente del contraste de resistividades en el subsuelo.

1.3. Sincronización por GPS

Si contamos con una malla de estaciones de transmisión y recepción en un área, es fundamental identificar dichos puntos correctamente, tanto por ubicación geográfica, como por tiempo. De esta manera, utilizando el reloj permanentemente actualizado de cada receptor con la hora del reloj satelital, podemos sincronizar las distintas

estaciones de inyección de corriente con cada receptor.

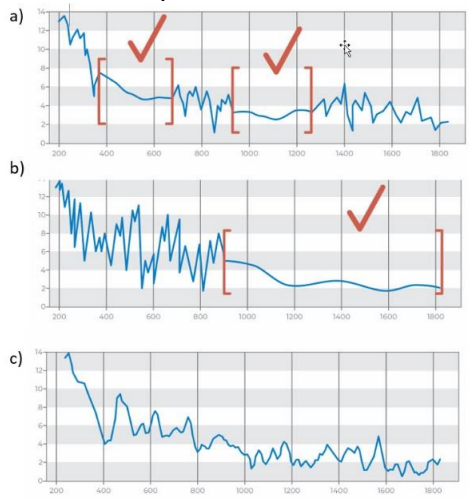

Figura 1. Curvas de descarga de cargabilidad de origen profundo. Las unidades son tiempo en milisegundos en las abscisas y milivoltios en las ordenadas. a) y b) recuperación de dos y 1 tramo de curva, respectivamente; c) curva de descarga reconstruida.

1.4. Levantamientos por áreas

Si bien las mediciones de señal completa pueden hacerse a lo largo de líneas con nuestros receptores de IP convencionales, el estudio de un área como un bloque tridimensional trae diversas ventajas. Entre ellas está el mayor detalle en las anomalías detectadas, aunque siempre dependiente de la longitud de los dipolos de medición utilizados. En el proEXPLO 2017, Arce, J.R. y Kalinaj, M. mostraron los resultados del estudio de la veta Nazareth en el proyecto Quenamari Puno, con un alcance del AG-DAS hasta 800 metros de profundidad.
En la *Figura 2* se ve la distribución de estaciones de corriente (rojo) y de electrodos de potencial (negro) en un caso con topografía extrema.

1.5. Inversión Completa en 3D

A diferencia del IP convencional 2D modelado en 3D, con el sistema AG-DAS podemos reconstruir un modelo más detallado con un alcance de mayor profundidad. La combinación de señal completa, distribución de estaciones por áreas, y sincronización precisa con GPS son fundamentales para obtener buenos resultados. Por otro lado, la cantidad de datos que utiliza un bloque de 1km^2 de AG-DAS es de 4 a 8 veces mayor a una cobertura de IP en un área determinada.

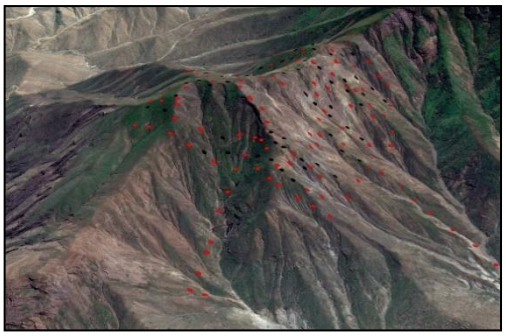

Figura 2. Distribución de estaciones de corriente (rojo) y potencial (negro) en configuración distribuida.

2. Levantamiento AG-DAS en Zona 4

Zona 4 es un yacimiento en explotación de tipo *skarn* ubicado en Áncash, con mineralización emplazada subhorizontalmente.
El área del levantamiento es de topografía extrema, lo cual hace imposible que se tomen mediciones geofísicas terrestres con otros métodos geofísicos. La distribución de estaciones de medición y corriente se pueden ver en la *Figura 2*. En total se utilizaron 52 canales de medición y 142 puntos de transmisión, para un total de 7,384 lecturas. De este total solo se han utilizado en el modelamiento el 40% de las lecturas, ya que la poca presencia de suelo en la mayoría de la zona, no permitió una correcta intensidad de corriente de inyección.
El modelamiento 3D dio información válida hasta unos 1,060 metros de profundidad. En la *Figura 3* podemos ver la distribución de cargabilidades modeladas, mirando al norte.

La *Figura 4* muestra los resultados en una sección mirando al noreste sobre el área de las labores mineras, donde se ve una clara correlación entre dichas labores y las anomalías de cargabilidad.

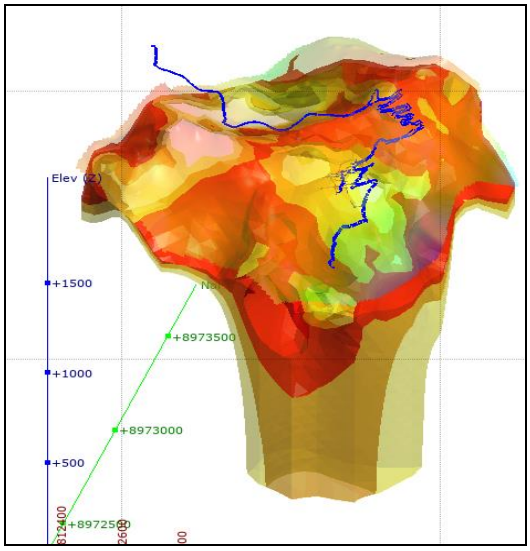

Figura 3. Modelo de isosuperficies de cargabilidad: amarillo (12-15 mV/V), naranja (15-20 mV/V), rojo (20-25 mV/V) y morado (>25 mV/V).

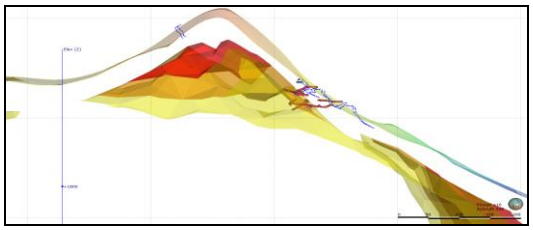

Figura 4. Sección de cargabilidad modelada en 3D sobre las labores mineras, mirando al noreste.

3. Levantamiento AG-DAS en El Roble

El Roble es una mina en operación en Carmen de Atrato, Chocó, Colombia. Es un yacimiento tipo VMS en el cual la mineralización está en rocas volcánicas que contienen *chert* negro, estando este último asociado a la presencia de sulfuros masivos, esencialmente calcopirita y pirita.

En este levantamiento se hicieron dos bloques de 1km^2 y en dos campañas, con 18,216 lecturas tomadas, 60 canales de recepción y 309 estaciones de inyección de corriente (*Figura 5*).

Los resultados los encontramos en las *Figuras 6 y 7*, donde se muestra una clara correlación de los cocientes de cargabilidad a resistividad M/R con los objetivos de mineralización. Estos cocientes ponen énfasis en zonas de baja resistividad (*chert* negro) con alta cargabilidad (sulfuros masivos).

Figura 5. El Roble: distribución de estaciones de corriente (rojo) y potencial (negro) en configuración distribuida.

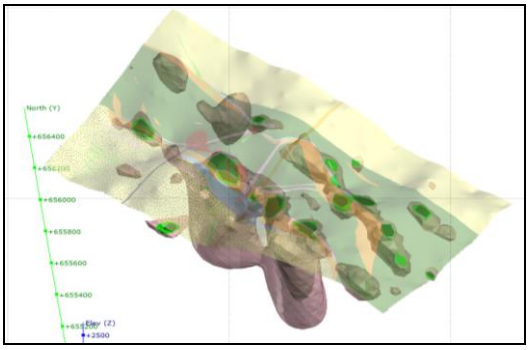

Figura 6. Sólidos de cociente M/R mayores a 0.2, sobre geología local, donde el verde representa el cartografiado de volcánicos y los anaranjados, el *chert* negro.

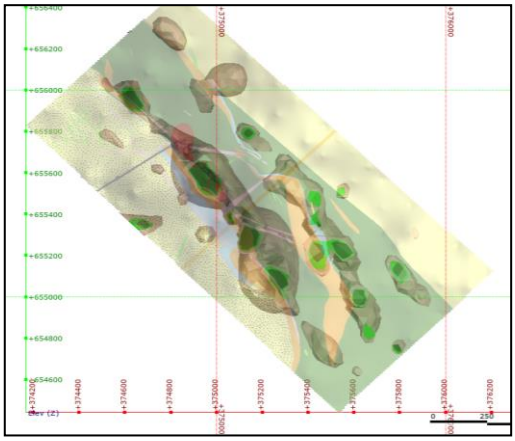

Figura 7. Vista desde arriba de los sólidos M/R en relación a la geología local.

4. Conclusiones

El sistema AG-DAS provee información más precisa que el IP convencional, por sus características de señal completa.

Los sistemas DAS brindan mayor flexibilidad ya que los dipolos de recepción pueden ser colocados adaptándose a configuraciones difíciles de terreno. La configuración compleja es una alternativa en áreas de acceso difícil. Si y no. De hecho son una ventaja, pero por ejemplo en Zona 4, no había otra alternativa).

El alcance de profundidad es de 800 a 1,300 metros, dependiendo de los contrastes de resistividades que se encuentren en profundidad y del tamaño del objetivo.

El AG-DAS puede modelar estructuras geológicas complejas con mayor precisión que el IP convencional (considerar que es posible realizar 3D *surveys* sin necesidad del DAS, el costo versus beneficio debe ser evaluado. Many times 2.5D IP configurations are more cost effective and deliver nearly same results. Sí, esto es correcto, pero estos son casos donde el IP convencional no dio resultados apropiados o no pudo ser aplicado. Nosotros tenemos más de 13,000 km de IP convencional, y las aplicaciones para las cuales sugiero DAS son específicas, no para todos los levantamientos. Creo que este resumen hace énfasis en eso).

El IP convencional sigue siendo preferible para exploración tipo *greenfields* y para casos en donde la configuración geológica no requiera un mayor detalle de estudio o profundidad de investigación.

Agradecimientos

El autor quiere agradecer al Sr. Arturo Musiris de Exploandina, por permitir el uso de la información del proyecto Zona 4 para este artículo. De igual manera, a los Ings. Fernando Elías Ganoza y Joseph Salas por autorizar el uso de información de la mina El Roble.

Referencias

Arce, J., Kalinaj, M., El Método Geofísico de Polarización Inducida de Señal Completa y en Configuración Distribuida AG-IPDAS, Aplicado al Modelamiento de la Estructura Mineralizada Nazareth, Proyecto Quenamari, Puno. proEXPLO 2017.

Eaton, P., Wynn, D., Kingman, J., 2014, Considerations for survey design based on an advanced distributed IP data acquisition system.

Eaton, P., Anderson, B., Queen, S., Mackenzie, I., Wynn, D., 2010: Newdas – the Newmont Distributed IP Data Acquisition System; SEG Technical Program Expanded Abstracts 2010, pp. 1768-1772.

Kingman, J., 2014, A summary of induced polarization research and practice at Anaconda; SEG Technical Program Expanded Abstracts 2014, pp. 5133-5134.

Kingman, J., Garner, S., Benefits of large channel capacity systems in electrical geophysics; ASEG Extended Abstracts 2003, 16th Geophysical Conference, pp. 1-5.