

# 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.

José R. Arce Alleva, Arce Geofísicos S.A.C.

Miroslav Kalinaj, Minsur S.A.

## Resumen

Desde la década de los años 80s, se han venido desarrollando variaciones del método de polarización inducida con el fin de obtener mediciones de mayor profundidad y con mayor resolución y certeza. Los primeros trabajos fueron hechos por el equipo liderado por John Kingman en la Anaconda Copper Company, y el desarrollo continuó hasta 1986, cuando fue introducido el primer sistema de configuración distribuida. La investigación llevada a cabo por Anaconda y Arco facilitó el desarrollo posterior de los sistemas Titan 24 y Orion 3D (Quantec Ltd.) y MIMDAS (Mount Isa Minerals). En las siguientes décadas fueron desarrollados sistemas por Newmont (NEWDAS) y Southernrock en Chile (gDAS24), con excelentes resultados. El 2015 Arce Geofísicos introdujo su sistema de configuración distribuida de polarización inducida AG-IPDAS; este trabajo muestra los resultados de un estudio llevado a cabo en el 2016 en la mina Quenamari en Puno.

## Summary

*Since the 1980s, various developments have taken place to improve depth reach and measurement stability in the induced polarization method. Early work started with the Anaconda Copper Company team lead by John Kingman, which developed the first distributed array system in 1986. The research carried out by Anaconda and Arco, facilitated further developments into the Titan24 and Orion 3D (Quantec Ltd.) and MIMDAS (Mount Isa Minerals) system. Over the next two decades, other DAS systems were developed by Newmont (NEWDAS) and Southernrock in Chile (gDAS24), with excellent results. In 2015 Arce Geofísicos introduced its distributed array induced polarization system AG-IPDAS which was used for the exploration carried out in 2016 of the Quenamari vein system in Puno.*

Palabras clave: Quenamari, IPDAS, DAS, Polarización Inducida.

## Ubicación

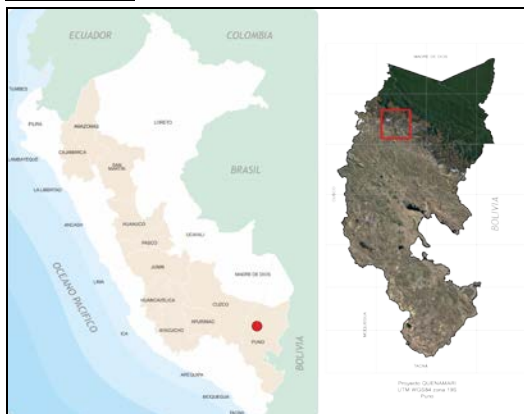


Figura 1.

El proyecto Quenamari está ubicado en la provincia de Azángaro, departamento de Puno, a unos 3.3 kilómetros al noreste de la mina San Rafael (Figura 1).

## Geología del yacimiento

San Rafael es uno de los yacimientos más ricos de estaño en mundo y considerando contenido total de estaño fino es también el yacimiento por si solo más grande del mundo. Está situado la franja de Sn-Cu-W relacionada a los intrusivos del Oligoceno-Mioceno en el flanco W de la

Cordillera Oriental (Carabaya) en una altitud de 4,600 m.s.n.m. El yacimiento esta hospedado en rocas graníticas peraluminosas con abundante cordierita de edad Oligoceno tardío ( $24.6 \pm 0.2\text{Ma}$ ) intruyendo esquistos y cuarcitas de edad Ordoviciano tardío. La mineralización se presenta en forma de relleno de estructuras tipo vetas con rumbo NW-SE y buzamiento entre 60-85° a NE con algunas estructuras con el buzamiento contrario al SW. La roca huésped de la mineralización de más alta ley es principalmente un complejo intrusivo mientras los espesores de las vetas y la calidad de mineralización se reducen de manera significativa en las rocas sedimentarias. El yacimiento se caracteriza por una fuerte y bien definida zonación vertical y en sus inicios fue un yacimiento de cobre. En las cotas más altas de los afloramientos de las vetas principales (5,200 m.s.n.m) se puede observar aun preservada, mineralización de Ag-Pb>Zn incluyendo rodocrosita/rodonita y cuarzo hialino en drusas. Este remanente de la mineralización de baja temperatura desaparece bajo la cota 5,000 m.s.n.m. donde predomina Zn-Cu>Pb. A partir de la cota 4,900m la predominancia de Cu sobre Zn es evidente con trazas de Pb. La mineralización de estaño inicia a partir de la cota 4,550-4,600 m.s.n.m. con contenidos de cobre rápidamente decayendo en profundidad. Clavos mineralizados con mineralización principalmente de Sn- cuarzo-clorita son reconocidos por lo menos hasta la cota de 3,550 m.s.n.m. y aun continua. El contenido de sulfuros es generalmente muy bajo (< 1%) con algunas excepciones cuando localmente se puede presentar elevado contenido de pirota y en menos proporción pirita y trazas de calcopirita. Existe una muy marcada diferencia en el contenido de sulfuros entre el sistema de vetas de mina San Rafael y el nuevo yacimiento de estaño

Nazareth descubierto recientemente en distancia de 5km al NE de la mina San Rafael. La mineralización del sistema Nazareth se caracteriza por un alto contenido de sulfuros hasta sulfuros masivos con predominancia de pirrotita, y un contenido constante y relativo de calcopirita a lo largo de la estructura desde la superficie (4,900 m.s.n.m) hasta los niveles más profundos interceptados con perforación diamantina (3,600 m.s.n.m.). Cuatro principales estadios de la mineralización fueron identificados en el sistema de vetas de la mina San Rafael: Fase I (estéril) principalmente compuesto por cuarzo-turmalina y en menor proporción arsenopirita-pirrotita, seguida por Fase II con la mineralización principal del yacimiento compuesta por casiterita – cuarzo – clorita. La Fase III se caracteriza por el contenido de sulfuros: calcopirita-esfalerita-galena-estannita > pirrotita-pirita. Finalmente, la Fase IV corresponde a las vetas de cuarzo-calcita-siderita.

#### El sistema AG-IPDAS

El sistema de configuración distribuida de Arce Geofísicos (AG-IPDAS) fue desarrollado entre los años 2013 y 2015. Los colectores de datos fueron diseñados por Iris Instruments, luego de nuestra solicitud para tener un sistema distribuido multicanal y de señal completa. El software de control de calidad de la información fue desarrollado en dos etapas. La primera, a cargo de Iris Instruments y la posterior con un sistema desarrollado internamente. El sistema tiene las siguientes ventajas:

1. En vez de utilizar un receptor de muchos canales, que conlleva a la dificultad de tener que cargar e instalar mucho cable en el terreno, utilizamos muchos receptores de 2 canales. Para el caso de Quenamari, utilizamos 25 receptores de 2 canales.

2. Los canales de cada receptor tienen, idealmente orientaciones opuestas, de manera que podemos controlar parcialmente la anisotropía eléctrica de las rocas del subsuelo.
3. Los levantamientos se hacen por áreas, no por líneas. Por ejemplo, para un área de 1 km<sup>2</sup>, tenemos comúnmente 50 canales de recepción y entre 150 y 200 dipolos de inyección de corriente, obteniendo como mínimo de 7500 lecturas en cada área estudiada.
4. Los receptores miden señal completa, es decir, no se trabaja y se selecciona la mejor señal de todos los pulsos inyectados, permitiendo tener una mejor cargabilidad promedio, particularmente en la información más profunda, donde el nivel de ruido puede llegar a ser mayor que la señal.
5. La penetración máxima del método está dada por el contraste eléctrico de los materiales del subsuelo, así como por la longitud de los dipolos de inyección de corriente y de los dipolos de recepción. Por esta razón es recomendable utilizar dipolos de transmisión que se excedan del área a estudiar y por lo menos en direcciones opuestas, con extensiones máximas del triple del eje del área a estudiar. Teniendo en cuenta estas condiciones, en algunos casos el sistema penetra entre 800 y 1300 metros de profundidad.

#### Levantamiento IP-DAS de Quenamari.

Para el levantamiento de Quenamari, se utilizaron dos cuadrángulos de 1km<sup>2</sup>, con la distribución de electrodos mostrada en la figura 2. En esta figura los puntos de corriente están marcados como estaciones de color rojo, mientras que cada electrodo de potencial como una estación de color negro. La separación "a" de los electrodos de potencial es en promedio de 100

metros, aunque esta distancia puede variar de acuerdo al terreno, siempre y cuando se mantenga un control preciso de las ubicaciones, para tener un correcto cálculo de las resistividades.

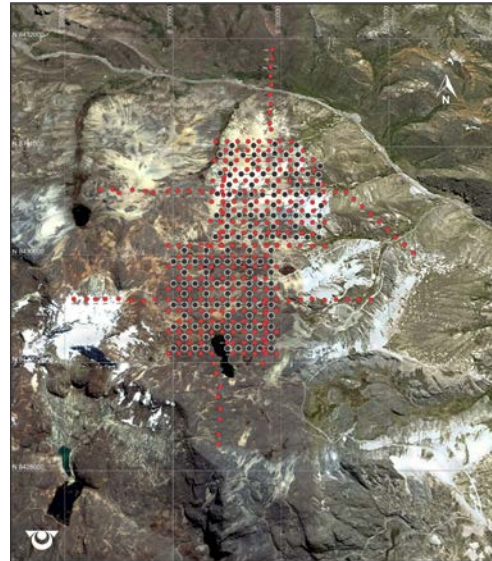


Figura 2.

La penetración del levantamiento fue del orden de los 800 metros, profundidad en la cual aún contábamos con mediciones válidas para el modelamiento.

#### Resultados

Los estudios geofísicos en vetas son siempre un reto. Las vetas tienen por lo general potencias variables y la mineralización no es siempre uniforme. El IP convencional nos ha permitido en el pasado detectar diversas vetas, pero siempre es complicado obtener la ubicación y buzamiento exactos de la misma, especialmente en profundidad.

En la figura 3 se muestra una vista de los dos cuadrángulos de 1km<sup>2</sup> estudiados.

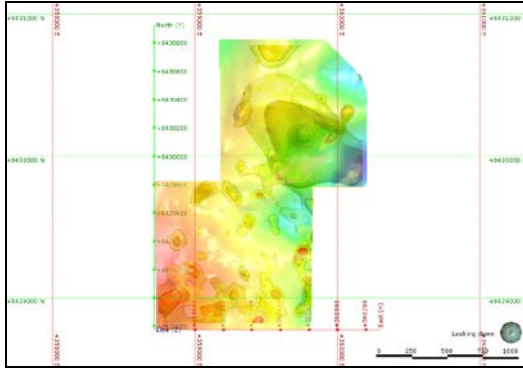


Figura 3.

Utilizando el trazo de la veta determinada por la perforación realizada por Minsur en diversas campañas, podemos ver la correlación de las cargabilidades con la posición de la estructura mineralizada en la figura 4, mirando al noroeste. En esta figura los sólidos de cargabilidad representan valores de 30-35 mV/V (amarillo), 35-40 mV/V (anaranjado) y >40mV/V (rojo).

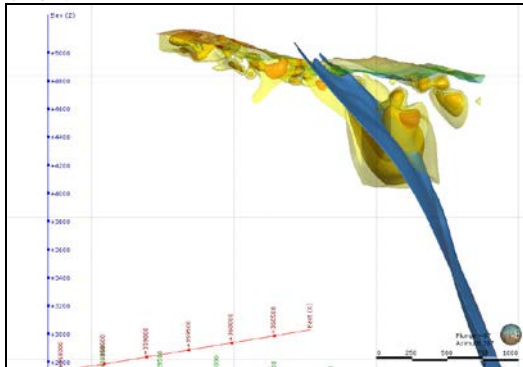


Figura 4.

La respuesta de la cargabilidad muestra un ensanchamiento en profundidad, coincidente con los ramales de la estructura. Nótese el correcto buzamiento de la respuesta geofísica, hasta los 800 metros de alcance del método para este caso en particular.

### Conclusiones

- El método AG-IPDAS cuenta con la capacidad de detección de objetivos de difícil estudio y hasta profundidades considerablemente mayores a la

polarización inducida convencional.

- El buzamiento de una veta puede ser correctamente determinado con este método.
- El método ha sido utilizado y comprobado ya en una variedad de yacimientos, pero por ser un método que toma más tiempo en realizar en campo y en procesamiento y modelamiento de información, se recomienda para estudiar objetivos específicos y de mayor complejidad geológica.

### Agradecimiento

Los autores quieren agradecer a Minsur S.A. por autorizar el uso de la información geofísica y geológica para este artículo.

### Bibliografía

- 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., 2014, Induced polarization: Anecdotes, pitfalls and antiquated practices; SEG Technical Program Expanded Abstracts 2014, pp. 5141-5142.
- Kingman, J., Garner, S., Benefits of large channel capacity systems in electrical geophysics; ASEG Extended Abstracts 2003, 16th Geophysical Conference, pp. 1-5.