

MODELAMIENTOS EN 2D Y 3D EN ALTA RESOLUCIÓN DE ANOMALÍAS DE POLARIZACIÓN INDUCIDA PARA DIVERSOS PROGRAMAS DE EXPLORACIÓN MINERA EN EL PERÚ, CON LA CONFIGURACIÓN POLO-POLO

(Versión modificada del original en inglés. Presentada en la convención anual de la Society of Exploration Geophysicists, New Orleans, Octubre 2006)

José R. Arce

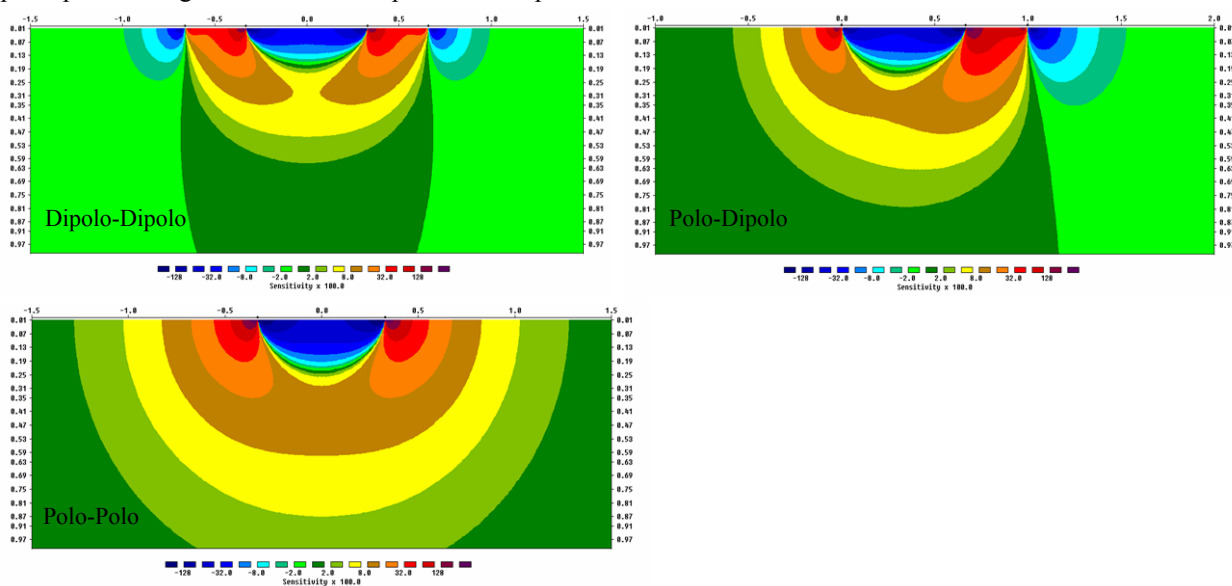
Arce Geofísicos, Av. Petit Thouars 4380, Miraflores, Lima

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos cinco años muchas mejoras se han llevado a cabo en el análisis y procesamiento de datos geofísicos. A finales de los noventa, el modelamiento en 2D de las anomalías de IP y Resistividad presentaba mejoras significativas en comparación con las técnicas de sondeos en 1D; pero no fue hasta el 2002, cuando el modelado en 3D de los métodos eléctricos empezó a producir resultados mejores que con los métodos previos. Estos análisis están siendo constantemente perfeccionados y sus aplicaciones se están expandiendo cada vez más. Nuestra experiencia con todas las configuraciones de electrodos nos ha llevado a preferir la configuración Polo-Polo por su alta calidad de señal.

ESPECIFICACIONES DE SENSIBILIDAD Y CONFIGURACIONES DE ELECTRODOS

Hoy en día es posible estimar las sensibilidades de las diversas configuraciones de electrodos y para varias condiciones sintéticas de terreno. Existen programas que nos permiten calcular las diferentes funciones de sensibilidad de las diversas configuraciones. Las siguientes imágenes muestran la sensibilidad de las tres principales configuraciones con una penetración aparente $n=2$.



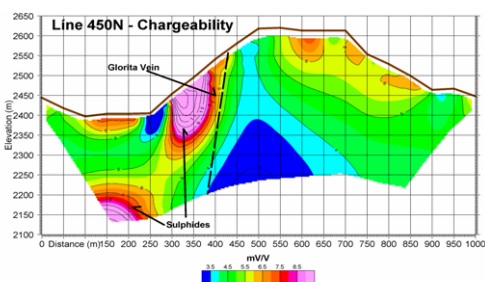
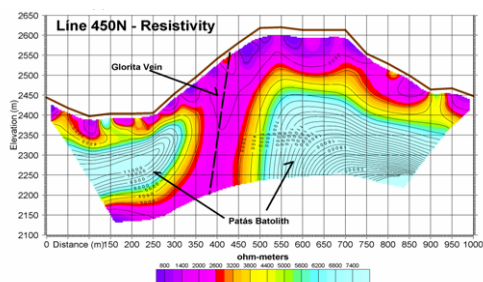
Es claro en las imágenes mostradas arriba que el Dipolo-Dipolo es la configuración con menor penetración de las tres, mientras que tiene la más alta resolución en resultados superficiales; la Polo-Dipolo tiene una penetración intermedia pero es altamente asimétrica lo cual es bien compensado si se repite los estudios de líneas con dos direcciones de movimiento opuestas con un electrodo delantero y uno trasero. La Polo-Polo tiene menor resolución de detección de superficie pero con un mucho mayor alcance de profundidad en comparación de las configuraciones previas. Estos gráficos fueron calculados para ambientes homogéneos con una Resistividad de 100 ohm-m, 1 amperio de entrada de corriente, 5 mV de voltaje de potencial y 0.33m de espacio entre electrodos. Tomando estos parámetros en consideración, es claro que usando una fuente de energía comparable, Polo-Polo tiene la mayor entrada de señal, lo que garantiza una alta calidad en el modelado de datos.

Todos los estudios Polo-Polo realizados en el Perú y discutidos aquí han utilizado una separación de electrodos "a" de 50 metros y con 7 espaciamentos, permitiendo un promedio de penetración máxima promedio de 290

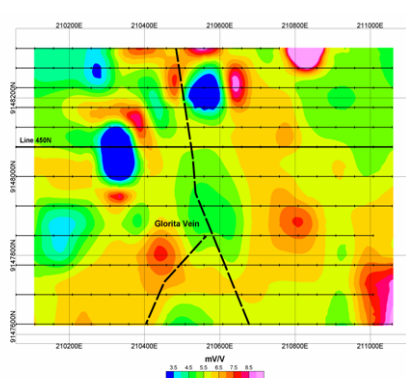
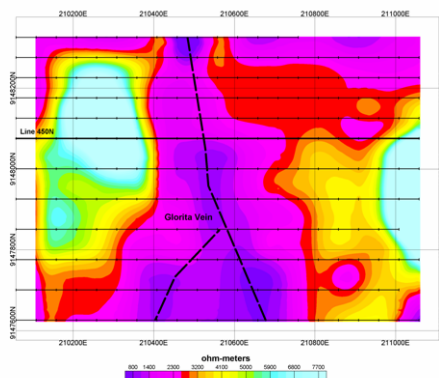
metros. El uso de receptores de polarización inducida multicanales modernos con impedancias mayores a los 100 megohmios permite obtener lecturas de calidad aún bajo condiciones difíciles de resistencia de contacto. El modelamiento en 3D de la información de IP y Resistividad puede ser obtenido por mediciones de campo tridimensionales o utilizando líneas en bidimensionales y con separaciones pequeñas. En el primer caso, los procedimientos de estudio son complicados debido a que las lecturas se toman usando todas las posibles combinaciones de electrodos de transmisión y recepción, mientras que la segunda opción da mejores resultados que un modelamiento en 2D simple de las líneas IP, siempre que la separación entre líneas no exceda el doble de la separación mínima de electrodos de potencial. Este modelado tridimensional de líneas 2D agrupadas en una grilla, se conoce comúnmente como modelamiento 2D a 3D.

MINA PODEROSA, La Libertad, Perú

La Compañía de Minas Poderosa está situada en el flanco oriental de los Andes peruanos, a elevaciones que fluctúan entre los 2000 y 3000 metros sobre el nivel del mar en el batolito precámbrico de Pataz, que mayormente consiste de granodiorita y monzogranitos. Las vetas de cuarzo tienen alteración filica de cuarzo-sericita y sus potencias están entre 0.3m y 2m. La mineralización en las vetas es mayormente pirita aurífera, con rastros de chalcopirita y esfalerita. Este intrusivo precámbrico es extenso, con unos 50 km. de longitud expuesta, y tiene una alta resistividad comúnmente sobre los 3000 ohmiómetros. Las vetas intrusivas de cuarzo, incluyendo su alteración de halo, tienen Resistividades usualmente bajo los 1000 ohmiómetros. Los resultados de Cargabilidad dependen mayormente de la presencia de sulfuros que estén asociados a las estructuras, con concentraciones variables a lo largo del eje central de las vetas, así como en profundidad. Una definición exacta de blancos de exploración es muy difícil de obtener y es mejor por medio de técnicas de modelado geofísicos en 2D y 3D. En terrenos de difíciles condiciones es necesario utilizar información topográfica superficial de gran precisión en el procesamiento y modelamiento. Las secciones bidimensionales obtenidas del modelamiento en 3D son utilizadas para un rápido análisis de los resultados de campo. Las siguientes imágenes muestran un modelo típico en 2D obtenida de la veta Glorita, la cual fue encontrada con este estudio y actualmente está en producción.

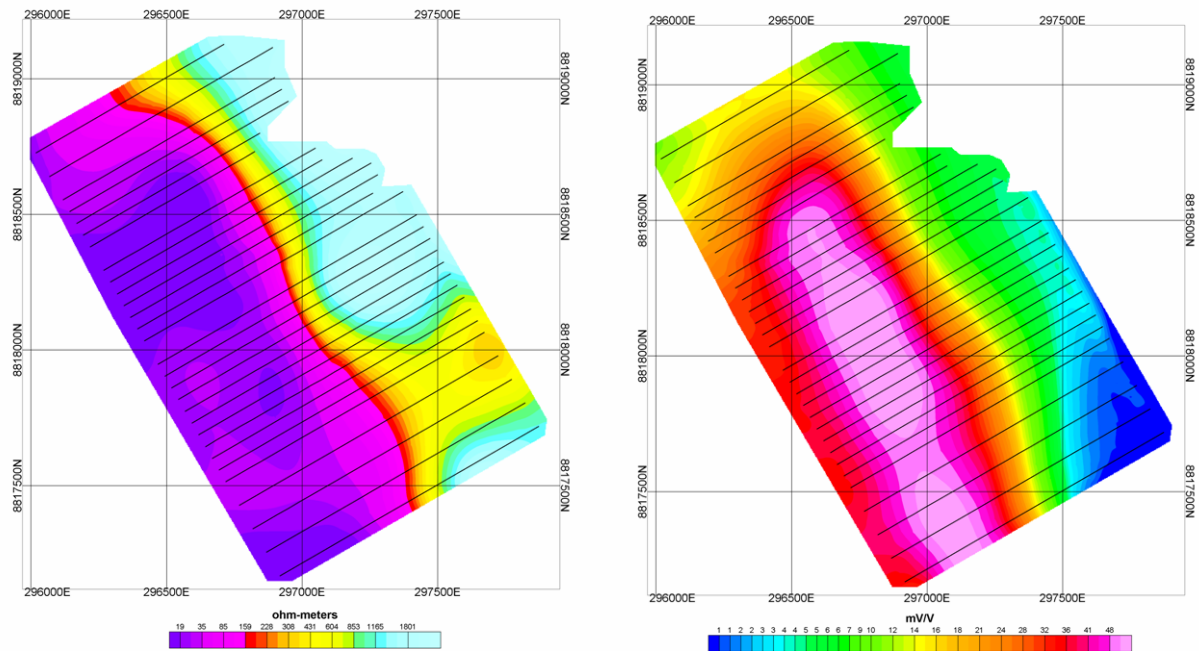


La presencia de sulfuros en esta línea se puede apreciar cerca a la superficie a unos 200 metros de profundidad. La cargabilidad ubicada bajo los 2250m de elevación puede ser interpretada como pirita diseminada en el intrusivo o a estructuras no económicas. Los resultados del modelado 3D de la información anterior están en las dos figuras abajo mediante una vista a 100 metros de profundidad. La línea 450N, mostrada en las secciones previas, también ha sido resaltada. El modelo de Resistividad claramente muestra la estructura Glorita, mientras que la presencia de sulfuros se aprecia a lo largo de ésta y en lugares apartados. La Cargabilidad se utilizó aquí únicamente para confirmar la ubicación de la veta con menor resistividad y señalar rangos de elevaciones para blancos para perforación. A diferencia de los modelos en 2D, el modelado 3D resulta en mejores interpretaciones entre líneas y con una mejor correlación de propiedades geofísicas, ya que se considera que los campos eléctricos tienen efectos volumétricos y no lineales. Por esto vemos en los modelos 3D que las respuestas de cargabilidad tienen valores menores a los modelos 2D. También debe notarse que un problema común en las medidas de cargabilidad del modelo 2D y 3D es que las anomalías tienden a tener un pequeño desplazamiento en dirección de las líneas.

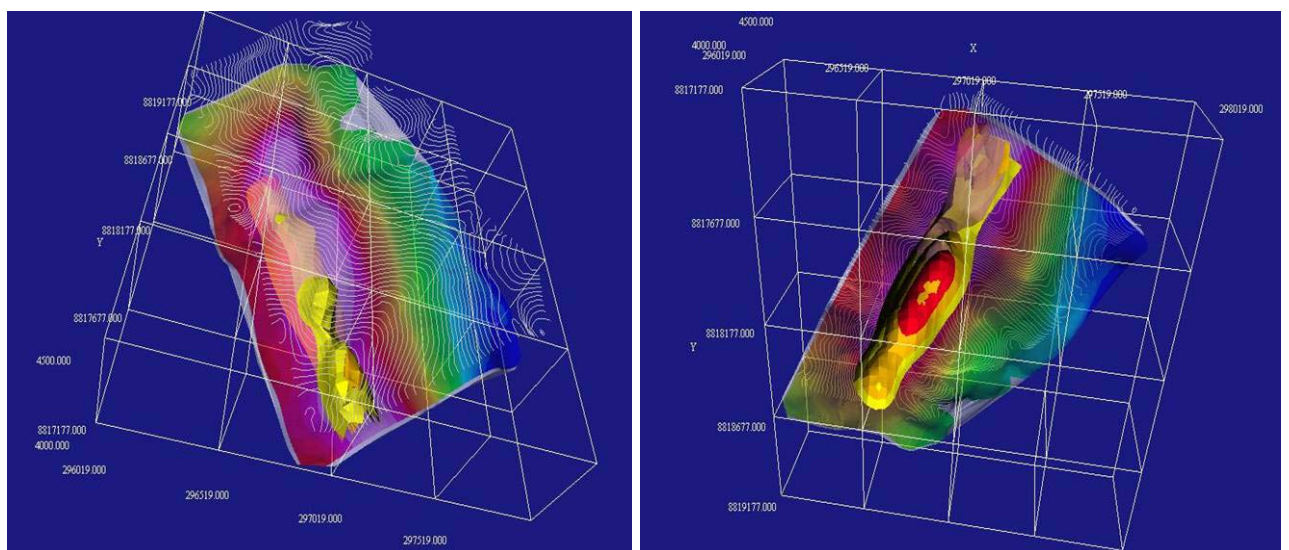


MALLAY, Lima, Perú

El proyecto Mallay está ubicado en la provincia de Oyón, departamento de Lima, en la zona central de los Andes peruanos y es parte de los programas de exploración de la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. La topografía de superficie en este proyecto es de difícil acceso y un levantamiento topográfico de alta resolución se realizó para ser utilizado en el modelamiento geofísico. El objetivo de exploración se encuentra en el contacto de la formación Pariahuanca (alto Cretácico), de alta resistividad, y las cuarcitas de la formación Farrat (bajo Cretácico). La mineralización contiene hasta un 9% Zn, 7% Pb, 6 oz Ag más de 20% Fe, así como masas de Piritita y Arsenopiritita. El estudio geofísico consistió de sectores con líneas espaciadas cada 50m y 100m. Las líneas fueron perpendiculares a la dirección de las formaciones. El modelo 3D del estudio generó resultados muy claros. Las siguientes imágenes representan la Resistividad y Cargabilidad modeladas a 300 metros bajo la superficie.



Antes del estudio geofísico se habían hecho varias perforaciones y con resultados alentadores. En este momento se ha completado un socavón que ya comprobó la anomalía. Otras labores están siendo también desarrolladas para analizar todos los resultados y posiblemente empezar esta nueva operación minera.

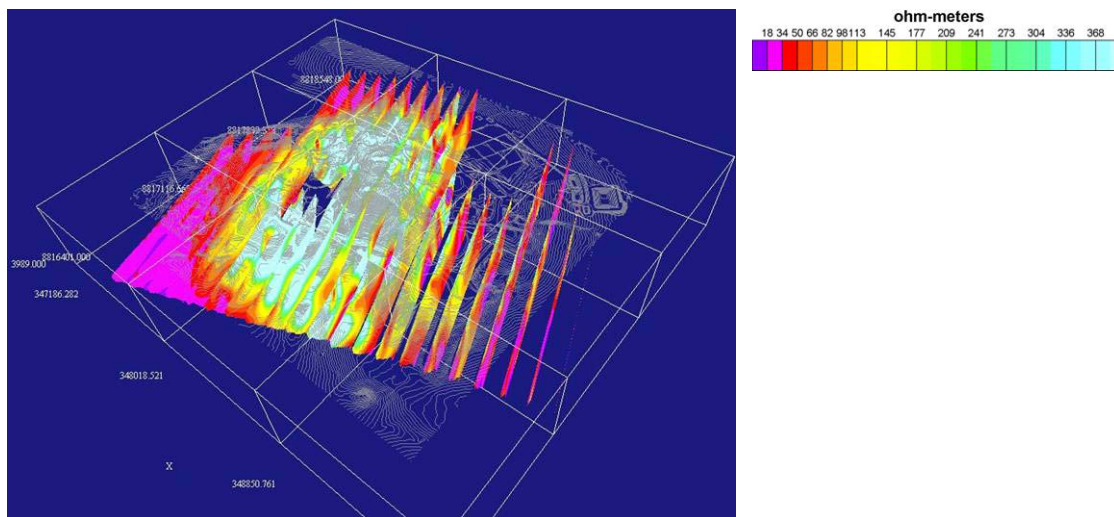


El modelamiento tridimensional permitió preparar con precisión los diagramas requeridos para el planeamiento minero y de taladros. Las dos vistas mostradas arriba representan la respuesta de cargabilidad de dos masas sólidas (Amarillo, naranja y rojo para 50, 55 y 60 mV/V, respectivamente) y el la vista en planta de la

cargabilidad corresponde a una profundidad de 300 metros. La imagen izquierda es una vista desde la superficie y la imagen derecha es una vista desde un punto más profundo que la anomalía.

QUICAY, Pasco

La mina Quicay esta ubicada en la parte central de los Andes peruanos, con elevaciones mayores a los 4000 metros. La mineralización es mayormente oro libre en una masa silicificada. La anomalía de alta Resistividad marca el área explotable a bajas profundidades. Bajo los 150 metros de profundidad, el cuerpo de la alta Resistividad se estrecha hasta formar un sólido en forma de hongo. La cargabilidad arrojó resultados de menor importancia ya que hay pocos sulfuros en el área. Se obtuvieron cortes bidimensionales en manera de secciones de la inversión 3D y en coincidencia con las líneas levantadas en estudio.



CONCLUSIONES

El modelamiento en 3D de IP y Resistividad tomado desde datos en 2D recopilados a lo largo de líneas es una mejora significativa en la calidad de los resultados modelados, siempre que la separación entre líneas no exceda cuatro veces la separación mínima entre electrodos de potencial. El uso de una configuración de electrodos con un menor requerimiento de energía y una mayor señal de recepción como la Polo-Polo, permite obtener un modelo final de mejor calidad. El modelamiento en espacio tridimensional de los levantamientos con Polo-Polo provee resultados precisos y confiables y cuentan con una mayor precisión, que puede ser muy bien aprovechada en los subsiguientes programas de perforaciones. El uso de un receptor de alta impedancia es muy importante para garantizar una alta de confiabilidad en las lecturas de campo.

REFERENCIAS

- Arce, J.R., 2002. Reconstrucciones Icónicas Tomográficas del Subsuelo. XII Congreso Peruano de Geología.
- Edwards, L.S., 1977. A modified pseudosection for resistivity and induced polarization. *Geophysics*, 42, 1020-1036.
- Loke, M.H., 2004. Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies: A practical guide to 2-D and 3-D surveys.
- Loke, M.H. & Barker, R.D., 1995. Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudosections. *Geophysics*, 60, 1682-1690.
- Oldenburg, D.W. & Li, Y., 1999. Estimating depth of investigation in dc resistivity and IP surveys. *Geophysics*, 64, 403-416.

RECONOCIMIENTOS

El autor quisiera agradecer al Dr. José E. Arce por su invaluable apoyo en este trabajo, al Dr. M.H. Loke por su continuo flujo de ideas y mejoras en los programas de modelamiento en 2D y 3D utilizados por el autor, al Dr. César Vidal y la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. , al Ing. Luis Seijas de la Compañía Minera Poderosa S.A. y al Sr. Juan Lei de Chancadora Centauro por permitir que el autor muestre los modelos geofísicos de Mallay, Poderosa y Quicay, respectivamente. Asimismo, a la Sra. María Fé Saavedra por su permanente ayuda y apoyo.