



## **SIMULACIÓN DE ANOMALÍAS MAGNÉTICAS ASOCIADAS A LOS DISTRITOS DE PÓRFIDOS CUPRÍFEROS DEL NORTE GRANDE DE CHILE**

Lorena Banchemo\*, Gerardo Behn \*

### **RESUMEN**

La información aeromagnética disponible para el Norte Grande de Chile ha mostrado en forma persistente la presencia de grandes anomalías magnéticas emplazadas en sentido este-oeste y espaciadas en unos 40 a 60 kms, en sentido norte-sur. Estos sistemas de anomalías magnéticas se desarrollan en forma transversal a los sucesivos arcos magmáticos del ciclo tectónico Andino, interpretándose como una secuencia transversal de intrusivos magnéticos de tamaños batolíticos ("transbatolitos").

Los grandes pórfidos cupríferos del Norte de Chile se observan frecuentemente dispuestos en grupos o "clusters" de yacimientos. La superposición de estos clusters conocidos, al mapa magnético muestra que todos ellos aparecen asociados a las anomalías magnéticas transversales (TMA's).

El objetivo de este trabajo es modelar el campo magnético producido por un conjunto de cuerpos intrusivos hipotéticos y situaciones geológicas asociadas, para estudiar posibles causas de las anomalías magnéticas que se observan en el Norte de Chile y proponer una interpretación.

Para ello se usó un programa de modelamiento 3-dimensional que calcula el campo magnético sintético causado por una serie de cuerpos simples en forma de prismas rectos de base rectangular. Los parámetros de entrada son las características geométricas de cada cuerpo, su susceptibilidad magnética y la geometría e intensidad del campo magnético local. Este modelamiento supone cuerpos afectados sólo por magnetización inducida, sin magnetización remanente.

Para llegar a reproducir las transanomalías magnéticas del Norte de Chile, se ha determinado el campo magnético de una secuencia de cuerpos elongados en sentido este-oeste, con susceptibilidad alta y raíz profunda, que representan a batolitos transversales a los sistemas estructurales más relevantes ("transbatolitos"). Además, se han incorporado cuerpos superficiales y mas pequeños, que simulan los pórfidos y se constituyen en intrusivos afectados por alteración hidrotermal y de baja susceptibilidad magnética. A estos elementos se agregan luego componentes estructurales como fallamientos y deformaciones.

El resultado de esta simulación se comparó con el caso real de las transanomalías de Chuquicamata y de El Abra. Se concluye, en este caso, que los patrones que muestra el mapa magnético sintético están relacionados a cuerpos de grandes dimensiones (mayores a 20km), junto a cuerpos desmagnetizados superficiales pequeños. Al modelar los efectos de desplazamientos de rumbo de una estructura tipo Falla Oeste, se observa que éste no podría ser superior a 15 km ya que en caso contrario la transanomalía aparecería claramente dislocada, lo cual no se observa en los mapas aeromagnéticos reales. Cabe por lo tanto la posibilidad que movimientos transcurrentes se hayan realizado sobre un posible plano de desacoplamiento, superior al techo de los transbatolitos. Como interpretación de la presencia de pequeñas anomalías observadas en los mapas aeromagnéticos, se postula la existencia de pequeños intrusivos y zonas de alteración a lo largo del sistema estructural N-S.

Finalmente, como una aplicación generalizada, se pueden utilizar estas simulaciones para interpretar mejor la información que entregan los mapas aeromagnéticos. Así se pueden desarrollar modelos matemáticos que resalten características especiales, como sistemas estructurales de primer orden y fuentes superficiales, y de ese modo entender las respuestas magnéticas al emplazamiento de depósitos minerales relacionados a las transanomalías magnéticas.

### **INTRODUCCIÓN.**

El campo magnético en el Norte Grande de Chile está caracterizado por la presencia de grandes sistemas de anomalías magnéticas orientados en sentido este-oeste, transversales a los sucesivos arcos magmáticos de la evolución geológica andina. Estos sistemas denominados transanomalías magnéticas (TMA)<sup>1</sup> aparecen con una separación norte-sur cuasi-regular de unos 40 a 60 kms.

\*CODELCO-Chile. Vicepresidencia de Exploraciones y Asociaciones Mineras.

Por otro lado, los depósitos de pórfidos de cobre conocidos en la zona norte del país aparecen frecuentemente localizados en distritos. Se pueden mencionar los casos de Copaquire - Quebrada Blanca - Collahuasi - Profundo, El Abra - Conchi Viejo, Chuquicamata - R.Tomic - Mansa Mina, Escondida - Zaldívar - Chimborazo, Distrito El Salvador. Todos estos clusters están emplazados sobre alguna de las transanomalías magnéticas, por lo que estos sistemas adquieren un gran interés en la exploración minera.

Como una forma de interpretar las fuentes magnéticas que están generando estos patrones en el Norte de Chile se ha utilizado un programa computacional<sup>2</sup> que modela el campo magnético causado por uno o más prismas rectangulares en tres dimensiones. Partiendo por el caso más simple, el campo producido por una secuencia de tres cuerpos magnéticos se elabora un modelo más complejo, incorporando los efectos de una alteración hidrotermal y sistemas estructurales, que reproduce el patrón magnético definido por las transanomalías del Norte de Chile.

Como referencia de los modelos hipotéticos se entrega en la fig.1 el mapa aeromagnético<sup>3</sup> asociado a las transanomalías magnéticas de El Abra y de Chuquicamata junto a la traza superficial de los principales sistemas de falla en que se destaca la megaestructura de la Falla Oeste. La información magnética de la figura es de baja resolución (1000m de altura sobre el terreno y 2500m de separación de líneas) por lo que se pierden algunos detalles de alta frecuencia al interior de las anomalías.

## MODELAMIENTO.

El programa computacional permite obtener el campo magnético causado por uno o más prismas definidos por su geometría: largo, ancho, profundidad de base y techo y rotación respecto al norte, y por sus características magnéticas: susceptibilidad magnética, inclinación y declinación del campo local. La inclinación y declinación se mantienen constantes para todos los cuerpos pues se determinará solamente el efecto del campo inductor, suponiendo la ausencia de magnetización remanente. El resultado es un mapa magnético en planta, coloreado y con líneas de contornos.

Para modelar unidades que contienen minerales magnéticos (principalmente magnetita) se usa un valor alto de susceptibilidad magnética, y cuando la magnetita ha sido destruida por efectos de alteración hidrotermal, se usan susceptibilidades bajas o nulas.

Las figuras 2 a 5 muestran diferentes casos de emplazamiento de cuerpos y el campo magnético que generan. En cada figura se incluyen para cada cuerpo la profundidad del techo y base y la susceptibilidad magnética en cgs para un campo inductor de 24.000 nT.

**MODELO 1:** Este modelo intenta reproducir la situación más simple de anomalía magnética (figura 2). Una serie de tres batolitos magnetizados ( $\kappa=0.004$  cgs) intruyen al sistema siguiendo una orientación este-oeste. Los prismas que representan al batolito transversal son unidades con una profunda raíz y que, en este caso, no afloran. Estos cuerpos producen un campo magnético representado por una gran anomalía similar a las que se observan en el caso real (figura 1), es decir, de dimensiones de unos 80 km de extensión por 15km de ancho y con un contraste de intensidad magnética de unas 250 nT.

Para duplicar los detalles de alta frecuencia que se producen al interior de las grandes anomalías, se han incorporado pequeños cuerpos desmagnetizados ( $\kappa=0.001$ ) que afloran a la superficie y con su base apoyada en el techo del batolito. Estos prismas representan las unidades de tipo pórfido, donde los minerales magnéticos han sido destruidos por efectos de la alteración hidrotermal.

Con este simple modelo se ha logrado reproducir la situación básica que se observa en los mapas aeromagnéticos medidos. Al agregar mayor complejidad al modelo se pueden evaluar situaciones de interés, por ejemplo la clásica interrogante acerca de la magnitud del desplazamiento de rumbo del sistema de Falla Oeste.

**MODELO 2:** En este caso se han considerado los mismos prismas que en el caso anterior, pero se ha trazado una falla transcurrenente sinistral que separa los bloques del este y del oeste con un desplazamiento de rumbo del bloque este en 30km hacia el norte (Figura 3). Al suponer una falla con penetración hasta unos 10km de profundidad, la anomalía aparece dislocada, lo que no corresponde con las observaciones de mapas aeromagnéticos (figura 1). Por lo tanto se propone que si hay desplazamiento de la Falla Oeste este sería menor a 30km.

**MODELO 3:** Este caso es equivalente al anterior, pero suponiendo un desplazamiento transversal de sólo 15km (Figura 4). La anomalía aparece desplazada, pero se mantiene como una sola unidad, lo que se asocia bien al caso real que muestra la Figura 1 al este de El Abra.

**MODELO 4:** En la figura 5 se ha hecho una composición de dos unidades de grandes cuerpos intrusivos magnetizados transversales, afectados por una estructura norte-sur que se desplaza sinistralmente unos 15km, como podría ser el caso para la Falla Oeste. Como esta gran falla representa una zona de debilidad estructural, es posible que existan intrusiones magmáticas que van dejando un rastro magnético a lo largo de esta estructura. Este caso es el que mejor refleja la

situación real, pues en el mapa aeromagnético se observa un patrón de pequeñas anomalías en las zonas de la falla generalmente conectadas a las transanomalías magnéticas como se ve en el modelo del caso 4.

### CONCLUSIONES.

El campo magnético resultante de la presencia de varios cuerpos magnetizados y desmagnetizados superficiales hipotéticos, logra imitar en general el patrón magnético característico de las transanomalías del Norte de Chile. En esta zona las transanomalías tienen una separación entre sí de unos 40 a 60 kms y pueden interpretarse como el producto de la integración y concatenación de grandes unidades magmáticas, afectadas por estructuras con componente de rumbo, deformaciones asociadas y alteraciones superficiales.

Para el caso de las transanomalías de El Abra y Chuquicamata se muestra mediante el modelamiento, que no es probable que la Falla Oeste hubiese tenido un desplazamiento de rumbo, posterior a la intrusión magmática, superior a unos 15km. Además se evidencia una migración magmática a través de la falla como interpretación del patrón magnético que dejan los sistemas estructurales.

La simulación del campo magnético causado por una serie de fuentes que se puedan modelar, representa una poderosa herramienta que permite mejorar la interpretación de la información aeromagnética, así como desarrollar los procesos matemáticos a las señales que destaquen características de interés, como sistemas estructurales de primer orden o realce de fuentes superficiales, e intentar la comprensión de la dinámica de emplazamiento de depósitos minerales asociada a las transanomalías magnéticas.

### REFERENCIAS.

1. Behn G., Carrasco P., Ware H., 1997. "Transverse Magnetic Anomalies on the Active Continental Margin of Northern Chile", en preparación a publicación.
2. "3-Dimensional Potential Field Modelling Software", 1993. Sander Geophysics Limited.
3. Vuelo Magnético Sernageomin. 1985.





