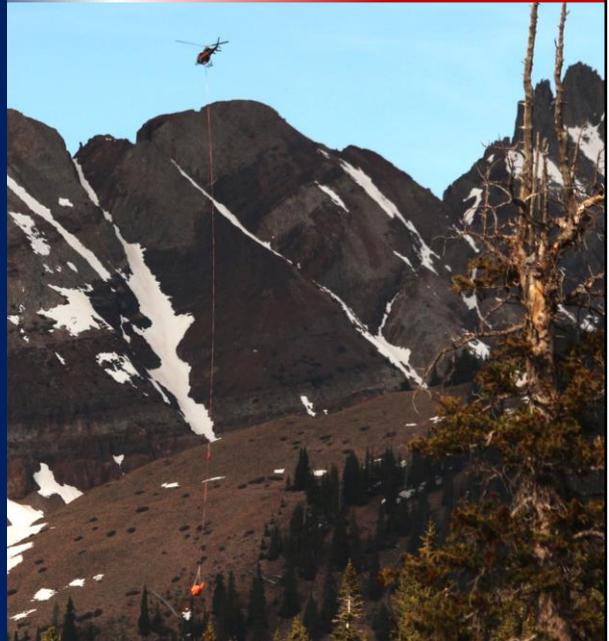


Tecnología MobileMT – Nuevas capacidades de los levantamientos aéreos EM en la Exploración Minera

Alexander Prikhodko,
Expert Geophysics Limited



info@expertgeophysics.com www.expertgeophysics.com

Hola buen día a todos. Gracias por su presencia. Hoy día les presentaré los potenciales de exploración del sistema aéroporado de banda ancha para la medición del campo electromagnético natural y la presentación de los nuevos logros de esta tecnología en la exploración minera: La Tecnología MobileMT.

Resumen de la presentación

MobileMT

- Métodos Electromagnéticos (EM) Aéroportados y profundidad de investigación
- Fuente Natural de Energía
- Adquisición y Procesamiento de datos
- Ventajas y capacidades – Soluciones técnicas y ejemplos de terreno
 - Rango de frecuencia
 - Profundidad de investigación
 - componentes medidos
 - Altura de vuelo sobre el terreno
- Experiencia actual
- Discusiones



2

Resumen de la presentación

www.expertgeophysics.com

Comenzare la presentación con una breve descripción de los principios usados en los levantamientos electromagnéticos aéroportados y su comparación sobre la base de profundidad de investigación. Luego, describiré las fuentes de energía del sistema MobileMT, el método de adquisición de datos y el procesamiento de datos.

En el siguiente punto mostrara las soluciones técnicas, los efectos y ventajas de esta tecnología en la exploración minera

Seguidamente, se analizara los parámetros principales de la tecnología y la presentación de algunos casos de terreno en diferentes condiciones geoelectricas y en diferentes tipos de terreno.

Para finalizar, se presentara la experiencia actual con la tecnología aerotransportada EM de MobileMT.

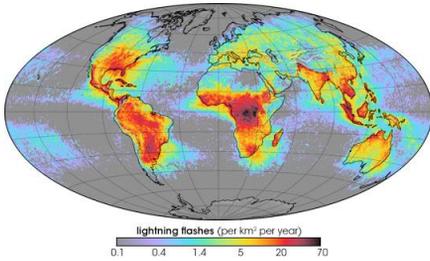
Aéroportados y profundidad de investigación

Método Electromagnético (EM)	Fuente Electromagnética Principal	Profundidad de Investigación
VLF	Señal remota de comunicación de radio	~30-50 m
Dominio de la Frecuencia	Espira (loop) receptor o bobina receptora de corriente	~50-150 m
Dominio del tiempo	Espira (loop) receptor de corriente	Centenares de metros
Magnetovariacional y Magnetotelúricos	Campo EM natural en el rango de audiofrecuencia	~1-2 km

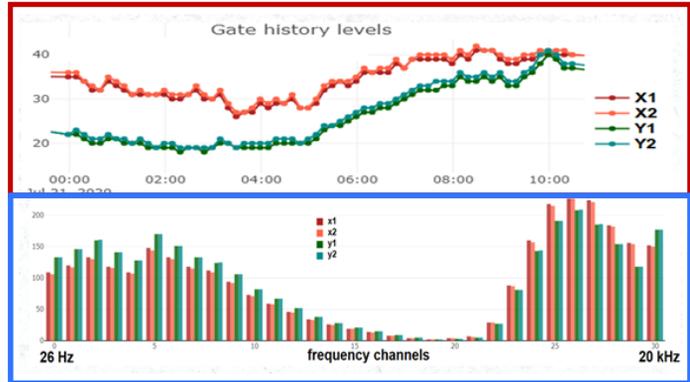
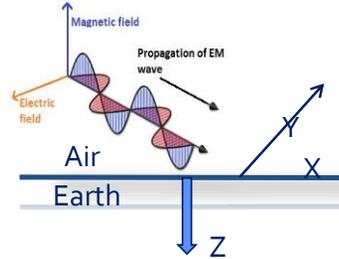


Me gustaría comenzar con un par de palabras sobre los principios fundamentales utilizados en los métodos electromagnéticos aerotransportados. Como se puede observar en la tabla, los principios difieren según las fuentes primarias del campo electromagnético (clic) y en consecuencia tienen un impacto en la profundidad de las investigaciones (clic). La profundidad de las investigaciones que se muestran aquí son aproximadas y dependen de la conductancia del medio investigado, pero los rangos presentados están cerca de la realidad.

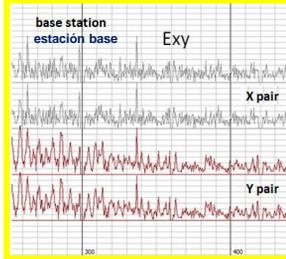
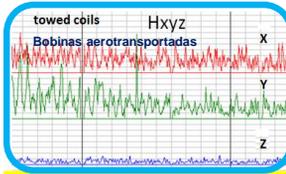
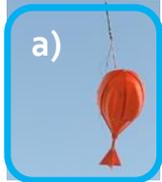
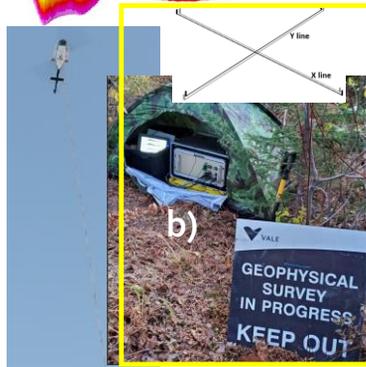
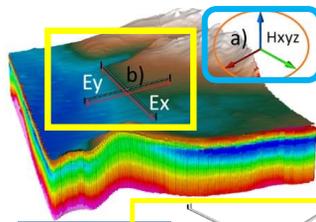
La tecnología MobileMT utiliza el principio magnetotelúrico(clic), proporcionando la mayor profundidad de investigación. Un punto que discutiremos en detalle más adelante.



Promedio de recuentos anuales de relámpagos por kilómetro cuadrado, según los datos recopilados por los satélites de la NASA entre 1995 y 2002. (NASA, Visible Earth)



La tecnología MobileMT utiliza los campos electromagnéticos naturales para investigar la estructura de la conductividad eléctrica en el subsuelo geológico. Las descargas eléctricas de los rayos y la actividad de las tormentas eléctricas en todo el mundo causan variaciones naturales en el campo magnético de la Tierra, lo que induce en el entorno geológico corrientes eléctricas (conocidas como corrientes telúricas). Los fenómenos naturales crean fuentes con fuertes señales electromagnéticas las cuales son captadas el rango de frecuencia de medición de MobileMT (estas forman parte del rango de frecuencia audio-magnetotelúrica natural). Es por eso que el sistema MobileMT no utiliza ninguna señal generada o transmitida artificialmente.



series de tiempo de los datos

H bobina
aerotransportada

$$H = \begin{bmatrix} H_x \\ H_y \\ H_z \end{bmatrix}$$

E Estación
base

$$E = \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ 0 \end{bmatrix}$$

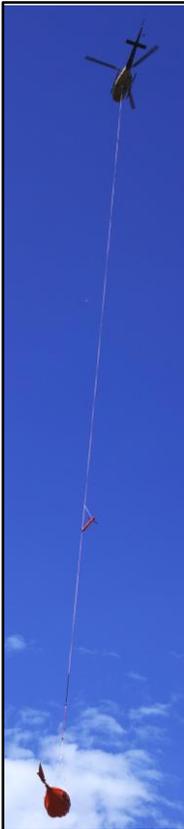
$$\begin{bmatrix} H_x \\ H_y \\ H_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{xx} & Y_{xy} \\ Y_{yx} & Y_{yy} \\ Y_{zx} & Y_{zy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix}$$

$$\sigma = \mu\omega|Y^2|$$

La tecnología de MobileMT es muy parecida al método magnetoteléxico terrestre. Obviamente, MobileMT posee algunas características específicas, ya es una versión aerotransportada.

El sistema de medición consta de dos partes principales: La estación base instalada en la superficie de la tierra que mide los componentes electromagnéticos. Esta consta de canales de señal y de referencia independientes que proporcionan datos sin sesgo. Y los 3 componentes del receptor aéroporado que registra las variaciones de campo magnético. Estos datos electromagnéticos se digitalizan y registran a 74 kHz para producir una serie de datos representativos para la sincronización y el procesamiento de datos de alta calidad.

La técnica de Transformada Rápida de Fourier es aplicada a los datos fusionados con el cálculo de seis matrices de admitancia (barra) en las diferentes bases de tiempo y en diferentes bandas de frecuencia. Como resultado del cálculo modular de las matrices determinantes, se obtienen los parámetros invariantes de rotación, con lo cual se calcula la conductividad aparente para cada ventana de frecuencia como parámetro principal del mapeo de MobileMT.



Medición de la variación de los tres componentes del campo magnético

Sensibilidad en cualquier dirección de las señales geoelectricas

Medición de cuatro órdenes de frecuencia (26Hz-21kHz)

Sensibilidad a las estructuras geológicas cerca de la superficie tanto como a las estructuras geológicas profundas

El rango de frecuencia se divide hasta 30 ventanas

Alta resolución en profundidad y una amplia gama de selección de datos

Frecuencia de digitalización de 74 kHz, estación base de señal y referencia

Datos sin sesgo y sin ruido

Ventajas sobre sistemas con fuentes controladas:

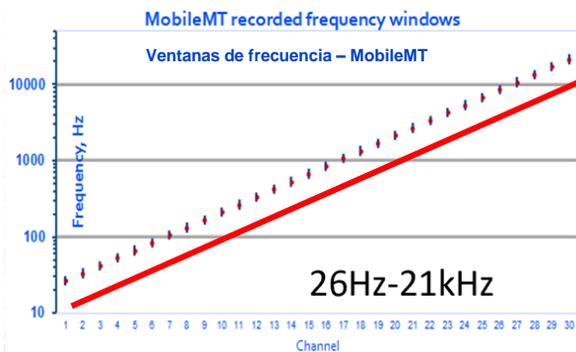
- Sensibilidad en una gama más amplia de resistividades
- La profundidad de investigación siempre supera las capacidades de los sistemas de fuentes controladas
- Menos dependiente de la altura de vuelo – levantamientos aéroportados mas seguros en topografía abrupta

Ahora veamos algunas soluciones técnicas que permiten demostrar las ventajas y capacidades de exploración específicas de la tecnología.

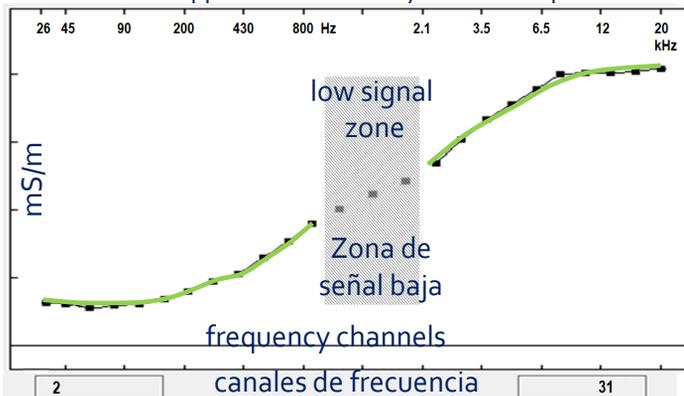
- Medición de las variaciones de los tres componentes del campo magnético. En realidad, es un campo total lo que proporciona sensibilidad en cualquier dirección a los límites geoelectricos, desde la horizontal a la vertical. Adelante se mostraran ejemplos correspondientes.
- 4 órdenes de medidas de frecuencia, en el rango de 26 Hz a 21 kHz, lo que significa que cubren desde la superficie cercana hasta estructuras profundas (> 1 km de profundidad).
- El rango de frecuencia se divide en 30 ventanas, lo que proporciona una alta resolución en profundidad y una buena oportunidad para la selección de datos.
- Frecuencia de digitalización muy alta en los datos medidos, señal independiente y canales de referencia en la estación base proporcionan datos sin ruido.

Hay tres ventajas principales en la utilización del método con el campo electromagnético natural:

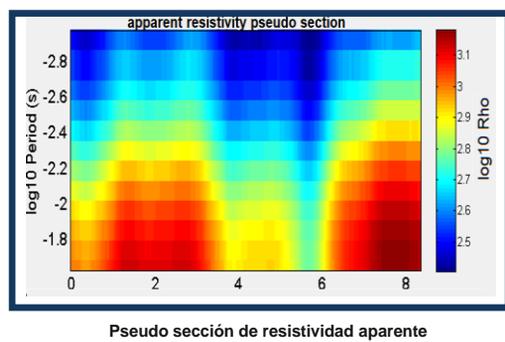
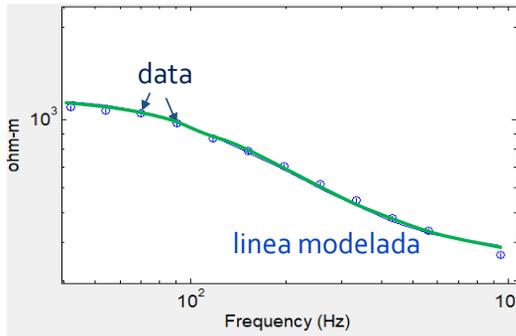
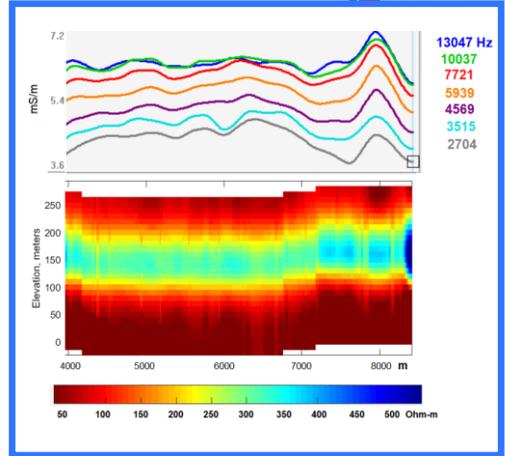
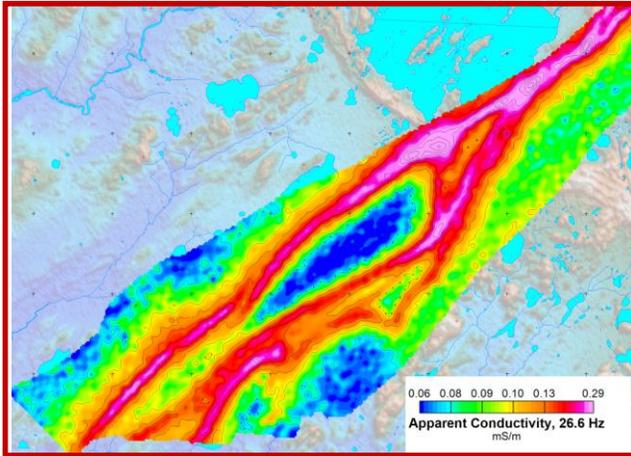
- La profundidad de la investigación supera las capacidades de los sistemas con fuentes controladas;
- Sensibilidad no solo a los conductores sino a las diferencias de resistividad en miles y decenas de miles Ohm-m, lo que es en principio un desafío para los sistemas de dominio del tiempo;
- No hay una dependencia crítica del sistema con respecto a su altura de vuelo, lo que significa mas seguridad con levantamientos en terreno difícil y escarpado.



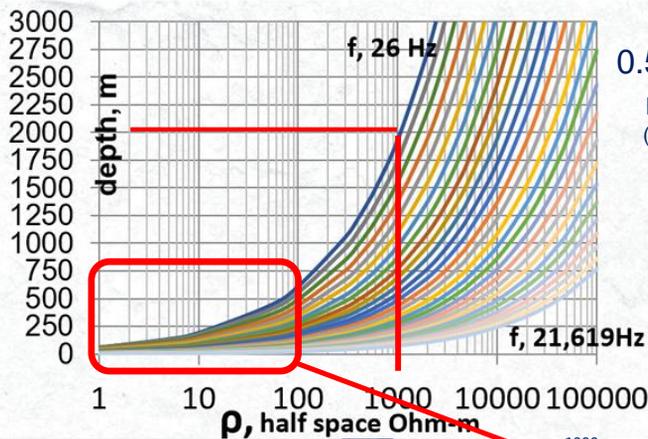
Ejemplo de curva de conductividad aparente
apparent conductivity curve example



Veamos en detalle el rango de frecuencia de MobileMT. El sistema funciona en el rango de 26 Hz a 21 kHz. Normalmente el rango se divide en 30 ventanas (clic). En esta grafica hay un ejemplo de la curva de conductividad aparente sobre una estación (clic). Esto no significa que aceptamos los datos en todas las ventanas de frecuencia presentes, pero esto implica que podemos elegir un número de ventanas con la mejor calidad y la mejor señal.



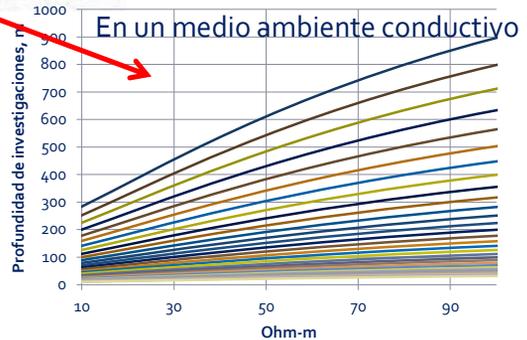
Aquí se puede ver un ejemplo de un mapa de conductividad aparente preparado con la frecuencia más baja (clic). Estos son perfiles de conductividad aparente para algunas frecuencias más altas con la imagen de resistividad-profundidad correspondiente (clic). Este es un ejemplo de datos de una curva de resistividad en el rango de hasta 1000 Hz con la línea modelada (clic) y una pseudo sección de resistividad aparente en el mismo rango de frecuencia sobre la línea de levantamiento (clic).



0.5-1.5 of skin depth (distancia a la superficie del conductor eléctrico)
 (segun diferents authores – U.Schumucker, S.Jain, T.Gamble, B.Spies,)

$$h = 357 * \sqrt{(\rho / f)}, \text{ metros}$$

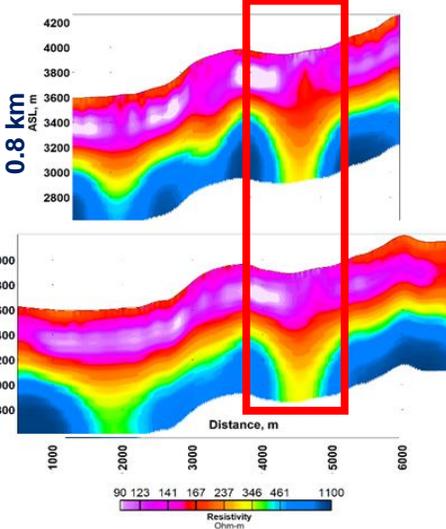
71% of skin depth



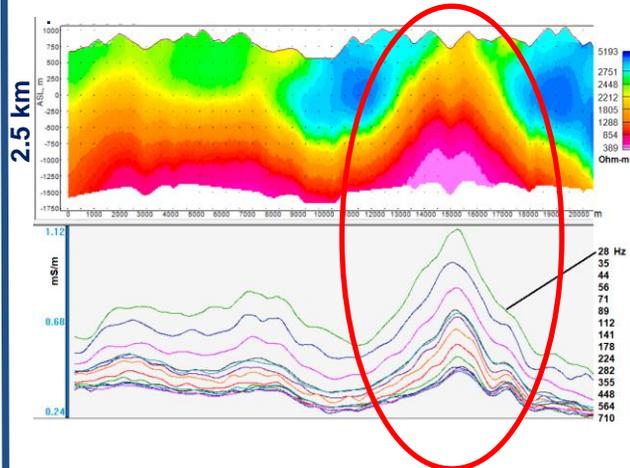
Para la estimación de la profundidad de investigación, podemos usar los diagramas de medio espacio (half space) homogéneo con respecto a diferentes resistividades. Diferentes investigadores sugieren utilizar la distancia de la profundidad al conductor eléctrico (Skin Depth) multiplicada por el coeficiente de 0,5 a 1,5. De hecho, para los cálculos, se utiliza el 71% de esta profundidad (Skin Depth). Por ejemplo, podemos alcanzar una profundidad de 2 km con una resistividad promedio de 1000 Ohm-m (clic). Incluso en un entorno conductivo (clic, clic), este método basado en los campos pasivos en el rango de frecuencia, es capaz de alcanzar una buena profundidad superando grandemente los sistemas aéreos con fuentes de campo primario controladas.

Ejemplos y casos en terreno (medios conductivos y resistivos)

Secciones de resistividad (inversiones 2D de datos MobileMT) sobre una estructura aurífera en Asia Central, el cinturón metalogénico de Tien Shan (tipo orogénico). El ejemplo demuestra la capacidad del sistema MobileMT para mapeo profundo de resistividad bajo la cobertura conductora.



Depresión en forma de rift de Omsukchan. Debido a su mineralización, el campo mineral de Au-Ag de tipo epitermal contiene estructuras en forma de domo. Se nota el entorno de alta resistencia.



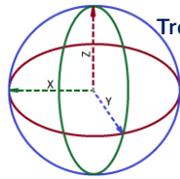
En esta diapositiva se pueden observar dos ejemplos con diferentes tipos de entornos. El conductor (a la izquierda) y el resistivo (a la derecha)

A la izquierda hay condiciones bastante conductoras con una gruesa cobertura conductora (~ 400 m), y con una resistividad alrededor y por debajo de los 100 Ohm-m. Esta es una estructura aurífera en Asia Central que podemos ver debajo de la cobertura conductora. En esta región se opera con minería a cielo abierto, pero desde el punto de vista de exploración, observar las estructuras más profundamente es muy importante ya que son unos de los principales factores de control de la mineralización (clic). En ella se observa principalmente el factor de control estructural bajo la gruesa capa conductora.

El segundo ejemplo, a la derecha, representa condiciones comparativamente resistivas donde se estima la profundidad de las investigaciones a 2.5 km. Aquí podemos ver claramente la estructura de domo profundo que controla la mineralización epitermal de oro y plata (clic).

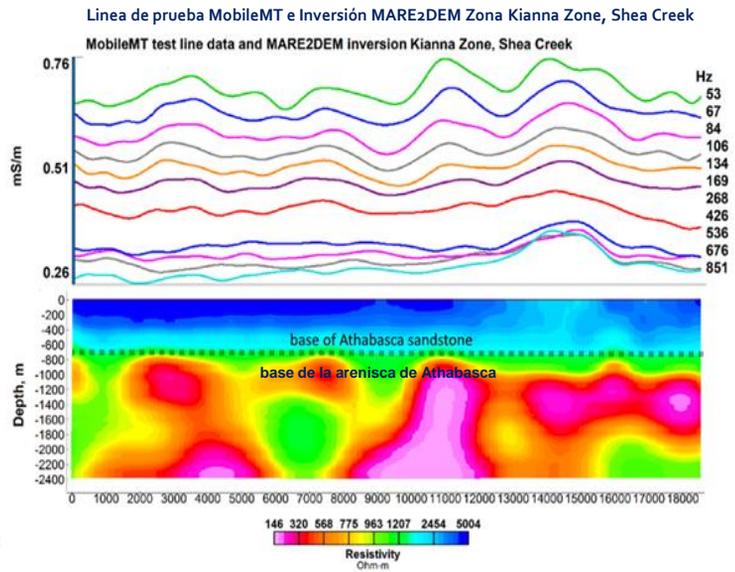
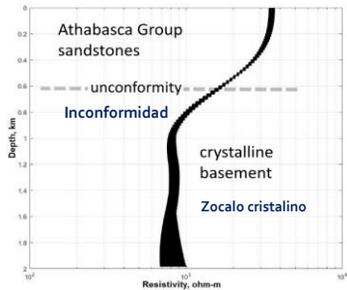
Mediciones de MobileMT del campo total

Sensibilidad en cualquier dirección de los límites geoelectricos



Tres componentes XYZ

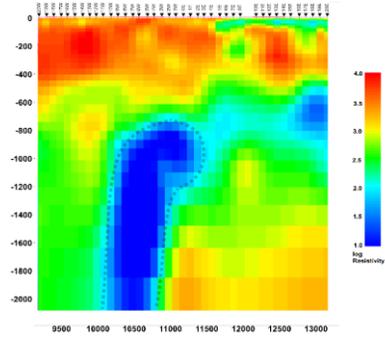
Curvas de resistividad MobileMT a lo largo de la línea del levantamiento



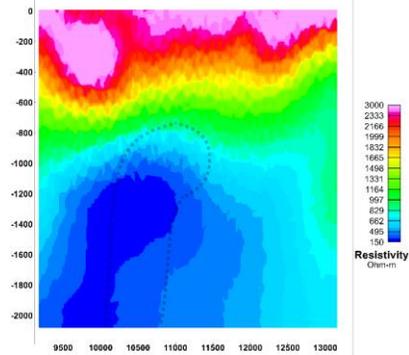
Este ejemplo de la cuenca de Athabasca muestra la sensibilidad del sistema en cualquier dirección de los límites geoelectricos. Podemos ver el contacto horizontal entre las areniscas y el basamento a una profundidad alrededor de 700 metros y las morfologías complejas de los conductores debajo del contacto.



Ground TAMT (EMpulse Geophysics)



MobileMT Aéroportado (Expert Geophysics)



Estas secciones de resistividad forman parte de la línea mostrada en la diapositiva anterior. Estas líneas fueron levantadas sobre un depósito de uranio conocido. La parte superior del objetivo está a una profundidad de 700-800 m en el contacto de una disconformidad. La sección en la parte superior fue preparada con los datos audio-magnetoteléuticos transitorios terrestres (Ground TAMT). La sección inferior muestra la misma sección de la línea pero preparada con los datos de MobileMT. Si se comparan las secciones, se puede observar que los datos invertidos de MobileMT son muy comparables con los resultados del método terrestre Ground TAMT.

- Hasta octubre del 2020, MobileMT ha volado aprox. 25.000 km lineares en levantamientos de exploración en seis países: Australia, 5 Provincias en Canadá, Ecuador, Kirguistán, 2 regiones en Rusia, y en 2 estados de los EE. UU.;
- Levantamiento exitoso de MobileMT en terrenos escarpados de alta montaña en Ecuador (elevaciones de hasta 4200 m), USA (elevaciones de hasta 4000 m) y Kirguistán (elevaciones de hasta 5000 m)
- Desde su creación y hasta la fecha los levantamientos de MobileMT se han aplicado en programas de exploración de pórfidos, Au orogénico, Au-Ag epitermal y Au subepitermal; VMS, uranio y sulfuros de Ni-Cu-Co

Hasta la fecha, se han realizado con el sistema MobileMT cerca de 25.000 Km Lineares en levantamientos en Australia, en 5 provincias de Canadá, en Ecuador, Kirguistán, en 2 regiones de Rusia y en 2 estados de los Estados Unidos.

Ya se han realizado varios levantamientos en terrenos escarpados de alta montaña en Ecuador, Colorado y Kirguistán.

Los levantamientos MobileMT se han aplicado en programas de exploración de pórfidos, oro orogénico, oro-plata epitermal y oro subepitermal, VMS, uranio y sulfuros de Ni-Co.

Conclusiones

- La tecnología del sistema geofísico aéroporado MobileMT se basa en campos electromagnéticos naturales en el rango de audiofrecuencia,
- MobileMT tiene una gran profundidad de investigación (1-1,5 km en promedio) cubriendo estructuras cercanas a la superficie y estructuras profundas;
- MobileMT es sensible a las diferencias de resistividad en los rangos de resistividad alta y baja;
- El sistema es sensible a cualquier dirección de los límites geoelectricos;
- Seguro y confiable para levantamientos en terreno escarpado y accidentado.



Se puede concluir que la base de la tecnología aerotransportada MobileMT son las variaciones en los campos electromagnéticos naturales. Esta tecnología tiene varias ventajas que incluye una gran profundidad de investigación que detecta estructuras cercanas a la superficie y estructuras profundas a más de 1 km de profundidad; El sistema es sensible a las diferenciaciones de resistividad en los rangos de resistividad alta y baja, incluyendo miles de Ohm-m; Además, es sensible a cualquier dirección en los límites geoelectricos. Finalmente, el sistema es seguro y confiable y puede ser utilizado en levantamientos aéroporados con difíciles condiciones de terreno y en terreno accidentado.

Agradecimientos:

VALE
Polymetal International PLC
Baselode Energy Corp.
Metallic Minerals Corporation
EMpulse Geophysics Ltd.



Thank you!

Muchas gracias por su atención e interés. Por favor continuemos con el periodo des preguntas.