GEOACTA, vol.11, n.2 (Junio de 1982) pág 143 a 156

DETECCION DE SEÑALES MAGNETOTELURICAS EN LA BANDA DE 0,1 A 10 Hz

Juan C. Gasco, José M. Febrer y Hugo G. Fournier Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales San Miguel, República Argentina

RESUMEN

El objetivo fundamental de este trabajo consistió en comprobar la existencia de un nivel mínimo de agitación permanente del campo electromagnético natural, detectable con un instrumental especialmente diseñado, en la banda de 0,1 a 10 Hz y ensayar su utilización en la realización de sondajes magnetotelúricos. Debido a la existencia de un mínimo en el espectro de la agitación natural en los alrededores de 1 Hz, fue necesario desarrollar y optimizar los sensores y amplificadores para los campos eléctrico y magnético, así como recurrir a la utilización de filtros electrónicos para limitar la banda de interés. Al realizarse un sondaje magnetotelúrico (MT) experimental en el sitio de Zárate

(Buenos Aires), se comprobó plenamente la hipótesis sobre la existencia de un nivel importante de agitación permanente del campo electromagnético natural. Asimismo, las curvas de resistividad aparente obtenidas son compatibles con los valores esperados a partir de los conocimientos geoestructurales.

ABSTRACT

The fundamental aim of this work was to prove the existence of a minimum level in the permanent activity of the natural electromagnetic field, detectable through a specially designed equipment, in the 0,1 to 10 Hz band.

Because of the existence of minimum in the natural activity spectrum near 1 Hz, it was necesary to develop sensors and amplifiers for the telluric and geomagnetic fields, as well as to use electronic filters limiting the extent of detection band.

An experimental magnetotelluric sounding at Zárate (Buenos Aires), seems to prove the hypothesis about the existence of an important permanent level in the electromagnetic natural activity. Likewise, the apparent resistivity curves obtained "are compatible with the expectable values from the geostructural evidence.

ANTECEDENTES

El método magnetotelúrico (MT) fue propuesto por Tichonov (1950) y Cagniard (1953). El mismo consiste en la combinación de la medida simultánea de los campos telúrico (eléctrico inducido) y magnético de origen natural para obtener información de la resistividad eléctrica del subsuelo.

En un informe invitado de la IX Reunión Científica de la A.A.G.G., Fournier (1979) ha expuesto los alcances del método de exploración MT y su estado de des<u>a</u> rrollo actual con la mención de una extensa bibliografía.

En la Fig. 1 tenemos el espectro de agitación natural media del campo geomagnético, extraído de Serson (1973), puede verse allí la existencia de una zona de valor mínimo en las cercanías de 1 Hz. El pico de amplitud centrado en las Pc.1 corresponde a la actividad esporádica media (pulsaciones en perlas); la 11nea de trazos en la base del pico es el nivel correspondiente a la actividad de ocurrencia permanente (ruido de fondo), ver también Fig. 7. Debido a este fenómeno las dificultades de instrumental son críticas en esta zona del espectro que podemos definir entre 0,1 y 10 Hz.

En un primer momento el nivel de señal disponible solo permitía el registro en esta banda en los casos esporádicos de agitación magnética intensa o tormentas magnéticas.

Uno de los primeros trabajos en relación con la detección de señales en esta banda fue el de Fournier (1967) quién consiguió detectar y registrar la resonancia de la cavidad resonante concéntrica ionósfera-tierra, predicha por Schumann (1948), comprobando su ocurrencia permanente.

G. Petiau (1976 a,b), ha utilizado un sistema de registro MT que le permitió obtener señales MT en la banda de 0,01 a 100 Hz, comprobando la posibilidad de obtenerlas y utilizarlas en prospección geofísica.

Six y Petiau (1976) desarrollaron un sensor magnético de alta resolución op timizado para la captación de micropulsaciones.

Amplitudes para H y E del orden de 0,001 n Tesla (lnano Tesla = 1 Gamma) y $0,01\mu\nu/m$ respectivamente, son valores mínimos esperables de acuerdo con el trabajo de Petiau (1976, a), por lo tanto los sensores eléctricos y magnéticos deben tener

una resolución superior a estos valores para obtener señales distinguibles del ruido propio.

El presente trabajo consistió en primer término, en el desarrollo del instr<u>u</u> mental necesario para la captación de las señales MT con frecuencias comprendidas en la banda de 0,1 a 10 Hz, con la opción de extenderla hasta aproximadamente 10⁻⁴ Hz; en segundo lugar, en la realización de un sondaje MT experimental en una región geológicamente conocida para comprobar la hipótesis sobre la existencia de un nivel mínimo de agitación permanente y analizar su utilización en prospección geofísica.

DESARROLLO DEL INSTRUMENTAL

En la Fig. 2 se puede apreciar el esquema en bloques de un sistema de registro MT de dos vías, una vía magnética y otra eléctrica (telúrica).

El sistema construido consta en realidad de cuatro vías (dos de magnética y dos de telúrica), para poder medir las componentes horizontales de los campos eléctrico (E) y magnético (H).

La captación de cada componente de la señal telúrica se realiza con dos elec trodos enterrados en el suelo a 100 mts de distancia entre sí.

En los ensayos realizados se utilizaron electrodos impolarizables de plata clorurada (Petiau, 1976 a).

El preamplificador telúrico es un amplificador de instrumentación con alta impedancia de entrada por la utilización de una entrada diferencial. Un diagrama del mismo se muestra en la Fig. 3a.

El canal de registro telúrico continúa con un sistema de filtros para delimitar la banda de interés (0,1 a 10 Hz). Estos son filtros activos de Butterworth con 36 db por octava de pendiente.

Con esta pendiente se consigue eliminar las micropulsaciones de mayor ampl<u>i</u> tud con frecuencias cercanas a las de la banda de interés.

A continuación de los filtros sigue un amplificador final que adecúa el nivel de la señal a las necesidades del instrumento registrador, el cual puede ser un registrador gráfico o un grabador magnético. En la parte inferior de la Fig. 2 vemos el canal de registro magnético.

El sensor del canal es un magnetómetro de inducción, consta de dos bobinados cilíndricos concéntricos sobre un núcleo de mu-metal.

El bobinado interior es el de inducción, siendo éste el que capta las varia ciones del campo geomagnético y las entrega al preamplificador.

El bobinado exterior está destinado a entregar una realimentación negativa para que el sensor tenga una respuesta plana en un amplio rango de frecuencias; también es utilizado como bobinado de calibración del sensor.

El bobinado de inducción fue optimizado, para obtener una alta relación sefial-ruido a la entrada del preamplificador, en la frecuencia central de 1 Hz.

El preamplificador del canal magnético es un diseño especial para esa banda de frecuencias; está compuesto por dos subamplificadores en paralelo. Uno llama do lento basado en un amplificador a "chopper" para las señales de períodos mayores de 1 seg. y otro llamado rápido con transistores de efecto de campo en la entrada para amplificar las señales de períodos menores de 1 seg. El diagrama del mismo es mostrado en la Fig. 3b.

Ambos subamplificadores trabajan en la región más conveniente de acuerdo con sus características de ruido. Las señales son sumadas después de pasar por filtros R C que los limitan a las regiones indicadas; y luego de sumadas amplificadas nuevamente, extrayéndose de esta última amplificación la tensión para el bobinado de realimentación.

Luego se repiten las mismas etapas que en el canal de registro telúrico; es decir, los filtros pasa bandas y el amplificador final, idénticos a los del canal telúrico.

Las posibilidades del sistema de registro MT construido pueden ampliarse anulando los filtros pasa altos; de esta manera se consigue extender la banda hasta frecuencias del orden de 10⁻⁴Hz, que es el límite de resolución de los se<u>n</u> sores magnéticos; esta es la que llamamos banda de corriente continua (CC) a 10 Hz.

SONDAJE MAGNETOTELURICO EXPERIMENTAL

Una vez comprobado el funcionamiento del sistema en el laboratorio de geofísica del Centro Espacial San Miguel, se eligió el lugar de Zárate (Buenos Aires) para realizar un sondaje MT experimental.

Este sitio está ubicado en una región geológica conocida como horst del Río de la Plata, (Yrigoyen, 1975), Fig. 4. Esta estructura tiene un eje estructural N+54°W, en coincidencia con el curso del citado río. La cobertura sedime<u>n</u> taria es estimada inferior a 1 km de espesor.

Las direcciones de registro de los campos eléctricos y magnéticos se eligieron según la dirección paralela y perpendicular al eje de horst, para aprovechar dentro de lo conocido la simetría estructural. Esta disposición es conveniente pero no imperativa si se usa la técnica de análisis MT tensorial.

Antes de iniciar el registro se calibraron los sensores magnéticos inyectando, mediante un generador de señales, una onda sinusoidal al bobinado de rea limentación de los sensores, obteniéndose sendas curvas de calibración que cubren el espectro de 0,1 seg. a 5000 seg. de período.

Para el registro de las señales MT, desde CC hasta frecuencias cercanas a 1 Hz, se utilizaron dos registradores gráficos de dos vías cada uno.

Para completar el registro hasta 10 Hz se utilizó un registrador magnético de FM de cuatro pistas con respuesta plana en la banda de 0,1 a 10 Hz. Las sefiales se grabaron a una velocidad alta y luego se reprodujeron a una velocidad 16 veces menor; de esta manera se consiguió, por ejemplo, que una sefial de 0,1 seg. fuera visualizada como de 1,6 seg. y entrara en el rango de los registrado res gráficos.

El registro de las señales naturales se realizó en forma permanente durante 6 días consecutivos en las dos bandas de trabajo posibles (0,1 a 10 Hz y CC a 10 Hz).

De 0,1 a 10 Hz se registró en forma aleatoria, durante intervalos de tiempo distribuidos en diferentes horas del día para verificar la permanencia de las señales. 148 DETECCION DE SEÑALES...

En los otros momentos se registró en la banda CC a 10 Hz para obtener información de las capas más profundas del subsuelo.

Análisis de las señales

Para el cálculo de la resistividad aparente (ρ a) se utilizó el método sim ple (Orellana, 1974) de seleccionar oscilaciones cuasisinusoidales simultáneas de los campos E y H perpendiculares entre sí, con fuerte coherencia visual, y me dición de amplitudes y períodos con una regla.

A partir de estos datos se calcula la resistividad aparente utilizando la fórmula de Cagniard (1953).

$$\rho_{a}(T) = (0,2)T (E/H)^{2}$$

donde oa (T) es la resistividad aparente MT en ohm-metro, T el período en segundos, E la amplitud telúrica en mv/km y H la amplitud magnética en nTesla.

La curva MT obtenida de esta manera es mostrada en el sector derecho de la Fig. 5. La dispersión de los valores es indicada por las pequeñas barras verticales allí dibujadas.

Resultados obtenidos

Los registros obtenidos muestran la actividad geomagnética en la resonancia de Schuman (8 Hz) y la de la zona de pulsaciones Pc1 (0,2 a 5 Hz) (Selzer, 1972).

El registrar con este dispositivo la resonancia fundamental de Schuman era uno de los objetivos relevantes de este trabajo, ya que por ser de ocurrencia per manente a una frecuencia bien conocida es de suma importancia en la realización de sondajes MT.

La información sobre la resistividad eléctrica de las primeras centenas de metros requiere la medición de frecuencias más elevadas que las aquí registradas. Por ello para completar el sondaje MT y determinar el espesor de la capa sedimen taria se realizó en el mismo lugar un Sondaje Eléctrico Vertical por el dispositivo Schlumberger. La Fig. 5 nos muestra, en su sector izquierdo, la curva de resistividad obtenida por este método. Para el empalme de las curvas de resist<u>i</u> vidad aparente de ambos métodos se tuvo en cuenta el trabajo de Benderitter y otros (1978).

La interpretación de las curvas de ça se realizó en computadora, ajustando las curvas teóricas a las experimentales por aproximaciones sucesivas.

Los resultados del ajuste de curvas se expresan en el modelo de la Fig. 6. El modelo general retenido fue de cuatro capas para el terreno sedimentario, luego el basamento cristalino y por último una capa conductora profunda.

Amplitudes espectrales

La Fig. 7 nos muestra las amplitudes máximas y mínimas obtenidas en Zárate. Durante los días que duró el registro no se observaron señales que pudieran atribuirse a condiciones de agitación magnética particularmente intensa; por lo cual el espectro de amplitudes de la Fig. 7 es más representativo de los valores mínimos de los campos que de los valores máximos esperables en condiciones de agitación moderada.

CONCLUSIONES

Se comprobó plenamente la hipótesis acerca de la existencia de un nivel de agitación permanente del campo electromagnético natural, observable con la utilización de un equipo de registro MT como el utilizado aquí.

Estas señales al ser procesadas mostraron ser aptas para su utilización en prospección magnetotelúrica, siendo los resultados experimentales compatibles con los estudios geológicos disponibles.

Todo parece indicar que existe en la banda de 0,1 a 10 Hz una actividad alea toria de pulsaciones geomagnéticas cuya amplitud media es superior al ruido del instrumental utilizado, siendo su ocurrencia permanente para el intervalo de nuestra observación.

Cabe insistir especialmente en que el nivel mínimo de agitación permanente del potencial eléctrico depende fundamentalmente de las características de resistividad eléctrica de las capas subyacentes del lugar.

En otro orden de cosas, vemos en la parte inferior de la figura 5 las zonas del ábaco de resistividades no accesibles con el equipo diseñado; esta figura se construyó tomando como amplitud magnética el valor dado en la Fig. 1, y como am plitud eléctrica una señal constante de $2\mu v$ en una línea de 100 mts., esto es un campo eléctrico de $0,02\mu v/m$, que representa la mínima tensión discernible con nuestro amplificador.

BIBLIOGRAFIA

- I. BENDERITTER, A. DUPIS, J. FEBRER, H. FOURNIER. Comparaison de mesures de résistivité obtenus par les méthodes de sondaje électrique et magnétotellurique en des sites communs situés sur terrain sédimentaire et sur desmassifs de granite. Memoire du Bureau de Recherche Géophysique et Minière N° 91, 1978.
- L. CAGNIARD. Basic theory of magnetotelluric method of geophysical prospecting; Geophysics, 18, N° 3, July 1953. 605-635.
- H.G. FOURNIER. Mesure directe locale d'un coefficient de surtension de la cavité Terre-Ionosphère et de sa varation diurne, à partir d'enregistrements des formes d'ondes de la résonance de Schumann obtenus à Garchy (Nièvre). Revue Roumaine de Géologie, Géophysique et Géographie. Serie de géophysique N° 2, 89 à 93. 1967.
- H.G. FOURNIER. Exploración magnetotelúrica. Geoacta, vol. 9, n.1, (marzo 1979), 153-173.
- E. ORELLANA. Prospección Geoeléctrica por Campos Variables. Biblioteca Técnica Philips. Paraninfo, Madrid 1974.
- G. PETIAU. Etude spectrale du bruit et de diverses causes de perturbation affectandt l'enregistrement du champ électrique tellurique de 0,001 a 100 Hz. Note, Centre de Rech. Geóphys. MIT 10 Garchy-Nièvre 1976 a.
- G. PETIAU. Mesure du bruit de transistors à effect de champ et de amplificateurs bipolaires et à chopper de 0,001 à 100 Hz. Note, Centre de Rech. Geóphys. MIT 05 Garchy-Nièvre 1976 b.
- W.O. SCHUMANN. Elektrische Wellen, p. 324. München: Hanser 1948.
- E. SELZER. Variations Rapides du Champ Magnétique Terrestre. Handbuch der

Physik, Volume XLIX/4. Springer-Verlag 1972.

- P.H. SERSON. Instrumentation for Induction Studies on Land. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 7 (1973), 313-322.
- M. SIX, G. PETIAU. Optimization des sondes magnétiques a faible bruit dans la bande de 0,2 à 600 seconds. Nota interna. 1976. Institut de Physique du Globe, Université de Paris.
- A. N. THIKONOV. Determination of the electrical characteristics of the deep strata of the earth's crust. Doklady, Akad. Nauk. SSSR., 73,2, 295-299. 1950.
- M.R. YRIGOYEN. Geología del Subuelo y Plataforma Continental. Relatorio, Geología de la Pcia. de Buenos Aires. VI Congreso Geológico Argentino, 21-27 Sep. 1975 Bahía Blanca.

EPIGRAFES DE LAS FIGURAS

- FIG. 1 Amplitud media del campo magnético natural versus período. La amplitud está expresada en nT y el período en segundos. Se aprecia también el rango ocupado por las distintas pulsaciones, Pc = pulsaciones contínuas y Pi - pulsaciones irregulares, así como algunas oscilaciones características de la banda ELF.
- FIG. 2 Diagrama en bloques del sistema de registro magnetotelúrico.
- FIG. 3 Circuito del preamplificador de campo telúrico (3a) y del preamplificador de campo magnético (3b).
- FIG. 4 Dibujo explicativo de la estructura del Horst del Río de la Plata. Las escalas de longitudes son arbitrarias. El cono indica el volumen efectivo involucrado en un sondaje MT.
- FIG. 5 Ourvas de resistividad aparente obtenidas en Zárate. Para T>0,1 seg. sondaje MT, las barras verticales indican la dispersión de los puntos. Para T<0,1 seg. corresponde el SEV. En la parte inferior, en sombrea do, vemos las zonas del ábaco tetralogarítmico no accesibles con el sistema de registro actual, tomando como amplitud magnética la dada en el gráfico de amplitud espectral media (Fig. 1) y como señal eléctrica la mínima distinguible del ruido de fondo del sistema de registro te-lúrico en una línea usada normalmente de 100 mts.</p>
- FIG. 6 Modelo geoeléctrico propuesto para Zárate a partir del trabajo de ajus te de curvas. Las cuatro primeras capas corresponden al SEV y las dos últimas al SMT.
- FIG. 7 Banda de amplitudes espectrales de las mediciones en Zárate. Telúrica en una línea de 100 mts. (escala izquierda) y magnética (escala derecha). Se puede apreciar nitidamente la resonancia de Schumann y las Pc1.



FIG. 1



FIG. 2



FIG. 3 a.



F1G. 36.





FIG.7