

NOTA BREVE

ESTUDIOS EXPERIMENTALES DE POTENCIAL ESPONTANEO EN EL AREA DE TERMAS DE CHILLAN

Miguel Muñoz

Departamento de Geofísica, Universidad de Chile.
Casilla 2777, Santiago, Chile.

RESUMEN

El sistema geotermal de Termas de Chillán puede clasificarse preliminarmente como uno de vapor dominante. Los estudios experimentales de potencial espontáneo efectuados en el área concuerdan con observaciones generales obtenidas en zonas similares: se observan anomalías dipolares del potencial y, en una parte, correlación de la anomalía con la topografía del terreno. Las mediciones se controlaron mediante un electrodo de referencia, y se estimó la actividad de corrientes telúricas al registrarse las variaciones mediante un dipolo estacionario localizado en el área.

ABSTRACT

Self-potential experimental studies in Chillán hot springs area (Chile)

Chillán hot springs geothermal system may be preliminary classed as a vapor-dominated system. Experimental self-potential studies carried out in the area are in agreement with general observations on similar areas: dipolar anomalies are encountered and, in one place, there is correlation between the observed anomaly and the terrain elevation. A reference electrode was used to control the measurements, and the level of telluric activity was estimated by recording telluric variations across a stationary dipole in the survey area.

INTRODUCCION

La investigación por termometría geoquímica de las aguas termales vinculadas al volcanismo reciente ha permitido estimar la temperatura de los reservorios en profundidad, resultando valores notablemente altos en el caso de las Termas de Chillán. Las aguas de estas termas corresponden al tipo sufatadas ácidas, por lo que la aplicación de los termómetros geoquímicos basados en los contenidos de SiO_2 de las aguas (Swanberg y Morgan, 1980) y de Na-K-Ca (Fournier y Truesdell, 1973) resulta inconveniente. Sin embargo, el geotermómetro Na-Li (Fouillac y Michard, 1981), provee, al parecer, en el caso de estas aguas, de una buena estimación de la temperatura del reservorio.

A partir del análisis de muestras realizado por De Grys (1965) y Lahsen (1978), se ha calculado la temperatura del fluido en profundidad, resultando los valores que se presentan en la Tabla 1. Se muestran, también, los correspondientes valores de pH.

TABLA 1
TEMPERATURA EN PROFUNDIDAD DE LOS FLUIDOS TERMALES EN TERMAS DE CHILLAN

Muestra (*)	T (Na/Li) (°C)	pH
(1)	242	4.33
(Ch.1)	246	2.40
(Ch.2)	294	2.91
(Ch.3)	253	5.87
(Ch.4)	332	3.10

(*) (1): a partir del análisis de De Grys (1965); (Ch.1 - Ch.4): a partir de los análisis de Lahsen (1978).

Se puede considerar, entonces, que los fluidos se encuentran a una temperatura de aproximadamente 250°C, pudiéndose clasificarlos como fluidos de alta entalpía. Es necesario observar, sin embargo, que aunque los resultados generales de los análisis efectuados por De Grys (1965) y Lahsen (1978) son bastante similares, los contenidos en Cl reportados por éste último son muy inferiores a los notificados por De Grys (1965); en cualquier caso, la molaridad del contenido en Cl resulta ser siempre mucho menor que 0.2 M, haciendo posible la aplicación de la misma fórmula empírica de Fouillac y Michard (1981) en todos los análisis.

La alta temperatura estimada de los fluidos subyacentes en esta zona, ha indicado la conveniencia de la aplicación de estudios geofísicos específicos, dirigidos a la investigación de la actividad magmática y geotérmica. Los estudios experimentales de potencial espontáneo (PE) son de carácter preliminar, sirviendo, sobre todo, a un mejor conocimiento de la metodología. La extensión de los estudios de PE a gran escala, y la aplicación de otras metodologías geofísicas, planificada para el futuro, llevarán a resultados más conclusivos en cuanto a la identificación de esta zona geotermal anómala.

Es necesario observar que el sistema geotermal correspondiente a las Termas de Chillán parece ser uno de vapor dominante (o vapor seco), en contraposición a los más comunes sistemas de agua rescaldada. Los sistemas de vapor dominante proveen, al parecer, de un buen mecanismo para la separación del mercurio volátil de otros metales de menor volatilidad (White, Muffler y Truesdell, 1971); en la referencia precedente se mencionan casos de depósitos de Hg localizados en la periferia y hasta a 10 km de sistemas geotermales de vapor dominante. En el mismo trabajo, se hace una sugerencia más especulativa, acerca de la existencia de depósitos de cobre porfídico bajo el nivel freático de estos sistemas.

ACTIVIDAD HIDROTHERMAL SUPERFICIAL

Las Termas de Chillán constituyen el centro de manifestación superficial de actividad hidrotermal en la zona del complejo tectónico Nevados de Chillán. Las termas se encuentran en la falda suroeste del volcán Chillán (71°24'2"W - 36°54'20"S), a una altura de 1725 m.s.n.m. Las fuentes termales cubren una superficie total de aproximadamente 0.5 km²; el fluido en superficie alcanza temperaturas de hasta 92°C. Se observan, también, numerosas fumarolas, algunas emitidas a presión, y en las cuales han sido registradas temperaturas de hasta 95°C (Lahsen, 1978).

Las fuentes termales de Chillán presentan caudales muy bajos, que raramente exceden de 6 lt/min (Lahsen, 1978). Las aguas son ácidas, sobre todo en tres de las fuentes analizadas, cuyo pH es menor que 3.10. Las aguas de las termas de Chillán se pueden clasificar como aguas sulfatadas ácidas, en las que la razón SO₄/Cl varía entre 5 y 5000. Estas observaciones permiten una clasificación preliminar del sistema hidrotermal como uno de vapor dominante (ver: White, Muffler y Truesdell, 1971).

METODOLOGIA E INSTRUMENTACION

El presente estudio sigue la metodología expuesta por Corwin y Hoover (1979), aplicada anteriormente a estudios de PE en zonas de los volcanes Villarrica y Llaima (Muñoz, 1984). En este caso, sin embargo, se midieron gradientes de potencial espontáneo, efectuándose el avance de los electrodos según el modo leap-frog.

Se utilizaron electrodos "no-polarizables" de cobre-sulfato de cobre, tanto en las mediciones como en el control de polarización y deriva por medio de un electrodo matriz. Para la observación de las diferencias de potencial y de las resistencias de contacto se empleó un multímetro digital de $22\text{ M}\Omega$ de impedancia de entrada. Para el filtraje y amplificación de señales derivadas de corrientes telúricas se utilizó un receptor construido en el Servicio Nacional de Geología y Minería, cuyas características se incluyen en el trabajo de Dunlop (1981); el registro de estas señales se efectuó mediante un registrador analógico.

PERFILES DE POTENCIAL ESPONTANEO

La realización de los perfiles tiene como objetivos apreciar globalmente el funcionamiento del método, como también la discriminación cualitativa en el PE total del suelo de la parte debida a potenciales de filtración de aquella relacionada con fenómenos termoelectrónicos.

Perfil Sector 1. Este sector se encuentra a unos 230 metros al noreste de un centro de emanaciones denominado El Mote. En el sector 1 se observan manifestaciones superficiales de actividad termal, incluyendo numerosas fumarolas, sobre todo en la pendiente del cerro que constituye el extremo oriental del perfil. El potencial cero se elige arbitrariamente, refiriéndolo a uno de los extremos del perfil, tratándose, en estos casos, de perfiles de pequeña escala en áreas notablemente perturbadas. En perfiles extensos, en cambio, es preferible elegir como potencial cero el potencial medio de las zonas de variaciones débiles. La anomalía de PE (Fig. 1) tiene la forma aproximadamente dipolar que suele observarse en zonas térmicamente activas (Corwin et al. (1980); Corwin et al. (1981)). Es necesario observar, sin embargo, que en el punto al que se le asigna un PE de -88 mV , hubo dificultad en conseguir una resistencia de contacto regular con respecto a la de los otros puntos del perfil; esto puede resultar en un cuadro impreciso del PE del área, debido a la utilización del método de gradientes en la realización de la medición. Soslayando este inconveniente, se puede decir que no hay correlación entre los valores de PE y la topografía del terreno (en la parte inferior de la Fig. 1 se muestran las diferencias relativas de altitud).

Perfil Sector 2 (perfiles A y B). El sector 2 se encuentra al noroeste del sector 1; desde este sector se observan, hacia abajo, las instalaciones de baños de azufre y baños de vapor. Los perfiles son extremadamente locales, acentuándose, por lo tanto, el carácter experimental del estudio.

El perfil A se efectuó en un área en declive, que se eligió para entrever la incidencia relativa en el PE de los acoplamientos termoelectrónico y electrocinético en suelos fuertemente perturbados. Se observa (Fig. 2) una notable correlación entre el PE y la topografía del terreno, en contraposición con las observaciones en el perfil 1 (Fig. 1), siendo las pendientes, sin embargo, similares. Esto puede deberse a que las zonas de fractura por donde circula preferentemente el fluido se extienden cercanamente paralelas al perfil. Correlaciones de este tipo han sido señaladas en la literatura (Corwin y Hoover, 1979) en estudios a gran escala, e incluso, desde las primeras experiencias con potencial espontáneo (Poldini, 1940). En estos casos, son dominantes los potenciales de filtración, quedando obscurecida la contribución al PE por acoplamiento termoelectrónico.

El perfil B, transversal al perfil A, cruza un área con abundantes fumarolas. Como se puede observar en la Fig. 3, no hay correlación de los valores del PE con la topografía del terreno, lo que permite avanzar más la hipótesis de un flujo aproximadamente paralelo a la dirección del perfil A. La máxima anomalía en el perfil B corresponde a un pequeño sector completamente alterado por la acción de fumarolas y aguas calientes.

CORRIENTES TELURICAS

Se estimó el nivel de la actividad telúrica de frecuencia 0.01 Hz mediante la instalación de un dipolo estacionario en la zona de estudio. El dipolo tuvo una longitud de 370 m , y, en general, las variaciones registra-

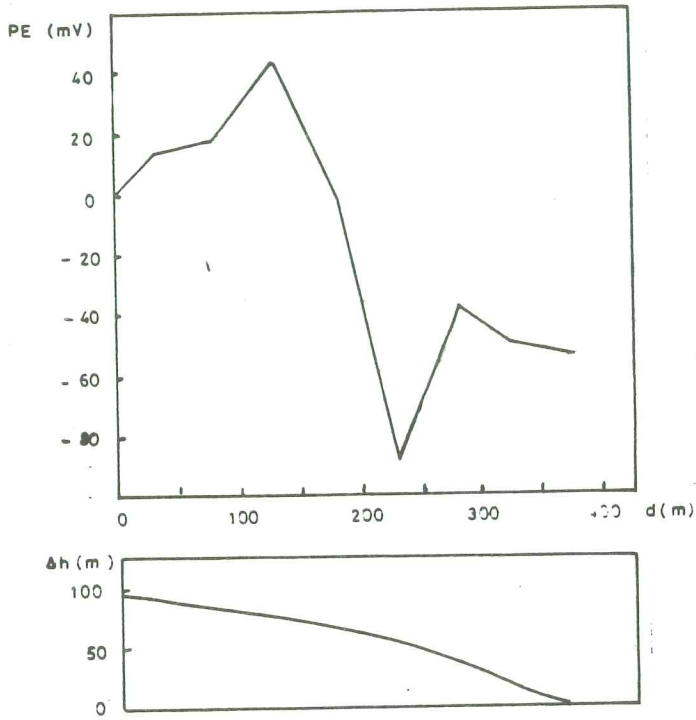


Fig. 1 Potencial espontáneo en el sector 1.

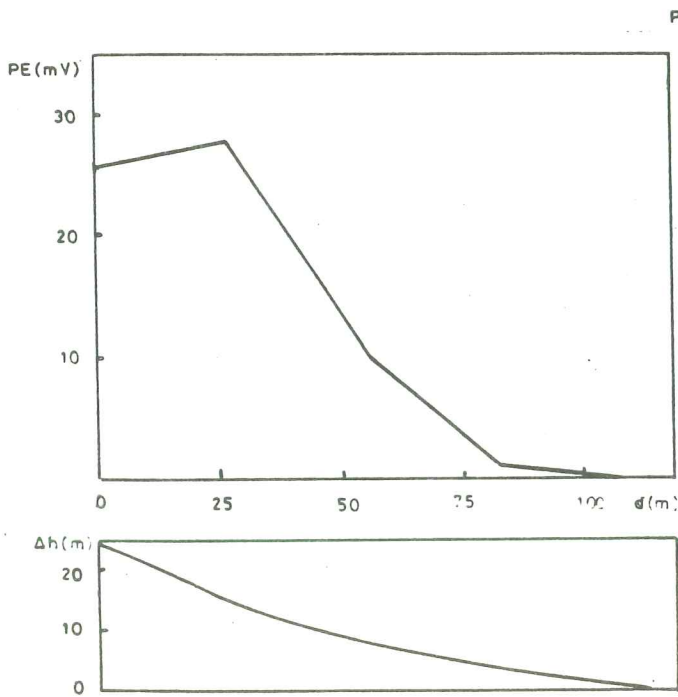


Fig. 2 Potencial espontáneo, perfil A, sector 2.

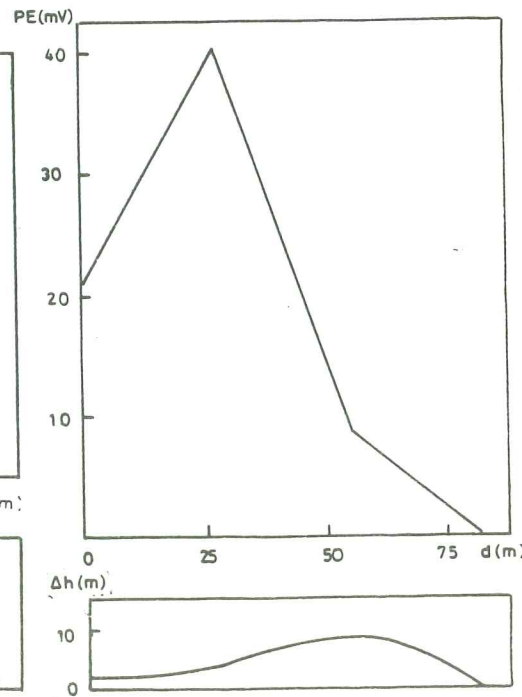


Fig. 3 Potencial espontáneo, perfil B, sector 2.

das no superan los 0.5 (mV/100 m), según se muestra en la Fig. 4; en algunas partes del registro se observan variaciones de hasta 4.3 (mV/100 m), y variaciones que saturan la capacidad de la escala del instrumento (Fig. 5). Estas variaciones, sin embargo, ocurrieron en tiempos distintos a los de medición de potencial espontáneo, no incidiendo en las anomalías espaciales allí observadas. Es necesario advertir que las observaciones precedentes están limitadas por la utilización del filtro pasa-banda centrado en 0.01 Hz, que es la frecuencia mínima de filtraje del receptor de corrientes telúricas disponible.

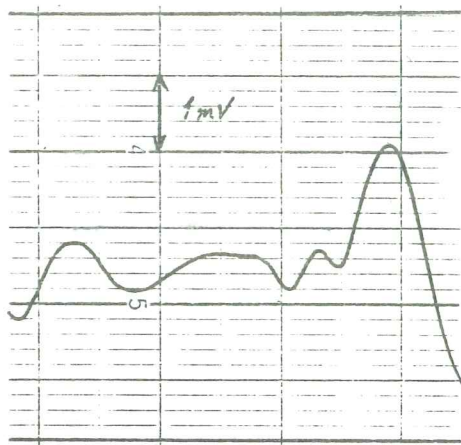


Fig. 4 Telurograma del nivel de actividad normal de corrientes telúricas.

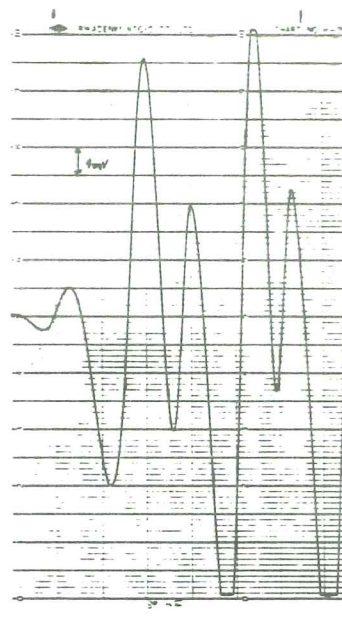


Fig. 5 Telurograma con el nivel de actividad acrecentado.

CONCLUSIONES

Las observaciones resultantes del presente estudio concuerdan con las obtenidas en otras áreas de manifestaciones termal. Se ha observado anomalías dipolares de hasta 120 mV de amplitud "peak-to-peak" y —en algún caso— efectos de la topografía del terreno, posiblemente relacionados con potenciales de filtración.

Los perfiles experimentales de pequeña escala —efectuados para probar la factibilidad del método— serán seguidos de perfiles de gran escala en ésta y otras áreas geotermal.

RECONOCIMIENTO

Agradezco a N. Allendes y a L. Doerr (Departamento de Geofísica, Universidad de Chile) su colaboración en los trabajos de terreno. El presente trabajo forma parte de un proyecto financiado por el Departamento de Investigación y Bibliotecas de la Universidad de Chile.

REFERENCIAS

- CORWIN R.F. y HOOVER D.B., 1979. The self-potential in geothermal exploration. *Geophysics*, 44: 226-245.
- CORWIN R.F., MORRISON H.F., DIAZ S. y RODRIGUEZ J., 1980. Self-potential studies at the Cerro Prieto geothermal field. *Geothermics*, 9: 39-47.
- CORWIN R.F., DEMOULLY G.T., HANDING R.S. y MORRISON H.F., 1981. Interpretation of self-potential survey results from the East Mesa geothermal field, California. *Journal of Geophysical Research*, 86: 1841-1848.
- DE GRYS A., 1965. Some observations on the hot springs of Central Chile. *Water Resources*, 1: 415-428.
- DUNLOP R., 1981. El método de corrientes telúricas y su aproximación por impedancias de onda en la determinación de basamentos resistivos de cuencas sedimentarias. Tesis Magister, Depto. de Geofísica, Universidad de Chile, 107 pp.
- FOUILLAC C. y MICHARD G., 1981. Sodium/Lithium ratio in water applied to geothermometry of geothermal reservoirs. *Geothermics*, 10: 55-70.
- FOURNIER R.O. y TRUESDELL A.H., 1973. An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 37: 1255-1275.
- LAHSEN A., 1978. Características geoquímicas y origen de las aguas de las Termas de Chillán. *Revista Comunicaciones*, Depto. de Geología, Universidad de Chile, N° 24, 35-48.
- MUÑOZ M., 1984. Estudios preliminares de potencial espontáneo en zonas de los volcanes Villarrica y Llaima. Tralka, Depto. de Geofísica, Universidad de Chile, 2: 295-306.
- POLDINI E., 1940. Los fenómenos de polarización espontánea eléctrica del subsuelo y su aplicación a la investigación de los yacimientos metalíferos. Instituto de Ingenieros de Minas, Santiago, Chile, 29 pp.
- SWANBERG CH. y MORGAN P., 1980. The silica heat flow interpretation technique: assumptions and applications. *Journal of Geophysical Research*, 85: 7206-7214.
- WHITE D.E., MUFFLER L.J.P. y TRUESDELL A.H., 1971. Vapor-dominated hydrothermal systems compared with hot-water systems. *Economic Geology*, 66: 75-97.