



Aplicación de Potencial Espontáneo en el campo geotérmico Cerritos Colorados, Jalisco-México

Joanna Gutiérrez¹, Javier Lermo¹, Cecilia Lorenzo², Antony Finizola⁴, Oscar Campos³, Nallely Jiménez^{1,3}, Iván Álvarez¹, Erick Ramos¹, Navil Tellez¹, Omar Machado¹, Juan Luna¹ y Rogelio Torres¹

¹ Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México (jlernos@iingen.unam.mx)

² Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, Subgerencia de Estudios, Departamento de Exploración, Morelia, México

³ Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

⁴ Laboratoire Géosciences Réunion, Univ. Réunion, IPGP-CNRS-UMR7154-Géologie des Systèmes Volcaniques, 15, Avenue René Cassin, BP 7151, 97715 Saint Denis, La Réunion, France, E-mail: Anthony.finizola@univ-reunion.fr

RESUMEN

En este trabajo proponemos el método de potencial espontáneo (SP) en la exploración geotérmica temprana debido a que nos ayudó a delimitar la zona de interés hidrotermal. Obtuvimos valores entre 450 a 600 mV en la parte central y sureste de la zona de estudio, las cuales se correlacionan con la distribución espacial de temperaturas $> 250^{\circ}\text{C}$ en los pozos y la distribución de sismos locales inducidos. Por lo tanto, recomendamos utilizar el método de potencial espontáneo como primera evaluación en la exploración de zonas geotérmicas debido a su sencillez en la adquisición y procesado.

Palabras clave: Cerritos Colorados, Geotermia, Delimitación Hidrotermal, Potencial Espontáneo.

ABSTRACT

In this study we propose the application of the self-potential (SP) method in the early stage of geothermal exploration studies given that it helped us to delimit the zone of hydrothermal interest. We obtained SP values between 450 and 600 mV in the central and southwestern part of the study area, which are correlated with the spatial distribution of $> 250^{\circ}\text{C}$ temperatures in wells and the distribution of induced local earthquakes. Therefore, we recommend to apply this method as a first assessment in the exploration of geothermal zones due to its simplicity in terms acquisition and processing.

Key Words: Cerritos Colorados, Geoterm, Hydrothermal delimitation, Self-Potential.

1. INTRODUCCIÓN

Gracias al apoyo de la Comisión Federal de Electricidad a través de la Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, por primera vez se aplicaron nuevos métodos geofísicos complementarios en la exploración de campos geotérmicos, como son el potencial espontáneo, gas de suelo, térmica y tomografía sísmica (Lermo et al., 2018). En este trabajo se presentan los resultados de la aplicación del potencial espontáneo (SP) al campo geotérmico de Cerritos Colorado, Jal.

2. ANTECEDENTES EN EL CAMPO GEOTÉRMICO CERRITOS COLORADOS

El complejo de La Primavera es una caldera volcánica cuya formación se originó hace aproximadamente 140,000 años (Mahood, 1981), la cual creció, ascendió y creó un abombamiento de la superficie provocando la aparición de dos zonas de fracturas circulares no concéntricas. A través de dichas fracturas fluyeron los primeros domos y flujos riolíticos (El Cañón de las Flores, Domo El León y Río Salado). Hace 95,000 años la lava de la cámara magmática explotó creando una nube de gases, ceniza volcánica y rocas incandescentes que cubrieron un área aproximadamente de 700; la evacuación dejó un vacío en la parte superior

lo que provocó un colapso de 11 km de diámetro, el cual posteriormente se convirtió en un lago. El último evento ocurrió hace 70,000 años con el levantamiento de la caldera debido al aporte de nuevo magma a la cámara, causando fisuras que drenaron el agua del lago. La presión forzó al centro de la caldera hacia arriba y causó fallas y fracturas en la zona (Mahood, 1981). El estudio de fallas (JICA, 1989) revela que las fallas normales con orientación NE-SW dominan en la superficie y son cortadas por fallas laterales con orientación NW-SE como se muestra en la figura 1. Desde la década de los 70's la Comisión Federal de Electricidad (CFE) inició los estudios geológicos, geoquímicos y geofísicos para evaluar el potencial geotérmico de la zona.

Sobre la base de los resultados, se localizaron en la porción centro-sur de la caldera los sitios para perforar los primeros pozos exploratorios. Se perforaron 13 pozos de producción (Figura 1) de los cuales el pozo PR-2 se consideró inyector y el PR-4 no se profundizó, razón por la cual no presentó producción.

Como parte del trabajo del Instituto de Ingeniería se implementó una red sísmica en el campo de Cerritos Colorados. El análisis de la sismicidad en un campo geotérmico nos ayuda a ubicar sistemas de fallas sísmicamente activos que están por debajo de la región geotérmica.

En la Figura 1 se observa la localización de los 26 eventos registrados (círculos amarillos). Para los eventos localizados en la parte más occidental tienen comportamiento de falla de transcurrencia. Los eventos localizados en la parte sur indican un mecanismo focal compresional lo cual indicaría una falla inversa.

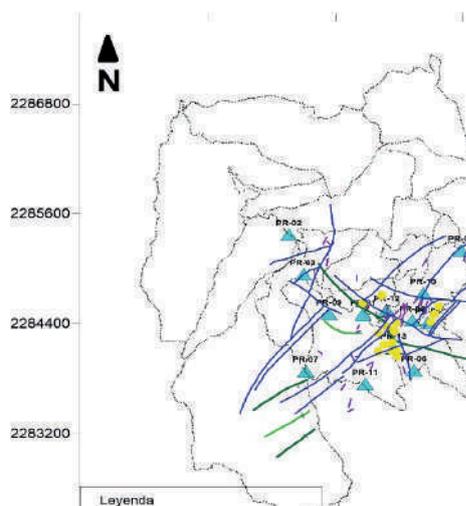


Figura 1. Zona de estudio con la localización de los pozos perforados por CFE (triángulos azules), trazo de fallas (líneas azul marino), fracturas por tensión debido al levanta-

tamiento (líneas moradas), anticlinales y sinclinales (líneas verdes) y en círculos amarillos la sismicidad local registrada. Con círculos de color negro, se muestran la ubicación de los 2824 mediciones de SP que se realizaron.

3. ADQUISICIÓN DE DATOS DE POTENCIAL ESPONTÁNEO

Entre los métodos geofísicos se aplicó potencial espontáneo ya que nos ayuda a identificar la delimitación superficial de las anomalías hidrotermales, así como el flujo de fluidos hidrotermales a través de fallas o fracturas; así como relacionar las estructuras geológicas, sistemas hidrotermales y zonas de alta permeabilidad con infiltración de agua.

Se realizaron 2824 mediciones de potencial (figura 1) espontáneo cada 20 m creando 21 perfiles que abarcan un área aproximadamente de 22 . La adquisición se realizó en un tiempo aproximado de tres meses, en los cuales también se registraron puntos GPS en cada manifestación termal existente, en este caso fumarolas. El equipo utilizado consiste en un par de electrodos impolarizables (tubos de PVC con relleno de solución de sulfato de cobre y un extremo microporoso hecho de madera, multímetro de alta impedancia, cable de cobre de 300 metros, GPS, picoleta, libreta de campo y un par de plugs in.(Figura 2).



Figura 2. Equipo utilizado. En la parte superior se encuentra un electrodo, en la parte inferior izquierda se encuentra el multímetro de alta impedancia y en la parte inferior derecha la picoleta.

Se utilizó la técnica de Bonde-Cabusson & Finizola (Bonde-Cabusson & Finizola, 2013) para las mediciones en campo y el procesamiento de los datos.

Se coloca el primer electrodo de referencia (Base) y se realiza un pequeño hoyo (aproximadamente

10 cm de profundidad) a 20 m del electrodo de referencia y se coloca el otro electrodo (móvil), posteriormente se conecta al cable y se mide la resistencia y el potencial espontáneo. Se realizan mediciones cada 20 m hasta llegar al extremo del cable, en seguida se desconecta el electrodo base para continuar con la siguiente estación.

Las mediciones se realizan formando un bucle (perfil cerrado) con el fin de evaluar y corregir la deriva sufrida durante la adquisición de los datos. Después de la toma de datos en campo, toda la base de datos es reconstruida a partir de una estación única.

Respecto al procesamiento se basa en las correcciones que son las siguientes:

- **Corrección por referencia**

Se realiza para unir las diferentes partes de un mismo perfil de SP, corrigiendo diversos cambios de posición del electrodo de referencia. Cada sección del perfil debe ser referenciada con el último punto de la sección anterior. Los perfiles serán desplazados sección por sección en la dirección en la que se adquirieron las mediciones.

- **Corrección de cierre**

Es la corrección debido a la deriva, ya que incrementa del primer punto al último por el periodo de tiempo de adquisición. Esta deriva debe ser corregida ya que el primer punto y el último deben ser teóricamente iguales, esto no ocurre en la práctica por las perturbaciones ambientales. Esta corrección se realiza respecto a un perfil fijo seleccionado. Éste debe contener más de 100 mediciones realizadas en un mismo día y estar ubicado en la zona de interés. En la figura 3 se muestra el perfil fijo seleccionado para realizar esta corrección.

- **Corrección por fuente**

Es la corrección a partir de una fuente geohidrológica (río, lago, pozo de agua, mar, etc.). Se toma un punto de medición en esa fuente (Figura 3) y teóricamente el valor debe de ser de 0 mV, por lo que se tiene que restar o sumar ese valor a todos los perfiles para cumplir con esto.

- **Corrección topográfica**

Es la corrección debido a los efectos de altitud en el terreno. La topografía afecta el potencial ya que tiende a valores negativos en las zonas con mayor altitud (Mlynarski, 2001). Los perfiles con mayor altitud tienen que ser graficados versus el valor de SP, se realiza una regresión lineal de los datos y el valor de la pendiente es nuestro factor de corrección. En este caso por la topografía, se utilizaron 4 factores, estos fueron de 1.3, 1.6, 1.9 y 2.6. En la

figura 4 se muestra la relación lineal de los datos para el factor 1.6.

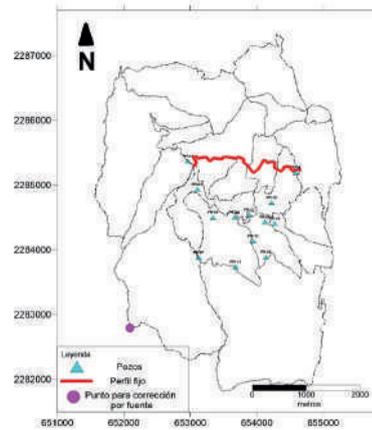


Figura 3. Zona de estudio con la localización de los pozos (triángulos azules), el perfil fijo para la corrección de cierre (línea roja) y el punto para la corrección por fuente.

4. RESULTADOS

Como resultado del potencial espontáneo se obtuvo una representación gráfica de los datos en donde se observa en rojo los valores con mayor potencial espontáneo, entre 450 y 600 mV, concentrados en la parte central de la zona de estudio. Es la parte del campo geotérmico donde se ubican la mayoría de los pozos y migran hacia la parte SE, donde se ubica la mayor acumulación de agua de la zona.

Figura 4. Gráfica con los datos de varios perfiles para obtener el factor de corrección por corrección topográfica.

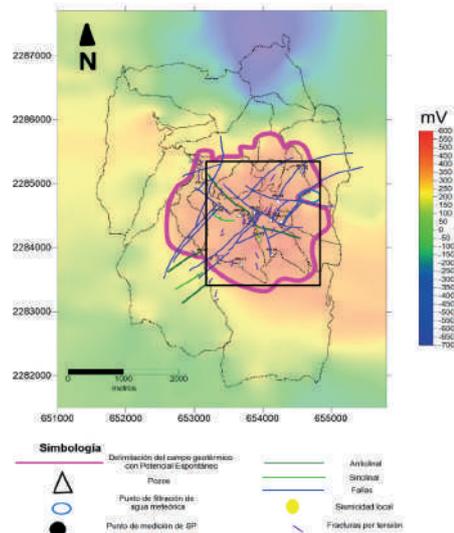


Figura 5. Zona de estudio con la información de SP (escala de colores), la línea rosa indica la delimitación del campo geotérmico con potencial espontáneo y el círculo azul indica la zona de filtración de agua según el SP. El recuadro indica la zona de interés. También se observa la información de los antecedentes.

Las anomalías con valores negativos se ubican en la parte NE con valores de hasta -700 mV. Estos valores están relacionados con la infiltración de agua en zonas de fracturas o fallas, debido al efecto llamado electrofiltración. El círculo azul en la figura 5 nos muestra un punto de filtración debido a los valores negativos de potencial espontáneo rodeado por valores positivos. Considerando estos resultados, se adjuntó toda la información descrita anteriormente (geología, sismicidad local y localización de pozos) para tener una delimitación del campo geotérmico. Los valores cercanos a 600 mV podrían estar relacionados a sistemas de fallas de alta permeabilidad ya que existe la presencia de flujo afectado por un gradiente de temperatura.

Los pozos que se encuentran dentro de la zona de levantamiento, PR-1, PR-8, PR-12 y PR-5, son los pozos en donde se encuentran los valores más altos de potencial espontáneo, estos tienen una temperatura elevada a los 250° entre los 1.5 a 2 km (JICA,1989) que indicarían la presencia del cuerpo caliente de la zona.

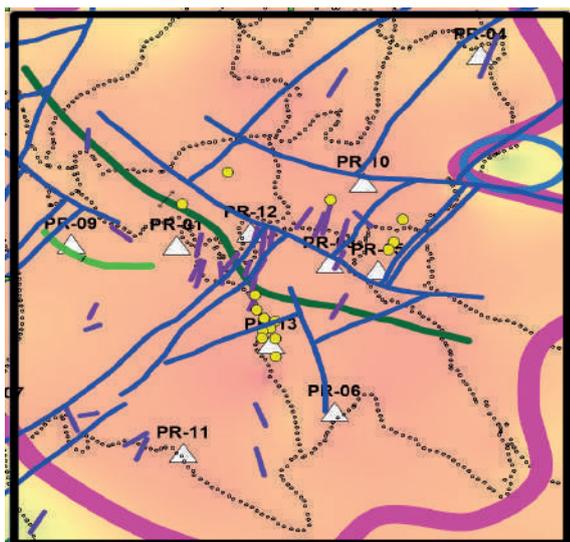


Figura 6. Recuadro de la zona de interés

Para definir las zonas de filtración de agua meteórica y las zonas de flujo hidrotermal se relaciona la profundidad a cual se llega a los 250°, la localización de fallas y fracturas, el valor de potencial espontáneo, sismicidad local y localización de fumarolas. El valor de potencial espontáneo mayor a 250 mV nos indicaría el límite superficial pero no se puede atribuir a un sistema hidrotermal debido a que se encuentra muy cerca del nivel freático. Considerando todo lo anterior, la filtración de agua meteórica aprovecha las zonas de fallas y fracturas para infiltrarse en el subsuelo por encima de la fuente de calor. No obstante las fallas pueden tener un doble papel dentro del contexto hidrogeológico, esto es, barreras hidrológicas. Si la falla pone en contacto estratos cuyas permeabilidades sean

muy contrastantes, o bien, como conducto de libre tránsito si la estructura es paralela a dicho flujo. Es por esto que las zonas de flujo hidrotermal están encima del yacimiento geotérmico y posiblemente fluyan en dirección SE-NW, la dirección preferencial de las fallas y la manifestación superficial observada con potencial espontáneo.

Finalmente, la anomalía asociada al campo geotérmico se delimita en un área entre los pozos PR-1, PR-8, PR-5, PR-10 y PR-12 extendiéndose a la parte suroeste de la zona de estudio.

5. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

En este caso, el potencial espontáneo nos ayudó a delimitar la zona de interés hidrotermal simplemente usando este método. No obstante, con la información de los pozos, geología y sismicidad local los resultados obtenidos son verificados y corroborados, permitiéndonos una valoración para su posible expansión. Por lo tanto, nosotros recomendamos utilizar el método de potencial espontáneo (SP) como primera evaluación en la exploración de zonas geotérmicas, debido a su bajo costo de instrumentación y de no requerir software especializado para procesar.

6. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto de Ingeniería de la UNAM, por el apoyo en cuanto al trabajo de campo de potencial espontáneo y la instalación de la red sísmica. Asimismo se agradece a la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

7. REFERENCIAS

- Bonde-Cabusson, S., & Finizola, A. (2013). Tutorial for Self Potential data processing. *Geosciences Reunion*, 1-18.
- Finizola A. Lénat J.F., M. O. (2004). Fluid circulation and structural discontinuities inside Misti volcano (Peru) inferred from self potential measurements. *Volcanol. Geotherm. Res.*, 343-360.
- Finizola A., S. F. (2002). Fluid circulation at Stromboli Volcano (Aeolian Islands, Italy) from self potential and CO₂ surveys. *Volcanol. Geotherm. Res.*, 1-18.
- Gutierrez-Negrin, L. C. (1988). The La Primavera, Jalisco, Mexico, Geothermal Field. *Geothermal Resources Council*, 57-69.
- JICA, J. (1989). *La Primavera Geothermal Development Project in United Mexican States*. Mexico: Final Report.
- Lermo Samaniego, J. F. (2018). *Detección de fal-*

las geológicas y extensión hidrotermal en las zonas y campo geotérmico Cerritos Colorados. Mexico: CFE.

Mahood, G. (1981). A summary of the geology and petrology of the Sierra La Primavera, Jalisco, México. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 10137-10152.

Mlynarski M., Z. J. (2001). Fluid circulation in the active emerged Asal rift (East Africa, Djibouti) inferred from self potential and Telluric-Telluric prospecting. *Tectonophysics*, 339, 445-472