

ESTUDIOS DE POTENCIAL NATURAL AL NOROESTE DEL VOLCAN CERRO PRIETO

S. Díaz C.

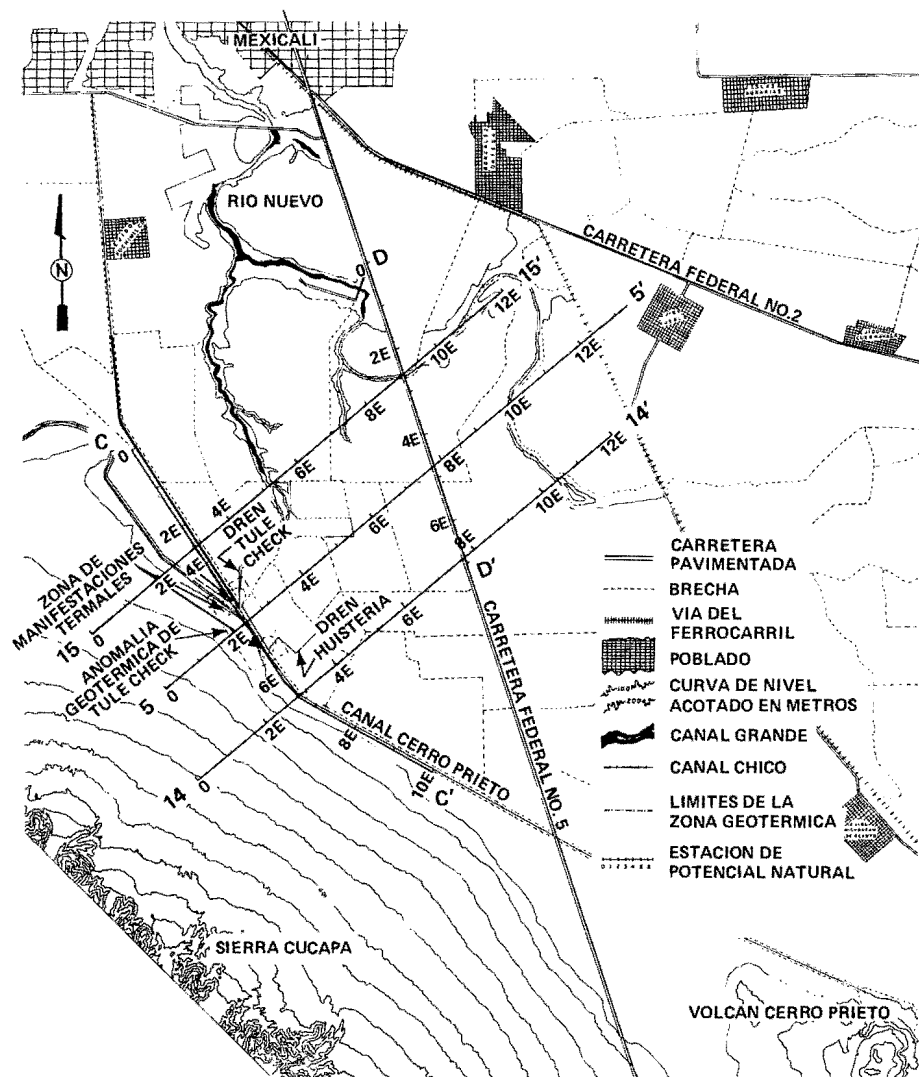
Coordinadora Ejecutiva de Cerro Prieto
Comisión Federal de Electricidad
Mexicali, Baja California, México

INTRODUCCION

Aproximadamente a 17 Km al noroeste del Volcán de Cerro Prieto, B.C. se encuentra la anomalía geotérmica de Tule Check, (Véase Fig. 1), localizándose en ambas márgenes del canal de Cerro Prieto y separada unos 8 Km al noroeste de la intersección del canal con la carretera Mexicali-San Felipe. La anomalía geotérmica de Tule Check se ha denominado como el área que comprende las manifestaciones hidrotermales en los drenes Wisteria, Tule Check y en varios pozos someros, perforados para conocer la temperatura de fondo en los alrededores de los drenes.

La extensión de la anomalía geotérmica, es supuestamente, de 2Km², en la cual, durante el verano de 1978 se levantaron 5 líneas de potencial natural.

El objetivo de este trabajo fue investigar el comportamiento del método de Potencial Natural en la anomalía geotérmica de Tule Check y lograr una evaluación, desde el punto de vista puramente cualitativo, sobre la posible extensión de la anomalía para su posterior exploración mediante el uso de otras herramientas geofísicas dentro del programa de estudio de campo que se tiene en esa zona.



XBL 798-10889

Figura 1. Localización de las líneas de potencial natural 15, 5, 14, C y D.

ACTIVIDAD GEOTÉRMICA DE TULE CHECK

La localización de los drenes Tule Check, Wisteria y sus manifestaciones hidrotermales se ilustran en la fig. 2 en el cual el dren Wisteria aparece marcado con el número 7 y el dren Tule Check con el número 6 en el plano de los drenes.

La actividad geotérmica en el dren Wisteria se inició con la excavación del mismo en Enero de 1956. En un principio las manifestaciones se desarrollaron en un sólo sitio en una área muy restringida; sin embargo, actualmente éstas se presentan en ambas ramas del dren cuyo trazo es el de una "V" abierta con una rama dirigida al noroeste, paralela al canal Cerro Prieto, y la otra al NE 30°. A partir del vértice que forma la unión de las dos ramas del dren, la que se orienta al noroeste presenta manifestaciones a lo largo de 145m, y la que se dirige al noroeste en un tramo comprendido entre los 40 y 145m.

Dicha actividad se presenta en forma de manantiales de agua caliente, fumarolas y hervideros de

lodo, siendo los más numerosos los desprendimientos de gas en el lecho arcilloso del dren. La temperatura de las manifestaciones fluctúa entre 60 y 90°C aunque se han registrado valores máximos de 102°C en varios sitios del dren.

Las manifestaciones hidrotermales en el dren Tule Check se dejan ver en un tramo de 10m y más adelante al norte en otro tramo de 115m sobre el mismo dren, consistiendo en manantiales de agua caliente, desprendimientos de vapor y burbujas de gas, estos últimos generalmente en el centro de pequeños cráteres en el lecho arcilloso del dren, con una temperatura que fluctúa entre los 60 y 99°C.

En la fig. 3 se localizan los 14 pozos someros en la zona geotérmica de Tule Check cuya profundidad oscila entre los 0.50 y 200m. Trece de ellos con un diámetro de 2" fueron perforados para estudiar la potencialidad geotérmica de la zona y el último con diámetro de 14", para investigar las características geohidrológicas de la misma con el objeto de aprovechar el agua del subsuelo en la agricultura del Valle.

Del resultado de estos trabajos se obtuvo que los pozos más profundos presentaron elevadas temperaturas, siendo principalmente los pozos localizados más al sureste, o sea, hacia donde afloran los sedimentos permeables que subyacen a las arcillas arenosas donde se perforaron la mayoría de los pozos.

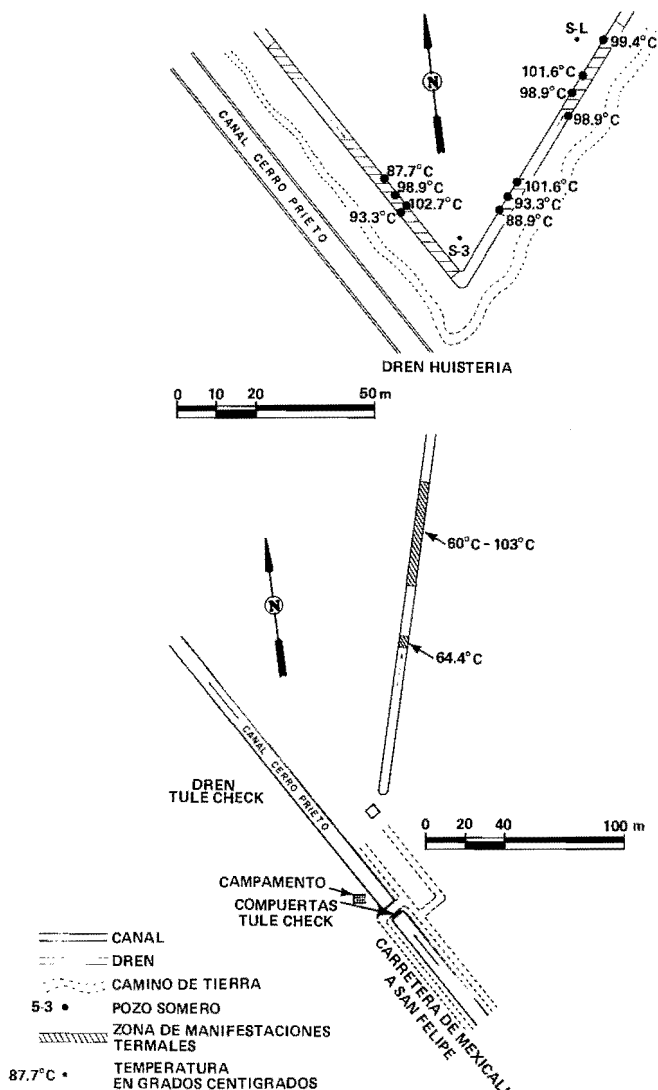
Dentro del marco de la geología regional, la zona geotérmica de Tule Check se localiza a 6Km al nor-este del complejo granítico que forma la Sierra Cucapa y a escasos 150m al nor-este del contacto que forman los sedimentos arcillo-arenosos más recientes que afloran en el Valle de Mexicali y los sedimentos de piedemonte que le subyacen y afloran en una amplia faja paralela a las estribaciones de la Sierra de Cucapa.

Tectónicamente, se sitúa en una zona de fracturamiento y adelgazamiento de la corteza que forma parte del sistema de fallas de San Andrés.

En un estudio regional de Gravimetría y Magnetometría del Valle de Mexicali, (Razo, 1978), se cubrió un área de 700Km² aproximadamente, que incluyó la zona geotérmica de Tule Check, en el cual se detectaron varias fallas con el mismo alineamiento al sistema de fallas que gobierna el comportamiento en el actual campo geotérmico de Cerro Prieto, (Véase fig. 4).

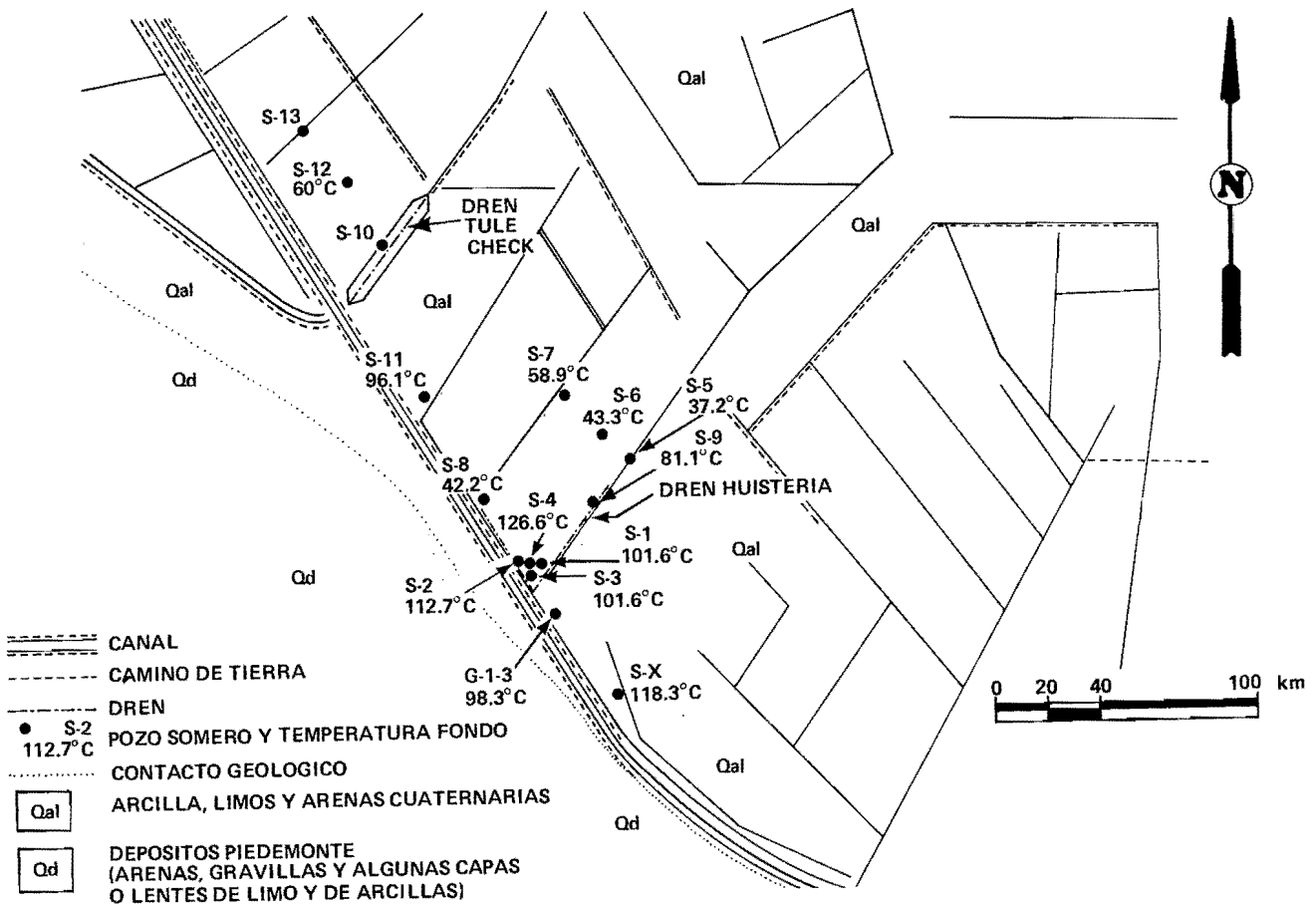
Las fallas más próximas a la zona geotérmica de Tule Check se sitúan en el perfil gravimétrico y magnetométrico, una a 1,500m al suroeste de la compuerta en el canal de Cerro Prieto y la otra a 1,400m al noroeste del mismo. Estas dos fallas en conjunto, colocan la zona en la parte superior de un horst con el basamento a una profundidad aproximada de 1,500m.

Suponiendo que el principio de la actividad geotérmica del Valle de Mexicali sean las soluciones de Origen posiblemente magnético que se desprenden de un cuerpo profundo en el subsuelo para ascender a través de fracturas en la corteza te-



XBL 798-10890

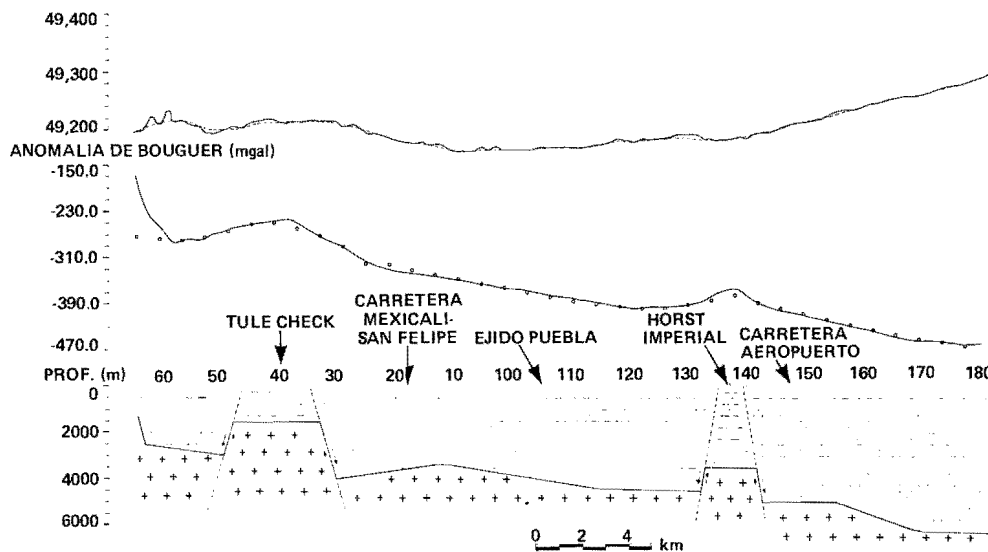
Figura 2. Localizaciones de manifestaciones hidrotermales de los drenes Huisteria y Tule Check.



XBL 798-10891

Figura 3. Localización de pozos someros en la zona geotérmica de Tule Check.

ANOMALIA MAGNETICA (GAMMAS)



XBL 798-10892

Figura 4. Interpretación gravimétrica y magnetométrica de la línea No. 5.

restre y mezclarse y calentar agua de otras fuentes a niveles superiores; la actividad geotérmica de Tule Check se considera genéticamente relacionada con las fracturas o fallas más próximas a ella.

Un análisis de los resultados obtenidos en los pozos someros, indican que el sello (Unidad A) lo constituyen las arcillas arenosas que forman los sedimentos aluviales más recientes del Valle.

GENERACION DEL POTENCIAL NATURAL

El método de potencial natural (SP) consiste en la exploración de voltajes espontáneos o naturales en el terreno y se considera como una ayuda geofísica barata y rápida en los programas de exploración. La razón de las anomalías de potencial natural sobre las zonas geotérmicas es todavía no comprendida totalmente. Existen diversos trabajos de investigadores en los cuales se hace un intento por conocer la mecánica del comportamiento de las anomalías de potencial natural, tal como el trabajo de Poldini (1938,1939), que observó que el agua migrando en un movimiento ascendente confinado en una columna, creaba un voltaje constante positivo con respecto a un punto distante, cuando las medidas eran hechas cerca del tope de la columna. Por otra parte, Sato y Mooney (1960), mostraron que las aguas migratorias moviéndose a través de un medio poroso pueden tener voltajes positivos asociados con ellas debido a una absorción preferencial de aniones por la roca. El movimiento ascendente del agua entonces concentra los cationes cerca de la superficie y crea un voltaje positivo sobre la zona del agua en la parte superior (Bogolovsky y Ogilvy, 1972).

Una área geotérmica usualmente está caracterizada por la presencia de fluidos calientes circulantes; ambos factores, la temperatura elevada y el movimiento de un fluido termal circulante pueden contribuir en un campo potencial eléctrico natural generado en la superficie de la tierra (Corwin, 1976). De estos dos factores, parece ser que el movimiento de fluidos subterráneos es el que aporta la mayor contribución a la anomalía natural.

INSTRUMENTACION Y PROCEDIMIENTO DE CAMPO

Las mediciones de voltaje fueron hechas usando electrodos impolarizables de sulfato de cobre (CuSO_4) y un voltmetro de aguja marca Hewlett-Packard modelo 419-A. La técnica empleada en la adquisición de datos de campo fue "Salto de Rana" (Leap frog) en la cual los electrodos delantero y trasero de un dipolo corto de medición son alternados para reducir el error acumulativo debido a la polarización de electrodos. Con el fin de llevar un mejor control de este error, se midió la polarización de electrodos periódicamente en un baño de solución de sulfato de cobre. El espaciamiento en el dipolo de medición fue de 100m en las líneas 15, 5 y 14, y de 200m para las líneas C y D. El potencial en el kilómetro 0 de la línea 14 fue arbitrariamente igual a cero para que todos los otros potenciales sobre el resto de las líneas estuvieran referidos a este valor. Las líneas 5, 14 y 15 que corresponden a las mismas líneas incluidas en el levantamiento geoelectrico efectuado en el Valle de Mexicali (Razo 1978) fueron trazadas perpendicularmente a las estructuras ya conocidas, y por último, las líneas C y D se colocaron de esa manera para satisfacer una exigencia del método que consiste en ha-

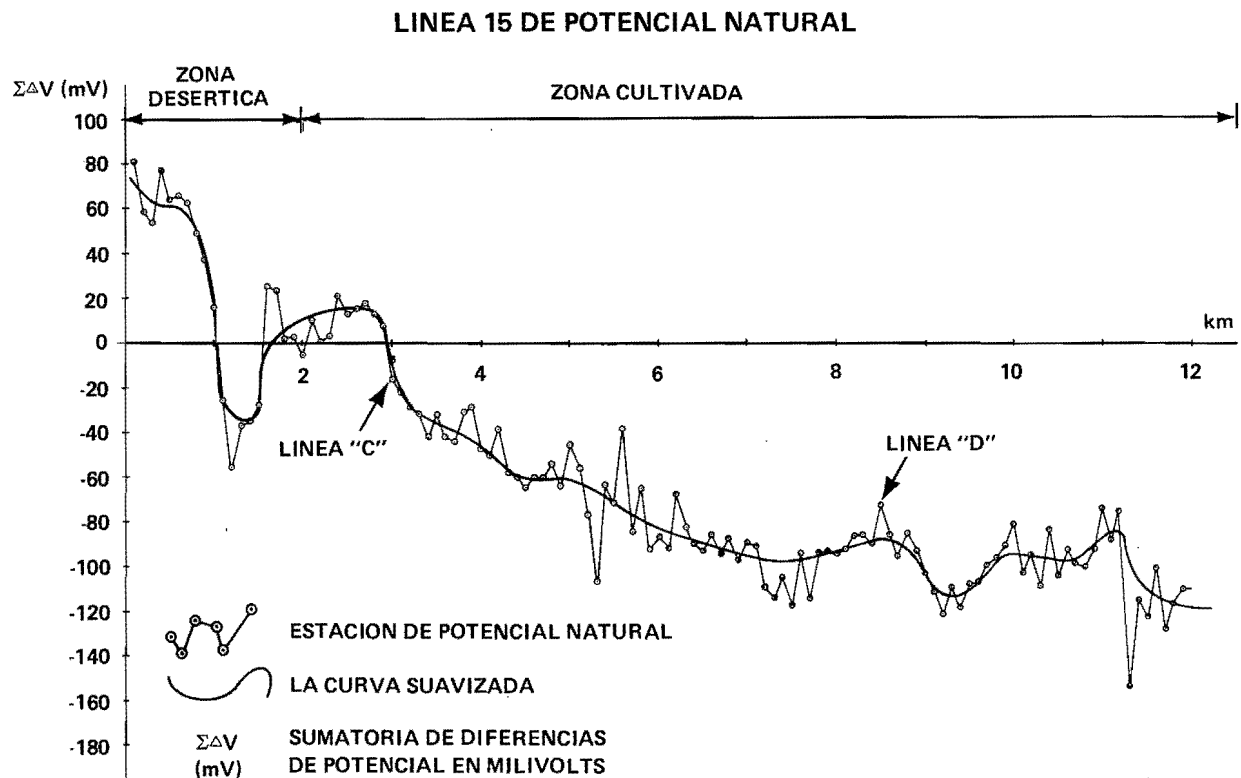


Figura 5. Perfil 15 de potencial natural del polígono A.



Figura 6. Perfil 14 de potencial natural del polígono A.

cer circuitos (loops) con el fin de comprobar los valores de los potenciales y llevar un control sobre el error por estación.

RESULTADOS DEL ESTUDIO

El procedimiento en el procesamiento de datos, se hizo de la siguiente manera: primero, se tomaron

en cuenta las líneas 15, 14, C y D para formar este conjunto de líneas lo que se ha denominado como el polígono "A", olvidándose momentáneamente de la línea 5, (Véase fig. 5, 6, 7 y 8).

Debido al error de cierre de este polígono, se aplicó una corrección de -0.8 milivolt para cada

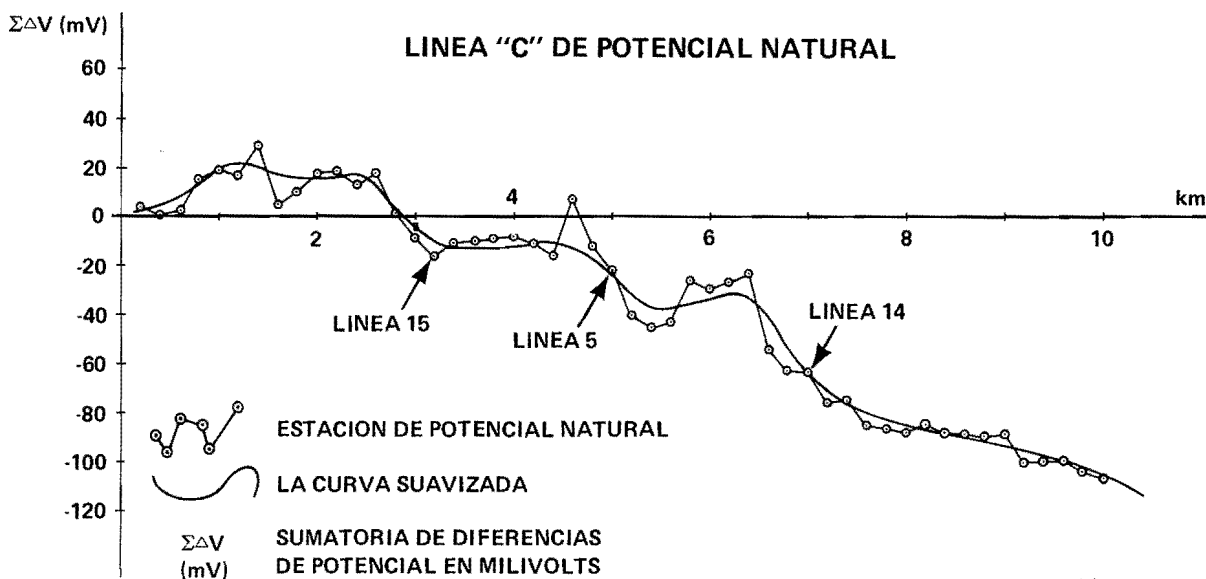
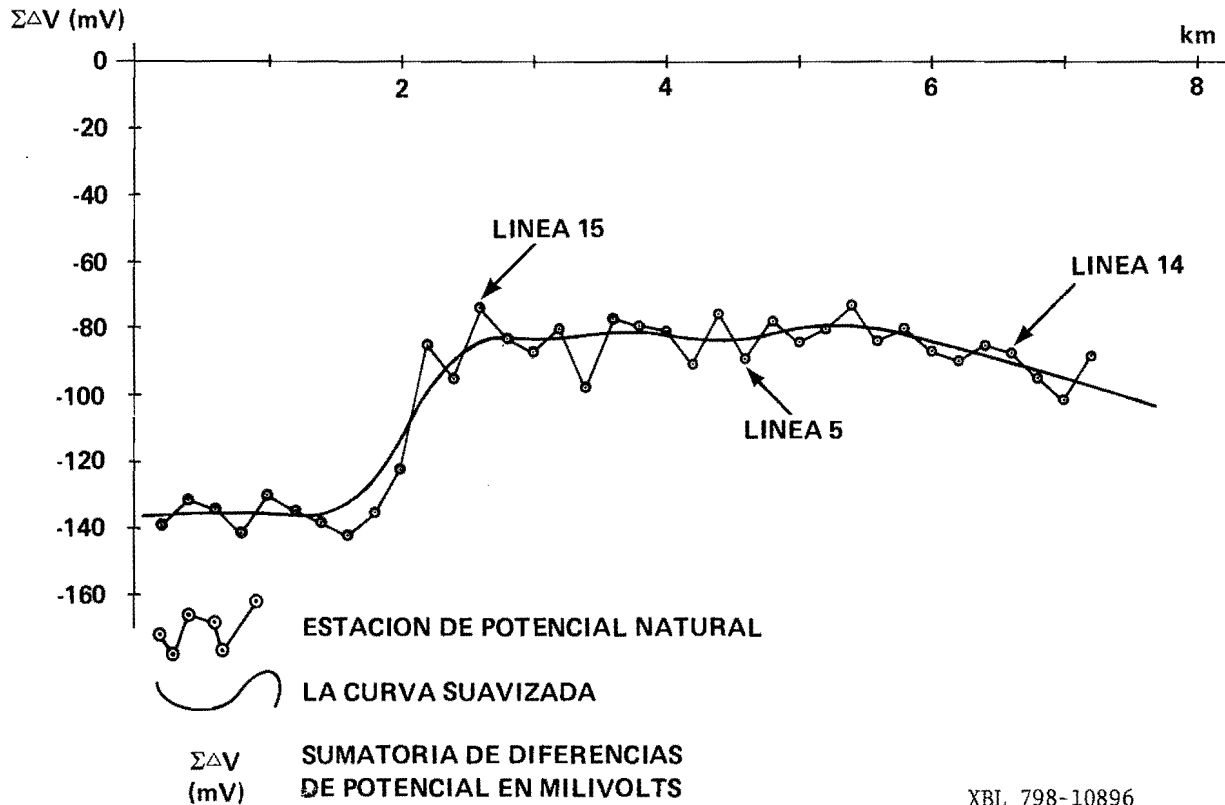


Figura 7. Perfil C de potencial natural del polígono A.

LINEA "D" DE POTENCIAL NATURAL



XBL 798-10896

Figura 8. Perfil D de potencial natural del polígono A.

estación, para el posterior suavizamiento de los perfiles eliminando visualmente el ruido en cada uno de ellos. Una vez logrado esto, se procedió con la construcción de un plano de configuración regional de líneas isopotenciales que se puede observar en la fig. 9, en él es posible notar la clara tendencia de las curvas, a seguir un alineamiento paralelo a las estructuras geológicas, que en este caso sería la del horst subyacente a la zona geotérmica de Tule Check. Además es notable la presencia de un gran dipolo en donde el polo positivo se encuentra en la zona de los abanicos aluviales y el polo negativo en la zona cultivada del Valle localizándose el límite entre los dos polos, en la zona geotérmica de Tule Check.

En segundo término se utilizaron las líneas 14, 5, C y D para la integración de otro conjunto de líneas que formaron el polígono "B" olvidándose en este caso de la línea 15. Como se observa en las figuras 10, 11 y 12. Se aplicó el mismo procedimiento de ajuste a los perfiles con un factor de corrección igual a +0.5 milivolt por cada estación. Hecho el suavizamiento de los perfiles se construyó un plano de configuración a detalle de líneas isopotenciales para conocer las tendencias de las curvas en la parte central del polígono "A" y ana-

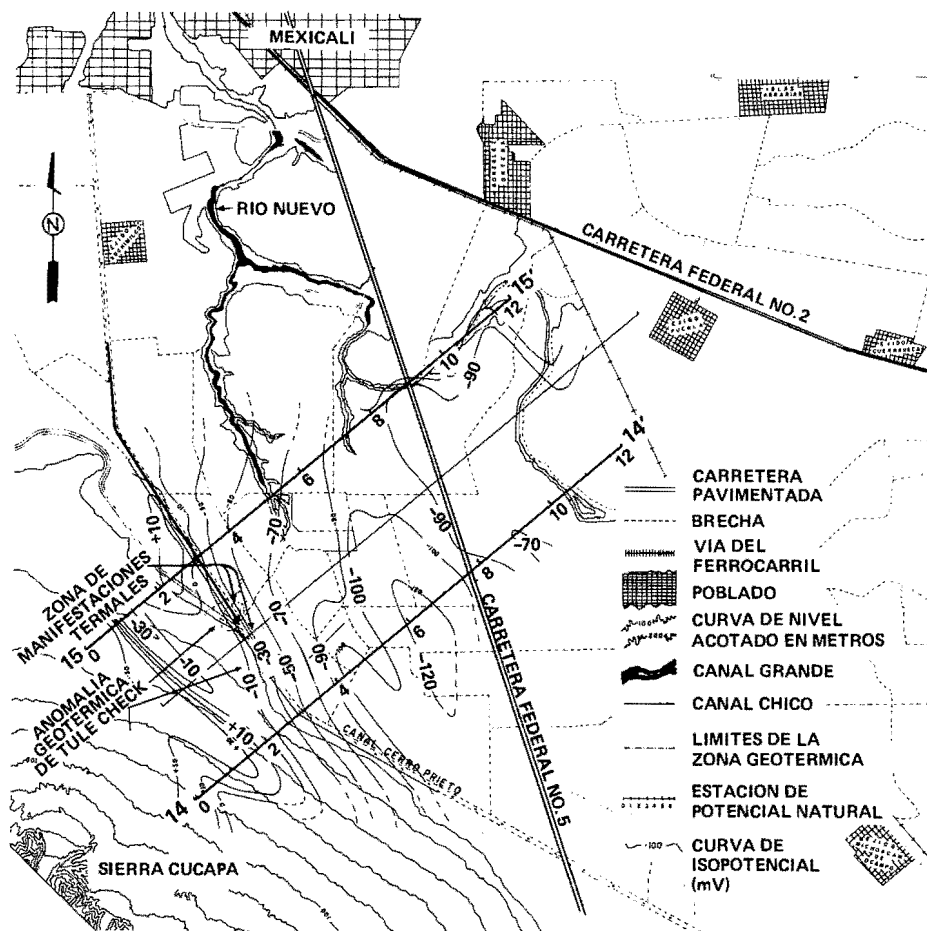
lizar su relación con la anomalía geotérmica de Tule Check, lo cual se aprecia en la fig. 13.

Dadas las características de la configuración del polígono "B" y su notable diferencia con la del polígono "A", se consideró que en el levantamiento de campo de la línea 5 hubo errores de medición que no permitieron tomarla en cuenta para el estudio de potencial natural.

CONCLUSION

La conclusión más importante es de que existe una anomalía de potencial natural asociada con las estructuras y las manifestaciones termales. Y por otro lado, que la forma de dicha anomalía se presenta en forma de un gran dipolo siendo generalmente el límite del dipolo la zona de manifestaciones termales.

En un modelo geológico del comportamiento del agua subterránea que se supone está produciendo la anomalía de potencial natural en la superficie, el agua circula a través del plano de falla en un sentido ascendente hasta topar con el sello arcilloso en la parte superior, para después circular horizontalmente en un medio poroso y permeable hasta alcanzar la superficie en forma de manifestaciones termales.



XBL 798-10897

Figura 9. Configuración preliminar de potencial natural del polígono A.

LINEA "5" DE POTENCIAL NATURAL



XBL 798-10898

Figura 10. Perfil 5 de potencial natural del polígono B.

LINEA "14" DE POTENCIAL NATURAL



Figura 11. Perfil 14 de potencial natural del polígono B.

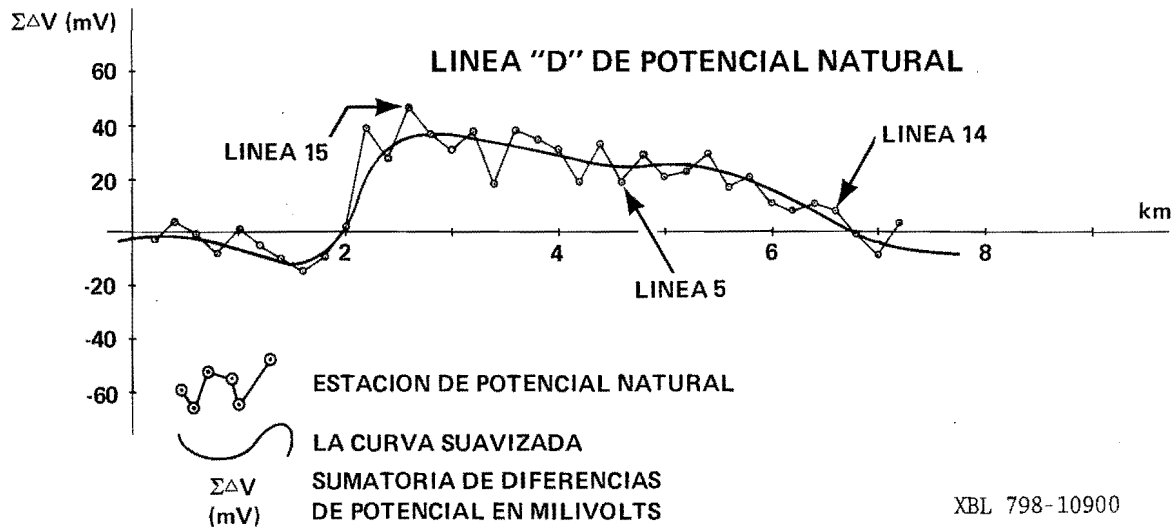
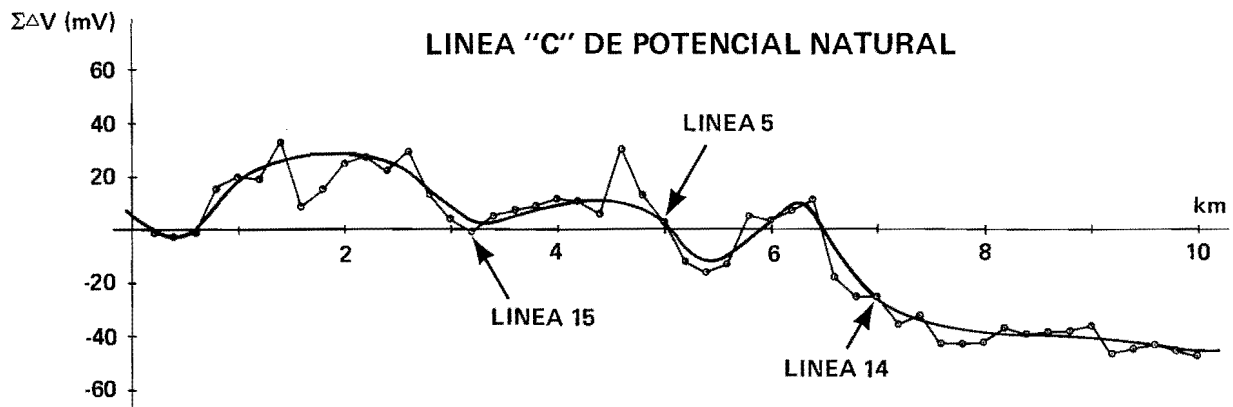


Figura 12. Perfiles C y D de potencial natural del polígono B.

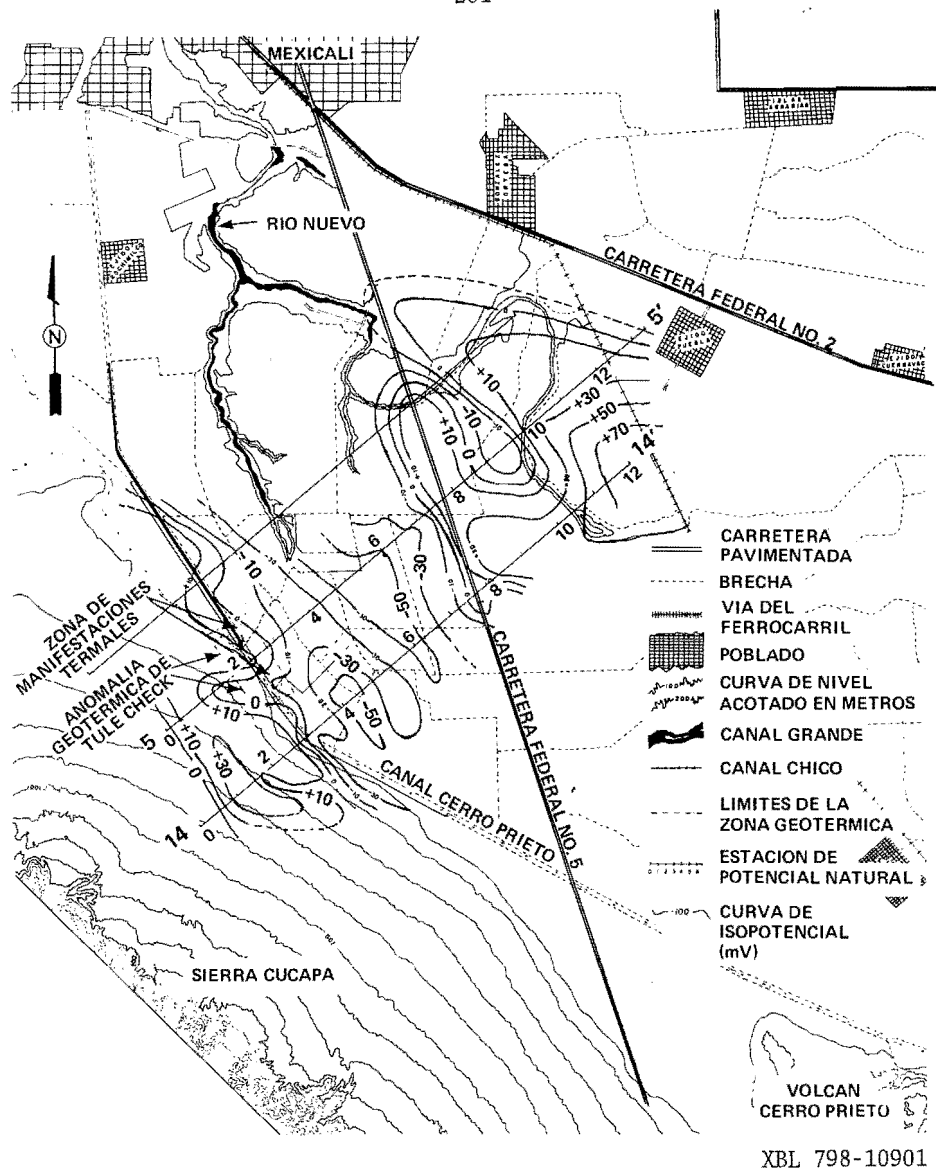


Figura 13. Configuración preliminar de potencial natural del polígono B.

REFERENCIAS

- 1.- Razo M., A. y Fonseca L., H. "Prospección gravimétrica y magnetométrica en el Valle de Mexicali, B.C. , 1978. Brigada de Estudios del Eje Neovolcánico Informe 5-78.
- 2.- Poldini, E. "Geophysical exploration by spontaneous polarization methods" Mining mag., London 1938, V.59, p.278-282 y 347-352.
"Geophysical exploration by spontaneous polarization methods" Mining mag. London 1939, V.60, p.22-27 y 90-94.
- 3.- Sato, M. y Mooney, H.M. "The electrochemical mechanism of sulfide self potentials" 1960 Geophysics, V.25, p.226-249.
- 4.- Bogolovsky, V.A. y Ogilvy, A.A. "The study of streaming potentials on fissured media models" 1972 Geophysics. Prosp., V.20, p.109-117.
- 5.- Corwin, R. F. "Self potential exploration for geothermal reservoirs" 1976 Proceedings, Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources, San Francisco, Calif. U.S. -- Government Printing Office, Washington, D.C., V.2, p. 937-945
- 6.- Razo M., A. y Arellano G.J. "Prospección eléctrica de la porción norte del Valle de Mexicali y campo geotérmico de Cerro Prieto, B.C." 1978, Brigada de Estudios del Eje Neovolcánico, Informe 6-78.

CFE SELF-POTENTIAL STUDIES NORTHWEST OF THE CERRO PRIETO VOLCANO

INTRODUCTION

Approximately 17 km northwest of the Cerro Prieto volcano lies the geothermal anomaly of Tule Check (Figure 1). It occupies both sides of the Cerro Prieto canal and is about 8 km northwest of the spot where the canal intersects the Mexicali-San Felipe highway. The Tule Check geothermal anomaly covers about a 2-km² area which includes the hydrothermal manifestations in the Wisteria and Tule Check irrigation drains, as well as several shallow wells drilled to measure subsurface temperatures.

During the summer of 1978, self-potential surveys were run along five lines over the anomaly. The purpose of this survey was to investigate the behavior of the self-potential method in the Tule Check geothermal anomaly and obtain an evaluation, from a purely qualitative viewpoint, of the possible extension of the anomaly to assist in future exploration of the area.

GEOHERMAL ACTIVITY AT TULE CHECK

The locations of the Tule Check and Wisteria drains, and their hydrothermal manifestations are shown in Figure 2. The Wisteria drain is marked with number "7" and the Tule Check drain is marked with number "6" in the drain plans.

Geothermal activity in the Wisteria drain began at the time of its excavation in January 1956. In the beginning, the manifestations developed at a single location in a very restricted area. These manifestations, however, are now present on both arms of the open V-shaped drain, one of which runs in a northwesterly direction parallel to the Cerro Prieto canal while the other runs N 30° E. From the intersection of the two arms of the drain, manifestations now are present along 145 m of the northwestern one and between 40 and 145 m of the northeastern one. Thermal activity occurs as hot-springs, fumaroles, and boiling mud pools. The most numerous manifestations are the gas emanations from the clay bed of the drain. The temperature of these manifestations varies between 60 and 90°C, but maximum values of 102°C have been recorded at several spots along the drain.

Hydrothermal manifestation in the Tule Check drain appear along a 10-m stretch and further north along 115-m stretch. These consist of hot-water springs, steam emanations, and gas bubbles. The latter are usually found in the center of small craters in the clay bed of the drain with temperatures varying between 60 and 99°C.

Figure 3 shows the location of the 14 shallow wells in the Tule Check geothermal area with depths ranging from 0.50 to 200 m. Of these, thirteen 2-in.-diam wells were drilled to study the geothermal potential in the area; a 14-in.-diam well was

drilled to investigate the geohydrology of the area and to produce the groundwater for agricultural purposes.

High temperatures were found in the deepest wells, especially in those located toward the southeast--where there are outcrops of permeable sediments, which underlie the sandy clays perforated by most of the wells.

The Tule Check geothermal zone is located 6 km northeast of the granite complex formed by the Cucupah range, and 150 m northeast of the contact point of the most recent sandy clay sediments of the Mexicali Valley and the underlying piedmont sediments, which outcrop in a wide strip parallel to the foothills of the Cucupah range. Tectonically, this zone is located in an area that forms part of the San Andreas fault system, where the earth's crust is fractured and thinned out.

A regional gravimetric and magnetometric study done in the valley of Mexicali (Razo and Fonseca, 1978), covered approximately 700 km², including the Tule Check geothermal zone. Several faults were detected that have the same alignment as the fault system that governs the present behavior of the Cerro Prieto geothermal field (Figure 4).

The gravity and magnetic profiles of the Tule Check geothermal area indicate two faults; one is 1500 m southeast and the other 1400 m northeast of the floodgate in the Cerro Prieto canal. Together, these two faults place the area 1500 m above a basement horst.

Let us assume that the geothermal activity in the Mexicali Valley is related to brines of magmatic origin that are derived from a deep body. These brines rise through fractures to mix with and heat waters from other sources at shallower depths. If this is true, then the Tule Check geothermal activity is genetically related to the fractures or faults closest to it. An analysis of the results obtained from the shallow wells indicates that the caprock (unit A) is formed by the sandy clays that make up the most recent alluvial sediments of the valley.

GENERATION OF NATURAL POTENTIALS

The self-potential method (SP) relies on the measurement of natural or spontaneous voltages generated in the ground, and is an inexpensive and fast geophysical aid in the exploration programs. The reason for the self-potential anomalies in the geothermal zones is not yet fully understood. Various researchers have tried to understand the mechanics of the behavior of self-potential anomalies. Poldini (1938, 1939), for instance, observed that water migrating upward in a confined column created a constant, positive voltage at the top of the column in relation to the voltage at a

distant point. On the other hand, Sato and Mooney (1960) showed that waters moving through a porous medium can have associated positive voltages due to a preferential anion absorption by the rock. The ascending water movement then concentrates the cations close to the surface and creates a positive voltage on the water zone in the upper portion (Bogoslovsky and Ogilvy, 1972).

A geothermal area is usually characterized by the presence of circulating hot fluids. Both high-temperature gradient and fluid flow can contribute to the generation of a self-potential electrical field on the surface of the earth (Corwin, 1976). It seems that the movement of underground fluids makes the greater contribution to the natural anomaly.

INSTRUMENTS AND FIELD PROCEDURES

Voltage measurements were taken using non-polarizing copper sulfate electrodes (CuSO_4) and a Hewlett-Packard voltmeter, model 419-A. The "leap-frog" technique was used to acquire field data. The front and back electrodes of a short measurement dipole were alternated in order to reduce the cumulative error due to electrode polarization. In order to better control this error, electrode polarization was periodically measured in a copper sulfate solution bath. Spacing on the measurement dipole was 100 m on lines 15, 5, and 14, and 200 m on lines C and D. Potential at kilometer 0 of line 14 was arbitrarily set at zero so that all other potentials on the other lines would be referred to this value. Lines 5, 14, and 15, corresponding to the same lines included in the geoelectric survey performed in Mexicali Valley (Razo and Arellano, 1978), were traversed perpendicularly to the known structures. Lines C and D were placed to fulfill a requirement of the method, which consists of forming loops in order to verify the values of the potentials and control the error by station.

RESULTS OF THE STUDY

The following procedure was used in data processing. First, lines 15, 14, C, and D were taken into account to form the group of lines called polygon A--forgetting, for the time being, line 5 (see Figures 5, 6, 7, and 8).

Because this polygon shows an error in its closure, a correction of -0.8 mV was applied to each station. Visual smoothing of data was then used to help eliminate noise in the profiles. Once this was achieved, a regional contour map was drawn for the isopotential lines (Figure 9). It is evident here that the contours tend to parallel the geological structure, which in this case corresponds to the horst underlying the Tule Check geothermal area. The presence of a large dipolar anomaly is also noticeable, with the positive pole centered in the alluvial fan area and the negative pole in the agricultural area of the valley. Located between the two poles is the Tule Check geothermal zone.

Secondly, lines 14, 5, C, and D were used to make up another group of lines that form polygon B. In this case, line 15 was left out. As shown in Figures 10, 11, and 12, the same profile adjustment procedure was applied, with a correction factor of +0.5 mV for each station. Once the profiles were smoothed, a contour map of the isopotential lines was drawn to find out the trends of the curves in the central part of polygon A and to analyze their relation with the Tule Check geothermal anomaly. This is shown in Figure 13.

Given the configuration characteristics of polygon B and the considerable differences with that of polygon A, we concluded that there were measurement errors in line 5, which resulted in its omission from the self-potential study.

CONCLUSION

Our most important conclusion is that there is definitely a self-potential anomaly associated with the structures and thermal manifestations of the Tule Check area. In addition, this anomaly has a large dipolar form, generally covering the area of thermal manifestations.

In a geological model of the groundwater behavior, which is supposedly producing the self-potential anomaly on the surface, the water travels upward through the fault plane until it reaches the upper part, the clay caprock. It then moves horizontally through a porous, permeable medium until it reaches the surface in the form of thermal manifestations.

REFERENCES CITED

- Bogoslovsky, V.V., and Ogilvy, A.A., 1972. The study of streaming potentials on fissured media models. *Geophys. Prosp.*, v. 20, pp. 109-117.
- Corwin, R.F., 1975. Self potential exploration for geothermal reservoirs, in *Proceedings of the second UN symposium on the development and use of geothermal resources*, San Francisco, 20-29 May 1975. Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, v. 2, pp. 937-945.
- Poldini, E. 1938. Geophysical exploration by spontaneous polarization methods. *Mining Mag.*, v. 59, pp. 278-282 and 347-352.
- _____, 1939. Geophysical exploration by spontaneous polarization methods. *Mining Mag.*, v. 60, pp. 22-27 and 90-94.
- Razo M., A., and Arellano G., F., 1978. Prospección eléctrica de la porción norte del Valle de Mexicali y campo geotérmico de Cerro Prieto, B.C. Mexicali, CFE-Brigada de Estudios del Eje Neovolcánico, Informe 6-78.
- Razo M., A., and Fonseca L., H., 1978. Prospección gravimétrica y magnetométrica en el Valle de Mexicali, B.C. Mexicali, CFE-Brigada de Estudios del Eje Neovolcánico, Informe 5-78.
- Sato, M., and Mooney, H.M., 1960. The electrochemical mechanism of sulfide self-potentials. *Geophysics*, v. 25, pp. 226-249.