

DISTRIBUCION DE TEMPERATURAS EN EL CAMPO GEOTERMICO DE CERRO PRIETO

F. Castillo B., F. J. Bermejo M., B. Domínguez A., C. A. Esquer P., y F. J. Navarro O.

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

El campo geotérmico de Cerro Prieto se localiza al noroeste de la República Mexicana, el cual cubre aproximadamente 30 Km² y sobre el que se encuentran múltiples manifestaciones termales, tales como volcanes de lodo, manantiales y fumarolas, además de un cono volcánico de 200 m. de altura llamado "Cerro Prieto". Esta zona pertenece al Valle de Mexicali y es una cuenca rellena con material sedimentario deltáico proveniente del Río Colorado. Litológicamente el campo está constituido por tres capas principales: la primera superficial, formada por material no consolidado, arcillas, limos, arenas y gravas, cuya profundidad varía entre los 600 y 2500 m. La segunda inferior a la anterior, formada por materiales semiconsolidados de lutita y areniscas con cementantes de carbonatos y cementantes de sílice, alcanzando profundidades de hasta 4500 m. (por métodos geofísicos). La tercera capa inferior a la anterior, está formada por material consolidado fracturado granítico.

La zona del campo geotérmico está cruzada por afallamientos pertenecientes a la familia de la Falla de San Andrés, dando origen a la energía hidrotermal del campo geotérmico de Cerro Prieto, por lo tanto la distribución de las temperaturas en los estratos nos indican las principales fuentes de emigración de la energía calorífica que realimenta al reservorio, siendo esto primordial para la selección de nuevos sitios de perforación y los mejores estratos o zonas de producción.

Los nuevos pozos geotérmicos que se perforaron durante el período del mes de octubre de 1979 a diciembre de 1980 a diferentes profundidades del reservorio y habiéndose efectuado en cada uno de ellos una serie de registros de temperatura, de presión y mediciones de flujo, han aportado una valiosa información que apoyados en ella, nos han permitido establecer una serie de curvas de comportamiento térmico del reservorio, observando así de una manera más clara, la distribución de las temperaturas ocasionada por la emigración de fluidos de las regiones profundas, hacia las zonas superiores del reservorio, estableciéndose así como ya se mencionó, parámetros más firmes para la localización de nuevos pozos con mejores zonas de producción.

En el año de 1979, con la poca información que se tenía del campo, se elaboraron unas gráficas de isotermas a manera de predicciones en su mayor parte³.

En este trabajo y con la ayuda de las nuevas perforaciones profundas realizadas en el campo geotérmico, se presenta una actualización, la cual no difiere mucho de lo que ya se había estimado y de las teorías que se presentaron; pero además, se hace notar de una manera más clara la influencia de los afallamientos y fracturamientos sobre las aportaciones hidrotermales en los estratos del reservorio geotérmico, así como también el comportamiento de los minerales tanto de los estratos como de sus cementantes que se encuentran en la columna litológica del pozo, los cuales tienen correspondencia con sus temperaturas; de esta manera los materiales lutíticos empiezan a encontrarse cuando se alcanzan temperaturas de 100°C, los cementantes a base de carbonatos tienden a desaparecer alrededor de los 250°C y las areniscas cementadas con base sílice comienzan a predominar a temperaturas superiores a los 250°C, por lo que en las perforaciones se tienen que efectuar muestreos para correlacionar las temperaturas y formaciones para una mejor terminación de un pozo geotérmico.

Dada la gran importancia que reviste el conocimiento de las temperaturas y su distribución en el reservorio, se ha llevado a cabo un estudio de los registros de temperatura efectuando correlaciones de dichos registros entre los diferentes pozos perforados en esta zona (Fig. 1), una de las cuales se muestran las correspondientes entre los pozos M-110, M-104, M-102, M-147, M-169, T-388 y M-189 (Sección A-A', Fig. 2) mostrando ésta como las temperaturas se profundizan de una manera gradual conforme se avanza en dirección al pozo M-189 (N.O. - S.E.). En la parte intermedia de la sección se aprecia que la temperatura está en la porción más cercana a la superficie y esto es debido al intenso fracturamiento encontrado en esa zona comprobado durante la perforación del pozo M-147; los minerales y sus cementantes corresponden a las temperaturas encontradas en los mismos, como se mencionó anteriormente.

Efectuando otro estudio de una serie más de registros de temperatura en la

sección de pozos (B-B', Fig. 3) entre los pozos M-172, M-117, M-109, T-348, T-364 y M-189; se aprecia la gran diferencia de temperaturas entre los pozos M-172 y M-117, ya que en éste último, éstas se encuentran muy cercanas a la superficie, se aprecia también que en el primero, las temperaturas son bastante pobres e igualmente se profundizan conforme se avanza hacia el pozo M-189. Los cementantes de los estratos en cada uno de los pozos se comportan conforme a la temperatura encontrada en los mismos.

Con base en las correlaciones de los registros de temperatura anteriormente expuestos, se elaboraron una serie de curvas de isotermas en las diferentes secciones del campo geotérmico, entre las cuales se presentan las siguientes:

Sección A-A' (Fig. 4) Este corte nos muestra los pozos M-110, M-104, M-102, M-147, M-109, T-388, M-93 y M-189. Como podemos observar en la zona del pozo M-147, es donde las temperaturas más altas se encuentran más cerca de la superficie, siendo esto debido al intenso fracturamiento como se mencionó anteriormente incluyendo también al pozo M-104; en el pozo M-110 se puede apreciar la influencia de una corriente de agua de menor temperatura en su fondo. Con respecto al comportamiento de las temperaturas de las lutitas y los cementantes carbonatos y cementantes de sílice, se siguen rigiendo por el mismo patrón, como se aprecia claramente en el corte; se observa también, con mucha claridad, que las temperaturas se profundizan conforme se acercan al pozo M-189.

Sección B-B' (Fig. 5) Este corte nos muestra las temperaturas entre los pozos M-172, M-117, M-109, T-328, T-348, T-364 y M-189; donde podemos observar que las altas temperaturas entre los pozos M-117, M-109 y T-348, son las más cercanas a la superficie y el comportamiento de lutitas y areniscas, como ya se mencionó, coinciden con el comportamiento en cada uno de los pozos; (las lutitas inician a los 100°C, cementantes en areniscas y carbonatos hasta los 250°C y los cementantes sílice después de los 250°C).

Sección C-C' (Fig. 6) Comprende los pozos M-53, M-150, M-125, M-149, T-366 y T-364, en los que se observa que las altas temperaturas cada vez se encuentran a mayor profundidad conforme se avanza rumbo al Este del campo, (T-364), pero de una manera lenta que la presentada hacia el Oeste después del pozo M-53.

Sección D-D' (Fig. 7) Este corte comprende los pozos M-130, M-110, M-53, M-150, M-117 y Nuevo León 1; al igual que las anteriores, el salto de temperatura hacia la proximidad de la superficie de una manera más o menos gradual conforme se

avanza al Este del campo (pozo Nuevo León 1).

Sección E-E' (Fig. 8) Este corte nos muestra a los pozos M-103, M-147, M-127 y M-109, en el cual se aprecia claramente que en los pozos M-147 y M-109, existen las temperaturas más cercanas a la superficie como ya se había mencionado y además para confirmar esto, en esta zona se han encontrado las mayores producciones de vapor (350 ton/hr) en el pozo M-147.

Con el comportamiento de las temperaturas encontradas (anomalías térmicas), se han inferido los principales fracturamientos que cruzan el campo geotérmico y que son base fundamental de la distribución de las temperaturas y la aportación de energía a los estratos y al reservorio geotérmico que actualmente explotamos (Fig. 9). De la misma manera, ampliando y estudiando los registros de temperatura y las isotermas de los cortes verticales del campo geotérmico, se elaboraron curvas de isotermas a diferentes niveles de profundidad, con el fin de facilitar la localización de las zonas por perforar y conocer la emigración de fluidos geotérmicos, además de las limitaciones del campo en cada una de las profundidades. En las isotermas de 1000 m. de profundidad como se puede apreciar (Fig. 10) las mayores temperaturas (300°C) se encuentran alineadas a uno de los principales fracturamientos que han provocado el ascenso de fluidos hidrotermales de mayor temperatura, los cuales descargan a la Laguna Volcano por el debilitamiento de la capa semipermeable que impide un ascenso fácil del fluido. Las isotermas de 1500 m. de profundidad muestran que las temperaturas tienden a ampliarse hacia la zona Norte y Sureste del Campo (Fig. 11).

Las isotermas a 2000 m. de profundidad, en las cuales alcanzan el comportamiento de las temperaturas y la limitación del campo, así como la continuación de ésta en la zona comprendida entre los pozos H-2 y Nuevo León 1 (Pag. 12).

En el mapa de isotermas de 2500 y 3000 m. de profundidad se observa cómo los estratos con temperatura, se profundizan también al Este del campo y en cambio hacia el Oeste se profundizan bruscamente (Fig. 13 y Fig. 14).

Las curvas de isotermas hacia el Sur más allá de la vía del Ferrocarril, no fue posible trazarlas debido a la ausencia de pozos profundos que pudieran darnos dicha información.

En base a los eventos sísmicos registrados en el Valle de Mexicali (Fig. 15) se aprecia que es posible exista

una zona de fracturamiento que una la "Falla Imperial" con la "Falla de Cerro Prieto" que pasa precisamente por el campo geotérmico, asiendo esto la causa por la cual dicho campo tiene la gran aportación de energía lo que concuerda con la alineación de las curvas isotermas, tanto en el plano vertical como en el plano horizontal señalados, concluyendo que es posible un incremento del área geotérmica hacia el Noroeste del campo geotérmico de Cerro Prieto.

B I B L I O G R A F I A

1.- Bermejo F.J., Navarro F.X., Castillo F., Esquer C.A., Cortez C. Variación de presión en el yacimiento de Cerro Prieto durante su explotación. Segundo Simposio sobre el Campo Geotérmico de Cerro Prieto, Baja California, México 1979.

2.- Bermejo F.J. Interpretación de

Registros de Temperatura y Presión. Primer Intercambio Técnico sobre Geotermia. San Felipe, B.C., México 1977.

3.- Bermejo F.J., Cortez C., Aragón A. Cambios Físicos y Termodinámicos Observados en el Yacimiento Geotérmico de Cerro Prieto. Primer Simposio sobre el Campo Geotérmico de Cerro Prieto, Baja California, México. San Diego, California E.U.A. 1978.

4.- Comisión Federal de Electricidad Coordinadora Ejecutiva de Cerro Prieto. Superintendencia General de Explotación. Reportes Internos de Perforación de Pozos

5.- Comisión Federal de Electricidad Coordinadora Ejecutiva de Cerro Prieto. Superintendencia de Producción. Reportes Internos de Presión y Temperatura.

6.- CICESE. Reporte de Eventos Sísmicos en el Valle De Mexicali, B. C., México.

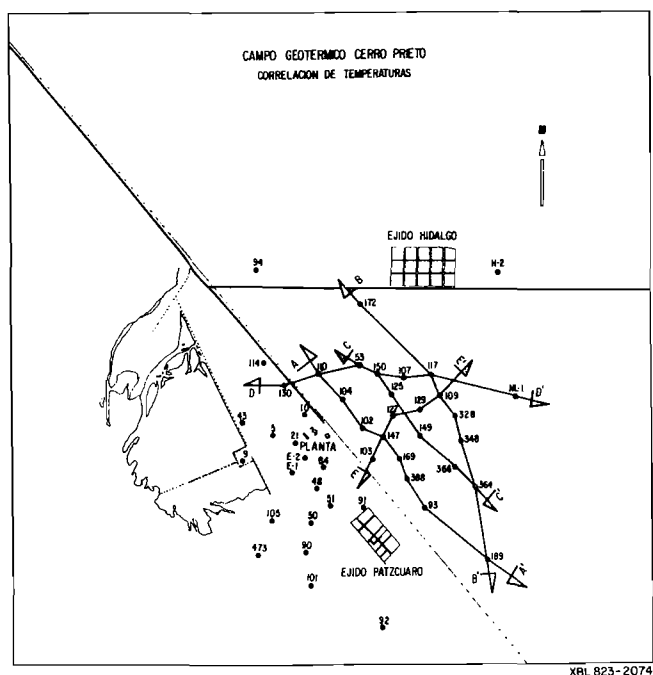
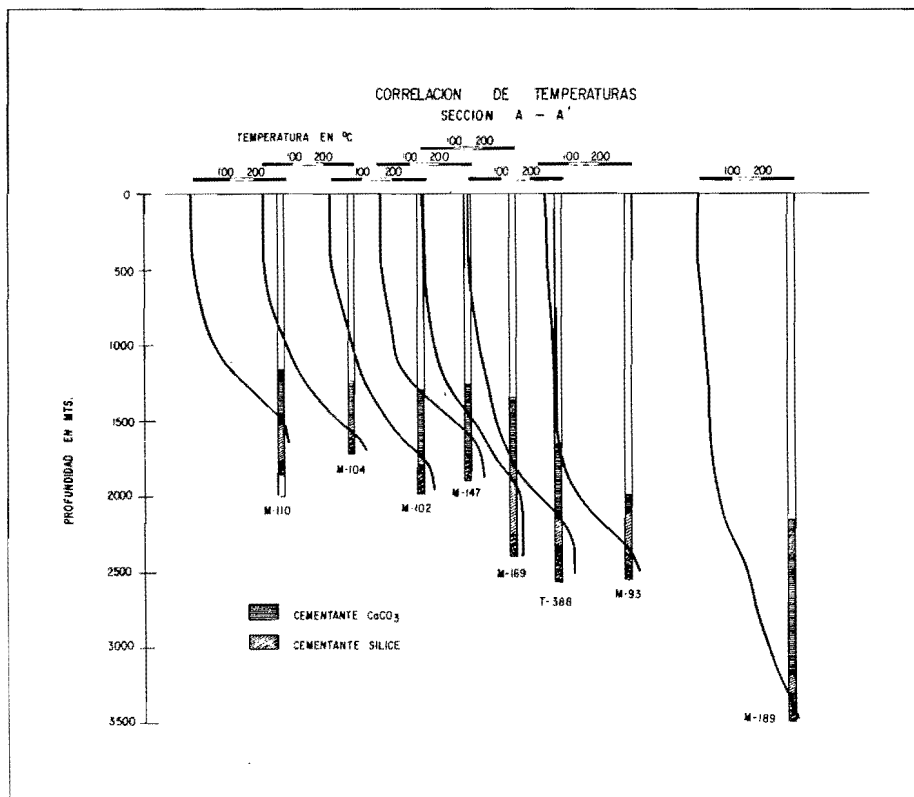


Figura 1. Plano del campo de Cerro Prieto indicando la localización de las secciones de correlación de temperatura.

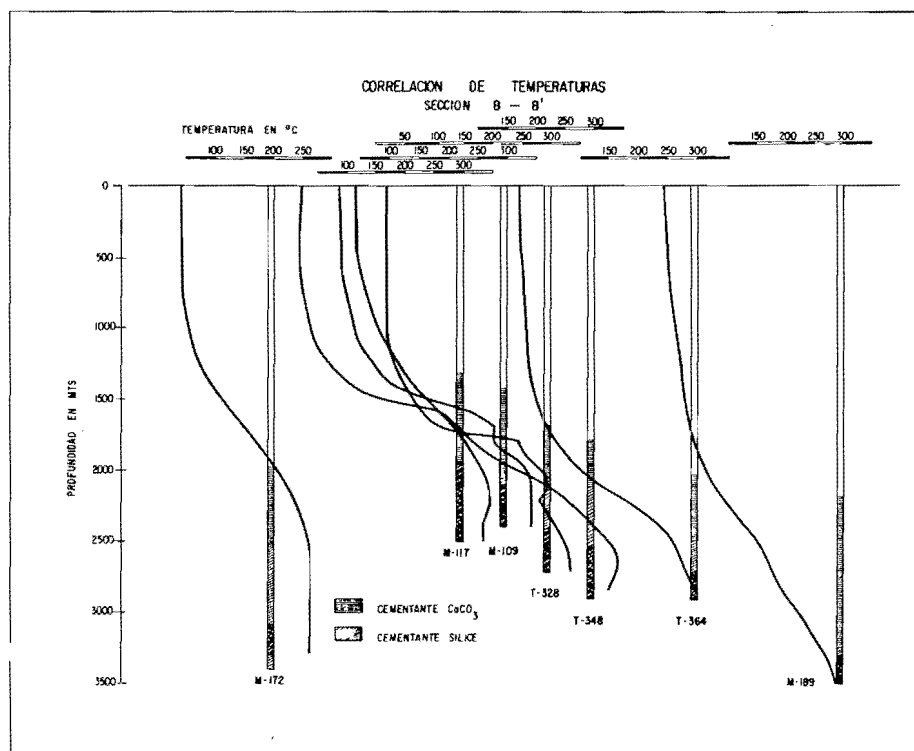
Figure 1. Map of the Cerro Prieto field showing the location of the temperature correlation cross sections.



XBL 823-2073

Figura 2. Correlación de temperaturas. Sección A-A'.

Figure 2. Temperature correlations. Section A-A'.



XBL 823-2072

Figura 3. Correlación de temperaturas. Sección B-B'.

Figure 3. Temperature correlations. Section B-B'.

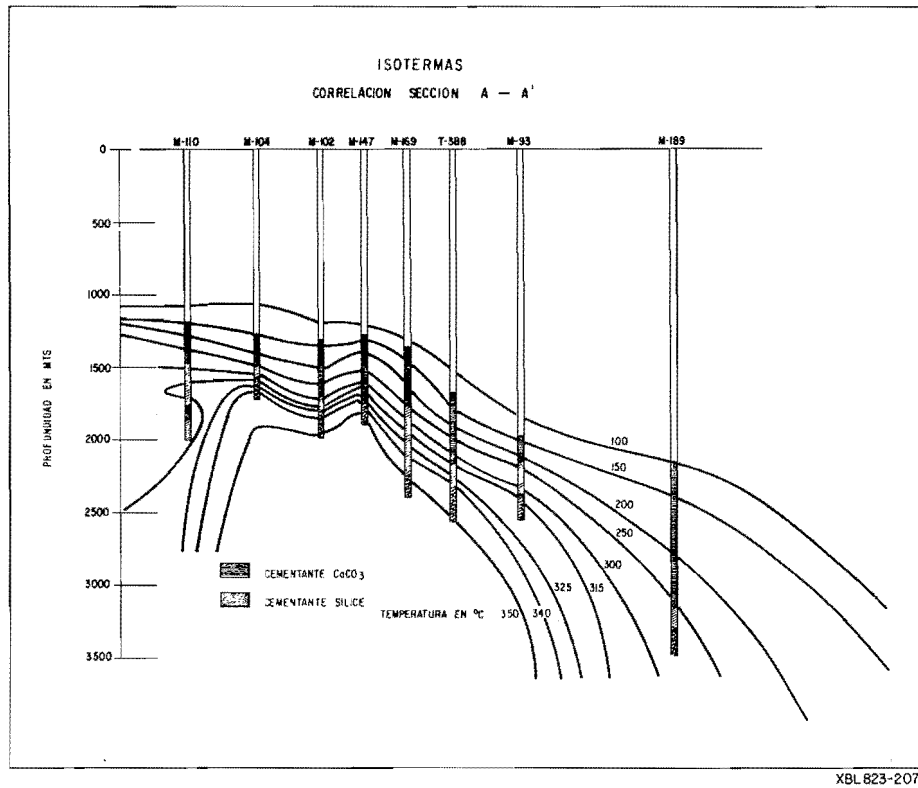


Figura 4. Isotermas. Sección A-A'.

Figure 4. Isotherms. Section A-A'.

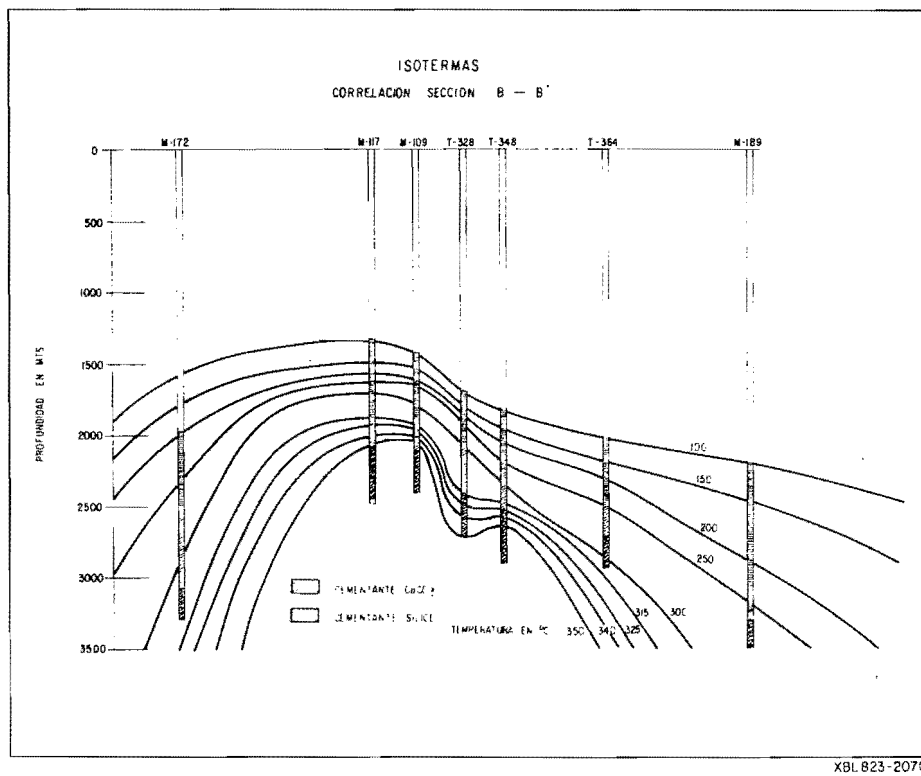


Figura 5. Isotermas. Sección B-B'.

Figure 5. Isotherms. Section B-B'.

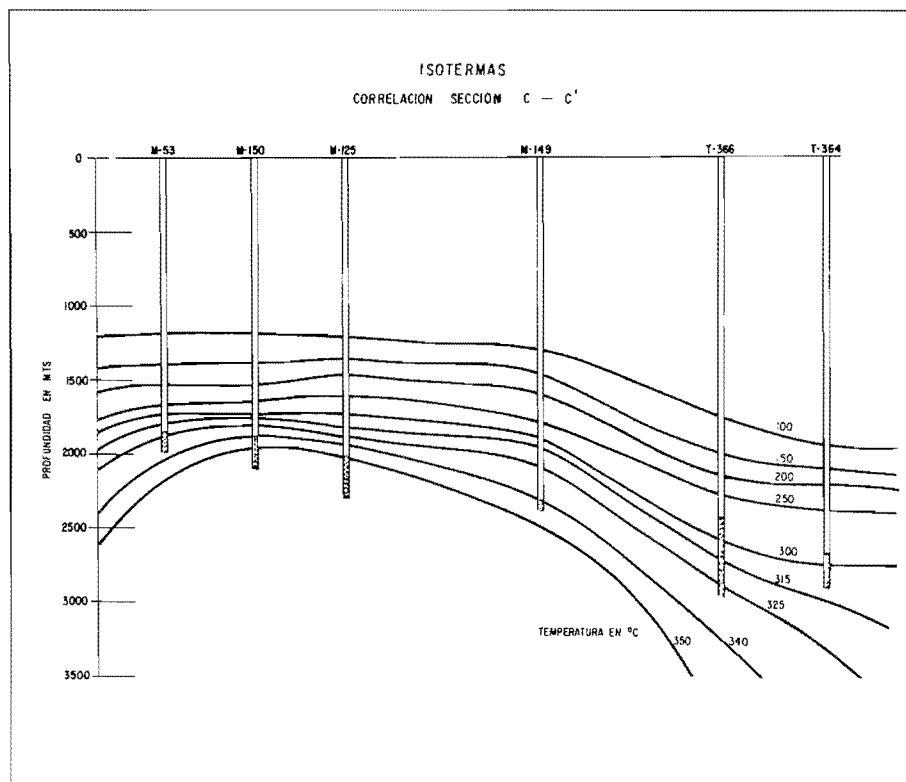


Figura 6. Isotermas. Sección C-C'.

Figure 6. Isotherms. Section C-C'.

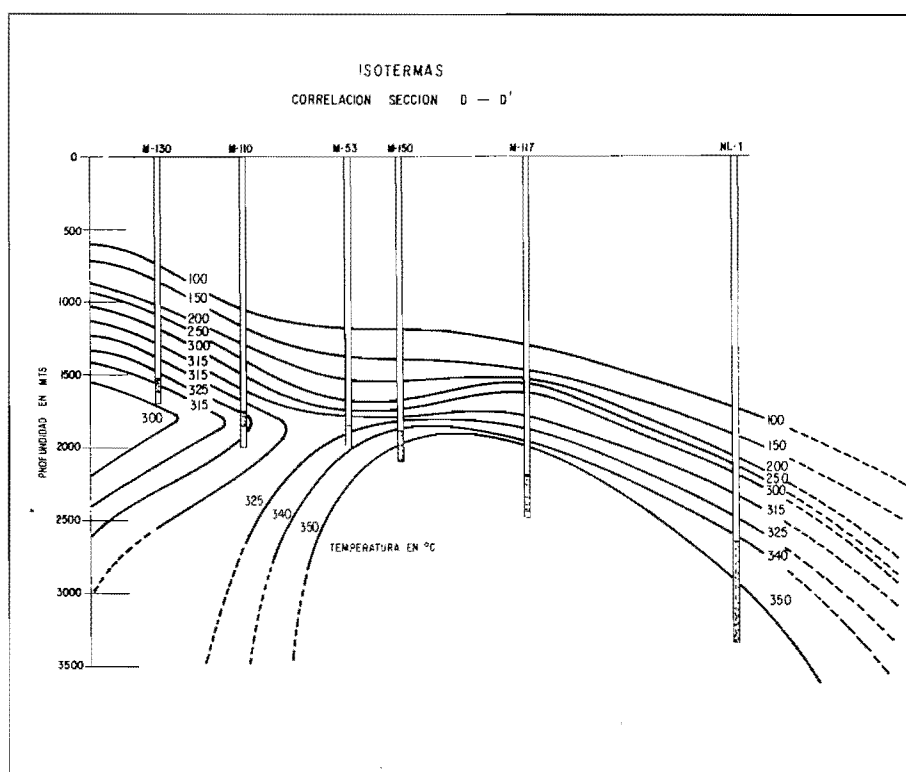


Figura 7. Isotermas. Sección D-D'.

Figure 7. Isotherms. Section D-D'.

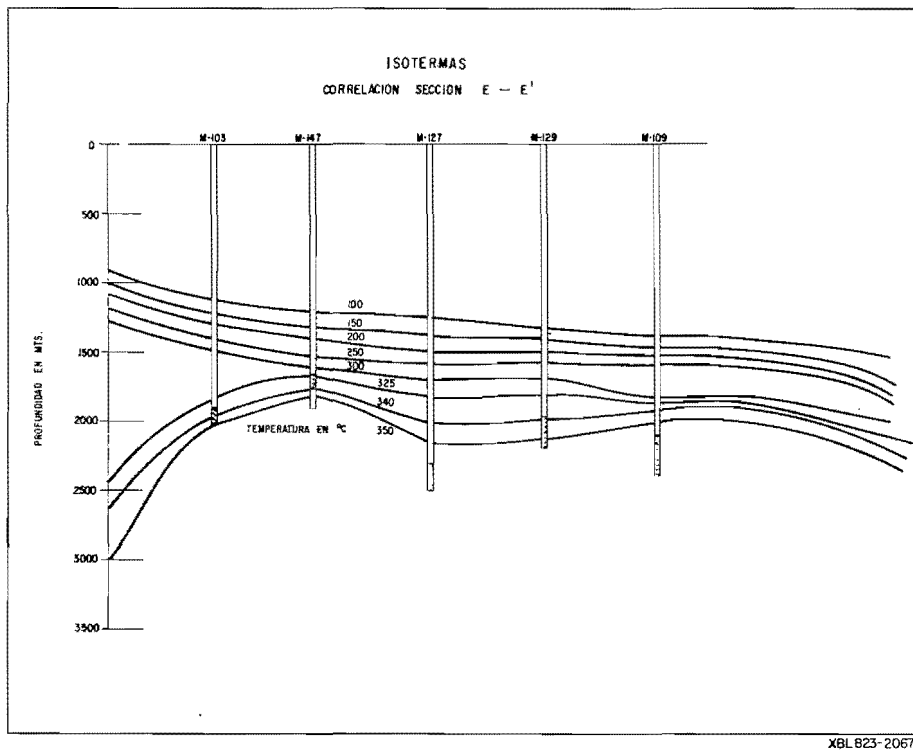


Figura 8. Isotermas. Sección E-E'.

Figure 8. Isotherms. Section E-E'.

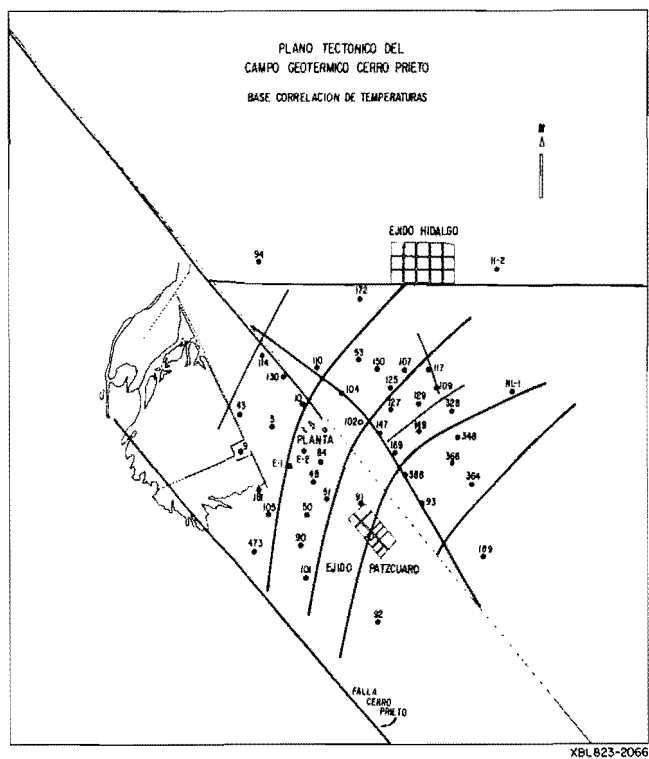


Figura 9. Plano tectónico del campo de Cerro Prieto indicando los fracturamientos inferidos en base a las anomalías térmicas.

Figure 9. Tectonic map of the Cerro Prieto area indicating the major fractures inferred from the thermal anomalies.

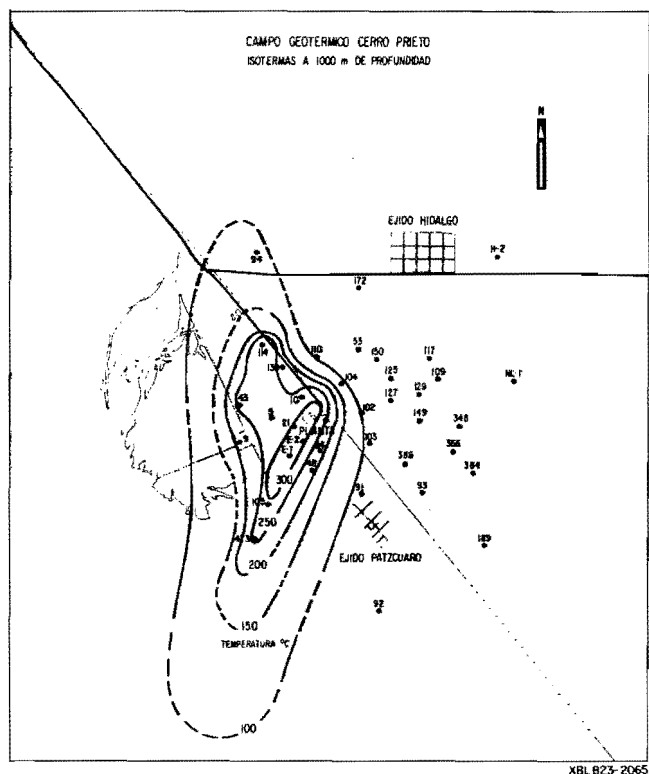


Figura 10. Mapa mostrando la configuración de las isotermas a 1000 m de profundidad.

Figure 10. Isotherm contour map at a depth of 1000 m.

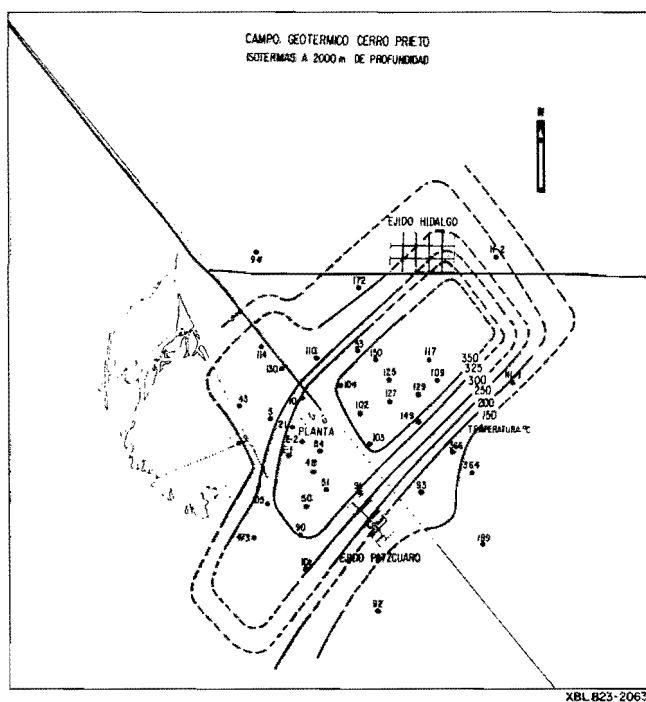


Figura 12. Mapa mostrando la configuración de las isotermas a 2000 m de profundidad.

Figure 12. Isotherm contour map at a depth of 2000 m.

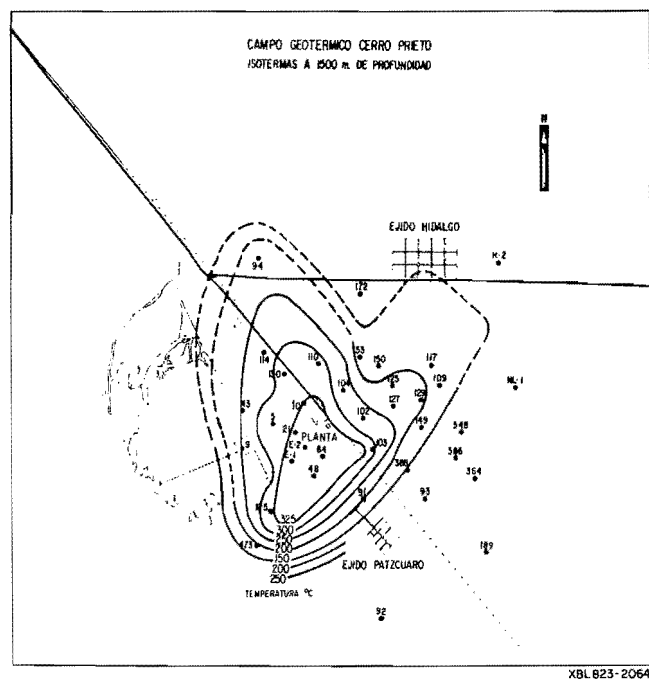


Figura 11. Mapa mostrando la configuración de las isotermas a 1500 m de profundidad.

Figure 11. Isotherm contour map at a depth of 1500 m.

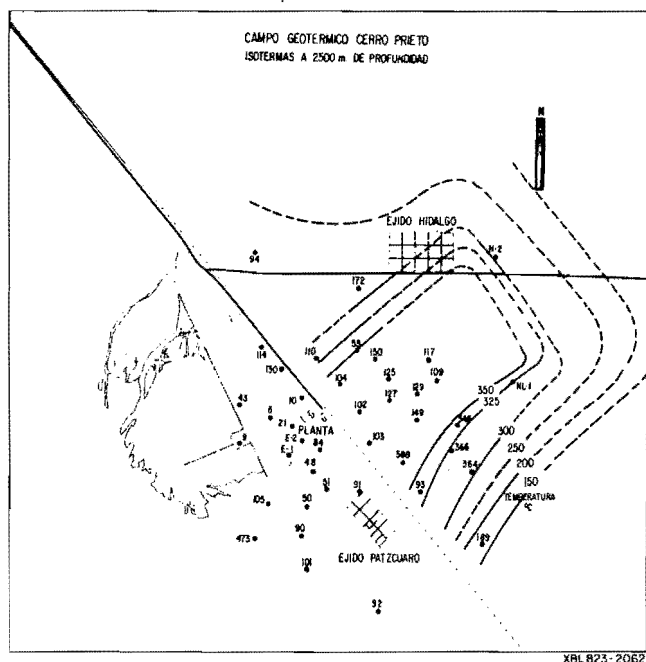


Figura 13. Mapa mostrando la configuración de las isotermas a 2500 m de profundidad.

Figure 13. Isotherm contour map at a depth of 2500 m.

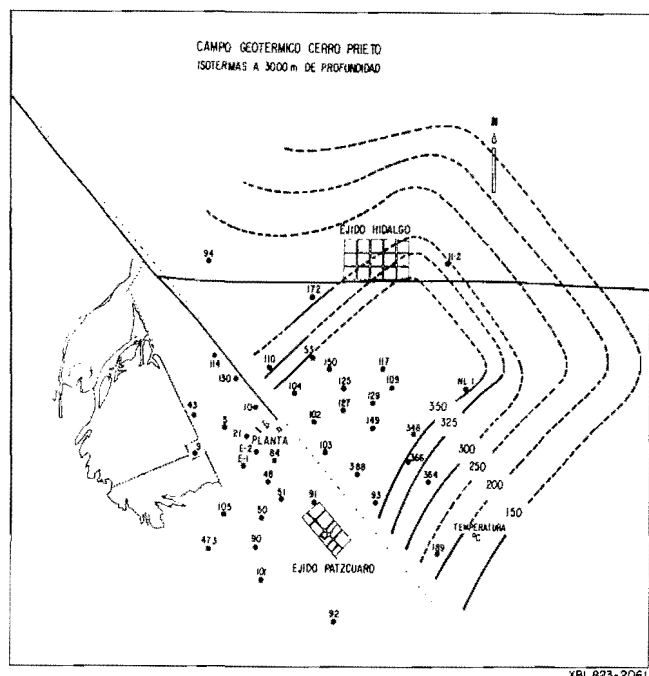


Figura 14. Mapa mostrando la configuración de las isotermas a 3000 m de profundidad.

Figure 14. Isotherm contour map at a depth of 3000 m.

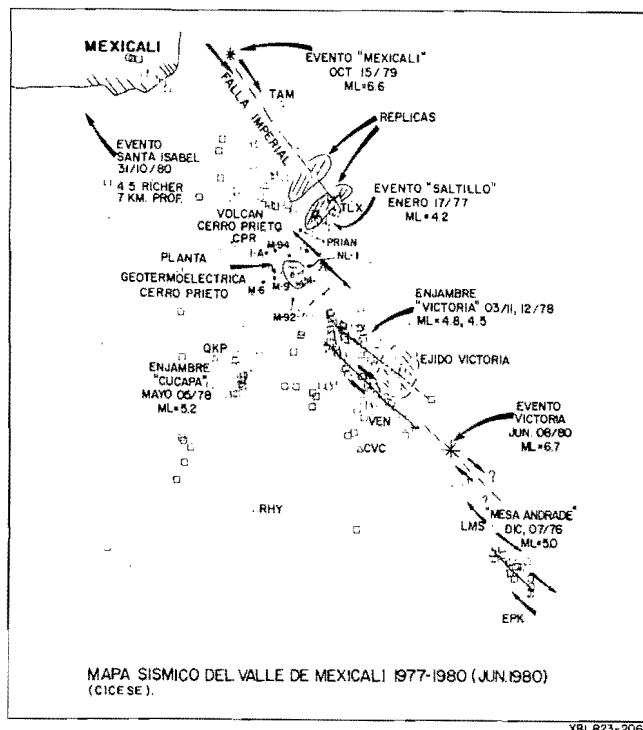


Figura 15. Mapa sísmico del Valle de Mexicali 1977-junio de 1980. Producido por CICESE.

Figure 15. Seismic activity map of the Mexicali Valley for the period 1977 to June 1980, prepared by CICESE.

TEMPERATURE DISTRIBUTION IN THE CERRO PRIETO GEOTHERMAL FIELD

The Cerro Prieto geothermal field, located in northwestern Mexico, has a surface area of approximately 30 km² with numerous thermal manifestations, such as mud volcanoes, springs, fumaroles, and the 200-m-high Cerro Prieto volcanic cone. This area is part of the Mexicali Valley; it is a basin filled with deltaic sedimentary material from the Colorado River. Lithologically the field is made up of three main units. The first and nearest to the surface, with depths varying from 600 to 2500 m, consists of non-consolidated material, clays, silts, sands, and gravels. The second unit reaches depths of up to 4500 m (determined by geophysical methods) and consists of semiconsolidated shales and sandstones with carbonate and silica cements. Below the second, there is a third unit made up of fractured granitic material.

The area of the geothermal field is crisscrossed with faults, belonging to the San Andreas Fault system, which are the source of the hydrothermal energy of the Cerro Prieto field. The subsurface temperature distribution gives us an indication of the location of the principal sources of the thermal energy recharging the reservoir. This information is essential in the selection of new drilling sites and best strata, or production zones.

A series of temperature and pressure logs and flow rate measurements was compiled for each of the geothermal wells drilled to different reservoir depths between October 1979 and December 1980. Based on the valuable information obtained, we have been able to prepare a series of graphs showing the thermal characteristics of the reservoir. These graphs clearly show the temperature distribution resulting from the movement of fluids from the deep regions toward the higher zones of the reservoir, thus establishing more reliable parameters for locating new wells with better production zones, as already mentioned.

In 1979, some isotherm contour maps were prepared from the sparse information available concerning the field. These were used mainly for making predictions.³

This paper presents updated information based on data from new deep wells drilled in the geothermal field. This new information does not differ much from earlier estimates and theories. However, the influence of faulting and fracturing on the hydrothermal recharge of the geothermal reservoir is seen more clearly. This influence is also observed in the behavior of the minerals in the strata, as well as in the cementing minerals found

in the lithological columns of the wells. The mineral distribution shows a close correlation with temperature. Shaly materials begin to appear at temperatures of 100°C. Carbonate cements tend to disappear around 250°C, and silica-cemented sandstones begin to dominate at temperatures above 250°C. Consequently, drill cuttings must be sampled and analyzed in light of the correlation between temperatures and geologic formations in order to achieve a better completion of geothermal wells.

To determine the temperatures and their distribution in the reservoir, an analysis was made of the temperature logs, correlating these logs between the various wells drilled in this zone (Figure 1). Figure 2 (Cross-section A-A') shows a correlation between wells M-110, M-104, M-102, M-147, M-169, T-388, and M-189. It indicates how temperatures increase gradually with depth from NW to SE towards well M-189. In the middle of the cross-section, the high temperature is closest to the surface. This is due to the intense fracturing found in this area during the drilling of well M-147. The minerals and cements of the formation correspond to the temperatures measured in them, as mentioned above.

A study was carried out of yet another series of temperature logs in wells M-172, M-117, M-109, T-348, T-364, and M-189 (Cross-section B-B', Figure 3). One can see the great difference in temperatures between wells M-172 and M-117, because high temperatures are found very close to the surface in this second well. One can see, too, that in the first well the temperatures are quite low. As before, the temperatures increase with depth as one moves towards well M-189. In each well, the cementing minerals of the strata correspond to the temperatures found in the well.

Based on the correlations of temperature logs described above, a series of isotherms were drawn for various cross-sections of the geothermal field:

Cross-section A-A' (Figure 4). This cross-section shows wells M-110, M-104, M-102, M-147, M-109, T-388, M-93, and M-189. As can be seen, the highest temperatures are found closest to the surface in the region of well M-147. This is due to the intense fracturing mentioned earlier. The same is seen for well M-104. The influence of the flow of cooler waters can be seen at the bottom of well M-110. The relation between the temperatures of the shales and the carbonate and silica cements follows the expected pattern, as is clearly seen in the cross-section. Temperatures increase with depth as one approaches well M-189.

Cross-section B-B' (Figure 5). This cross-section shows the temperatures between wells M-172, M-117, M-109, T-328, T-348, T-364, and M-189. Here, we observe that the high temperatures are closest to the surface between wells M-117, M-109, and T-348. The behavior of shales and sandstones, as already mentioned, follows the temperature distribution in each well. Shales begin at around 100°C; carbonate cements in sandstones are found up to around 250°C; and silica cements above 250°C.

Cross-section C-C' (Figure 6). This cross-

section includes wells M-53, M-150, M-125, M-149, T-366, and T-364. Here, the depth at which high temperatures are observed increases toward the eastern part of the field (T-364). However, the deepening is gentler than seen west of well M-53.

Cross-section D-D' (Figure 7). This cross-section includes wells M-130, M-110, M-53, M-150, M-117, and Nuevo León 1. Just as in previous cross-sections, the temperature rises more-or-less gradually with depth towards the eastern part of the field (well Nuevo León 1).

Cross-section E-E' (Figure 8). This cross-section shows wells M-103, M-147, M-127, and M-109. High temperatures are found closer to the surface in wells M-147 and M-109, as already mentioned. This is further confirmed by the fact that, in this area, the greatest steam production rates (350 ton/hr) have been found in well M-147.

The principal faults that run through the geothermal field have been inferred from the patterns of thermal anomalies. These faults are of fundamental importance for the temperature distribution and the energy recharge of the strata of the geothermal reservoir now under exploitation (Figure 9). Isotherm contour maps at different depths were also prepared based on the temperature logs and the isotherms drawn for vertical sections across the geothermal field. These maps will help locate the areas to be drilled and add to our understanding of the movement of geothermal fluids, as well as helping us determine the boundaries of the field at each depth.

The highest temperature (300°C) isotherms at 1000 m (Figure 10) are aligned with the principal faults through which the hot hydrothermal fluids ascend. These fluids discharge into Laguna Volcano due to a weakening of the semi-permeable layer which impedes the fluid's otherwise easy ascent. At a depth of 1500 m (Figure 11), the isotherms broaden towards the northern and southeastern areas of the field.

At 2000-m depth, the isotherms show the boundaries of the field and its possible continuation in the region between wells H-2 and Nuevo León (Figure 12). In the isotherm maps for 2500- and 3000-m depth it is seen how the high-temperature strata gradually deepen toward the eastern part of the field, whereas toward the west they deepen abruptly (Figures 13 and 14). It was not possible to plot the isotherms towards the south, past the railroad tracks, as there are no deep wells there that could give us temperature information.

From the seismic events registered in the Mexicali Valley (Figure 14), it seems possible that a fault zone exists, passing directly through the geothermal field and joining the Imperial Fault with the Cerro Prieto Fault. This could be the source of the great recharge of energy to this field. The orientation of this fault zone agrees with the alignment of isotherms, both in the vertical and in the horizontal planes as indicated above. Based on this, we have concluded that it is possible that the geothermal area may extend to the northeast of the present Cerro Prieto geothermal field.