

ESTUDIOS DE RESISTIVIDAD REALIZADOS POR CFE EN CERRO PRIETO

A. Razo M., F. Arellano G., y H. Fonseca L.
Comisión Federal de Electricidad
México, D.F., México

INTRODUCCION

La Coordinadora Ejecutiva de Cerro Prieto en un intento de definir los límites del campo de Cerro Prieto y extender el conocimiento de las posibilidades geotérmicas del Valle de Mexicali, inició en el mes de julio del año próximo pasado, una serie de estudios geofísicos de los cuales se presentan algunos de los resultados obtenidos.

El levantamiento geoelectrico por medio de sondeos verticales, fue programado colocando las líneas de estudio perpendiculares a las estructuras principales para lograr la mayor información del subsuelo. Programadas éstas bajo dichas condiciones, el levantamiento se inició con el estudio denominado regional en una área de aproximadamente 580 Km², en los cuales se ejecutaron 114 SEV, distribuidos en cuatro líneas (1, 2, 3 y 4) de rumbo suroeste-noreste, espaciadas aproximadamente 8 Km y con estaciones cada kilómetro. Del resultado de éstas, se programó un estudio de detalle en una área de 208 Km², en la que quedó incluida la zona actual de explotación, consistente en 74 SEV en 7 líneas (Nos. 6 a 12), espaciadas 2 Km, con rumbo suroeste-noreste, paralelo a las regionales y con espaciamientos de estaciones cada kilómetro.

METODO DE TRABAJO

La técnica de SEV utilizada fue la del arreglo electrodico Schlumberger; en él la separación entre los electrodos de corriente $\overline{AB}$ correspondió a espaciamientos de 20 m hasta 10,000 m, en tanto que en los de potencial $\overline{MN}$ las distancias fueron variadas entre 5.0 m y 1000 m. Los equipos de emisión y de recepción que se emplearon fueron, respectivamente, un transmisor de polarización inducida (PI) marca Scintrex, de 15 kilowatts de potencia, y un voltmetro marca Hewlett Packard, modelo 419-A, de alta impedancia de entrada.

PROCESADO DE DATOS

Los resultados de un SEV generalmente se presentan en forma gráfica interviniendo la resistividad aparente (ρ_a) y el espaciamiento medio de los electrodos de corriente ($\overline{AB}/2$). Las curvas que se producen generalmente se clasifican en 4 tipos,

denominados tipo A, H, Q, K o una combinación de éstos. Un suavizado visual en algunas ocasiones fue necesario antes de llevar a cabo la correlación con SEV contiguos. Hecho lo anterior, se procedió a un análisis comparativo de los SEV más cercanos para definir zonas con características similares. Esto se efectuó tomando como base el tipo de curvas.

INTERPRETACION CUALITATIVA

Perfiles de Isoresistividades Aparentes

Una forma de analizar las variaciones de la resistividad a profundidad y lateralmente, se presenta con la elaboración de perfiles de isoresistividades aparentes. En éstos, los sondeos se sitúan sobre el eje de coordenadas X y los valores de las resistividades aparentes directamente debajo de cada sondeo a una distancia igual al espaciamiento $\overline{AB}/2$ utilizado en su cálculo.

Para el estudio del comportamiento eléctrico del campo geotérmico de Cerro Prieto y la porción norte del Valle de Mexicali, se elaboraron 11 perfiles. En ellos son notables varios bajos resistivos, menores de 2 ohm-m, que en algunos casos pueden corresponder a zonas de interés geotérmico, y en otros representar zonas de una mayor porosidad por fracturamiento o cambios de facies, o zonas de alto contenido salino.

Los valores de resistividad que se presentan en los perfiles son de 1 a 30 ohm-m y en general tienen la tendencia a incrementarse del suroeste al noreste.

Los 11 perfiles permiten visualizar el comportamiento eléctrico de las diferentes áreas y localizar zonas de mínimos relativos, cuyos límites se aprecian de una manera objetiva en cada uno de ellos, los cuales parecen tener cierta relación con el comportamiento estructural del subsuelo.

Planos de Isoresistividades Aparentes

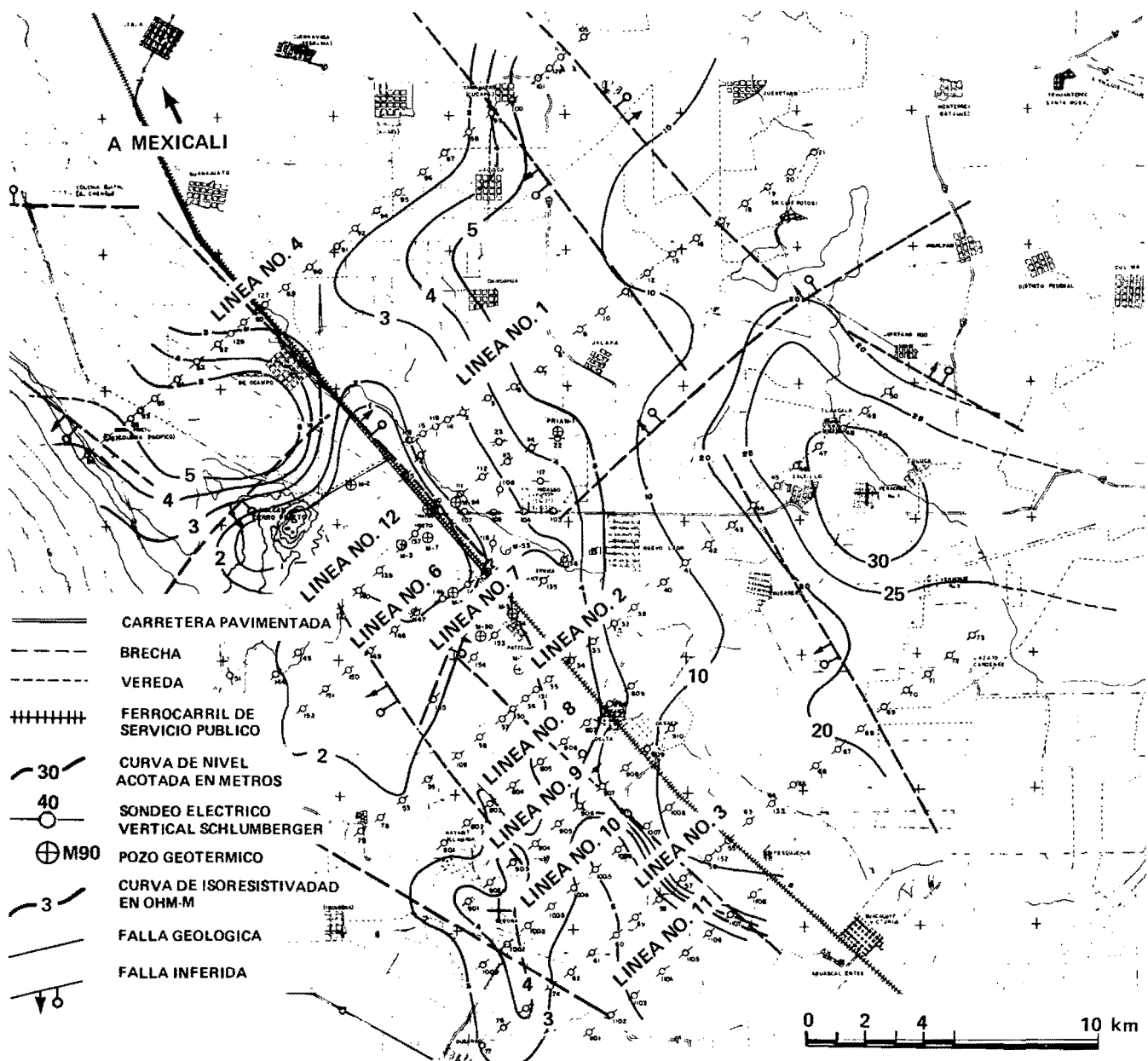
Para complementar el análisis de los perfiles de isoresistividades aparentes, se construyeron 5 planos con las configuraciones de las resistividades para espaciamientos de $\overline{AB}/2$ iguales a 1000, 2000, 3000, 4000 y 5000 m. Al igual que lo observado en los perfiles, en estos planos se apre-

cia una clara relación entre condiciones geológico-estructurales y la distribución de las resistividades aparentes.

Dos mínimos de interés, uno relacionado con el actual campo de explotación y otro 15 Km al SE de éste, se enfatizan en todos los niveles, pero el del campo incrementa sus valores de resistividad a profundidad y se reduce en extensión, en tanto que el segundo se mantiene casi con la misma amplitud. Cabe mencionar que la reducción en extensión del mínimo de 2 ohm-m del campo, que se observa conforme se profundiza el sondeo, se debe al efecto de la salinidad que provoca la laguna de evapo-

ración, las manifestaciones termales existentes y la cercanía de los abanicos aluviales con alta porosidad. Este mínimo, si se observa la configuración para $AB/2$ igual a 1000 m, presenta una íntima correspondencia con el horst de Cerro Prieto y falla Pátzcuaro (Fig. No. 1).

El mínimo de la zona sur, parece estar relacionado en su forma con las condiciones geológico-estructurales del subsuelo, en forma similar a la observada en el área del campo geotérmico, pero con la diferencia de que al noroeste su límite no está definido por alguna estructura y al sureste parece tener una mayor extensión.



XBL 798-10902

Figura 1. Plano de isoresistividades aparentes para $AB/2 = 1000$ m. Las fallas corresponden a las interpretadas con gravimetría (1978) en el posible basamento de la serie sedimentaria y con las visibles en superficie.

Otro mínimo relativo aparece en los planos que corresponden a espaciamentos de $AB/2$ igual a 4000 y 5000 m, y sus valores están en el orden de 2 a 3 ohm-m. Este mínimo se localiza en la línea 1 a 3.5 Km al NE de la vía, y se infiere que está relacionado con una falla secundaria del sistema Cerro Prieto.

INTERPRETACION CUANTITATIVA

En la interpretación cuantitativa se pretende averiguar la profundidad, espesor y resistividad de cada una de las capas que componen el corte geoelectrico del subsuelo. El procedimiento utilizado en este estudio fue el de comparación gráfica de las curvas de campo con las de la colección de curvas patrón de E. Orellana y Mooney, además de las editadas por la Asociación Europea de Geofísica de Exploración (Standard Graphs for Resistivity Prospecting), siguiendo la técnica del método de punto auxiliar que permite reducir las curvas de campo a otras de menor número de capas, efectuando la interpretación usando sólo alrededor de un millar de curvas patrón de 3 capas y cuatro diagramas de curvas auxiliares. Se dispuso también del uso de un programa de computadora con el cual se calcularon las curvas teóricas de un corte dado para los valores de resistividad y profundidad interpretados por el método de comparación gráfica. De esa manera fue posible comprobar los resultados obtenidos y en determinados casos corregirlos.

La interpretación se llevó a cabo haciendo intervenir la información geológica disponible, para elegir la solución que más se ajustara a los cortes electroestratigráficos que se presentan.

Interpretación Electroestratigráfica

Los perfiles electroestratigráficos permiten diferenciar en forma general 3 horizontes o estratos con distinto comportamiento eléctrico de acuerdo con los valores de resistividad. Así se determinó un primer horizonte superficial cuyo espesor es menor de 300 m, pero que en varias zonas se incrementa hasta los 400 y 900 m. Sus resistividades son muy variables y van desde menos de 1 ohm-m, en el área de laguna de evaporación, abanicos aluviales y zona de manifestaciones termales, hasta valores de 30 ohm-m (Fig. Nos. 2-5).

Subyaciendo al superficial, existe otro horizonte designado conductivo en el cual las resistividades son de 1 a 6 ohm-m, pero que incluye a veces (en el extremo NE) valores hasta los 15 ohm-m. En éste, los espesores quedan comprendidos entre los 300 a los 2000 m, salvo en algunas áreas donde se incrementan hasta los 3200 m. Subyaciendo a éste, se encuentra otro estrato que se ha denominado resistivo profundo, donde las resistividades oscilan

entre 20 y 150 ohm-m y en el cual se desconoce su espesor.

Planos de Isoresistividades Calculadas (Reales)

Con el fin de apreciar en forma objetiva la disposición de las resistividades bajas distribuidas a lo largo de la zona estudiada, se elaboró el plano denominado Plano de Isoresistividades del Estrato Conductivo. En él se nota que en el área del Ejido Saltillo se enfatiza una anomalía con valores mayores de 10 ohm-m, que se aloja en la parte sur del horst denominado Imperial. En la porción norte de dicho horst (Línea No. 4), los valores disminuyen hasta llegar a los 2 ohm-m.

Las anomalías con mínimos de 1 ohm-m reflejan una clara concordancia con el campo actual de explotación, la zona de laguna de evaporación y el área de manifestaciones termales (Fig. No. 6).

Un plano de isoresistividades comprendidas entre los 500 y 1500 m, elaborado independientemente si el horizonte es considerado conductivo o no, tiene las mismas características sobresalientes comentadas en la configuración del conductivo, incluso en el del alto resistivo observado en el Ejido Saltillo donde las resistividades son mayores de 25 ohm-m.

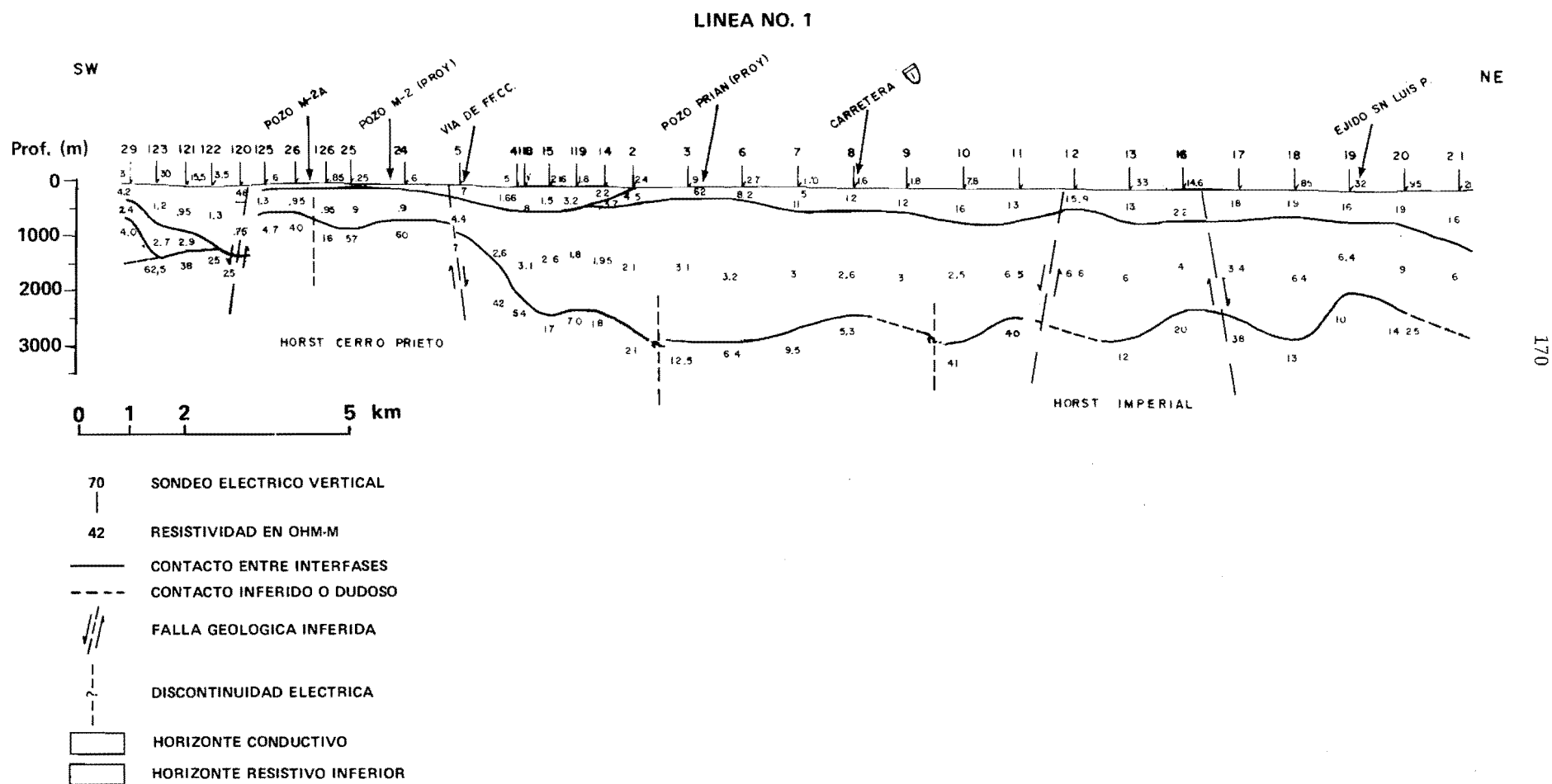
Otro plano construido en base a la información recabada de los perfiles electroestratigráficos, es el de la profundidad de la base del conductivo, en el cual algunas profundidades fueron inferidas por falta de definición del contacto. Este plano muestra cierto alineamiento en las curvas de nivel con el sistema de estructuras geológicas; sin embargo, en algunos casos las tendencias no son muy claras debido a lo expuesto arriba.

El plano de isoresistividades del estrato resistivo fue construido con los valores de la resistividad correspondientes a la capa más profunda de acuerdo con los perfiles electroestratigráficos.

El análisis de los valores de resistividad, permite señalar que éstos varían en forma irregular entre 10 y 150 ohm-m, y lo mismo se presentan valores mínimos sobre las fallas que fuera de ellas.

Conductancia Longitudinal

Un plano de conductancia longitudinal combina los parámetros de resistividad de los estratos y sus respectivos espesores. En él se presentan valores de 40 a 1500 mhos, y dada la variación de resistividades y espesores que intervinieron en el cálculo, las zonas conductivas no se definen claramente ya que en zonas fuera del campo geotérmico de Cerro Prieto los valores se incrementan más que los reportados ahí; esto se debe al mayor espesor encontrado en dichas áreas.



XBL 798-10903

Figura 2. Sección electroestratigráfica de la línea 1. Las fallas se han localizado de acuerdo con la posición interpretada por gravimetría en 1978.

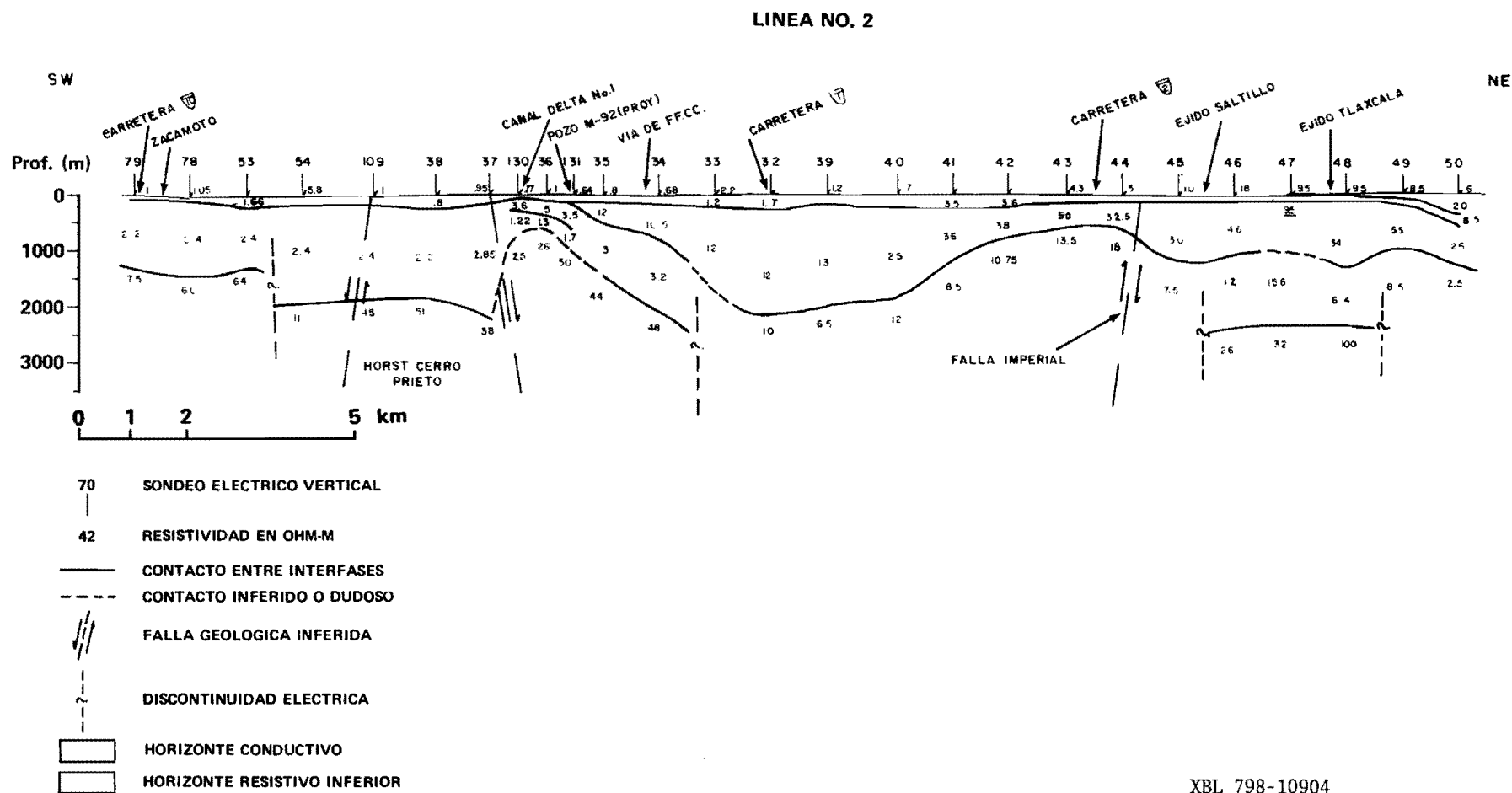


Figura 3. Sección electroestratigráfica de la línea 2. Las fallas se han localizado de acuerdo con la posición interpretada por gravimetría en 1978.

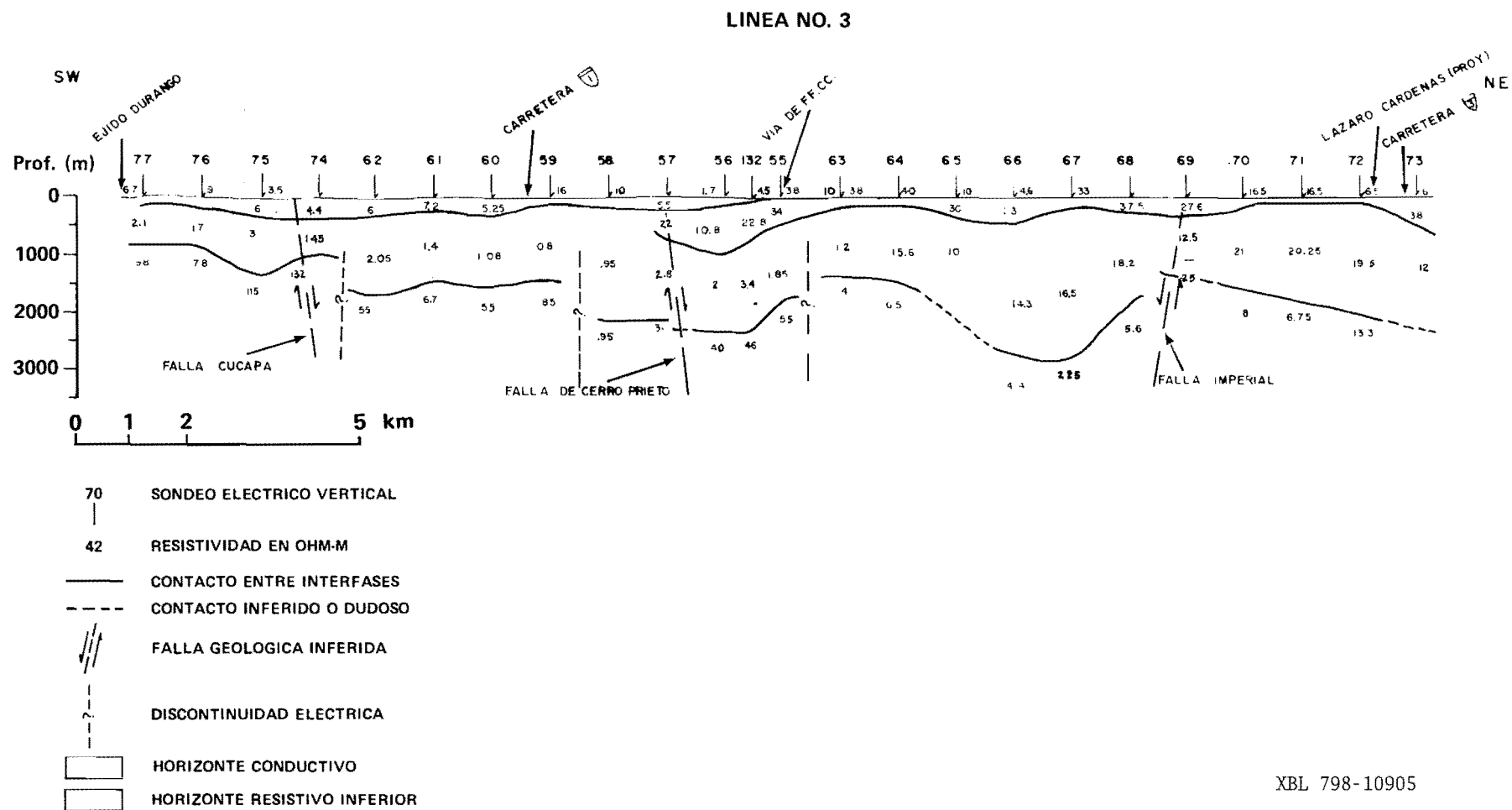


Figura 4. Sección electroestratigráfica de la línea 3. Las fallas se han localizado de acuerdo con la posición interpretada por gravimetría en 1978.

LINEA NO. 4

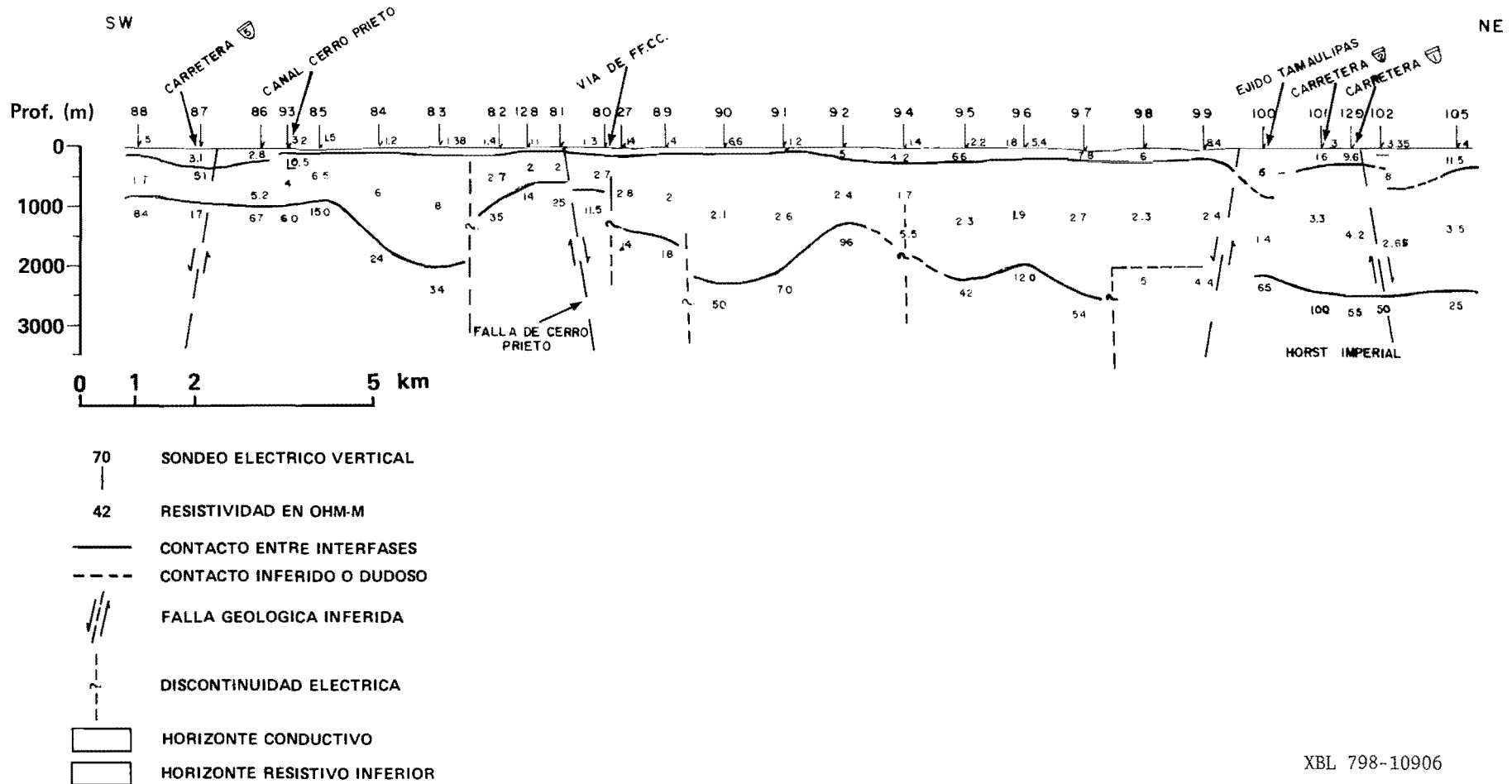
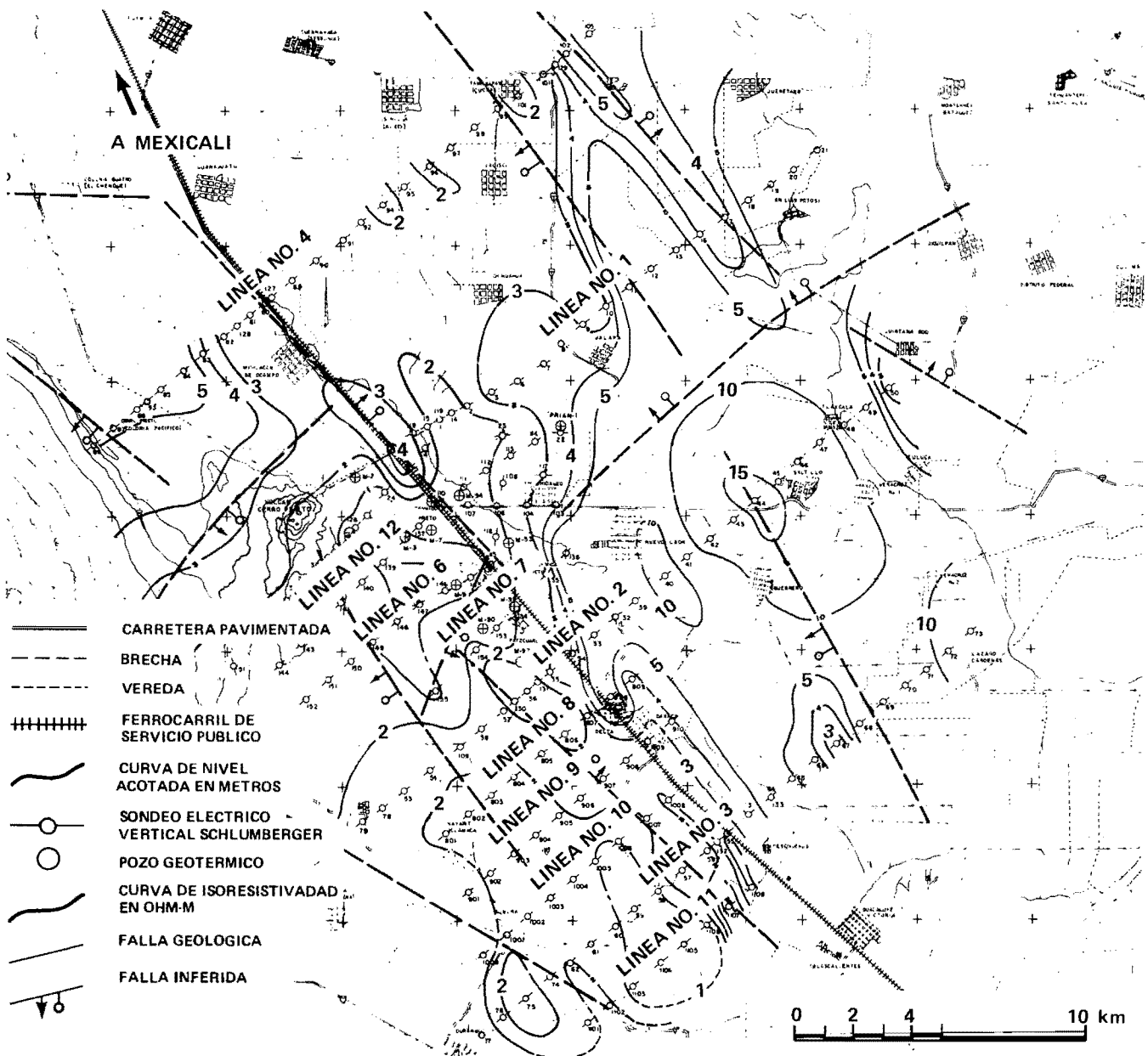


Figura 5. Sección electroestratigráfica de la línea 4. Las fallas se han localizado de acuerdo con la posición interpretada por gravimetría en 1978.



XBL 798-10907

Figura 6. Plano de isoresistividades del estrato conductivo. Las fallas corresponden a las interpretadas con gravimetría (1978) en el posible basamento de la serie sedimentaria y con las visibles en superficie.

DISCONTINUIDADES ELECTRICAS Y SU CORRELACION ESTRUCTURAL

Un plano estructural y de discontinuidades eléctricas fue elaborado para mostrar la relación de éstas con las diferentes estructuras geológicas. En este plano es notoria la relación de dichas discontinuidades eléctricas con las estructuras inferidas por gravimetría, con las cuales se han relacionado genéticamente. Las discontinuidades eléctricas que se observan representan zonas de debilidad o de alta porosidad, relacionadas al fracturamiento

provocado por fallamiento y quizá en ciertas zonas por efectos de termalidad. Otro aspecto observable de estas discontinuidades es la inversión del desplazamiento vertical del bloque resistivo, con respecto al del movimiento de la falla, debido a la recementación del plano de falla y uno de los bloques.

COMENTARIOS FINALES

La correlación del estudio de resistividad con la geología superficial e interpretación gravimétrica del valle de Mexicali,

permite afirmar que regionalmente las anomalías de baja y alta resistividad tienen alguna relación con las grandes estructuras del subsuelo. El análisis de las configuraciones de resistividades aparentes y calculadas, señala cierta correspondencia de dichas anomalías con estructuras - de horsts, grabens o fallas escalonadas - (en échelon).

Dos son las anomalías de baja resistividad más importantes identificadas en este estudio, una en el área del actual campo geotérmico en explotación, entre las líneas Nos. 1 y 7, y otra 15 Km al SE de él, entre las líneas Nos. 10 y 11. La primera en el horst denominado de Cerro Prieto y la segunda en el bloque de piso de la falla Cerro Prieto.

El análisis de las resistividades en el resistivo no permite establecer una relación directa entre ellas y las zonas termal, ya que no es posible definir un contraste entre las resistividades observadas dentro y fuera del campo; sin embargo, es evidente que a pesar de esto existe un reflejo de la actividad termal en las propiedades eléctricas de las rocas que les sobreyacen que se manifiesta como una zona de baja resistividad.

En relación con la anomalía de baja resistividad localizada al SE del campo de Cerro Prieto, cabe mencionar que corresponde a una zona en la que no existen evidencias superficiales de termalidad y donde la serie sedimentaria constituida por arena y arcilla parece tener un espesor de 1400 a 2300 m, de acuerdo a la interpretación electroestratigráfica.

En el estudio de campos geotérmicos por medio de los métodos eléctricos, generalmente se considera que la temperatura cuando llega a ciertos niveles tiene el efecto de reducir la resistividad de las formaciones; sin embargo, el incremento de porosidad en la roca y de la salinidad del fluido contenido en ella tienen el mismo efecto. Por lo anterior, una anomalía de baja resistividad no significa necesariamente un reservorio geotérmico, aunque un reservorio geotérmico generalmente dé lugar a un bajo resistivo por la combinación de los diversos factores de porosidad, salinidad y temperatura que los caracterizan.

Aunque la anomalía del SE podría caer en el caso de las que se han generado únicamente por factores de porosidad y salinidad propios de las condiciones de depósito de los sedimentos, se estima que esta anomalía también podría ser el reflejo de una posible área geotérmica en el subsuelo, tal y como se manifiesta en el área del campo de Cerro Prieto. Ambas anomalías en alguna forma están asociadas a la falla de Cerro Prieto, y si ésta ha dado lugar a dicho campo, la segunda anomalía por sus características señala una amplia zona de interés para ser explorada con perforaciones.

Por lo que respecta al horst Imperial las características eléctricas del subsuelo no señalan en él anomalías de baja resistividad de importancia. En el área del Ejido Tamaulipas se presentan varios pequeños mínimos de 2 ohm-m en el estrato conductor, que en relación a los también bajos valores de resistividad que los circundan es muy aventurado darles alguna interpretación geotérmica.

CFE RESISTIVITY STUDIES AT CERRO PRIETO

INTRODUCTION

In order to define the probable extent of the Cerro Prieto geothermal field and to further establish the geothermal possibilities of the Mexicali Valley, the Coordinadora Ejecutiva de Cerro Prieto began a series of geophysical studies in July 1978. Some of the results obtained will be presented here.

The survey was performed by means of vertical electrical soundings, with survey lines perpendicular to the principal structures in order to obtain the greatest amount of information from the subsurface. The survey started with a regional study of an area covering approximately 580 km², in which 114 vertical electrical soundings (VES) were performed along four lines (1, 2, 3, and 4). These lines were oriented in a southwest-northeast

direction, with spacings of approximately 8 km, and with stations at each kilometer. Subsequently, a detailed survey covering an area of 208 km² was performed, which included the present producing field. This study consisted of 74 VES along seven lines (Nos. 6 to 12). These lines are oriented parallel to the regional lines in a southwest-northeast direction and spaced 2 km apart with stations at every kilometer.

METHOD

In these surveys, Schlumberger arrays were used with AB current electrode spacings ranging from 20 to 10,000 m; MN potential spacings varied between 5 and 1000 m. The transmitter and receiving equipment used consisted of a 15-kW Scintrix induced-polarization (IP) transmitter,

and a high input-impedance Hewlett Packard voltmeter, model 419-A.

DATA PROCESSING

VES results are usually presented graphically, showing apparent resistivity (ρ_a) plotted against half the current electrode spacing ($AB/2$). The curves produced are generally classified in four categories: A, H, Q, K, or a combination thereof. A visual smoothing was sometimes necessary before carrying out the correlation of contiguous VESs, after which a comparative analysis of results of adjacent soundings was performed in order to define areas with similar characteristics. This was based on the types of curves.

QUALITATIVE INTERPRETATION

Apparent Isoresistivity Profiles

Lateral and vertical resistivity variations can be analyzed by means of apparent isoresistivity profiles. The sounding station is plotted on the X-coordinate axis and the apparent resistivity values are plotted directly under each sounding at a coordinate corresponding to the $AB/2$ spacing used for their calculation.

Eleven profiles were developed to study the electric behavior of the Cerro Prieto geothermal field and the northern portion of Mexicali Valley. Some low resistivities, under 2 ohm-m, can be noticed that could, in some cases, coincide with areas of geothermal interest. In other cases, these resistivities could point to zones of higher porosity due to fracturing or change of facies, or to high-salinity areas. The resistivity values shown in the profiles vary from 1 to 30 ohm-m, and generally tend to increase from the southwest to the northeast. By means of these 11 profiles, the electric behavior of the different areas can be visualized and the zones of minimum resistivity can be located; the limits for each of them can be objectively evaluated, since they seem to be somewhat related to subsurface structure.

Apparent Isoresistivity Maps

To complement the apparent isoresistivity profile analysis, five isoresistivity contour maps were prepared for the area using $AB/2$ spacings of 1000, 2000, 3000, 4000, and 5000 m. A clear connection between geological-structural conditions and apparent resistivity distribution can be observed in these maps, just as it was observed in the profiles.

Two areas of low resistivity are emphasized at all levels. One area is related to the present field and the other area is 15 km to the southeast of it. The resistivity values for the minimum at the field increase with depth as the anomaly narrows. The other anomaly retains nearly the same amplitude with increasing depths. The reduction in width of the 2 ohm-m minimum over the field, observed as the sounding becomes deeper, is due to a combination of the salinity

effect caused by the evaporation pond, existing thermal manifestations, and by the proximity of high-porosity alluvial fans. This minimum, for $AB/2$ equal to 1000 m, is closely related to the Cerro Prieto horst and the Patzcuaro fault (Figure 1). The shape of the southern minimum seems to be related to the geological-structural conditions of the subsurface, as was observed in the area of the geothermal field. The only difference is that its northwestern limit is not defined by any structure and it seems to have greater extension to the southeast. Another relative minimum, with values around 2 to 3 ohm-m, appears in the maps depicting spacings of $AB/2$ equal to 4000 and 5000 m. This minimum is located on line 1 at 3.5 km northeast of the railroad, and is inferred to be related to a secondary fault of the Cerro Prieto system.

QUANTITATIVE INTERPRETATION

For the quantitative interpretation, we endeavored to determine the depth, thickness and resistivity of each one of the layers that make up the geoelectric section of the subsurface. The procedure used was a graphic comparison of observed sounding curves with those in a collection of calculated curves from E. Orellana and Mooney, as well as against those edited by the European Exploration Geophysics Association (Standard graphs for Resistivity Prospecting). The technique of the auxiliary point method was followed, allowing for a reduction of field curves to other curves with fewer number of layers: interpretation is achieved using only about 1000 three-layer pattern curves, with four auxiliary curve diagrams. A computer program was also set up to calculate the theoretical curves for a given section for resistivity and depth values interpreted by means of the graphic comparison method. The results obtained could thus be checked and sometimes corrected. Interpretation included available geological information, in order to select the solution best suited to the electrostratigraphic sections presented.

Electrostratigraphic Interpretation

Electrostratigraphic profiles generally allow for the differentiation of three horizons or strata with different electric behavior, according to resistivity values. A surface layer was thus determined, less than 300 m thick, increasing to 400 and 900 m in some areas. Its resistivity varies a great deal from less than 1 ohm-m over the evaporation pond, the alluvial fans and thermal manifestations areas, to 30 ohm-m elsewhere (Figures 2 through 5). Another horizon, called conductive, underlies the surficial layer, and normally has resistivities from 1 to 6 ohm-m, but these sometimes reach up to 15 ohm-m (at the northeast end). Thickness here varies from 3000 to 2000 m except for some areas where it increases to 3200 m. Beneath this horizon lies yet another stratum called deep resistive, of unknown thickness, whose resistivities vary between 20 and 150 ohm-m.

Calculated (Real) Isoresistivity Maps

An isoresistivity map of the conductive stratum was developed to objectively study the distribution of low resistivities along the area under study. It shows an anomaly with values above 10 ohm-m in the Ejido Saltillo area, situated in the southern part of the Imperial horst. In the northern part of the horst (line 4), the values fall to 2 ohm-m. Anomalies with 1 ohm-m minima reflect a clear coincidence with the present producing field, the evaporation pond, and the thermal manifestations area (Figure 6).

A map of isoresistivities for depths varying between 500 to 1500 m was developed independently, whether these depths correspond to the conductive layer or not. This map has the same prominent characteristics as the configuration of the conductive layer; it even has the resistivity high observed in the Ejido Saltillo, where resistivities are higher than 25 ohm-m.

A map of the depth to the base of the conductive formation was also drawn up, based on the data gathered from the electrostratigraphic profiles. Some of the depths were inferred due to a lack of contact definition. This map shows that the contour lines have a certain alignment with the geological structures. Nevertheless, in some cases the trends are not very clear.

The isoresistivity map of the resistive layer was based on resistivity values for the deepest layer, according to electrostratigraphic profiles. An analysis of resistivity values points out that these vary irregularly between 10 and 150 ohm-m, and that minima are observed on the faults as well as away from them.

Longitudinal Conductance

A longitudinal conductance map combines resistivity parameters of the strata and their respective thickness. Values from 40 to 1500 mhos can be observed. Given the different resistivities and thicknesses used in the calculations, the conductive areas are not clearly defined, since higher values than those reported here can be found in areas outside of the Cerro Prieto geothermal field. This is due to the greater thickness encountered in these areas.

ELECTRIC DISCONTINUITIES AND THEIR STRUCTURAL CORRELATION

A map of structural and electrical discontinuities was prepared showing their relation with the different geological structures. The relation of these electric discontinuities with gravimetrically inferred structures, with which they have been genetically related, is amazing. The electric discontinuities observed represent zones of weakness or high porosity, related to fracturing due to faulting and, in some areas, due to thermal effects. A reversal of the vertical displacement of the resistive block, with respect to the fault movement, was also observed in the case of these

discontinuities. This is due to recementation of the fault plane and one of the blocks.

FINAL COMMENTS

Based on a correlation of resistivity studies with surface geology and a gravimetric interpretation of the Mexicali Valley, it can be stated that regional anomalies of high and low resistivity have some relation to the large subsurface structures. The analysis of apparent and calculated resistivity configurations suggest a relation of said anomalies with horsts, grabens or en echelon faults.

Two important low resistivity anomalies have been identified in this study: one in the present geothermal field between lines 1 and 7, and another 15 km to the southeast between lines 10 and 11. The first is over the Cerro Prieto horst and the second is over the upthrown block to the west of the Cerro Prieto fault.

A direct association between resistivities in the resistive layer and the thermal areas cannot be established by analysis, since a contrast between the resistivities observed inside and outside the field cannot be defined. It is obvious, however, in spite of this, that the thermal activity is reflected in the electric properties of the overlying rock which appears as a low resistivity zone.

The low resistivity anomaly, situated in the southeast portion of the Cerro Prieto field, lies in an area where there is no thermal evidence on the surface, and where the sandy and clayish sedimentary layers seem to be 1400 to 2300 m thick, according to the electrostratigraphic interpretation.

In geothermal studies based on electrical methods, it is generally considered that when the temperature reaches a certain level, formation resistivity is reduced. Nevertheless, an increase in the porosity of the rock or in the salinity of the fluid has the same effect. Therefore, a low-resistivity anomaly does not necessarily signal a geothermal reservoir, although a geothermal reservoir generally corresponds to a low-resistivity zone because of a combination of various characteristic factors: porosity, salinity and temperature.

Although the southeast anomaly could be due only to porosity and salinity factors peculiar to the deposition environment, it could also reflect a possible geothermal field, similar to that found at Cerro Prieto. Both anomalies are somehow associated with the Cerro Prieto fault, and if one field was found along it, the characteristics of the second anomaly point out an area of interest where exploratory wells should be drilled. As for the Imperial horst, no significant low-resistivity anomalies have been detected. Several small 2-ohm-m minima are present in the conductive stratum near Ejido Tamaulipas, but it would be risky to give them any geothermal interpretation in view of the low-resistivity values surrounding them.

FIGURE CAPTIONS

Figure 1. Map of apparent isoresistivities for $AB/2 = 1000$ m. The faults correspond to those interpreted by gravimetry (1978) in the possible basement of the sedimentary series, and to those visible at the surface.

Figure 2. Electrostratigraphic section for line 1. The faults have been placed according to the position interpreted by gravimetry.

Figure 3. Electrostratigraphic section for line 2. The faults have been placed according to the position interpreted by gravimetry.

Figure 4. Electrostratigraphic section for line 3. The faults have been placed according to the position interpreted by gravimetry.

Figure 5. Electrostratigraphic section for line 4. The faults have been placed according to the position interpreted by gravimetry.

Figure 6. Map of isoresistivities for the conductive layer. The faults correspond to those interpreted by gravimetry (1978) in the possible basement of the sedimentary series, and to those visible at the surface.