

CORRELACION DE SECCIONES TRANSVERSALES EN BASE A REGISTROS ELECTRICOS DE POZOS DEL CAMPO GEOTERMICO DE CERRO PRIETO

A. Abril G.
Comisión Federal de Electricidad
Mexicali, Baja California, México

J. E. Noble
Lawrence Berkeley Laboratory, University of California
Berkeley, California, USA

RESUMEN

La Comisión Federal de Electricidad de México y Lawrence Berkeley Laboratory, actualmente dirigen en conjunto investigaciones sobre el Campo Geotérmico de Cerro Prieto, localizado aproximadamente a 35 Kms. al Sur de la ciudad de Mexicali, Baja California, México.

Basados en los registros eléctricos y en la elaboración de secciones transversales con éstos, se ha realizado este estudio que consiste básicamente en la correlación de marcas eléctricas detectadas por medio de registros. También se han utilizado los perfiles de temperatura como apoyo para diferenciar lo que hemos denominado como yacimiento A y B.

Durante el desarrollo de este artículo se presenta la descripción estratigráfica observada en las secciones, así como también la presencia de fallas y lo más importante como lo es la identificación de los estratos productores.

Como punto final se presenta la utilidad de este tipo de estudios en la programación de nuevos pozos y la selección de los intervalos productores, así como en la formación del Modelo Geológico del campo.

INTRODUCCION

Antes de la invención de los registros en pozos, -prácticamente la única manera de conocer el tipo de fluidos de una formación, así como también las características litológicas de la columna perforada, era mediante la inspección y análisis directo de las muestras de roca cortadas por la barra y pruebas de formación; en la actualidad es posible conocer estas propiedades fundamentales -- con la interpretación de los registros eléctricos.

Con la interpretación cualitativa de los registros de pozos de Cerro Prieto y la construcción de cuatro secciones transversales como lo indica la Figura 1, se elaboró este trabajo tratando de conocer mejor la estructura geológica del campo y como es también necesario para Ingeniería de Yacimientos, el conocimiento de ciertos parámetros básicos para su estudio.

Los registros de pozos utilizados en el presente trabajo, consisten de las curvas de Potencial Espontáneo (SP) y la curva de resistividad.

Geología del Valle de Mexicali

El Valle de Mexicali como es conocido por todos, está formado en su parte central por depósitos deltaicos del Río Colorado, constituidos principalmente por arcillas, limos, arenas y gravas; y hacia el Occidente por arenas y gravas provenientes de la Sierra de Cucapa.

Partiendo de las rocas más antiguas a las más recientes, se tiene una distribución de la forma siguiente:

El basamento está representado por rocas ígneas intrusivas y metamórficas, constituido por granito y metasedimentos que afloran en la Sierras de Cucapa y Juárez.

Siguiendo al basamento se encuentran las alternancias de areniscas y lutitas (sedimentos consolidados) que es donde encontramos produciendo a los pozos y finalmente se encuentran sobreyaciéndolos a estas últimas, los depósitos sedimentarios no consolidados constituidos por arcillas, limos, arenas y gravas.

Columna Estratigráfica

La Figura 2 nos presenta la nomenclatura utilizada en la columna estratigráfica de la que a continuación se hace una breve descripción.

En primer término encontramos las marcas R y A₂ que se localizan dentro de los materiales no consolidados, encontrándose éstos en todos los pozos a profundidades más o menos del mismo orden. Siguiendo a éstas tenemos la marca (N) que limita a la unidad A en la parte inferior y a partir de ella principia la unidad B, siendo (N) el contacto entre los sedimentos consolidados y los no consolidados. El cuerpo que delimitan las marcas (A₂) y (N) es un sello compuesto principalmente por arcillas y gravas que antecede a la zona donde se encuentran en producción los pozos.

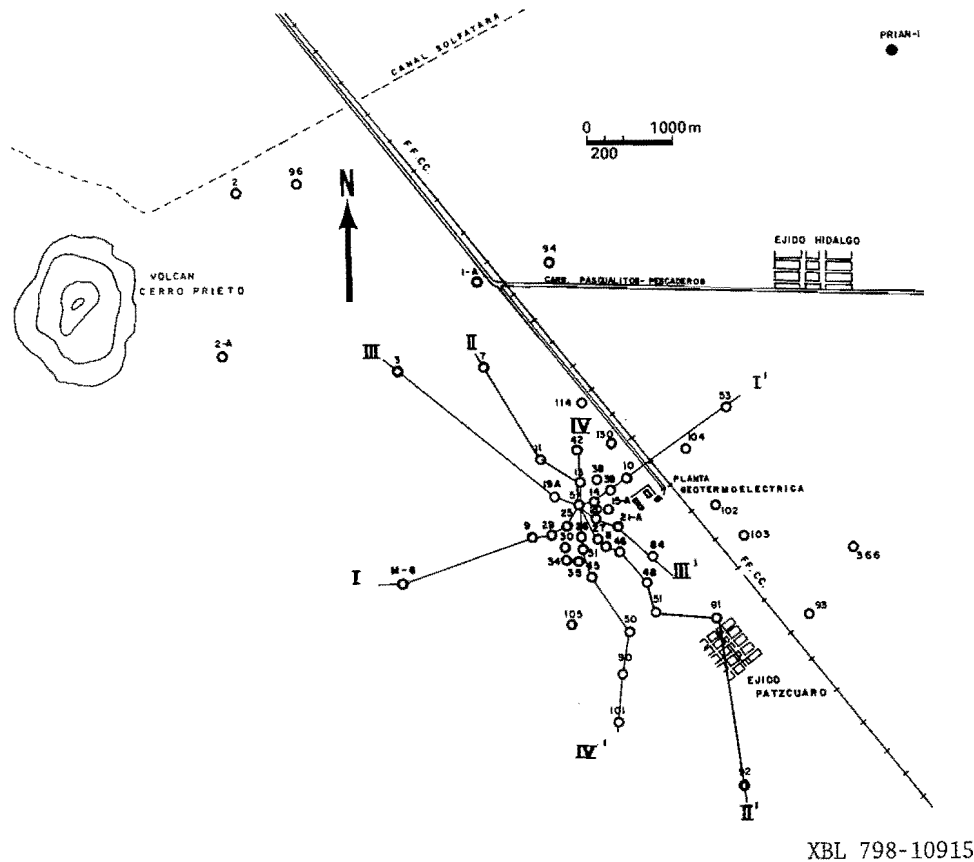


Figura 1. Localización de las secciones transversales.

La unidad B está compuesta por los cuerpos L_1 , L_2 y los yacimientos A y B dentro de los sedimentos consolidados. Tanto los cuerpos lenticulares L_1 y L_2 como los yacimientos A y B, se encuentran separados por cuerpos lutíticos que varían entre 20 y 50 metros de espesor aproximadamente.

Finalmente tenemos lo que consideramos como unidad C denominado el basamento granítico, que pocos pozos son los que han llegado a tocarlo, (pozos M-3, M-96, S-262) y en otros que a pesar de la profundidad del orden de 3,500 m. (pozo Prián 1) no se llegó al basamento ni se detectó indicios de temperaturas anormales.

Correlación de secciones transversales en base a los registros eléctricos.

Sección I-I'

La Figura 3 nos muestra la sección I-I' con rumbo NE-SO, en la cual se pueden ver los pozos que la componen, siendo una representación a escala de la sección transversal original.

Lo que podemos apreciar al observar la Figura, es en primer lugar, la identificación de marcas eléctricas presentes a lo largo de la sección, así como también cuerpos lutíticos que delimitan los diferentes cuerpos considerados como yacimientos. También encontramos dos grandes fallas (f-I y f-II) que nos dividen el campo en tres bloques diferentes.

En la misma figura podemos apreciar los intervalos abiertos a producción, lo que da idea de cual es la zona en la que se encuentran terminados cada uno de los pozos.

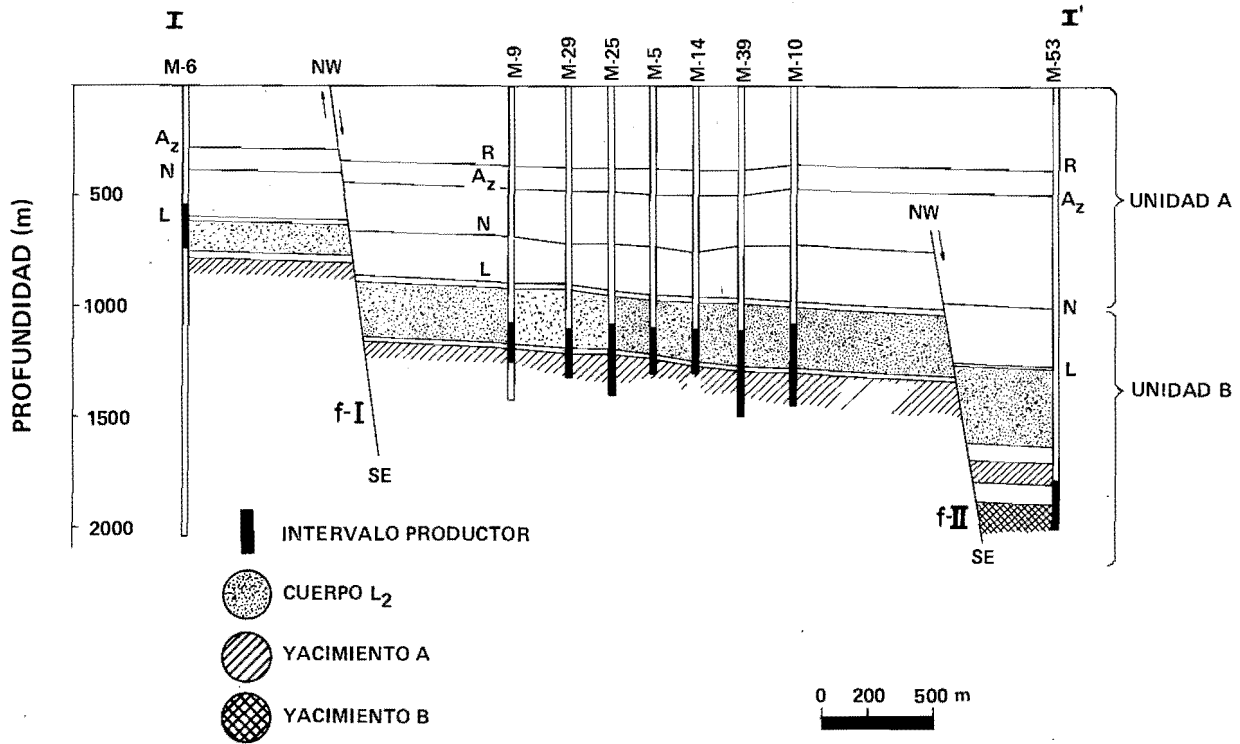
Partiendo del nivel del terreno hacia abajo, en primer término encontramos las marcas eléctricas (R) y (A_2) dentro de la unidad A, las cuales son fácilmente identificables en los registros eléctricos a lo largo del campo. Enseguida encontramos lo que consideramos como el contacto entre los sedimentos consolidados y no consolidados (marca N). La marca (L) nos representa la cima de un cuerpo lutítico que varía de 20 a 30 metros de espesor presente a lo largo de la sección, el cual separa al cuerpo L_2 de los superiores.

Cuerpo L_1

El cuerpo L_1 es el intervalo comprendido entre las marcas eléctricas (N) y (L), compuesto básicamente por una serie de lentes de areniscas y lutitas careciendo de interés geotérmico, sin embargo se puede observar que se encuentra dentro de los sedimentos consolidados.

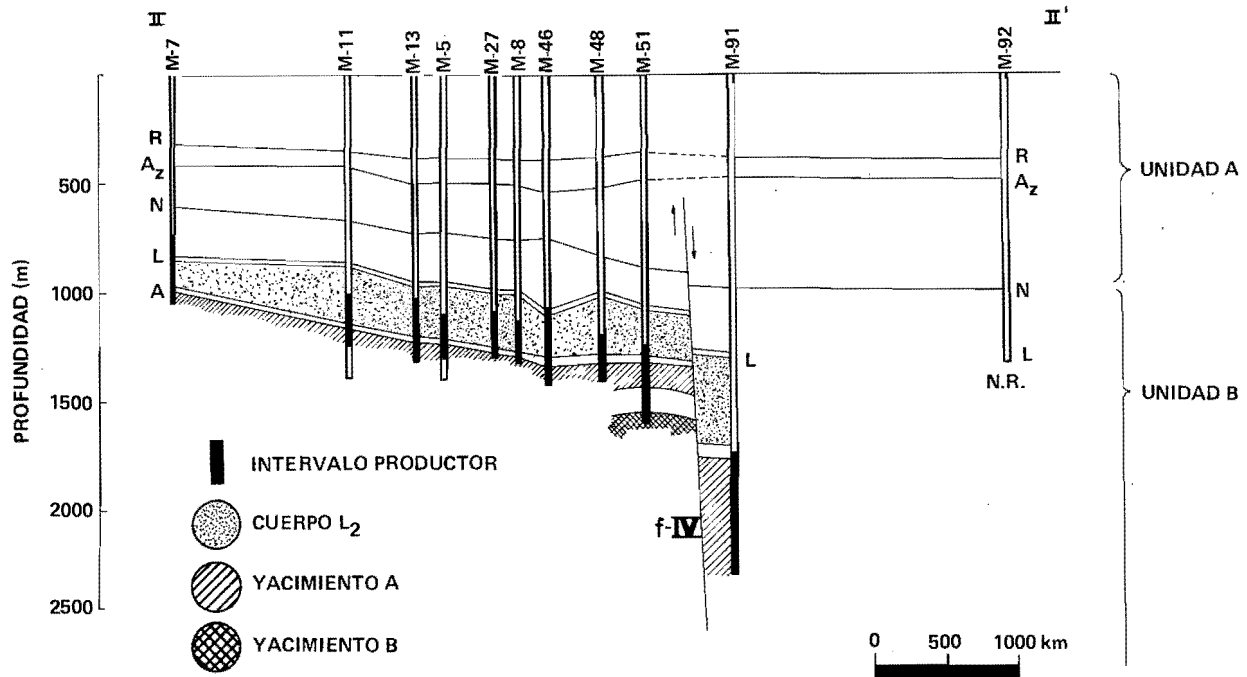
Cuerpo L_2

Este cuerpo se representa con la zona punteada y puede apreciarse que únicamente el pozo M-53 no se encuentra terminado en esta zona, en cuanto a los



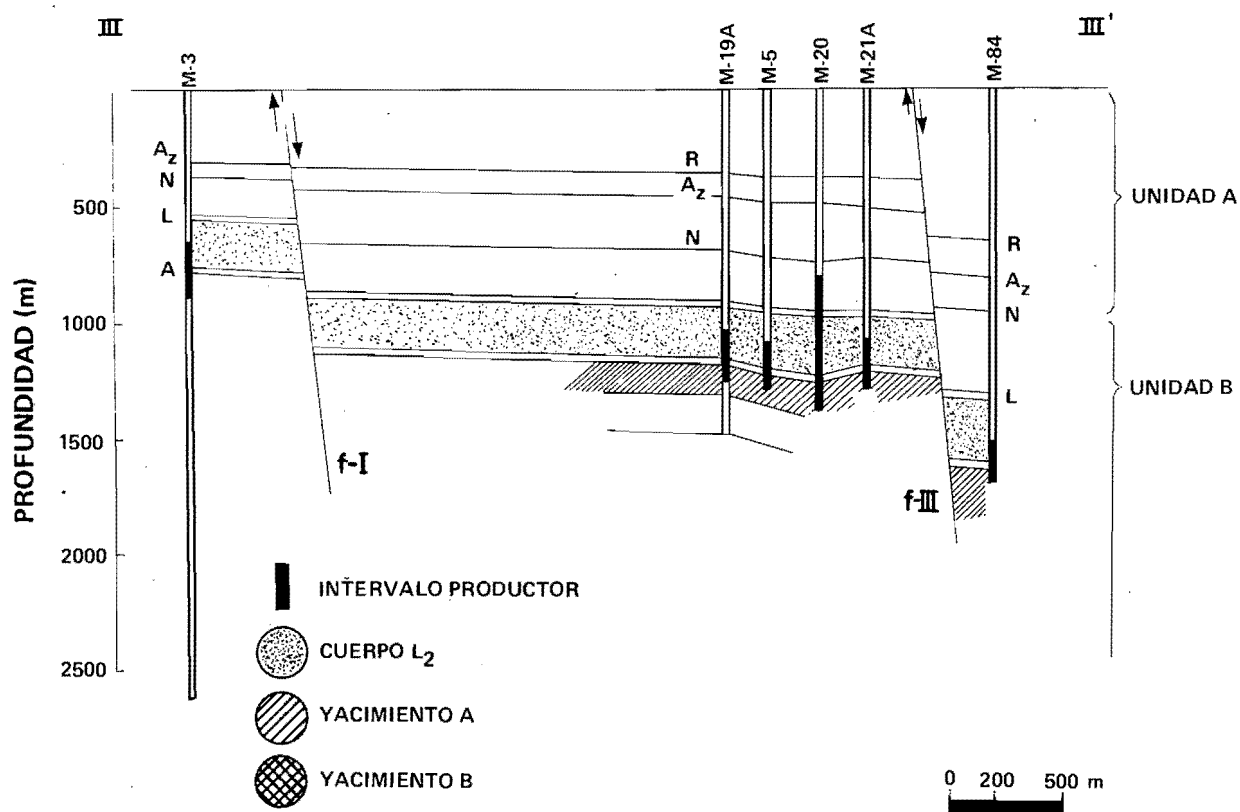
XBL 798-10921

Figura 3. Sección transversal I-I''



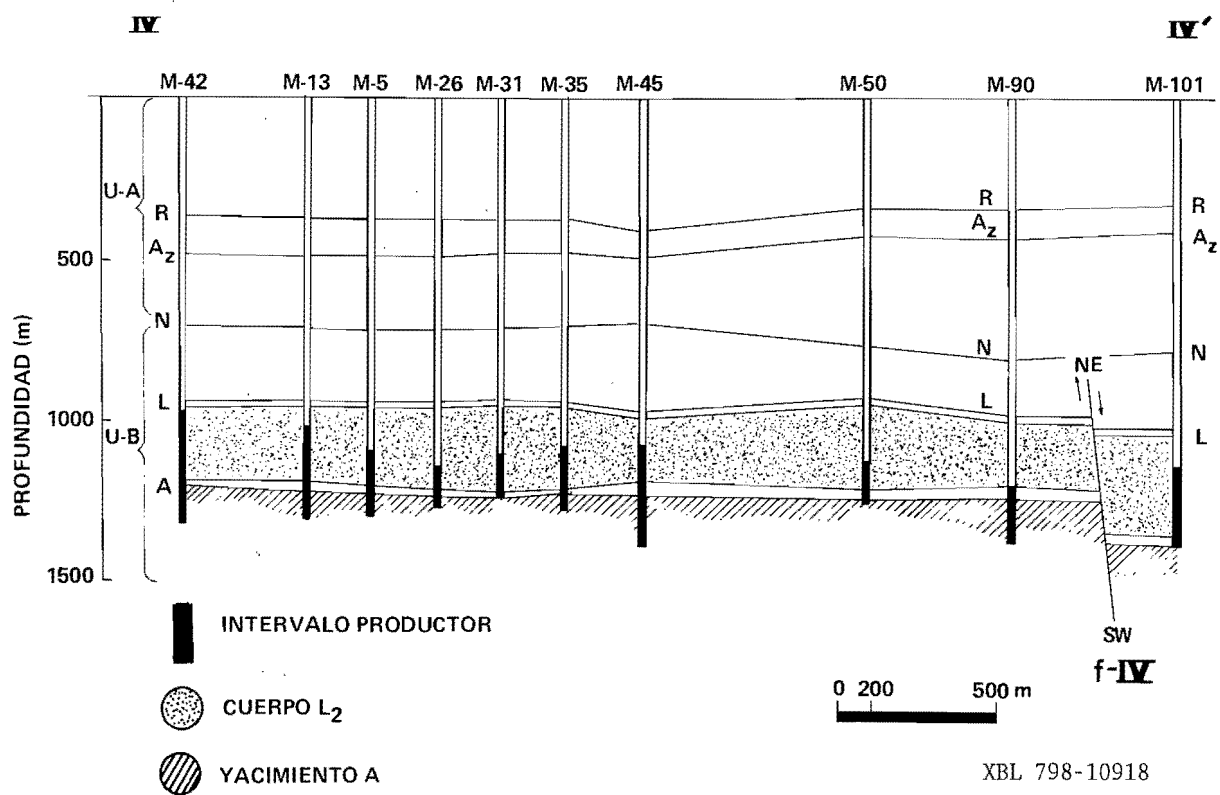
XBL 798-10920

Figura 4. Sección transversal II-II''



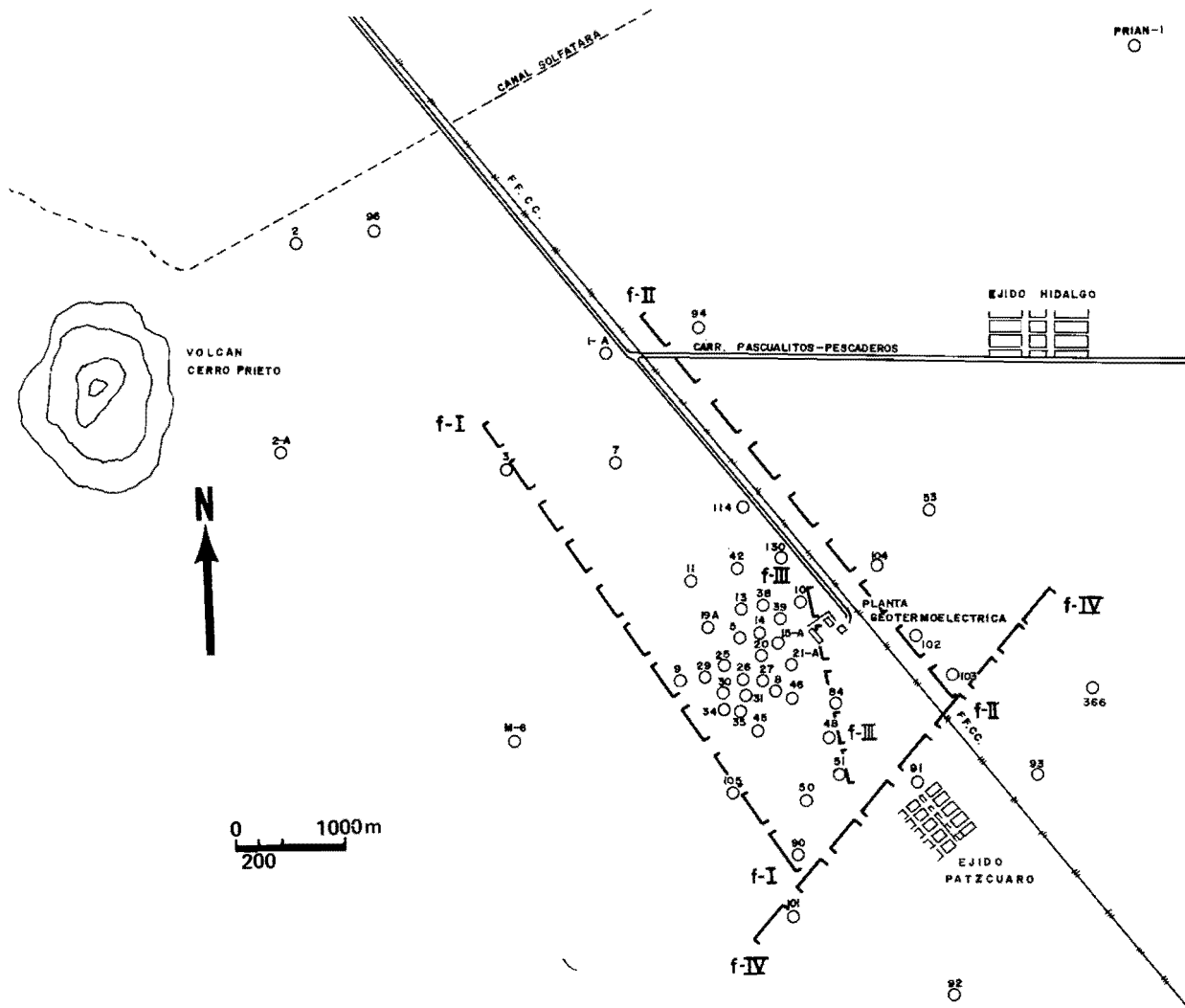
XBL 798-10919

Figura 5. Sección transversal III-III''



XBL 798-10918

Figura 6. Sección transversal IV-IV''



XBL 798-10917

Figura 7. Localización de fallas.

- 2.- Con este tipo de correlaciones y la identificación de zonas ideales para producción (yacimientos) se logra la determinación de espesores netos de arena en estas zonas, así como la presencia de fallas en el campo (Figura 7), que nos sirven en el estudio de Ingeniería de Yacimientos.
- 3.- En cuanto a futuros programas de reinyección de agua al yacimiento, estas secciones serán de gran utilidad en la determinación de la mejor zona para este fin.
- 4.- El presente trabajo nos permitirá elaborar una serie de planos de cimas y bases de los cuerpos de interés así como de isopocas que

son indispensables en el estudio de Ingeniería de Yacimientos.

Referencias

- (1) A. Mañón, A. de la Peña, I. Puente C. El Campo Geotérmico de Cerro Prieto, Estudios realizados y programas futuros 1978. (Trabajo presentado en el Simposio sobre Exploración Geotérmica en Quito, Ecuador, en Marzo de 1978 OLADE).
- (2) I. Puente C., Geología del Campo Geotérmico de Cerro Prieto. (Ref. IG-15-77 Simposio Geotérmico de San Felipe, B.C.

GEOPHYSICAL WELL-LOG CORRELATIONS ALONG VARIOUS CROSS SECTIONS OF THE CERRO PRIETO GEOTHERMAL FIELD

ABSTRACT

The Comisión Federal de Electricidad of Mexico and Lawrence Berkeley Laboratory of the United States are currently conducting joint investigations of the Cerro Prieto geothermal field, located approximately 35 km south of the city of Mexicali, Baja California, Mexico. Based on the geophysical well logs, transversal cross sections were constructed. This study consists mainly of correlating electrical markers observed in the logs. Temperature logs were also used to assist in the differentiation of what we call reservoirs A and B.

In this article the stratigraphy observed in the cross sections, the faults, and the identified producing layers will be described. Finally, the usefulness of this type of study for planning new wells, for selecting producing intervals, as well as for the development of the geologic model of the field will be presented.

INTRODUCTION

Before well logs were developed, practically the only means available to establish the type of formation fluids as well as lithological characteristics of the drilled column were direct inspection and analysis of rock samples cut by the bit, and formation tests. It has now become possible to determine these fundamental properties through geophysical log interpretation.

Based on the qualitative interpretation of the Cerro Prieto well logs, and on the development of four cross sections as shown in Figure 1, this paper was prepared in order to better define the geologic structure of the field and to gain insight into basic parameters, which are needed for reservoir engineering studies. The well-log data used in this paper are the self-potential (SP) and formation resistivity curves.

GEOLOGY OF THE MEXICALI VALLEY

It is well known that the Mexicali Valley is made up of deltaic deposits of the Colorado River (mainly clays, silts, sands, and gravels) in its central part and of sands and gravels from the Sierra de Cucapa in its western part.

The lithologic column is as follows, from the oldest to the more recent formations. The basement is represented by igneous intrusive and metamorphic rocks, consisting of granite and metasediments, which crop out in the Cucapa and Juárez Ranges. Above the basement, alternating layers of sandstones and shales (consolidated sediments) are present, from which the geothermal fluids are produced. Finally, overlying the

latter, there are unconsolidated sedimentary deposits made up of clays, silts, sands, and gravels.

Stratigraphic Column

Following is a brief description of the nomenclature used in the stratigraphic column shown in Figure 2.

First, we find marker R and A_z within the nonconsolidated materials. These are found in all wells at more or less the same depths. Following this we have marker N, which separates units A and B; N is the contact between consolidated and unconsolidated sediments. The body limited by marker A_z and N is a caprock made up primarily of clays and gravels, which in the wells is above the producing zones.

Unit B is composed of bodies L_1 and L_2 , and of reservoirs A and B within the consolidated sediments. Both lenticular bodies L_1 and L_2 and reservoirs A and B are separated by lutitic bodies, which vary approximately between 20' and 50 m in thickness.

Finally we have what we consider unit C, the granite basement, which very few wells have penetrated (wells M-3, M-96, S-262). Other wells have not reached basement, despite a depth of 3500 m (well Prian 1). In Prian 1, there were no signs of abnormal temperatures.

CROSS SECTION CORRELATION BASED ON WELL LOGS

Section I-I'

Figure 3 shows section I-I', with northeast-southwest strike, showing the wells along the section line. By studying this figure we can identify the electrical markers present along the cross section, as well as the lutitic bodies defining the different bodies considered to be reservoirs. We also find two major faults (f-I and f-II), which divide the field into three different blocks. In the same figure we see the open production intervals, which give us an idea of the location of zones completed in each well.

From the surface down, in unit A, we first find electrical markers R and A_z , which can be readily identified in the geophysical logs throughout the field. Immediately following, we find what we consider to be the contact between the consolidated and unconsolidated sediments (marker N). Marker L represents the top of a lutitic body, varying from 20 to 30 m in thickness, present along the section, and separating body L_2 from the upper layers.

Body L₁. The body L₁ corresponds to the interval between electrical markers N and L. It is basically made up of a series of sandstone lenses and shales of no geothermal interest. Nevertheless, it lies within the consolidated sediments.

Body L₂. This body is represented in the figure by the dotted area. M-53 is the only well not completed in this zone. All the remaining wells have most of their production intervals in this zone. Analyses of cuttings have shown that this area has the highest content of carbonate cement which causes larger scaling in the production casings.

Reservoir A. Figure 3 shows that all wells penetrated this body, though not totally, and all production intervals are open in body L₂ as well as in reservoir A, except for well M-53. This reservoir is separated from L₂ by a lutitic body, which sometimes reaches a thickness of up to 50 m.

Reservoir B. Only well M-53 reaches reservoir B. Reservoirs A and B have the highest temperature (from 315 to 350°C). The cementing material in this zone is predominantly silica, which does not result in scaling as carbonate cements do.

The faults identified in section I-I' are shown in Figure 7. Fault f-I lies between wells M-6 and M-9, with a northwest-southeast strike. The other fault (f-II) has the same strike and is located between wells M-10 and M-53.

Section II-II'

Figure 4 is a scaled representation of Section II-II' with a northwest-southeast strike. The figure shows the completion of the wells that make up the section in relation to the bodies identified as reservoirs. The characteristics of the stratigraphic column are similar to those discussed above.

In this section we find fault f-IV, with a northeast-southwest strike, between wells M-51 and M-91, and between wells M-90 and M-101. In well M-92 the correlation continues with a horizontal trend; it can be identified as far as marker L, below which it is not possible to determine the rest because no well logs were run to the bottom of the well.

Section III-III'

In Figure 5 we find the same distribution as in the previous sections, observing once again

fault f-I between wells M-3 and M-19A with a northwest-southeast strike, and fault f-III between wells M-21A and M-84.

Section IV-IV'

Along this entire section, a uniform stratigraphy can be observed, and there are no instances in which all three bodies of geothermal interest have been penetrated. Fault f-IV lies between wells M-90 and M-101. Well M-101 did not reach the two reservoirs (Figure 6).

COMMENTS

1. In the well-log cross sections shown, the position of each well with respect to reservoirs A and B can be observed. It is noted that most wells have been completed into reservoir A or in the lenticular body L₂.

2. Determination of net sand thickness in the identified reservoirs and presence of faults (Figure 7)--data useful for reservoir engineering studies--can be obtained with these types of correlations.

3. These cross sections will also be extremely useful in determining the best zones for future programs of water reinjection into the reservoir.

4. This study will enable us to develop a series of maps of the tops and bases of bodies of interest, as well as of isopach maps--which are indispensable tools in reservoir engineering studies.

FIGURE CAPTIONS

Figure 1. Location of cross sections.

Figure 2. Electrical markers used for well log correlation.

Figure 3. Cross section I-I'.

Figure 4. Cross section II-II'.

Figure 5. Cross section III-III'.

Figure 6. Cross section IV-IV'.

Figure 7. Location of faults.