

CORRELACIONES LITOLOGICAS DE LOS POZOS DEL CAMPO DE CERRO PRIETO CON BASE EN LA INTERPRETACION DE LOS REGISTROS ELECTRICOS

R. Prian C.
Asesor de la Comisión Federal de Electricidad
México, D.F., México

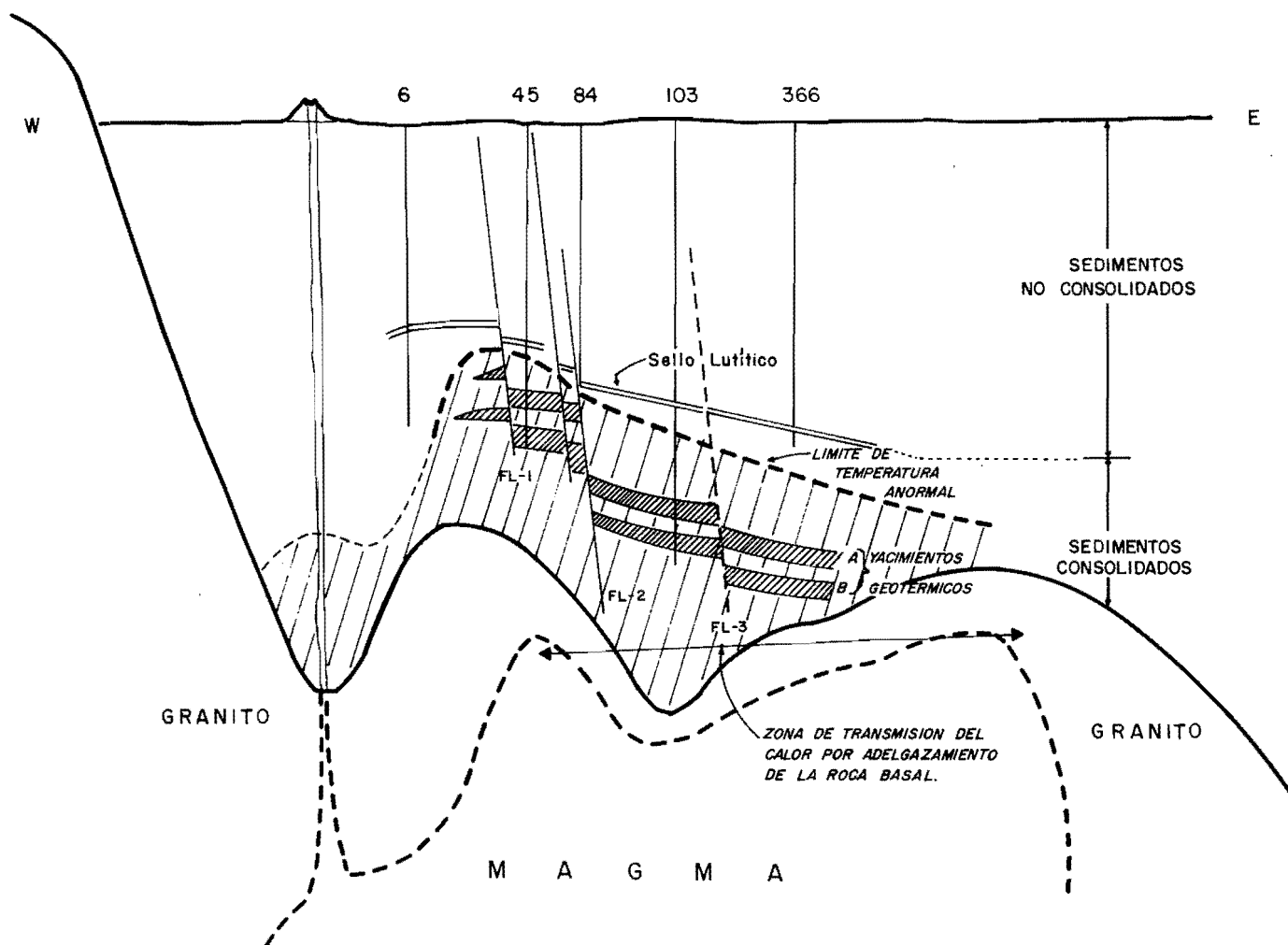
El estudio litológico- estructural del Campo Geotérmico de Cerro Prieto, se inició con la correlación de los registros eléctricos de los pozos perforados en él, auxiliándose con algunos de los registros de temperatura disponibles.

Se seleccionaron casi arbitrariamente algunas marcas eléctricas que sirvieran de punto de partida para la correlación, obteniéndose de esta

manera un bosquejo inicial de la estructura almacenante y su secuencia estratigráfica.

ESTATIGRAFIA

Se pudo apreciar en esta correlación que la secuencia estratigráfica, descrita de manera tosca y general, está constituida por dos grandes paquetes de rocas sedimentarias cuyo espesor aumenta hacia el E. y que subyacen sobre la roca basal --



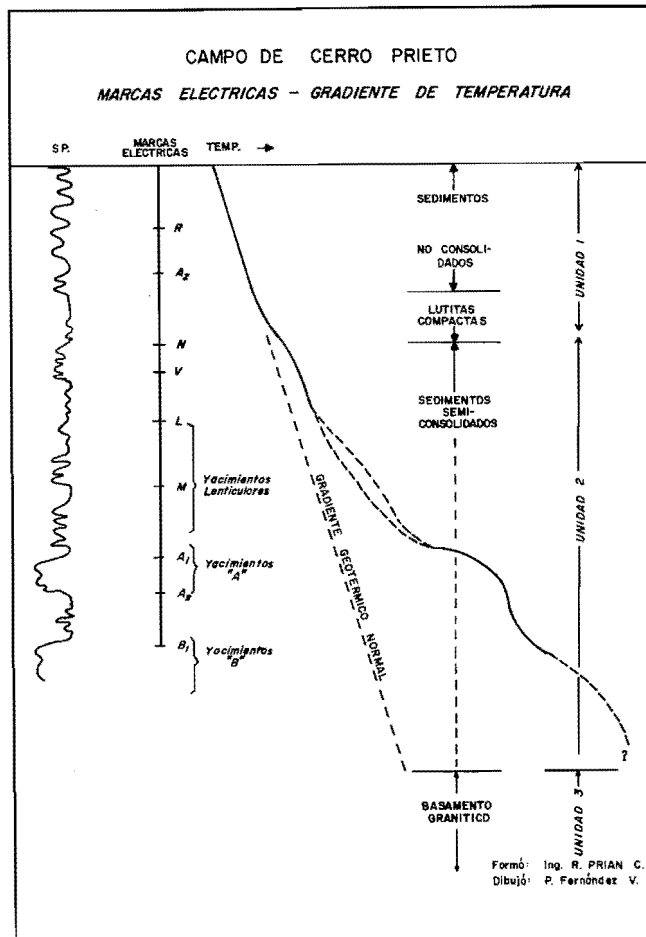
XBL 793-8890

Figura 1. Sección transversal idealizada oeste-este del campo de Cerro Prieto.

que en este caso es un granito (fig.1) Ambos paquetes sedimentarios están separados entre sí por un cuerpo lutítico que puede decirse que sirve de sello o barrera (por lo menos en buena parte del campo), al paso del calor. En realidad se ha observado en los pozos del E, que este límite entre los gradientes térmicos normal y anormal, se inclina haciéndose más profundo a medida que se aleja hacia el E, pero no se ha encontrado todavía una explicación satisfactoria a tal fenómeno.

El paquete sedimentario más somero ó Unidad 1, (fig 2.) lo constituye una secuencia de limos arcillas, gravas y arenas no consolidadas, que según los registros eléctricos están saturados con aguas dulces, las que van aumentando en salinidad a medida que aumenta su profundidad.

En cuanto a la temperatura, esta unidad tiene un gradiente geotérmico normal, es decir ---- aproximadamente $25^{\circ}\text{C}/\text{Km}$.



XBL 793-8891

Figura 2. Esquema que relaciona las marcas eléctricas del SP con el gradiente de temperatura y la columna litológica.

El paquete sedimentario inferior ó unidad 2 lo forma una alternancia de lutitas, arenas y areniscas semiconsolidadas y consolidadas, las cuales según los registros eléctricos contienen aguas saladas. En algunos casos se observa, en los registros, la presencia de gas, probablemente dióxido de carbono. En esta segunda unidad es donde se aprecia un gradiente geotérmico anormal (mayor de $30^{\circ}\text{C}/\text{Km}$) y es aquí donde se encuentran los cuerpos arenosos que constituyen los yacimientos geotérmicos.

ESTRUCTURA ALMACENANTE

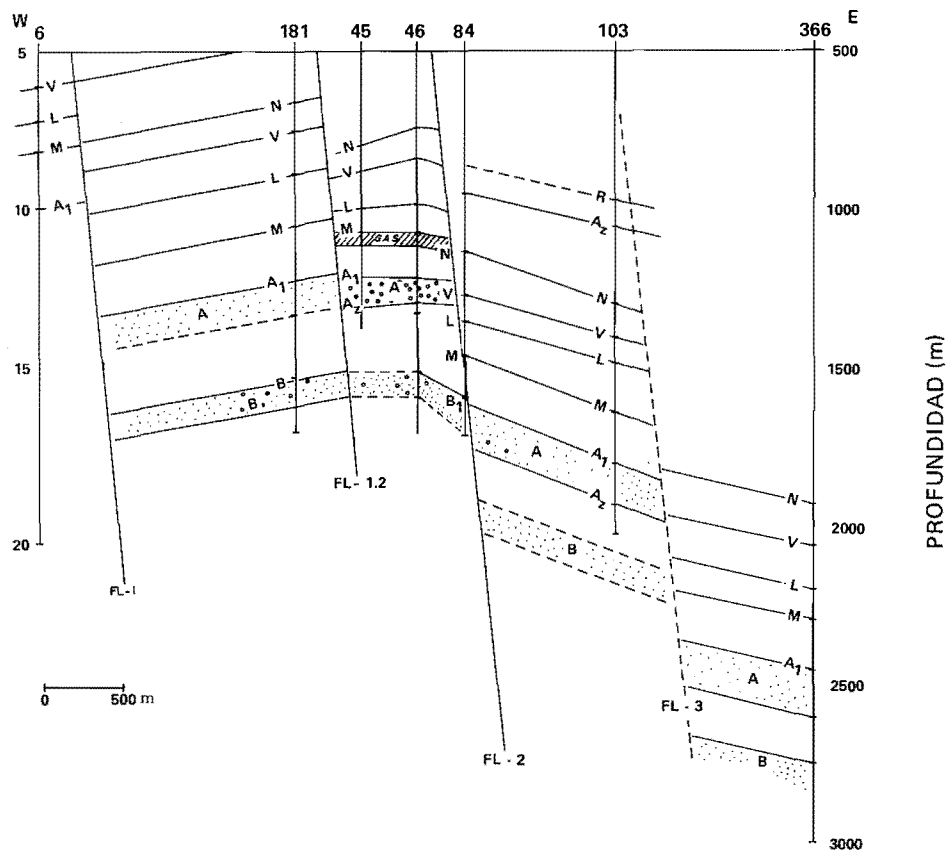
La correlación de los registros eléctricos permitió definir un sistema de fallas normales, - que aquí se les denominó "fallas longitudinales", (FL) que cortan a la estructura almacenante según la dirección NW-SE, y forman una serie de bloques escalonados que caen hacia el E, y en uno de los cuales se encuentran perforados la mayoría de los pozos actualmente en explotación.

Se determinaron también, dos fallas normales casi perpendiculares a las anteriores por lo que es probable la existencia de un segundo sistema de fallas a las que se les denominó "fallas transversales". (FT)

Ambos sistemas dan lugar, en el sentido NW-S-E, a la formación de un horst y en el sentido E-W, como ya se mencionó, a una serie de bloques escalonados que caen hacia el E.

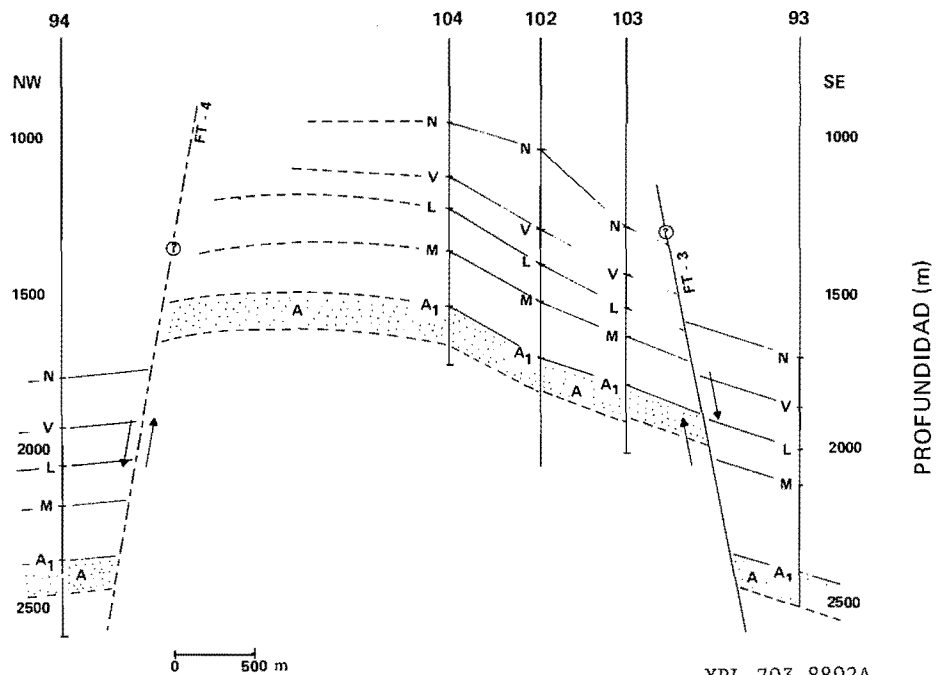
Aunque los registros de temperatura indican la presencia de dos o tres intervalos con elevada temperatura, las secciones transversales construidas con los registros eléctricos, muestran que solamente dos cuerpos arenosos son consistentes en el campo geotérmico y constituyen por tanto los dos yacimientos más importantes. (Fig. 3 y 4) La tercera anomalía térmica está formada por una serie de cuerpos arenosos lenticulares, más someros que desde luego pueden ser abiertos a explotación pero dependerá en todo caso de cada pozo en particular (Fig.2). Aquí solamente se hace mención que en realidad estos cuerpos son, muy probablemente, independientes de los yacimientos principales por la razón de su lenticularidad.

Al yacimiento principal más somero, se le denominó yacimiento A y es el que se ha venido explotando en la mayoría de los pozos del campo. Al yacimiento más profundo se le denominó yacimiento



XBL 793-8889S

Figura 3. Sección transversal esquemática, según oeste-este.



XBL 793-8892A

Figura 4. Sección transversal esquemática, según noroeste-sudeste.

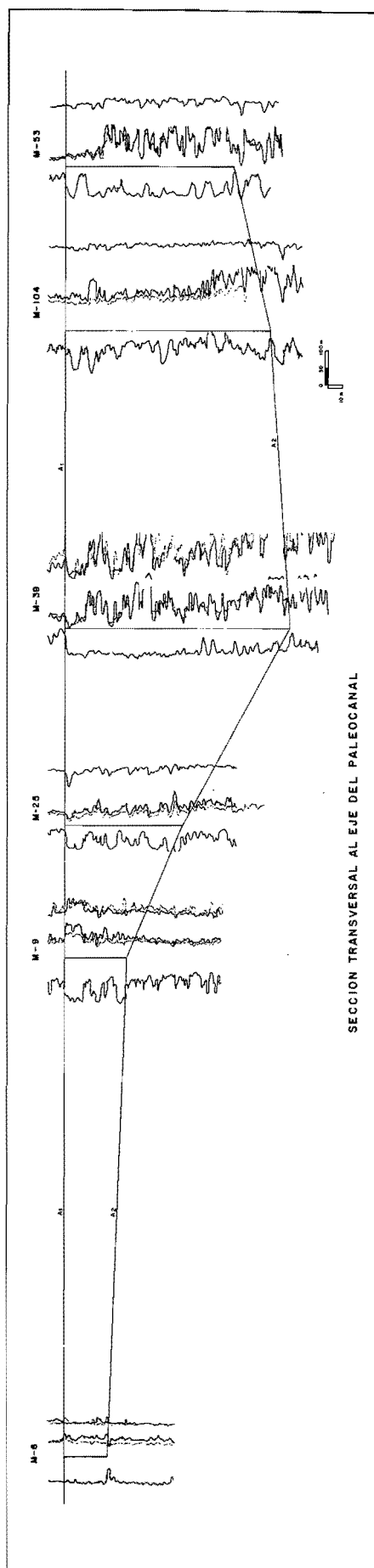
B y solamente ha sido penetrado parcialmente en unos pocos pozos y atravesado sólo en dos. Por lo anterior, el yacimiento A ha sido mejor estudiado en cuanto a la expresión de sus curvas de potencial natural (según los patrones establecidos -- por S.J. Pirson, S. L. Fisher y G.E. Visser), lo que permitió llegar a la conclusión de que por lo menos los cuerpos arenosos principales de la --- Unidad 2 constituyen un paleocanal, que pueden ser un distributario ó el cauce principal de un paleo sistema deltáico.

Se observan también en los registros eléctricos algunas transgresiones y regresiones marinas, las que probablemente propiciaron la acumulación de sedimentos calcáreos y evaporíticos.

Para comprobar que la estructura almacenante la constituye un paleocanal, se construyó una sección transversal E-W, de manera que lo cortara -- perpendicularmente a su eje longitudinal; pero -- sin la influencia de las fallas, es decir se trató de restablecer las condiciones de la época de su generación (Fig.5).

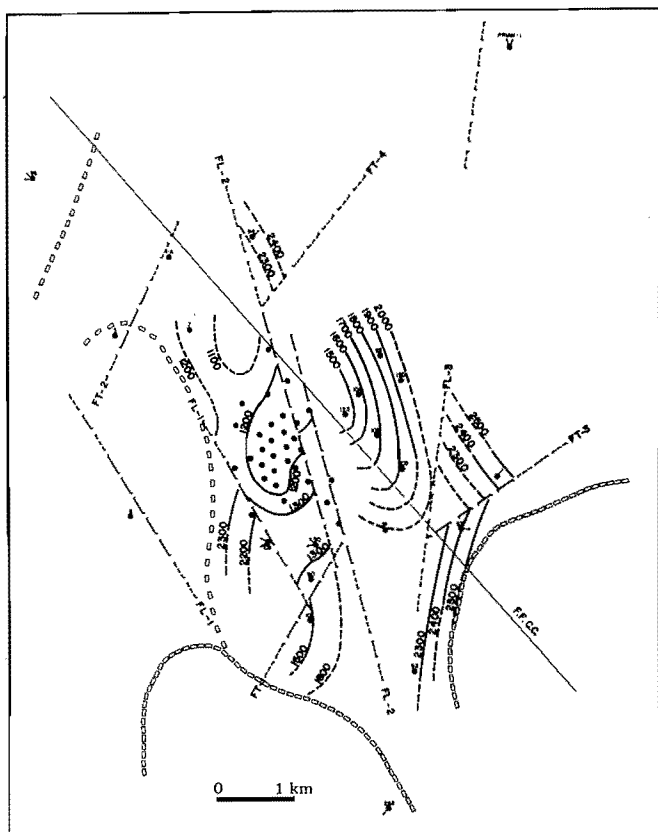
Para lograr esto se hizo coincidir, en el dibujo, la cima del yacimiento A con una horizontal que se supone es paralela a la época de su formación. El resultado muestra la sección transversal de un cauce o canal en el que se aprecia un aumento del material lutítico hacia el W. --- Existe también una clara correspondencia entre la posición de cada pozo en el paleocanal y su isopaca correspondiente. Asimismo se observa que hacia el W entre los pozos M-9 y M-6, hay una -- pendiente muy suave y prácticamente ausencia de arenas, lo que parece indicar la existencia de -- una laguna o vaso de sedimentación.

Aunque la sección transversal antes citada solamente se contruyó para el yacimiento A, porque como ya se mencionó antes no se dispone de -- suficientes pozos que hayan penetrado al yacimiento B, puede esperarse razonablemente, que --- este yacimiento inferior también sea un paleocanal y dado que los pozos del extremo E, como el -- 51, 53 y 91, tienen arenas más limpias en este -- yacimiento, puede concluirse que estos pozos están cercanos ó en el eje del paleocanal "B", ó sea que hacia el E, se deberá ampliar el área -- que ocupa el paleocanal, y los límites probables del campo se amplían por tanto, en esta direc---



XBL 793-8886

Figura 5. Sección transversal al eje del paleocanal, suponiendo que no existen fallas.



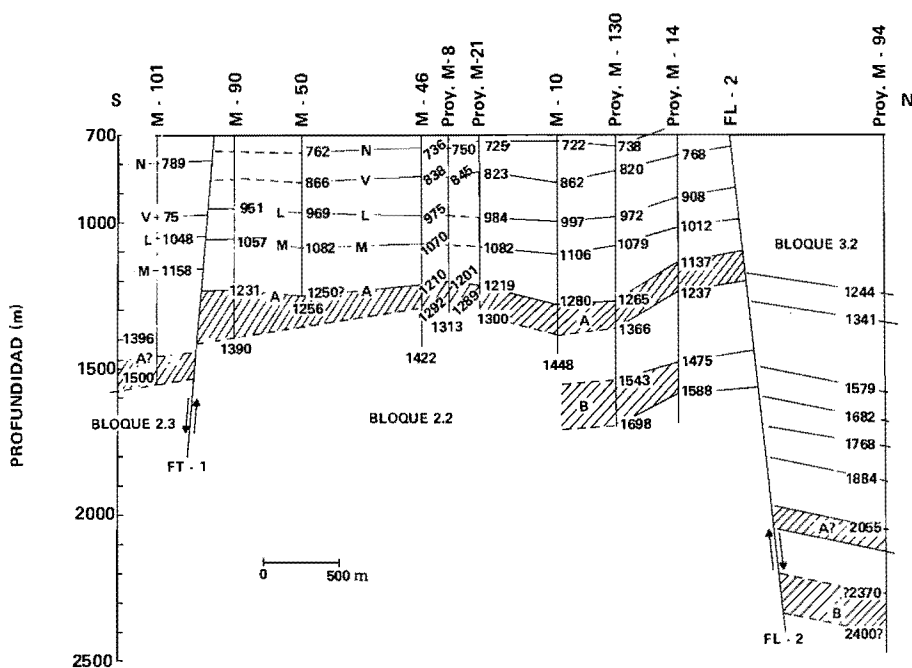
XBL 793-8887

Figura 6. Cima del yacimiento "A" (en metros).

En el plano de la configuración de la cima del yacimiento A, (fig.6) se pueden apreciar -- hacia el S, los probables límites del campo provocados por el levantamiento de la roca basal. - (obtenidos con una correlación entre los valores del magnetismo residual y la profundidad del basamento alcanzado por los pozos). Se han indicado también los dos sistemas de fallas normales - encontrados con la correlación de registros eléctricos y también se ha señalado una zona al W, - (que incluye a los pozos 43,9,181 y 105) como una zona de baja permeabilidad ya que es aquí donde - se aprecia un franco incremento en el contenido - de lutitas. Se puede notar que hacia el N-NE y E del pozo 53 las posibilidades de desarrollo son muy buenas, tanto desde el punto de vista de su - posición estructural, como desde el punto de vista de su espesor.

La única objeción que esta parte de la estructura pudiera tener, es la profundidad a que se encontrará el yacimiento A, puesto que está en un bloque más profundo que la mayoría de los pozos actualmente en producción.

En el plano de la configuración de la cima
del yacimiento B(no se incluye), construido en al



XBL 793-8888A

Figura 7. Sección transversal esquemática, según sur-norte.

gunos casos mediante la extrapolación de las marcas eléctricas en las secciones transversales, se aprecia una gran similitud con el del yacimiento A, solamente que unos 300m más profundo. También se han determinado los dos sistemas de fallas anteriormente mencionados y por tanto los bloques escalonados hacia el E.

Desde el punto de vista de la producción se ha notado que este yacimiento es muy superior al yacimiento A, probablemente por su presión estática mayor y por su mayor permeabilidad ya que su contenido de lutitas parece ser, a juzgar por los 2 pozos que lo han atravesado, menor.

La configuración de la cima de este yacimiento B, también indica buenas perspectivas para el desarrollo del campo en las direcciones N-NE y E del pozo 53, en una amplia área.

CONCLUSIONES

La correlación de los registros eléctricos en el campo geotérmico de Cerro Prieto ha permitido definir lo siguiente:

1.- La estructura almacenante la constituye uno o varios paleocanales, que pueden ser los dis-

tributarios ó el cauce principal de un paleosistema deltaico.

2.- Constituyen el campo, cuando menos dos yacimientos principales, (A y B), separados entre sí unos 300 m. y un secundario, el más somero, que se encuentra desarrollado en forma lenticular en parte del campo solamente.

3.- La estructura está cortada por dos sistemas de fallas, el llamado aquí "longitudinal", -- con una dirección NW-SE que provoca desplazamientos ó saltos verticales mayores, y el "transversal" con dirección SW-NE, de menores longitudes y menores saltos.

4.- La determinación de la estructura como uno ó varios paleocanales, permite la posibilidad de "seguirlos" con perforaciones a lo largo de su curso, aún en áreas vecinas, si se conoce la configuración del basamento granítico.

5.- Las perspectivas de desarrollo inmediato del campo son aún muy amplias sobre todo en la parte N, NE y E del pozo 53, pero a profundidades que varían de 1400 a 2400m para el yacimiento A, y de 1800 a 2600 m para el yacimiento B.

LITHOLOGIC CORRELATIONS OF THE CERRO PRIETO WELLS, BASED ON WELL LOG INTERPRETATION

INTRODUCTION

The lithological-structural study of the Cerro Prieto geothermal field started with the correlation of well logs with the help of some of the available temperature logs.

Various electrical marker beds were chosen almost arbitrarily to serve as starting points for this correlation. Thus an initial sketch of the storage structure and its stratigraphic sequence was obtained.

STRATIGRAPHY

This correlation showed that the broadly described stratigraphic sequence is made up of two major sedimentary formations showing increasing thickness towards the east and underlain by granitic basement (Figure 1). Both sedimentary packages are separated by a lutitic interval, which can be said to act as a seal or barrier against heat flow (this is true at least in a large portion of the

field). It has been observed, in the eastern wells, that this boundary between normal and abnormal thermal gradients deepens the farther east one goes, but as yet no satisfactory explanation of this phenomenon has been found.

The shallower sedimentary package, or Unit 1 (Figure 2), consists of a sequence of silts, clays, gravels, and unconsolidated sands that, according to the well logs, are saturated with fresh waters whose salinity increases with depth. With regard to temperature, this unit has a normal geothermal gradient--that is, approximately 25°C/km.

The lower sedimentary package, or Unit 2, is made up of alternating lutites, sands and semiconsolidated and consolidated sandstones that, according to the well logs, contain high-salinity water. In some cases, the logs indicate the presence of gas; probably carbon dioxide. This second unit shows an abnormal geothermal gradient (more than 30°C/km) and it is here that the sandy bodies that constitute the geothermal reservoirs are found.

STORAGE STRUCTURE

Well-log correlation defined a normal fault system called longitudinal faults (LF). The faults cut through the storage structure in a northwest-southeast direction and form a series of stepped blocks toward the east. It is in one of these that most of the wells now in operation have been drilled.

Two normal faults were detected almost perpendicular to the former system. These indicate the probable existence of a second fault system, called transversal faults (TF). Both systems form a horst in a northwest-southeast direction and a series of stepped blocks descending toward the east in an east-west direction.

Although the temperature logs indicate two or three high-temperature intervals, the cross sections developed show that only two sandy bodies are traceable over the geothermal field and therefore constitute the two most important reservoirs (Figures 3 and 4). The third thermal anomaly is formed by a series of shallower lenticular sandy bodies which, of course, can be exploited. This will depend on each individual well (Figure 2). These bodies are probably independent of the main reservoirs because of their lenticular nature.

The shallower main reservoir (Reservoir A) has been exploited in most of the wells on the field. The deepest reservoir (Reservoir B) has been partially penetrated by a few wells and traversed by only two. Therefore, Reservoir A has been more thoroughly studied using self-potential curves according to the patterns established by Pirson, Fisher and Visser. Accordingly, we have concluded that the main sandy bodies of Unit 2 constitute a paleochannel --either a distributary or the main channel of a deltaic paleosystem.

The well logs also indicated some marine transgressions and regressions, which probably favored the accumulation of calcareous and evaporitic sediments.

In order to prove that the storage structure consists of a paleochannel, an east-west section was prepared, so as to cut the channel's longitudinal axis perpendicularly and eliminate the influence of the faults. That is to say, the conditions existing at the time of its generation were reestablished (Figure 5).

In order to achieve this the top of Reservoir A in Figure 5 was assumed to be level and was made to coincide with a horizontal line. The result shows a transverse section of a channel where an increase is observed in lutitic material toward the west. There is also a clear correspondence between the position of each well in the paleochannel and its isopach. Toward the west, between wells M-9 and M-6, a slight slope and practically no sand is observed. This seems to indicate a lake or a sedimentary basin.

Although the aforementioned cross section was prepared for Reservoir A, it can be reasonably expected that Reservoir B will also be a paleochannel. Because the wells at the eastern end, such as 51, 53, and 91, have cleaner sands in this reservoir, it can be concluded that these wells are either near or on the axis of paleochannel "B." That is, the area occupied by the paleochannel and the probable limits of the field will extend toward the east.

In Figure 6, the probable boundaries of the field can be seen toward the south due to the uplift of the bedrock. (This was obtained by a correlation between the values of residual magnetism and the depth to basement in some wells.) The two normal fault systems found by the correlation of well logs have also been indicated. In addition, an area toward the west (including wells 43, 9, 181, and 105) is shown as an area of low permeability since this is where a definite increase in the lutities is found. Development possibilities are very good toward the north-northeast and east of well 53, both from the standpoint of structural position and that of thickness. The only objection that could be raised to this part of the system is the depth to Reservoir A, since it is in a deeper block than most of the presently producing wells.

In the drawing of the top of Reservoir B (which is not included), prepared in some cases by extrapolating the electrical logs in the cross-sections, a great similarity with Reservoir A can be seen. The only difference is that Reservoir B is 300 m deeper than Reservoir A. Also, the two fault systems were determined, thus defining the blocks stepping towards the east. From the production viewpoint, it was noticed that this reservoir is superior to Reservoir A, probably due to its greater static pressure and permeability, since it seems to have a lower lutitic content.

The configuration of the top of Reservoir B also indicates good prospects for the development of the field in a broad area in a direction north-northeast and east of well 53.

CONCLUSIONS

Well-log correlation in the Cerro Prieto geothermal field has permitted us to define the following:

1. The storage structure is formed by one of several paleochannels that can be the distributaries or the main channel of a deltaic paleosystem.
2. The field consists of at least two main reservoirs (A and B) 300 m apart, and a shallow secondary lenticular reservoir, which is present in only part of the field.
3. The structure is divided by two fault systems, one called longitudinal, with a northwest-southeast strike, with major vertical displacements, and another termed transverse, with

a southwest-northwest strike, of lesser lengths and throws.

4. The determination that this structure consists of one or several paleochannels opens the possibility of "following" them by drilling along their course, even in neighboring areas, if the configuration of the granitic basement were known.

5. Immediate development perspectives of the field are very broad, especially to the northeast and east of well 53, but at depths that vary between 1400 and 2400 m for Reservoir A, and 1800 and 2600 m for Reservoir B.

Figure 2. Sketch relating markers obtained from SP logs, with temperature gradient and lithological column.

Figure 3. West-east schematic cross section.

Figure 4. Northwest-southeast schematic cross section.

Figure 5. Cross section perpendicular to the paleochannel axis, assuming no faults.

Figure 6. Top of Reservoir A (in meters).

Figure 7. South-north schematic cross section.

FIGURE CAPTIONS

Figure 1. Idealized west-east cross section of the Cerro Prieto field.