

27
8-23-82
CONF-810399-29

LBL-11967
CONF-810399



① I-4966
**THIRD SYMPOSIUM
ON THE CERRO PRIETO GEOTHERMAL FIELD,
BAJA CALIFORNIA, MEXICO**



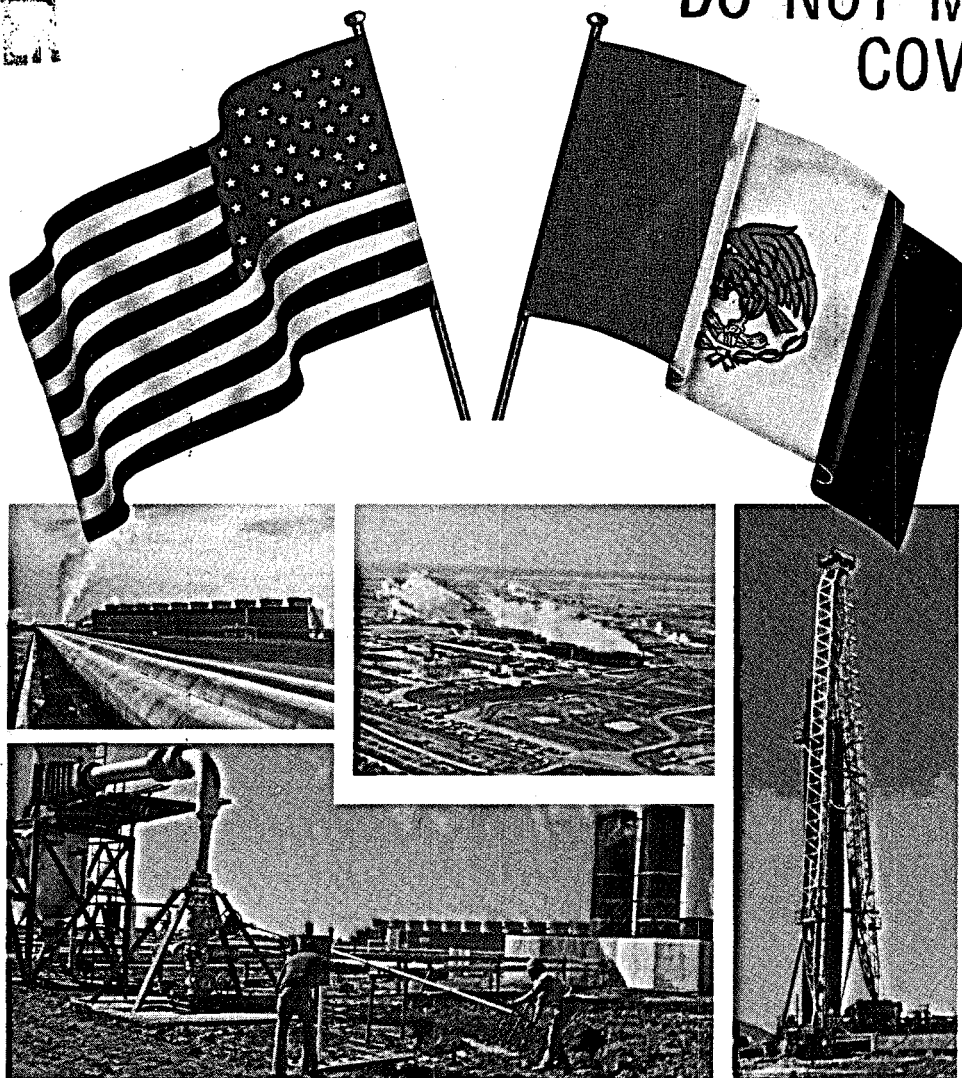
Sponsored by

United States Department of Energy, Office of Renewable Technology
Geothermal and Hydropower Technology Division

in Cooperation with
Comisión Federal de Electricidad de México

MASTER

DO NOT MICROFILM
COVER



PROCEEDINGS/ACTAS

March 24 - 26, 1981
San Francisco, California



Earth Sciences Division
Lawrence Berkeley Laboratory
University of California
Berkeley, California 94720



Coordinadora Ejecutiva
de Cerro Prieto
Mexicali, Baja California,
México

Prepared for the U.S. Department of Energy under Contract DE-AC03-76SF00098

DISTRIBUTION OF THIS DOCUMENT IS UNLIMITED

MODELADO BIDIMENSIONAL DE PSEUDOSECCIONES DE RESISTIVIDAD APARENTE DE LA REGION DE CERRO PRIETO

R. Vega y M. Martínez
Centro de Investigación Científica y de
Educación Superior de Ensenada
Ensenada, Baja California, México

Resumen

Usando un programa de elemento finito (Dey, 1976) para el modelado bi-dimensional de pseudosecciones de resistividad aparente usando diversos arreglos, se han modelado cuatro perfiles de pseudoresistividad aparente medidos usando el arreglo Schlumberger por personal de la CFE (Razo, 1978). Tomando los datos geológicos (Puente y de la Peña, 1978) y litológicos (Díaz, et al., 1981) de la región geotérmica se han obtenido modelos que muestran claramente que para las resistividades reales presentes en la zona, la información dada por las pseudosecciones medidas proviene de la estructura superficial, no mostrando la presencia ni del yacimiento geotérmico ni del basamento granítico.

Introducción

En el CICESE se ha adaptado a una minicomputadora Prime 400 el programa de elemento finito (Dey, 1976) para la interpretación directa de pseudosecciones de resistividad aparente usando modelos de dos dimensiones. Además de este programa se cuenta con una gran cantidad de información geofísica sobre el campo geotérmico de Cerro Prieto y con las mediciones eléctricas realizadas por el grupo de geofísica de la CFE (Razo, 1978) (arreglo Schlumberger con un equipo SCINTREX de 15 kW, semiapertura máxima de electrodos de 5 km y tiempo de conmutación de corriente de 16 segundos). En el presente trabajo se hicieron modelos bidimensionales de varios perfiles geoelectrónicos proporcionados por la CFE, con el objetivo de evaluar el método de resistividad de corriente directa (arreglo Schlumberger) como herramienta de prospección geotérmica en la zona geotermal del Valle de Mexicali, B.C.

Geología

De acuerdo con Puente y de la Peña (1978) el Valle de Mexicali está constituido en parte por sedimentos cuaternarios de pie de monte provenientes de la Sierra Cucapá y por otra parte de sedimentos deltáicos depositados en forma lenticular y con contribución irregular, debido a las corrientes cambiantes del Río Colorado.

De las perforaciones se ha podido establecer la litología del área, la que consta de 3 partes principales:

a) La superficie está compuesta de sedimentos deltáicos no consolidados (arenas y arcillas), cuyo espesor varía de 600 a 3,000 metros y con resistividad de 0.7 a 5 ohm-metro.

b) La zona intermedia está formada de sedimentos consolidados como lutitas y areniscas, fracturados y metamorizados. El espesor de esta capa es, como en el caso anterior, irregular y se desconoce. Por la información que se tiene de los pozos perforados,

se estima que fluctúa entre 1,500 y 2,000 metros.

c) En la parte inferior se encuentra el basamento granítico, que se supone ha tenido una acción intrusiva (horst) en algunas partes y se ha profundizado en otras (graben). Como ejemplo de este último caso está el pozo PRIAN I (ver Fig. 1) en el que se llegó a 3,500 metros y no se toca el basamento.

El campo geotérmico de Cerro Prieto se localiza en el patrón tectónico de San Andrés, del cual se derivan las fallas de rumbo NO-SE y de movimiento lateral derecho como son las fallas de Cerro Prieto, Imperial y Cucapá, con echados al Oeste y al Este. Además, se encuentran evidencias de centros de dispersión en la actividad volcánica, enjambres de temblores, y por supuesto la actividad geotérmica de la región.

Por otra parte existe un sistema de fallas normales a la falla de Cerro Prieto, al que se ha denominado sistema secundario Volcano con echados al Noroeste y Sureste. Los dos sistemas combinados forman la topografía irregular del basamento ya mencionada.

Modelado

Para modelar se tomaron del reporte del grupo de Geofísica de la CFE las pseudosecciones de resistividad aparente a lo largo de las líneas 2, 6, 8 y 11 distribuidas en la zona como se muestra en el plano de la figura No. 1.

En la figura 2b, 3b, 4b y 5b se presentan en línea continua las secciones de resistividad aparente que se han tomado para este estudio de modelado. En las figuras 2a, 3a, 4a y 5a se muestran los modelos resultantes correspondientes. Las pseudosecciones de resistividad aparente calculados a partir de estos modelos se presentan en línea punteada en las figuras 2b, 3b, 4b y 5b.

En todos los modelos estudiados se observa un comportamiento similar; un aumento en la resistividad del estrato presente al aumentar la profundidad, variando de 1 a 12 ohm-m en los primeros 1,500 m. Esto concuerda con lo presentado por Díaz et al., (1978) y refleja la existencia de una compactación paulatina de los sedimentos.

En la superficie se encuentra un estrato conductor 1 ohm-m con espesor máximo de 1.5 km constituido principalmente por arcilla, de acuerdo a la geología de la región ya presentada. Igualmente se observan, intercaladas en los estratos conductores, lentes de un material más resistivo asociadas quizás a un contenido mayor de arenas y gravas.

DISCLAIMER

This report was prepared as an account of work sponsored by an agency of the United States Government. Neither the United States Government nor any agency Thereof, nor any of their employees, makes any warranty, express or implied, or assumes any legal liability or responsibility for the accuracy, completeness, or usefulness of any information, apparatus, product, or process disclosed, or represents that its use would not infringe privately owned rights. Reference herein to any specific commercial product, process, or service by trade name, trademark, manufacturer, or otherwise does not necessarily constitute or imply its endorsement, recommendation, or favoring by the United States Government or any agency thereof. The views and opinions of authors expressed herein do not necessarily state or reflect those of the United States Government or any agency thereof.

DISCLAIMER

Portions of this document may be illegible in electronic image products. Images are produced from the best available original document.

Las discontinuidades verticales presentes en las secciones de resistividad aparente no implican necesariamente la presencia de fallas. Debido a las bajas resistividades encontradas, estas discontinuidades son producidas por un cambio lateral de la resistividad real en un mismo estrato. Podría ser ocasionado por cambios en el factor de formación, en el metamorfismo local o en la salinidad presente.

El sustrato más profundo se presenta en los modelos con resistividades de 10 a 12 ohm-m, a lo largo de cada uno de los perfiles estudiados. La región Sur-oeste representa sedimentos consolidados con bajo contenido de fluidos, y sección Nor-este sedimentos no consolidados con prominencia de arenas.

También se observan conductores de 1 ohm-m sumergidos en el sustrato intermedio de 7 a 8 ohm-m como en el caso de las líneas 2 y 8 y más explícitamente en la línea 11. Estas bajas resistividades pueden asociarse a la presencia de cuerpos salinos.

Nótese que los perfiles de las líneas 2, 6 y 8 no contienen información relativa al basamento cuya profundidad estimada en la zona de estudio es de 2 a 6 km (Puente y de la Peña, 1978), ello a pesar de los 5 km de semi-apertura electródica que se usó.

Conclusiones

La alta conductividad y el espesor del sedimento no consolidado existente en la zona del campo Geotérmico de Cerro Prieto forma una capa conductora que no permite que la corriente inyectada penetre. Esto impide detectar variaciones de conductividad debidas a los estratos profundos.

Hemos demostrado, mediante simples modelos bi-dimensionales la existencia de dicha capa conductora. Como ejemplo relevante podemos mencionar los resultados obtenidos para la línea 6 (Figura 3), la cual pasa directamente sobre la zona geotérmica de Cerro Prieto. La simplicidad de nuestro modelo contrasta radicalmente con el modelo para la línea E-E' presentada por Wilt et al., (1978). Sin embargo, hacemos notar que las condiciones bajo las cuales se llevaron a cabo los levantamientos han sido diferentes, además de que el método directo de interpretación es no-único.

Consideramos que en modelado directo, el paso más importante para la interpretación de datos de resistividad radica en el diseño del modelo inicial. Una vez establecido éste, es posible generar una pseudosección de resistividad a base de ajustes, en general pequeños, que razonablemente se harán concordar con los resultados obtenidos en el campo. Por lo tanto el modelo inicial deberá de satisfacer requisitos indispensables como; ser el más sencillo posible y contener el máximo de información directa adicional ya sea de la geología, registro de pozos o bien evidencia proveniente de otros métodos geofísicos. Si se desea proponer la existencia de anomalías resistivas no observables por otros medios, dentro de un modelo plausible, éstas deberán de producir en la pseudosección de resistividad aparente un efecto claro que denote su presencia.

Agradecimientos

Agradecemos al Ing. Sergio Díaz de la Coordinadora Ejecutiva de Cerro Prieto, y al Ing. Antonio Razo del Departamento de Exploraciones Geotérmicas de la CFE, el apoyo otorgado para la realización de este trabajo.

Referencias

Dey, A., y Morrison, H.F. 1976. "Resistivity modeling for arbitrary shaped two dimensional structures." Tech. Report LBL-S223, UC-66A.

Díaz, C.S., Puente, C.I., y de la Peña, L.A. 1981. "Propuesta de un modelo geológico en función de registros geofísicos de pozos." Tercer Simposio sobre el Campo Geotérmico de Cerro Prieto, B.C. México. (Este volumen).

Puente, C.I., y de la Peña, L.A. 1978. "Geología del Campo Geotérmico de Cerro Prieto, B.C. México." Primer Simposio del Campo Geotérmico de Cerro Prieto, B.C. México." Berkeley, Calif. Reporte Técnico LBL-7098.

Razo, M.A. y Arellano, G.J. 1978. "Prospección eléctrica de la porción Norte del Valle de Mexicali y Campo Geotérmico de Cerro Prieto, B.C. México." 1978. CFE, Informe Técnico 6-78.

Wilt, M.J., Goldstein, N.E. y Razo, M.A., 1978. "LBL Resistivity studies at Cerro Prieto." Primer Simposio sobre el campo Geotérmico de Cerro Prieto, B.C. México." Berkeley, Calif. Reporte Técnico LBL-7098.

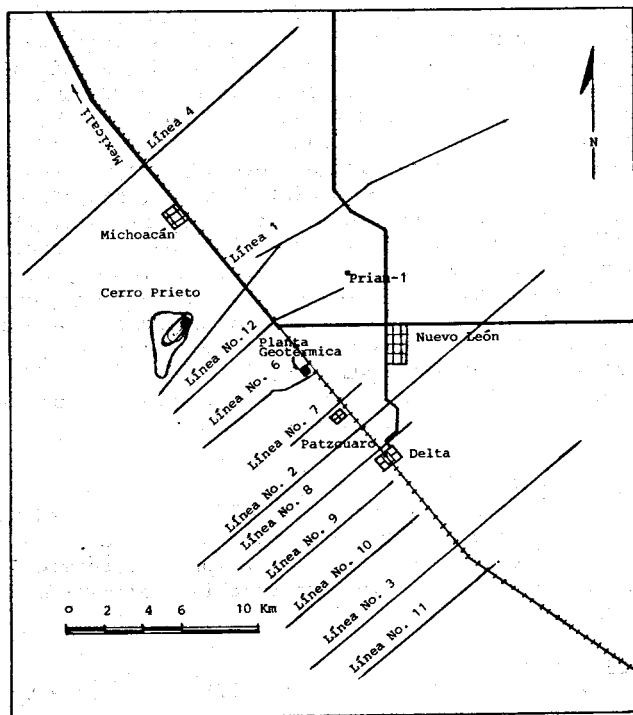


Figura 1. Mapa de la región de estudio.

Figure 1. Map of the region under study.

XBL 819-4907

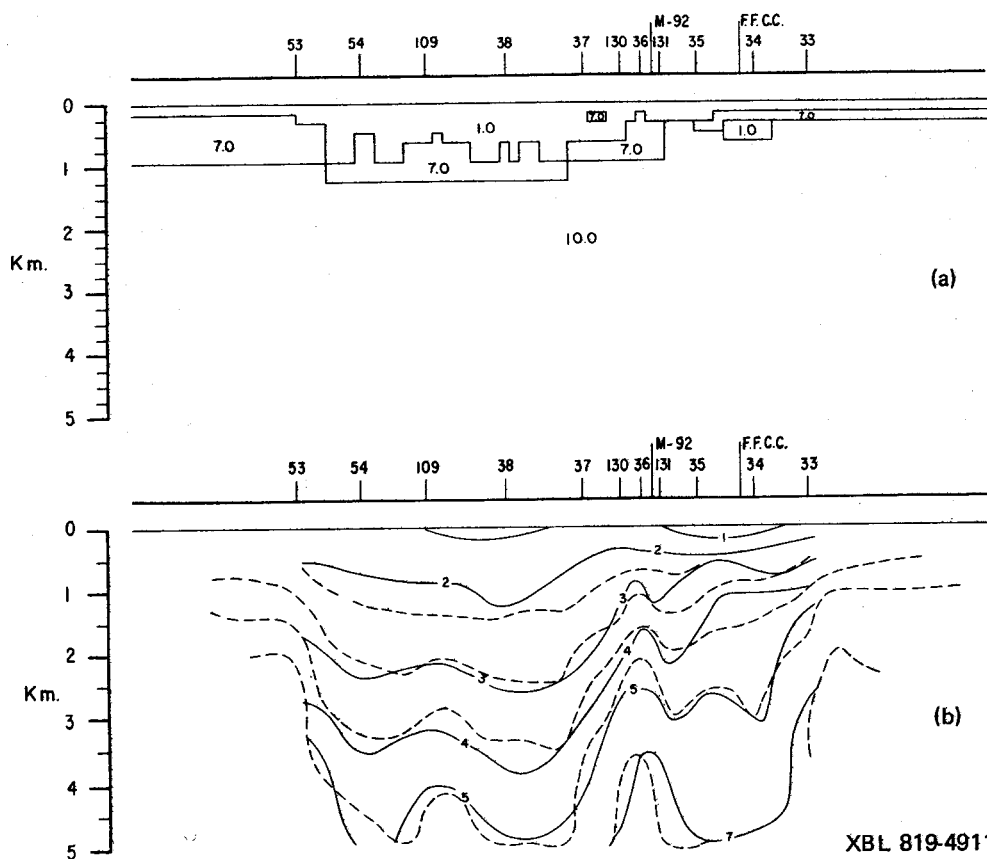
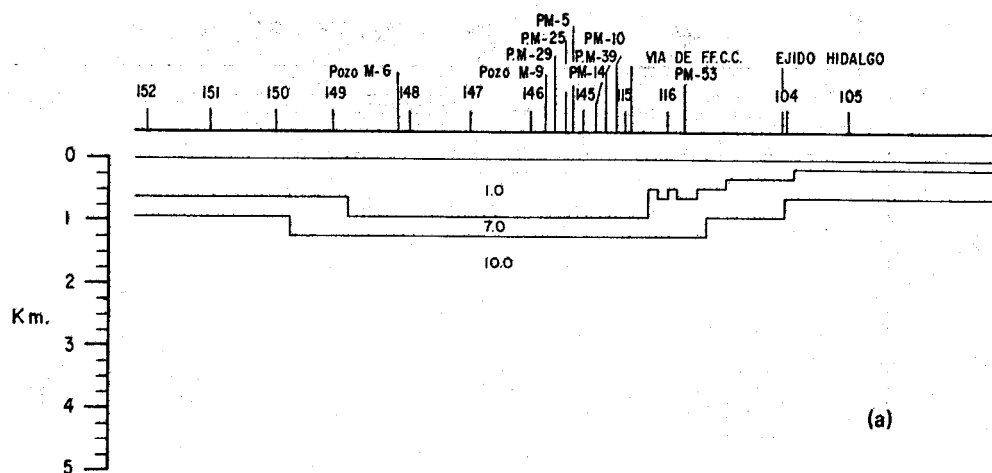
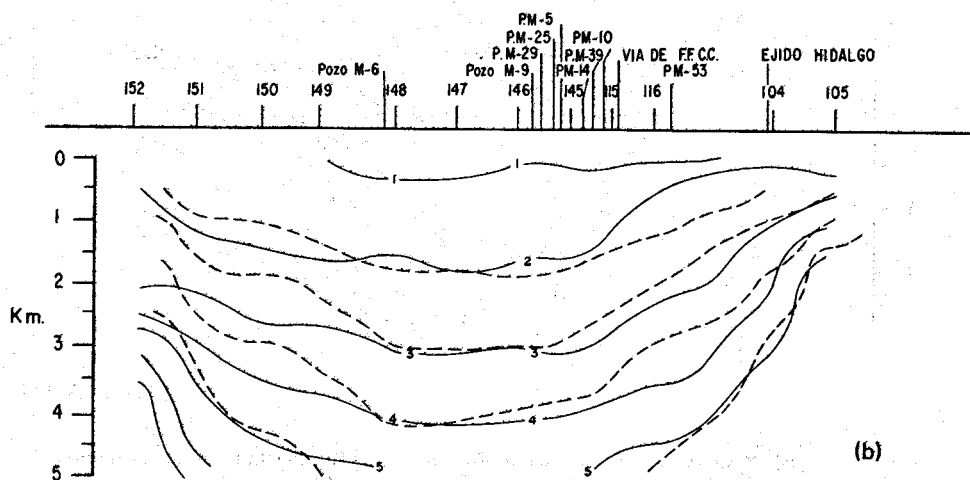


Figura 2. (a) Modelo para la línea No. 2. Resistividad en ohm-metros. (b) Pseudosección de resistividad aparente. La línea continua fue obtenida a partir de mediciones de campo. La línea punteada fue calculada en base al modelo mostrado en la parte (a).

Figure 2. (a) Model for line No. 2. Resistivity in ohm-m. (b) Apparent resistivity pseudosection. The solid line was obtained from field measurements. The dotted line was computed on the basis of the model shown in (a).



(a)

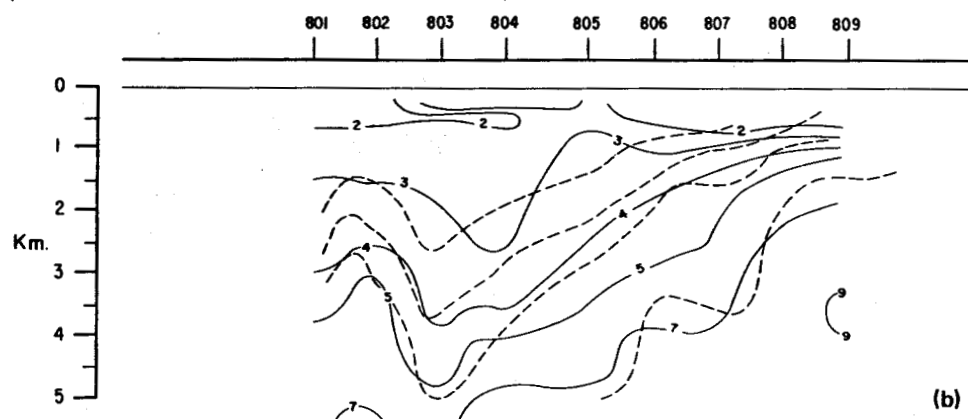
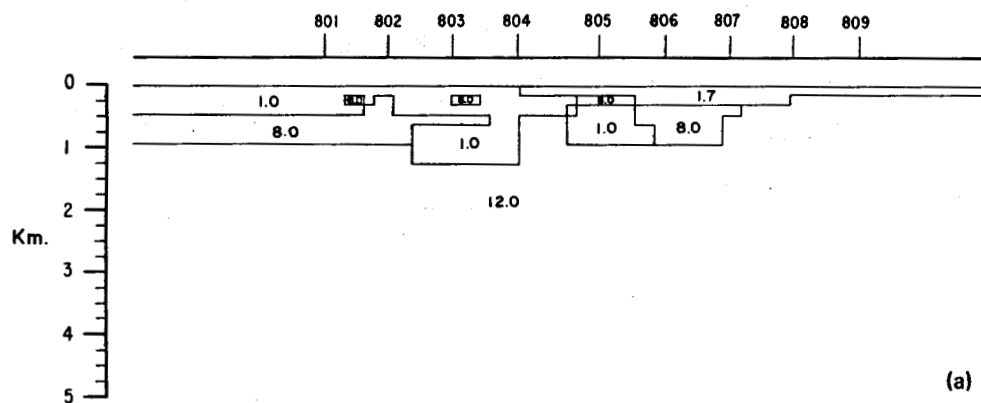


(b)

XBL 819-4910

Figura 3. (a) Modelo para la línea No. 6. Resistividad en ohm-metros. (b) Pseudosección de resistividad aparente. La línea continua fue obtenida a partir de mediciones de campo. La línea punteada fue calculada en base al modelo mostrado en la parte (a).

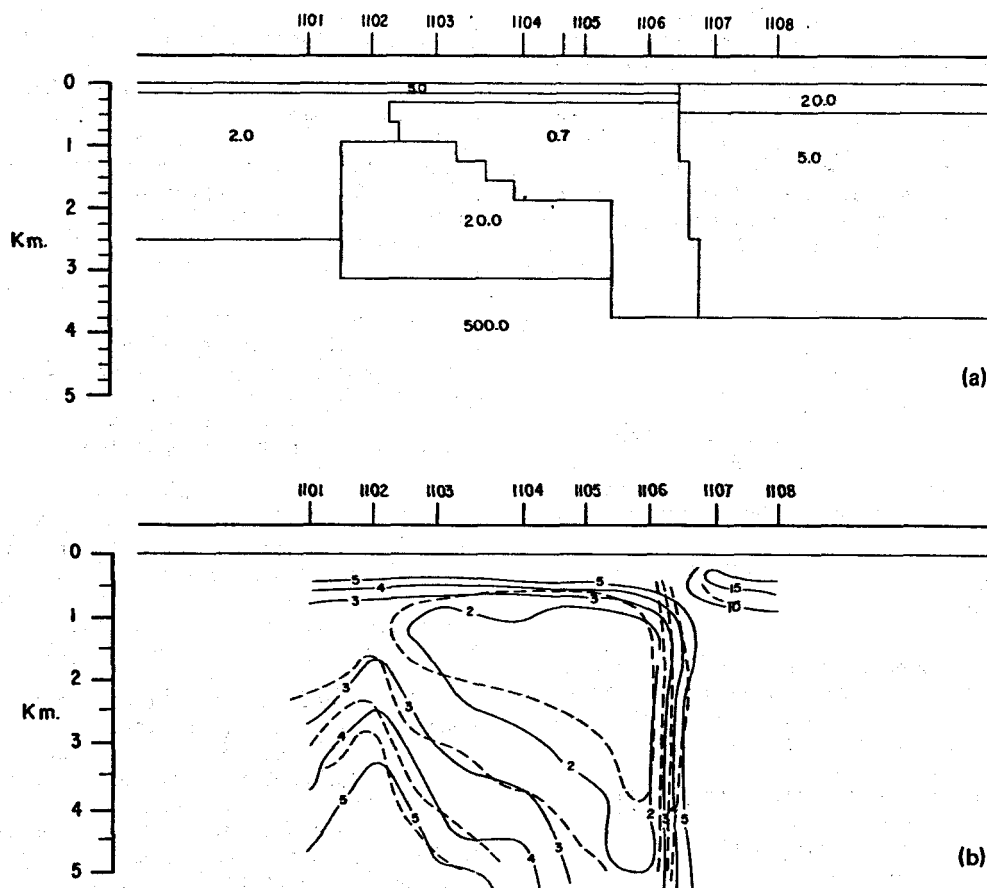
Figure 3. (a) Model for line No. 6. Resistivity in ohm-m. (b) Apparent resistivity pseudosection. The solid line was obtained from field measurements. The dotted line was computed on the basis of the model shown in (a).



XBL 819-4908

Figura 4. (a) Modelo para la línea No. 8. Resistividad en ohm-metros. (b) Pseudosección de resistividad aparente. La línea continua fue obtenida a partir de mediciones de campo. La línea punteada fue calculada en base al modelo mostrado en la parte (a).

Figure 4. (a) Model for line No. 8. Resistivity in ohm-m. (b) Apparent resistivity pseudosection. The solid line was obtained from field measurements. The dotted line was computed on the basis of the model shown in (a).



XBL 819-4909

Figura 5. (a) Modelo para la línea No. 11. Resistividad en ohm-metros. (b) Pseudosección de resistividad aparente. La línea punteada fue obtenida a partir de mediciones de campo. La línea punteada fue calculada en base al modelo mostrado en la parte (a).

Figure 5. (a) Model for line No. 11. Resistivity in ohm-m. (b) Apparent resistivity pseudosection. The solid line was obtained from field measurements. The dotted line was computed on the basis of the model shown in (a).

TWO-DIMENSIONAL MODELING OF APPARENT RESISTIVITY PSEUDOSECTIONS IN THE CERRO PRIETO REGION

ABSTRACT

Using a finite-difference program (Dey, 1976) for two-dimensional modeling of apparent resistivity pseudosections obtained by different measuring arrays, four apparent resistivity pseudosections obtained at Cerro Prieto with a Schlumberger array by CFE personnel were modeled (Razo, 1978). Using geologic (Puente and de la Peña, 1978) and lithologic (Díaz, et al., 1981) data from the geothermal region, models were obtained which show clearly that, for the actual resistivity present in the zone, the information contained in the measured pseudosections is primarily due to the near-

surface structure and does not show either the presence of the geothermal reservoir or the granitic basement which underlies it.

INTRODUCTION

A finite-difference program (Dey, 1976) for the direct interpretation of apparent resistivity pseudosections using two-dimensional models has been adapted for CICESE's Prime 400 computer. In addition to this program, we have a large amount of information about the Cerro Prieto geothermal field and the electrical measurements carried out by the

geophysics group of CFE (Razo, 1978). For these measurements, Razo used a Schlumberger array with a 15 kW Scintrex system which had a current electrode half-spacing of 5 km and a 16-second-period square wave signal. In the present study, two-dimensional models of several geoelectric pseudosections furnished by CFE were prepared with the purpose of evaluating the dc-resistivity method (Schlumberger array) as a tool for geothermal prospecting in the geothermal zone of the Mexicali Valley, Baja California.

GEOLOGY

According to Puente and de la Peña (1978), the Mexicali Valley is composed in part by Quaternary piedmont sediments from the Cucapa Range and by lenticular and irregular deltaic sediments deposited by the changing course of the Colorado River.

The geology of the area has been established from the well data and shown to consist of three main units:

- a. The surface is composed of unconsolidated deltaic sediments (sands and clays) whose thickness varies from 600 to 3000 m and which have resistivities of 0.7 to 5 ohm-m.
- b. The intermediate zone is formed by consolidated sediments, such as shales and sandstones, which have been fractured and metamorphosed. The thickness of this layer is, as in the case of the unit above, irregular and unknown. Based on information obtained from wells, the thickness is estimated to vary between 1500 and 2000 m.
- c. The lowest unit is a granitic basement which has been assumed to have been lifted (horsts) in some parts of the region and to have dropped in others (graben). An example of the latter is the Priar I well (see Figure 1) which reached a depth of 3500 m without reaching basement.

The Cerro Prieto geothermal field is located within the San Andreas fault system. Deriving from this system are faults striking NW-SE, such as the Cerro Prieto, Imperial, and Cucapa faults. These faults are right-lateral, strike-slip faults with minor vertical displacements to the west and east. There is also evidence of the existence of spreading centers, judging by the volcanic activity, earthquake swarms, and, of course, by the geothermal activity in the region.

There also exists a system of faults, which are perpendicular to the Cerro Prieto fault, called the secondary Volcano fault system, with vertical displacements to the northwest and southeast. These two systems of faults cause the irregular basement topography already mentioned above.

MODELING

For the purposes of modeling, the apparent resistivity pseudosections along lines 2, 6, 8, and 11 were taken from the CFE Geophysics group report

on their survey of this area. Figure 1 is a map showing the location of the survey lines.

Figures 2b, 3b, 4b, and 5b show the apparent resistivity pseudosections used in this study. The sections are indicated by solid lines. Figures 2a, 3a, 4a, and 5a show the corresponding models which were obtained. The apparent resistivity pseudosections computed on the basis of these models are shown as the dotted lines in Figures 2b, 3b, 4b, and 5b.

A similar behavior can be noted in all the models studied. There is an increase in resistivity with depth, with a variation from 1 to 12 ohm-m in the upper 1500 m. This agrees with the results presented by Díaz et al. (1978) and reflects the gradual compaction of the sediments.

At the surface there is a conducting layer with a resistivity of 1 ohm-m and a maximum thickness of 1.5 km composed mainly of clays, based on the geology of the region described above. Interbedded with the conductive strata, lenses of a more resistive material are observed. These may have a higher content of sands and gravels.

The vertical discontinuities present in the apparent resistivity sections do not necessarily imply the presence of faults. Due to the low resistivities encountered, these discontinuities are the result of lateral changes in the true resistivity within a layer. They may have been caused by changes in the formation factor of the layer, in the local metamorphism, or in the salinity of the interstitial pore water. The deepest substrata present in the models has resistivities of 10 to 12 ohm-m along each of the profiles analyzed. The southwestern region represents consolidated sediments with a low fluid content whereas the northeastern section contains unconsolidated sediments rich in sands.

In lines 2 and 8, and more explicitly in line 11, one also observes 1-ohm-m conductors within the 7- to 8-ohm-m intermediate layer. These low resistivities may be associated with the presence of saline bodies.

Note that profiles 2, 6, and 8 do not have any information about the basement, whose estimated depth in the region under study is from 2 to 6 km (Puente and de la Peña, 1978). This occurred in spite of the 5 km current electrode half-spacing used in the survey.

CONCLUSIONS

Because of their high conductivity and large thickness, the unconsolidated sediments in the Cerro Prieto geothermal field region do not permit the deep penetration of the injected current. This prevents the detection of conductivity variations due to deeper strata.

Using simple two-dimensional models, we have demonstrated the presence of this conductive layer. As a relevant example, we cite the results obtained for line 6 (Figure 3), which passes directly over the Cerro Prieto geothermal zone. The implication of

our model differs radically from the model for line E-E' presented by Wilt et al. (1978). However, we note here that the conditions under which both surveys were made were different, and, furthermore, at the direct interpretation method of solution used is non-unique.

We believe that, for direct modeling of resistivity, the most important step for the interpretation of the resistivity data is the design of the initial model. Once this model is established, it is possible to generate an apparent resistivity pseudosection by making small adjustments to the model to make the results agree with the data collected in the field. Therefore, the initial model must satisfy some essential requirements, such as to be as simple as possible and to contain the max-

imum amount of directly applicable information, whether geological, well logs, or geophysical data. If, within a plausible model, it is desirable to propose the existence of resistive anomalies which cannot be observed through other means, these should produce a clear effect denoting their presence in the computed apparent resistivity pseudosections.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank Ing. Sergio Díaz of the Coordinadora Ejecutiva de Cerro Prieto and Ing. Antonio Razo from the Department of Geothermal Exploration of CFE for their support for this work.