

MEASURED GROUND-SURFACE MOVEMENTS, CERRO PRIETO GEOTHERMAL FIELD

B. L. Massey
U.S. Geological Survey
Denver, Colorado, U.S.A.

ABSTRACT

The Cerro Prieto geothermal area in the Mexicali Valley, 30 kilometers southeast of Mexicali, Baja California, incurred slight deformation because of the extraction of hot water and steam, and probably, active tectonism. During 1977-78, the U.S. Geological Survey established and measured two networks of horizontal control in an effort to define both types of movement. These networks consisted of: (1) A regional trilateration net brought into the mountain ranges west of the geothermal area from stations on an existing U.S. Geological Survey crustal-strain network north of the international border; and (2) a local net tied to stations in the regional net and encompassing the present and planned geothermal production area.

Electronic distance measuring instruments were used to measure the distances between stations in both networks in 1978, 1979 and 1981. Lines in the regional net averaged 25 km. in length and the standard deviation of an individual measurement is estimated to be approximately 0.3 part per million of line length. The local network was measured using different instrumentation and techniques. The average line length was about 5 km. and the standard deviation of an individual measurement approached 3 parts per million per line length.

Ground-surface movements in the regional net, as measured by both the 1979 and 1981 resurveys, were small and did not exceed the noise level. The 1979 resurvey of the local net showed an apparent movement of 2 to 3 centimeters inward toward the center of the production area. This apparent movement was restricted to the general limits of the production area. The 1981 resurvey of the local net did not show increased movement attributable to fluid extraction.

INTRODUCTION

The Cerro Prieto geothermal area is approximately 30 km. (kilometers) southeast of Mexicali, Baja California, in the Mexicali Valley. Twenty-seven production wells clustered in an area slightly more than 5.5 km.² (square kilometers) discharge approximately 3,400 metric tons per hour of water-steam mixture.¹ This water leaves the area by canal or evaporation as less than 1% is re-injected.

The withdrawal of large volumes of fluids from subsurface reservoirs commonly is accompanied by the development of large stresses within the reservoir formations.² The resulting strains at depth within the reservoir tend to be transmitted to the surface, resulting in measurable deformation

of the land surface. From an analysis of measured surface changes, insight may be obtained on the nature of subsurface deformation, and also on the mechanical and recharge characteristics of the reservoir system.

Three networks of precise geodetic control were established during 1977-78 to measure the natural tectonic and induced surface deformation around the geothermal area. A first-order leveling network was established by DETENAL (Dirección General de Estudios del Territorio Nacional, Mexico D.F., Mexico) to measure vertical changes from the international border south through the geothermal field.³ Two networks were established by the U.S. Geological Survey to measure horizontal deformation. These are: (1) A regional trilateration net that is a southward extension of the pre-existing crustal-strain net in southern California; and (2) a local network of horizontal control established in the vicinity of and through the production area. This report is concerned only with the measurement and analysis of horizontal changes.

NETWORK LAYOUT

The regional trilateration net that was extended southward from the existing crustal-strain net north of the border is shown in Figure 1. Stations on the local net (solid triangles) that were tied to stations on the regional net (open triangles) also are shown, as is the location of the production area.

SURVEYING EQUIPMENT USED

The regional net was measured with a long range (as much as 40 km.) Spectra-Physics Model 3G Geodolite. This instrument also was used in tying local-net stations to stations on the regional net. Lines on the local net were measured with a medium range (as much as 12 km. under good conditions) Kueffel and Esser Ranger III in 1978 and 1979. A Hewlett-Packard Model 3808A was used in 1981. (The use of brand names in this report is for identification only and does not imply endorsement by the U.S. Geological Survey.) The Ranger III and Geodolite instruments both use a modulated helium-neon laser beam in the visible spectrum. The Hewlett-Packard instrument uses an invisible modulated infrared beam. The precision of the measurements using the Ranger III and Hewlett-Packard instrument is $\pm (5 \text{ mm} + 3 \text{ ppm})$, whereas the precision of the measurements using the Geodolite⁴ is $\pm (3 \text{ mm} + 0.2 \text{ ppm})$. The retro-reflectors used to measure both nets are commercially available units of conventional design. They are designed so a light ray or beam projected from an instrument is returned to the instrument

along the path of propagation.

MEASURED GROUND-SURFACE MOVEMENTS

The initial measurement of the regional net was made during January and February 1978, with subsequent measurements during March 1979 and April 1981. The local net (Figure 2) was first measured in February and March 1978. Subsequent measurements were made during March 1979 and January 1981. Lengths of the lines for the regional net are listed in Table 1 and are arc distances reduced to sea level. Line lengths for the local net are listed in Table 2 and are mark-to-mark measurements.

Strain accumulation was determined from changes in the lengths of lines within the networks assuming a uniform strain field 5. The orientation and magnitude of the maximum and minimum principal strain rates for the portion of the regional net east of the Cerro Prieto Volcano is shown in Figure 3. The strain accumulation rate for the 1978-79 period is less than one part per million and is not significant at the two standard deviation or 95% confidence level. A nonuniform strain field resulted from displacements due to the June 8, 1980 Victoria Guadalupe earthquake (M. Lisowski, U.S. Geological Survey, Menlo Park, California, oral communication). Consequently, no strain analysis was computed for this portion of the regional network for the period 1978-81. The data obtained on the portion of the regional net east of the Cerro Prieto volcano during the 1981 resurvey are being analyzed to determine the earthquake effects; these data will be reported by others and is not part of this report.⁶

The principal strain diagram (Figure 4) for the portion of the regional net west of the Cerro Prieto volcano shows a slight expansion or positive dilatation for the 1978-79 period. The maximum principal strain rate is marginally significant and oriented in a northeast-southwest direction. The principal strain rates for the same area for the period 1978-81 (Figure 5) shows no significant strain accumulation.

The maximum and minimum principal strain rates determined from measurements within the production area are shown in Figure 6 for the 1978-79 period. This diagram of the strain accumulation rates shows a significant inward movement toward the center of the production area in a northeast-southwest direction (31 ± 6 parts per million per year) with a slight expansion in the northwest-southeast direction (2 ± 1 parts per million per year). The strain diagram for those same lines covering the production area for the 1978-81 period (Figure 7) shows a similar orientation, but a lower rate of 18 ± 5.6 ppm per year in the maximum principal strain and a higher rate of 3.4 ± 1.7 ppm per year for the minimum principal strain.

The principal strain diagrams for the local net, excluding the lines through the production area, for the periods 1978-79 and 1978-81 (Figures 8 and 9) show very little strain accumulation. The principal strain rates are significantly less than the noise level, except for the maximum principle strain for the 1978-81 period which is only marginally significant.

CONCLUSIONS

Ground-surface movement inward toward the center of the production area due to fluid extraction has occurred during the study period (1978-81). This movement occurred principally during the period of 1978-79; it is confined to the production area, and probably does not exceed 6 or 7 cm. A consistent change in length of the lines through the production area for the 1978-81 period similar to the general shortening that occurred in 1978-79 was not observed. Consequently, no increase in the rate of deformation resulting from continuing fluid extraction appears evident for the longer time period.

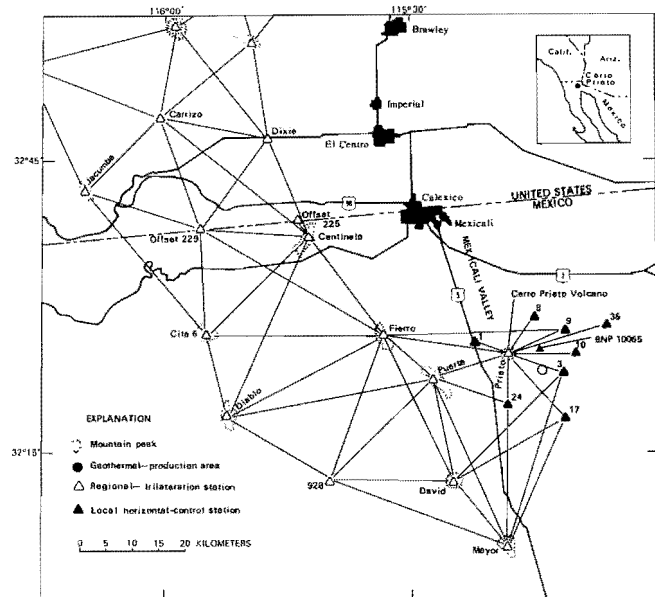
Any ground-surface movements that occurred outside the production area, excluding probable earthquake-induced movement, are small, as shown by the strain rates displayed in Figures 3, 4, 5, 8, and 9. No movement resulting from fluid extraction is evident outside the production area.

ACKNOWLEDGEMENTS

We wish to thank our colleagues in the U.S. Geological Survey, Lawrence Berkeley Laboratory and especially those in the Comisión Federal de Electricidad whose assistance and cooperation made this work possible. This work was supported by the U.S. Department of Energy and the U.S. Geological Survey as part of a CFE-DOE cooperative agreement with technical coordination by the Lawrence Berkeley Laboratory.

REFERENCES

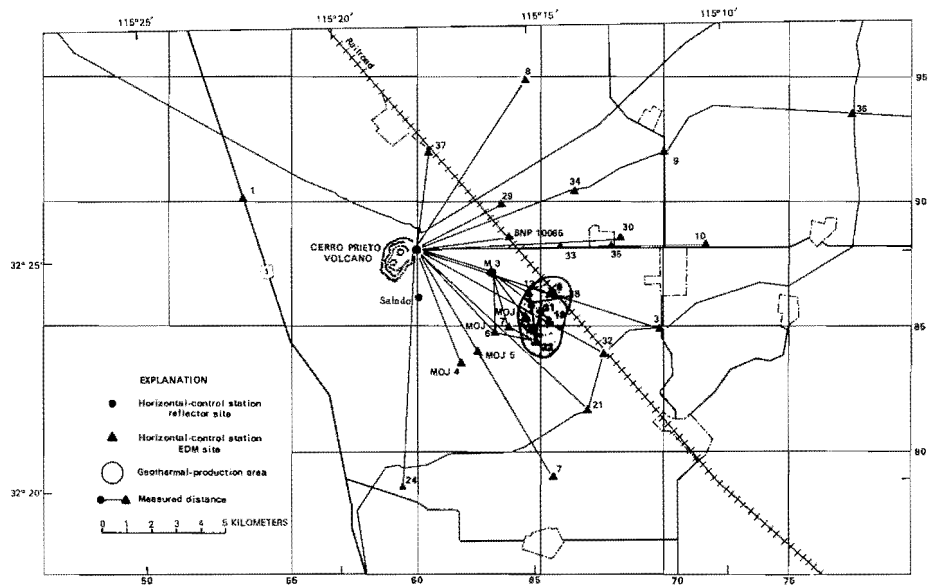
- 1 Goyal, K.P., Miller, C.W., Lippman, M.J., and Vonder Harr, S.P., Evolution history of the Cerro Prieto field due to geothermal fluid production, Lawrence Berkeley Laboratory (1981) report LBL-12680 (in preparation).
- 2 Lofgren, B. E., and Massey, B. L., 1978, Monitoring crustal strain, Cerro Prieto geothermal field, Baja California, Mexico: U.S. Geological Survey Open-File Report 79-204.
- 3 Garcia, J. R., 1979, Geodetic control, first order leveling in the Cerro Prieto geothermal zone, Mexicali, Baja California North, Proceedings, Second Symposium on the Cerro Prieto Geothermal Field, Baja California, Mexico, Mexicali, Mexico, October 1979
- 4 Savage, J. C., and Prescott, W. H., 1973, Precision of geodolite measurements for determining fault movements: Journal of Geophysical Research, v. 78, p. 6001-6008.
- 5 Prescott, W. H., Savage, J. C., and Kinoshita, W. T., 1978, Strain accumulation rates in the western United States between 1970 and 1978: Journal of Geophysical Research, v. 84, p. 5423-5435.
- 6 Lisowski, M., and Ruthven, D. W., Deformation near the epicenter of the 1980 Victoria, Mexico earthquake, U.S. Geological Survey, 1981 (in preparation).



XBL 823-2043

Figure 1. Regional-trilateral network of horizontal-control and bedrock ties, northern Baja California and southern California.

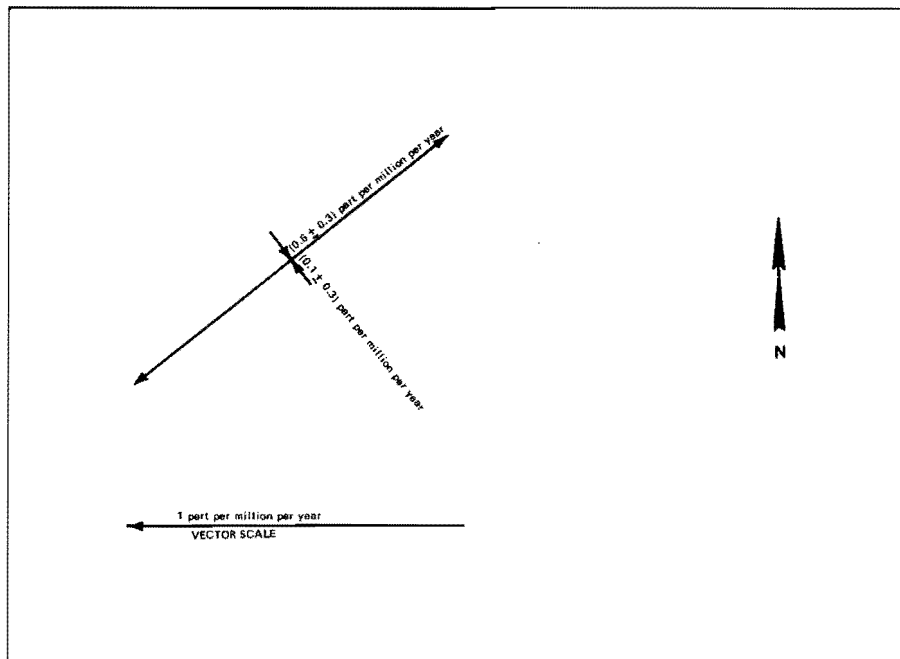
Figura 1. Red regional de trilateración de control horizontal, y estaciones de liga en roca firme, norte de Baja California y sur de California.



XBL 823-2044

Figure 2. Local network of horizontal control, Cerro Prieto geothermal area.

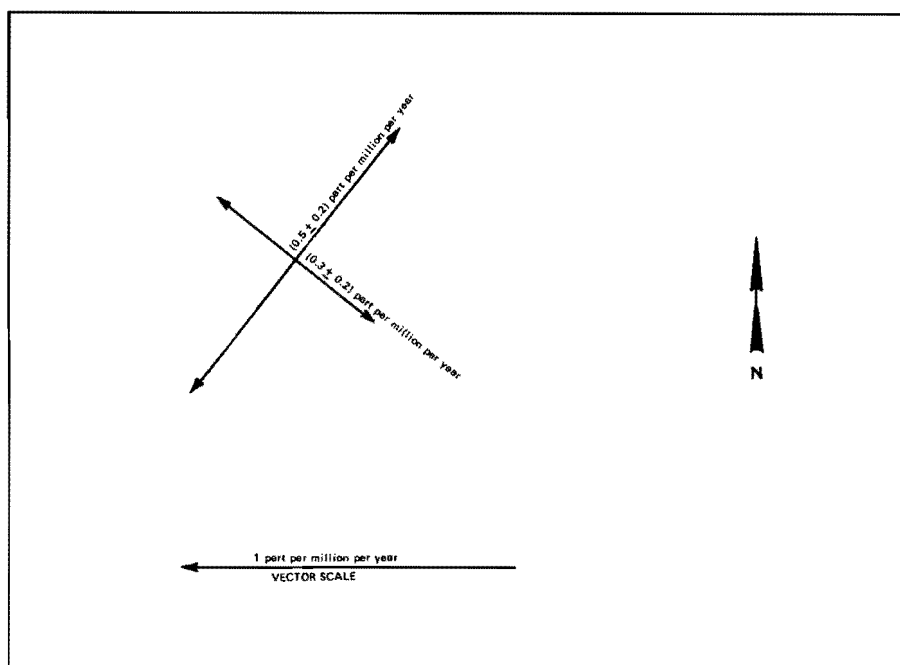
Figura 2. Red local de control horizontal, area geotérmica de Cerro Prieto.



XBL 823-2045

Figure 3. Principal strain diagram, regional net, Cerro Prieto Volcano east, 1978-79.

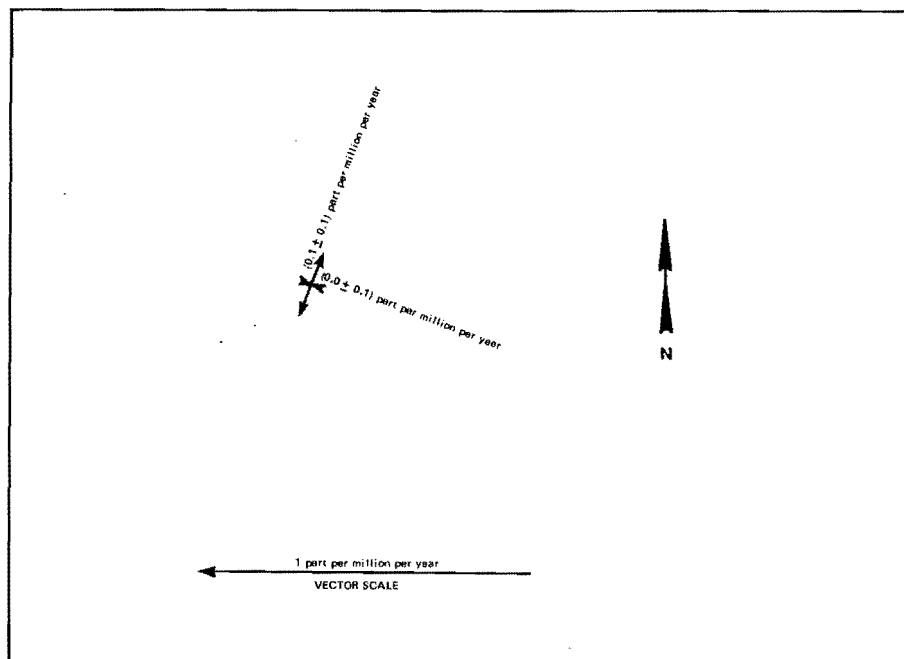
Figura 3. Diagrama de deformación principal, red regional, al este del volcán Cerro Prieto, 1978-79.



XBL 823-2046

Figure 4. Principal strain diagram, regional net, Cerro Prieto Volcano west, 1978-79.

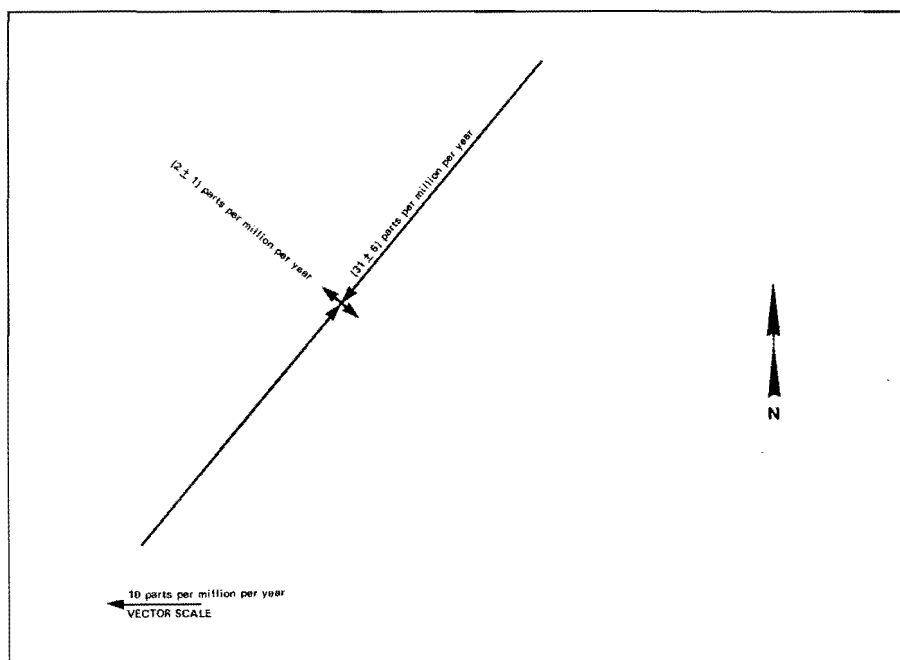
Figura 4. Diagrama de deformación principal, red regional, al oeste del volcán Cerro Prieto, 1978-79.



XBL 823-2047

Figure 5. Principal strain diagram, regional net, Cerro Prieto Volcano west, 1978-81.

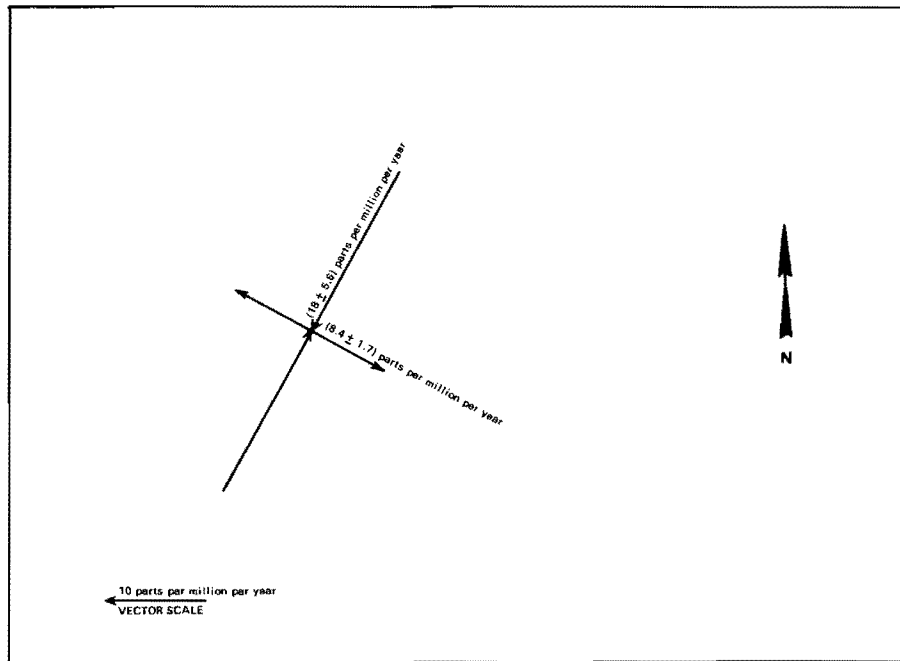
Figura 5. Diagrama de deformación principal, red regional, al oeste del volcán Cerro Prieto, 1978-81.



XBL 823-2048 1

Figure 6. Principal strain diagram, production area, 1978-79.

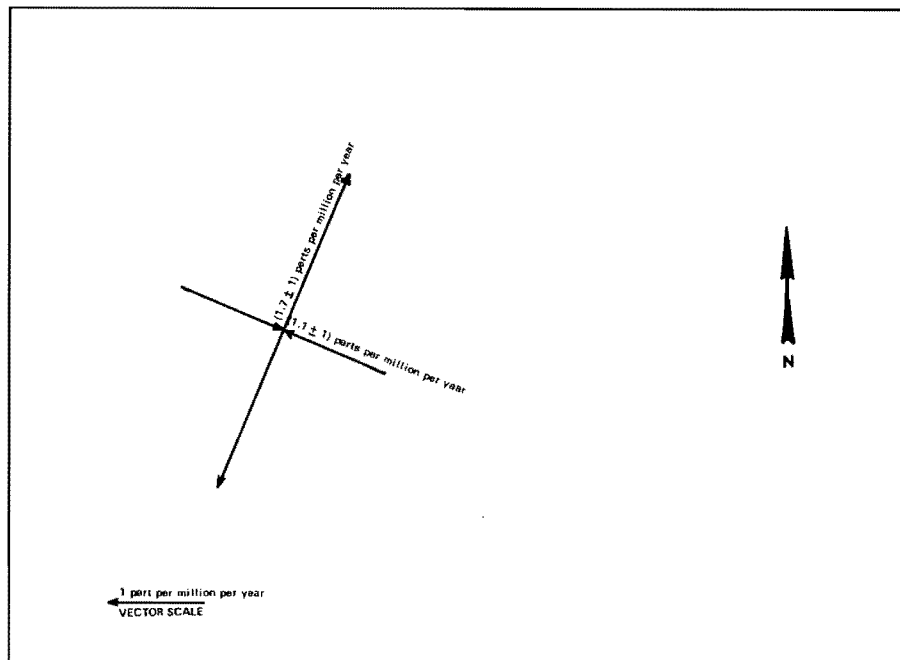
Figura 6. Diagrama de deformación principal, área de producción, 1978-79.



XBL 823-2049

Figure 7. Principal strain diagram, production area, 1978-81.

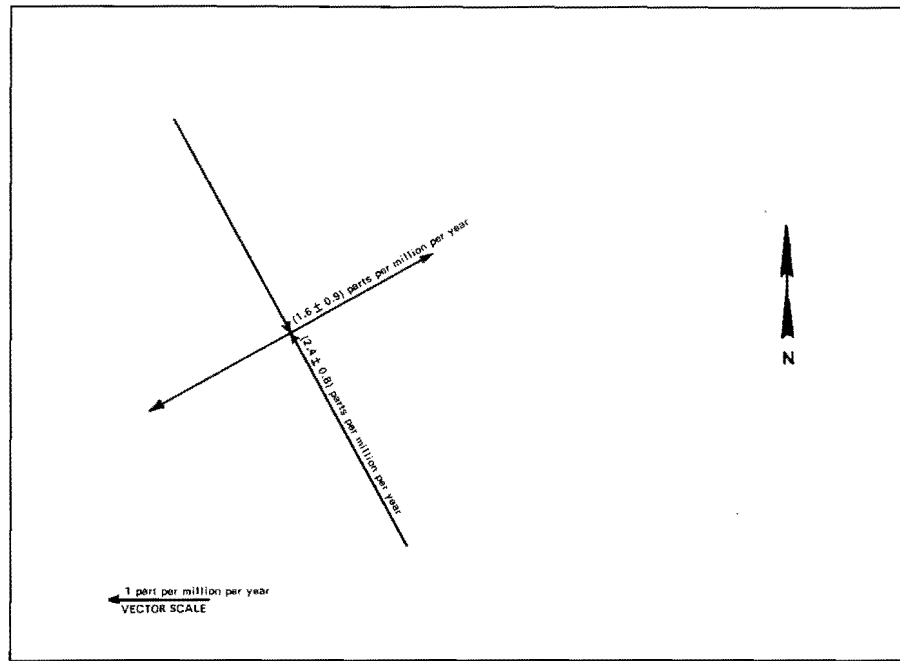
Figura 7. Diagrama de deformación, área de producción, 1978-81.



XBL 823-2050

Figure 8. Principal strain diagram, local net, excluding production area lines, 1978-81.

Figura 8. Diagrama de deformación principal, red local, excluyendo las líneas en el área de producción 1978-79.



XBL 82 J-2051

Figure 9. Principal strain diagram, local net, excluding production area lines, 1978-81.

Figura 9. Diagrama de deformación principal, red local, excluyendo las líneas en el área de producción, 1978-81.

Table 1. Measured distances, regional net (see Figure 1).

Tabla 1. Distancias medidas, red regional (véase la Figura 1).

Station	to	Station	1978 (meters)	1979 (meters)	1981 (meters)
Prieto	1		6,037.565	6,037.582	6,037.587
Prieto	10		12,559.994	12,559.996	12,560.011
Prieto	17		15,536.748	15,536.748	15,536.637
Prieto	24		9,301.780	9,301.380	9,301.381
Prieto	3		11,011.117	11,011.116	11,011.162
Prieto	36		19,672.411	19,672.426	19,672.442
Prieto	8		8,419.082	8,419.085	8,419.070
Prieto	9		11,493.270	11,493.277	11,493.264
Prieto	BNP10065		4,152.209	4,152.222	4,152.215
David	3		28,613.141	28,613.159	28,612.970
David	17		24,664.483	24,664.502	24,664.447
David	928		22,394.765	22,394.791	22,394.754
Puerta	24		14,927.416	14,927.423	14,927.364
Puerta	928		27,394.736	27,394.757	27,394.747
Puerta	Prieto		14,715.652	14,715.656	14,715.661
Fierro	9		34,557.181	34,557.207	34,557.228
Fierro	928		29,345.950	29,345.976	29,345.976
928	Diablo		22,858.437	22,858.445	22,858.440
Centinela	Carrizo		36,448.092	36,448.104	36,448.081
Centinela	Cila 6		27,132.181	27,132.188	27,132.182
Centinela	Diablo		37,926.342	37,926.356	37,926.347
Centinela	Dixie		20,451.178	20,451.194	20,451.185
Centinela	Fierro		23,306.474	23,306.481	23,306.468
Cila 6	Diablo		16,291.250	16,291.253	16,291.243
Cila 6	Fierro		33,545.804	33,545.814	33,545.806
Cila 6	Jacumba		35,921.953	35,921.950	35,921.947
David	Fierro		28,583.973	28,583.984	28,583.979
David	Puerta		17,432.973	17,432.980	17,432.988
Diablo	Fierro		33,564.783	33,564.802	33,564.802
Diablo	Puerta		39,969.087	39,969.109	39,969.092
Fierro	Prieto		24,093.036	24,093.053	24,093.026
Fierro	Puerta		12,936.809	12,936.818	12,936.796
Mayor	17		27,632.873	27,632.887	27,632.912
Mayor	3		34,803.830	34,803.844	34,803.588
Mayor	928		35,743.618	35,743.619	35,743.640
Mayor	David		18,348.882	18,348.893	18,348.897
Mayor	Prieto		36,333.401	36,333.400	36,333.422
Mayor	Puerta		34,698.118	34,698.118	34,698.154
Offset 225	Centinela		---	1,286.102	1,286.261
Offset 229	Centinela		20,919.438	20,919.452	20,919.442
Offset 229	Cila 6		20,192.326	20,192.327	20,192.332
Offset 229	Fierro		40,186.218	40,186.256	40,186.226

Table 2. Measured distances, local net (see Figure 2).

Tabla 2. Distancias medidas, red local (véase la Figura 2).

Station	to	Station	1978 (meters)	1979 (meters)	1981 (meters)
Volcano	3		10,449.933	10,449.924	10,449.957
Volcano	32		8,754.654	8,754.638	8,754.642
Volcano	21		9,518.471	9,518.450	9,518.346
Volcano	24		9,551.576	9,551.585	9,551.606
Volcano	Salado		1,604.609	1,604.602	1,604.600
Volcano	MOJ-6		4,691.886	4,691.897	4,691.891
Volcano	MOJ-5		4,783.270	4,783.270	4,783.215
Volcano	MOJ-4		5,023.537	5,023.532	5,023.488
Volcano	7		10,971.736	10,971.751	10,971.646
Volcano	M-3		3,213.154	3,213.168	3,213.209
Volcano	10		11,892.135	11,892.116	11,892.158
Volcano	30		8,410.425	8,410.416	8,410.455
Volcano	17		3,991.452	3,991.455	3,991.448
Volcano	8		7,841.617	7,841.629	7,841.613
Volcano	29		3,893.782	3,893.798	3,893.790
Volcano	34		6,945.904	6,945.912	6,945.898
Volcano	BNP10065		3,448.201	3,448.198	3,448.183
22	MOJ-6		1,864.480	1,864.473	1,864.536
22	MOJ-7		1,405.206	1,405.190	1,405.228
22	38		1,092.471	1,092.457	1,092.434
22	31		1,157.141	1,157.123	1,157.123
22	13		1,897.392	1,897.371	1,897.386
M-3	6		2,747.375	2,747.371	2,747.432
M-3	28		2,307.706	2,307.711	2,307.730
M-3	13		1,910.646	1,910.669	1,910.694
M-3	MOJ-6		2,487.884	2,487.842	2,487.773
M-3	38		2,406.650	2,406.650	2,406.702
M-3	MOJ-7		2,346.150	2,346.124	2,346.102
M-3	22		3,473.331	3,473.341	3,473.363
M-3	18		3,222.790	3,222.788	3,222.826

MOVIMIENTOS DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO MEDIDOS EN EL CAMPO GEOTERMICO DE CERRO PRIETO

RESUMEN

El área geotérmica de Cerro Prieto en el Valle de Mexicali, 30 kilómetros al sudeste de Mexicali, Baja California, sufrió una leve deformación debido a la extracción de vapor y agua caliente y, probablemente, a un tectonismo activo. Durante 1977-1978, el U.S. Geological Survey estableció y relevó dos redes de control horizontal con el fin de definir ambos tipos de movimiento. Estas redes consisten en: (1) una red regional de trilateración extendida hasta las sierras situadas al oeste del área geotérmica desde estaciones de una red del U.S. Geological Survey establecida anteriormente para medir la deformación de la corteza al norte de la frontera internacional; y (2) una red local ligada a las estaciones de la red regional y que cubre las zonas de producción geotérmica actual y futura.

En 1978, 1979 y 1981 se utilizaron instrumentos electrónicos de medición de distancias para determinar las distancias entre las estaciones de ambas redes. La longitud promedio de las líneas de la red regional fue de 25 km, y la desviación estándar de cada medición se estimó en aproximadamente 0.3 partes por millón de longitud de línea. La red local fue medida utilizando diferentes instrumentos y técnicas. La longitud promedio de las líneas fue aproximadamente 5 km y la desviación estándar de cada medición fue de unas 3 partes por millón de longitud de línea.

En la red regional los movimientos de la superficie del terreno determinados por los levantamientos que se repitieron en 1979 y 1981 fueron pequeños y no excedieron el nivel de ruido. La repetición del levantamiento de la red local realizada en 1979 mostró un movimiento aparente de 2 a 3 cm hacia el centro del área de producción. Este movimiento aparente estuvo restringido a los límites generales del área de producción. La repetición del levantamiento de la red local completada en 1981 no mostró un aumento del movimiento atribuible a la extracción de fluidos.

INTRODUCCION

El área geotérmica de Cerro Prieto se encuentra en el Valle de Mexicali a unos 30 km al sudeste de Mexicali, Baja California. Veintisiete pozos productores agrupados en un área algo mayor de 5.5 km² descargan aproximadamente 3400 toneladas de mezcla agua-vapor por hora¹. El agua deja el área a través de un canal o se evapora; menos de 1% de la misma es reinyectada.

La extracción de grandes volúmenes de fluidos de yacimientos del subsuelo generalmente está acompañada por la generación de grandes esfuerzos en las formaciones del yacimiento². Las deformaciones resultantes a profundidad, dentro

del yacimiento, tienden a ser transmitidas hacia la superficie, produciendo deformaciones detectables en la superficie del terreno. Del análisis de los cambios medidos en la superficie se puede obtener una idea de la naturaleza de las deformaciones en el subsuelo, y también de las características mecánicas del sistema del yacimiento y de su recarga.

En 1977-1978 se establecieron tres redes de control geodético de precisión para medir las deformaciones tectónicas e inducidas de la superficie alrededor del área geotérmica. DETENAL (Dirección General de Estudios del Territorio Nacional de México) estableció una red de nivelación de primer orden para medir los cambios verticales al sur de la frontera internacional pasando por el campo geotérmico³. Para medir deformaciones horizontales el U.S. Geological Survey estableció dos redes: (1) una red regional de trilateración, que constituye una extensión hacia el sur de la red preexistente en el sur de California, y (2) una red local de control horizontal establecida en el área de producción y sus alrededores. Este trabajo discute solamente las mediciones y el análisis de los cambios horizontales.

ARREGLO DE LA RED

En la Figura 1 se muestra la red regional de trilateración que se extendió hacia el sur desde la red que actualmente existe para medir deformaciones de la corteza al norte de la frontera. Se muestran también las estaciones de la red local (triángulos sólidos) que se ligaron con las estaciones de la red regional (triángulos abiertos), así como la ubicación de la zona de producción.

EQUIPO DE RELEVAMIENTO UTILIZADO

La red regional se midió con un Geodolito Spectra-Physics modelo 3G de largo alcance (hasta 40 km). Este instrumento también se utilizó para vincular las estaciones locales con las estaciones de la red regional. En 1978 y 1979 las líneas de la red local fueron medidas con un Kueffell y Esser Ranger III de mediano alcance (hasta 12 km bajo buenas condiciones). En 1981 se utilizó un Hewlett-Packard modelo 3808A. (La mención de marcas comerciales en este trabajo es sólo para efectos de identificación y no implica endoso por parte del U.S.

Geological Survey). El Ranger III y el Geodolito utilizan un haz laser de helioneón modulado en el espectro visible. El instrumento Hewlett-Packard usa un haz infrarrojo modulado en el espectro no visible. La precisión de las mediciones es $\pm(5 \text{ mm} + 3 \text{ ppm})$ usando los instrumentos Ranger III y Hewlett-Packard, y $\pm(3 \text{ mm} + 0.2 \text{ ppm})$ si se utiliza el Geodolito⁴. Los retrorreflectores que se usaron en las mediciones de ambas redes son uni-

dades disponibles comercialmente, de diseño convencional. Están diseñados tal que un rayo o haz de luz proyectado desde un instrumento es reflejado hacia el mismo a lo largo de la trayectoria de propagación.

MOVIMIENTOS MEDIDOS DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO

La primera medición de la red regional se efectuó durante enero y febrero de 1978; los relevamientos subsiguientes se realizaron en marzo de 1979 y abril de 1981. La red local (Figura 2) se midió por primera vez en febrero y marzo de 1978; subsiguientes mediciones se efectuaron durante marzo de 1979 y enero de 1981. Las longitudes de las líneas de la red regional, especificadas en la Tabla 1, son distancias de arco reducidas a nivel del mar. Las longitudes de la líneas de la red local, detalladas en la Tabla 2, son mediciones de estación a estación.

La acumulación de deformación se determinó a partir de cambios en las longitudes de las líneas dentro de las redes, asumiendo un campo de deformación uniforme⁵. En la Figura 3 se muestra la orientación y magnitud de las tasas de deformaciones principales máximas y mínimas para la parte de la red regional al este del volcán Cerro Prieto. La tasa de acumulación de deformación para el período 1978-79 es menos que una parte por millón, y no es significativa a dos desviaciones estándar o a 95% de niveles de confianza. Un campo de deformación no uniforme resultó de los desplazamientos debidos al terremoto Guadalupe Victoria del 8 de junio de 1980 (M. Lisowski, U.S. Geological Survey, Menlo Park, California, comunicación oral). Por lo tanto no se realizó un análisis de la deformación para esta parte de la red regional para el período 1978-81. Los datos obtenidos en la parte de la red regional al este del volcán Cerro Prieto durante el relevamiento que se repitió en 1981 están siendo analizados con el fin de determinar los efectos del terremoto. Estos datos serán publicados por otros y no forman parte de este trabajo.⁶

El diagrama de deformación principal (Figura 4) para la parte de la red regional al oeste del volcán Cerro Prieto para el período 1978-79 muestra una pequeña expansión o dilatación positiva. La tasa de la deformación principal máxima es marginalmente significativa, teniendo una orientación NE-SO. Para la misma área las tasas de deformación principal correspondientes al período 1978-81 (Figura 5) no presentan una acumulación significativa de deformación.

Las tasas de las deformaciones principales máximas y mínimas determinadas a partir de mediciones dentro del área de producción para el período 1978-79, se muestran en la Figura 6. Este diagrama de las tasas de acumulación de deformaciones muestra un movimiento

importante hacia el centro del área de producción en dirección NE-SO (31 ± 6 partes por millón por año), y una pequeña expansión en dirección NO-SE (2 ± 1 partes por millón por año). El diagrama de deformación para aquellas mismas líneas que cubren el área de producción para el período 1978-81 (Figura 7) muestra una orientación similar pero con una tasa menor para la deformación principal máxima (18 ± 5.6 partes por millón por año), y una tasa mayor para la deformación principal mínima (8.4 ± 1.7 partes por millón por año).

Los diagramas de deformación principal para la red local, cuando se excluyen las líneas a través del área de producción para los períodos 1978-79 y 1978-81 (Figuras 8 y 9) muestran muy poca acumulación de deformación. Las tasas de deformación principal son significativamente menores que el nivel de ruido, excepto para la deformación principal máxima para el período 1978-81 la cual es sólo marginalmente significativa.

CONCLUSIONES

Un movimiento de la superficie del terreno hacia el centro del área de producción, debido a la extracción de fluidos, ha ocurrido durante el período de estudio (1978-81). Este movimiento ocurrió principalmente durante el período 1978-79; está restringido al área de producción y probablemente no excede los 6 o 7 cm. Durante el período 1978-81 no se ha observado un cambio uniforme en la longitud de las líneas a través del área de producción similar al acortamiento general que ocurrió en 1978-79. Por lo tanto para el período más largo no hubo un aumento aparente en la tasa de deformación debido a la extracción continua de fluidos.

Todo movimiento de la superficie del terreno que ocurrió fuera del área de producción, excluyendo probablemente los movimientos inducidos por terremotos, ha sido pequeño, como lo indica las tasas de deformación presentadas en las Figuras 3, 4, 5, 8 y 9. Fuera del área de producción ningún movimiento resultante de la extracción de fluidos es evidente.

AGRADECIMIENTOS

Quisieramos agradecer a nuestros colegas del U.S. Geological Survey, Lawrence Berkeley Laboratory y especialmente aquellos de la Comisión Federal de Electricidad por la ayuda y cooperación que hicieron posible este trabajo. Este trabajo fue auspiciado por el U.S. Department of Energy y por el U.S. Geological Survey como parte del acuerdo de cooperación entre CFE y DOE, con la coordinación técnica del Lawrence Berkeley Laboratory.