

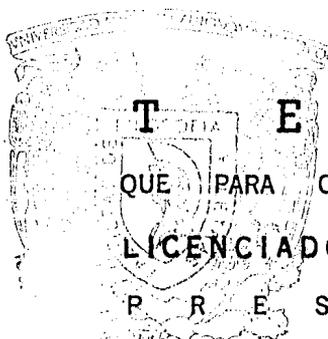
24
12A



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

APORTACION AL ESTUDIO GEOGRAFICO DE LA GEOTERMIA EN MEXICO



T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
LICENCIADO EN GEOGRAFIA
P R E S E N T A N :

☆ GUILLERMO LOPEZ FLORES
☆ ALVARO GUZMAN VARGAS

SECRETARIA DE
ASUNTOS ESCOLARES

MEXICO, D. F.

NOVIEMBRE, 1986

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

APORTACION AL ESTUDIO GEOGRAFICO DE LA GEOTERMIA EN MEXICO

I N D I C E

	INTRODUCCION.....	1
I	CONCEPTO Y DEFINICION DE GEOTERMIA.....	5
II	PANORAMA GENERAL DE LAS PRINCIPALES ZONAS GEOTERMICAS EN EL MUNDO.....	7
III	SINTESIS HISTORICA DE LA GEOTERMIA EN MEXICO.....	12
IV	FISIOGRAFIA DE MEXICO.....	17
V	DESCRIPCION DEL EJE NEO-VOLCANICO.....	19
VI	ESTUDIOS PRELIMINARES EN LOS SISTEMAS DE EXPLOTACION DE LOS RECURSOS GEOTERMICOS.....	33
VII	DESCRIPCION GEOGRAFICA DE LOS PRINCIPALES CAMPOS GEO TERMICOS.....	46
	a) Pathé, Hgo. e Ixtlán de los Hervores, Mich.....	47
	b) Los Azufres, Mich.....	50
	c) Cerro Prieto, B.C.....	66
	d) Los Humeros-Las Derrumbadas, Pue.....	89
	e) La Primavera, Jal.....	104
VIII	CONTAMINACION E IMPACTO AMBIENTAL.....	116
IX	USO INTEGRAL DE LA ENERGIA GEOTERMICA.....	127
	CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES.....	146
	BIBLIOGRAFIA.....	149

APORTACION AL ESTUDIO GEOGRAFICO DE LA GEOTERMIA EN MEXICO

INTRODUCCION

Las nuevas corrientes científicas y tecnológicas en el presente, propugnan por un cambio fundamental en la relación HOMBRE-MEDIO AMBIENTE por cuanto se ha pasado del concepto de una tierra estática a considerarla dinámica, lo cual propicia altos beneficios, fundamentalmente de carácter económico.

En el contexto geográfico, los recursos naturales han sido a lo largo de la historia de la humanidad, los medios determinantes para su subsistencia y desarrollo. De ellos se han obtenido las diversas fuentes de energía que han sido fundamentales en el avance o incremento de numerosas actividades a través del tiempo. Por ejemplo, la madera de las zonas boscosas, el carbón bituminoso, el petróleo y gas, la energía atómica, la energía solar, la eólica, la hidráulica (ríos, oleaje, mareas) y particularmente de la que se hace mención en este trabajo, es decir, la energía geotérmica.

En la actualidad, a la Geotermia se le concibe como una ciencia que estudia la localización, cuantificación, extracción y aplicación de los fluidos geotérmicos como fuente productora de energía y de otros recursos derivados.

Podemos afirmar que dentro de los problemas a que se enfrenta la humanidad, los energéticos ocupan un sitio destacado, ya que, el desarrollo económico e industrial, así como las necesidades cada vez mayores de una población creciente, han demandado en los países un incremento en la capacidad energética instalada. Esta demanda tradicionalmente se satisfacía haciendo-

uso principalmente de los medios convencionales de energía tales como la hidráulica y la térmica, pero al transcurso de los años, se realizaron investigaciones para contar con nuevas fuentes energéticas. En este panorama, la energía geotérmica es una de las grandes opciones.

La utilización del vapor del subsuelo al ser captado a profundidades relativamente someras mediante perforaciones, es conducido a unidades turbogeneradoras. Este vapor o agua geotérmica se encuentra generalmente asociado con zonas de inestabilidad tectónica y volcánica, saturando los intersticios de las rocas bajo ciertas condiciones de presión y de temperatura.

Para el estudio y desarrollo de la Geotermia, se realizan una serie de investigaciones que comprenden: Geología Estructural, Geofísica, Geoquímica, Tectónica, Vulcanismo; perforaciones exploratorias, explotación y uso integral.

En la explotación de las zonas geotérmicas es fundamental la existencia de ciertas condiciones tales como: una fuente de calor, una capa de roca permeable y otra de rocas impermeables.

El aprovechamiento se realiza después de una serie de investigaciones científicas que permiten conocer la forma y estructura del recipiente almacenante (reservorio), así como los sitios más adecuados para llevar a cabo las perforaciones y obtener los fluidos geotérmicos en superficie.

Los países que actualmente explotan la energía geotérmica son ya numerosos entre los cuales destacan: Italia, Nueva Zelanda, Estados Unidos de América, Japón, U.R.S.S., República Popular de China, El Salvador, Filipinas, Islandia y por supuesto, México.

Nuestro territorio está considerado como una parte de las superficies terrestres en donde las condiciones de la corteza terrestre presentan una -

- 4.- Interesar a los estudiantes por el estudio de la Geotermia como parte de su formación, particularmente a los geógrafos.
- 5.- Evaluar la trascendencia que representa el uso integral de la energía geotérmica en México.

Para lograr dichos objetivos, se emplean las siguientes técnicas de investigación:

- a) Documental
- b) De campo

Respecto a las primeras, se elaboró una cantidad considerable de fichas de trabajo, mediante la consulta del acervo bibliográfico concentrado en varias instituciones que se visitaron como:

El Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Gerencia de proyectos geotermoeléctricos, bibliotecas de la Comisión Federal de Electricidad; institutos de investigación de la U.N.A.M. tales como: Geofísica, Ingeniería, Geología, Geografía; así también el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y, la Sociedad Geológica Mexicana, A. C., obteniéndose de todas esas instituciones un importante material fotocopiado. Además, se tuvo la oportunidad de asistir a conferencias y a un simposio sobre Geotermia, eventos que permitieron aumentar los conocimientos sobre la materia.

En lo referente al trabajo de campo, se destacan las visitas realizadas a algunos campos geotérmicos y la permanencia en ellos el tiempo necesario, con la finalidad de recabar la mayor cantidad de datos posibles de acuerdo a lo proyectado en el marco de referencia, a través de la observación directa, muestreos, entrevistas y cuestionarios.

uso principalmente de los medios convencionales de energía tales como la hidráulica y la térmica, pero al transcurso de los años, se realizaron investigaciones para contar con nuevas fuentes energéticas. En este panorama, la energía geotérmica es una de las grandes opciones.

La utilización del vapor del subsuelo al ser captado a profundidades relativamente someras mediante perforaciones, es conducido a unidades turbogeneradoras. Este vapor o agua geotérmica se encuentra generalmente asociado con zonas de inestabilidad tectónica y volcánica, saturando los intersticios de las rocas bajo ciertas condiciones de presión y de temperatura.

Para el estudio y desarrollo de la Geotermia, se realizan una serie de investigaciones que comprenden: Geología Estructural, Geofísica, Geoquímica, Tectónica, Vulcanismo; perforaciones exploratorias, explotación y uso integral.

En la explotación de las zonas geotérmicas es fundamental la existencia de ciertas condiciones tales como: una fuente de calor, una capa de roca permeable y otra de rocas impermeables.

El aprovechamiento se realiza después de una serie de investigaciones científicas que permiten conocer la forma y estructura del recipiente almacenante (reservorio), así como los sitios más adecuados para llevar a cabo las perforaciones y obtener los fluidos geotérmicos en superficie.

Los países que actualmente explotan la energía geotérmica son ya numerosos entre los cuales destacan: Italia, Nueva Zelandia, Estados Unidos de América, Japón, U.R.S.S., República Popular de China, El Salvador, Filipinas, Islandia y por supuesto, México.

Nuestro territorio está considerado como una parte de las superficies terrestres en donde las condiciones de la corteza terrestre presentan una -

gran actividad tectónica por la acción de las placas, tales como la Norteamericana, Caribe, Pacífica, Cocos, etc., que producen las llamadas cordilleras axiales y las zonas de subducción, así también como una interesante zona de gran actividad volcánica en la parte continental. Todo esto permite considerar a nuestro país como un gran campo de recursos físicos, específicamente de vapor endógeno, que se manifiesta con la presencia de innumerables focos hidrotermales, siendo algunos de ellos de gran interés como los que se observan en las regiones de: Cerro Prieto, B.C., Los Azufres, Mich., La Primavera, Jal., Los Humeros-Derrumbadas, Puebla, que han sido base para la elaboración de este trabajo.

Las magníficas experiencias en el campo de la Geotermia que se han tenido tanto en Italia como en Islandia, sirvieron de estímulo a los investigadores mexicanos para aprovechar de manera similar los recursos geotérmicos que existen en nuestro país, llevándose a cabo los trabajos preliminares en la región de Pathé, Hgo. en el año de 1955 a través de la Comisión Federal de Electricidad. Actualmente, la Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos dependiente de esa Comisión es la encargada de realizar las obras de carácter geotérmico.

Considerando el enorme potencial en recursos geotérmicos existente a lo largo y ancho del territorio nacional, y por lo tanto su proyección e importancia de acuerdo a las investigaciones realizadas en este campo, se pretende mediante este trabajo destacar los aspectos más relevantes al respecto por medio de los siguientes objetivos:

- 1.- Caracterizar los campos geotérmicos de México.
- 2.- Difundir los trabajos que se realizan en el campo de la Geotermia.
- 3.- Destacar la importancia que tiene la Geotermia como una ciencia aplicada.

- 4.- Interesar a los estudiantes por el estudio de la Geotermia como parte de su formación, particularmente a los geógrafos.
- 5.- Evaluar la trascendencia que representa el uso integral de la energía geotérmica en México.

Para lograr dichos objetivos, se emplean las siguientes técnicas de investigación:

- a) Documental
- b) De campo

Respecto a las primeras, se elaboró una cantidad considerable de fichas de trabajo, mediante la consulta del acervo bibliográfico concentrado en varias instituciones que se visitaron como:

El Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Gerencia de proyectos geotermoeléctricos, bibliotecas de la Comisión Federal de Electricidad; institutos de investigación de la U.N.A.M. tales como: Geofísica, Ingeniería, Geología, Geografía; así también el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y, la Sociedad Geológica Mexicana, A. C., obteniéndose de todas esas instituciones un importante material fotocopiado. Además, se tuvo la oportunidad de asistir a conferencias y a un simposio sobre Geotermia, eventos que permitieron aumentar los conocimientos sobre la materia.

En lo referente al trabajo de campo, se destacan las visitas realizadas a algunos campos geotérmicos y la permanencia en ellos el tiempo necesario, con la finalidad de recabar la mayor cantidad de datos posibles de acuerdo a lo proyectado en el marco de referencia, a través de la observación directa, muestreos, entrevistas y cuestionarios.

CONCEPTO Y DEFINICION DE GEOTERMIA

La palabra Geotermia está formada por los vocablos griegos:

Ge o Geo = Tierra

Thermos = calor

fa = lo correspondiente a.

Por lo tanto, el concepto general de Geotermia se interpreta como "lo referente al calor interno de la Tierra".

Existen diversos criterios para establecer una definición sobre el concepto Geotermia, considerando los numerosos objetivos particulares o específicos que las diferentes instituciones o Estados tratan de lograr mediante su estudio y explotación. Citaremos algunas de ellas:

Energía térmica explotable que procede del interior de la tierra.¹

Parte de la Geología que estudia el calor interno de la tierra y sus manifestaciones en la superficie terrestre.²

Estudio del aprovechamiento de las fuentes hidrotermales, vapor del subsuelo y, los procesos para su conducción y utilización en la generación de electricidad.^{2b}

Energía proveniente del subsuelo que en el estado actual del conocimiento y del avance tecnológico, es posible aprovechar.³

1. Isita y Septién José. Recursos geotérmicos, Com. Fed. de Electricidad.
2. Alonso Espinosa Héctor. La Energía Geotérmica en México: Tesis profesional. Fac. de Ingeniería, UNAM.
- 2b Alonso Espinosa Héctor. La zona geotérmica de Cerro Prieto, B.C. Boletín de la Soc. Geol. Mex. 1966.
3. Mercado Sergio. La utilización de la Energía Geotérmica en México. Inst. de Inv. Elec. Palmira, Morelos.

Rama de la Geofísica que estudia el régimen térmico interno de la tierra, la distribución de las temperaturas en el mismo, el flujo de calor que las determina y el probable origen del calor terrestre.⁴

Aprovechamiento de calor que contiene el globo terrestre y sus usos conexos.⁵

Teniendo en cuenta nuestras investigaciones, experiencias, análisis y criterios acerca del campo de estudio de la Geotermia, consideramos adecuada la siguiente definición:

Ciencia que estudia la localización, cuantificación, extracción y aplicación de los fluidos geotérmicos como fuente productora de energía y de otros recursos derivados para el aprovechamiento de la humanidad".

La hemos ubicado en el campo de las ciencias, ya que todos los conocimientos que se derivan de su estudio, son verificados por el método científico.

(4) Biblioteca Salvat de Grandes Temas. Crisis energética y recursos naturales. Vol. 45.

(5) Anda Luis F. de. Geotermia. Enciclopedia de México. Edit. Enciclopedia de México. 1978.

PANORAMA GENERAL DE LAS PRINCIPALES ZONAS GEOTERMICAS EN EL MUNDO

La explotación económica de los recursos geotérmicos se inició en la región de Larderello Italia, a fines del siglo XVIII, con la extracción del ácido bórico a partir de emanaciones naturales. En el año de 1832 adquirió carácter industrial con la perforación de los primeros pozos.

Debido a la necesidad de energía eléctrica en la planta de productos-químicos instalada, se pensó en la posibilidad de aprovechar la energía del vapor por medio de un motor de émbolo con una potencia de 35 H.P., el cual accionaba un dinamo para la iluminación de dicha fábrica. Al obtenerse resultados positivos, se continuaron realizando estudios para el aprovechamiento del vapor a mayor escala, y así, se instalaron en el año de 1914 los primeros equipos de turbogeneradores con una potencia de 2750 KW. Para el año 1930, cuando se inició la perforación de pozos de más de 300 metros de profundidad se desarrollaron las plantas geotermoeléctricas de la zona, que en la actualidad alcanzan una capacidad conjunta de 446 000 KW.

Las experiencias obtenidas en Italia en el campo de la geotermia, motivaron a otros países a realizar fuertes investigaciones en trabajos técnicos y de exploración como: Islandia, Japón, Estados Unidos de América, Nueva Zelandia, El Salvador, México, República Popular de China, U. R. S., entre otros.

En Islandia, durante varios años las investigaciones geotérmicas realizadas han sido muy importantes para la utilización del vapor endógeno, aunque debemos mencionar que principalmente se aprovecha el agua caliente obtenida de los pozos. Según especialistas de ese país, el aprovechamiento más - - -

importante se hace de la zona hidrotermal que se localiza a 16 kilometros - al noroeste de Reykjavik. Esta ciudad se abastece de agua caliente, la cual se utiliza en la calefacción doméstica y para invernaderos donde se recibe el agua a una temperatura de 84° C.

Actualmente un gran número de habitantes, tanto en viviendas como en edificios y oficinas disfrutan de la calefacción utilizando este recurso, - extendiéndose este beneficio a numerosas comunidades que cuentan con más de 1000 habitantes. Existen también un gran número de invernaderos que utilizando la energía geotérmica producen cultivos tropicales, en latitudes cercanas al círculo polar Artico.

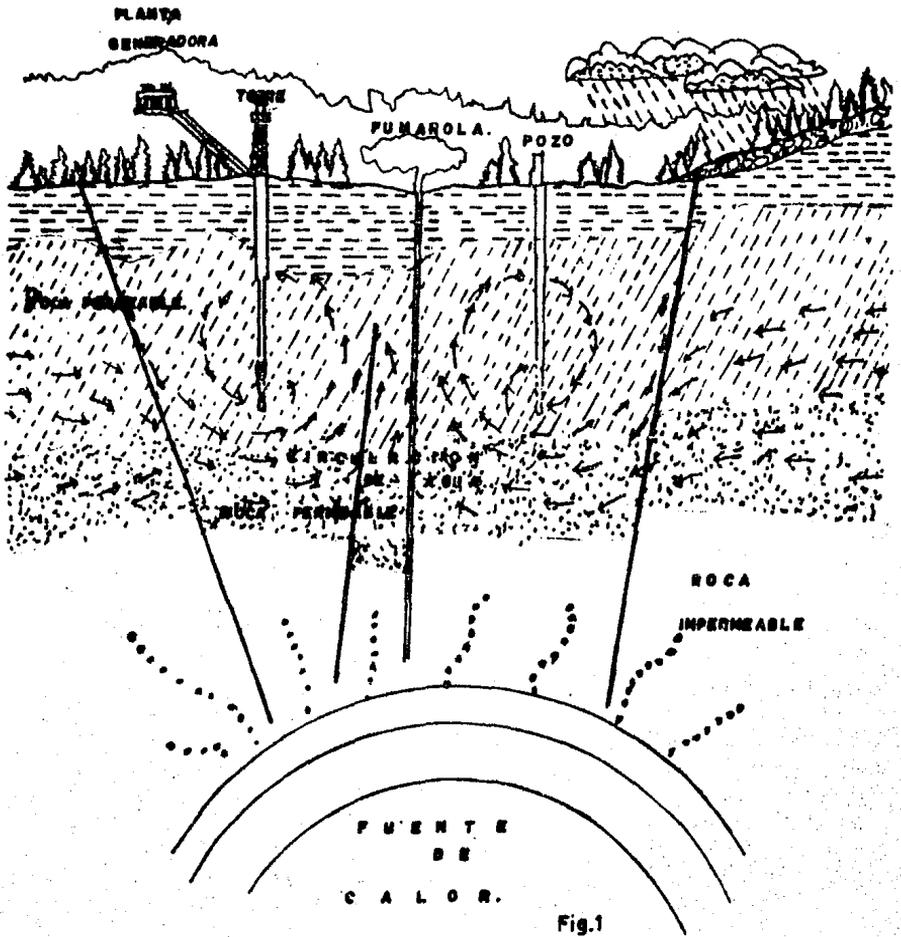
Los estudios geotérmicos realizados en Islandia, parecen indicar que - las fuentes hidrotermales no son de origen volcánico sino que se deben a la circulación del agua meteórica que llega a un horizonte permeable de donde - se toma el calor. Fig. 1.

Respecto a la producción de energía geotermoelectrica, ésta se lleva - a cabo a pequeña escala, ubicándose la planta principal en Namafjall, con - una producción superior a 2.5 MW. Otros centros geotérmicos se encuentran - en Reukjanes, Trölladynja, Krysuvik y Kerlingafjöll.

Japón es un país eminentemente volcánico en cuya superficie aparecen - infinidad de fuentes hidrotermales. En Matzukawa se han perforado numerosos pozos con bastante éxito, en los cuales se han instalado unidades turbogeneradoras con una capacidad mayor de 20 MW. Otras regiones geotérmicas en la - isla de Honshu son: Onikobe, Oshima, Kasatzu, Nerugo, Atagawa y Hakone. Respecto a la isla de Kyushu, regiones de importancia geotérmica son: Otake, - Hatchobaru, Takenoyu, Hachimantai, Obama y Ebino.

En relación a la isla de Hokkaido la zona geotérmica se localiza -

ESQUEMA TÍPICO DE UN YACIMIENTO GEOTÉRMICO.



en la región de Shoma-Shinzan.

Cabe mencionar que el Instituto Geológico del Japón tuvo que afrontar numerosas dificultades, ya que las fuentes hidrotermales están íntimamente vinculadas a costumbres de carácter religioso, por lo cual tuvo que modificar proyectos geotérmicos muy importantes.

En Nueva Zelanda, los habitantes de diversas regiones han utilizado el calor de las fuentes hidrotermales en forma tradicional para cocinar sus alimentos. En épocas más recientes y debido a la influencia europea, el agua caliente de los manantiales se han estado utilizando en la calefacción. Los primeros estudios efectuados para aplicar el vapor endógeno a la industria se llevaron a cabo en el distrito de Rotorua-Taupo; posteriormente por razonamientos de orden económico, se decidió en el año de 1949 que las investigaciones se realizaran en el área de Wairakei por considerarlas como una región típica de fuentes hidrotermales.

La opinión generalmente aceptada sobre el origen de esta actividad superficial es, que se debe al desprendimiento del vapor del magma profundo, el cual contiene una gran cantidad de gas en solución, siendo principalmente vapor de agua que es separado bajo condiciones de alta temperatura y enorme presión.

En Estados Unidos de América existen numerosas zonas hidrotermales, entre ellas se encuentran las de Steamboat cerca de Carson City en Nevada, donde se manifiestan gran número de focos termales que nacen de los aluviones que yacen bajo andesitas terciarias y mesozoicas controladas por pozos cuyas temperaturas de fondo son superiores a los 140° C.

Otra área es la de Yellowstone Park en Wyoming, en donde los diversos geysers, solfataras y fuentes hidrotermales nacen en las riolitas del

período plioceno, sin que hasta la fecha se haya realizado perforación alguna, debido a la importancia que tiene como parque nacional y zona turística.

Además de las regiones anteriores, en el estado de California se localiza la zona geotérmica de The Geysers a 80 kilómetros al norte de la ciudad de San Francisco, considerándose la más importante a nivel mundial, ya que la capacidad de producción de electricidad de los pozos en conjunto es superior a los 800 MW. El origen del vapor en esta zona tal vez sea en su mayoría magmático, sin embargo, por estar cercana a la zona de subducción de las placas tectónicas Norteamericana y Pacífica y, específicamente a la falla de San Andrés, posiblemente el vapor tenga un origen tectónico. En ese mismo estado existen otros importantes centros de exploración y explotación geotérmica, entre los cuales se encuentran: Imperial Valley, Salton Sea, Mammoth Lakes, La Caldera, Area de Casa del Diablo, Coso Range y Long Valley.

También en otros estados de la Unión Americana hay interesantes zonas de atractivo geotérmico como en: Oregon, Nuevo Mexico, Idaho, Utah, Montana, Texas, Louisiana y el archipiélago de Hawaii.⁶

En la Unión Soviética, los estudios de geotermia se han concentrado en la región de Kamchatka, en donde se han efectuado perforaciones con magníficos resultados, contando actualmente con una capacidad instalada de más de 12 MW.

En la República Popular de China, la región autónoma del Tibet, específicamente en el distrito de Cona al norte de los Montes Himalaya, cuenta con más de 600 focos termales; casi todos sus habitantes tienen sus termas domésticas. Se le considera a esta zona como la más importante en lo que --

(6) Op.Cit. Anda Luis F.De.- Geotermia: Enciclopedia de México.

respecta a los recursos geotérmicos. En esta región funciona la central geotermoelectrónica de Yangbajain, la mayor de su tipo en China.

Este país ha firmado convenios de cooperación principalmente con Italia para realizar una exploración mas amplia de sus recursos geotérmicos. En otras parte de China se usa la energía geotérmica para fines agrícolas principalmente en la producción de verduras utilizando invernaderos.

En la república del Salvador el desarrollo alcanzado en la exploración y explotación de la energía geotérmica, se manifiesta principalmente en las siguientes regiones: Ahuachapán, Sta. Rosa de Lima, cuenca del río Torola, - El Guayabo (cuenca del río Lempa). La más importante es Ahuachapán que -- está constituida por quince zonas con manifestaciones de gran intensidad en forma de lagunas, lodos hirvientes y escapes de vapor. Actualmente, su capacidad de producción instalada es mayor de 95 MW⁷.

En México, se han realizado numerosos estudios sobre geotermia, cuyos resultados han sido altamente satisfactorios, habiéndose detectado en la -- actualidad mas de 400 focos geotérmicos, siendo los de mayor interés los de Cerro Prieto, B. C., Los Azufres, Mich., Los Humeros-Las Derrumbadas, Pue.- y La Primavera, Jal. Estas regiones en conjunto representan actualmente las principales áreas de desarrollo geotérmico. Fig. 2.

(7) Alonso E. Héctor.- La Energía Geotérmica en El Salvador. Boletín - de la Sociedad Geológica Mexicana. Tomo XXVIII No. 2. 1965.

Capacidad mundial instalada y predicciones para el año 2020

País	Capacidad instalada (MW)				
	1982	1990	2000 ¹	2010 ²	2020 ³
Costa Rica	-	100	400	600	700
Chile	-	50	200	300	600
China	2	150	350	500	1 500
El Salvador	95	300	500	600	800
EE.UU.	932	4 000	7 000	10 000	13 000
Etiopía	-	30	100	200	400
Filipinas	501	1 500	3 000	4 000	5 000
Francia	-	50	100	500	600
Indonesia	32	300	600	1 000	1 500
Islandia	41	80	100	200	300
Italia	446	600	800	1 000	1 200
Japón	220	2 000	4 000	5 000	7 000
Kenia	15	90	60	150	200
México	205	1 800	4 000	7 000	10 000
Nicaragua	30	60	150	300	500
Nueva Zelanda	202	300	600	1 000	2 000
Turquía	0.5	100	200	250	400
URSS	11	300	500	1 000	2 000
Otros	1.5	100	400	600	1 000
Total	2 734	11 910	23 060	34 200	48 700

1. Se considera que se podrán explotar los yacimientos geopresurizados
2. Se supone que la tecnología permitirá explotar los yacimientos de roca seca
3. Se espera que los yacimientos marinos podrán explotarse

Fig. 2

SINTESIS HISTORICA DE LA GEOTERMIA EN MEXICO

Los magníficos resultados obtenidos en Italia en el campo de la Geotermia sirvieron de estímulo a los investigadores y técnicos mexicanos para aprovechar de manera similar los recursos geotérmicos existentes en nuestro país. El interés fue encauzado por personas conocedoras de los avances técnicos logrados en Italia, entre ellas mencionaremos a los ingenieros: Vicente Cortés Herrera, José Isita y Septién y Luis F. de Anda.

El primero gran conocedor de la región central del país y de sus necesidades energéticas, propuso al entonces presidente Lic. Miguel Alemán en el año de 1951, se estudiara el aprovechamiento de la energía geotérmica en la zona de Ixtlán de los Hervores, Mich. con el fin de obtener y utilizar vapor del subsuelo mediante la perforación de pozos profundos en esa zona volcánica, localizada en las inmediaciones de la red primaria de distribución de la empresa hidroeléctrica de Chapala.⁸ Cabe mencionar que en el año de 1948 el ingeniero Isita y Septién expresaba "Las exploraciones en la región de The Geysers en California, E.U.A., y el aprovechamiento en Italia de los gases calientes como una gran fuente de energía, podrían servir de recomendación para un estudio serio de tan importante aplicación, en base a una serie de perforaciones exploratorias en nuestro país".⁹

Además en el año de 1949, el ingeniero Luis F. de Anda señaló que México contaba con numerosos sitios de potencial geotérmico en la parte central,

- (8) Anda Luis F. De. El Campo de Energía Geotérmica en el Estado de Hidalgo, México. Congreso Geológico Internacional. México 1956.
- (9) Isita y Septién José. Ensayo Geohidrológico de San Bartolomé Aguascalientes, Estado de Guanajuato. Tesis profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM. 1948.

y que por sus características justificaban un programa de perforaciones para confirmar las investigaciones superficiales sugeridas por los ingenieros Cortés Herrera e Isita y Septién.¹⁰

El ingeniero Luis F. de Anda, después de realizar investigaciones en Larderello Italia, Reykjavik, Islandia y en The Big Geysers California E.U.A. presentó en agosto de 1951 a la Comisión Federal de Electricidad y al Banco de México S.A., un estudio-proyecto sobre el aprovechamiento geotérmico de Ixtlán de los Hervores, Mich. para la generación de energía eléctrica destinada al "Sistema Combinado Chapaia-Guanajuato-Michoacán".¹¹

El Banco de México S.A., comisionó a los ingenieros Emilio Alanís Patiño y Emilio Rodríguez Mata para que juzgaran la posibilidad de su realización, siendo el informe rendido al Departamento de Investigaciones Industriales de ese banco, favorable.¹²

En vista de la conveniencia que revestía la generación de energía eléctrica por este procedimiento y, con el deseo de profundizar los conocimientos sobre los métodos para la localización de pozos, su perforación y la utilización del vapor en los equipos turbogeneradores, el ingeniero De Anda realizó en el año de 1952, un prolongado viaje de estudio a las instalaciones de Larderello Italia.¹³

En el año de 1953, sustentó diversas conferencias sobre la utilización de la energía geotérmica ante los ingenieros de la Comisión Federal de Elec-

(10) Op. cit. Anda Luis F. de: El campo de Energía Geotérmica.

(11) Op. cit. Anda Luis F. de: El campo de Energía Geotérmica.

(12) IBID: Anda Luis F. de:

(13) IBID: Anda Luis F. de:

tricidad y, en diciembre de ese año presentó la ponencia "Los aprovechamientos geotérmoelectrícos en Italia y las posibilidades de desarrollo en México", en el Tercer Congreso Nacional de Ingenieros Mecánicos y Electricistas. Dicha ponencia permitió que el ing. Isita y Septién se pusiese en contacto con él, dado el interés que también tenía en los estudios hidrotermales.¹⁴

En 1954, el Ing. De Anda continuó insistiendo sobre la conveniencia de llevar a cabo las exploraciones en las tres primeras zonas propuestas, es decir, en Ixtlán de los Hervores y Cerro de San Andrés en el estado de Michoacán y Pathé, Hgo., ante el Departamento de Investigaciones Industriales del Banco de México S.A. y el Departamento de Promoción de Nacional Financiera S.A. contando con el apoyo del Ing. Gonzálo Robles y el Lic. Manuel Alvarado jefes respectivos de los departamentos enunciados.¹⁵

Siendo titular de la Secretaría de Economía Nacional el Lic. Gilberto Loyo, se autorizó realizar las exploraciones con aportaciones por partes iguales entre la Comisión Federal de Electricidad, la Nacional Financiera S.A. y el Banco de México S.A. Este último, comisionó al Ing. Isita y Septién para que colaborara con el Ing. De Anda.

Para fines de 1954, el Ing. geólogo Jesús Ruiz Elizondo especialista en Geología Estructural proporcionó amplia colaboración efectiva y desinteresada en los estudios que se realizaban, cuyas experiencias fueron de gran utilidad.¹⁶

Siendo director general de la Comisión Federal de Electricidad el Ing.-

(14) IBID. Anda Luis F. de:

(15) IBID. Anda Luis F. de:

(16) IBID. Anda Luis F. de:

Carlos Ramírez Ulloa, el gobierno de México solicitó a las Naciones Unidas - su asistencia técnica con el fin de que un especialista diera su opinión sobre los estudios ya realizados. El comisionado fue el Ing. Gunnar Bodvarson jefe del Departamento Geotérmico de la autoridad estatal eléctrica de Islandia, quien después de analizar detenidamente los estudios previos, efectuó - diversas visitas a los tres sitios de referencia, rindiendo un informe preliminar favorable el 24 de diciembre de 1954. Simultáneamente a instancias - del Ing. De Anda se efectuaron diversos estudios por parte del Instituto Nacional para la Investigación de Recursos Minerales y del Instituto de Geología, contando con la valiosa colaboración de los ingenieros geólogos Carlos-Acosta del Campo y Federico Mosser los que se mostraron optimistas sobre los posibles resultados.

Finalmente el 4 de mayo de 1955, se estableció un fideicomiso constituido por el Banco de México S.A., Nacional Financiera S.A. y la Comisión Federal de Electricidad, constituyendo un fondo para que se llevaran a cabo las exploraciones bajo la dirección del Ing. Luis F. de Anda en su carácter de - presidente del grupo técnico denominado "Comisión de Energía Geotérmica".¹⁷

El Banco de México S.A. en constante colaboración comisionó al Ing. geólogo José Isita y Septién para que cooperara en los trabajos de dicha comisión.

Después de realizados los estudios preliminares en la zona de Pathé, - Hgo., se inició el 17 de agosto de 1955 la perforación del pozo No. 1, brotando el vapor el 12 de enero de 1956 a una profundidad de 237 m. y, el 10. - de agosto de ese mismo año brotó el vapor geotérmico del pozo No. 2 a solo -

(17) IBID: Anda Luis F. de:

una profundidad de 64 m. En ese año se instaló una planta geotermoeléctrica experimental de 3500 kw.¹⁸

En base a estos trabajos preliminares y considerando los resultados obtenidos, el gobierno federal para salvaguardar los intereses de la Nación, estableció por decreto del 31 de diciembre de 1956, la ley reglamentaria del párrafo quinto del Art. 27 constitucional en materia de aguas del subsuelo, las que quedaron a favor de la Nación en estado de vapor y de temperaturas mayores a 80°C con preferencia de uso para la Comisión Federal de Electricidad.¹⁹

El 18 de enero de 1958 debido a las investigaciones y trabajos realizados por la Comisión de Energía Geotérmica, se obtuvo vapor de agua en la zona de Ixtlán de los Hervores, Mich., y, el 16 de julio de 1961 en el campo geotérmico de Cerro Prieto, en Mexicali, B.C.

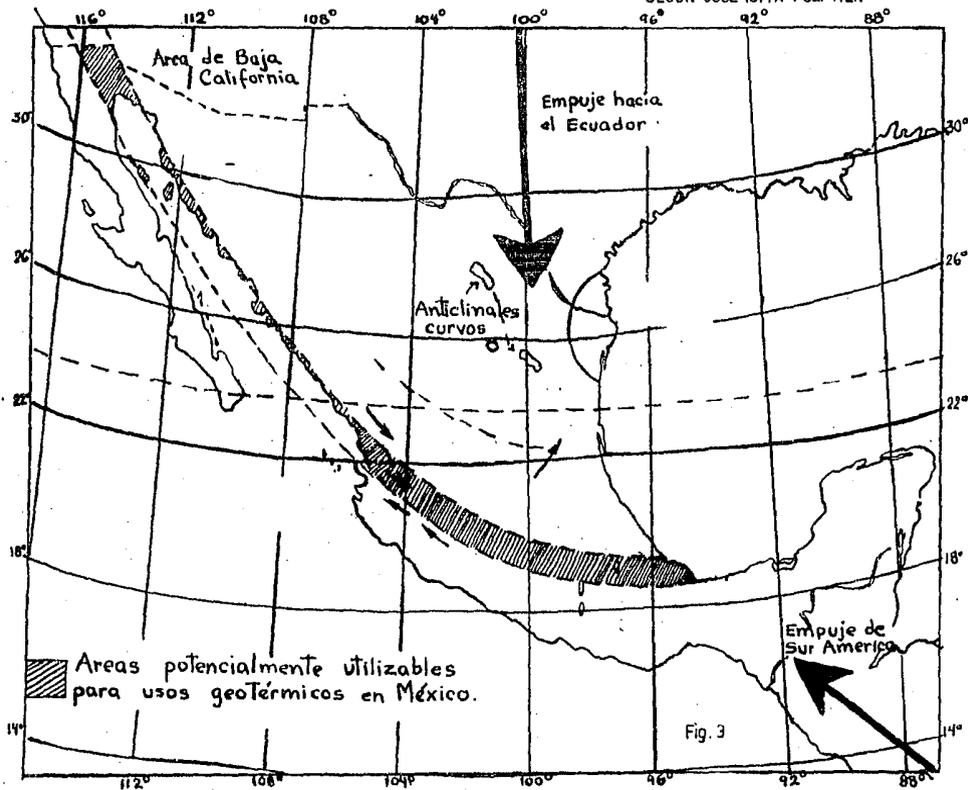
Posteriormente, se efectuaron trabajos experimentales en Los Azúfres Mich., San Marcos y La Primavera en Jalisco y, en la región de Los Humeros--Derrumbadas, Puebla. Fig. 3.

(18) IBID: Anda Luis F. de:

(19) IBID. Anda Luis F. de: Geotermia: Enciclopedia de México: 1978.

AREAS POTENCIALMENTE UTILIZABLES PARA USOS GEOTERMICOS EN MEXICO

SEGUN JOSE ISITA Y SEPTIEN



FISIOGRAFIA DE MEXICO

La gran diversidad de aspectos geológicos y geomorfológicos que presenta el territorio nacional, ha motivado a geólogos y geógrafos tanto mexicanos como extranjeros a tratar de estructurar una división del mismo en provincias fisiográficas.

Recordemos que la Fisiografía se refiere a la descripción del paisaje físico, pero no únicamente en su aspecto estático, sino también en el dinámico.

La fisiografía de México que actualmente se toma en consideración para realizar diversos estudios, se basa en los criterios que maneja el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), los cuales consideran principalmente aspectos geológicos.²⁰

A continuación, se indican las provincias fisiográficas que constituyen a nuestro país:

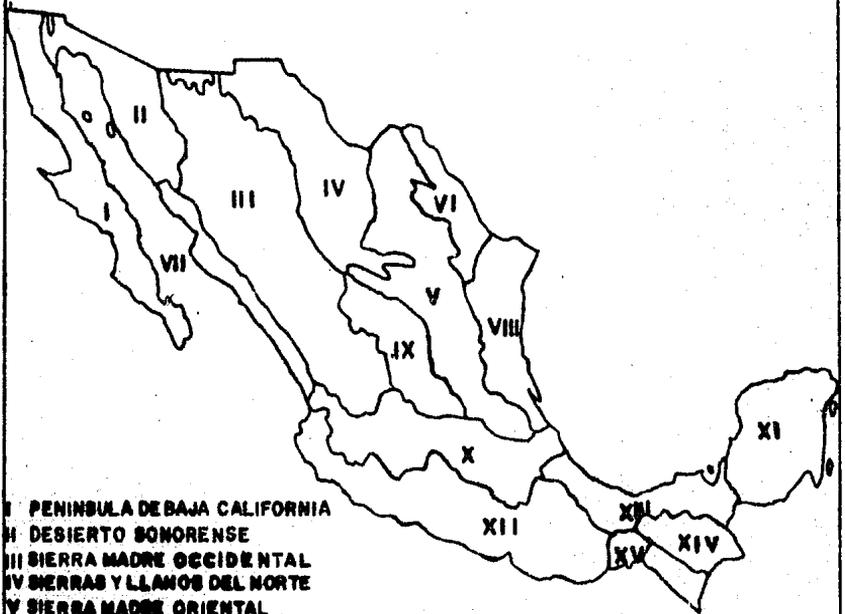
- I PENINSULA DE BAJA CALIFORNIA
- II LLANURA SONORENSE
- III SIERRA MADRE OCCIDENTAL
- IV SIERRAS Y LLANURAS DEL NORTE
- V SIERRA MADRE ORIENTAL
- VI GRANDES LLANURAS DE NORTE AMERICA
- VII LLANURA COSTERA DEL PACIFICO
- VIII LLANURA COSTERA DEL GOLFO NORTE
- IX MESA DEL CENTRO

- X EJE NEOVOLCANICO
- XI PENINSULA DE YUCATAN
- XII SIERRA MADRE DEL SUR
- XIII LLANURA COSTERA DEL GOLFO SUR
- XIV SIERRAS DE CHIAPAS Y DE GUATEMALA
- XV CORDILLERA CENTRO AMERICANA

Fig. No. 4.

Los estudios fisiográficos son de gran utilidad para detectar con mayor facilidad las áreas de interés geotérmico, ya que como se indicó, las provincias fisiográficas están determinadas en base a estudios geológicos. Considerando que la mayoría de los focos hidrotermales se localizan en la provincia fisiográfica llamada Eje Neovolcánico y, por lo tanto, la que reviste mayor importancia geotérmica, se hará una breve descripción de ella.

PROVINCIAS FISIOGRAFICAS



- I PENINSULA DE BAJA CALIFORNIA
- II DESIERTO SONORENSE
- III SIERRA MADRE OCCIDENTAL
- IV SIERRAS Y LLANOS DEL NORTE
- V SIERRA MADRE ORIENTAL
- VI GRAN LLANURA DE NORTEAMERICA
- VII LLANURA COSTERA DEL PACIFICO
- VIII LLANURA COSTERA DEL GOLFO NORTE
- IX MESA DEL CENTRO
- X EJE NEOVOLCANICO
- XI PENINSULA DE YUCATAN
- XII SIERRA MADRE DEL SUR
- XIII LLANURA COSTERA DEL GOLFO SUR
- XIV SIERRA DE CHIAPAS
- XV CORDILLERA CENTROAMERICANA

Fig. 4

DESCRIPCION DEL EJE NEOVOLCANICO

Esta provincia es de las más espectaculares, debido a su prominencia topográfica, que se extiende a lo largo de unos 950 kms. desde la región del volcán Ceboruco en Nayarit, al oeste, hasta el volcán Citlaltépetl al este. Su anchura es variable abarcando una amplia franja entre los paralelos de 19° y 21° de latitud norte. Ha recibido diversas denominaciones como: Zona Erup-tiva, La Sierra de los Volcanes, Neovolcanic Plateau, Faja Volcánica Transmexicana, Eje Neovolcánico Transmexicano, Sierra Volcánica Transversal, Cordi-llera Neovolcánica, entre otros.²¹

El Eje Neovolcánico colinda al norte con la Mesa Central, siendo el lími-te la línea en que la superficie de la meseta cede su lugar a las vertientes-de las montañas. Sus contactos occidental, meridional y oriental son la fran-ja en que los materiales volcánicos encuentran a los sedimentos de las provin-cias adyacentes, o sean, la Sierra Madre del Sur, cuencas de Morelos-Guerrero y cuenca de Tlaxiaco. Esta línea rodea el volcán de Colima y avanza hacia el este en un curso sinuoso cortando las cabeceras de los tributarios septentrio-nales del río Balsas, y la parte oriental del Pico de Orizaba.

En forma general, anteriormente se le consideraba como parte de la Mesa-Central, pero su origen, estructura geológica, mayor altitud y rasgos fisio--gráficos, la distinguen claramente de esa provincia, justificando la denomina-ción que se le ha dado.

El Eje Neovolcánico está formado por una gran variedad de rocas ígneas,-

(21) López Ramos E. Geología de México. Tomo III. Instituto de Geología, UNAM, 1979.

principalmente extrusivas, que fueron emitidas a través de un importante número de aparatos volcánicos, algunos de los cuales constituyen las principales altitudes del país; también se presentan aluviones de origen lacustre - del terciario, pleistoceno y reciente.

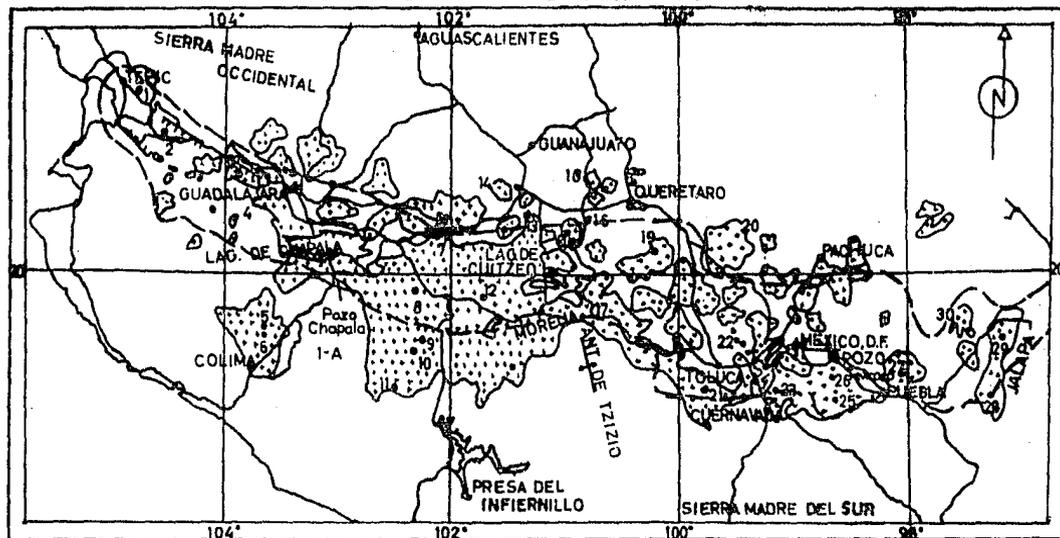
La actividad volcánica en esta franja ha dado lugar a un gran número de cuencas endorreicas con el consecuente desarrollo de lagos, lo que da al paisaje geomorfológico una apariencia muy característica.

Los principales edificios volcánicos que se localizan en esta provincia son estratovolcanes de dimensiones muy variables como: El Pico de Orizaba, El Popocatepetl, El Iztaccíhuatl, El Nevado de Toluca, el Nevado de Colima, etc., todos ellos fueron edificadas por emisiones alternantes de productos piroclásticos y derrames lávicos.

Existen también aparatos del tipo de conos cineríticos que son generalmente pequeños, tales como el Parícutín y los aparatos dómico-riolíticos que se encuentran ubicados al suroeste de la ciudad de Guadalajara. Además de estos tipos de emisiones centrales, hay evidencias de emisiones fisurales y de conos adventicios desarrollados en las laderas de los grandes estratovolcanes. Existen por otra parte, algunas calderas tanto de colapso como de explosión; ejemplo de las más grandes son la de La Primavera en Jalisco y la de Los Hornos en el Estado de Puebla. Fig. 5.

La composición petrográfica de las rocas que conforman el Eje Neovolcánico es muy variable. Son abundantes los derrames y productos piroclásticos de composición andesítica, aunque existen numerosas unidades dacíticas y aún riodacíticas. Se presentan además manifestaciones locales aisladas de vulcanismo riolítico reciente, como las que se encuentran en los domos de la Pri-

PROVINCIA DEL EJE NEOVOLCANICO



Por F. Mooser (1972), A Demant y otros (1976), y E López Ramos (1978)

- ✦ Pozo de sondeo
- Volcán
- Límite aproximado del Eje Neovolcánico
- ▨ Rocas ígneas Plio-Cuaternarias (Andesitas, basaltos y tobas)

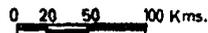


Fig5

- | | | |
|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 1 VOLCAN SANGANGÜEY | 11 CERRO BUENA VISTA | 21 NEVADO DE TOLUCA |
| 2 VOLCAN CEBORUCO | 12 VOLCAN ZACAPU | 22 SIERRA DE LAS CRUCES |
| 3 VOLCAN DE TEQUILA | 13 VALLE GRANDE DE SANTIAGO | 23 SIERRA CHICHINAUTZIN |
| 4 DOMOS DE LA PRIMAVERA | 14 CERRO HUILÓTE | 24 XITLE |
| 5 NEVADO DE COLIMA | 15 CERRO CULIACAN | 25 POPOCATEPETL |
| 6 VOLCAN DEL FUEGO | 16 CERRO DE LA GAVIA | 26 IZTACCIHUATL |
| 7 CERRO CUJUARUATO | 17 CERRO DE SAN ANDRES | 27 CERRO MALINCHE |
| 8 CERRO PATAMBAN | 18 CERRO DEL TORO | 28 PICO DE ORIZABA |
| 9 VOLCAN PARICUTIN | 19 CERRO DEL GALLO | 29 COFRE DE PEROTE |
| 10 CERRO TANCITARO | 20 CERRO DEL ASTILLERO | 30 CALDERA DE TEZIUTLAN |

mavera en Jalisco, en el área de los Azufres en Michoacán y en Tequila, Jal.

Desde un punto de vista químico el Eje Neovolcánico está considerado - por numerosos investigadores como una provincia calco-alcalina, caracterizada por su abundancia de andesitas y dacitas y, por su relación que guardan - sus contenidos de óxidos de sílice, sodio y potasio.

La mayoría de los geólogos entre ellos F. Mooser, Negendank y Bloomfield, coinciden en que la actividad volcánica del Eje Neovolcánico se inició en el oligoceno y que ha continuado hasta el reciente. En esta actividad se ha reconocido dos ciclos principales: uno, oligoceno-mioceno y otro, plioceno-pleistoceno.²² Por otra parte, el geólogo A. Demant²³ considera - que el vulcanismo es únicamente de los períodos plioceno-pleistoceno ya que el ciclo inferior del oligoceno-mioceno, constituye la prolongación meridional del sistema volcánico de la Sierra Madre Occidental.

Es difícil establecer que tipos de rocas se encontraban en el basamento del Eje Neovolcánico, antes de que éste alcanzara su pleno desarrollo en el plioceno-pleistoceno, dando lugar a importantes eminencias de rocas volcánicas de mas de 5000 m. de altitud, sin embargo en el estudio realizado por A. Demant, R. Mauvois y Silva²⁴ hacen aparecer varias fases de actividad volcánica en la forma siguiente:

- a) Una fase cretácica metamorfozada que se presenta como una serie andesítica, brechas y tobas mezcladas con sedimentos del Jurásico superior y-

(22) Op. cit. Geología de la República Mexicana. México 1982. INEGI, S.P.P.

(23) IBID. Geología de la República Mexicana. México 1982. INEGI, S.P.P.

(24) Demant, Mauvois, Silva. El Eje Neovolcánico Transmexicano. III Congreso Inst. de Geología, UNAM. Latinoamericano de Geología. México, 1976.

cretácico inferior. Este conjunto experimentó en el cretácico medio - los afloramientos de estas rocas que son muy extensos, localizándose - principalmente en Maravatío-Zitácuaro, Mich. y en Valle de Bravo, Edo. - de México.

- b) Una fase oligo-miocénica que se puede diferenciar en la parte oeste del Eje Neovolcánico. Por lo general, casi siempre se presenta bajo la forma de masas con alternación de brechas y derrames lávicos, inclinados - por efectos de la tectónica plio-pleistocénica. Sus extensos aflora- - mientos se localizan al nivel del lago de Chapala, del graben de Colima y de la presa del Infiernillo.
- c) La fase plio-pleistocénica (la más desarrollada), a diferencia de las - secuencias anteriores, tiene una disposición este-oeste.

Debe de indicarse que aparte de los miles de aparatos volcánicos, mu- - chos de ellos destruidos o recubiertos por emisiones posteriores, el Eje Neó volcánico presenta una gran cantidad de estructuras extrusivas como, calde-- ras, axalapascos, conos ígneos secundarios, restos de cuellos volcánicos, - etc.

Toda esta provincia volcánica, aunque a veces discontinua constituye - una de las más extensas de Norteamérica.

Como resultado de un estudio integrado por información pre-existente, - se han determinado varios accidentes tectónicos-geológicos que de oeste a e - te son los siguientes:²⁵

(25) Op. cit. López Ramos E.

GRABEN CHAPALA-TEPIC.

Este graben constituye la terminación occidental del Eje Neovolcánico.- Las manifestaciones volcánicas recientes se alinean con una orientación noroeste-sureste en una franja que se extiende desde Tepic hasta Guadalajara. - A la altura del lago de Chapala cambian las direcciones tectónicas llegando a ser este-oeste. Los límites del graben están constituidos por la secuencia volcánica oligo-miocénica al nivel de río Grande de Santiago, así como - en ambos lados del lago de Chapala.

Tres centros eruptivos principales se localizan en el graben de Tepic,- a los cuales se pueden asociar un gran número de conos adventicios de dimensiones reducidas como son los casos del volcán Sangangüey cerca de Tepic, el volcán Ceboruco a la altura de Ixtlán del Río y el volcán Tequila en Jalisco. De éstos solo existen referencias históricas del volcán Ceboruco de los años de 1870 al 76. La primera fase fue de tipo explosivo originando pómez de composición dacítica; posteriormente fueron emitidos derrames por los - flancos suroeste-noreste, los cuales han sido observados muy claramente por medio de las fotografías tomadas por el satélite ERTS LANDSAT I. El cráter de este volcán coincide con dos calderas concéntricas. Se manifiesta todavía una leve actividad fumarólica en los puntos de emisión del año de 1870 y en la pared de la caldera externa.

Los volcanes Sangangüey y Tequila presentan el mismo aspecto morfológico o sea, el aspecto de estrato-volcanes cuyos conos se han erosionado en - gran parte, dejando ver un cuello central. Por el grado de erosión en que - se encuentran se pueden considerar que son del principio del pleistoceno. - La actividad más reciente que han desarrollado, corresponde a aparatos basálticos y domos riolíticos.

En el graben de Tepic se localizan muchas manifestaciones sílicas de tipo riolítico e ignimbrítico plio-pleistocénicas, ubicadas entre Tequila y Magdalena, Jal., también al norte de Guadalajara y al nivel del río Grande de Santiago, se observan esas manifestaciones.

La manifestación riolítica más espectacular se encuentra a la altura de la Primavera Jal., al suroeste de Guadalajara, se trata de domos riolíticos-yuxtapuestos con derrames asociados que han conservado perfectamente la figura del flujo, por lo cual se puede pensar en una edad pleistocénica y reciente.

GRABEN DE COLIMA.

Esta zona se comunica al norte con la depresión de Chapala a la altura de la Laguna de San Marcos. Con respecto a la disposición del Eje Neovolcánico este graben se diferencia por su orientación norte-sur; aquí, la actividad volcánica fue mayor al nivel del conjunto Nevado de Colima-Volcán de Fuego, sin embargo, de un lago a otro del graben se desarrollaron numerosos aparatos volcánicos más pequeños que cubrieron los terrenos volcánicos oligomiocénicos.

A la altura del Nevado de Colima la actividad principió probablemente en el plioceno superior. Este estrato-volcán experimentó después una fase de destrucción (fase explosiva) responsable de su aspecto actual. Sin embargo, alcanza todavía una altitud de 4300 m.

Al parecer en el pleistoceno el centro eruptivo se desplazó hacia el sur a la altura del volcán de Fuego, que se edificó en una caldera al pie del Nevado. Ese volcán tuvo numerosas fases de erupción más o menos impor-

tantes desde el año de 1576; el último período eruptivo violento con nubes ardientes fue entre los años de 1912 y 1932. Esta fase terminó finalmente con la aparición de la chimenea con un tapón de lava que, en 1957 se convirtió en un domo viscoso que ocupó todo el cráter.

En el curso de 1975, el volcán de Fuego volvió a tener una leve actividad siendo el único volcán activo actualmente en México. Se caracteriza por la forma muy regular de su cono, que está rodeado por faldas de poca pendiente, que resultan probablemente de la acumulación de productos relacionados con una actividad del tipo de nubes ardientes y lahares.

GRABEN O FOSA DE CHAPALA.

Este graben probablemente es el más ampliamente desarrollado ya que, cuando menos tiene unos 80 km. de longitud por 20 km. de ancho. Su orientación es este-oeste y en la porción baja del mismo, se encuentra el lago de Chapala (entre Jalisco y Michoacán). Petróleos Mexicanos perforó un pozo exploratorio en su ladera sur basándose en la presencia de algunas chapopeterras, alcanzándose una profundidad de 2348 m. y en cuya columna estratigráfica aparecen rocas ígneas (basaltos) de color gris oscuro a negro en los primeros 500 m., además tobas y derrames dacíticos. Otro dato de interés es que en la ladera norte del lago de Chapala, afloran en varios cientos de metros rocas clásticas volcánicas muy inclinadas o falladas que no aparecen en la porción sur.

VULCANISMO EN EL ESTADO DE MICHOACÁN.

En esta parte del país, fue donde se concentró en mayor cantidad la actividad volcánica plio-pleistocénica. Está muy bien delimitada por la cuen-

ca del río Balsas al sur y, por la depresión del Bajío al norte. Hacia el este se encuentran las fracturas Querétaro-San Miguel de Allende, Gto., y el anticlinal de Tzitzio-Huetamo, Mich.; por último al oeste se localiza la zona oligo-miocénica y cretácica del sur del lago de Chapala.

Esta zona abarca una superficie de alrededor de 20 000 km² en la cual se concentran más de 3 000 volcanes cuyos conos en la mayoría de los casos están bien conservados, lo que nos permite tener una idea de la frecuencia de las erupciones en el pleistoceno y reciente.

En general, los volcanes de Michoacán han tenido una sola fase de actividad siendo el volumen emitido muy reducido. Estos conos basálticos por lo general se encuentran en los flancos de aparatos andesíticos más imponentes como es el caso del Tancitaro y del Angahuan.

En la parte nor-oeste del Estado, al norte de la población de Uruapan, se localiza el volcán Parícutín, probablemente el más conocido y estudiado en México. Este volcán inició su actividad el 20 de febrero de 1943, permaneciendo activo hasta el mes de marzo de 1952. Durante ese tiempo la emisión de lavas y cenizas fue constante y notable; las lavas cubrieron una superficie aproximada de 25 km.² El volcán Parícutín es un caso típico representativo de las numerosas erupciones cuaternarias que ocurrieron en esa parte de Michoacán.

Más al norte, en el Bajío, se localiza de nuevo el vulcanismo riolítico e ignimbrítico; hacia el este la morfología de los aparatos cambia; son volcanes de mayores dimensiones como el Cerro de la Gavia o el Cerro Mesa de Parácuraro. Cerca de esta área, en la orilla oeste del lago de Yuriria, se localizan las calderas de Valle Grande de Santiago, Gto.

Al norte de Huetamo, se sitúa parte del extremo norte del gran anticlinal de Tzitzio de más de 100 km. de longitud. En el núcleo de este anticlinal aparecen meta-andesitas y esquistos semejantes a las rocas metamórficas de las regiones de Zitácuaro, Mich., Valle de Bravo, Méx., y Teloloapan, Gro. En los flancos afloran una serie detrítica con conglomerados en su basamento y alternancias de areniscas y lutitas. Estas rocas se manifiestan hasta el sur de Huetamo donde se reconocieron como "Grupo Balsas". Por encima de este basamento se ha desarrollado una secuencia volcánica, siendo en la mayoría de los casos en forma de brechas con elementos andesíticos, con intercalaciones de lutitas rojas de los períodos oligoceno-mioceno.

En la parte superior de la secuencia se presenta un potente conglomerado andesítico de un espesor promedio de 300 a 400 m. que forma una serie de picos que se localizan al este de Apatzingán.

En la parte norte, el anticlinal de Tzitzio se encuentra cubierto por los derrames lávicos de "Mil Cumbres". Se concluye entonces que el plegamiento de este anticlinal se sitúa a principios del mioceno; se reconoce por lo tanto, una fase tectónica terciaria en la parte sur del país.

LOS VALLES DE MEXICO, TOLUCA Y PUEBLA.

En esta región, el vulcanismo se localiza principalmente al nivel de grandes estratovolcanes que se levantan en medio de las grandes planicies lacustres pliocénicas que forman los valles de México, Toluca y Puebla. La actividad volcánica se concentró a lo largo de grandes fracturas con dirección noreste-suroeste y noroeste-sureste, lo que explica el aspecto bien definido de cadena volcánica, en la cual se pueden distinguir:

- Un alineamiento Nevado de Toluca-Tenango de Arista. El Nevado de Toluca cuya altitud es de 4560 m., es uno de los volcanes más grandes de México, su última erupción de tipo explosivo se estima ocurrió hace 11000 años. Este alineamiento se prolonga al este por medio de una serie de conos basálticos hasta la población de Tenango de Arista, Estado de México.
- La Sierra de las Cruces, que separa la cuenca de México del Valle de Toluca. En la parte sur de esta cadena volcánica al pie del Ajusco, se localiza el volcán Xitle, muy conocido por haber destruido en parte con un derrame de lava el poblado de Cuicuilco (actualmente zona arqueológica). Esta erupción data aproximadamente de hace 2422 años, calculada mediante el método del carbono 14. Este derrame probablemente es el más reciente en la Cuenca de México.
- Sierra de Chichinautzin y cerros Peñón y Pinos. Este alineamiento se localiza al sur de la anterior, presentando manifestaciones volcánicas de edad pleistocénica muy reciente.

Entre la Cuenca de México y el valle de Puebla, se interpone la Sierra Nevada formada de norte a sur por: el cerro Tláloc, el Iztaccihuatl y el Popocatepetl. Estos volcanes se formaron al finalizar el plioceno; el más reciente es éste último que aún manifiesta una leve actividad fumarólica observable en el cráter. Esta cadena volcánica corresponde a la imagen más conocida del vulcanismo en México.

- El volcán de la Malinche al este de Puebla. Se presenta muy aislado en medio de la depresión del valle de Puebla; es una estructura muy amplia, con un diámetro de 20 km. en la base, parcialmente destruido en su parte central.

Cabe mencionar que al norte de los valles de Toluca y Cuenca de México, en el borde de la Sierra madre Oriental, el vulcanismo es ácido predominando las ignimbritas. Aquí puede observarse otra vez el diferente aspecto que se manifiesta entre el vulcanismo andesítico e ignimbrito del Eje Neovolcánico.

EXTREMO ORIENTAL DEL EJE NEOVOLCANICO.

La actividad volcánica desarrollada en esta provincia fisiográfica termina al este de la Malinche, en un pequeño graben de dirección norte-sur, limitado al este por la cadena Pico de Orizaba-Cofre de Perote. El primero de estos dos volcanes representa el punto más elevado de México (5675 m.); su forma y cráter son muy parecidos a los del Popocatepetl. La última erupción se desarrolló en el año de 1566, desde esa fecha permanece en una fase de quietud.

Al pie de esta gran cadena, se localiza la planicie de Ipeyahualco con sus pequeños conos, domos y lagos en cráteres (Alchichica, Pue.). Al norte, en el límite con el altiplano se localiza la caldera de Teziutlán, Pue., la cual es una estructura con aproximadamente 30 km. de diámetro, constituyendo la caldera más grande del Eje Neovolcánico.²⁶

Como un complemento a esta descripción, se mencionan las generalidades acerca de las características químicas de las lavas plio-pleistocénicas del Eje Neovolcánico.²⁷

Se presenta una secuencia andesitas-dacitas-riolitas de tipo calco-alca

(26) Op. cit. Demant, Mauvois, Silva. El Eje Neovolcánico Transmexicano.

(27) IBID.

lino donde predominan las rocas con más de un 50% de concentración de sílice. Este vulcanismo se interpreta como una relación estrecha con una zona de subducción y se considera que el magma se originó a partir del material proveniente del manto superior.

En la parte septentrional del Eje Neovolcánico se presenta una gran abundancia de material ácido en donde la concentración de sílice es mayor de un 70%, bajo la forma de emisiones ignimbríticas o domos riolíticos. Este material es resultado de fenómenos de fusión de la corteza.

Finalmente, por la presencia de lavas de composición que varía desde basáltica hasta andesítico-basáltica caracterizadas por valores elevados de hierro, magnesio y calcio, pero con porcentaje bastante bajos de óxidos de aluminio no se le puede considerar o clasificar como basalto aluminoso, que generalmente se encuentra en las secuencias calco-alcalinás.

Estudios geoquímicos sistemáticos que se han venido realizando a lo largo del Eje Neovolcánico, permitirán en un futuro no lejano conocer las causas de generación y diferenciación de este vulcanismo.

INFLUENCIA DE LA TECTONICA EN EL EJE NEOVOLCANICO EN RELACION A SU VULCANISMO

Al nivel de la parte central de México, se puede observar toda una serie de fracturas, las cuales aparecen muy claramente en las fotografías tomadas por satélite.

En la parte oeste del Eje, estas fracturas tienen una orientación noroeste-sureste y, son las causantes de la formación del graben de Tepic. Por su orientación estas fallas parecen estar relacionadas con los fenómenos distensivos que desde el mioceno superior se han venido desarrollando al nivel-

del Golfo de California.

Desde el lago de Chapala hasta Querétaro aparecen al nivel del Bajío y al norte de Michoacán un gran número de pequeñas fracturas con orientación este-oeste. Esta dirección en los alrededores del lago de Chapala, se sobrepone a la otra orientación, es decir, a la del graben de Tepic. Están presentes también una red de fracturas con dirección nor-noreste al sur suroeste que han tenido un papel importante en el ascenso del magma, explicando así la intensa actividad volcánica pleistocénica en esta zona de Michoacán.

Estas fallas siguen siendo activas puesto que muchas veces los conos o derrames pleistocénicos se encuentran afectados por esta Neo-tectónica; los movimientos parecen ser de tipo vertical aunque esto no se puede precisar por carecer todavía de un estudio a detalle.

Al este de Michoacán se encuentran fracturas mayores con dirección noroeste al sur-sureste, que se observan desde San Miguel de Allende, Gto., y Querétaro hasta la población de Taxco en el estado de Guerrero. Hacia el este de estas fracturas la red tectónica es menor, manifestándose sobre todo por los alineamientos volcánicos del sur de la Cuenca de México, es decir en la Sierra de Chichinautzin.

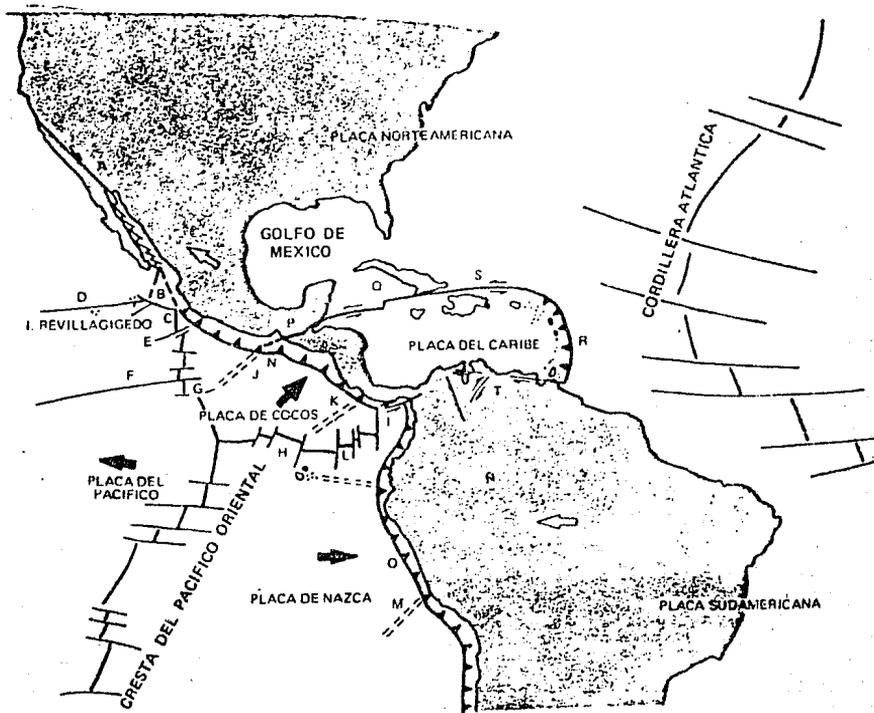
Es conveniente indicar que el aspecto sísmico es importante para precisar los modelos geodinámicos al nivel del Pacífico, sin embargo, todavía no existe una interpretación global de ellos, por lo tanto no se puede definir con precisión lo que ocurre en la zona llamada trinchera de Acapulco. Considerando el vulcanismo de México y de América Central, aparece un hecho muy importante que es la zona de separación entre el Eje Neovolcánico y el alineamiento de Guatemala-Nicaragua-Costa Rica. La separación entre estos dos

dominios corresponde de hecho a la zona de fracturas POLOCHIC MOTAGUA, en Centro-América. A este nivel se produce un movimiento transcurrente todavía activo, que ha ocasionado fuertes sismos como el que se produjo en el mes de Febrero de 1976 en Guatemala.

Estas fracturas se prolongan hasta el Istmo de Tehuantepec y al Pacífico hacia el oeste, las cuales se unen con la zona de fractura de Bartlett en el mar de las Antillas marcando así el límite norte de la placa Caribe.²⁸ - Fig. 6. En conclusión, el vulcanismo plio-pleistocénico del Eje Neovolcánico parece haber sido influenciado por los movimientos de la placa de Cocos y de la placa del Caribe.

En cuanto a las posibilidades de obtención de energía geotérmica, el Eje Neovolcánico constituye la provincia geológica con mayores manifestaciones y potencialidades en el país, dada su actividad ígnea contemporánea. Las principales manifestaciones termales están relacionadas con la actividad ígnea ácida. Numerosas de estas manifestaciones se localizan en las áreas de la Primavera, Jal., Ixtlán de los Hervores, Los Negritos, lago de Cuitzeo y los Azufres en Michoacán; Los Humeros-Las Derrumbadas en Puebla y San Bartolo de los Baños en Querétaro.

TECTONICA DEL CARIBE Y DEL PACIFICO CENTRO.



- A Sistema de Fracturas de San Andrés-Golfo de California
- B Fractura de Rivera
- C Rivera Triple Junction
- D Fractura de Charón
- E Fractura de Ocozoc
- F Fractura de Siqueiros
- G Fractura de Clipperton
- H Cresta de los Galápagos
- I Fractura de Panamá
- J Cresta de Tehuantepec

- K Cresta de Cocos
- L Cresta de Carnegie
- M Cresta de Nazca
- N Fosa mesoamericana
- O Fosa Perú-Chile
- P Fallas Polochic-Motagua
- Q Falla Caymán o Barillet
- R Zona de subducción de las Pequeñas Antillas
- S Fosa de Puerto Rico
- T Fallas Oca - El Pilar

Fig. 6

ESTUDIOS PRELIMINARES EN LOS SISTEMAS DE EXPLOTACION DE LOS RECURSOS GEOTERMICOS.

- I. Exploración. Las técnicas de exploración se han ido actualizando paralelamente al progreso de la tecnología instrumental. En sus inicios, - únicamente se efectuaban en áreas de alteración hidrotermal observaciones superficiales y estudios geológicos, por los cuales se seleccionaban sitios para perforaciones de exploración. Actualmente se efectúan - además, estudios geofísicos, y geoquímicos en agua, gases y rocas.

La exploración geotérmica necesita de varias disciplinas para analizar las posibilidades geotérmicas de las zonas donde existen manifestaciones hidrotermales, volcanes de lodo, escapes de vapor y gases. Dichas disciplinas son: la Geología, Geofísica y Geoquímica.²⁹

Un recorrido por las diferentes zonas en las cuales se realizan observaciones superficiales, representan el estudio preliminar de la exploración de los campos geotérmicos, anotándose datos de detalle tanto regionales como locales. Dependiendo del resultado de estas observaciones, - se efectúan levantamientos topográficos, cartográficos y muestreos geoquímicos al considerarse atractiva su exploración y posible explotación.

La Geología ha sido de importancia básica en la exploración y desarrollo de los campos geotérmicos, cuyos estudios comprenden: Geología superficial y profunda, levantamientos superficiales, fotointerpretación, localización de fallas, litología y estratigrafía entre otros, los cua-

(29) Curso intensivo sobre Geotermia "Los Azufres". Instituto de Investigaciones Eléctricas: Departamento de Geotermia. C.F.E. 1979.

les representan una enorme utilidad tanto en la exploración como en la explotación geotérmica.

Cuando la estructura geológica local y regional está enmarcada por formaciones volcánicas o aluviales superficiales, se recurre a estudios geofísicos tales como: métodos geoeléctricos, de magnetometría, sísmicos, de gravimetría, de percepción remota, de gradiente térmico y telúrico.

La Geofísica ha resultado muy útil para la detección de zonas geotérmicas, así como para la evaluación de las mismas.

Los estudios geoquímicos relacionados con la exploración geotérmica necesitan del auxilio de técnicas de: recolección de muestras, análisis químico de los fluidos hidrotermales, y su interpretación geoquímica en el marco de las zonas de manifestación hidrotermal, la evaluación de las temperaturas de fondo del yacimiento geotérmico y la localización de pozos de exploración; éste último en base a estudios geoquímicos y geofísicos.

Los métodos geotermoquímicos son de una gran ayuda para el conocimiento de las condiciones existentes en el subsuelo de una zona geotérmica. El análisis químico de aguas, gases y rocas, así como su interpretación nos ayudan a definir el tipo de reservorio ya sea de "vapor dominante" o de "agua supercaliente", así como a conocer las temperaturas en el subsuelo y aún las presiones de descarga que se tendrán en los pozos perforados. Los elementos químicos más útiles en los sistemas de agua supercaliente han resultado ser el sodio, potasio, calcio, y sílice. En los de tipo de vapor dominante, los isótopos de carbono, oxígeno y otros. La geotermoquímica es de gran apoyo tanto en la exploración como en la explota-

ción de los campos geotérmicos, siendo uno de los métodos de investigación más económicos.³⁰

II. Perforación. Después de realizados los estudios preliminares se procede a la fase de perforación.

La perforación de un pozo geotérmico es muy parecida a la perforación de los pozos para la extracción de petróleo, utilizándose técnicas similares pero con algunas variantes. Fig. 7. Por ejemplo, es necesario considerar la alta temperatura a que están sujetos los lodos de perforación y el cemento para el ademe, así también, tomar en cuenta las dilataciones a que está sujeta la tubería de producción de estos pozos.

En el caso de los pozos geotérmicos, la temperatura promedio es de 300°C, debido a la energía térmica de los yacimientos.

Para que se lleve a cabo una eficiente perforación se necesitan tomar en cuenta los siguientes aspectos: capacidad del personal técnico, brigadas de perforación con suficiente experiencia, selección de equipo, características del fluido y lodo de perforación; la cimentación, el equipo superficial (válvula maestra, "árbol de navidad", silenciadores, separadores, etc.), control de descarga vertical y horizontal, problemas de erosión, análisis de riesgos, etc.³¹

Lodos. Los fluidos de perforación son en conjunto, una de las herramientas principales para la perforación de pozos profundos, y podemos -

(30) La utilización de la Energía Geotérmica en México. Mercado Sergio Ing. Instituto de Investigaciones Eléctricas. México 1979.

(31) Op. cit. Curso Intensivo sobre Geotermita "Los Azufres"

CORTE ESQUEMATICO DE EQUIPO DE PERFORACION DE UN POZO GEOTERMICO

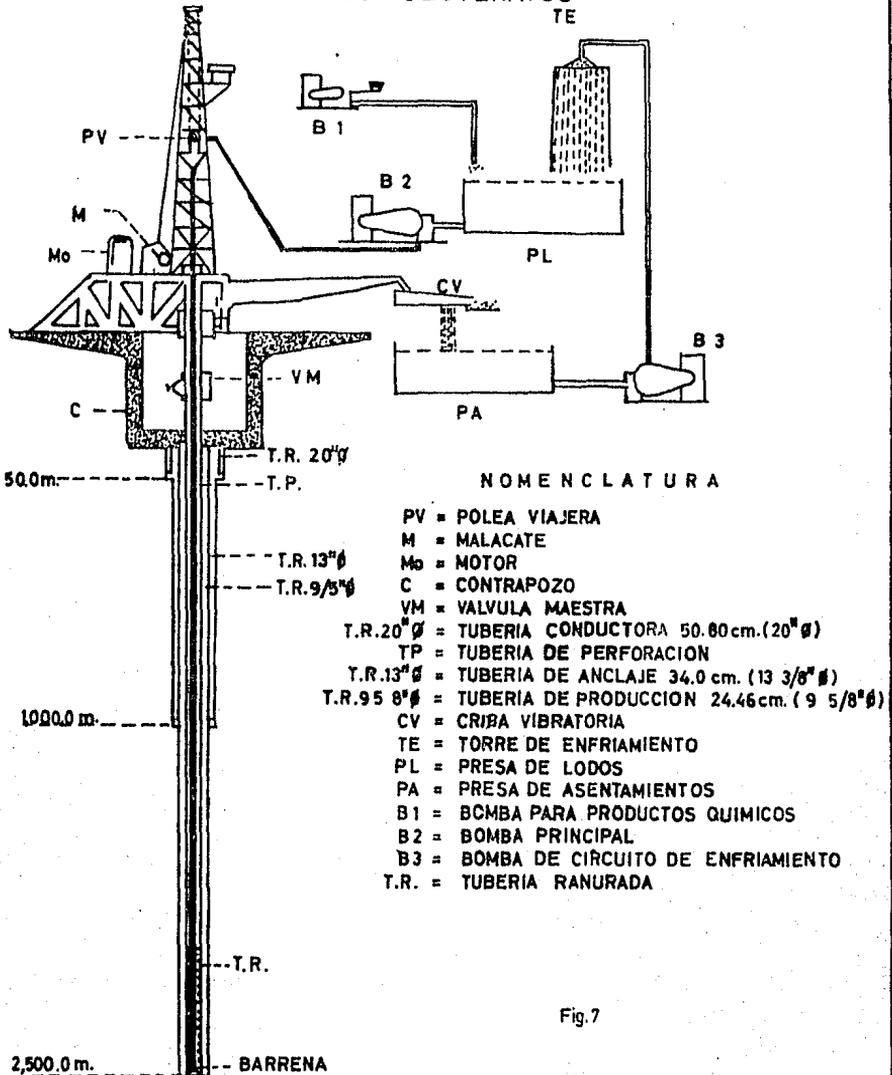


Fig.7

afirmar con absoluta seguridad que sin el gran auxilio de las modernas-técnicas del control de los lodos de perforación, no habría sido posible alcanzar las grandes profundidades, es decir, que a medida que se han desarrollado nuevas herramientas y barrenas de perforación, paralelamente se han fabricado mejores productos que han logrado mantener estables los sistemas de lodos a diferentes condiciones de profundidad y temperatura. Los lodos de perforación son un sistema complejo de alto contenido de sólidos en suspensión cuyas partículas sumamente pequeñas dan una apariencia coloidal.

De acuerdo a sus componentes, los lodos o fluidos de perforación se clasifican de la siguiente manera:

- a) Lodos a base de agua dulce.
- b) Lodos a base de agua salada.
- c) Lodos tratados con calcio.
- d) Lodos emulsionados con aceite.
- e) Lodos a base de aceite.
- f) Lodos con silicato de calcio.
- g) Lodos con agua salada y almidón.

De estos sistemas, el de lodos a base de agua dulce, es el que más frecuentemente se utiliza.

Las propiedades y funciones de los fluidos de perforación son:

- 1.- Enfriar y lubricar la barrena, la tubería y las herramientas, debido a la constante fricción contra la pared del pozo.
- 2.- Levantar los recortes del fondo del pozo y acarrearlos a la superficie

cie. Esta es una de las más importantes funciones del lodo, que es tá relacionado tanto con las propiedades, como con la velocidad de circulación de lodo; las primeras, son: la viscosidad, la densidad y la gelatinosidad. El grado de velocidad con la que un recorte - se sedimenta en una columna de lodo, depende del tamaño y forma, - así que, la velocidad mínima de lodo para eliminar los recortes - del pozo, será la que exceda la velocidad de asentamiento de ellos.

- 3.- Formación de una película impermeable en la pared del pozo (enja--
rre). Al circular el lodo sobre las paredes del agujero, hay una
tendencia a penetrar en las pequeñas fracturas o poros. Si son -
muy pequeñas, dejan pasar únicamente parte de su contenido de agua.
Las partículas sólidas que lleva en suspensión forman una película
que se va haciendo impermeable, y una vez formada, ya no permite -
el paso del agua. Fig. 8.

El filtrado en exceso engrosa, humedece y suaviza en las paredes -
del pozo ocasionando en su mayoría de las veces, derrumbes y atra-
pamiento de tuberías, siendo éstas, causas de pérdida de circula--
ción del lodo, y consecuentemente, problemas que resultan muy cos-
tosos. Para evitarlos, se emplean obturantes químicos que se pre-
cipitan y sellan los conductos.

- 4.- Crear una presión hidrostática, es decir, ejercer una presión con-
tra el fondo y las paredes del agujero para prevenir un posible -
descontrol del pozo, y a la vez, en formaciones deleznable o no -
consolidadas, evitar que estas paredes se derrumben al faltarles -
apoyo cuando la barrena las atraviesa.

PERDIDA DE CIRCULACION POR LAS FRACTURAS DE
LA FORMACION

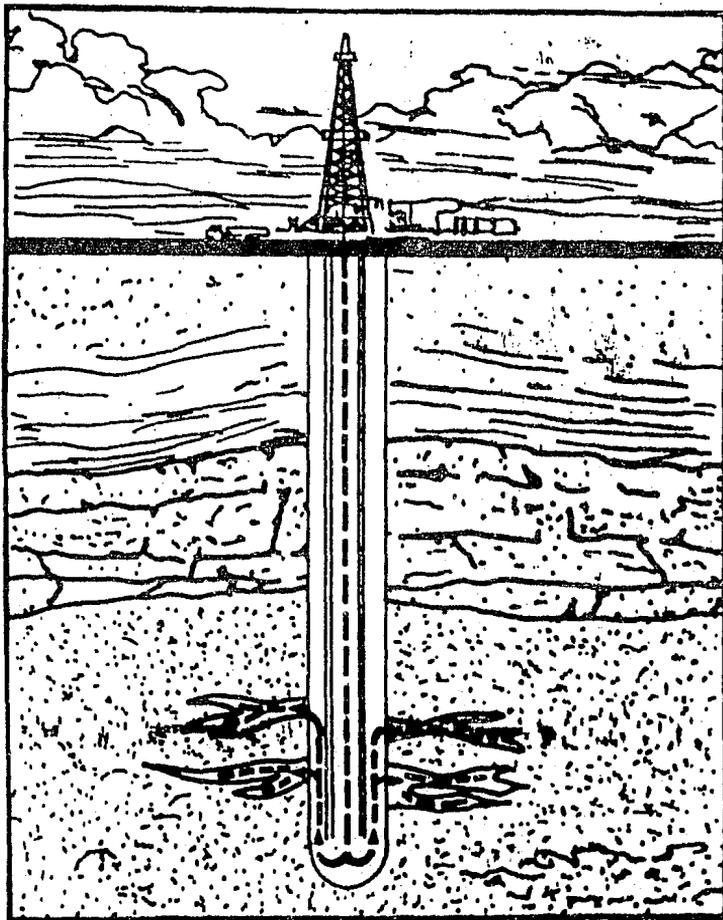


Fig. 8.

Los fluidos de perforación más utilizados son los lodos base bentonita, que son una mezcla de arcillas suspendidas en agua. Pueden emplearse también, aire, gas, o espuma, pero resultan más costosos por la inversión del equipo que se requiere.

Según datos aportados por el laboratorio de preparación de lodos de pruebas reológicas y de filtración, del Instituto de Investigaciones Eléctricas, en nuestro país se utilizan dos tipos de lodos:

Lodo 1

Bentonita----- 100 % (arcilla)
 Cromo-lignosulfonato----- 8 gr./lt.
 Cromo lignito----- 4 gr./lt.
 Sosa cáustica.

Lodo 2

Bentonita (arcilla)----- 30%
 Sepiolita (arcilla)----- 70%
 Poliacrilato de sodio----- 3 gr./lt.
 Lignito----- 12 gr./lt.

Existen alrededor de 16 aditivos que se emplean en la preparación de lodos, siendo en su mayoría de importación.

Los lodos se inyectan a través de la tubería de perforación y de la barrena, y emergen por el espacio anular exterior; en la superficie se separan las partículas de recorte arrastradas, y se reacondiona el lodo para mantener sus propiedades reológicas (viscosidad y punto de cedencia). De estas propiedades depende la velocidad del lodo y-

la capacidad del mismo para acarrear los recortes. Antes de reinyectar el lodo se hace pasar por una torre de enfriamiento para disminuir su temperatura, evitar que pierda agua y mantener estables sus propiedades. Fig. 9.

Cementos.- Respecto a los cementos, se utilizan con el propósito de mantener fijas las tuberías por las que emerge el fluido geotérmico a la superficie, evitar el contacto de aguas de menor temperatura con el reservorio, sellar las zonas donde existan pérdidas de circulación, y proteger dichas tuberías contra la corrosión.

A pesar de que el costo de la cementación representa entre el 5% y 10% del costo total de la construcción de un pozo geotérmico, (1982-1983), de ella depende la vida del pozo, que es regularmente entre 5 y 10 años.

El cemento, además de soportar elevadas presiones y fuertes temperaturas, debe calcularse como ya se indicó para resistir el efecto contaminante de los fluidos geotérmicos; se inyecta de la misma forma que los lodos, pero con equipos de bombeo diferentes. El cemento debe llenar completamente el espacio anular que existe entre las tuberías y la pared del pozo, y fraguar perfectamente para que la tubería quede fija.

Hasta ahora, los cementos utilizados son los tipos "G" y "H", a base de caliza, mineral de hierro y aluminio, variando sus especificaciones tanto en la resistencia como en el tiempo de bombeo. Sin embargo, éstos aún con la ayuda de aditivos se degradan rápidamente ante un fluido geotérmico de alta temperatura.

Se están realizando investigaciones para producir cementos que no se de

CIRCULACION NORMAL DE LODO

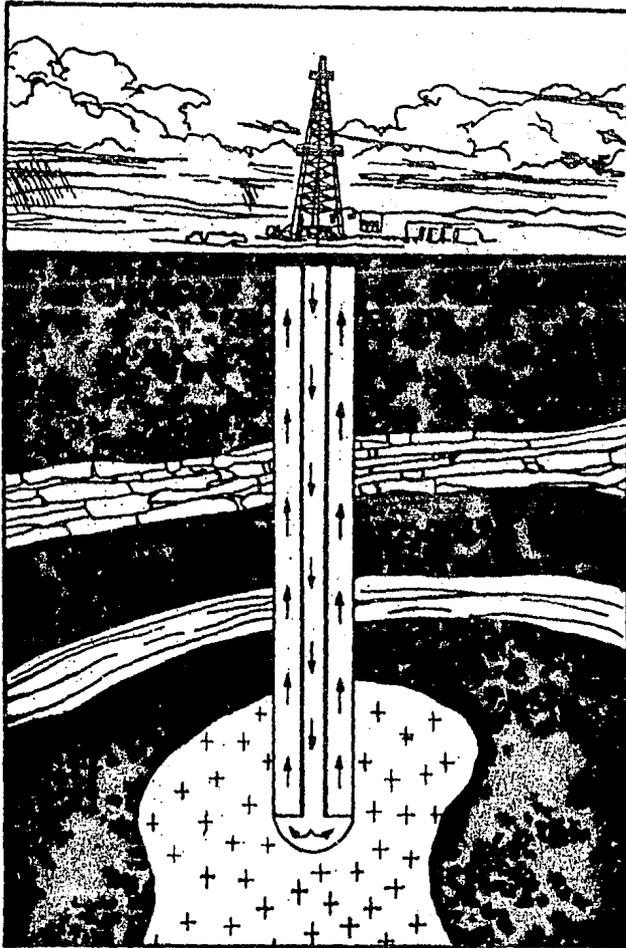


Fig. 9

graden en forma rápida o que lo hagan después de tres años para hacer - más económica la operación, y darle mayor vida al pozo, por lo menos du-
rante 10 años.

En nuestro país, hasta ahora no es posible desde el punto de vista eco-
nómico instalar una planta que produzca cementos exclusivamente para -
usos geotérmicos, debido a los bajos volúmenes de producción que se re-
quieren.³²

Tuberías. Conforme avanza la perforación se acondiciona el pozo con tu-
berías de diferente diámetro de acuerdo a la profundidad.

Como ejemplo, en la tabla siguiente se indican los tipos de tubería uti-
lizada en los pozos de exploración y explotación del campo geotérmico -
de Cerro Prieto, en Baja California.

Ø DE TUBERIA		PROFUNDIDAD	
Pulgadas	Cms.	Exploración (m)	Explotación (m)
20"	50.8	0 - 50 (C)	0 - 20 (C)
13 3/8"	31.0	50 - 1000 (A)	20 - 300 (S)
9 5/8"	24.4	1000 - 2000 (P)	300 - 1000 (I)
7"	17.8	.....	1000 - 3000 (P)

Cerro Prieto, B.C., Folleto de divulgación, C.F.E.

Funciones de los tipos de tubería:

C - Conducción

S - Superficial

P - Producción

A - Anclaje.

I - Intermedia

(32) Estudios sobre lodos y cementos utilizados en la construcción de pozos geotérmicos. Boletín No. 3. Vol. 7. Mayo-Junio 1983. Palmira Mor. Méx.

Frente a los horizontes de las formaciones productoras, es decir, el reservorio, se coloca tuberías ranurada (Liner) que fundamentalmente sirve para proteger las paredes del pozo e impedir derrumbes, o el paso de mayores cantidades de arena a su interior, los cuales pueden ocasionar problemas en las zonas de producción.

Existen varios tipos de depósitos geotérmicos basados en sus propiedades físicas como: la presencia o carencia de convección de los fluidos geotérmicos, la permeabilidad, la temperatura, la presión y otras anomalías de carácter mecánico y químico, las cuales definen la naturaleza del reservorio. La mayoría de los depósitos geotérmicos están comprendidos dentro de los seis tipos o categorías que a continuación se enuncian:³³

- Sistemas convectivos hidrotermales de vapor dominante.
- Sistemas convectivos hidrotermales de agua dominante.
- Sistemas magmáticos.
- Reservorios geopresurizados.
- Sistemas de rocas secas impermeables.
- Sistemas de afallamiento en la corteza terrestre.

En el sistema convectivo hidrotermal de agua dominante, característico de nuestro país, el proceso es el siguiente:

Una vez que se ha realizado la perforación y la terminación de un pozo, el agua penetra en el interior de la tubería de producción y asciende. Originalmente el agua entra en forma líquida al pozo, pero a medida que

(33) IBID. Curso Intensivo sobre Geotermia. "Los Azufres".

sube, la presión disminuye y el agua se va evaporando, con lo que se forma un flujo de dos fases, es decir, agua y vapor. Una vez que salen a la superficie el agua y el vapor se dividen por medio de un separador primario. Este separador de tipo centrífugo es un tanque vertical donde el agua y el vapor giran a alta velocidad, aquí, el vapor asciende a la parte superior del tanque y regresa por un tubo concéntrico localizado en el interior del mismo; posteriormente el vapor se traslada a la planta por medio de un vapoducto, en tanto que el agua pasa a otra bomba donde continúa el proceso de extracción de calor.

Durante el trayecto, el vapor pasa por una válvula-trampa que evita el escape de agua hacia la turbina.

Respecto al agua que se precipita, es enviada a dos plantas más de evaporación, pero mucho menor presión para repetir todo el proceso. El vapor resultante pasa a una turbina de baja presión que permite la producción adicional de electricidad. Para una mayor comprensión de este proceso, veáse figura 25.

Durante la fase final del proceso, el agua residual se envía a una laguna de evaporación, para que al evaporarse se cristalicen sólidos, como el cloruro de potasio, el cloruro de sodio, y otros compuestos, los cuales forman sedimentos en el fondo de la laguna. Estas sales cristalizadas son trasladadas a una planta de cristalización fraccionada, en donde se vuelven a disolver utilizando agua caliente para separar el cloruro de potasio y el cloruro de sodio, y permitir su aprovechamiento.

Respecto a la producción de energía eléctrica, en base al vapor endógeno, existen varios tipos para su generación, siendo los principales los

siguientes:

- 1) De turbinas de vapor, empleando vapor seco o agua caliente con temperaturas mayores a 180°C.
- 2) De ciclo binario, utilizando agua caliente a temperaturas menores de 150° C., y salmueras a alta temperatura y presurizadas.

Considerando que el sistema operacional en los pozos al iniciar la explotación es determinante para conservar en buen estado sus condiciones constructivas, se deben tomar en cuenta las siguientes fases:

- Periodo de observación.
- Periodo de inducción.
- Periodo de calentamiento.
- Desarrollo.
- Evaluación de la capacidad energética del pozo.³⁴

El periodo de observación consiste en recabar información proporcionada por manómetros y registradores de presión que permitan juzgar la evaluación del pozo. Simultáneamente a esa información, se realizan mediante indicadores y escalas adecuadas, mediciones respecto a la expansión longitudinal de las tuberías de ademe por el efecto térmico.

El periodo de inducción normalmente se aplica a aquellos pozos que muestran una presión igual a la de una columna hidrostática. Dicha columna basta para equilibrar la presión. Con el propósito de que el pozo inicie el flujo de vapor se requiere inducir la columna, la cual se logra utilizando diversas técnicas, de las cuales podemos señalar las siguientes:

(34) IBID. Curso Intensivo sobre Geotermia "Los Azufres".

tes: pistoneo y cubeteo, inyección de vapor, bombeo e inyección de aire. Siendo las dos últimas las más recomendables.

El período de calentamiento, consiste en elevar la presión y la temperatura, tanto en la cabeza del pozo como a lo largo del mismo. El período de calentamiento se inicia con el flujo espontáneo del agua del pozo. La idea básica es que el calentamiento se propague a la tubería intermedia, a la superficial y a las formaciones que circundan al pozo. La duración de este período está limitada por la urgencia con que se quiera aprovechar el vapor, y consecuentemente por factores económicos.

En el período de desarrollo, el pozo se descarga por un diámetro restringido, el que se va incrementando hasta llegar al diámetro total de producción. El objetivo es que arroje todos los materiales y substancias que se emplearon en la perforación tales como pequeños fragmentos de areniscas, lutitas, restos de cemento, recortes asentados en el fondo, etc., con el fin de evitar que al conectarlo al separador y sistema colector de vapor pudiesen dañarse las instalaciones superficiales y turbinas de la planta.

La evaluación de la capacidad energética del pozo, consiste en obtener una serie de registros de presión y temperatura, variando los flujos de descarga, y efectuando al final, un registro de calibración en la tubería de producción. De esta manera, se hace la evaluación inicial de cada pozo, la que se confrontará oportunamente al operar el separador definitivo.

Con esta última fase se terminan las actividades principales que se realizan después de finalizar la construcción de un pozo nuevo o una repa-

ración, y cuando todo se desarrolla normalmente. Sin embargo, no siempre es así, pudiendo suceder que se presenten anomalías o verdaderas emergencias graves en el arranque de un pozo. Los aspectos más significativos que pueden servir de guía para juzgar si el comportamiento es normal o anormal, son los siguientes: presión, registros de temperatura, crecimiento de tuberías, porcentaje de arena arrojada por el pozo, registros de calibración, y análisis químicos.

DESCRIPCION GEOGRAFICA DE LOS PRINCIPALES CAMPOS GEOTERMICOS DE MEXICO.

Al considerar a nuestro territorio, como una parte de la superficie terrestre en donde las condiciones de la corteza manifiestan gran actividad tectónica y volcánica, se puede afirmar que México esté conceptuado como un gran campo de recursos físicos, específicamente como un gran productor de va por endógeno, el cual se manifiesta superficialmente con la presencia de innumerables focos hidrotermales de gran interés geotérmico. A continuación se indican las características geográficas de algunos campos geotérmicos:

PATHE, HGO.

La zona hidrotermal de Pathé Hgo., forma parte de una región que presenta características de ese tipo. Sus coordenadas geográficas son las siguientes: 20°34' N., y 99°40' W.; se halla enclavada en las proximidades del río San Juan en su margen derecha, aunque se prolonga en su margen izquierda rumbo al norte. Pertenece al municipio de Tecozautla, Hgo., a una distancia de 130 Kms. al noroeste del Distrito Federal. La zona estudiada comprende unos 40 Kms.² y queda limitada al noreste por el Cerro Colorado, al sureste por el Cerro Sarabia, al suroeste por el Cerro Charcón y Cerro Candó, y al oeste por los cerros Sombrerete y Capulín.

Considerando que la zona hidrotermal de Pathé, forma parte de una extensa región de características semejantes, se puede decir que esta parte, desde la población de San Juan del Río, Qro., hasta la confluencia del río del mismo nombre con la confluencia del río Tula, se caracteriza por contrastados accidentes fisiográficos, como son profundas barrancas y elevados cerros, y de Huichapan hacia el río San Juan por una sucesión de pequeñas mese-

tas casi horizontales con flancos escarpados que dan una fisonomía muy especial, a lo que se le conoce como "Valle de Tecozautla".

Superficialmente el terreno se encuentra cubierto por rocas eruptivas pertenecientes a los períodos oligoceno, plioceno y principios del pleistoceno, como son riolitas, tobas riolíticas y basaltos alterados fuertemente por el metamorfismo hidrotermal, y por la acción del intemperismo, en donde aparecen las exploraciones casi alineadas para la explotación del caclín que fue formado posiblemente por la acción de los vapores calientes conteniendo ácido bórico y ácido fluorhídrico sobre los feldespatos de las rocas.³⁵

En esta región se perforaron 18 pozos en total, tanto de exploración como de producción. Fig. 10 Los resultados que se obtuvieron de los trabajos realizados, no fueron totalmente positivos respecto a lo que se esperaba, en base a la interpretación que inicialmente se dió, tanto a la estructura y manifestaciones superficiales, ya que las presiones, temperaturas y volúmenes registrados de los pozos en producción no fueron suficientes más que, para generar unos 500 Kw/h., en la planta de descarga atmosférica de capacidad de 3 500 Kw., que se instaló en ese campo a fines de 1959. Figs. 11 - 12.

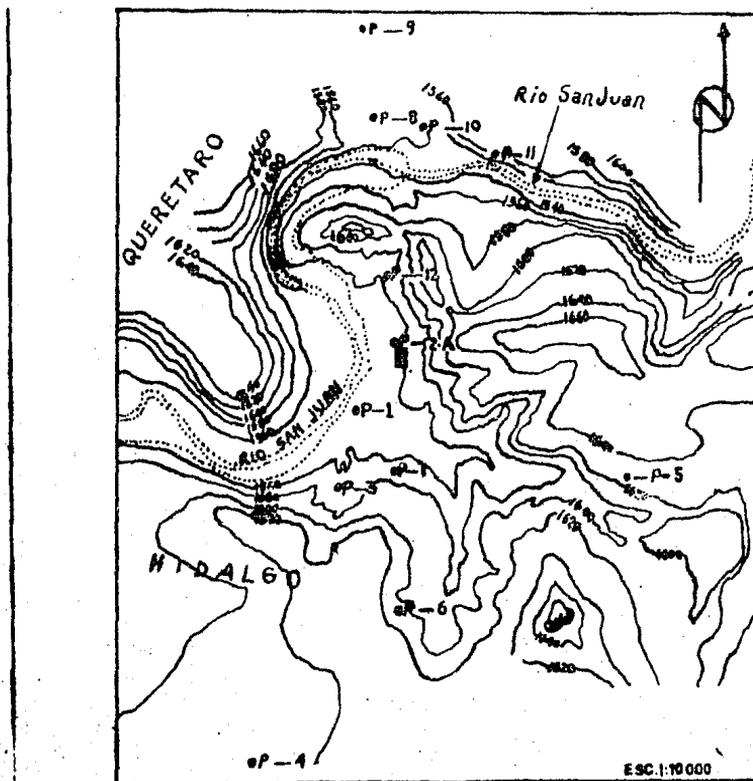
Esta zona geotérmica se ha clasificado dentro del grupo cuyas manifestaciones superficiales no parecen tener relación directa con actividad volcánica reciente, pero sí, localizándose en zonas volcánicas antiguas.

IXTLAN DE LOS HERVORES, MICHOACAN

Esta zona se encuentra en el Estado de Michoacán a unos 300 Kms. al oes

(35) IBID. Anda L.F. de: El Campo de Energía Geotérmica en Pathé, Hgo.

LOCALIZACION DE POZOS EN LA ZONA GEOTERMICA DE PATHE, HGO.



- POZOS
- ▨ UNIDAD GENERADORA
- CURVAS DE NIVEL

Fig.10

ING. LUIS F. DE ANDA

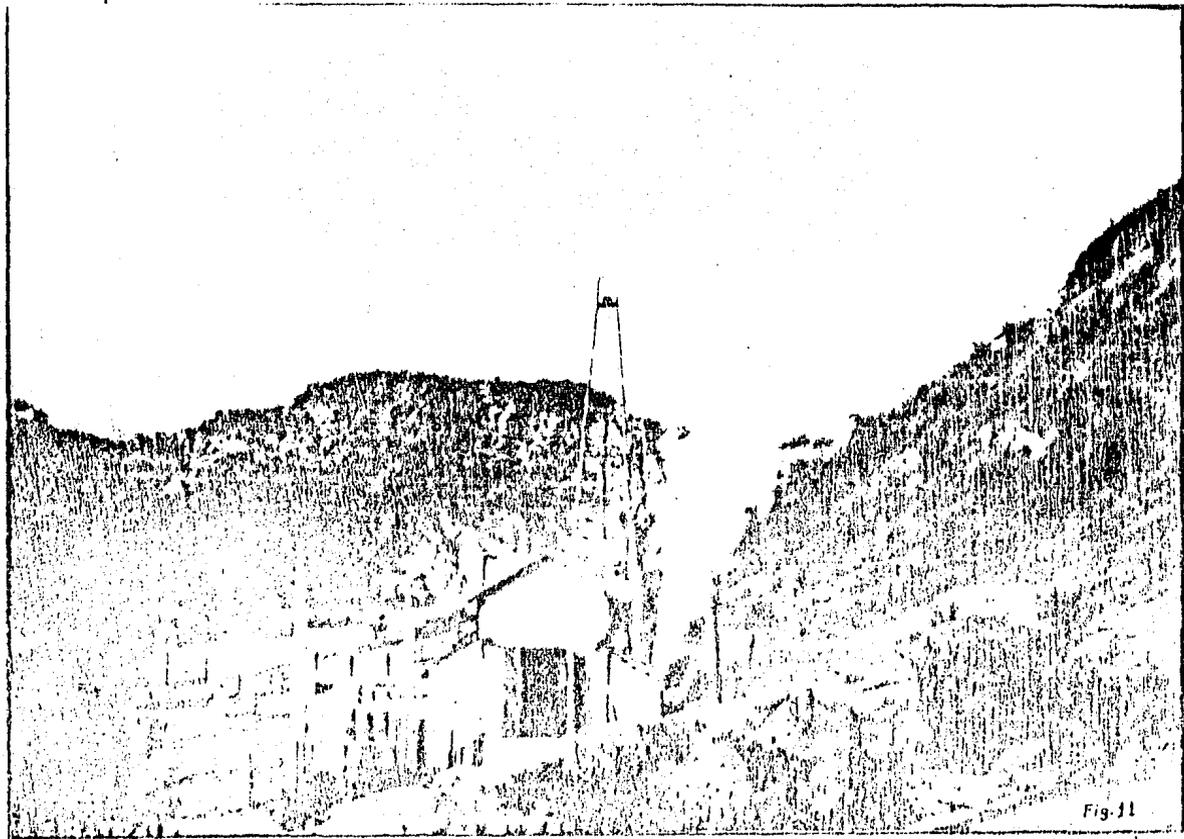


Fig. 11

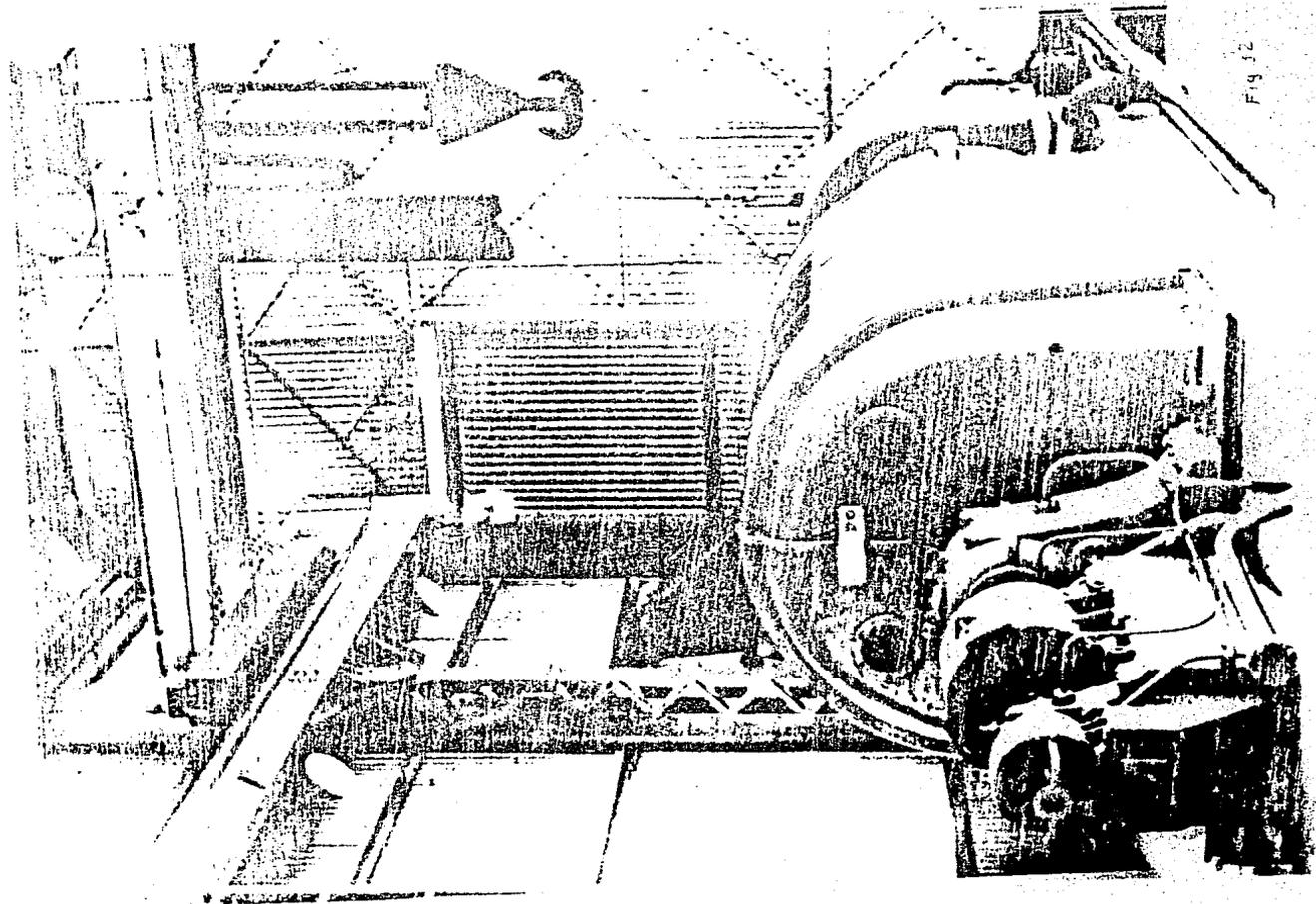


Fig. 32

te-noroeste del Distrito Federal, siendo sus coordenadas geográficas las siguientes: 20°10' N., y 102°23' W., al igual que el campo de Pathé, Hgo., se ubica dentro del Eje Neovolcánico. La región se caracteriza por presentar una serie de valles intermontanos, por lo cual el Valle de Ixtlán es uno de ellos, que además, está drenado por el río Duero. Los manantiales calientes y hervideros de lodo, tienen un gran significado por las manifestaciones de energía calorífica del subsuelo, se localizan en casi todo el valle pero principalmente alineados con rumbo este-oeste y sureste, que coinciden con la traza de una falla principal.

Geológicamente, considerando de las rocas más antiguas a las más recientes, se presenta la siguiente secuencia:

El basamento, aunque no se conoce en forma directa por correlaciones efectuadas en las inmediaciones del campo geotérmico, se supone que está constituido por rocas de la era mesozoica; descansando probablemente en forma directa, se presenta una potente secuencia de rocas andesíticas y basálticas del plioceno y pleistoceno, a las que superyacen discordantemente una serie de tobas lacustres de grano fino. Finalmente yaciendo sobre ese material descrito, se observan aluviones provenientes de la desintegración de rocas basálticas que forman la cadena montañosa que circunda al valle.

En general, el Valle de Ixtlán, estructuralmente se localiza en un graben relleno por corrientes lávicas del pleistoceno. Desde el punto de vista geohidrológico de las formaciones descritas, las calizas del mesozoico en los sitios cercanos a la zona geotérmica en que se encontraron aflorando, son rocas con permeabilidad regular-baja. Las corrientes andesíticas son en general de baja permeabilidad; por su parte el basalto se observa fracturado, el cual es bastante permeable.

Las tobas lacustres de grano fino son impermeables, y por último, los aluviones corresponden a materiales permeables. Como se puede analizar, la disposición de las rocas y su permeabilidad constituyen un depósito estructural favorable para el almacenamiento de los fluidos geotérmicos. El abastecimiento de agua del campo, es proporcionado en forma local por el río Dueño, y en forma regional por las infiltraciones hacia esta área, el agua del lago de Chapala.

Además en esta vasta zona de interés geotérmico, están localizadas entre otras áreas hidrotermales: Los Negritos, Santa Rita, Aguacaliente, y Lago de Chapala.³⁶

Se han realizado estudios geológico-estructurales y de vulcanismo, estudios geotérmicos y trabajos de prospecciones geofísicas que incluyen: magnetometría, gravimetría, resistividad y percepción remota, los cuales han aportado datos suficientes para precisar las zonas de perforación profunda y así poder cuantificar las posibilidades geotérmicas de la región.

(36) Alonso E. Héctor Ing. El Aprovechamiento de la Energía Geotérmica. - Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros. México 1964.

LOS AZUFRES, MICHOACÁN

Situación geográfica:

Esta región se localiza dentro de la provincia geológica llamada Eje Neovolcánico, siendo las coordenadas geográficas de la parte central de la zona:

19°47' 30" N y

100° 39' 30" W

La región se encuentra comunicada por carreteras pavimentadas y caminos de terracería. Por la parte norte, la carretera federal México-Morelia vía Maravatío; hacia el sur por la carretera federal número 15 México-Guadalajara vía Morelia. En el kilómetro 217 de ésta, se encuentra el entronque a la población de San Pedro Jácuaro, distante a cinco km.; de ahí, al campamento de Agua Fría existe una longitud de 18 km. Fig. 13.

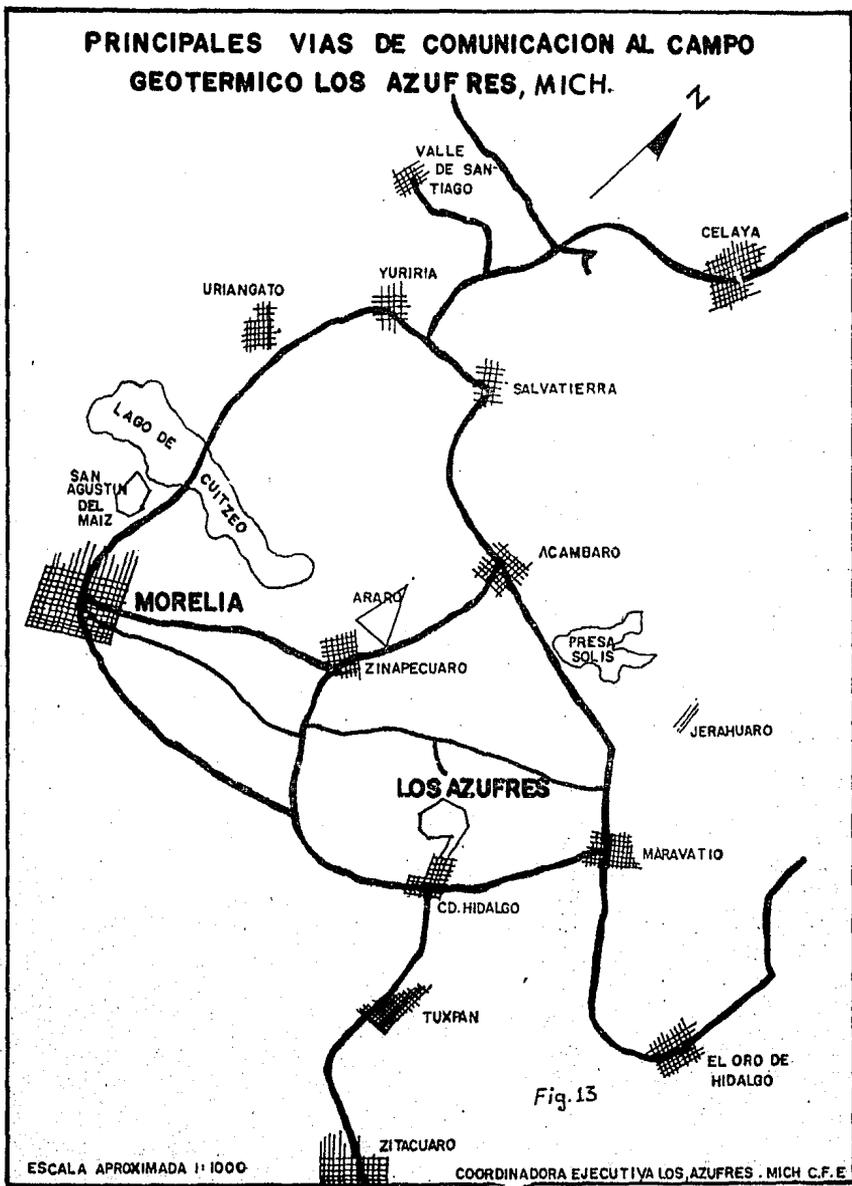
La zona de los Azufres presenta altitudes que varían desde los 2800 m. hasta los 3500 m.s.n.m., abarcando una área aproximada de 55 km.²

Climas.

En base al Atlas Nacional del Medio físico editado por la Secretaría de Programación y Presupuesto y, considerando la clasificación de W. Koeppen, con modificaciones para la República Mexicana por la investigadora Enriqueta García,³⁷ los climas predominantes en la zona de los Azufres, son:

(37) Atlas Nacional del Medio Físico. I.N.E.G.I. - S.P.P. México 1981.

PRINCIPALES VIAS DE COMUNICACION AL CAMPO GEOTERMICO LOS AZUFRES, MICH.



ESCALA APROXIMADA 1:1000

COORDINADORA EJECUTIVA LOS AZUFRES . MICH C.F.E

- C(w)₂(w) Templado sub-húmedo con lluvias en verano y, menos de un 5% de precipitación en invierno.
- C(E) (m) (w) Semi-frío húmedo con abundantes lluvias en verano y, menos de un 5% de precipitación en invierno.

La temperatura media anual varía entre los 12°C y 16°C

Los vientos dominantes tienen una dirección noreste-suroeste, siendo su velocidad promedio de 0.5 m/seg.

Respecto a la precipitación anual se presenta una media de 1 500 mm.

Hidrología:

Está representada por pequeñas corrientes superficiales o arroyos que en su mayoría son de origen pluvial, que al desplazarse a las partes bajas ocasionan una intensa erosión laminar y por abrasión sobre todo en la época de lluvias, siendo los principales arroyos: Los Ajolotes, Tejamaniles y San Pedro. Se presentan también afloramientos de agua caliente en forma de manantiales.

Circundando a la región en sus partes este, norte y oeste, se encuentran las lagunas Llano Grande, Laguna Verde y Presa Laguna Larga respectivamente.

Según las observaciones realizadas, se puede afirmar que los principales drenajes fluviales están determinados por fallas y fracturas, presentándose los tipos dendrítico rectangular y, en algunos casos anular, debido a la presencia de estructuras volcánicas. Fig. 14.

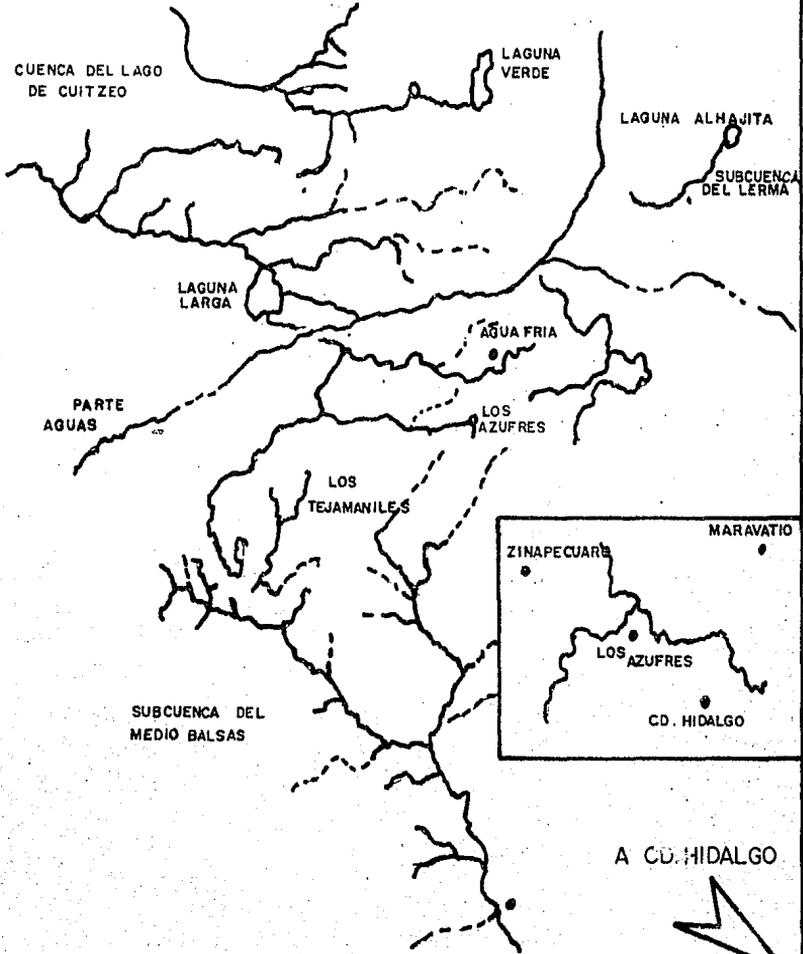
HIDROGRAFIA SUPERFICIAL



A ZINAPECUARO



A MARAVATIO



A CD. HIDALGO

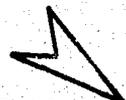


Fig. 14

Relieve:

La zona de descripción pertenece a la provincia fisiográfica del Eje Neo volcánico y específicamente a la sub-provincia de Mil Cumbres, siendo el sistema de topofomas de sierra asociada con mesetas y con estrato-volcanes o estrato volcanes aislados.³⁸ Los Azufres es un agrupamiento de promontorios que semejan un macizo montañoso con elevaciones que van desde los 2 800 m. hasta 3 500 m. sobre el nivel del mar.

Edafología:

Los suelos predominantes en la región son:

Th/2: Andosol de tipo húmico de textura media en el este y sur.

To/2: Andosol del tipo mólico también de textura media hacia el norte y oeste.

Además en las partes bajas se presentan suelos de aluvión.

Flora:

La vegetación de esta zona está representada principalmente por bosque de pino y oyamel y de pino-encino con pequeñas áreas de pastizal inducido: en los alrededores se practica la agricultura de temporal a base de maíz.

Fauna:

La escasa fauna existente se manifiesta de dos tipos: silvestre y doméstica. En la primera, las especies características son roedores, algunas variedades de aves e insectos. La fauna doméstica está constituida principalmente por ovinos, equinos, bovinos y aves de corral.

(38) Op. cit. Atlas del Medio Físico.

MÉTODOS DE EXPLORACION EN EL CAMPO GEOTERMICO DE LOS AZUFRES, MICHOACAN

Tectónica y Geología:

Se considera que la tectónica de la zona de Los Azufres está íntimamente ligada a la del Eje Neovolcánico, debido principalmente a la subducción de la llamada Placa Cocos, que al actuar constantemente por debajo de la corteza continental de nuestro país y al nivel de la astenósfera experimenta fusión parcial originando el magma del eje.

Específicamente, el campo geotérmico de Los Azufres, Mich., está ubicado en un caballete tectónico, limitado hacia el norte por el graben de Cuitzeo; al este por el graben de Maravatío-Tuxpan; al sur por el graben de Ciudad Hidalgo; y al oeste por el graben de Huajúbaro-Zinapécuaro.

La región ha sido afectada por diversos movimientos tectónicos que han ocurrido en diferentes épocas y que, ocasionaron un intenso fracturamiento y fallamiento. En las imágenes proporcionadas por el satélite ERTS LANDSAT I, pueden observarse esos fracturamientos con una dirección N-S, y SW-NE; los alineamientos más jóvenes están relacionados con la formación del Eje Neovolcánico y orientadas de E-W.³⁹ Fig. 15

Para facilitar la descripción de las características de las estructuras geológicas que presentan las diversas unidades litológicas que se conocen en el área de Los Azufres, Mich., se tratarán por separado y en orden cronológico:⁴⁰

- (39) Los Azufres, Mich. Proyecto Geotermoeléctrico. Folleto de divulgación C.F.E. 1982.
- (40) Resultados de las Exploraciones en la Zona Geotérmica de "Los Azufres"-Gerencia General de Estudios e Ingeniería Preliminar. C.F.E. 1979.

FISIOGRAFIA DEL CAMPO GEOTERMICO LOS AZUFRES MICH.

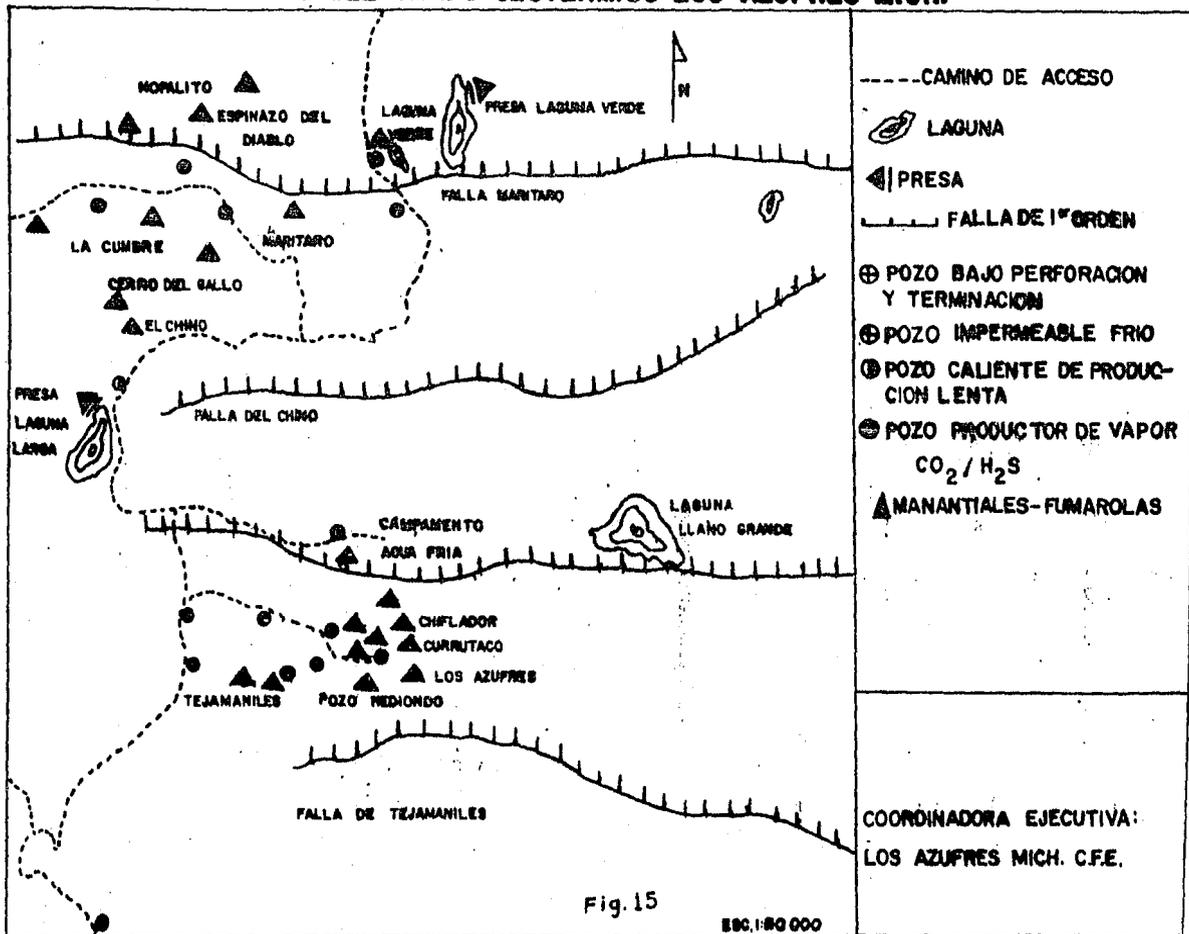


Fig. 15

ESG. 180 000

Rocas Metamórficas.

Son las rocas aflorantes más antiguas de la región del tipo de los esquistos del triásico o jurásico superior; se considera que el origen de este metamorfismo se debió a fenómenos intensos de compresión ocurridos en el cretácico.

Lutitas.

Sobreyacen a las anteriores, localizadas principalmente al SW del campo, se les considera de una edad del cretácico superior, las cuales estuvieron sujetas al tectonismo de la revolución Laramide. Durante estos movimientos tectónicos, se desarrolló un proceso de abrasión que originó en esa zona una "molase" continental conocida como Formación Balsas.

Andesita Microgranular.

Estas lavas del mioceno forman parte de una sucesión de derrames andesíticos básicos de piroxena y olivino. Estas andesitas se encuentran muy falladas y fracturadas como consecuencia de los fenómenos tectónicos acontecidos posteriormente a su extrusión. Presentan una textura afanítica de gran dureza y de un color que varía de gris oscuro a verde claro. El espesor de este cuerpo se ha calculado aproximadamente de 1 000 m., el cual fue medido en la columna litológica del pozo Azufres No. 1.

Riolita Fluidal.

Este tipo de roca se encuentra sobreyaciendo a las andesitas antes mencionadas, afloran principalmente en la parte central del área de estudio, se presenta en forma de derrames de lava viscosa que contienen obsidiana y esfé-

ulas (perlitas) Este material pertenece al plioceno inferior y medio. Posteriormente a las coladas riolíticas hubo fracturamiento y fallamiento debido a movimientos tectónicos, formándose planos de debilidad a través de los cuales migraron fluidos hidrotermales que han alterado las rocas formando caolines. El cuerpo de rocas riolíticas que se ha descrito, es el más alterado del área presentando un color gris rosáceo.

Andesita Porfídica.

Estas lavas del plioceno superior que afloran principalmente al este del área, se reconocen por la presencia de grandes cristales (textura porfídica) de feldespato-plagioclasa de color gris oscuro o verdoso. La andesita porfídica que aflora en el Cerro de San Andrés presenta una estructura dómica en la parte más elevada, extendiéndose como una meseta de colada hacia el sur. Este cuerpo manifiesta planos de flujo y fracturamiento intenso, pero conservando sus características volcánicas. Aparentemente este tipo de roca fue afectada en menor proporción por los efectos tectónicos.

Riolita Vítreo o Pumicitica.

De edad pleistocénica; cubren una vasta zona en la porción oeste del área. La estructura de este cuerpo es en forma de domos redondeados. No existen rasgos de que haya sido afectada por disturbios tectónicos, su color es gris claro, observándose abundante vidrio pumítico con estructura porosa.

Tobas.

Dichos cuerpos pertenecientes al pleistoceno forman en conjunto, a todas aquellas rocas o material suelto y poco compacto existente en el área de

estudio.

Los cuerpos de tobas presentan una estructura de capas sedimentarias con estratificación cruzada y abundante presencia de material retrabajado; en estas tobas se observan fallas de saltos muy pequeños y fracturamiento de forma poligonal. Así también, cauces sepultados de arroyos con rellenos de materiales de diferentes diámetros, los cuales son de tres tipos:

Al sur de San Pedro Jácuaro, en las cercanías de los Baños Eréndira y el Rancho Los Ajolotes, se distingue una capa gruesa de material arenoso conglomerático compuesto por fragmentos de pómez, riolita fluidal, obsidiana, y en menor proporción fragmentos de andesita microgranular de gran diámetro, depositada caóticamente.

En la parte oeste del área, aflora un cuerpo de tobas arenosas compuestas por cristales de cuarzo, plagioclasa, y fragmentos de pómez; el color de estos cuerpos es amarillento, y su espesor variable.

Existen alrededor de la Laguna de Los Azufres, y de los manantiales de Los Ajolotes tobas depositadas, presentando sus componentes, una alteración no muy intensa; son de un color gris claro y blanco. Se debe mencionar que estos cuerpos están cubiertos por una delgada capa de toba arenosa con abundante pómez, y en algunos casos cubiertas por suelo vegetal.

Basalto.

Estas rocas afloran en los extremos del área de estudio, siendo rocas basálticas de diferentes formas del plioceno medio y superior, unas veces como coladas con variaciones de textura, que van de afanítica a vesicular; la coloración de la roca es gris oscuro. Estos cuerpos basálticos forman parte -

del complejo volcánico que se observa entre Ciudad Hidalgo y Maravatío, dentro del cual se presentan numerosos conos cineríticos que están íntimamente ligados a los accidentes estructurales que dieron origen a los grábenes o fosas tectónicas regionales que cruzan el área descrita.

Suelos y Aluviones.

Estos materiales afloran en toda el área, presentándose en espesores muy delgados, los cuales han sido producto de la alteración de las rocas y materia vegetal. Los cuerpos de consideración de estos materiales, se localizan en las depresiones intermontanas y en las partes bajas de los valles. Fig. 16.

Geofísica:

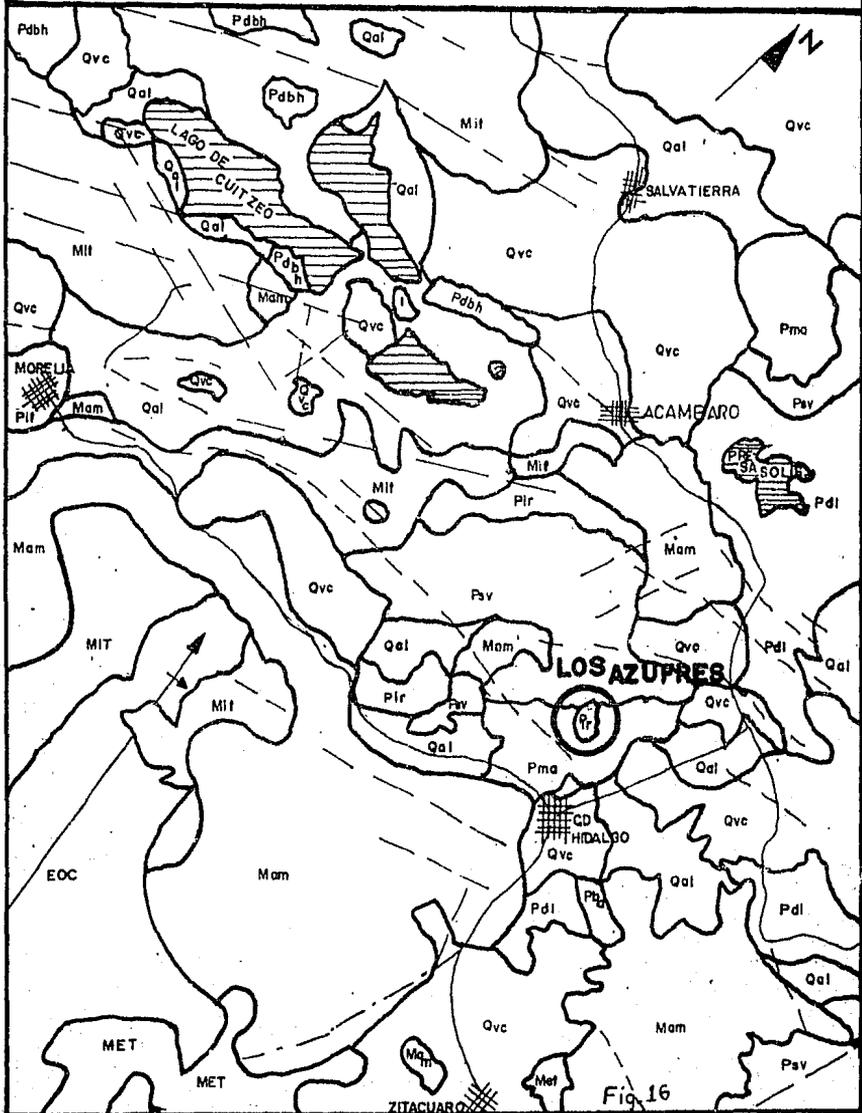
En base a los estudios preliminares de Geología ya descritos, en la fase de exploración le siguen en orden de importancia los estudios de Geofísica, cuya aplicación se enfoca a:

- a) Determinar las condiciones geológico-estructurales regionales del área, en donde se encuentran situados los recursos geotérmicos.
- b) Localizar y delimitar anomalías térmicas.
- c) Definir condiciones estructurales particulares.

El análisis de las variaciones de algunas propiedades físicas de las rocas, en unión con los antecedentes geológicos, vulcanológicos, geohidrológicos y geoquímicos, son de gran utilidad para elaborar el modelo geotérmico - de ese campo, así como para programar los sitios adecuados para realizar las perforaciones exploratorias. Fig. 17.

En la zona que se describe se efectuaron las siguientes prospecciones -

PLANO GEOLOGICO TECTONICO REGIONAL DEL CAMPO GEOTERMICO LOS AZUFRES



RECIENTE

Qd

SUELOS Y ALUVIONES

PLEISTOCENO

Qva

LAVAS Y PIROCLASTICOS

Pdl

DEPOSITOS LACUSTRES

PLIOCENO

Pha

BASALTOS ANDESITICOS

Psv

ARENAS VOLCANICAS Y TOBAS PUMICITAS

Pma

ANDESITAS

Pir

RIOLITA FLUIDAL CON OBSIDIANA Y VITREAS

Pit

LAVAS Y TOBAS IGNIMBRITAS

Pabh

COMPLEJO DACITICOS Y DOMOS DACITICOS

MIOCENO

Mam

ANDESITAS MICROGRANULARES

OLIGOCENO

Mit

LAVAS BRECHAS Y TOBAS IGNIMBRITAS

Eoc

SEDIMENTOS DEL OLIGOCENO EOCENO

Met

METAMORFICO DEL CRETACICO

GERENCIA DE PROYECTOS GEOTERMoeLECTRICOS C.F.E.

**AREA DE EXPLORACION Y DESARROLLO DEL CAMPO
GEOTERMICO: LOS AZUFRES, MICH.**

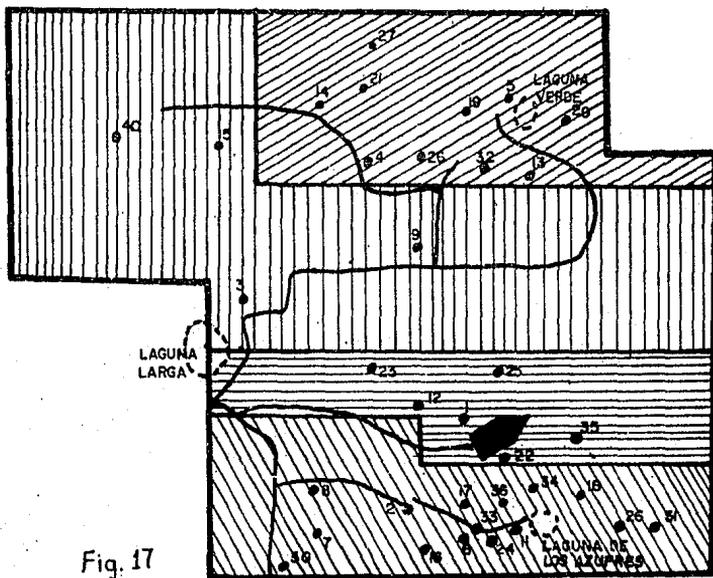
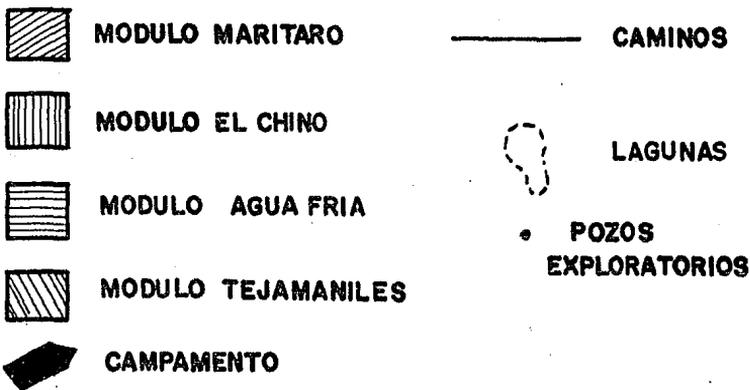


Fig. 17

geofísicas:⁴¹

- Geoelectricidad.
- Magnetometría
- Gravimetría

Por considerar que el método geoelectrónico es uno de los auxiliares más apropiados para la prospección geotérmica, se hará una descripción breve del mismo:

Por lo general las rocas volcánicas tienen una elevada resistividad, la cual puede disminuir si en ella existen fluidos, salinidad, temperatura o alteración de las rocas. Por experiencias obtenidas, las zonas geotérmicas se caracterizan por la presencia de fluidos hidrotermales con elevado porcentaje de salinidad y temperatura, lo que ha permitido identificarlas como zonas de baja resistividad como en el caso de Los Azufres, que es coincidente con las zonas de importancia geotérmica.

De acuerdo a los valores obtenidos se ha generalizado que, las rocas que tienen resistividades menores de 10 ohms/m., son las que desde el punto de vista geotérmico tienen importancia.

Los estudios geoelectrónicos realizados en el área de los Azufres, consistieron en llevar a cabo más de 100 sondeos eléctricos verticales, utilizándose para ello el dispositivo electródico marca Schlumberger.

Respecto al método de investigación de magnetometría, éste se basa en el magnetismo remanente de las distintas formaciones geológicas. Los valores obtenidos con este tipo de reconocimiento, permiten detectar y mostrar las ano-

(41) Op. cit. "Los Azufres", Mich. Folleto de divulgación. C.F.E.

malías clásicas relativas a las rocas ígneas, específicamente a las riolitas y andesitas que predominan en esta área.

La anomalía producida por cada roca depende de su susceptibilidad magnética, su magnetismo remanente, su forma y dimensiones, así como de la inclinación del campo magnético terrestre del área. Por consiguiente, es factible que al diferenciar los distintos tipos de anomalías, se pueden diferenciar también los tipos litológicos que los producen así como algunos rasgos-estructurales y, en forma cuantitativa la profundidad del basamento magnético.

El método gravimétrico en términos generales, tiene como principio la distribución de las masas rocosas por su densidad, y se aplica cuando la estructura geológica local está enmarcada por formaciones volcánicas o aluviones superficiales.

La magnetometría y gravimetría han sido utilizadas para tratar de determinar la situación geológica-estructural de la zona geotérmica de los Azufres. Dichos estudios se realizaron con el aparato llamado Magnetómetro marca Sharper (MF-L-100).

Geoquímica:

Los métodos geoquímicos se enfocan al estudio del equilibrio en el sistema agua-roca y se llevan a cabo a diferentes profundidades. La investigación geoquímica se desarrolla a partir de la química clásica, así como también en las técnicas basadas en los análisis isotópicos de algunos elementos.

Los principales objetivos de un estudio geoquímico son:

- Definir el marco geoquímico regional para la mejor interpretación de los-

sistemas de circulación del agua, origen de los fluidos y su interrelación con las rocas del subsuelo.

- Definir el sistema geotérmico del yacimiento.

Los estudios geoquímicos comprenden fundamentalmente las siguientes actividades:

- a) Recolección de muestras.
- b) Análisis químico
- c) Procesamiento e interpretación de resultados.

Recolección de muestras.

La actividad en el campo comprende la recolección de muestras de agua, gases y gases incondensables para su análisis en el laboratorio químico, con el fin de determinar "in situ" algunas variables tales como: temperatura, ph, ca lidad del fluido, conductibilidad, etc.

La naturaleza y condiciones de afloramiento de las manifestaciones hidrotermales en el área de estudio, indican la presencia de tres sistemas superficiales, alimentados probablemente por evaporación de un reservorio profundo - que está cerca al punto de ebullición. Estos tres sistemas son los siguientes:

- Sistema de agua caliente: cuyas temperaturas se encuentran entre los 175°C y 224°C. Ejemplos de este tipo son: Los manantiales de San Alejo, Los Ajolotes, Los Azufres, Pozo Hediondo, San Pedro y El Chino.
- Sistema de vapor dominante: con temperaturas aproximadas a 235°C. Es el caso de los manantiales de Agua Fría.

- Sistema mixto: con temperaturas promedio de 209°C. Esto ocurre en los manantiales de Maritaro y Laguna Verde.

Los gases de las fumarolas principales, proporcionan información de carácter cuantitativo e indican temperaturas que oscilan para esta zona geotérmica, entre 180°C y 300°C.⁴²

Análisis químico.

Esta actividad incluye el análisis en el laboratorio de las muestras recolectadas en el campo. Es de suma importancia conocer los procesos de estudio, los cuales en forma esquematizada se ilustran en la tabla siguiente:

COMPONENTE QUIMICO		YACIMIENTO (PPM)	AGUA SEPARADA (PPM)
Na	Sodio	1 070	1 879
K	Potasio	269	4,719
Ca	Calcio	6	1
Cl	Cloruros	1 976	3 469
SiO ₂	Sílice	741	1 301
S.T.D.	Sólidos Totales Disueltos	3 340	5 568
H ₂ S	Acido sulfhídrico	15	1
CO	Bióxido de Carbono	154	258
NH ₄	Amonio	3	4

PPM: Partes por millón

Los Azufres: folleto de divulgación. C.F.E.

(42) Op. cit. Resultado de las Exploraciones en la Zona Geotérmica de Los Azufres, Mich.

Procesamiento e interpretación de resultados.

La determinación de los datos de los análisis químicos e isotópicos de las muestras, así como los estudios de geotermometría permiten hacer interpretación en relación a:

- La identificación de los principales tipos químicos de agua.
- El origen de las aguas, zonas de recarga y la geohidrología del campo geotérmico.
- Cálculo de temperatura del yacimiento utilizando geotermómetros químicos.
- Modelos de mezclas.
- Limitación de zonas atractivas del campo.
- Definición de las zonas de reinyección de aguas de desecho.

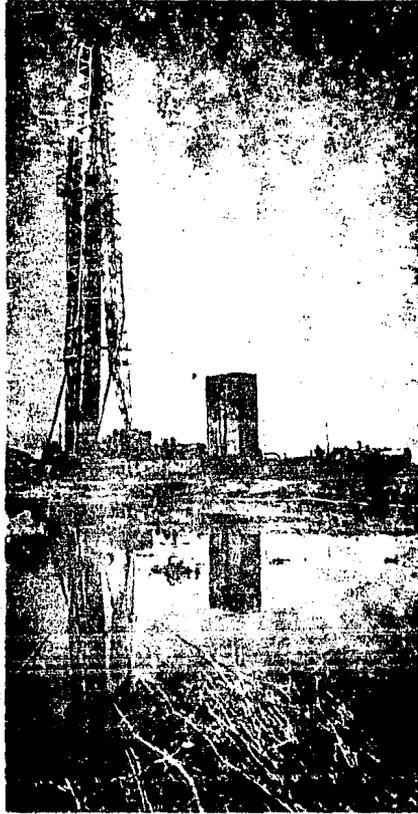
Perforación:

Para la perforación de los pozos exploratorios en los Azufres, se han utilizado equipos similares a los usados en la exploración petrolera, su capacidad de perforación es superior a los 3 000 m. de profundidad. Fig. 18.

Las actividades desarrolladas durante la perforación comprenden:⁴³

- Muestreo de canal. Esta actividad consiste en tomar muestras de los cortes de la barrena cada dos metros de perforación. Dichas muestras son sometidas a un lavado con agua para que posteriormente sean analizadas con un microscopio binocular con el fin de clasificarlas. Dicho registro se lleva en una bitácora con los siguientes datos: número de muestra, número de pozo, profundidad y fecha. Con esta información, se elabora la columna litológica del pozo.

(43) IBID. Los Azufres, Mich. Folleto de divulgación. C.F.E.



EQUIPO DE PERFORACION

Fig. 18

- Temperaturas de entrada y salida del fluido o lodo de perforación. En el transcurso de la perforación, se realizan registros de temperatura de entrada y salida del lodo de circulación con un termómetro de máxima, midiendo primero la temperatura en la presa del lodo y, la segunda medición se realiza en la "temblorina". Esta operación se efectúa a partir de los 269 metros de profundidad. Algunas variaciones de las temperaturas de entrada y salida de lodos están relacionadas con ciertas operaciones en la perforación como son: cambios en la velocidad de circulación de los fluidos de perforación, invasión de agua, variaciones en el funcionamiento del ventilador en la torre de enfriamiento, cambio de barrena, etc.
- Registros de temperatura. Para la medición de la temperatura en el pozo, los registros se hacen a diferentes profundidades con diferentes tiempos de reposo, siendo dibujadas en gráficas, en las que se relacionan temperatura y profundidad. De esta forma se localizan las zonas con temperatura del pozo, así como las probables profundidades con interés geotérmico.
- Muestreo de núcleos. Con el fin de obtener un mejor conocimiento de la geología del subsuelo en el proceso de perforación, se cortan núcleos de roca de los cuales se obtienen láminas delgadas que son sometidas a determinaciones mineralógicas mediante petrografía microscópica. Fig. 19.

Uso actual y potencial en el Campo geotérmico de los Azufres, Mich.

En base a los excelentes resultados obtenidos con las exploraciones realizadas en la zona de los Azufres, Mich., en Agosto de 1982 se instalaron cinco unidades generadoras a boca de pozo, con las cuales se inició la generación de electricidad con un total de 25 000 KW. De acuerdo a los estudios -

CORRELACION LITOLOGICA ENTRE POZOS

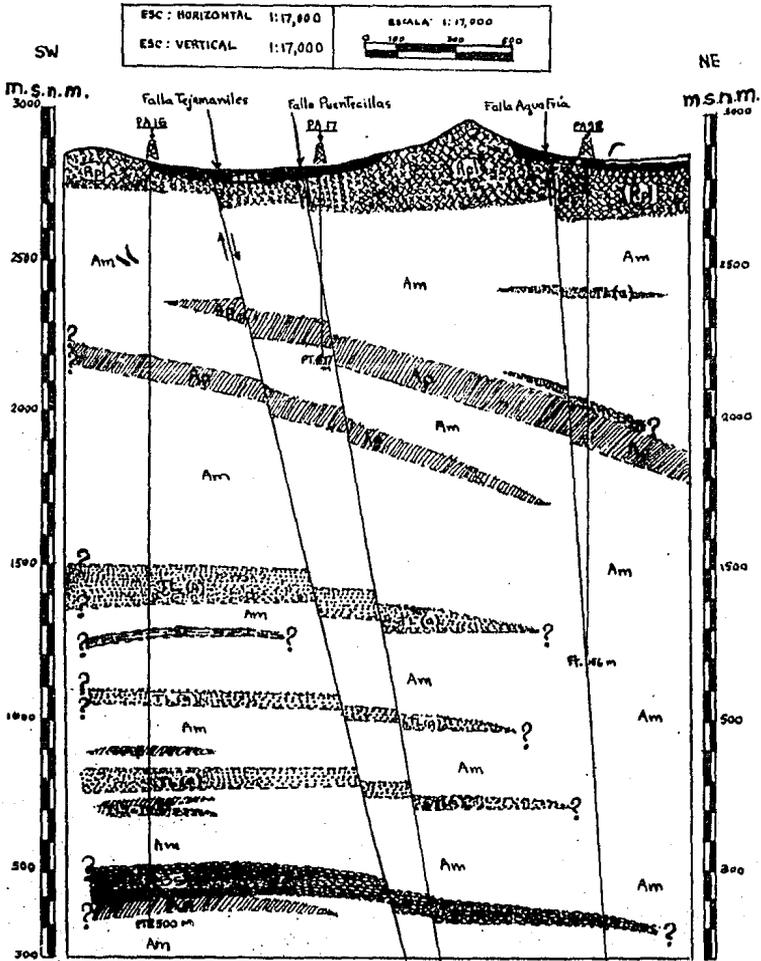


Fig. 19

- | | | |
|---|--|---|
| <p>■ TR TOBA RIOLITICA</p> <p>■ Rpl RIOLITA FLUIDAL ESFERULITICA</p> <p>□ Am ANDESITA MICROLITICA</p> | <p>□ D DACTIA</p> <p>■ TL(a) TOBA LITICA (ANDESITICA)</p> <p>SYMBOLS GEOLOGICOS: // FALLA NORMAL</p> | <p>■ Bs. BASALTO</p> <p>■ Ap ANDESITA PORFIDICA</p> <p>CONTACTO GEOLOGICO</p> |
|---|--|---|

de ingeniería de yacimiento se ha calculado que para fines de 1986, es factible la construcción de tres centrales con capacidad cada una de 55 000 KW - (55 MW), por lo que para éste año se podrá contar con una capacidad instalada en esas tres centrales con un total de 165 MW.

Programa de obras:

UNIDAD	MW	FECHA
5 a boca de pozo	25	08/82
1a. U. Azufres	55	86
2a. U. Azufres	55	86
3a. U. Azufres	55	86
Capacidad actual.....	25	MW.
Capacidad programada para 1986.....	165	MW.

Los Azufres: folleto de divulgación.- C.F.E.

Población e impacto ambiental:

Desde que la Comisión Federal de Electricidad inició los trabajos geotérmicos, la población cercana ha manifestado un cambio muy marcado en su sistema de vida, ya que, para llevar a cabo la infraestructura, se ocupó bastante mano de obra de la región. Posteriormente, con el establecimiento de los campamentos y el creciente desarrollo de las actividades geotérmicas, se incrementó notablemente la actividad comercial, es decir, se generaron fuentes de empleo; los caminos de acceso han permitido la comercialización más activa de los productos forestales así como el aumento del turismo hacia las numerosas fuentes hidrotermales.

Por las observaciones realizadas y por las opiniones recabadas de la población de la zona, se puede afirmar que las actividades efectuadas por la C.F.E. en esa área han ocasionado un cierto impacto, tanto en el medio físico como en el factor humano.

Refiriéndose al primero, se nota que la flora próxima o circundante a las emanaciones de vapores de desecho y de aguas residuales, por la presencia de sílice, boro, arsénico y cloruros ha sido afectada en forma intensa ya que éstas sustancias inhiben su crecimiento y en cantidades mayores, fenecen. Para contrarrestar los efectos ocasionados por las aguas residuales, éstas reciben un tratamiento a base de lechada de cal o cal hidratada, para disminuir la concentración de los elementos contaminantes. En otras ocasiones esas aguas residuales se reinyectan.

Otra consecuencia en el medio ambiente ha sido el ruido ocasionado por la salida violenta del vapor, el que ha repercutido tanto en la fauna como en los grupos humanos, siendo la opinión generalizada de constituir una franca molestia.

Como se indicó, también en el factor humano se ha manifestado una importante transformación sobre todo en las actividades productivas predominantes de la región como son: la explotación del bosque, las pecuarias, el comercio y el turismo. Consecuentemente, se ha notado un cambio social en las poblaciones vecinas como Ciudad Hidalgo, San Pedro Jácuaró, Maravatío y Zinapécuaro.

CERRO PRIETO, BAJA CALIFORNIA.

Situación Geográfica. Corresponde esta región a la provincia geológica llamada Llanura Sonorense, según la clasificación del Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI).

Las coordenadas geográficas extremas correspondientes a esta zona son:- 32°26'N. y 32°21'N.; 115°14'W y 115°18'W.

Respecto al volcán Cerro Prieto que da nombre a este campo geotérmico, y considerándolo como punto de referencia, sus coordenadas geográficas son - las siguientes: 32°25'N., y 115°15'W.

Las vías de acceso de superficie son: La carretera Mexicali a Ejido Nuevo León, la carretera Mexicali-San Felipe y el ferrocarril Sonora-Baja California.

Además, los medios de transportación aérea de que dispone la Comisión - Federal de Electricidad. Fig. 20.

Climas:⁴⁴

BW h' (h)s(x') - Muy seco, subtipo muy seco semi-cálido, con lluvias escasas en invierno, siendo la precipitación invernal menor de 36%. Se observa sobre todo en la ladera oriental de la Sierra Cucapah.

BW hs(x') - Muy seco, subtipo semi-cálido, con lluvias en invierno, - siendo la precipitación invernal menor de 36%. Es el clima característico de la zona de estudio.

LOCALIZACION DEL CAMPO GEOTERMICO DE CERRO PRIETO

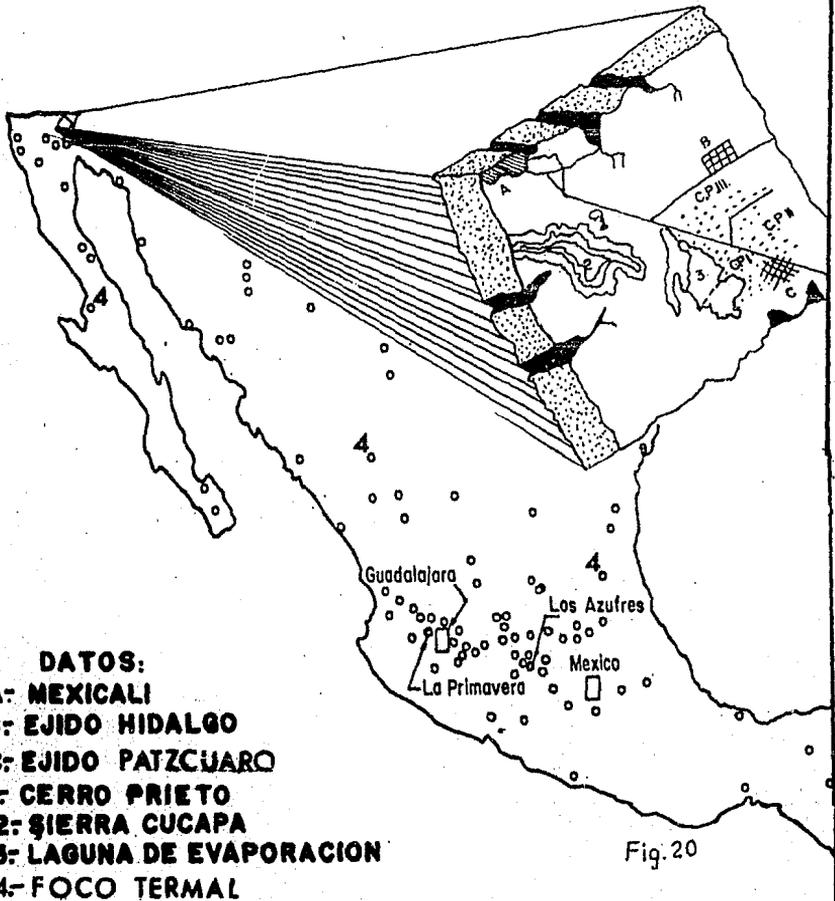


Fig. 20

BW ks (x¹) - Muy seco, subtipo muy seco templado, con precipitación in vernal menor de 36%. Se localiza en la parte alta de la sierra Cucapah.

El promedio de temperatura anual varía entre 20°C y 22°C. Registrándose en la estación de invierno hasta 4°C, y en verano hasta 51°C.

En relación a la precipitación anual, se observa una media entre 80 mm. y 100 mm.

Hidrología:

Superficialmente, en la parte central, que constituye en sí la zona geotérmica, predominan áreas pantanosas cuyas aguas probablemente provienen de una serie de manifestaciones hidrotermales tales como manantiales, geysers, volcanes de lodo, etc., y de algunas descargas o drenes pequeños provenientes de la parte este del valle; hacia el oeste de la Sierra de Cucapah existe una depresión denominada Laguna Salada, y al sur-sureste del volcán Cerro Prieto, se encuentra la Laguna Volcano con una superficie aproximada de 10 Km.² en la cual se manifiesta una constante actividad fumarólica y solfatarica extraordinaria, abundando en ellas, hervideros y volcanes de lodo, en los cuales se producen a cortos intervalos explosiones freáticas.

En las estribaciones de la Sierra de Cucapah, en su parte oriental, en la época de lluvias se presenta una serie de corrientes fluviales de corta extensión.

Actualmente se ha desarrollado un importante sistema de irrigación mediante una red de canales que ha convertido al valle en una de las regiones más ricas y prósperas del país.

Finalmente, debe mencionarse la laguna de evaporación que, con las descargas controladas de agua geotérmica, da lugar al llamado río Hardy, el cual después de formar varios esteros descarga su flujo en la Laguna Salada.

Respecto a los mantos acuíferos subterráneos, se ha determinado que entre los horizontes arcillosos, se presentan cuerpos aislados y subcapas de arenas y gravas, con capacidad para almacenar agua que se filtra hasta el río Colorado, así como de las escasas precipitaciones pluviales que acontecen en la región. Dichos cuerpos permeables, que son los que contienen los acuíferos más superficiales, manifiestan una función de descarga hidrostática que ayuda en parte a detener el posible ascenso de los fluidos calientes a la superficie, y al mismo tiempo, como recarga de los acuíferos de agua caliente de la capa subyacente.

Edafología:

Los tipos de suelos que existen en el área de estudio son:

- L + Rc + Jc/2 - Litosol + Regosol calcárico + Fluvisol calcárico, de textura media. Se observa en la Sierra de Cucapah.
- Jc + Re + Rc/1 - Fluvisol calcárico + Regosol eútrico + Regosol calcárico de textura gruesa. Se observa en la parte este.
- Vc + Xh/3 - Vertisol crómico + Xerosol háplico, de textura fina. Se observa al norte y sur del campo.
- Xh + Vc/2 - Xerosol háplico + Vertisol crómico, de textura media. También en la porción norte.

Rc + Jc/1 - Regosol calcárico + Fluvisol calcárico de textura gruesa. Se localiza al este del campo.⁴⁵

Vegetación:

En la Sierra Cucapah existen áreas sin vegetación aparente, al este de la misma se observa matorral desértico micrófilo y siguiendo más hacia el este se practica agricultura de temporal, y todavía más al este hay vegetación-halófila o halófito. Circundando la zona geotérmica desde Mexicali hasta la desembocadura del río Colorado, se practica la agricultura de riego.

Fauna:

Se presenta muy escasa, existen roedores, reptiles, arácnidos e insectos característicos de las zonas semi-áridas o desérticas.

MÉTODOS DE EXPLORACION EN EL AREA GEOTERMICA DE CERRO PRIETO

Tectónica y geología:

La zona que se describe, pertenece a la provincia fisiográfica denominada Llanura Sonorense, y específicamente a la subprovincia de Sierras de Baja California, se considera que el sistema de topofomas es propiamente de llanuras, presentando fase salina del tipo deltáico cuyos aluviones provienen del Río Colorado.⁴⁶

En la parte oeste del Valle de Mexicali, en donde se encuentra esta im-

(45) IBID. Atlas Nacional del Medio Físico.

(46) IBID. Atlas Nacional del Medio Físico.

portante zona geotérmica, se localiza la Sierra Cucapah que al ser afectada por los agentes erosivos ha dado como resultado la formación de depósitos de piedemonte.

Al sureste de las estribaciones de la sierra antes mencionada destaca el volcán Cerro Prieto, cuya altitud es de 260 msnm, y hacia el oeste se encuentra una depresión que constituye la llamada Laguna Salada. Finalmente al sur-sureste se localiza otra pequeña depresión denominada Laguna Volcano.

En base a los estudios geológicos, geofísicos y geoquímicos para definir el comportamiento estructural del área geotérmica de Cerro Prieto se analizaron los resultados obtenidos de los estudios de reflexión, refracción sísmica pasiva, magnetometría, monitoreo sísmico, registros eléctricos en pozos, análisis litológico de muestras, paleontología, petrografía y geohidrología, obteniéndose así, un modelo geológico preliminar integrado por tres unidades litológicas, al que se le hicieron modificaciones conforme a nuevas informaciones.⁴⁷ Fig. 21

Unidad A.

Constituida por sedimentos deltáicos continentales no consolidados de los periodos plioceno y pleistoceno, formados por arcillas, limos, gravas, arenas, y en su parte inferior, horizontes en etapa de consolidación representados por lodolitas, lutitas, limonitas de color café, principalmente.

Esta depositación permitió que se formara una capa que a manera de sello impide el ascenso de los fluidos geotérmicos. A esta unidad se le ha calculado un espesor máximo comprobado de más de 2 200 m.

(47) Central Geotermoelectrica de Cerro Prieto B.C. Folleto de divulgación. C.F.E. 1982.

Corte geológico del campo geotérmico de Cerro Prieto.

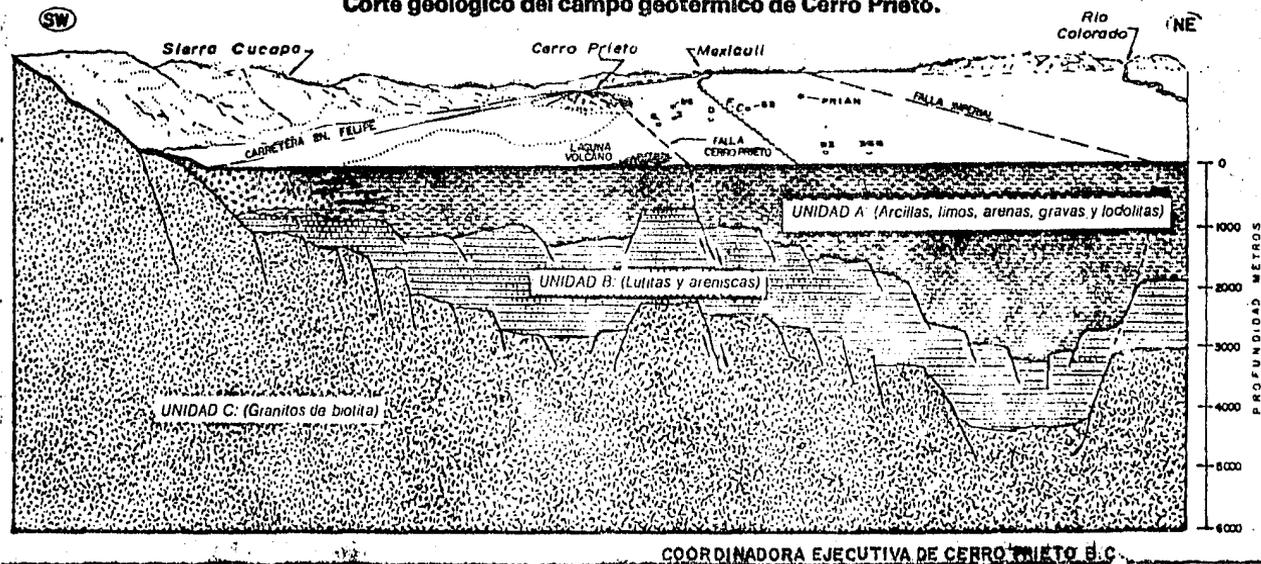


Fig. 21

Unidad B.

Integrada por sedimentos deltáicos continentales consolidados y constituidos por lutitas, areniscas, limonitas, pizarras y argilitas; debido al metamorfismo ocurrido en el terciario. El espesor máximo de esta unidad, se ha estimado en 2 000 m. De esta unidad se extraen los fluidos geotérmicos.

Unidad C.

Está representada por rocas cristalinas del cretácico superior, constituyendo el basamento de granitos de biotita. Fig. 22.

El material magmático del volcán Cerro Prieto, probablemente se manifestó en una zona de debilidad formada por cruces de fracturas visibles en las fotografías aéreas. El material basáltico arrojado del tipo de brecha volcánica sobreyace en los aluviones, observándose en los alrededores del volcán. Sin embargo, al oeste de esa elevación predominan afloramientos de suelos eólicos arcillosos y conglomerados. También, hacia la parte oriental del volcán, se localiza una gran zona de manantiales con suelos lacustres, siendo propiamente el área geotérmica.

Hacia el sur y en las cercanías de la Sierra Cucapah, se observan otros afloramientos volcánicos del cuaternario de composición ácida, por ejemplo, lavas vítreas y pómez, las que probablemente sean posteriores a las de Cerro Prieto, debido a que sus formas han experimentado una menor erosión.

Por último, e interestratificado con los aluviones, se observan abanicos aluviales de edad reciente, que provienen de la fragmentación de las rocas de la Sierra Cucapah, constituidos por sedimentos graníticos y rocas metamórficas.

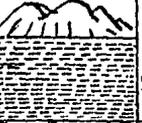
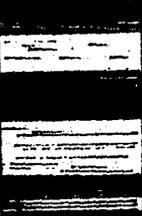
COLUMNA ESTRATIGRAFICA					
AREA GEOTERMICA DE CERRO PRIETO					
ERAS	PERIODO	EPOCA	PETROLOGIA	ES-PESOR	DESCRIPCION LITOLOGICA
CENOZOICA	CUATERNARIO	PLEISTOCENICA		500 A 2300 m	ANDESITAS, ARCILLAS, ARENAS Y ESCASAS GRAVAS, DIQUES DE DIABASA.
				00 A 100 m	LODOLITAS DE COLOR CAFE CON INTERCALACIONES DE ARENA Y ARENISCAS DE COLOR CREMA.
	TERCIARIO			100 m	LUTITAS Y LIMOLITAS DE COLOR CAFE, INTERCALADAS CON ARENISCAS DE COLOR CREMA.
				MAYOR DE 2,200 m.	LUTITAS Y LIMOLITAS DE COLOR GRIS A NEGRO CON ALTERNANCIA DE ARENISCAS DE COLOR BLANCO Y BLANCO GRISACEO.
MESOZOICA	CRETACICO	SUPERIOR		?	GRANITO DE BIOTITA

Fig.22

COORDINADORA EJECUTIVA DE CERRO PRIETO B.C. C.F.E

Por considerar que en esta área los fluidos geotérmicos, tienen su origen principalmente en la actividad tectónica, se hará mención en forma general, de la tectónica predominante.

Las manifestaciones de energía geotérmica que afloran a la superficie - en el Valle de Mexicali, están íntimamente relacionados con el sistema de fallas de San Andrés, entre las cuales destacan, la Falla Imperial, y la Falla de Cerro Prieto. Fig. 23.

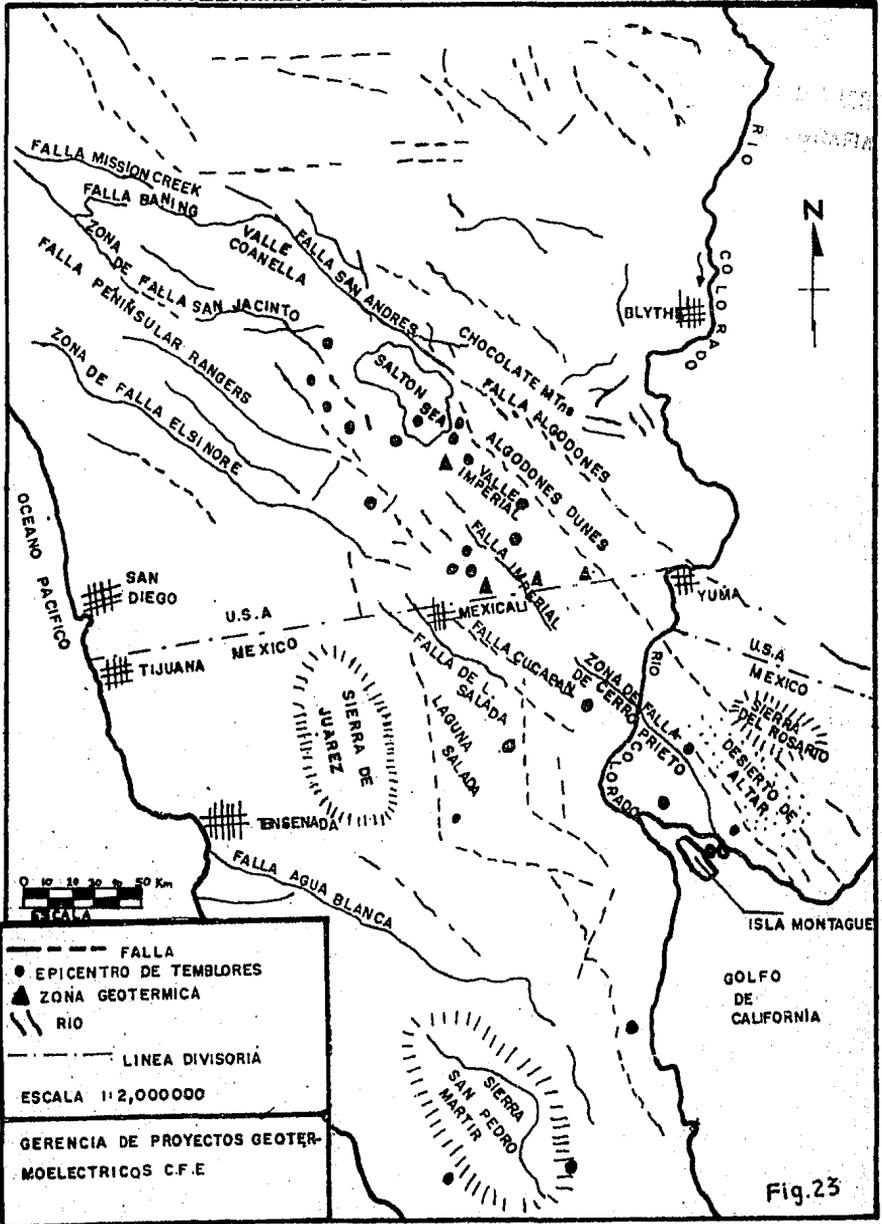
En el transcurso de millones de años, estos sistemas de fallas, han fracturado y desplazado tanto al basamento granítico como a las rocas sedimentarias que lo sobreyacen, siendo a través de esos complicados sistemas de debilidad cortical por donde ascienden los fluidos geotérmicos hacia los horizontes deltáicos permeables de la Unidad B.

Estudios geofísicos realizados en el área de Cerro Prieto y zonas adyacentes han permitido determinar que a partir de las estribaciones de la Sierra Cucapah y hacia el este, el basamento desciende en forma escalonada hasta una profundidad aproximada de más de 6 000 m.⁴⁸

Tectónicamente, el Valle de Mexicali en donde se encuentra nuestra área de estudio, está caracterizado por una serie de grábenes y horts resultantes de zonas de distensión cortical asociados a movimientos de rumbo noroeste-sureste de las fallas de Cerro Prieto e Imperial que corresponden al sistema de San Andrés, que junto con otras, constituyen una red global de fallas, cadenas montañosas, grietas en el relieve submarino y profundas fosas oceánicas. Todo ello representa los límites entre las amplias placas móviles del-

(48) Op. cit. Central Geotermoeléctrica de Cerro Prieto.

AFALLAMIENTO DEL SISTEMA DE SN. ANDRES



--- FALLA
 ● EPICENTRO DE TEMBLORES
 ▲ ZONA GEOTERMICA
 --- RIO
 - - - LINEA DIVISORIA
 ESCALA 1:2,000,000
 GERENCIA DE PROYECTOS GEOTERMICO-ELECTRICOS C.F.E

Fig.23

Pacífico y Norteamericana.

En consecuencia, esta región se ha caracterizado por una tectónica vertical con geometrías propias de cuencas de régimen transformado, de gran actividad sísmica con terremotos de focos someros, en donde la corteza terrestre ha experimentado un adelgazamiento y un acercamiento del material ígneo-del manto, dando lugar a algunas áreas de alto flujo térmico.⁴⁹

Diversas investigaciones⁵⁰ que se han realizado para conocer la deriva-continental debido a la barrera que representa la placa continental, de los diferentes bloques que integran la Placa Pacífica en su movimiento hacia el noroeste, y las consecuencias que dichos desplazamientos y choques de bloques tectónicos que provocan en la actualidad, como la formación de sistemas de fallas transformadas, de las cuales se originaron centros de dispersión y en los que generalmente se presenta una actividad volcánica, sísmica, depresiones oceánicas y actividad hidrotérmica.

El campo de Cerro Prieto, se localiza en uno de esos centros de dispersión (Lomnitz, 1970. Elders, 1972), como consecuencia del movimiento lateral derecho de las fallas Imperial y Cerro Prieto. Debido a esos movimientos a rumbo, se formó un sistema de fallas secundario, denominado Volcano, de rumbo general noreste-suroeste, normal a los aflamientos principales noreste-sureste.

Esto último, ha motivado incrementar las exploraciones tanto en el Va--

- (49) El Campo Geotérmico de Cerro Prieto, Estudios Geofísicos Realizados. Fonseca López Héctor. Coordinadora Ejecutiva de Cerro Prieto, B.C. - 1982.
- (50) Modelo Geológico del Campo Geotérmico de Cerro Prieto A. de la Peña L., I. Puente C., y E. Díaz C. Coordinadora Ejecutiva de Cerro Prieto B.C. Mexicali, B.C. México. 1982.

lle Imperial como en el Valle de Mexicali. Como resultado de los estudios en el Valle Imperial, se han detectado varias regiones geotérmicas, y en relación al Valle de Mexicali se ha interpretado según las últimas exploraciones, además de Cerro Prieto, la zona geotérmica que se extiende hacia el este, la cual comprende cuatro áreas prospectivas denominadas: Tulechec, Ritto, Aeropuerto-Algodones, y San Luis Río Colorado.

Geofísica:

Los programas de exploración en el Valle de Mexicali y sus alrededores, tienen por objeto estimar la potencialidad de diez áreas de anomalías térmicas previamente localizadas. Estos estudios, incluyen levantamientos geológicos, geofísicos y geoquímicos.

La carencia de toda clase de recursos energéticos en el Estado de Baja California, con excepción del geotérmico, ha sido el estímulo para la investigación en el área de Mexicali.

Desde el año de 1960 en que se iniciaron los trabajos de exploración en la zona geotérmica de Cerro Prieto con levantamientos geológicos y geoquímicos, con los cuales se localizó el primer pozo, en el que se obtuvo producción de mezcla vapor-agua, se continuó con la perforación de otros dos pozos de más de 450 m. y 700 m. de profundidad respectivamente, obteniéndose de ellos temperaturas muy alentadoras, lo cual motivó realizar estudios geológicos, geofísicos y geoquímicos a detalle, que comenzaron en el año de 1962 con un trabajo sismológico de refracción de cuyos resultados por el buen contraste de velocidades observando en las capas del subsuelo, fue factible el desarrollo inicial del actual campo de Cerro Prieto.

Con la información de este estudio, se dieron algunas localizaciones de pozos profundos manifestando algunos de ellos excelentes características de temperatura, presión y producción, las cuales permitieron sentar las bases para el desarrollo del campo.

Respecto a los estudios de Geofísica, los primeros trabajos realizados en el área que se describe fueron: un levantamiento muy local de gravimetría en el año de 1968, con el cual se pudieron detectar las áreas de mayor y menor relleno sedimentario que se encuentra en los alrededores del campo. Este trabajo correlacionado con estudios de refracción anteriores originó el interés de ampliar las zonas de perforación para una posible producción.

En el año de 1971 se realizó un estudio aeromagnético en toda la región del delta del Río Colorado, con el objeto de aclarar si existía relación entre la estructura y litología del basamento con la fuente de calor geotérmico. Posteriormente se teorizó el origen del calor con un centro de dispersión. La información suministrada mediante este estudio, manifestó una consistencia de una serie de intrusiones ígneas intrasedimentarias ubicadas algunas de ellas junto a las fallas Cerro Prieto y San Andrés, y con la morfología a profundidad del basamento predominantemente granítico en las porciones marginales noreste, oeste y suroeste del Valle de Mexicali.

Desde 1972 hasta 1975, se estudió tanto el campo de Cerro Prieto como el Valle de Mexicali con la técnica de Resistividad Eléctrica. En sus resultados se detectaron una serie de mínimos resistivos asociados a las trazas de las fallas Cerro Prieto e Imperial, que motivaron el interés geotérmico por su posible relación con zonas de altas temperaturas, al igual como ocurrió con las zonas geotérmicas de The Geysers en California, E.U.A., Broadlands en Nueva Zelanda, y varios campos geotérmicos en Italia.

En 1977 se continuó con las exploraciones, empleando las técnicas ya mencionadas e iniciando los trabajos mediante gravimetría y magnetometría terrestre, técnicas que permitieron reafirmar la existencia de las áreas de mayor espesor sedimentario, que son las principales estructuras que cruzan el campo de Cerro Prieto.

En ese mismo año, se encomendó un estudio de la sismicidad del Valle de Mexicali al Centro de Investigación Científica y Estudios Superiores de Ensenada (CICESE), cuyos objetivos eran obtener información sobre temblores y la interpretación estructural de éstos.

Dichos datos, han resultado de importancia ya que proporcionan información sobre sismicidad, patrones tectónicos y esfuerzos regionales.

También en ese año, se inició un convenio tecnológico con el Departamento de Energía de los Estados Unidos de América, relacionado a Metodología Geofísica Aplicada, para obtener datos relacionados a cambios que ocurren en el campo geotérmico debido a la explotación del yacimiento.

Por otra parte, a través del grupo técnico de Lawrence Berkeley Laboratory (LBL), de la Universidad de California, E.U.A., se han realizado mediciones constantes sobre resistividad.

La aplicación del método magnetotelúrico fue programada en 1978 con el fin de complementar los levantamientos de resistividad eléctrica ya realizados. Este método que es una técnica pasiva basada en oscilaciones electromagnéticas naturales de baja frecuencia, tiene la ventaja de permitir una mayor profundidad de exploración, que combinado con una referencia magnética remota, logra resultados más precisos aún en presencia de interferencias. Este método fue desarrollado por personal de Lawrence Berkeley Laboratory,-

co en forma de domo, y hacia el oeste queda constituida la Unidad C por un basamento granítico.

Finalmente, en base a los métodos de exploración en su correlación con la Geología y algunas evidencias de termalidad, se han detectado cuatro regiones geotermicamente prospectivas denominadas: Tulechek, Riito, Aeropuerto-Algodones y San Luis Río Colorado de las cuales las dos primeras ya se encuentran en la etapa de perforación de pozos exploratorios profundos.⁵¹

Geoquímica:

Los métodos geotermoquímicos son de una gran ayuda para el conocimiento de las condiciones existentes en el subsuelo de una zona geotérmica.

Las aguas geotérmicas están normalmente cargadas con sustancias las cuales no se pueden desechar libremente en las aguas superficiales por temor a causar contaminación en las mismas. Un contenido muy común en las aguas geotérmicas es el boro, el cual es dañino a muchas plantas, como el arsénico en los humanos.

El análisis químico de aguas, gases y rocas, así como su interpretación, nos ayudan a definir el tipo de reservorio, ya sea de vapor dominante o de agua sobrecalentada, así como a conocer las temperaturas en el subsuelo y aún las presiones de descarga que se tendrán en los pozos perforados.

Los elementos químicos más frecuentes son los sistemas de agua sobrecalentada han resultado ser, el sodio, potasio y sílice., En los de tipo de va

(51) Op. cit. El Campo Geotérmico de Cerro Prieto, Estudios Geofísicos Realizados.

por dominante, son los isótopos de carbono, oxígeno y otros.

A continuación se indican los principales componentes químicos en el agua de yacimiento del campo de Cerro Prieto, y en el agua separada a presión atmosférica (en ppm).

COMPONENTE QUIMICO	YACIMIENTO	AGUA SEPARADA	VAPOR
Na Sodio	4 702	7 972	2.3
K Potasio	1 160	1 967	1.2
Ca Calcio	235	399	0.3
Cl Cloruros	8 796	14 913	28.0
SiO ₂ Sílice	584	990	3.1
STD Sólidos Totales Disueltos	14 893	25 251	35.0
H ₂ S Acido Sulfhídrico			866.0
CO ₂ Bióxido de Carbono			17 503.0
NH ₃ Amoniaco			90.0

ppm partes por millón. Cerro Prieto. Folleto de divulgación. C.F.E.

Así también, se observan cantidades muy reducidas de magnesio, litio, boro, fluor, bromo, yodo, arsénico y otros gases.

La concentración de los diferentes constituyentes encontrados en el agua termomineral de Cerro Prieto, depende de ciertos factores como: el tipo de formación en contacto con el agua, la concentración de los diferentes constituyentes de la formación, el equilibrio entre el contenido mineral y contenido de agua, la temperatura, el pH de la solución y los aportes de agua magmática, el agua marina, el agua meteórica y los acuíferos subterráneos.

Se han realizado un sinúmero de investigaciones para tratar de explicar el origen de las sustancias químicas en aguas calientes descargadas por los manantiales y pozos, en numerosas áreas hidrotermales en el mundo. Un estudio sobre el posible origen de los productos químicos, fue realizado en el campo geotérmico de Wairakei, Nueva Zelanda, en el cual fueron sometidos varios tipos de rocas a temperaturas entre 100°C y 600°C; y a presión de 500 a 1 500 atmósferas durante ciertos periodos de tiempo en cámaras de reacción de acero inoxidable. Se introdujo agua bajo presión obteniéndose reacciones químicas que al ser analizadas se encontraron elementos comunes en las aguas hidrotermales, como: cloruros, boro, litio, etc. Esto demostró que las aguas termales naturales pueden ser enriquecidas en sus componentes minerales por la extracción de la roca con agua a elevada temperatura.⁵²

En el campo geotérmico de Cerro Prieto se desechan actualmente cerca de 3 600 ton/h. de salmuera, la cual se envía a una laguna de evaporación de 8 km.², donde una parte se volatiliza al cambiar la presión cuando sale de las tuberías (se flashea); otra se evapora, y el resto se descarga al Rfo Hardy.

La presencia de ciertas sales del agua hidrotermal, se debe a la acción del agua caliente sobre las rocas o componentes del terreno a través de las cuales fluye o está alojada. Esto va de acuerdo con las leyes básicas de la química, ya que es bien conocido el aumento de solubilidad de diversos compuestos en el agua al aumentar la temperatura.

Se considera que el vapor de agua, tiene su origen en la liberación de

(52) Aspectos Químicos del Aprovechamiento de la Energía Geotérmica. Campo Cerro Prieto, B.C. Mercado Sergio Ing. 1966.

gran cantidad de gases mineralizados de elevada temperatura, que se desprenden de una intrusión magmática, la cual se formó debido a los grandes fracturamientos que dieron lugar al sistema de fallas de San Andrés, y en particular a la falla de San Jacinto que quedó atrapada a profundidades mayores de 6 000 m. bajo los sedimentos que forma el delta del Río Colorado.

Dicho vapor de agua, asciende a través de las fallas o fracturas alcanzando estratos permeables con agua almacenada en ellos. Al llegar al límite inferior del agua subterránea, el vapor se condensa elevando la temperatura y disolviendo las sales de los diversos estratos, así como reaccionando con las rocas adyacentes, elevando así su contenido mineral.

Al paso del tiempo, la mezcla del agua subterránea y el agua magmática alcanzó elevadas temperaturas, tratando entonces de fluir hacia la superficie. En Cerro Prieto se tienen en las capas superficiales un "sello" de arcilla que retuvo el agua ya sobrecalentada, e impidió la liberación de la energía a la superficie, existiendo únicamente fugas o migración hacia la superficie a través de fallas vivas, cruzamientos o áreas con delgada capa arcillosa, dando origen de esta forma a las diversas manifestaciones superficiales.

La Geotermoquímica es de gran apoyo tanto en la exploración como en la explotación de los campos geotérmicos, resultando ser uno de los métodos de investigación más económicos.

Perforación:

Después de los estudios de exploración que se realizan en un campo geotérmico, la siguiente fase es la perforación, la cual se divide en dos eta--

pas: perforación de Exploración y Perforación de Producción.

Perforación de Exploración.

Las primeras perforaciones de exploración se iniciaron entre los años de 1959 a 1961, con la ejecución de tres pozos pilotos de poca profundidad y cuyos resultados indicaron un gradiente geotérmico muy interesante.

Debe recordarse, que el gradiente geotérmico de la tierra considerado como normal, es de aproximadamente 3°C por cada 100 m., es decir, que a medida que se alcanzan profundidades de 1000 m., se tendrán posiblemente en las diversas áreas de la corteza terrestre 30°C . En el caso del campo geotérmico de Cerro Prieto a los 1 000 m. de profundidad se tienen detectadas temperaturas de 250°C .

En el año de 1964, y con base en los estudios obtenidos en perforaciones iniciales, se programó y se llevó a cabo la perforación de cuatro pozos profundos (M3, M4, M5, M6), cuya finalidad fue la exploración de la columna estratigráfica y la explotación de la energía en caso de obtenerse. En estos pozos se siguió en parte el sistema de perforación utilizado en Petróleos Mexicanos para el arranque de pozos, presentándose problemas tales como fracturas y colapsos.

En Cerro Prieto, se tiene una gran anomalía geotérmica que originó el reservorio que actualmente se explota.

Perforación de Producción.

Con los resultados obtenidos en la segunda etapa de perforación exploratoria, se inició la tercera etapa con objetivos de explotación, habiéndose

iniciado los trabajos en mayo de 1966, a mayo de 1968, construyéndose en este período 15 pozos, y cuya profundidad promedio estuvo regida por las condiciones y experiencias obtenidas en el pozo M5, el cual manifestó un potencial de enorme riqueza almacenada a una profundidad de 1 500 m. La cantidad promedio de vapor obtenido en estos pozos fue de aproximadamente 50 tons/hora.

Con el objeto de reforzar y respaldar la cantidad de vapor obtenido de los pozos construídos en la tercera etapa, se planeó la construcción de 14 pozos más (cuarta etapa), realizándose ésta entre febrero de 1972 y septiembre de 1974.

Para la quinta etapa de perforación se programaron 9 pozos de explotación y 5 de exploración; siete pozos de los primeros se localizaron al surdel área que actualmente está sujeta a explotación, y dos al oriente de la planta. Esta etapa se inició en diciembre de 1976, y está actualmente en proceso.

Las etapas de perforación se han desarrollado debido a factores económicos y circunstancias políticas, además se han presentado factores técnicos, fallas mecánicas y numerosos criterios que en cada una de dichas etapas se han contemplado.⁵³

El número y características de los distintos pozos que se han perforado hasta la fecha en el campo geotérmico de Cerro Prieto, nos permiten resumir aspectos fundamentales de la tecnología aplicada y establecer algunos resultados, mejoría en sistemas y procedimientos, la definición de aspectos que a la fecha de resolución no ha sido satisfactoria, aunque la existente -

(53) IBID. Curso Intensivo sobre Geotermia "Los Azufres".

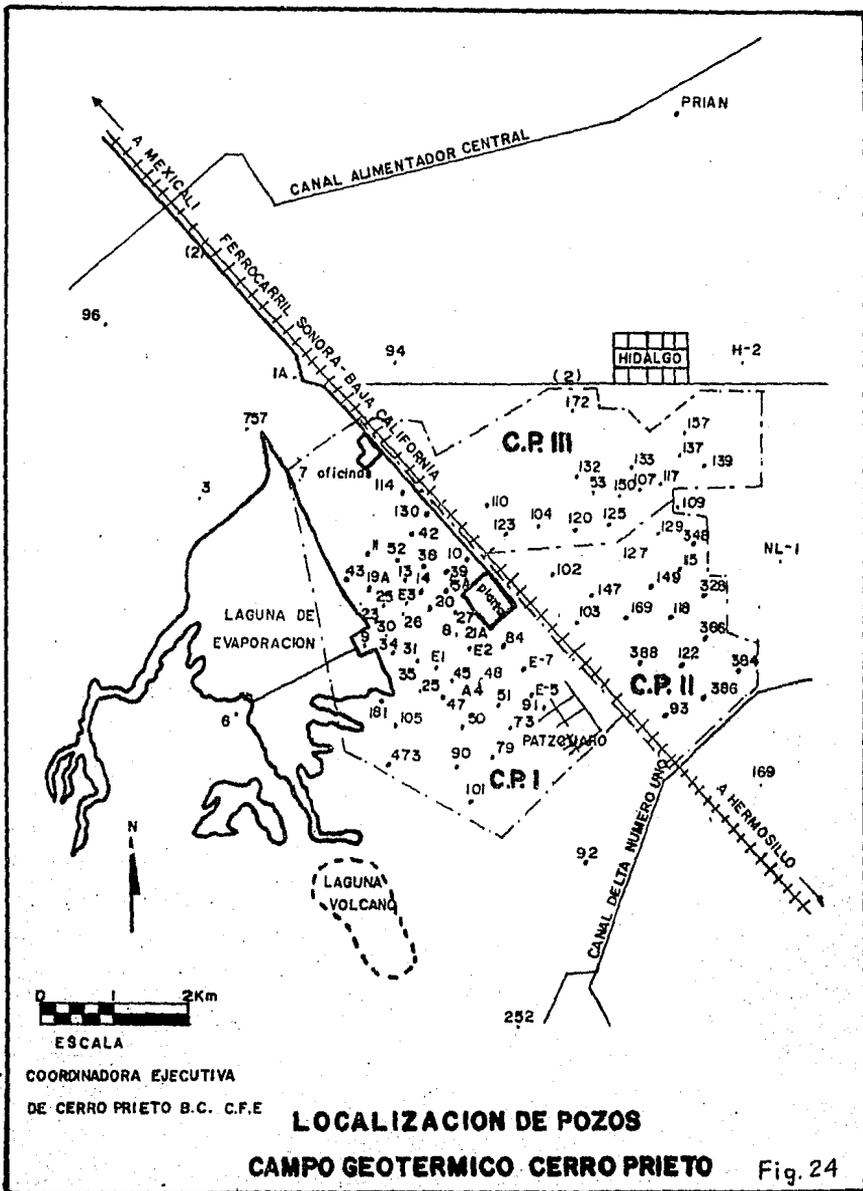
sea la más favorable; prácticamente se han terminado más de 150 pozos tanto exploratorios como de producción en las tres áreas o bloques en los que se ha dividido el campo de Cerro Prieto. Fig. 24. Se han tenido problemas de descontrol tanto en forma parcial como total, por lo cual ha sido necesario abandonar algunos de esos pozos ya que no ofrecieron seguridad para conservarlos en explotación o por lo menos en observación o estudio.

Los problemas que con mayor o menor gravedad y frecuencia se han presentado en los pozos construídos en Cerro Prieto, a la fecha, se pueden resumir en forma general de la manera siguiente:⁵⁴

- 1) Pérdida de circulación.
- 2) Derrumbes durante la perforación o durante la corrida de T.R. (tubería ranurada).
- 3) Altas temperaturas en la zona productora.
- 4) Problemas de pesca.
- 5) Pérdida de circulación durante los trabajos de cementación.
- 6) Fallas mecánicas en la tubería ranurada.
- 7) Invasión de lodo o cemento a la zona productora.

A medida que la profundidad fue aumentando, algunos de estos problemas se han acrecentando tornándose en algunos casos casi incontrolables, siendo hasta el momento una limitante cuyas consecuencias en ocasiones son desastrosas para un buen resultado económico. Además, las temperaturas elevadas en las zonas de producción, aceleran los problemas antes mencionados, sobre todo por presión diferencial.

(54) Perforación Geotérmica en Cerro Prieto.
Domínguez A. Bernardo Ing. Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, D.F.E.



Al presente, están operando en Cerro Prieto 134 pozos que suministran el vapor requerido por las actuales cinco unidades turbogeneradoras con capacidad total de 180 MW. (Cerro Prieto I). Las técnicas de perforación y terminación de pozos geotérmicos empleadas en Cerro Prieto, han evolucionado gradualmente desde que en 1964 se construyeron los primeros pozos exploratorios, aunque en términos generales el procedimiento de perforación es muy semejante al de los pozos petroleros, presenta sin embargo, algunas diferencias básicas que se indican a continuación:

- Necesidad de enfriamiento de los lodos de perforación.
- Tubería de producción de mayor diámetro, construida con aceros especiales y con uniones roscadas de mayor resistencia.
- Cementos con aditivos especiales.

Tubería utilizada en los pozos de exploración y explotación del campo geotérmico de Cerro Prieto

Ø DE TUBERIA		PROFUNDIDAD			
PULGADAS	CMS.	EXPLORACION (M)		EXPLORACION (M)	
20	50.8	0-5	(C)	0-20	(C)
13 3/8"	31.0	50-1000	(A)	20-300	(S)
9 5/8"	24.4	1000-2000	(P)	300-1000	(I)
7	17.8			1000-3000	(P)

(C) Conducción

(S) Superficial

(A) Anclaje

(I) Intermedia

(P) Producción

Con el objeto de tener en disponibilidad el volumen de vapor que requiere la operación de la central, de acuerdo con las demandas de energía, -

se sigue un programa de supervisión y mantenimiento preventivo cuyo cumplimiento prolonga la vida útil de las instalaciones y de los pozos.⁵⁵

Durante la perforación de los pozos y posteriormente en el curso de su operación, es necesario medir la presión y la temperatura en su interior, lo cual se hace utilizando equipos de registro, especialmente diseñados para tal fin. Con los datos que se obtienen se elaboran gráficamente (perfiles) de presión y temperatura con relación a su profundidad.

A la terminación de un pozo, durante la etapa de desarrollo y evaluación, se efectúan mediciones del caudal de la mezcla agua-vapor, la operación se repite haciendo variar la presión en la descarga. Se acostumbra mostrar los resultados en las curvas características de producción en donde se deduce su potencial.

Producción y usos del fluido geotérmico

Cerro Prieto está considerado como un campo geotérmico del tipo de agua dominante. Los pozos que se perforan hacen contacto con mantos o estratos saturados de agua, que muestran una presión aproximadamente igual a la de una columna hidrostática de altura similar a la profundidad del manto. Normalmente basta la columna de agua para equilibrar dicha presión, en consecuencia, con el propósito de que el pozo inicie el flujo de vapor, se requiere "aligerar" la columna, lo cual se logra mediante diferentes técnicas; a esta operación se le conoce con el nombre de inducción.

Para poder utilizar la energía contenida en la mezcla agua-vapor es

(55) IBID. Central Geotermoeléctrica de Cerro Prieto.

necesario separar ambas fases utilizando un separador centrífugo, instalado en cada pozo enviando el vapor a la Central Geotérmica mediante vapoductos, en cuyas trayectorias se han instalado válvulas de corte, trampas de agua, y separadores de humedad, localizados éstos últimos inmediatos a la central. - Mediante tuberías el agua separada se descarga a una laguna, en la cual una parte se evapora o bien, a través de un silenciador se descarga a la atmósfera. Fig. 25.

La generación de energía geotermoeléctrica en escala comercial fue iniciada por la Comisión Federal de Electricidad el 4 de abril de 1973 en la central de Cerro Prieto I, equipada originalmente con dos tubogeneradores de 37.5 MW., cada uno. A partir de esa fecha, la generación anual se ha incrementado gradualmente, obteniéndose al mes de diciembre de 1981 una generación acumulada de 5 840 millones de Kw/h., valor equivalente a cerca de once millones de barriles de petróleo, utilizados en centrales termoeléctricas.

La construcción de la segunda etapa de la planta geotermoeléctrica de Cerro Prieto, se inició a principios de 1977. Se instalaron dos unidades idénticas a las dos primeras, las cuales iniciaron su operación en abril de 1979.

Con el fin de aprovechar la energía contenida en el agua separada, la Comisión Federal de Electricidad estudio la conveniencia de utilizarla para generar energía eléctrica adicional, resultando factible técnica y económicamente esta posibilidad. Con la ingeniería mexicana, se desarrolló la tecnología necesaria correspondiente, para la instalación de una quinta unidad en la central geotérmica de Cerro Prieto I, con capacidad de 30 000 Kw., la cual es accionada con el vapor de baja presión obtenido por la evaporación instantánea en dos etapas del agua caliente que originalmente se desechaba a

ESQUEMA TÍPICO DE LA CENTRAL GEOTÉRMICA DE CERRO PRIETO.

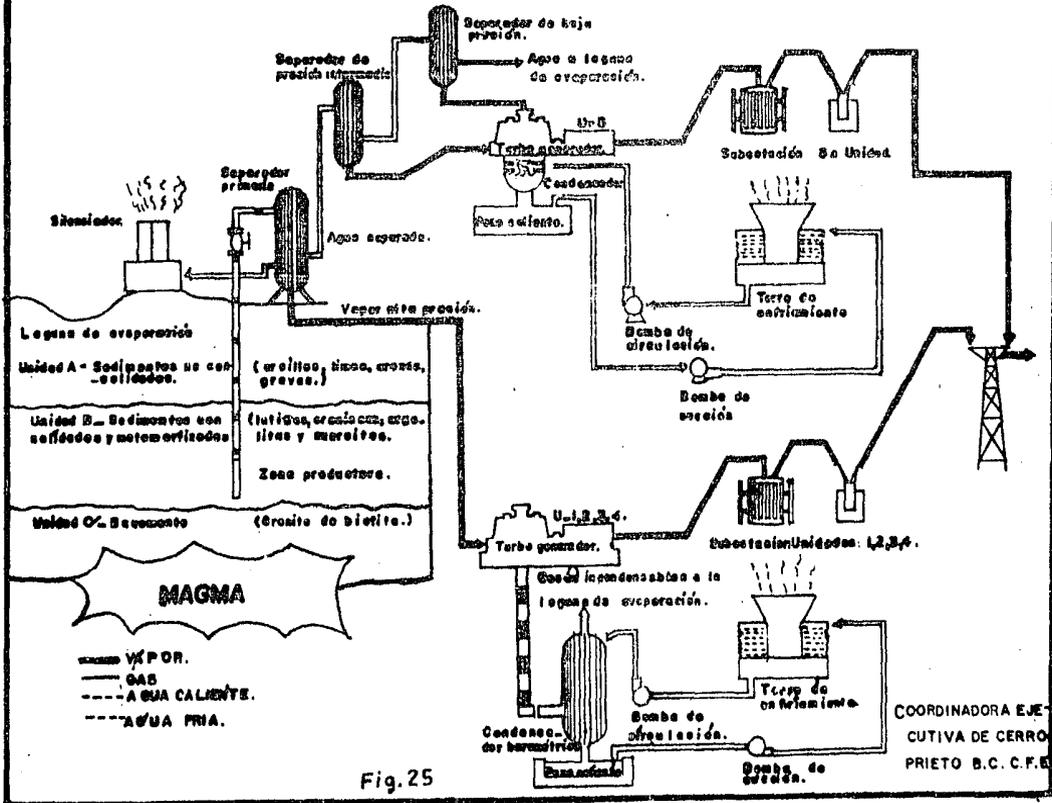


Fig. 25

COORDINADORA EJECUTIVA DE CERRO PRIETO B.C.C.F.E.

la laguna de evaporación.

Con estas cinco unidades, se genera en total una producción de 180 000-Kw., representando un ahorro de combustible de aproximadamente 2.5 millones-de barriles de petróleo anuales.

La energía eléctrica producida en Cerro Prieto es enviada al sistema - Tijuana-Mexicali, a través de una línea de transmisión de 31 Km. de longi- tud.⁵⁶ Fig. 26

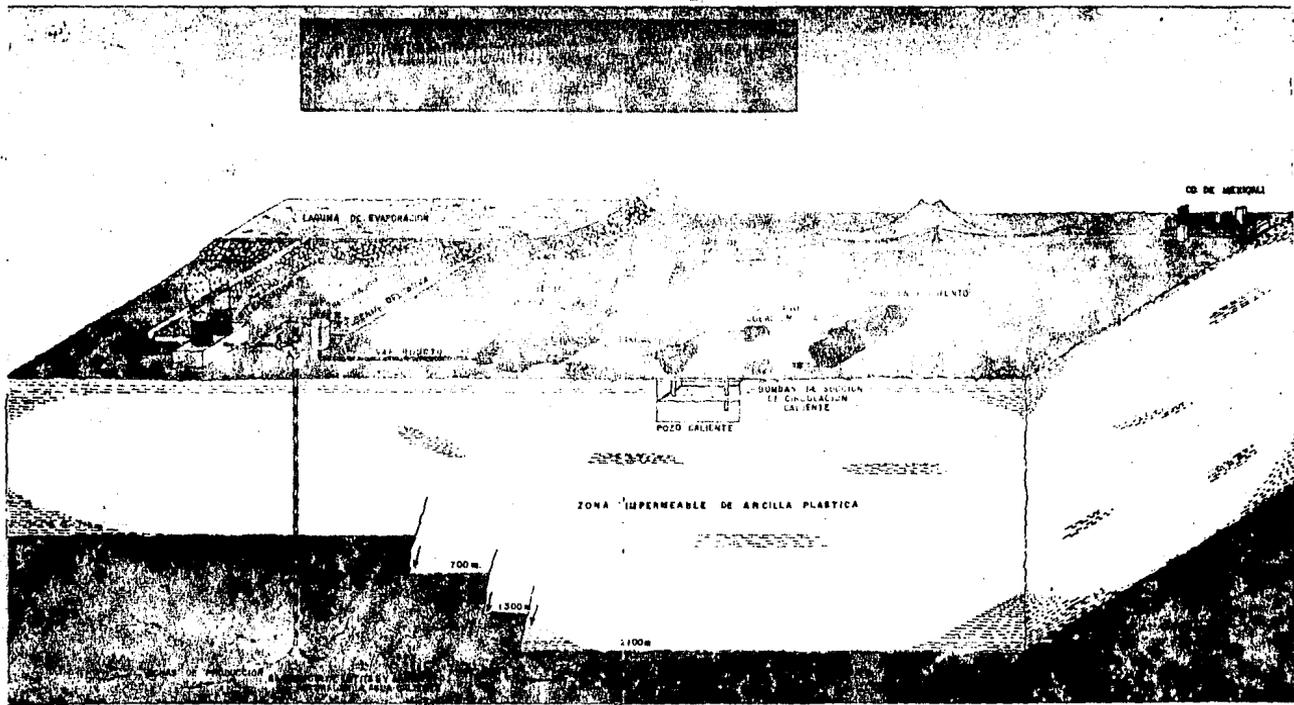
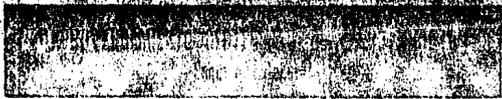
En la actualidad el aprovechamiento de la energía geotérmica del país, - se encuentra principalmente concentrada en el campo de Cerro Prieto que con- tará a finales del año de 1986, con una potencia instalada de 620 000 Kw., - distribuida de la manera siguiente:⁵⁷

POTENCIA GEOTERMIOLECTRICA INSTALADA EN CERRO PRIETO.

Cerro Prieto I:	Unidad 1	37.5 MW.
	Unidad 2	37.5 MW.
	Unidad 3	37.5 MW.
	Unidad 4	37.5 MW.
	Unidad 5	30.0 MW.
Cerro Prieto II:	Unidad 1	110.0 MW.
	Unidad 2	110.0 MW.
Cerro Prieto III:	Unidad 1	110.0 MW.
T O T A L		620.0 MW.

(56) IBID. Central Geotermoeléctrica de Cerro Prieto.

(57) Actuales Perspectivas de Desarrollo de la Geotermia en México. Alonso- E. Héctor. Ing. Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos. C.F.E. More- lla Michoacán, México.



LOS HUMEROS-LAS DERRUMBADAS, PUEBLA

Situación geográfica:

El proyecto geotérmico "Los Humeros-Las Derrumbadas" se localiza en la Cuenca de Libres-Oriental en los estados de Puebla y Veracruz. El área de estudio, comprende aproximadamente una superficie de 7 200 Km² y se encuentra delimitada por las coordenadas extremas de:

Latitudes: 19° 05' N. y	Longitudes: 97° 20' W. y
19° 44' N.	97° 45' W.

Hacia el norte se localizan los poblados de: Teziutlán, Altotonga y Zaragoza; al sur, las localidades de San Salvador el Seco y Tlachichuca; al este los poblados de Perote y Guadalupe Victoria y, hacia el oeste las poblaciones de Ixtacamastitlán y Huamantla. La mayor parte de este proyecto se ubica en el estado de Puebla.

Esta zona se encuentra bien comunicada por carreteras asfaltadas que forman una red entre los principales poblados de la región, siendo el acceso de mayor importancia la carretera federal No. 140: México-Puebla-Jalapa-Veracruz, la cual pasa por el sureste del área.

Existen además dos líneas ferroviarias que cruzan la zona: una, la de México-Perote-Jalapa-Veracruz y la otra, la de México-Apizaco-Oriental-Teziutlán. Fig. 27. La Comisión Federal de Electricidad ha construido un camino de terracería que comunica a la población de Perote con la zona de los Humeros, existiendo abundantes brechas y caminos vecinales entre las rancherías.

El promedio de altitud de la zona es de 2 500 m.s.n.m.

LOS HUMEROS, PUEBLA
LOCALIZACION DE
ZONAS DE EXPLORACION

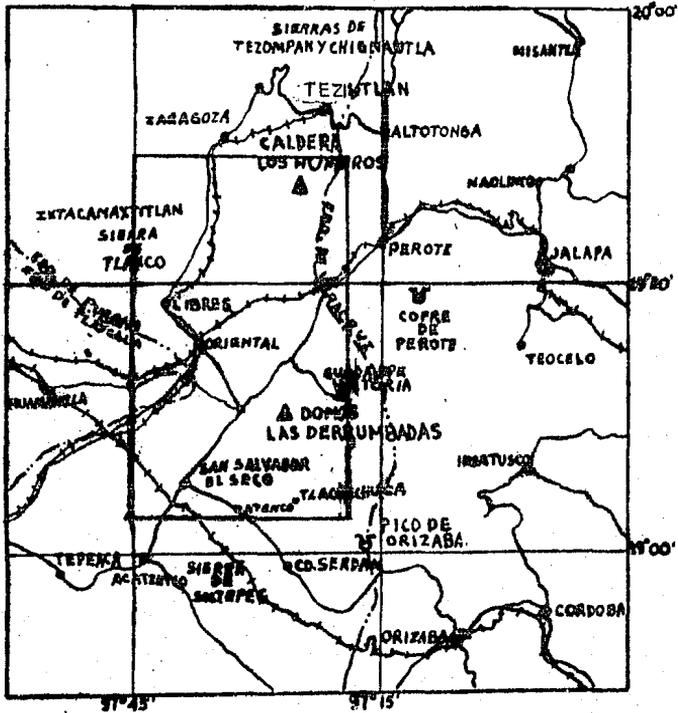


Fig. 27

- AREA ESTUDIADA
- LIMITE DE ESTADO
- ☐ PRINCIPALES VOLCANES
- ▲ MANIFESTACION TERMAL

Climas:

En base al Atlas Nacional del Medio Físico editado por el INEGI, y considerando la clasificación de W. Köppen con las modificaciones para la República Mexicana realizadas por la investigadora Enriqueta García, los climas que se tienen en la zona que se describe son los siguientes:

- $BS_1 Kw$ Semi-seco templado con lluvias en verano, precipitación invernal entre 5 y 10.2%
- $C(m)$ Templado húmedo con abundantes lluvias en el verano, precipitación invernal mayor a 5%
- $C(W_2)$ Templado sub-húmedo con lluvias en verano, precipitación invernal entre 5% y 10.2%
- $C(E)(m)$ Semi-frío húmedo con abundantes lluvias en el verano, precipitación invernal mayor a 5%
- $C(E)(w_2)$ Semi-frío sub-húmedo con lluvias en el verano, precipitación invernal entre 5% y 10.2%
- $C(w_1)(w)$ Templado sub-húmedo con lluvias en verano, precipitación invernal menor de 5%.
- $C(E)(w_1)(w)$ Semi-frío sub-húmedo con lluvias en verano, precipitación invernal menor de 5%

Se debe señalar que la distribución de estos climas se observan de norte a sur.

Respecto a la temperatura media anual se tiene una máxima de 21°C y una mínima de 14°C.

La precipitación anual varía en los diferentes lugares de la región, ubicándose esa variación entre los 500 mm. y 1 000 mm.

Hidrología:

La precipitación que predomina durante el verano propicia la formación de numerosas corrientes superficiales a manera de arroyos que, al desplazarse a las partes bajas producen en el terreno una intensa erosión por abrasión, arranque hidráulico y disolución de los materiales rocosos. Estas corrientes al llegar a las pequeñas planicies forman una serie de cuerpos de agua o depósitos lacustres que en época de sequía manifiestan una fuerte evaporación. Algunos ejemplos de esos cuerpos de agua son: La laguna de San Luis Atexcac, Laguna de Alchichica, Laguna la Preciosa, etc.

También se presentan afloramientos de agua caliente en forma de manantiales. El agua superficial al infiltrarse se une de manera constante con el agua subterránea que al ser calentada por fluidos geotérmicos, se manifiestan en la superficie en forma de focos hidrotermales.

Relieve:

La zona geotérmica de la caldera de los Humeros y los Domos de las Derumbadas pertenece a la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico y específicamente, a la sub-provincia Lagos y Volcanes de Anáhuac. El sistema de topoformas corresponde a lomeríos asociados con planicies sin fase de aluvión antiguo.⁵⁸

El estudio a detalle de la caldera de los Humeros comprende una superficie aproximada de 230 Km.², estando limitada al norte por el cerro de los Oyameles y el cerro de San Antonio, al sur por los cerros Pizarro y

las Aguilas; al este por los derrames basálticos de la formación San Antonio y al oeste por la sierra de Tlaxco.

La región de los Domos de las Derrumbadas tiene como límites: al norte, el cerro Pinto y la población de San Luis Atexcac; al sur, el poblado de Tepetitlán, al este la población de Guadalupe Victoria y al oeste la población de Portes Gil⁵⁹. Fig. 28

Edafología:

La carta de suelos editada por el Instituto Nacional de Estadística, - Geografía e Informática indica para esa región la existencia de los siguientes tipos de suelos:

- Th+To+Re/2 Andosol húmico y órtico; además Regosol eútrico de textura media.
- Tm+To+Re/2 Andosol mólico y órtico; además Regosol eútrico de Textura media.
- To+Bc/2 Andosol órtico y Cambisol crómico de textura media.
- Tm+Hh+L/2 Andosol mólico, Feozem háplico y Litosol de textura media.

Como se puede observar, hay predominio del suelo tipo Andosol.

El suelo Regosol se localiza en porciones del sur, oeste y suroeste; el suelo Cambisol en pequeñas áreas del suroeste y el Litosol al sur y suroeste. Además en pequeñas porciones del centro-oeste se encuentra el tipo de suelo llamado Solonchak.

Flora:

La vegetación característica de esta zona geotérmica está representada-

(59) Proyecto Geotérmico Los Humeros-Las Derrumbadas: Informe Geofísico y Geológico. Residencia de Perforación Los Humeros, Pue. C.F.E. 1981.

MAPA DE LOCALIZACION LAS DERRUMBADAS

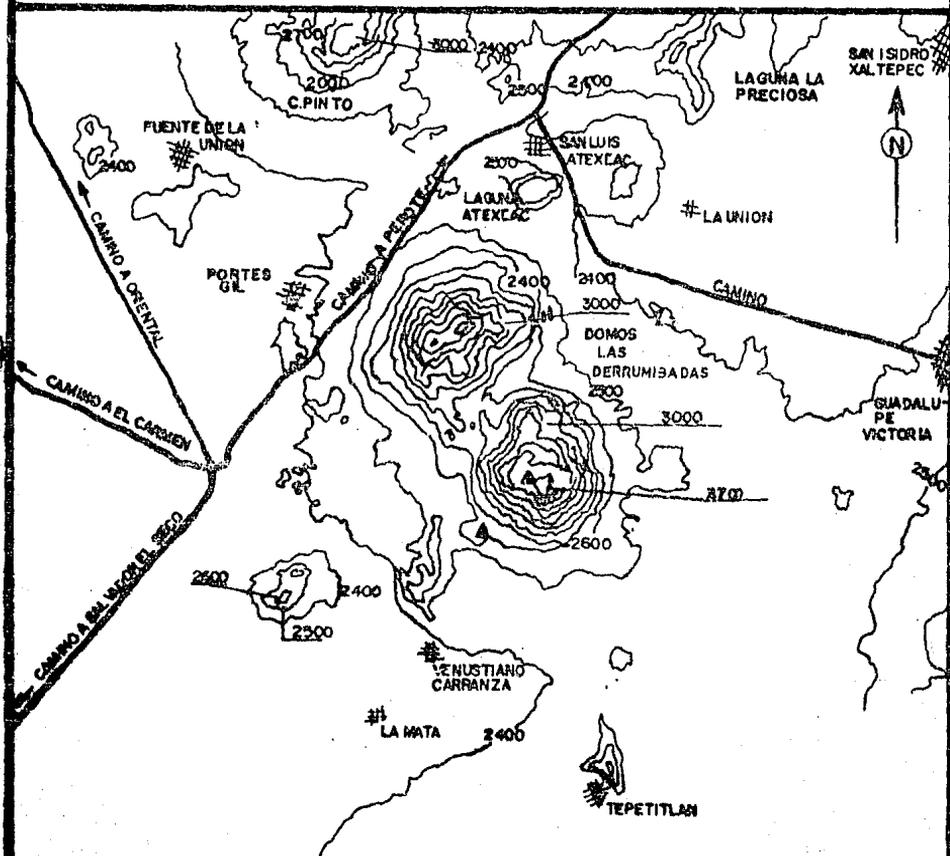


Fig. 28

CURVA DE NIVEL ~~~~~ 2400

CARRETERA ———→

MANIFESTACION TERMAL ▲

POBLADO # # # #



RESIDENCIA DE PERFORACION LOS HUMEROS-DERRUMBADAS, FUE. C.F.E.

por bosques de pinos, abetos y encinos, pastizal inducido y matorral con izotes (yucas).

Fauna:

Está constituida por diversos roedores tales como liebres, conejos, rata de campo, ardillas, tejones, armadillos, tlacuaches; ciertas clases de aves, algunos reptiles e insectos. La fauna doméstica predominante es de caprinos y ovinos, aunque también se observa la presencia de ganado equino.

MÉTODOS DE EXPLORACION EN EL CAMPO GEOTERMICO DE LOS HUMEROS-LAS DERRUMBADAS, PUEBLA.

Tectónica y geología:

La zona geotérmica de los Humeros se encuentra localizada en las estribaciones del Eje Neovolcánico en intersección con la Sierra Madre Oriental, situación que le da un interés característico desde un punto de vista geológico. Esta zona representa un sistema cuaternario activo, exclusivo para la realización de exploraciones geotérmicas.

El sistema estructural y local de la zona es el característico del Eje Neovolcánico, el cual presenta el sistema de fracturas más antiguas noroeste-sureste, que en el área se interceptan con el sistema noreste-suroeste y norte-sur, provocando en los planos de intersección los sitios de emisión de los fluidos geotérmicos. Fig. 29. El área descrita se encuentra flanqueada por aparatos volcánicos miopliocénicos tales como el volcán Pico de Orizaba, el Cofre de Perote y la Malinche, contemporáneos a los primeros eventos ígneos de los Humeros que confirman las posibilidades del alto abastecimiento-

ígneo y calorífico del subsuelo. Fig. 30. Tectónicamente, la región de los-Humeros se ubica en una estructura geológica pliocuaternaria denominada "caldera de colapso", la cual ha tenido dentro del diámetro original dos eventos más de la misma naturaleza, que han provocado en ella un incipiente fracturamiento y prometedora estructura del almacenamiento de fluidos calientes en su interior.

El sistema ígneo de la caldera está representado por rocas pliocuaternarias tales como andesitas, andesitas basálticas, basaltos y riolitas. Superficialmente en el área afloran exclusivamente rocas volcánicas, entre las cuales se observan basaltos, andesitas micro-cristalinas y porfídicas, riolitas fluidales y esferulíticas, así como rocas piroclásticas consideradas como tobas e ignimbritas. Fuera de la caldera se pueden observar las secuencias sedimentarias, cuerpos ígneos y estructuras de proceso metamórfico.

Al norte de la caldera aflora una intrusión granítica del paleozoico - con fases más recientes de reactivación, que se interna hacia el sur profundizándose bajo los Humeros, conformándose posiblemente en el basamento cristalino y fuente de calor que abastece a la caldera.

Los estudios de los materiales rocosos a profundidad, están reflejando la presencia de un cuerpo ignimbritico que funciona como horizonte índice y es un fiel reflejo de los primeros procesos de explosión antecesores a la fase del segundo colapso dentro de la caldera. Estos estudios profundos han definido cuando menos una zona de la superficie de colapso entre la caldera principal y el segundo hundimiento, presentando en base a ello dos zonas productoras posibles:

a) Dentro del área del segundo colapso, la zona de producción se encuentra

CROQUIS GEOMORFOLOGICO DE LA CUENCA DE LIBRES - ORIENTAL

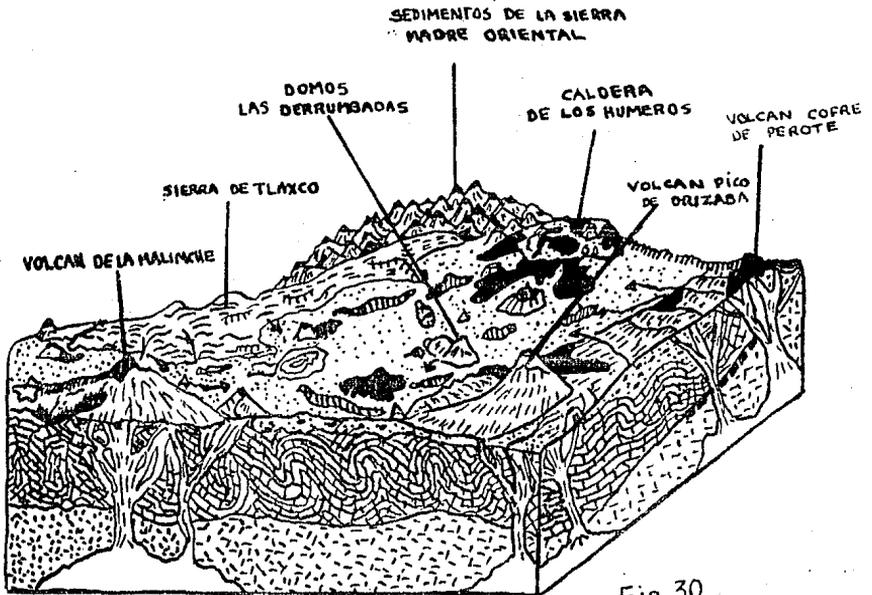


Fig. 30

- SEDIMENTOS LACUSTRES Y ALUVION
- ARENISCAS Y LUTITAS
- CALIZAS
- LECHOS ROJOS
- BASAMENTO (GRANITO Y ESQUISTOS)
- AFLORAMIENTOS LAVICOS

RESIDENCIA DE PERFORACION LOS HUMEROS, PEROTE, VER, C.F.E

en una andesita propilitizada.

- b) Dentro de la zona del primer colapso, se encuentra el área probable de producción en una caliza calco-arcillosa, correspondiente al cretácico inferior y al jurásico superior.⁶⁰

La morfología que presenta la caldera de los Humeros y su interior, refleja la serie de eventos ígneos y tectónicos que se han efectuado a través del tiempo en este aparato volcánico.

En la superficie se pueden observar los rasgos y las evidencias de un primer colapso que posee un diámetro aproximado de 20 km., denominado como Caldera de Buenavista; este evento se cree se originó a principios del pleistoceno.

Posteriormente se llevó a cabo en base a la serie de fracturamientos provocados por el primer colapso diferencial, el segundo colapso, que tuvo lugar en las inmediaciones del poblado de los Humeros, dejando como rasgo morfológico un sistema continuo de fracturamiento en forma de arco que se sitúa al este del poblado antes mencionado; hacia el norte y noreste se observan estos rasgos pero a menor escala; al sur no es visible este arqueamiento, posiblemente por la presencia de una serie de derrames muy recientes o bien, por el efecto de un sistema de fracturamientos que trunca al sur y sureste la posible caldera. Cabe una tercera posibilidad de acuerdo a esta ausencia de rasgos y es que, probablemente en este sitio se haya originado la zona de pivoteo de la estructura. El cierre de estos procesos se llevó a cabo cuando se produjo el colapso de la calderita Xalapasco, estructura de forma ovalada localizada hacia el extremo sur de la caldera, observándose perfectamen

(60) Condiciones Geotérmicas de la Caldera Cuaternaria de Los Humeros. Rivera Mendoza Oscar. C.F.E. México.

te delineada.⁶¹

En conclusión, geológicamente el área se encuentra limitada al norte - por una estructura dómica denominada Macizo de Teziutlán, constituida por - esquistos y rocas graníticas desarrolladas desde el pérmico al jurásico, que forman el basamento regional. Cubriendo en forma discordante ese macizo apa-
recen las rocas clásticas del triásico-jurásico, las cuales están cubiertas por una secuencia marina. Estas rocas mesozoicas experimentaron plegamien-
tos a principios del terciario y, las estructuras plegadas fueron semierosi-
nadas antes de que las rocas volcánicas posteriores las cubrieran. La prime-
ra acumulación de rocas volcánicas se efectuó hace aproximadamente 11 millo-
nes de años y está constituida por derrames de andesita, que se encuentran -
parcialmente cubiertos por los derrames provenientes de los volcanes Cofre -
de Perote y Pico de Orizaba.

El siguiente evento magmático fue de tipo explosivo con producción de -
gran cantidad de ignimbritas que concluyó con derrames y domos asociados de -
composición ácida. Esta actividad vació parcialmente la cámara magmática y -
provocó el desplome de la estructura originándose de esta manera la caldera -
por hundimiento. Después de ese hundimiento, se sucedieron una serie de de-
rroles de andesita basáltica y, posteriormente continuó la actividad volcáni-
ca con la emisión de grandes cantidades de pómez que cubrió en forma conside-
rable a la región.

La fase final de actividad volcánica del área, se manifiesta con la pro-
ducción de una serie de derrames de composición basáltica que muestran una -

(61) Op. cit. Proyecto Geotérmico Los Humeros-Las Derrumbadas. Informe -
Geofísico y Geológico.

estrecha relación con el origen de las calderas de explosión o maares que es tán distribuidas en toda esa zona.

En relación a la parte de los Domos de las Derrumbadas, el principal rasgo geológico es la presencia de los domos de composición rio-dacítica que presentan grandes deslaves por la acción del intemperismo y del fracturamiento, por lo cual reciben el nombre de Las Derrumbadas. El resultado de la erosión sobre estos domos ha dado lugar a una serie de lahares en los que se han identificado fases de depositación.

Existen diversas evidencias de vulcanismo en la zona, como en el caso del volcán La Chancía localizado al norte de los domos, que se han cartografiado geologicamente como escoria basáltica del cuaternario. También se pre se nta un derrame rio-dacítico en la porción norte de dichas estructuras, el cual representa una actividad más reciente ya que aparece cubriendo a los la hares. Las manifestaciones hidrotermales en el domo oriental y, en el lugar denominado la Ventana constituyen un lugar interesante para la existencia de un yacimiento geotérmico.

En la porción norte de los domos y al sur de San Luis Atexcac, se en cuentra una caldera de explosión donde afloran calizas de las formaciones Agua Nueva y Mendez, de edad cretácica; otros dos afloramientos de calizas se localizan al sur de los domos en las sierras La Ventana y Tlachichuca, co rrespondiendo aquellos a la formación Guzmantla del cretácico

Una estructura relevante dentro del área está constituida por una intru sión sien tífica del terciario, cuyos afloramientos se localizan en la porción norte de los domos y en la base del Cerro Pinto. La intrusión de este cuerpo dejó una aureola de metamorfismo en las rocas sedimentarias que se encuen

tran circundando a los domos. Evidencias claras de este fenómeno han sido-- observadas al oeste del área cerca del poblado de Portes Gil.⁶²

Geofísica:

Con el fin de apoyar los estudios geológicos para determinar estructuras profundas en la zona que ocupa el proyecto geotérmico de los Humeros-Las Derrumbadas, se utilizaron entre los diversos métodos geofísicos, los siguientes:⁶³

- Método de Resistividad: En términos generales consiste en aplicar la corriente eléctrica al subsuelo, para determinar la resistencia de las rocas a la electricidad y obtener una descripción cuantitativa del mismo. Mediante los registros obtenidos se trazan las llamadas curvas de campo y, posteriormente se elabora un perfil de isorresistividad el cual se indica en ohms por metro.
- Método de Geotermometría: Está basado en la realización de perforaciones pequeñas de menos de cinco metros de profundidad y verificación de temperaturas, para configurar la zona de mayor interés térmico.
- Método Sísmico: Se utiliza para definir cuerpos en el subsuelo y consiste fundamentalmente en provocar pequeñas vibraciones mediante una plancha que golpea en el terreno, la cual se encuentra montada en un camión. Los registros se detectan por medio de los aparatos llamados geófonos que permiten la elaboración de gráficas para determinar la morfología del subsue

(62) IBID. Proyecto Geotérmico Los Humeros.- Las Derrumbadas.

(63) IBID. Proyecto Geotérmico Los Humeros - Las Derrumbadas.

10.

- Método de Gravimetría: Fundamentalmente consiste en detectar la distribución de masas rocosas según su densidad; se aplica cuando la estructura geológica local está relacionada con formaciones volcánicas o aluviones superficiales.
- Método de Magnetometría: Se utiliza para definir y mostrar las anomalías clásicas relativas a los diversos tipos de rocas. Las anomalías dependen de la susceptibilidad magnética, así como la inclinación del campo magnético terrestre del área. Este método se complementa con estudios aeromagnéticos y de satélites artificiales.

El objetivo principal de las técnicas de prospección geofísica, junto con la Geología, Geoquímica y Geohidrología en la exploración geotérmica, es el de construir el modelo geotérmico del área que idealmente está constituido por:

- a) Capa sello
- b) Yacimiento
- c) Base impermeable
- d) Fuente de Calor
- e) Zona de recarga

En resumen, los métodos geofísicos tratan de delimitar los distintos componentes del modelo geotérmico en base a los contrastes que pudieran presentar algunas de las propiedades físicas de éstos, como son la resistividad eléctrica, la susceptibilidad magnética, la densidad o la conductibilidad térmica.

Geoquímica:

Los primeros estudios geoquímicos realizados en esta región tuvieron como objetivo fundamental tratar de conocer la geoquímica de los gases que se desprenden de los focos termales en forma de fumarolas.⁶⁴ Los gases muestreados se analizaron usando el método químico de absorción. Los resultados se tomaron como indicadores para realizar cálculos con el fin de conocer el comportamiento físico-químico de cada uno, pudiendo obtener mediante estimaciones la temperatura de fondo correspondiente a cada uno de los lugares muestreados y, así definir zonas geotérmicas atractivas posibles. En el siguiente cuadro se indican los principales componentes químicos en el agua del yacimiento, en el agua separada y en el vapor separado a presión atmosférica en partes por millón (ppm)

COMPONENTES QUIMICOS		YACIMIENTO	AGUA SEPARADA	VAPOR SEPARADO
Na	Sodio	150.0	250.0	0.0
K	Potasio	25.0	41.0	0.0
Ca	Calcio	2.4	4.0	0.0
Cl	Cloro	45.0	75.0	8.0
SiO ₂	Sílice	393.6	657.0	4.0
S.T.D.	Sólidos Totales Disueltos	222.4	370.0	12.0
H ₂ S	Acido Sulhídrico	-----	-----	225.0
CO ₂	Bióxido de Carbono	-----	-----	530.0
NH ₄	Amonio	-----	-----	62.0

Los Humeros, Pue.: Folleto de divulgación. C.F.E.

(64) Exploración Geotérmica de Los Humeros-Derrumbadas. Molina Berbeyser Rafael Ing. Departamento de Geotermia C.F.E. México.

Las técnicas aplicadas son similares a las de otros campos, como por ejemplo: recolección de muestras, análisis químico de fluidos hidrotermales y su interpretación geoquímica en el marco de las zonas de manifestación hidrotermal, la evolución de las temperaturas de fondo del yacimiento geotérmico, etc., todos estos procedimientos son de una enorme utilidad para el conocimiento de las condiciones existentes en el subsuelo, así como su interpretación, que nos ayuda a definir el tipo de reservorio, ya sea de vapor dominante o de agua supercaliente.⁶⁵

En conclusión, la Geotermoquímica representa un enorme apoyo tanto en la exploración como en la explotación de los campos geotérmicos, resultando además uno de los métodos de investigación más económicos.

Perforación:

La Residencia de perforación de los Humeros tiene a su cargo el proyecto geotérmico del campo "Los Humeros", en el cual se realizaron exploraciones de estudios geológicos, geofísicos y geoquímicos para determinar la posibilidad de la existencia de yacimientos geotérmicos y poder definir las zonas más atractivas. En base a dichas exploraciones se ha comprobado que las zonas factibles para la obtención de vapor endógeno se localizan principalmente en estructuras ígneas recientes, por lo que es recomendable enfocar la mayor parte de los estudios a zonas de tales características.

La región manifiesta en el subsuelo cuando menos dos áreas productivas; una, en rocas ígneas y otra, en rocas sedimentarias. Esta última con una elevada factibilidad por lo cual se ha recomendado la localización de algu--

(65) Interpretación Geoquímica de los Fluidos obtenidos en el Campo Geotérmico de los Humeros, Pue. López Mendiola Juan Manuel. C.F.E. México.

nos pozos sobre este tipo de formaciones y relacionarlos a sistemas de fracturamiento cercano para asegurar su permeabilidad.

Dentro de la estructura de colapso que abarca el área de los Humeros, - se han perforado tres pozos exploratorios profundos, en base a los cuales se ha observado a buena escala, el reflejo del comportamiento en el subsuelo de las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas como posibles yacimientos de vapor, teniendo la evidencia de dichos pozos como productores. Estos resultados están confirmando la presencia del vasto potencial geotérmico existente en campos ya explorados a lo largo y ancho del Eje Neovolcánico, definidos - como zonas productoras en rocas ígneas; sin embargo, las posibilidades de diversificación y mayor expansión de esta fuente de energía, se están incrementando con la presencia de las rocas sedimentarias como posibles yacimientos de vapor.

Es interesante hacer mención que dos de los pozos exploratorios están - referidos a un sistema estructural de fallas reciente oeste-sur, que intercepta con otras noroeste-sureste y noreste-suroeste mas antiguas. Es recomendable entonces que las nuevas localizaciones se realicen en base a estas zonas de intersección que hasta ahora han demostrado alto grado de factibilidad en lo que a conducción de fluidos geotérmicos se refiere.

Las columnas litológicas de los pozos perforados en este campo presentan una gran similitud siendo los materiales rocosos predominantes desde la superficie a profundidades mayores de mil metros los siguientes:

Pómez de composición félsica, andesita basáltica, ignimbrita félsica y andesita basáltica del terciario.

A lo largo de las columnas de los pozos perforados y desde escasas decenas

nas de metros de la superficie, se ha manifestado en forma constante la presencia de minerales de alteración como son: óxidos, carbonatos, clorita, minerales arcillosos, epidota, cuarzo, pirita, etc.⁶⁶

Población e impacto ambiental:

La población característica de esta región es indomestiza, la cual se encuentra dispersa en pequeños poblados y rancherías. A la zona de los Humeros corresponden las localidades de Oyameles, Buenavista, Francisco I. Madero, Xaltipanapa, Tepeyahualco, San José Alchichica, Frijol Colorado, Orilla del Monte y por supuesto el pueblo de los Humeros.

En el área de los Domos de las Derrumbadas se ubican los poblados de Tepetitlán, Venustiano Carranza, La Mata, Portes Gil, San Luis Atextac, La Unión y Guadalupe Victoria.

Las principales actividades que realiza la población son: la explotación del bosque, agricultura de temporal, algo de fruticultura, actividad pecuaria incipiente y comercio regional o local.

Considerando las necesidades de energéticos que existen en México y específicamente en la región de la cual se ha descrito, se recomienda que al contar con un mínimo de pozos productores, se instale en seguida una planta o grupo de plantas de la capacidad requerida para iniciar la generación de energía necesaria para solventar la demanda existente que se requiere en todo proceso productivo.

(66) Op. cit. Condiciones Geotérmicas de la Caldera Cuaternaria de los Humeros.

LA PRIMAVERA, JALISCO

Situación geográfica:

El campo geotérmico de la Primavera pertenece a la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico teniendo por coordenadas geográficas extremas las siguientes:

Latitudes:	20° 38' N. y	Longitudes:	103° 28' W y
	20° 43' N.		103° 35' W.

Esta zona se encuentra comunicada por la carretera federal número 70 - Guadalajara-Ameca. En el km. 15 existe una desviación hacia el sur que, mediante un camino de terracería de 7 Km., conduce a la región de las manifestaciones hidrotermales. Fig. 31.

Climas:

Según el Atlas Nacional del Medio Físico, editado por la Secretaría de Programación y Presupuesto y, considerando la clasificación de W. Köppen con modificaciones para la República Mexicana por la investigadora Enriqueta García⁶⁷, indica que el clima predominante es:

C(w₁) (w) Templado subhúmedo con lluvias en verano y menos de un 5% de precipitación en invierno.

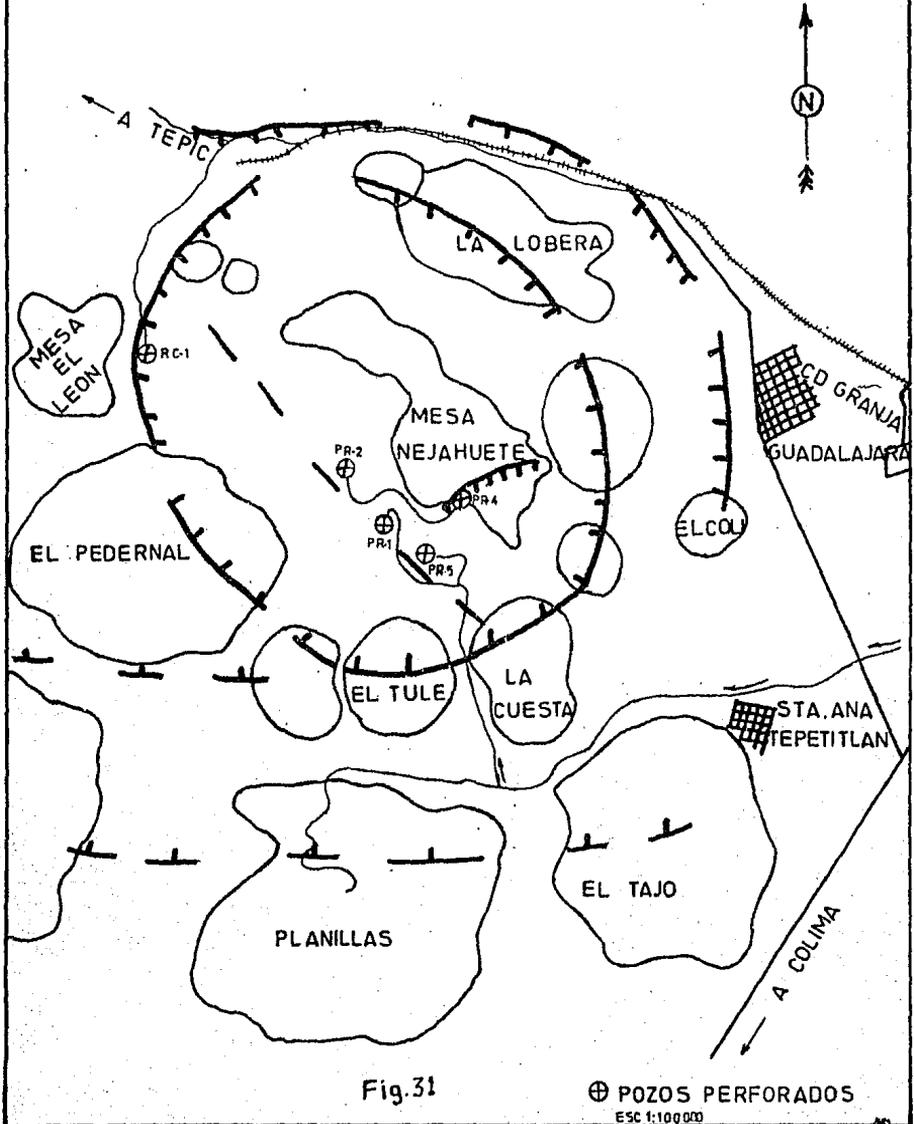
La temperatura media anual oscila entre 14° C y 19° C.

En relación a la precipitación anual se presenta una media de 920 mm.

(67) Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de W. Köppen. García Enriqueta. Invest. Dr(c) Indianapolis 30, México, 1981.

PLANO DE LOCALIZACION
CAMPO GEOTERMICO LA PRIMAVERA JALISCO

RESIDENCIA DE PERFORACION: GUADALAJARA,



Hidrología:

Está representada por pequeños arroyos o corrientes superficiales que en su mayoría son de origen pluvial que al desplazarse hacia las partes bajas, originan un intenso proceso erosivo, principalmente por abrasión. Las principales corrientes son: Arroyo Nuevo, Río Caliente, Arroyo Verde, Agua Brava, Río Salado, y otros. Además se cuenta con la presencia de numerosos focos hidrotermales que en conjunto constituyen una zona importante de balnearios de interés medicinal y recreativo. Fig. 32.

Las aguas superficiales de esta área, se mezclan en forma constante con aguas subterráneas las cuales son calentadas por fluidos geotérmicos de alta temperatura.

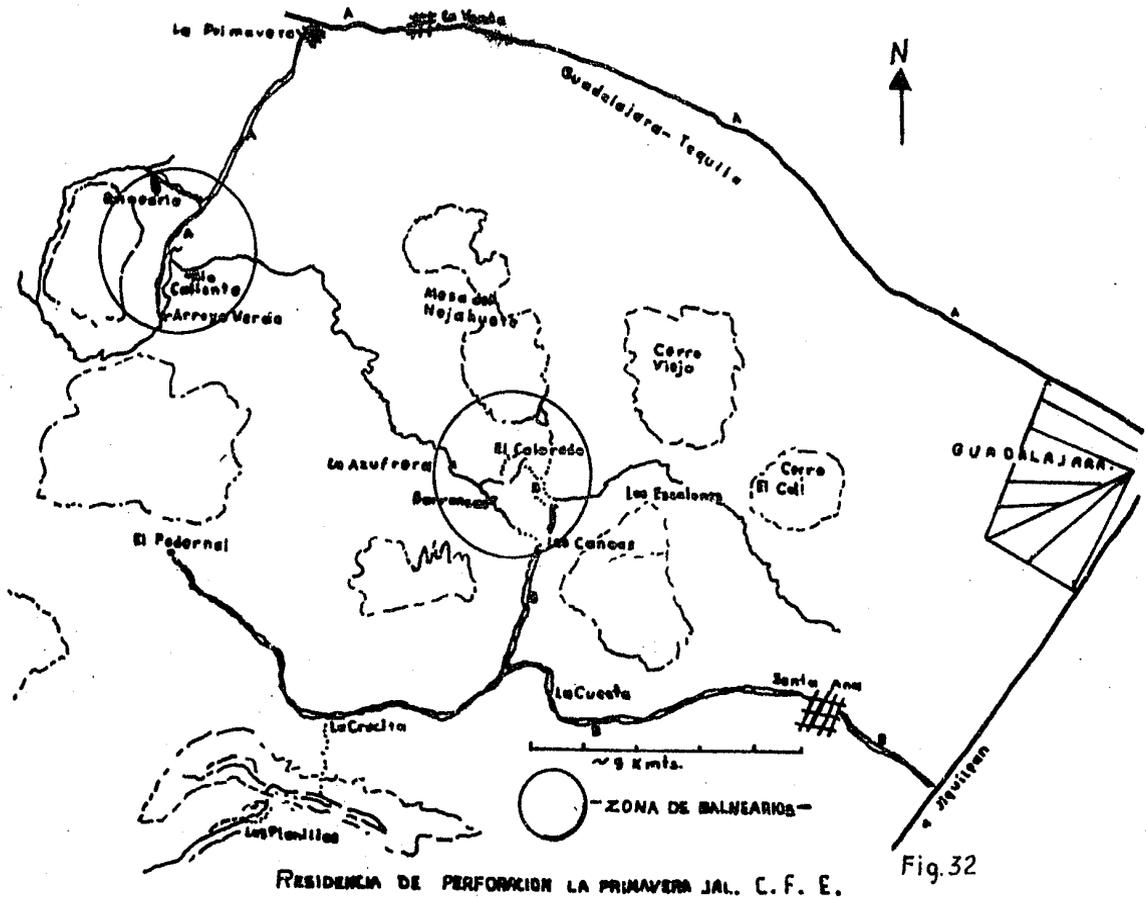
Relieve:

Como ya se indicó, este campo geotérmico corresponde a la provincia geológica del Eje Neovolcánico y, específicamente a la sub-provincia Guadalajara presentando un sistema de toposformas de sierra volcánica y de ladera tendida.⁶⁸ La eminencia mayor de esta sierra corresponde a la Mesa de Nejahuate, cuya altitud es de 2 050 m.s.n.m. la cual está rodeada por las siguientes elevaciones:

- Al norte: Cerro alto y Mesa la Lobera.
- Al este: Cerro del Chapulín y el Cerro Coli.
- Al sur-sureste: La mesa Tapona
- Al oeste-suroeste: Cerro del Pedernal.

(68) IBID. Atlas Nacional del Medio Físico.

ZONA GEOTERMICA LA PRIMAVERA JALISCO.



RESIDENCIA DE PERFORACION LA PRIMAVERA JAL. C. F. E.

Fig.32

Al noroeste: Cerro del Chato.

Edafología:

En base a la información proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), la carta de suelos correspondiente a esta zona de estudio, nos indica los siguientes tipos:

- Hh+Re/2: Feozem háptico + Regosol eútrico de textura media.
 Hh/2: Feozem háptico de textura media.
 Re/1: Regosol eútrico de textura gruesa.
 Re+Hh/1: Regosol eútrico + Feozem háptico de textura gruesa.
 Re+Be+To: Regosol eútrico + Cambisol eútrico + Andosol ócrico.

Flora:

Los suelos antes enunciados sustentan una vegetación en donde predomina el bosque natural de encino latifoliado, bosque de coníferas (predominio de pinos), pastizal inducido y matorral. En las partes bajas o depresiones de la zona se practica la agricultura de temporal a base de gramíneas y leguminosas.

Fauna:

La fauna silvestre está representada por numerosos roedores constituida por: conejos, ardillas, liebres, rata de campo; además diversas clases de aves y ciertos herbívoros como el venado. También existe fauna doméstica de pequeños rebaños de ovinos y caprinos, además se fomenta la cría de equinos.

METODOS DE EXPLORACION EN EL CAMPO GEOTERMICO DE LA PRIMAVERA, JALISCO.

Tectónica y geología:

La zona de la Primavera, Jal., cubre una área aproximada de un poco más de 5 000 Km.² siendo una región sumamente interesante desde el punto de vista geotérmico, la cual está asociada a un proceso vulcanológico muy reciente de tipo ácido.⁶⁹ La presencia de un gran número de emanaciones de origen volcánico tales como fumarolas y manantiales de agua caliente, localizados al oeste de la ciudad de Guadalajara, motivó a los investigadores y técnicos de la Comisión Federal de Electricidad a realizar una serie de estudios preliminares de exploración geológica, geofísica y geoquímica, con la finalidad de determinar las posibilidades geotérmicas de la sierra de La Primavera.

Dentro del marco geológico regional, esta sierra se localiza en la intersección de la Sierra Madre Occidental y el Eje Neovolcánico en la parte suroeste del país.

El análisis vulcanológico y geocronológico de la región, muestra que la sierra es una estructura en forma de caldera, la cual está constituida por una serie de domos dispuestos en forma semicircular, que rodea a una zona de colapso dando lugar a una cuenca de sedimentación. Fig. 33.

La caldera es una estructura formada por rocas de composición riolítica, ubicada en el cruce de tres sistemas de fracturas regionales, las cuales se reflejan con cierta dificultad en los domos y en los sedimentos lacustres.⁷⁰

- (69) La Exploración Geotérmica en México. González Salazar Arturo Ing. Departamento de Geotermia. C.F.E.
- (70) Estudio Geológico de la caldera de La Primavera, Jal. Veriegas Salgado Saúl. III Reunión de Geotecnia y Geotermia. Vol. III. México.



Fig. 33: Domo riolítica zona la Primavera (foto Cia. Mexicana Aerofoto)
Ejemplo de "dome coulé". En la base del domo se observan tabas. La neotectónica provocó modificaciones en el material arenoso proveniente de la erosión de los riolitas.

PRINCIPALES FALLAS Y FRACTURAS DEL
CAMPO GEOTERMICO LA PRIMAVERA, JAL.

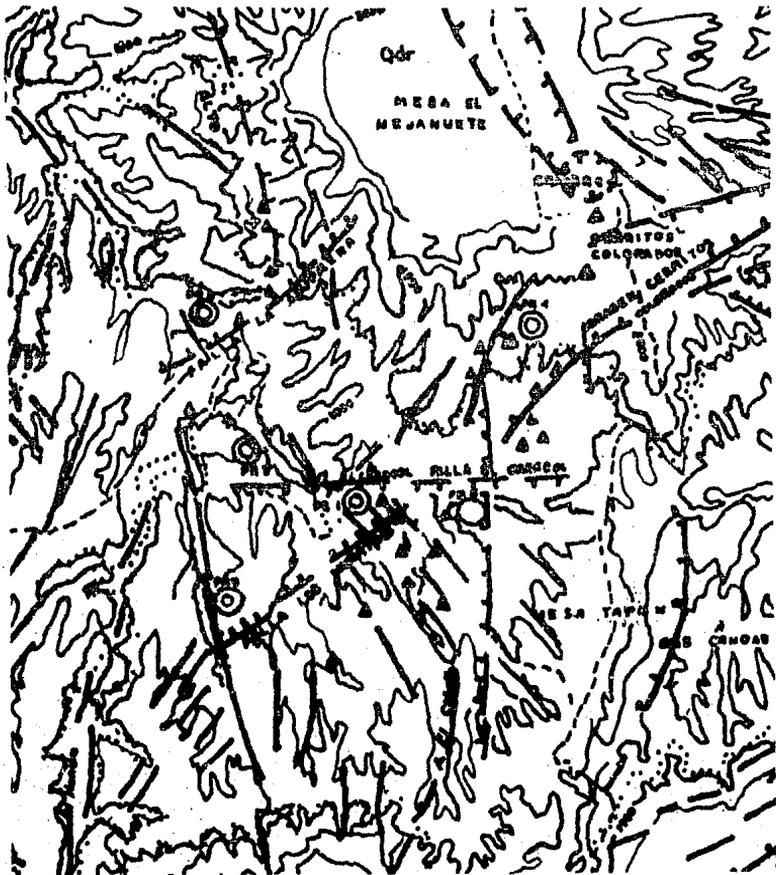


Fig-33a

- | | | | |
|---|-------------------------|---|---|
|  | FRACTURAS |  | POZOS |
|  | FALLAS NORMALES |  | Qdr: DOMO RIOLITICO |
|  | MANANTIALES Y FUMAROLAS | | Residencia de perforación: La Primavera, Jal. |

El desarrollo del vulcanismo permite señalar que el área de la caldera-- de la Primavera, puede considerarse con enormes posibilidades geotérmicas y-- que por el desplazamiento de la actividad volcánica riolítica hacia el sur-- oeste, esas posibilidades podrían detectarse en la misma dirección y ser qui-- zás más superficiales por la menor profundidad de la cámara magnética.

Relacionado el vulcanismo con la reactivación de los sistemas de fallas y fracturas predominantes, se encuentran las manifestaciones termales de: - Cerritos Colorados, Las Barrancas, La Azufrera, Agua Brava, Rio Caliente, - Arroyo Verde y la Primavera.⁷¹ Figs. 34-35.

Geofísica:

Referente a los estudios geofísicos que se han realizado en el área que se describe, mencionaremos los de resistividad, magnetometría, gravimetría - entre otros, los cuales complementados con la Geología estructural han permiti-- do localizar una serie de puntos para realizar perforaciones profundas, - con el fin de cuantificar la importancia geotérmica de la zona.

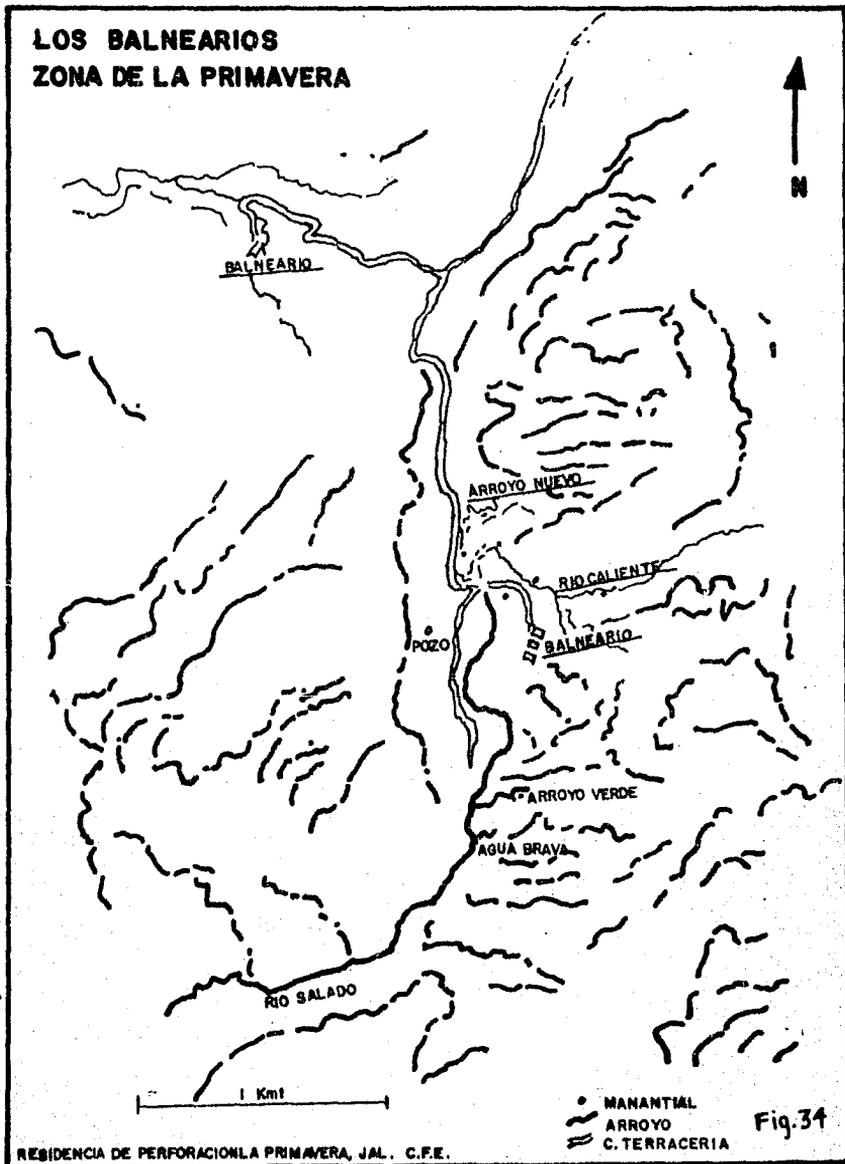
Geoquímica:

Los estudios geoquímicos realizados en la región han sido a base de téc-- nicas de recolección de muestras, análisis químico de los fluidos hidroterma-- les y de algunas técnicas de interpretación geoquímica. Fig. 36.

En relación a la recolección de muestras, la parte inicial consiste en-- localizar diversos puntos de muestreo recolectando muestras de agua, gases,-

(71) Campo Geotérmico La Primavera, Jal., Residencia de Perforación La Pri-- mavera. C.F.E.

LOS BALNEARIOS ZONA DE LA PRIMAVERA



RESIDENCIA DE PERFORACION LA PRIMAVERA, JAL. C.F.E.

○ MANANTIAL
— ARROYO
- - - C. TERRACERIA

Fig. 34

EL COLORADO ZONA DE LA PRIMAVERA

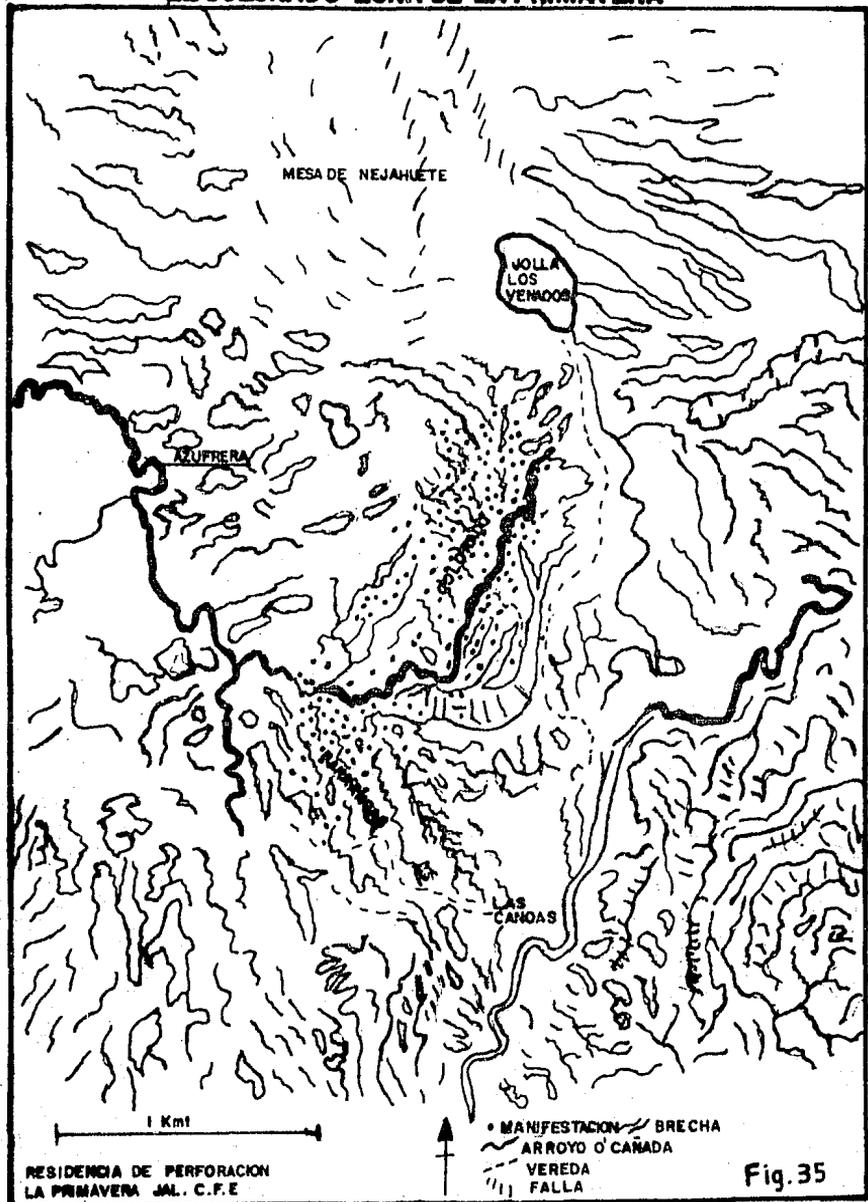


Fig. 35

GEQUINICA PRELIMINAR DEL AREA GEOTERMICA DE LA PRIMAVERA JAL.

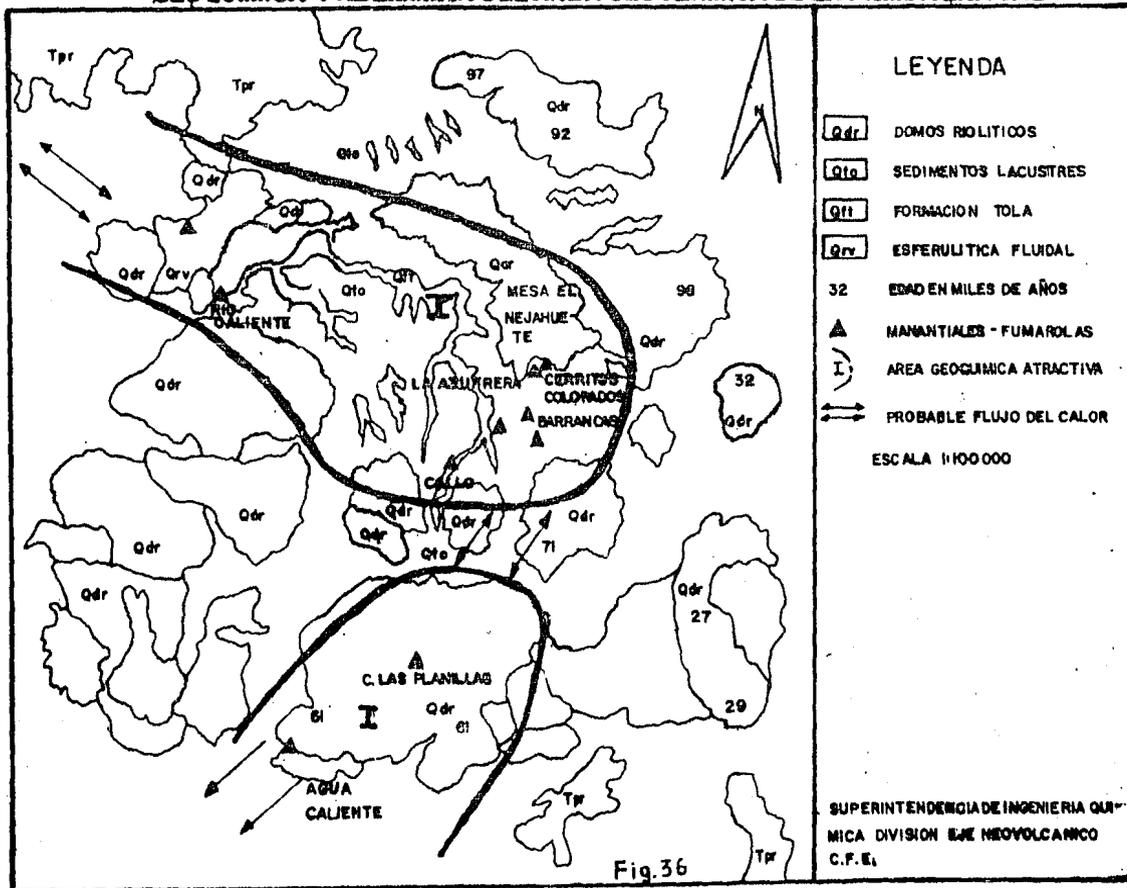


Fig.36

condensados de los manantiales, escapes de vapor que tengan las características de alto flujo de agua y temperatura elevada (mayor de 65°C.).

Para que estas muestras sean representativas de la zona geotérmica se recolectan usando un sistema a base de sifón.

Respecto al análisis químico de los fluidos hidrotermales, esta fase se divide en dos partes:

- a) Determinaciones de campo.
- b) Determinaciones de laboratorio químico.

En la primera, se determinan temperatura y el pH.

En la segunda parte se obtienen datos de: pH, acidez, alcalinidad, dureza total, concentraciones de calcio, magnesio, sodio, potasio, litio, sílice, amonio, hierro, cloruros, sulfatos, nitratos, bicarbonatos e hidróxidos.

En relación al muestreo de gases al efectuar el análisis se determinan: ácido sulfhídrico, anhídrido sulfuroso, bióxido y monóxido de carbono, oxígeno metano, hidrógeno, nitrógeno; además gases inertes.

Finalmente, la técnica de interpretación geoquímica relacionada con las manifestaciones hidrotermales, aporta datos para llegar al análisis geoquímico de comportamiento geotérmico, de cada uno de los elementos químicos que se encuentran en solución.⁷²

El uso de métodos e instrumentos de interpretación en la geoquímica de aguas, gases y condensados de origen geotérmico es muy amplio y diverso. Ci

(72) Exploración Geotermoquímica preliminar de la Primavera, Jalisco. Ing. Sergio Mercado. Residencia de Perforación, la Primavera, Jal. C.F.E.

taremos algunos: Geotermometría, flamometría, volumetría, colorimetría, potenciometría e instrumentos como geotermómetros, potenciómetros, aparatos de absorción atómica, cromatógrafo, fumarómetro, bibósfera (esfera muestradora), etc.

Del análisis químico referente al agua del área de los balnearios y, específicamente de los manantiales de Río Caliente y Arroyo Verde, se obtuvo la siguiente determinación:

DETERMINACION		RIO CALIENTE	ARROYO VERDE
Sodio	Na	275.0 ppm.	250.0 ppm.
Potasio	K	13.0	12.0
Litio	Li	1.5	1.5
Calcio	Ca	3.5	4.8
Magnesio	Mg	1.0	No detectado
Cloruros	Cl	124.0	106.0
Fluoruros	F	15.0	14.0
Sulfatos	SO ₄	24.0	30.0
Sílice	SiO ₂	200.0	183.0
Boratos	B	19.0	12.0
Bicarbonatos	HCO ₃	161.0	164.0
pH		8.0	7.4
Temperatura en grados C.		66.5	68.0

ppm: partes por millón

según: Ing. Sergio Mercado.

En el muestreo de gases obtenidos por medio del aparato llamado bibósfera, se han determinado principalmente: bióxido de carbono, sulfuros, gases

residuales e impurezas como el boro.

Como análisis típicos de las fumarolas localizadas en las zonas de El Colorado y las Barrancas se tienen las siguientes determinaciones:

DETERMINACIONES		EL COLORADO	LAS BARRANCAS
Bióxido de Carbono	CO ₂	140 000 ppm.	50 000 ppm.
Sulfuros	S	84.0	4.0
Boro	B	9.0	2.0
Gases residuales		25.0	2.0
pH del condensado		5.2	5.6

ppm. partes por millón

según: Ing. Sergio Mercado.

A los condensados obtenidos de las fumarolas, se les han determinados los mismos elementos y compuestos que a las muestras de manantial, tales como: metano, hidrógeno, cloro, dióxido de azufre, trióxido de azufre, monóxido de azufre, sulfuro de hidrógeno, bióxido de carbono, argón, etc.; componentes que se encuentran en manifestaciones de origen volcánico. Esta determinación se realiza mediante el uso de un equipo de alta precisión, específicamente con el Cromatógrafo de gases.

Perforación:

El objetivo de la perforación de pozos es la reconstrucción de las características de las formaciones perforadas, así como intentar la correlación geológica, geoquímica y geohidrológica.

Los pozos exploratorios en el caso de la Primavera, Jal., se localizaron con respecto a la posición de fallas y fracturas principales para su interpretación a profundidad, considerando que éstas son los conductos del flu

jo geotérmico, al cual están asociados diversos escapes de vapor y manantiales de agua caliente. Es evidente que estos fenómenos geológicos están íntimamente relacionados con zonas de debilidad en las cuales existe alteración hidrotermal. La localización de pozos se efectuó en los sitios en donde las anomalías geofísicas se consideraron relacionadas con la termalidad de las rocas en el subsuelo. Estos estudios se complementaron con análisis geoquímicos que permitieron la evaluación de las temperaturas del yacimiento geotérmico, basados en la proporción de contenido de algunos componentes químicos como el sodio, potasio, calcio, sílice y algunos gases.

Durante el proceso de la perforación de pozos exploratorios, se determinó una secuencia lito-estratigráfica con el propósito de comprobar la litología del área de estudio. En la extracción, se obtienen dos tipos de muestras:

- Muestras de canal y
- Muestras de núcleo.

De las primeras se efectuaron una serie de estudios petrográficos obtenidos cada dos metros de perforación, mediante un microscopio binocular para determinar las características litológicas, mineralógicas y el grado de alteración de las rocas.

Debido a la actividad tectónica, volcánica y a procesos de sedimentación, la columna litológica en forma general del campo geotérmico de la Primavera, presenta la siguiente depositación de los materiales, del más reciente al más antiguo:

Aluvión.

Suelos residuales.

Toba depositada por la acción del viento

Riolita vítrea

Riolita fluidal

Domos riolíticos

Sedimentos lacustres

Toba tala

Riolita fluidal esferulítica

Andesita basáltica

Andesita microlítica.

Superficialmente, las rocas predominantes en la zona de la Primavera son sedimentos lacustres, formados por la presencia de un pequeño lago que se originó debido a un colapso. Sin embargo, existen afloramientos de la roca llamada "Jal" (piedra pómez).

Toda esta zona de interés geotérmico se encuentra en etapa de exploración con el propósito de definir completamente las características generales del campo para llevar a cabo su explotación.

En la fase de perforación, se han realizado instalaciones de cinco pozos exploratorios (PR-1, PR-2, RR-3, PR-4, y PR-5), entre los cuales destaca el PR-1 que tiene actualmente una profundidad de 751 m., y una temperatura media de fondo de 250°C. La columna litológica de este pozo se manifiesta como sigue:

PROFUNDIDAD EN METROS	LITOLOGIA
0-44	Sedimentos lacustres
44-430	Toba tala (ignimbritas)
430-490	Ignimbrita vítrea.

490-634	toba lítica
634-690	Andesita microcristalina
690-751	Toba lítica alterada.

PR. Pozo la Primavera.

Respecto al PR-5, se perforó hasta una profundidad de 1215 m., registrándose temperaturas mayores de 300°C. Actualmente está en producción.

El PR-4 se encuentra en la actualidad sellado ya que se presentaron problemas debido a un acentuado fracturamiento.⁷³

Es conveniente mencionar que, en un extremo del campo geotérmico en el área llamada Río Caliente se llevó a cabo una perforación de apoyo geológico, lográndose una profundidad de 1990 m., con la finalidad de encontrar una prolongación del campo en esa zona, pero no se obtuvieron resultados favorables.

Producción y uso del fluido geotérmico en la Primavera, Jalisco:

Debido a la escasa permeabilidad de las rocas, los volúmenes de mezcla vapor-agua que se obtienen son reducidos, lo mismo acontece con la entalpía la cual es baja, por lo que se considera que dichos volúmenes no podrán ser utilizados en turbo-generadores normales, habiéndose estructurado un proyecto a futuro que contempla su utilización en equipos de ciclo binario, como el que actualmente se tiene en el campo geotérmico de los Azufres Michoacán.

(73) Op cit. Campo Geotérmico La Primavera, Jal.

Población e impacto ambiental:

Por las características topográficas, la zona de la Primavera tiene escasa población, la cual se encuentra distribuida en pequeñas localidades y rancherías tales como: Santa Ana Tepetitlán, La Primavera, La Venta, las Canoas, Los Balnearios, Las Planillas, Río Caliente, Arroyo Nuevo, etc.

Sin embargo, el crecimiento urbano de la ciudad de Guadalajara se ha manifestado en las proximidades de esta área, principalmente a través del asentamiento llamado Ciudad Granjas.

Como la tenencia de la tierra predominante es de tipo ejidal, La Comisión Federal de Electricidad tuvo que efectuar indemnizaciones a los campesinos las cuales se realizaron sin mayores problemas.

La población rural tiene como actividades principales la explotación de los bosques, el pastoreo, incipiente ganadería, agricultura temporalera y en ciertas épocas del año el turismo hacia la región de los balnearios.

En base a las observaciones efectuadas en el área descrita se puede afirmar que las actividades realizadas por la C.F.E. en ese campo, han ocasionado un cierto impacto ambiental. Para el trazado y construcción de vías de acceso, así como para instalar los equipos de perforación, hubo la necesidad de talar amplias zonas boscosas, afectándose también la vegetación de pastizales y matorrales. Por otra parte, los fluidos geotérmicos han afectado a la flora circundante, notándose principalmente en la corteza de los árboles y en el pasto.

CONTAMINACION E IMPACTO AMBIENTAL

Contaminación:

La energía geotérmica llamada por algunos especialistas como la "Energía limpia", presenta ciertos problemas de contaminación un tanto diferentes a los ocasionados por el uso de combustibles fósiles o nucleares, razón por la cual se le ha dado ese nombre, sin embargo, en la práctica si no se puede disponer adecuadamente de los desechos, se provoca contaminación de cierta gravedad que puede ser el factor limitante en la generación de energía. Los sistemas geotérmicos actualmente en explotación en el mundo son los denominados de predominio de agua y de predominio de vapor. En los primeros, la disposición de los desechos es más complicada, debido a que se tienen como contaminantes principales salmueras y gases de desecho, en los segundos se tienen como contaminantes solo gases.

En el siguiente cuadro se exponen los principales contaminantes de los sistemas geotérmicos.

CONTAMINANTES	DE PREDOMINIO DE AGUA	DE PREDOMINIO DE VAPOR
1) Elevado gasto de agua con elevado contenido de sales	Na, K, Ca, Li, Cl, SO ₄ HCO ₃ , SiO ₂ , B, As, Hg, etc.	No presenta
2) Bajo gasto de agua con bajo contenido de sales.	Hg, As, B.	Hg, As, B.
3) Gases (fluido elevado)	CO ₂ , H ₂ S, NH ₄	CO ₂ , H ₂ S, NH ₄
4) Ruido	Se presenta	Se presenta
5) Calor	Se presenta	Se presenta
6) Alteraciones en la superficie del terreno	Se presenta	Se presenta

De los contaminantes que se indican, los que causan mayor problema, son los marcados con 1 y 3, que se refieren a elevados gastos de salmuera y gases.

Respecto al 2 y al 4 que se refieren al agua con bajo contenido en sales y el ruido, son los de fácil control. En relación al calor disipado (5), no se le ha dado importancia; y a las alteraciones del terreno (6) como los asentamientos que se presentan principalmente en sistemas con predominio de agua, aunque representan ciertos riesgos para las instalaciones, no han ocasionado problemas graves.

En los sistemas geotérmicos las causas principales de la contaminación son: el agua, el vapor, y la mezcla de ambos.

El sistema geotérmico que presenta mayor grado de contaminación, es el del agua por su mayor contenido en sales, el de vapor es de menor contaminación, pero es muy notable por los gases tóxicos.

Entre los aspectos adversos que pudiesen ocasionarse por el vertimiento de las aguas residuales geotérmicas, se pueden citar los siguientes:

- Alteración de las condiciones naturales en el ecosistema hidrológico regional.
- Disminución de la calidad del agua.
- Cambios ecológicos en la flora y fauna regionales.
- Alteraciones en los recursos edafológicos.
- Peligros a la salud pública.

El agua residual geotérmica tiene amplios efectos hidrológicos al actuar sobre las corrientes superficiales o sobre los acuíferos subterráneos.

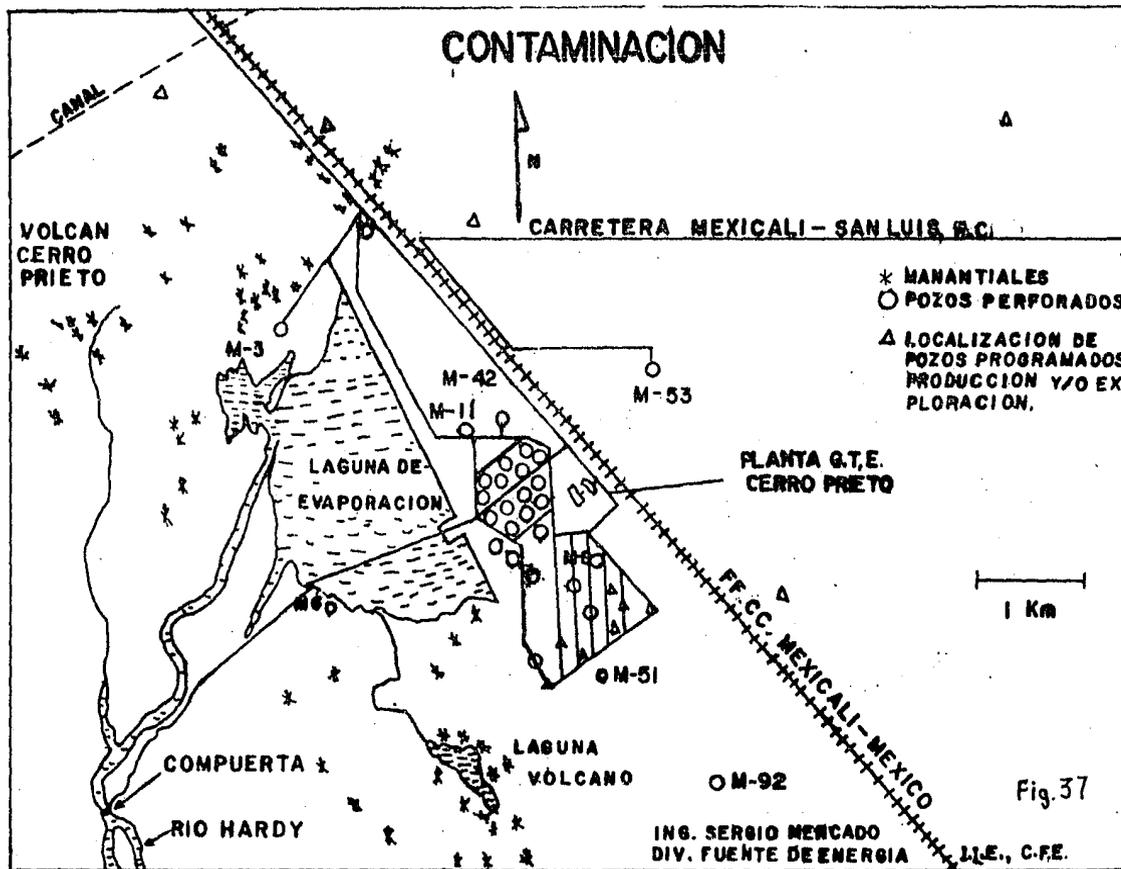
Cuando se vierte dicho fluido a cuerpos de agua receptores superficiales, - los contamina de manera directa, también cuando se dispone a lagunas de evaporación y de sedimentación pueden afectarse los acuíferos no confinados, - por ejemplo las aguas freáticas que son las más superficiales y, otros acuíferos que se utilizan con fines de abastecimiento municipal. Fig. 37. Este proceso de contaminación se realiza por filtración, y aún cuando es atenuado por degradación, dispersión y transferencia de masa puede tener importantes efectos.

La magnitud de la contaminación del recurso hidráulico será en función de la concentración de sales que se introduzcan a las corrientes superficiales; de ahí que la contaminación asociada a los sistemas de agua caliente dominante, es mayor que aquella asociada a sistemas de vapor dominante.

Se ha determinado que el boro y el arsénico son los elementos químicos más nocivos para el equilibrio ecológico de las zonas geotérmicas. El boro se encuentra principalmente en forma de H_3BO_3 (ácido bórico), siendo muy tóxico en los vegetales, debido a que este elemento se acumula en sus raíces y troncos, resultando letal su efecto. En los animales, la ingestión de agua con boro en dosis bajas puede causar problemas digestivos y acidificación de la sangre, suspendiéndose dicho efecto si se cambia el tipo de agua.

En el hombre difícilmente se pueden presentar problemas por ingestión de agua con boro, ya que para causar la muerte en un ser humano de 80 Kg. de peso, se tendrían que ingerir 1350 litros de agua que contuviesen 400 mg/lt. de boro.

Respecto al arsénico, se le considera un contaminante muy tóxico en seres humanos y animales; se ha demostrado que la ingestión de 100 mg. de arsénico



nico, producen efectos crónicos, además consecuencias que pudieran ser letales por la acumulación. Se dice también que el arsénico tiene propiedades carcinógenas, las cuales no se han podido comprobar. El agua potable no debe contener más de 1 mg/lt. de arsénico, aunque el límite letal para cualquier organismo es de 10 mg/lt., siendo su principal efecto el de acumulación en ellos.

En los sistemas geotérmicos con predominio de vapor, los gases que se disipan a la atmósfera, representan los principales contaminantes, tales como CO_2 , NH_4 y H_2S , siendo el más importante este último, el cual es dispersado a gran altura cuando su contenido es bajo, o mediante conversión a azufre o sulfatos cuando su contenido es elevado, o bien cuando las normas sobre contaminación ambiental son muy estrictas.⁷⁴

En relación a la contaminación del medio ambiente circundante, es decir, principalmente a los terrenos de cultivo y cuerpos de agua, debido a la presencia de salmueras, se puede afirmar que sus efectos son mínimos ya que por lo general en las áreas geotérmicas estas sales se depositan en lagunas de evaporación, se reinyectan, o se envían al mar.

"Contaminación en el campo de Cerro Prieto B.C. provocado por los desechos geotérmicos".

En el campo geotérmico de Cerro Prieto B.C. en donde existe actualmente en operación una planta de generación de 180 MW, se explota un sistema geotérmico con predominio de agua. Los contaminantes principales que se han de

(74) Los Agentes Contaminantes por Fluidos Geotérmicos y sus Efectos en el Medio Ecológico. Templos M. Luis Antonio Ing. Residencia de Perforación La Primavera Jal. Cd. Granjas, Guadalajara, Jal.

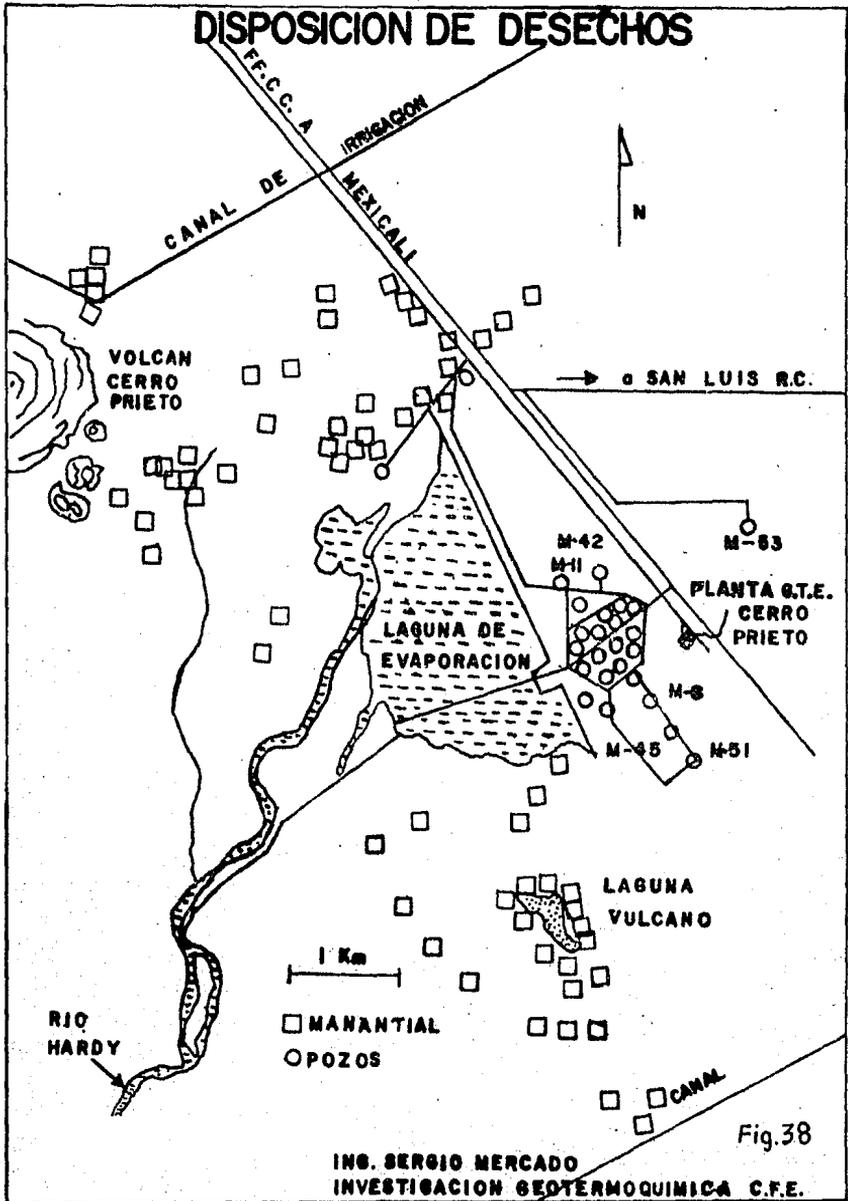
tectado son;

- a) En agua separada caliente con elevado contenido en sales; Na, K, Li, Ca, Cl, B, CO_3 , HCO_3 , SiO_2 , As, F, NH_4 , que representa el 70% del fluido geotérmico extraído en los pozos de producción.
- b) En el vapor separado utilizado en la planta de generación, un elevado porcentaje en gases presentes.

Disposición del agua separada. Actualmente estas aguas se desechan enviándolas directamente de los pozos a una laguna de evaporación mediante un sistema de tuberías. Debido a la elevada evaporación que se tiene en el área y a la baja precipitación pluvial, se alcanzan concentraciones salinas muy elevadas en el proceso de evaporación solar, siendo necesario efectuar descargas controladas al Río Hardy, con el fin de mantener un grado de salinidad bajo en la laguna de evaporación. Fig. 38. Estas descargas al no ser controladas estrictamente, contaminan el agua de dicho río, el cual contiene principalmente aguas del drenaje del distrito de riego del Valle de Mexicali, que aunque no se utilizan para irrigación influyen en ciertos tipos de flora y fauna, especialmente en los esteros cercanos a la laguna salada.

Otro problema de contaminación, es el referente al desbordamiento de la laguna de evaporación afectando las tierras circundantes, las cuales en algunos puntos se encuentran a una cota inferior a la del nivel máximo de la laguna. Fig. 39.

La contaminación por mercurio (Hg) en Cerro Prieto es baja, la cual se encuentra en los gases no condensables, descargándose a la atmósfera a través del sistema de eyectores de la planta. La mayor parte de este mercurio volátil está en forma de vapores de mercurio elemental, teniéndose también -



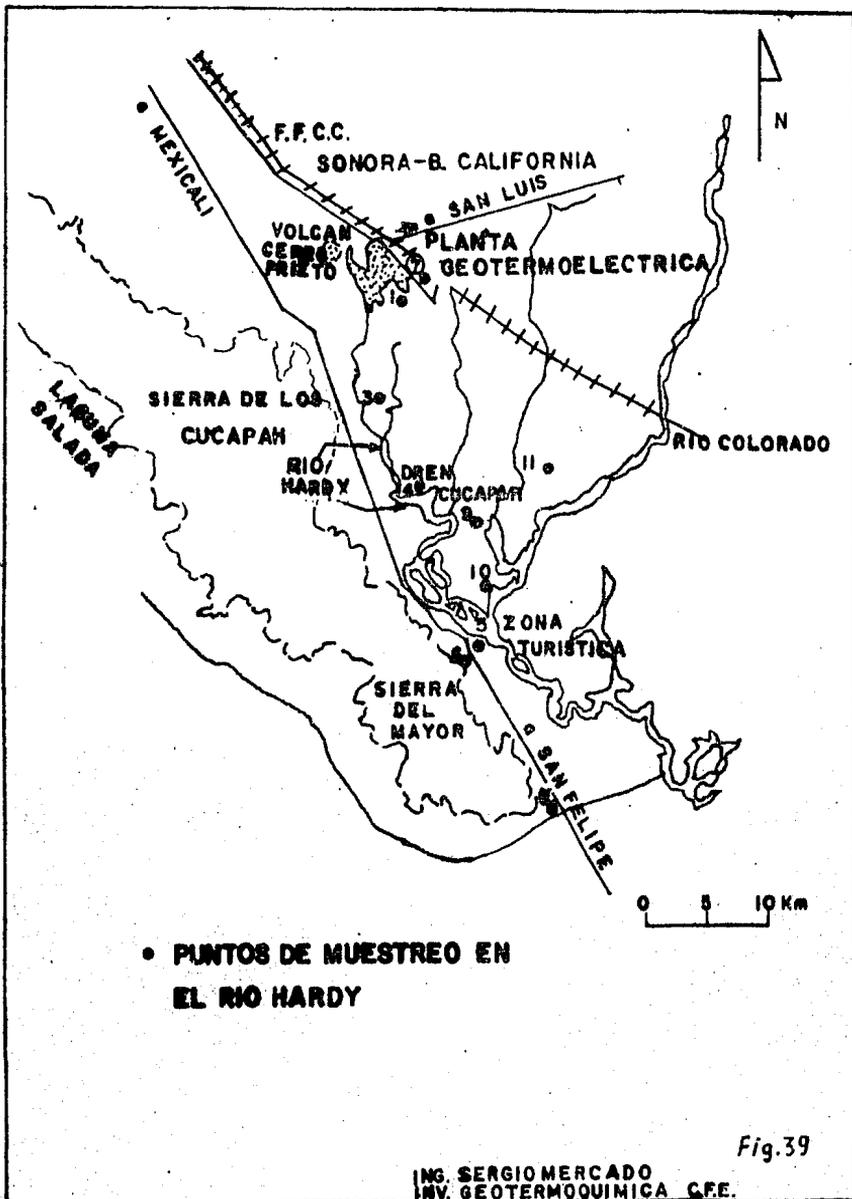


Fig.39

vapores de cloruro de mercurio, cloruro metil-mercurio y dimetil-mercurio.

Al contrario del mercurio, el arsénico se encuentra casi totalmente en la fase líquida del fluido geotérmico, por lo tanto, se encuentra disuelto en el agua separada que se envía a la laguna de evaporación.

"Disposición actual del H_2S en Cerro Prieto B.C."

En el campo geotérmico de Cerro Prieto se tiene un elevado porcentaje de gases en el vapor separado, siendo los principales el CO_2 , H_2S y NH_4 .

En el diseño original de la planta se tenía la descarga de gases a 20 m. de altura, pero debido a que se observó fuerte contaminación en el área fue necesario elevar la descarga a 40 m., con lo cual se disminuyó considerablemente el contenido de H_2S . Los vientos dominantes en el área soplan normalmente de noroeste-sureste los cuales dispersan el gas descargado a la atmósfera a través de las chimeneas, sin embargo debido a la mayor densidad del H_2S con respecto al aire, tiende a asentarse y desafortunadamente se tienen en la zona horas y días sin viento, lo cual produce contaminación en la planta y zonas aledañas. Este gas es fácilmente detectable por su olor característico semejante al de los huevos podridos, que en elevadas concentraciones es muy peligroso y de alta toxicidad, atacando principalmente al sistema nervioso. En bajas concentraciones actúa como gas irritante.

Para evitar la concentración de este gas en el área geotérmica de Cerro Prieto, se realizaron estudios para convertir a azufre el ácido sulfhídrico-descargado a través de las chimeneas; el proceso químico estudiado para dicha conversión es el de "oxidación directa" siendo algunas de las reacciones de este proceso las siguientes:



En general, para una planta de oxidación directa, la mezcla de gas con el H_2S y el oxígeno del aire son precalentados y alimentados a un reactor catalítico, donde se hace la conversión del H_2S pasando la mezcla a un condensador en donde se separa el azufre.⁷⁵

Las soluciones al problema de la contaminación por desechos geotérmicos que se han aplicado en el campo de Cerro Prieto, se pueden sintetizar en lo siguiente:

Respecto a la salmuera se incluye la aplicación en mayor o menor escala de las siguientes alternativas: una parte del agua separada se procesa para obtener sales, otra parte se reinyecta, otra se envía a la laguna salada, y otra última en proyecto se enviaría al Mar de Cortés.

Los beneficios que en la actualidad se han obtenido al explotar las sales disueltas en la salmuera, son la extracción de productos químicos tales como cloruro de potasio (KCl) que tiene una enorme importancia como fertilizante y del que nuestro país hacía grandes importaciones; así también la obtención de cloruro de litio, dióxido de silicio, etc.

En relación a la alternativa de la reinyección, tiene la ventaja de recargar el acuífero que se esté explotando, y si se considera la reinyección en caliente, no solo se recarga el acuífero sino que se incrementa la efi-

(75) La Contaminación en el Campo de Cerro Prieto B.C. provocada por los desechos geotérmicos. Mercado Sergio Ing. Investigaciones Geotermoquímicas, C.F.E.

ciencia de explotación, alargándose la vida del reservorio o yacimiento.

En la Laguna Salada se cuenta con una área muy extensa de importante uso potencial, ya que representa un enorme almacenamiento de salmuera, que permitiría paulatinamente la construcción de pequeñas lagunas apropiadas para evaporación solar y extracción de sales, teniendo capacidad dicho lugar para almacenar, evaporar, y procesar varias veces más la cantidad de la salmuera que se desecha actualmente, lo cual redituaría beneficios económicos muy importantes al país.

"Contaminación en el campo de Los Azufres Mich., provocada por los desechos geotérmicos"

En el año de 1975, se iniciaron en la región de Los Azufres, Mich., los trabajos de exploración geotérmica, posteriormente se empezaron a perforar pozos cuyo objetivo fundamental ha sido la explotación del vapor endógeno el cual servirá para mover grandes turbinas. Debido a la falta de tecnología adecuada para el tratamiento y disposición de las aguas geotérmicas, éstas se descargaban en las corrientes superficiales produciendo una alteración en el ambiente, debido entre otras cosas a los altos contenidos de elementos tóxicos y salinos.

Por lo general, como consecuencia de este tipo de infraestructura, el medio ambiente se modifica o altera, por lo cual la Comisión Federal de Electricidad ha tomado medidas encaminadas a la atenuación del impacto ambiental causado. La primera de estas medidas se ha enfocado a disminuir la concentración de elementos tóxicos contenidos en las aguas geotérmicas, tales como el boro, arsénico y sílice, mediante el tratamiento a base de cal hidratada (lechada), resultando este procedimiento parcialmente satisfactorio para el-

arsénico y el sllíce.

Para tener un mejor conocimiento de la calidad del agua de las corrientes superficiales, también se ha establecido un programa de monitoreo mensual de la red hidrográfica del campo geotérmico y de la región de influencia, llevando a cabo muestreos en ríos, torrentes, lagunas, asociaciones vegetales y suelos.

Además, la Comisión Federal de Electricidad ha aplicado otras técnicas de disposición de las aguas residuales geotérmicas, como es el proceso de reinyección mediante la construcción de pozos inyectores, tratando así de evitar la descarga superficial. Y también se construyó a partir de 1981 la presa Laguna Verde que actúa como receptora en caso de fallas de algunos pozos inyectores.

A pesar de los esfuerzos realizados para evitar la liberación de residuos contaminantes, se han presentado descargas eventuales cuyos efectos se han detectado en las áreas agrícolas de la población de San Pedro Jácuaró, en donde el muestreo de las aguas de los cuerpos receptores de esta región ha manifestado concentraciones de boro y arsénico. También, en los análisis del agua del Río Agrío y suelos de la población de San Pedro Bocaneó se han encontrado elevadas concentraciones de boro.

Además, se debe mencionar que al inicio de los trabajos de exploración y perforación, se llevó a cabo una tala muy notoria de las especies forestales, debido al trazo de vías de acceso, el establecimiento de los campamentos, y la instalación de equipos de perforación y explotación. Posteriormente al efectuarse la extracción de fluidos geotérmicos, una vez más, las asociaciones boscosas circundantes siguieron siendo afectadas por la emisión de gases y la

presencia de aguas residuales geotérmicas. Las especies donde se ha observado mayor afectación son: los pinos montezumae, encinos, pinos michoacana, pinos teocote, oyamel, cedro blanco, y otras especies de la zona.⁷⁶

La Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos de la Comisión Federal de Electricidad, consciente de esta afectación, ha desarrollado en forma constante programas de reforestación. El manejo de las aguas residuales o separadas, plantea un reto, ya que los tiempos de muestreo han sido relativamente cortos y por lo tanto la cantidad de datos es muy reducida.

En el campo geotérmico de Los Azufres Mich., se han evaluado las concentraciones de los principales elementos que acarrearán las aguas residuales geotérmicas, y puede afirmarse que la presencia de estas sustancias, entre ellas algunas tóxicas, y otras por su gran concentración, han motivado que se tomen medidas en forma inmediata para aplicar los mecanismos y procedimientos que impidan su dispersión. Ante esta situación, el gobierno del Estado de Michoacán logró integrar la Comisión Interdisciplinaria de Coordinación para el Estudio y Control de los Efectos del Medio Ambiente, que genera la explotación de la zona geotérmica de Los Azufres, la cual quedó constituida por varias dependencias, tales como la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, la Comisión Federal de Electricidad, la Comisión de Fruticultura, y la Comisión Forestal del Estado de Michoacán.⁷⁷

- (76) Afectación de la Flora por Fluidos Geotérmicos y Reposición de la misma en "Los Azufres, Mich." Castillo Barreto Julio. Tesis profesional Universidad de Guadalajara. México 1980.
- (77) La Ingeniería Ambiental en el Futuro de México. Memorias; IV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 1984. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, A.C.

Podemos concluir, que una vez que se tengan totalmente bajo control los contaminantes derivados de los fluidos geotérmicos, podremos decir, que la energía geotérmica es una energía limpia, por lo pronto nos conformaremos con mencionar que es una de las que menos contaminación causan al ambiente.

USO INTEGRAL DE LA ENERGIA GEOTERMICA.

México tiene abundantes manifestaciones hidrotermales que permiten clasificarlo como uno de los países más ricos en recursos geotérmicos. Esto ha motivado que en los últimos años, se hayan invertido importantes recursos económicos para llevar a cabo una creciente exploración en este campo.

El conocimiento y evaluación actuales del potencial geotérmico del territorio nacional, para la producción de electricidad ha permitido clasificar a las reservas geotérmicas en: probadas, probables y posibles.

Por las primeras se entiende como la potencia que se puede instalar asegurando una operación continua mínima de 20 años. Para dar esta afirmación, se entiende que ya se han realizado perforaciones de exploración y producción, además, se ha simulado el yacimiento mediante modelos matemáticos.

Las reservas probables, son aquellas fuentes en las que mediante estudios geoquímicos y geofísicos, se ha podido cuantificar de manera aproximada el volumen y la energía térmica almacenada en el yacimiento. Finalmente, como reservas posibles se consideran aquellas que se pueden estimar examinando los inventarios de las manifestaciones superficiales y otras anomalías térmicas.

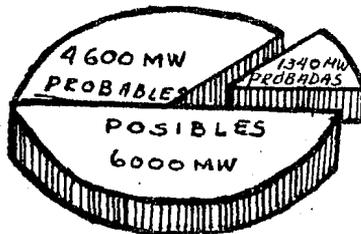
De los estudios más recientes, se concluye que las reservas geotérmicas de la República Mexicana, son:

Reservas probadas.....	1 340 MW.
Reservas probables.....	4 600 MW.
Reservas posibles	6 000 MW.

Las reservas probadas corresponden básicamente a los tres campos geotérmicos que actualmente están en desarrollo: Cerro Prieto B.C., Los Azufres - Mich., y Los Humeros-Derrumbadas Pue.

Las reservas probables comprenden a nuevos campos, en los cuales se están realizando perforaciones exploratorias, como son: la Sierra de la Primavera Jal., Ceboruco, Araró, Ixtlán de los Hervores, Los Negritos, Tres Virgenes, etc., o ampliaciones en los actuales campos en desarrollo.

Y las reservas posibles, corresponden a una estimación de más de 400 focos termales que se tienen detectados en toda la República Mexicana.



Potencia instalada:

En la actualidad, el aprovechamiento de la energía geotérmica en nuestro país, se encuentra principalmente concentrada en el campo de Cerro Prieto, - que cuenta con una potencia instalada de 620 MW.

Adicionalmente, se tienen en operación hasta la fecha cinco turbogeneradores portátiles de 5 MW. cada uno en el campo de Los Azufres. Con ésto, se tiene una potencia total de 645 MW. que coloca a México como el tercer país - con mayor potencia geotermoeléctrica a nivel mundial.

Potencia Geotermoeléctrica Instalada en México

Cerro Prieto I:	Unidad 1	.....	35.5 VW.
	Unidad 2	.....	35.5 MW.
	Unidad 3	.....	35.5 MW.
	Unidad 4	.....	35.5 MW.
	Unidad 5	.....	30.0 MW.
Cerro Prieto II:	Unidad 1	.....	110.0 MW.
	Unidad 2	.....	110.0 MW.
Cerro Prieto III:	Unidad 1	.....	110.0 MW.
	Unidad 2	.....	110.0 MW.
Los Azufres:	Cinco turbogeneradores portátiles de 5 MW. cada uno.		

Concepto de turbogenerador portátil:

Uno de los avances importantes que se ha logrado para el aprovechamiento del recurso geotérmico, es el empleo de turbogeneradores de 5 MW. de descarga atmosférica, y que se instala a boca de pozo.

Estas plantas se han considerado como una solución favorable, especialmente si se emplean como unidades para la evaluación del yacimiento al extraer permanentemente vapor desde puntos estratégicos del campo, con el fin de analizar su evolución, con la ventaja de que mientras se realiza esta prueba, se está recuperando el monto de la inversión.

Una característica importante de estas plantas, es su movilidad, que en caso de fallar prematuramente el pozo o el yacimiento, en pocas semanas el equipo se puede trasladar completo a otro pozo. Como se mencionó, en el campo geotérmico de Los Azufres ya están en operación cinco de estas plantas.⁷⁸

Respecto a las estrategias de desarrollo, se han establecido algunos parámetros básicos para realizarlo, entre éstas están: la inversión, la disponibilidad de equipos, la disponibilidad de personal, la capacitación, y desde luego el contar con los recursos necesarios para llevarlas a cabo, estas estrategias se han dividido en tres etapas:

- El desarrollo a corto plazo (1983-1988), considerando una instalación de 740 MW. adicionales a los ya instalados.
- El desarrollo a mediano plazo (1989-1995), en el que básicamente se considera una instalación de 1 200 MW., adicionales a los anteriormente mencionados; en este caso la totalidad hasta 1995 está analizada de forma tal que sea de generación directa, sin incluir lo relacionado con el ciclo binario.
- Y, por último se tiene el desarrollo a largo plazo, en el cual se incluye el ciclo binario, estimando que sea necesario perforar pozos de no más de 1 000 m. de profundidad y capaces de generar energía de 2.5 MW. por cada uno de ellos. Este análisis nos conduce también a considerar un total de 6 000 MW. entre los años de 1996 al de 2010, establecido para ese tiempo, lo cual será posible si se cuenta con los medios económicos necesarios.⁷⁹

(78) Op cit. Actuales Perspectivas de Desarrollo de la Geotermia en México.

(79) Conferencia de Clausura del IV Simposio sobre Geotermia. Alonso E. Héctor Ing. Guadalajara, Jal. Agosto de 1982.

En base al inventario que se ha hecho en el país, respecto a los focos termales y al conocimiento más a fondo que se tiene de ellos, resultan en conjunto importantes indicadores para establecer hasta donde sea posible la capacidad real de producción de los recursos geotérmicos. Fig. 40

A continuación se indican las principales manifestaciones termales detectadas en la República Mexicana:⁸⁰

En Aguascalientes

Cosío

Rincón de Romos

Valladolid

El Novillo

Jesús María

Aguascalientes

Calvillo

En Baja California:

Aguas Calientes

Jácume

Laguna Salada

Tulechec

Cerro Prieto

Plan de Ayala

Real del Castillo

Agua Caliente Ensenada

Punta Banda

El Álamo

Azufreras

Santa María

Cerro Blanco

Bahía de San Luis

Guerrero Negro

En Baja California Sur:

Agua Caliente de las Virgenes

Aguajito

La Paz Buenavista

Agua Caliente de Santiago

San Jorge

Agua Caliente del Rosario

En Coahuila:

Ojo Caliente

Villa Acuña

Las Norias

(80) IV Simposio sobre el Campo Geotérmico de Cerro Prieto, B.C. (Exposición), Guadalajara, Jal. Agosto de 1982.

Agua Verde
 Santa Gertrudis
 Estación Hermanas
 Villa Bilbao
 La Azufrosa

En Colima:

El Colomo
 Agua Caliente

En Chiapas:

El Chichonal
 Santa Ana
 Sesecapa
 Escuintla
 Tapachula
 Volcán Tacaná

En Chihuahua:

Los Ojitos
 Lucio Blanco
 Pueblo Viejo
 San Diego
 Angostura
 Ojo Caliente
 Coyame
 San Carlos
 Los Ojos

Maderas de Guapoca
 Agua Caliente de Tutuaca
 Agua Caliente de Río Verde
 Agua Caliente de Guerrero
 Ojo Caliente de Cuauhtémoc
 El Fresno de La Higuera
 San Diego de Alcalá
 Julimes
 Pasirecuta de Creel
 Guaguirata
 Bacabureachic
 Santa María de las Cuevas
 Ojo Caliente de Camargo
 Ojo Caliente de la Boquilla
 Ojo Caliente de Almoleya
 Rancho el Pozo
 Dolores

En Durango:

El Zape
 Jesús María
 Presidio
 Atotonilco
 Santiago Papatziaro
 San Pedro el Gallo
 Animas
 La Concha
 Ojo de agua Santa Clara

Durango

Los Berros

Mezquital

En Guanajuato:

La Maraña Arachipo

Atotonilquillo

Los Organos

La Playa

León

Comanjilla

Aguas Buenas

Los Organos-Guzmán

La Playa-Riso-Ventura

P. Cuéramaro

Cerrito Colorado

San Gregorio Tupátaro

Agua Tibia-Abasolo

La Caldera

Las Pomas

P. Abasolo

San Quirfceo

San Jerónimo-Mendoza

Santiago-Maravatío

Inchamácuaro

A.C. Acámbaro

Puroagüita

P. Tarímoro

San Juan

P. El Sauce-El Sauz

P. El Huizache-El Milagro

P. Los Morales

Moralitos-El Sauz

Celanese

P. Tierras negras-Cuervo

P. El Verge1-La Casita

P. La Ceuta

San Bartolomé

Marroquín-El Salfre

Obrajuelo-Los González

P. Taboada-Banda

El Cortijo

Taboada

Atotonilco

S.L. de la Paz

Victoria

En Guerrero:

Las Lagunillas

La Unión

Zirándaro

Ixcateopan

San Marcos

Malinaltepec

Ometepec

En Hidalgo:

Pathé

Taxhido

Pathesito

Tzindejéh

Dios Padre

El Tephe

Tezontepec

Ajacuba

Vito

Tula

Tonaltongo

Amajac

Zacualtipán

En Jalisco:

Atotonilco

La Yesca-Marqueta

La Venta

La Quemada

Los Borrollones

El Limón

Tenchitlán

Hervores de la Vega

Agua Caliente Buenavista

Agua Caliente de Tacotán

Ahuiscalco

La Primavera

Colimila

La Soledad

Oblatos

San Isidro Mazatepec

Agua Caliente de Acatlán

Villa Corona

Atotonilco El Bajo-Estipal

San Marcos

Cacaluta-Cofradía

Atoyac

La Garita

Chilatán

Atotonilco-Zoyatlán

Roca Azul

Jocotepec

San Juan Cosala

Atotonilquillo

Itzicán

Zapopan-El Salitre

Agua Caliente Camarena

La Higuera

En el Estado de México:

San Pedro de los Baños

Ixtlahuaca

Donato Guerra

Ixtapan del Oro

Tenango del Valle

Ixtapan de la Sal

En Michoacán:

Los Negritos

Pajacuarán

Ixtlán de los Hervores-Salitre

La Piedad

La Huacana

El Jorullo

El Salitre-Acámbaro

Puruándiro

Huandacareo

San Agustín del Pulque

San Sebastián

Coitzio

San Agustín del Maíz

San Juan Tarameo

Estación Queréndaro

Araró

Atzimba

Los Azufres

San Lorenzo

San José Purúa

Agua Caliente

Huetamo

Las Arenas

Nispo

La Mina

Huingo

En Morelos:

Cuachichinica

Xochitepec

Tehuixtla

Tlaltizapán

Atotonilco

En Nayarit:

Agua Caliente Quiriquinta

Agua Caliente Caramota

Agua Caliente del Chico

Agua Caliente de San Blasito

Agua Caliente de Rosa Morada

Ixcatlán

Agua Caliente del Venado

Los Rufz

Agua Caliente de Tepetetes

Agua Caliente la Fortuna

Agua Caliente de Charco Viejo

Agua Caliente Río Santiago

Laguna de Santa Marfa
 Agua Caliente del Molote
 Agua Caliente de Jumurca
 Agua Caliente de las Guasimas
 Agua Caliente del Tecomate
 Agua Caliente Estación Tetitlán
 Agua Caliente Santa Fé
 Volcán Ceboruco
 El Perrero-Ixtlán del Oro
 Amatlán de Cañas

En Nuevo León:

Blanco
 Tepochico
 La Boca
 Aguas Calientes
 Potrero Prieto

En Oaxaca:

Zimatlán
 Santa Marfa Soñ
 Teotepac
 Aguascalientes
 Juchitlán

En Puebla:

Zacatlán
 Chignahuapan

Los Humeros
 Las Derrumbadas
 Santa Cruz El Porvenir
 Rancho Colorado
 Baños de Atotonilco
 Ixtlaclala
 Colucan
 Tehuacán

En Querétaro:

Conca
 Purísima
 Tancama
 Acequia Blanca
 Amazcala
 Colón
 El Tejocote
 San Róque (El ahorcado)
 Rancho Agua Caliente
 Galindo
 Cerrito de San Agustín
 Tequisquiapan Neptuno
 San Bartolo

En San Luis Potosí:

Santa Marfa de la Paz
 San Dieguito
 Pozos

Ojo Caliente

Lourdes

Taninul

Tamuín

En Sinaloa:

Agua Caliente de Reforma

Agua Caliente Tacopaco

Agua Caliente de Huiricucoa

Agua Caliente de Vaca

Agua Caliente de Zapotal-Llanos

Agua Calientilla

El Jipago

Agua Caliente el Platanito

Rancho Ciriaco

San Jorge De Gracia-Las Tunas

Agua Caliente de Cota

Agua Caliente de Cebada

La Ciénega

Agua Caliente Guamuchil

San Benito-La Huerta

Los Pocitos

La Presita

Los Monzones

Agua Caliente de Imala

El Carrizalejo

Agua Caliente del Comedero

Agua Caliente de Playa

Agua Caliente de San José

Agua Caliente de Nepala

Agua Caliente de Humaye

Agua Caliente de San Ignacio

Agua Caliente de Limón

Agua Caliente la Concordia

Puente Santa Fé

Puente Huajotes

Agua Caliente de Panales

Buenavista de Escuinapa

En Sonora:

Riito

Puerto Peñasco

Agua Caliente de Imuris

Cueva de Santa Ana de Arizpe

Nacozari de García

Agua Caliente de Arizpe

Agua Caliente de Cumpas

Tonibachi de Moctezuma

Agua Caliente de Aconchi

Agua Caliente de Huasabas

Nacozari Chico

Sahuaripa

Los Pozos de Empalme

Agua Caliente de Cajemé

Agua Caliente de Alamos

En Tabasco:

Cárdenas

Tacotalpa

En Tamaulipas:

Soto la Marina

Antiguo Morelos

En Veracruz:

Tinajitas

Estación el Carrizal

El Palmar

Catemaco

Zontecomapán

En Zacatecas:

Sain Alto

Santa Cruz

Atotonilco

Ojo Caliente

Potrero de la Pirulada

Apozol

Santa Rosa

Santa Cruz Atistique

En Islas Marías:

Agua Caliente

Aprovechamiento de sub-productos:

Además de la utilización del vapor para la generación de energía eléctrica, existen numerosos productos químicos derivados de los gases y de las aguas geotérmicas, cuyo aprovechamiento puede considerarse secundario, pero que en la realidad debido a su valor económico, son importantes.

PRINCIPALES MANIFESTACIONES TERM



Fig. 40

PRINCIPALES MANIFESTACIONES TERMALES

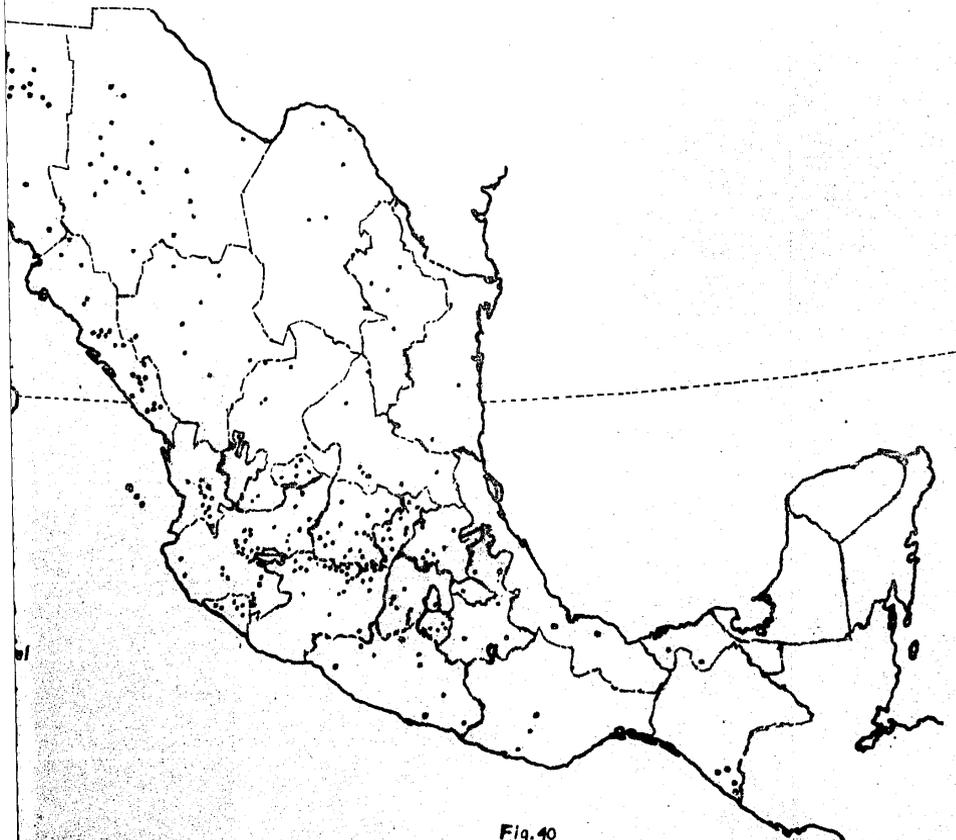


Fig. 40

El agua meteórica que se infiltra en las profundidades, se mezcla con gases provenientes del magma, los que están por lo general altamente mineralizados. Estos vapores son arrastrados por el agua a las capas superficiales en las que a enorme presión se van acumulando y enriqueciendo a través de cientos o miles de años, hasta llegar a formar depósitos minerales de gran importancia.

En el campo geotérmico de Cerro Prieto B.C., el análisis químico en promedio de la salmuera obtenida, es la siguiente:⁸¹

Compuesto:	Porcentaje en peso:
NaCl	2.20
KCl	0.32
LiCl	0.01
CaCl ₂	0.12
SiO ₂	0.09
Otros	0.01
H ₂ O	97.25
Total	100.00%

Las sales obtenidas a partir de la salmuera por medio de la evaporación solar, en ese campo geotérmico tanto a escala laboratorio, como a escala piloto, son:

(81) Extracción de KCl de las Salmueras de Desecho de la Planta Geotérmica de Cerro Prieto, B.C. Mercado Sergio, López J.A., y otros. Instituto de Investigaciones Eléctricas. Palmira, Cuernavaca, Mor. 1979.

NaCl Precipitado		NaCl-KCl Precipitado	
Compuesto	Porcentaje en peso	Compuesto	Porcentaje en peso
NaCl	97.64	NaCl	65.71
KCl	1.96	KCl	31.95
LiCl	0.03	LiCl	0.24
CaCl ₂	0.33	CaCl ₂	2.06
SiO ₂	0.04	SiO ₂	0.04

En octubre de 1981, se inició la construcción de una planta de recuperación del cloruro de potasio (KCl), a partir de la salmuera remanente de la generación eléctrica, y como un subproducto de la misma. Fig. 41.

El KCl que actualmente se obtiene satisface en gran parte la demanda del país, ya que anteriormente se le importaba en su totalidad. Este producto se emplea básicamente en las actividades agrícolas como fertilizante.



Usos del cloruro de potasio

Cabe mencionar que el proceso de investigación desarrollado inicialmente para la obtención del KCl, fue realizado por el Instituto de Investigaciones Eléctricas. Dicho proceso de investigación fue modificado por la empresa paraestatal Fertimex, y que, consiste fundamentalmente en la concentración y-

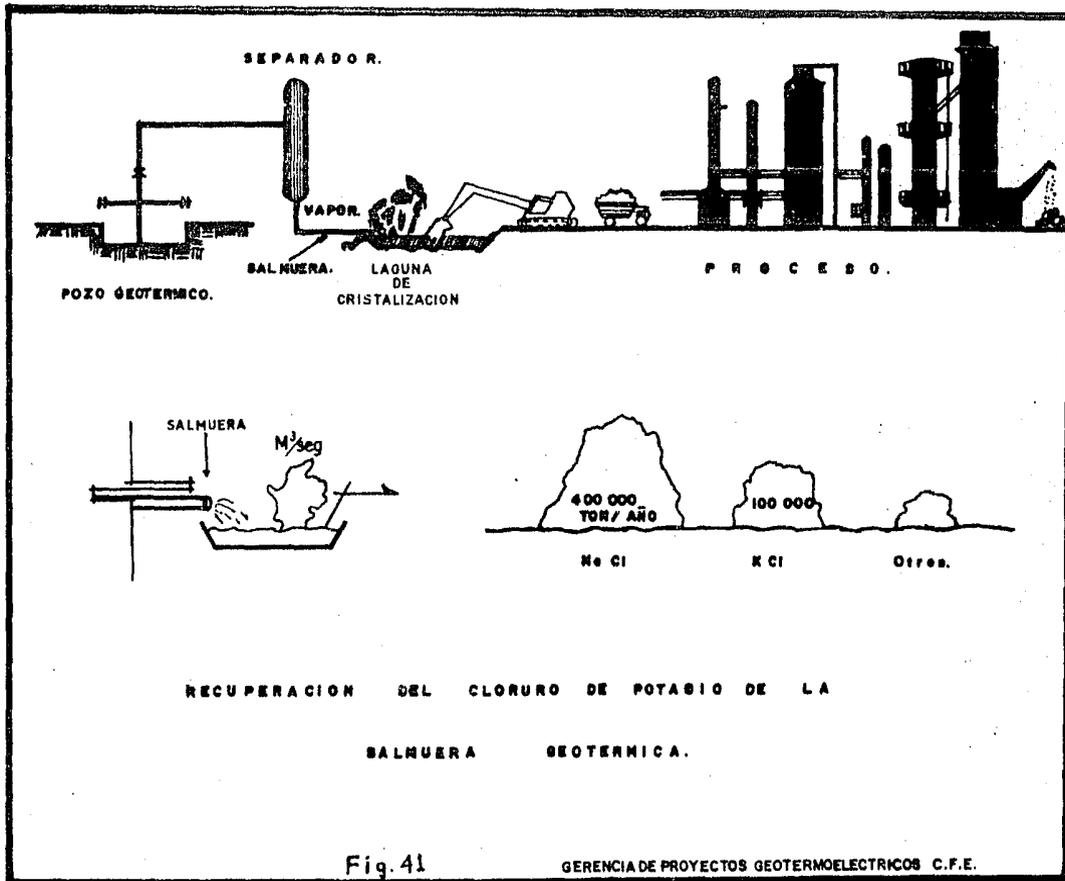


Fig.41

GERENCIA DE PROYECTOS GEOTERMoeLECTRICOS C.F.E.

cristalización de la salmuera en lagunas solares, pasando posteriormente a una planta de cristalización fraccionada donde se obtienen como subproductos: cloruro de sodio (NaCl), cloruro de calcio (CaCl_2), cloruro de litio (LiCl) y Sílice (SiO_2). Fig. 42-43.

Con respecto al aprovechamiento de los gases no condensables en la planta geotérmica de Cerro Prieto, se han realizado trabajos de investigación, los cuales se han aplicado en forma experimental para obtener azufre a partir de H_2S , mediante el método químico de oxidación directa.⁸²

También, se están desarrollando módulos agropecuarios en forma experimental, en los cuales se utilizan nutrientes y condiciones ambientales derivados de los fluidos geotérmicos para el cultivo de hortalizas, forrajes, semillas mejoradas, plantas de ornato y medicinales, etc., aplicando la técnica llamada Hidroponía; así también en criaderos de peces. Fig. 44.

Finalmente, debemos mencionar que, se ha construido una planta potabilizadora a base de vapor endógeno con el fin de satisfacer las necesidades de agua del campo geotérmico. Esta planta está considerada como la primera en su género en el mundo.⁸³

Perspectivas de Desarrollo de la Geotermia:

Además de la generación de electricidad, en los diversos campos geotérmicos que existen en el mundo, se están realizando numerosas actividades en base al uso del vapor endógeno, aplicadas a la industria, agricultura, gana-

(82) Op cit. La Contaminación en el Campo de Cerro Prieto, B.C. provocada por los Desechos Geotérmicos.

(83) IBID. Anda Luis F. de Geotermia. Enciclopedia de México.

USO DEL CLORURO DE SODIO.

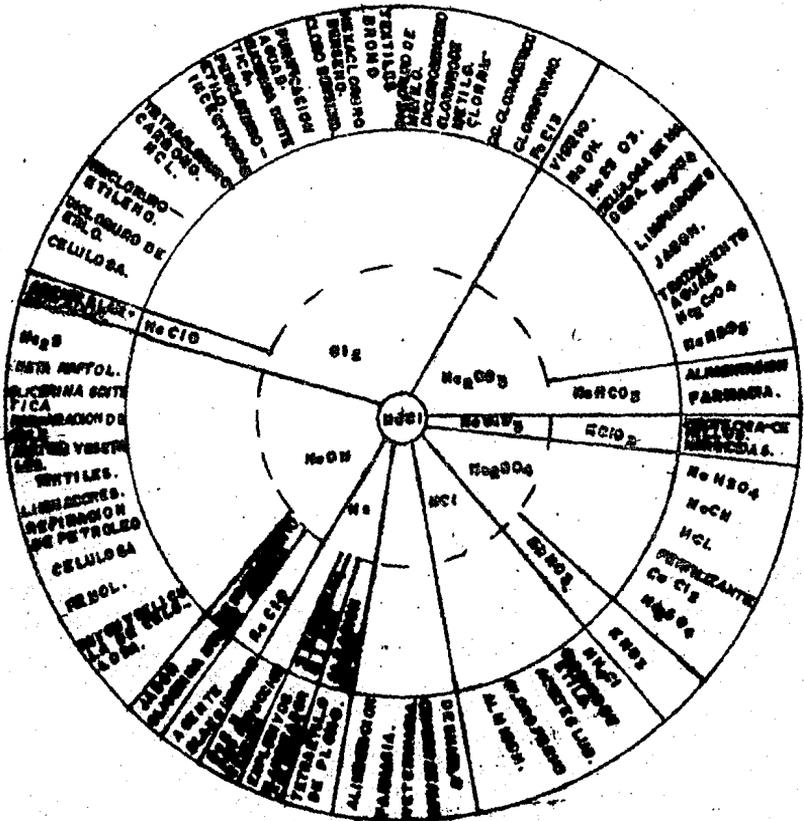


Fig. 42

USOS DE LA SILICE

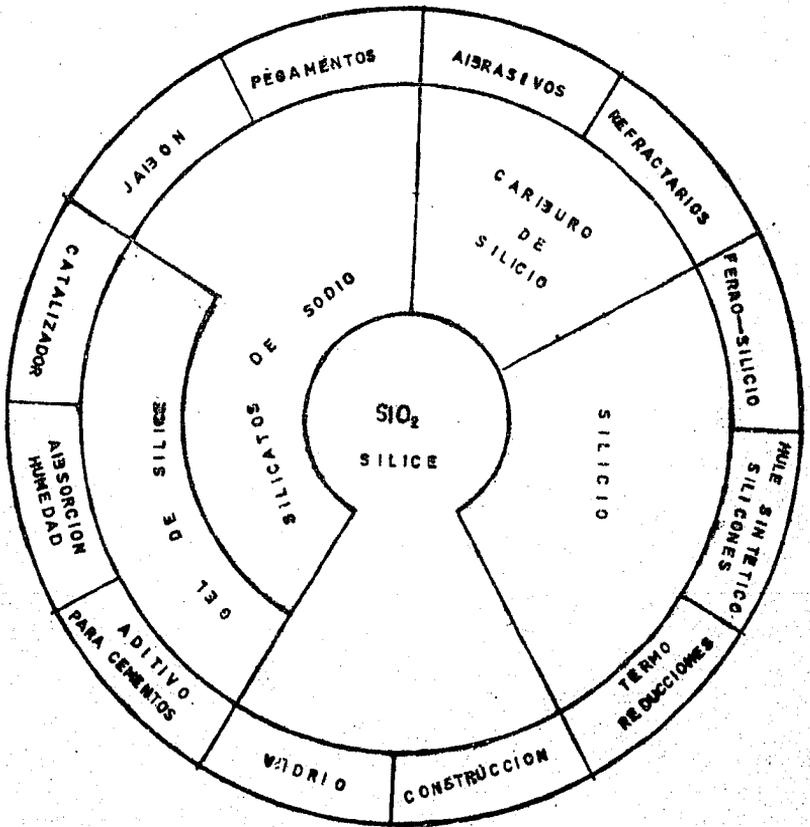


Fig. 43

ING. LUIS E. DE ANDA

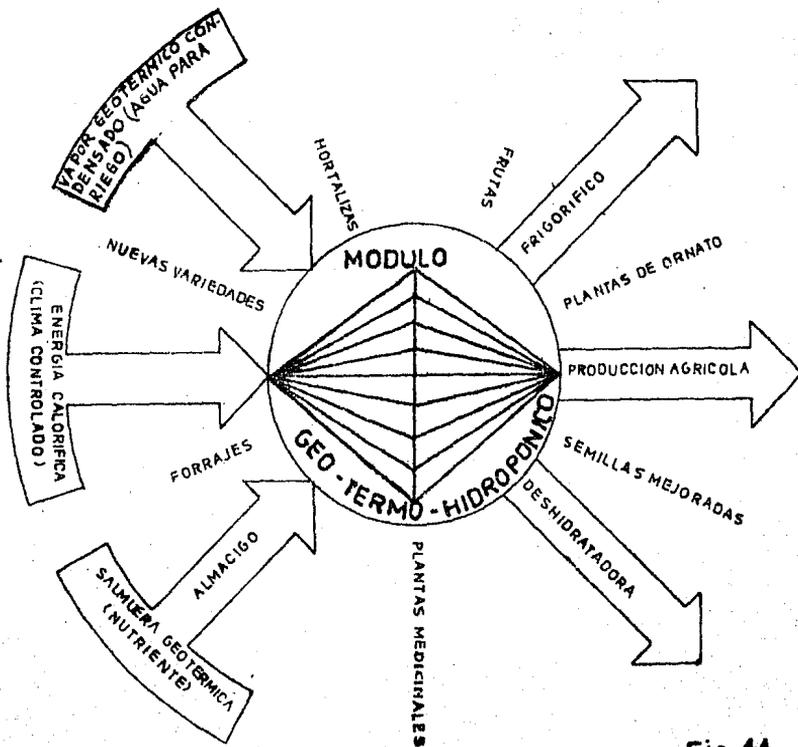


Fig. 44

dería, silvicultura, acuicultura, turismo, así como en aspectos recreativos y curativos o medicinales. Todas estas experiencias podrían considerarse para aplicarlas a nuestro país, ya que en la actualidad, en su mayoría se les valora únicamente dentro del marco del uso potencial. Entre dichas actividades se indican las siguientes:

I. Aplicaciones en la Industria. La energía geotérmica puede ser utilizada de diferentes maneras, en esta actividad económica citaremos algunos ejemplos:

1. En la Industria Química:

- Extracción de sales.
- Obtención de compuestos químicos.
- Recuperación de azufre nativo.
- Obtención de ácido bórico.
- Procesos de destilación, fermentación, evaporación
- En la industria del plástico.
- Obtención de agua potable

2. En la Industria de la Madera:

- Procesamiento de la madera para la obtención de papel.

3. En la Industria Azucarera (caña de azúcar y remolacha);

- Procesos de calor y secado.

4. En la Industria Alimenticia:

- Secado y conservación de enlatados.
- Proceso de producción de harinas
- Deshidratación de alimentos.

- Industria de productos lácteos.
- Conservación de embutidos
- Secado de pescado y producción de harinas.
- Proceso de café pulverizado (soluble).

5. En la Industria Minera:

- Obtención de carbón mineral (diatomita), por ejemplo en Islandia.
- Sistemas de calefacción donde las condiciones climáticas son muy severas (Siberia).
- Producción de aluminio a partir de la bauxita.

II. Aplicaciones en la Agricultura:

1. En calefacción:

- Invernaderos productores de frutas, hortalizas, flores y forrajes.
- Cultivo de hongos o setas
- Calentamiento y esterilización de terrenos de cultivo

2. En secado:

- De productos cosechados.
- Deshidratación de alimentos

III. Aplicaciones en la Ganadería:

1. En calefacción:

- Establos, cuartos de ordeña, gallineros, pocilgas.
- Incubadoras.
- Lavado y secado de lana
- Cría de aves de corral.

- Cría de lagartos y cocodrilos.

IV. Aplicaciones en la Acuicultura:

1. En calefacción:

- Incubación y cría de peces.
- Cría de anguilas.

V. Aplicaciones en el Turismo:

1. En balnearios:

- Albercas y baños de aguas minerales.
- Baños de barro o lodo
- Baños de vapor.

2. Atracciones escénicas.

VI. Aplicaciones diversas:

- Cocción de alimentos (cocina)
- Redes de calefacción en viviendas y edificios
- Agua mineral embotellada.
- Prevención de heladas y derretimiento de nieve en caminos durante el invierno.
- Procesos de refrigeración y licuefacción de gas.
- Procesamiento de hule sintético.
- Procesamiento para la obtención de aceite de la semilla de algodón.⁸⁴

(84) Geothermal Energy. H. Christopher; H. Armstead. E. & F.N. Spon L.T.D. London, 1979.

Cuando los fluidos geotérmicos tienen aplicaciones específicas, es determinante mantenerlos a un cierto grado de temperatura, como se indican algunos ejemplos, en la figura 45.

Como se podrá comprender, el uso o aplicación de este recurso natural, es muy amplio y diverso en las numerosas actividades económicas, sin embargo, presenta ciertas limitantes ya que los fluidos geotérmicos no pueden ser transportados a grandes distancias porque disminuyen o pierden sus propiedades óptimas para su aprovechamiento.

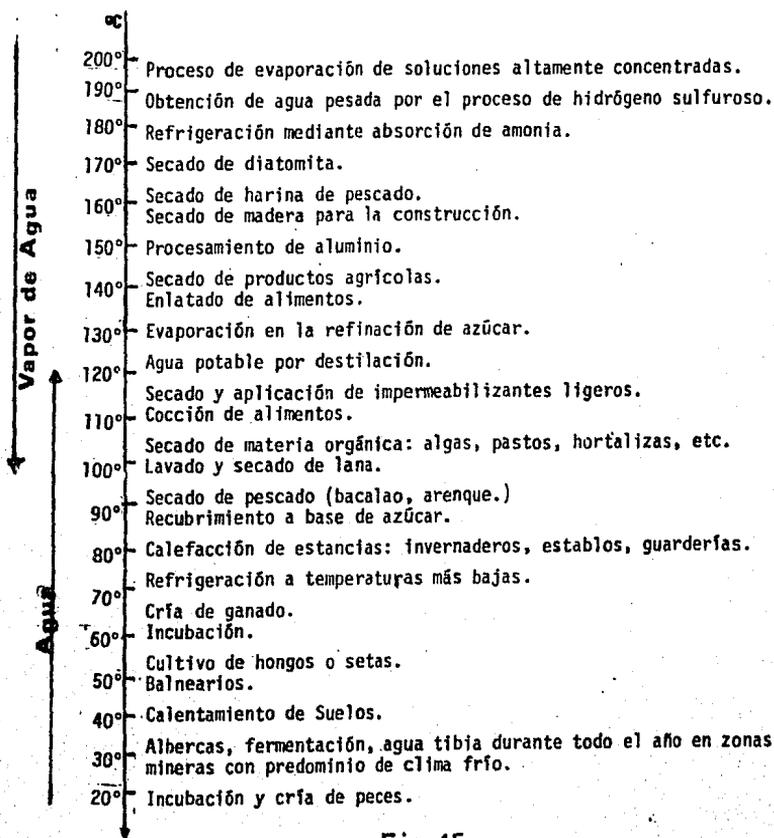


Fig. 45

Según: H. Christopher; H. Armstead.

CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES

Es indudable que por las características geológicas, volcánicas y tectónicas que se presentan en la República Mexicana, las posibilidades de una gran explotación geotérmica son de gran factibilidad e importancia, ésto aunado a la política de diversificación de energéticos primarios que desde hace varios años viene desarrollando el gobierno mexicano, coloca a México en lo que se refiere a la utilización de la energía geotérmica, tanto en el presente como en el futuro en una posición privilegiada.

No dudamos que la energía geotérmica puede llegar a ser una importante alternativa energética, sin embargo, en el presente solo se le considera a pequeña escala debido a la competencia y al uso de combustibles fósiles. No obstante, se ha calculado y demostrado que en relación a otras fuentes productoras de energía, los costos resultan más bajos, es decir, se requiere de menor inversión. Además, el mantenimiento es mínimo en relación a aquellas, por lo que consideramos que el uso de plantas geotérmicas permitirá un ahorro considerable de hidrocarburos que actualmente se utilizan en las plantas termoeléctricas convencionales.

Estamos conscientes que la generación de electricidad mediante centrales geotermoeléctricas no va a resolver en su totalidad el problema energético del país, pero es indiscutible que representa una valiosa alternativa para tratar de satisfacer la demanda creciente de electricidad.

Por otra parte, en forma paralela a la generación de electricidad, los fluidos geotérmicos proporcionan mediante ciertas técnicas, diversos productos químicos, como fertilizantes, cloruros, etc., además agua caliente y vapor para numerosas aplicaciones proyectadas a múltiples actividades económi-

cas, como, en la industria, agricultura, ganadería, la pesca, la silvicultura y el turismo.

Por lo general, la instalación de todo tipo de infraestructura relacionada a la explotación de los recursos naturales, tiene una repercusión en menor o mayor grado en el medio ambiente; la energía geotérmica no es la excepción, aunque algunos especialistas la han llamado la "Energía Limpia", no deja de representar ciertos problemas de contaminación un tanto diferentes a los ocasionados por el uso de combustibles fósiles o nucleares.

Específicamente, en el caso de los fluidos geotérmicos, si no se aplican de manera constante medidas de prevención adecuadas en su utilización, se podría provocar una contaminación de cierta gravedad que pudiese ser el factor limitante en su explotación.

Es una realidad que el desarrollo tecnológico, no puede llevarse a cabo sin que resulte afectado de algún modo el medio ambiente circundante. La naturaleza ha empezado a dar muestras de que el descuido de la interacción entre los procesos industriales y los sistemas ecológicos, está causando enormes daños; esto debe servir de advertencia a un país como el nuestro cuyos niveles industriales y de consumo de energéticos son aún modestos, con el fin, de que sin poner freno a su desarrollo, se ponga en práctica una política que oriente a los nuevos proyectos de crecimiento, de tal manera que causen un menor daño al medio ambiente.

El conocimiento y evaluación actuales que se tienen del potencial geotérmico contenido en el territorio nacional, hacen que presente un panorama halagador y un futuro promisorio ya que, la investigación, experimentación y aplicación realizadas en base a este energético, aumentan constantemente.

Por tales motivos, hemos querido destacar mediante este trabajo de investigación, la importancia que tiene la Geotermia como una ciencia aplicada, pretendiendo caracterizar los diversos campos geotérmicos en el ámbito geográfico; difundir los trabajos que se están realizando, motivar o interesar a los estudiantes, especialmente a los geógrafos por esta disciplina como parte de su formación, y llevar a cabo una evaluación de la trascendencia que representa el uso integral de este energético tanto en el presente como en el futuro.

Es conveniente hacer resaltar que México a la fecha, es uno de los países más adelantados en el mundo en el aprovechamiento de la energía geotérmica, no existiendo dependencia tecnológica alguna, por el contrario, exportándola a varios países, principalmente a Centro y Sur-América.

Finalmente, recordemos que vivimos en un país que presenta un gran proceso de desarrollo y que, en base a sus numerosos recursos naturales, podemos considerarlo potencialmente rico, el cual brinda todos sus beneficios a los que quieran o sepan aprovecharlos en forma racional por medio del trabajo y la inteligencia, teniendo como objetivos el mejoramiento económico y social-encauzados mediante la industrialización y la productividad.

BIBLIOGRAFIA

Actuales Perspectivas de Desarrollo de la Geotermia en México

Alonso E. Héctor. Ing.

Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, C.F.E.

Morelia, Michoacán. México.

Afectación de la Flora por Fluidos Geotérmicos y Reposición de la misma en -
Los Azufres, Michoacán

Castillo Barreto Julio.

Tesis Profesional. Universidad de Guadalajara.

México, 1980.

Aprovechamiento Integral del Fluido Geotérmico de la Zona de Cerro Prieto, -
B.C.

Mañón Mercado Alfredo.

Instituto de Investigaciones Eléctricas, C.F.E.

Palmira Cuernavaca, Morelos, México

Aspectos Químicos del Aprovechamiento de la Energía Geotérmica, Campo Cerro-
Prieto, B.C.

Mercado Sergio. Ing. Quim.

Instituto de Investigaciones Eléctricas, C.F.E.

Palmira Cuernavaca, Morelos, México. 1966.

Atlas Nacional del Medio Físico

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática-Secretaría de Pro-
gramación y Presupuesto.

México, 1981.

Campo Geotérmico La Primavera, Jalisco

Residencia de Perforación La Primavera, C.F.E.

Guadalajara, Jalisco

Central Geotermoeléctrica de Cerro Prieto, B.C.

Folleto de Divulgación, C.F.E.

México, 1982.

Condiciones Geotérmicas de la Caldera Cuaternaria de Los Humeros

Rivera Mendoza Oscar

Residencia de Perforación Los Humeros, Pue. C.F.E.

Perote, Ver. México.

Conferencia de Clausura del IV Simposio Sobre Geotermia.

Alonso E. Héctor. Ing.

Guadalajara, Jal. México 1982.

Crisis Energética y Recursos Naturales.

Biblioteca Salvat de Los Grandes Temas. Volumen No. 45.

Salvat Editores S.A., Barcelona, España.

Curso Intensivo Sobre Geotermia "Los Azufres"
Instituto de Investigaciones Eléctricas, C.F.E.
Palmira Cuernavaca, Morelos, México. 1978.

El Aprovechamiento de la Energía Geotérmica
Alonso E. Héctor. Ing.
Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros
México, 1984.

El Campo de Energía Geotérmica en Pathé, Estado de Hidalgo México.
XX Congreso Geológico Internacional.
México, 1956.

El Campo Geotérmico de Cerro Prieto, Estudios Geofísicos Realizados.
Fonseca López Héctor.
Coordinadora Ejecutiva de Cerro Prieto, B.C.
Mexicali, B.C., México, 1982.

El Eje Neovolcánico Transmexicano.
Demant, A., Mauvois, R., y Silva Luis
III Congreso Latinoamericano de Geología.
México, 1976.

Estudio Geológico de la Caldera de La Primavera, Jalisco.
Venegas Salgado Saúl.
3a. Reunión de Geotecnia y Geotermia
Volumen III. México.

Estudios Sobre Lodos y Cementos Utilizados en la Construcción de Pozos Geotérmicos.
Boletín No. 3, Vol. 7., Mayo-Junio, 1983.
Palmira Cuernavaca, Morelos, México.

Exploración Geotérmica de Los Humeros-Las Derrumbadas.
Molina Barbeyera Rafael. Ing.
Departamento de Geotermia, C.F.E.
México.

Exploración de la Región Geotérmica de Los Humeros-Derrumbadas.
Yañez Camilo
Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, C.F.E.
México.

Exploración Geotermoquímica Preliminar de La Primavera, Jalisco.
Mercado Sergio. Ing. Quím.
Residencia de Perforación La Primavera, Jalisco, C.F.E.
Guadalajara, Jalisco, México.

Extracción de Cloruro de Potasio de las Salmueras de Desecho de la Planta Geotérmica de Cerro Prieto, B.C.
Mercado Sergio, López J.A., y otros
Instituto de Investigaciones Eléctricas, C.F.E.
Palmira Cuernavaca, Morelos, México. 1979.

Geología de la República Mexicana.
Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática-Secretaría de Programación y Presupuesto.
México, 1982.

Geología de México. Tomo III
López Ramos, E.
Instituto de Geología, U.N.A.M.

Geothermal Deposits.
Tatsch J.H.
Editorial Suo-bury, Massachusetts, U.S.A. 1976.

Geothermal Energy.
H. Christopher; H. Armstead.
E. & F.N. Spon L.T.D.
London, 1979.

Geotermia. América Latina.
Organización Latino-Americana de Energía (OLADE).
Quito, Ecuador. 1978.

Geotermia
Anda F. de, Luis. Ing.
Editoria Enciclopedia de México.
Francisco Sosa No. 383, Coyoacán, México D.F. 1978.

Intercambio Técnico Sobre Geotermia México-E.U.A.
Memorias de Congresos y Simposios.
C.F.E. - Departamento de Energía de E.U.A.
1977, 1979, 1982.

Interpretación Geoquímica de los Fluidos Obtenidos en el Campo Geotérmico de Los Humeros, Puebla.
López Mendiola Juan Manuel
Residencia de Perforación Los Humeros, Puebla, C.F.E.
Perote, Ver., México.

La Contaminación en el Campo de Cerro Prieto, B.C., Provocada por Desechos - Geotérmicos.
Mercado Sergio. Ing. Quím.
Investigaciones Geotermoquímicas. C.F.E.
México.

La Energía Geotérmica en México
Alonso Espinosa Héctor.
Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.
México, 1960.

La Energía Geotérmica en El Salvador
Alonso E. Héctor. Ing.
Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo XXVIII, No. 2.
México, 1965.

La Formación de la Tierra.

Biblioteca Salvat de los Grandes Temas. Volúmen No. 3,
Salvat Editores S.A., Barcelona, España.

La Exploración Geotérmica en México.

González Salazar Arturo.
Departamento de Geotermia. C.F.E.
México.

La Ingeniería Ambiental en el Futuro de México.

Memoria IV. Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, A.C.
México, 1984.

La Utilización de la Energía Geotérmica en México.

Mercado Sergio. Ing. Quím.
Instituto de Investigaciones Eléctricas, C.F.E.
Palmira Cuernavaca, Morelos, México. 1979.

La Zona Geotérmica de Cerro Prieto, B.C.

Alonso E. Héctor. Ing.
Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo XXIX.
México, 1966.

Los Agentes Contaminantes por Fluidos Geotérmicos y sus Efectos en el Medio Ecológico.

Temples M. Luis Antonio. Ing.
Residencia de Perforación La Primavera, Jalisco, C.F.E.
Guadalajara Jalisco, México.

Los Azufres Michoacán. Proyecto Geotermoeléctrico.

Folleto de Divulgación, C.F.E.
México, 1982.

Modelo Geológico del Campo Geotérmico de Cerro Prieto.

A. de la Peña L., I. Puente C., y E. Díaz C.
Coordinadora Ejecutiva de Cerro Prieto, B.C.
Mexicali, B.C., México, 1982.

Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de W. Köppen.

García Enriqueta. Invest.
DR. c Indianapolis 30, México, 1981.

Perforación Geotérmica en Cerro Prieto, B.C.

Domínguez A. Bernardo. Ing.
Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, C.F.E.
Morelia Michoacán, México.

Proyecto Geotérmico Los Humeros-Derrumbadas. Informe Geofísico y Geológico.

Residencia de Perforación Los Humeros, Puebla. C.F.E.
Perote, Ver., México. 1981.

Recursos Geotérmicos: Aspecto General de la Explotación Geotérmica.
Isita Septién José, Ing.
Publicaciones de la Comisión Federal de Electricidad. México.

Resultados de las Exploraciones en la Zona Geotérmica de "Los Azufres"
Gerencia General de Estudios e Ingeniería Preliminar, C.F.E.
México, 1979.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA