

14
20j



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**PERFORACION DE POZOS DEL CAMPO
GEOTERMICO DE LOS AZUFRES, MICH.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO PETROLERO

P R E S E N T A

SAUL GOMEZ LOPEZ



MEXICO, D. F.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 esta 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-067

SR. SAUL GOMEZ LOPEZ
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Dr. Eduardo González Partida, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Petrolero:


PERFORACION DE POZOS DEL CAMPO GEOTERMICO DE LOS AZUFRES, MICH.

- I INTRODUCCION
- II LA ENERGIA GEOTERMICA EN MEXICO
- III CONSTRUCCION DE UN POZO GEOTERMICO
- IV PUBLICACIONES SOBRE EL CAMPO GEOTERMICO DE LOS AZUFRES
- V DATOS DEL CAMPO GEOTERMICO DE LOS AZUFRES
- VI CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, a 25 de octubre de 1995
EL DIRECTOR


ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLÍS

JWCS*P (R) 95

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

FACULTAD DE INGENIERIA.

DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA.

TESIS: PERFORACION DE POZOS DEL CAMPO GEOTERMICO DE LOS
AZUFRES, MICH.

REALIZADA POR: SAUL GOMEZ LOPEZ.

DIRECTOR DE TESIS: Dr. EDUARDO GONZALEZ PARTIDA.

FIRMAS DE CONFORMIDAD DEL JURADO:

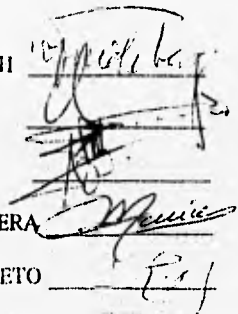
PRESIDENTE: Ing. WALTER FRIEDEBERG MERZBACH

VOCAL: DR. EDUARDO GONZALEZ PARTIDA

SECRETARIO: Ing. JOSE MARTINEZ PEREZ

PRIMER SUPLENTE: Ing. SALVADOR MACIAS HERRERA

SEGUNDO SUPLENTE: M.I. RAFAEL RODRIGUEZ NIETO



The image shows four handwritten signatures in black ink, each written over a horizontal line. The signatures are: 1. 'Walter Friedeberg Merzbach' (President), 2. 'Eduardo Gonzalez Partida' (Vocal), 3. 'Salvador Macias Herrera' (First Suplente), and 4. 'Rafael Rodriguez Nieto' (Second Suplente). The signatures are written in a cursive style.

CIUDAD UNIVERSITARIA D.F. FEBRERO 1996.

A MIS PADRES Y HERMANOS:

Mi más sincero agradecimiento
por su comprensión, tolerancia
y apoyo que me brindaron en -
los momentos difíciles de mi
trayectoria como estudiante.

CONTENIDO:

CAPITULO 1. INTRODUCCION

CAPITULO II. LA ENERGIA GEOTERMICA EN MEXICO.

II.1. Generalidades.

II.2. Desarrollo de la geotermia en México.

II.3. Zonas geotérmicas de interés.

II.4. Otras zonas de probable interés Geotérmico..

II.5. Proyectos geotermoeléctricos.

CAPITULO III. CONSTRUCCION DE UN POZO GEOTERMICO.

III.1. Fluidos de perforación.

III.2. Etapas de Perforación y terminación de un pozo geotérmico.

III.3. Cementación de pozos geotérmicos.

CAPITULO IV. PUBLICACIONES SOBRE EL CAMPO GEOTERMICO DE LOS AZUFRES.

IV.1. Características del campo geotérmico de Los Azufres, Mich.

IV.2. Régimen de flujo en base a la mineralogía autigénica.

IV.3. Petrología primaria.

IV.4. Geometría del yacimiento.

IV.5. Fuente de calor.

IV.6. Régimen de flujo e historia térmica.

IV.7. Zona de descarga.

IV.8. Zona de recalentamiento.

IV.9. Zona de casquete de vapor.

IV.10. Propiedades de núcleos de perforación del campo
geotérmico Los Azufres.

IV.11. Observaciones de campo.

CAPITULO V. DATOS DEL CAMPO GEOTERMICO DE LOS AZUFRES.

V.1. Propiedades termofísicas.

V.2. Datos de tuberías revestidoras.

V.3. Datos de producción de los pozos.

V.4. Estado mecánico.

V.5. Comportamiento temperatura-presión Vs. profundidad para el pozo A-5.

V.6. Volumen máximo de fluidos geotérmicos.

VI. CONCLUSIONES.

CAPITULO I.

INTRODUCCION.

No sólo en México, sino en el resto del mundo, únicamente un grupo de especialistas conocía la importancia de la energía geotérmica hasta la crisis del petróleo en 1974, cuando el precio de éste llegó a ser del orden de 40 dólares por barril; esta revaluación obligó a buscar alternativas energéticas.

El calor es una forma de energía que se encuentra almacenada en grandes cantidades en el interior de la tierra. Se calcula que sólo bajo la superficie de los Estados Unidos de América y hasta una profundidad de 10 Km, existe tal cantidad de energía calorífica que si pudiera recuperarse totalmente, sería suficiente para satisfacer el consumo de energía de ese país durante 100, 000 años [GUTIERREZ NEGRIN (1987)].

La energía geotérmica es enorme, pero su disponibilidad natural es muy limitada; en promedio, sólo se puede disponer de aproximadamente 1/16 de watt por cada m² de superficie terrestre. Esto significa que, suponiendo que toda la energía geotérmica pudiera convertirse en electricidad con una eficiencia del 20 %, se necesitaría todo el flujo calorífico de un área de tamaño de un campo de futbol para poder encender un foco de 60 watts [GUTIERREZ NEGRIN (1987)].

Así, para que pueda utilizarse la energía geotérmica, debe existir en la naturaleza alguna situación especial que permita concentrarla en un área pequeña. Esta situación se presenta en los yacimientos subterráneos de vapor y/o agua caliente, que pueden canalizarse

hacia la superficie mediante pozos.

Un sistema geotérmico consiste de una fuente de calor, un fluido caliente y una zona cortical donde se almacena y circula el fluido. La fuente de calor es un magma cuya profundidad desde la superficie es de 6 a 7 km. A tal profundidad su temperatura es de aproximadamente 600 °C . El calor de este magma se transmite por conducción hacia la roca impermeable que lo rodea elevando su temperatura hasta 400 °C. Al encontrar un cuerpo de rocas permeables, el agua fría que desciende desde la superficie a 10 °C, es calentada entonces por las rocas impermeables hasta temperaturas superiores a 200 °C, después de lo cual asciende con pérdidas mínimas de calor: en este momento empieza la ebullición del agua, que finalmente sale a la superficie en forma de vapor de agua a 100 °C, manifestándose como una fumarola [GUTIERREZ NEGRIN (1987)].

El sistema geotérmico requiere de una capa superior de rocas impermeables o de permeabilidad mucho menor, denominada capa sello. En un sistema tal, es evidente que si se perfora un pozo que atraviese toda la roca impermeable y penetre en la permeable, se obtendrá en la superficie un fluido con una temperatura casi igual a la del yacimiento. El cuerpo de roca permeable, en el que el calor se transfiere por convección a los fluidos geotérmicos, constituye el yacimiento (fig. I.).

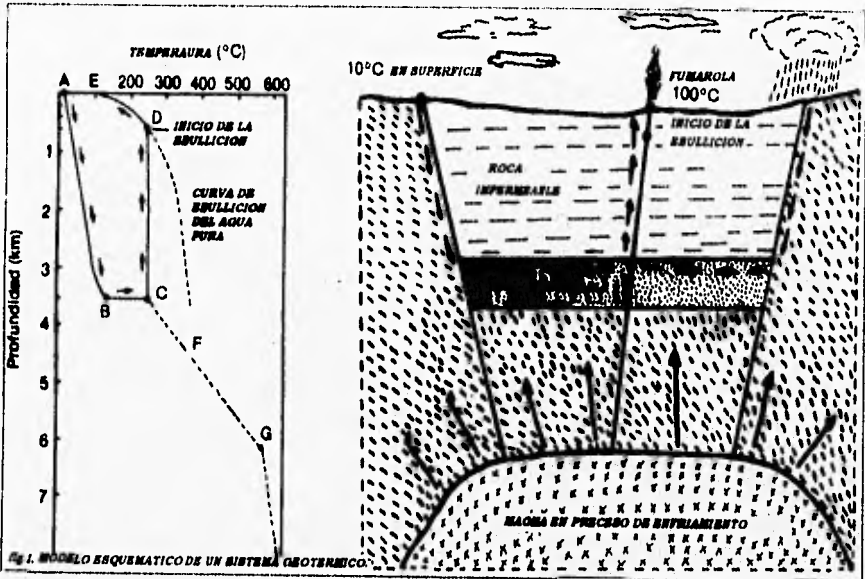


Fig. 1. MODELO ESQUEMATICO DE UN SISTEMA GEOTERMICO

La fuente de calor local para un sistema geotérmico es generalmente un cuerpo intrusivo entrampado a profundidad, o una cámara volcánica que, después de completar su ciclo eruptivo, empieza a solidificarse y enfriarse a profundidad. En cualquier caso, el magma se encontrará en su última fase evolutiva, de las tres o cuatro en las que se acostumbra dividir la evolución magmática.

El origen de los sistemas geotérmicos es el mismo que el de los magmas. Estos, que son materiales total o parcialmente fundidos, ricos en sílice y con cristales o fragmentos líticos en suspensión y constituyentes volátiles en solución, se originan por la fusión local de la litósfera debida a la aparición de disequilibrios físicoquímicos en las zonas sujetas a inestabilidad tectónica de la litósfera terrestre. Estas zonas son esencialmente las partes límites entre dos placas litosféricas, así como los denominados puntos calientes localizados en la porción interior de las placas. Por lo tanto, los límites entre las diversas placas tectónicas, en los que ocurren los fenómenos de pérdida y aparición de la corteza terrestre, representan zonas favorables para la existencia de sistemas geotérmicos susceptibles de ser aprovechados para la generación de energía eléctrica.

Muchos países, entre ellos México, utilizan la energía geotérmica para la generación de electricidad mediante centrales geotermoelectricas. Sin embargo, las repercusiones de la geotermia en el consumo energético todavía no son significativas, ni lo serán a corto plazo. Por lo tanto, la geotermia no puede considerarse

como una alternativa al empleo del petróleo, sino como un complemento.

Aún considerándolo como un energético complementario de los combustibles fósiles, la geotermia ocupa un lugar cada vez más importante; así lo demuestra el constante incremento en la capacidad instalada mundial de plantas geotermoeléctricas. Esto parece indicar, que a nivel internacional, hay cada vez mayor conciencia de la necesidad técnica de diversificar las fuentes de energía.

Hacia finales de 1985, 17 países empleaban sus recursos geotérmicos para generar energía eléctrica, con plantas que ya estaban en plena operación comercial o a punto de entrar en ella [GUTIERREZ NEGRIN (1987)].

La variedad de capacidad instalada era muy amplia; desde Grecia que apenas terminó su primera planta geotermoeléctrica con 2 MW de capacidad, hasta Estados Unidos con 56 unidades generadoras y más de 2000 MW de capacidad instalada. México, con 645 MW, ocupó un tercer lugar, con la mayor parte de su capacidad instalada en el campo geotérmico de Cerro Prieto, Baja California, donde hay 620 MW, y el resto en el campo de los Azufres, Michoacán (GUTIERREZ NEGRIN (1987)).

En el Cuadro I se presentan los datos referentes a la capacidad Geotermoeléctrica mundial instalada hasta 1990 y las estimaciones para 1995 (GUTIERREZ NEGRIN (1991)).

Cuadro I. Capacidad Geotermoeléctrica instalada 1985-1995.

País	1985 (MWe)	1990 (MWe)	1995 (MWe)
Estados Unidos	2022	2777	3170
Filipinas	984	894	2164
México	645	700	950
Italia	519	545	885
Nueva Zelanda	167	293	342
Japón	215	215	260
Indonesia	32	142	380
El Salvador	95	95	180
Kenia	45	45	
Islandia	39	45	
Nicaragua	35	35	
China	14	21	
Turquía	21	20	
Unión Soviética	11	11	
Francia	4	4	
Portugal	3	3	
Taiwán	3	3	
Grecia	2	2	12
Tailandia	0	0.30	3
Totales	4760	5847	

Apesar de los problemas económicos significativos en el horizonte mundial, la geotermia sigue siendo, una de las fuentes alternas de energía más importantes del planeta. La generación de electricidad por medios geotérmicos crece en el mundo a una tasa ligeramente mayor al 12 % anual, mientras que en nuestro país, desde 1982 hasta 1987 la geotermoelectricidad se incrementó a una tasa media anual del 29 %. Esto significó un crecimiento de 94 MW instalados cada doce meses en promedio.

La trascendencia de este recurso será más patente en el futuro mediano, cuando logremos explotar lo que actualmente se conoce como geotermia profunda, la cual abarca los magmas, los fondos marinos y la perforación a más de 5 Km de profundidad.

La actividad geotérmica en nuestro país está relacionada sin duda con la actividad volcánica, las manifestaciones más evidentes son los volcanes con mayor o menor grado de actividad, desde las emanaciones y fumarolas en volcanes aparentemente inactivos como el Popocatepetl, la lava al rojo vivo como en el volcán de Colima y las erupciones recientes en el volcán Chichonal en Chiapas.

La exploración geotérmica en México se inició desde la década de los cincuentas. Como cabe suponer, las técnicas y métodos empleados han evolucionando al ritmo que lo ha hecho el desarrollo de la geotermoelectricidad, tanto en México como en el resto del mundo. Por lo anteriormente citado, resulta sorprendente que después de más de cuarenta años, en la actualidad el país solo cuenta con tres

campos con producción Geotermoeléctrica (Cerro Prieto, B.C., Los Azufres, Mich. y Los Humeros, Pue.) y otro en proceso de iniciar la generación de geotermoelectricidad (La primavera, Jal.). Sin embargo debe tenerse en cuenta que las actividades de exploración geotérmica se iniciaron a principios de la década de los ochentas, al integrarse formalmente la gerencia de proyectos geotermoeléctricos.

Adicionalmente, en este lapso de tiempo solo se han explorado con perforación, parcial o completamente otras seis zonas con resultados diversos: Ríto, Ejido Zacatecas; Ejido Guadalupe Victoria y Ejido Tulechek, todas en las cercanías de Cerro Prieto, B. C., Araró Mich., San Marcos Jal., y las Derrumbadas Pue.

CAPITULO II. LA ENERGIA GEOTERMICA EN MEXICO

II.1. GENERALIDADES.

II.1.1. Exploración geotérmica.

Los estudios de exploración de una zona geotérmica se dividen en dos etapas:

- 1). Los estudios superficiales.
- 2). La perforación profunda.

La primera comprende los trabajos realizados antes de efectuar perforaciones profundas, y tiene como finalidad evaluar el recurso geotérmico probable con métodos superficiales indirectos y proponer una estrategia para las perforaciones de pozos profundos.

La segunda etapa consiste en llevar a cabo las perforaciones profundas, cuyo propósito es demostrar la existencia del recurso geotérmico, cuantificar las reservas e iniciar la producción de vapor para la generación de energía eléctrica.

II.1.2. Estudios superficiales.

En esta etapa se llevan a cabo estudios geológicos, geoquímicos y geofísicos de detalle.

Los estudios geológicos tienen por objeto definir el marco vulcanotectónico de la zona e identificar la actividad hidrotermal en superficie. Se consideran atractivas aquellas zonas donde la tectónica de tipo extensional es activa o muy reciente, ya que estas favorecen el emplazamiento de cuerpos magmáticos en niveles someros de la corteza terrestre que actúan como fuentes de calor del sistema hidrotermal. El reflejo superficial de estos cuerpos es el vulcanismo diferenciado. Los estudios consisten en la

cartografía de las unidades geológicas aflorantes, las manifestaciones, las zonas de alteración hidrotermal, las fallas y fracturas superficiales, así como un muestreo de rocas para análisis químicos y dataciones radiométricas. Esta información se integra en un modelo de la evolución estructural y volcánica de la zona y una evaluación preliminar de sus posibilidades geotérmicas.

Los estudios geoquímicos consisten, por una parte, en la realización de análisis químicos e isotópicos de manantiales y fumarolas, que tienen por objeto conocer el origen del agua, de los gases y su historial en la corteza terrestre. Estos también se emplean para estimar las temperaturas del supuesto sistema hidrotermal, mediante la aplicación de modelos de equilibrio agua-gas-roca y modelos de mezcla agua geotérmica-agua subterránea somera. Por otra parte, se efectúan estudios de contenido de elementos "fuga", como radón y mercurio en suelos, y amoníaco y boro en aguas subterráneas someras. Se supone que estos elementos "fuga" se escapan de los sistemas hidrotermales debido a su volatilidad y pueden ser detectados en la superficie del terreno. Finalmente, mediante técnicas estadísticas se identifican las zonas con concentraciones anormales que se relacionan con los sistemas hidrotermales.

Los estudios geofísicos tienen por objeto definir las zonas de mayor interés en superficie e inferir una probable geometría a profundidad del sistema hidrotermal. En prospección geotérmica se utilizan los levantamientos gravimétricos, magnetométricos, sondeos eléctricos verticales, sondeos magnetotelúricos y estudios de

termometría.

Los estudios gravimétricos tienen por objeto identificar estructuras importantes, configurar el basamento relativo de la zona e identificar cuerpos intrusivos a profundidad. Los estudios magnetométricos se utilizan también, para identificar estructuras importantes a profundidad.

Los sondeos eléctricos verticales y magnetolúricos tienen por objeto identificar estratos conductores que puedan asociarse a sistemas hidrotermales, así como estructuras importantes.

Los métodos termométricos son los únicos que directamente miden la energía térmica. Su aplicación está limitada por la escasez de personal especializado y por sus costos relativamente elevados, ya que se requiere la perforación de pozos hasta 50 m (termometría somera) o hasta 600 (termometría a profundidades intermedias). El objetivo de estos estudios es identificar flujos de calor anormales hacia la superficie, cuantificar mediante la descarga natural de calor los gradientes de temperatura y medir flujos de calor a profundidades someras e intermedias.

Si el resultado de los estudios anteriores es positivo, se cuantifica el recurso existente mediante un modelo volumétrico con parámetros inferidos de los estudios mencionados. A la cantidad del recurso térmico obtenido se le aplica un factor de recuperabilidad y un factor de conversión de energía térmica a eléctrica, para estudiar la capacidad potencial de generación de la zona.

Finalmente se propone también, la estrategia de perforación de tres pozos profundos (1 500 m a 2 500 m).

II.1.3. Perforación de pozos profundos.

Estos pozos tienen como finalidad probar la existencia del recurso geotérmico, cuantificar la reserva de energía térmica en el volumen de roca definido por las perforaciones, que puede transformarse en energía eléctrica, producir vapor suficiente para generar alrededor de 5 MW y 10 MW y probar el comportamiento del yacimiento.

Durante la perforación de los pozos se realizan los siguientes estudios y registros:

- Muestreo de núcleos para estudios petrofísicos.
- Muestreo de recorte de perforación para estudios de petrografía primaria, mineralogía de alteración hidrotermal e inclusiones fluidas.
- Muestreo de lodos para análisis químicos de elementos indicadores de zonas productoras.
- Registros de presión y temperatura.
- Registros Geofísicos.
- Pruebas de inyección-recuperación.

Al concluir la perforación y después del montaje de las instalaciones superficiales indispensables, se realiza una evaluación completa del pozo para determinar su producción de vapor y agua, bajo condiciones similares a las que operaría una vez instalada la unidad generadora. Dicha evaluación consta de dos partes: una preliminar, previa a la instalación de un separador centrífugo de mezcla, y otra definitiva. En la parte preliminar se utiliza el método conocido como de Russell James, el cual es muy sencillo, rápido y permite obtener datos aproximados, mientras que en la evaluación definitiva se utiliza el método ASME (GUTIERREZ NEGRIN (1989)), obteniéndose así las curvas características del

pozo.

II.2. DESARROLLO DE LA GEOTERMIA EN MEXICO.

Los primeros estudios para el aprovechamiento en México de los fluidos geotérmicos aparte de los balnearios, se iniciaron en la década de los cincuentas, cuando en Pathé, Hgo., se perforaron 12 pozos con profundidades entre 250 y 1200 m. En 1958 se instaló, en este campo, la primera planta geotermoeléctrica de América con capacidad de 2.5 MWe / H (aunque sólo produjo 600 MW / H).

La baja temperatura del yacimiento y los problemas de explotación provocaron el cierre del campo en 1968; pero los resultados y la experiencia obtenida en él propiciaron la perforación exploratoria en los campos de Cerro Prieto, BCN. (Fig. II.2.), y en Ixtlán de los Hervores, Mich. en 1959.

Como parte de la evaluación geotérmica de todo el país la CFE ha realizado estudios de reconocimiento, así como una evaluación regional en 21 estados de la república quedando únicamente 4 por evaluar: Veracruz, Oaxaca, Chiapas y Guerrero.

Los estados restantes: Yucatán, Campeche, Quintana Roo, Tabasco, Tamaulipas, Nuevo León y el Distrito Federal se consideran con escaso potencial geotérmico.

Entre 1975 y 1985 se realizaron estudios de reconocimiento en 27 zonas geotérmicas de las cuales solo 16 de ellas resultaron de interés, recomendándose en éstas la perforación de pozos exploratorios (Cuadro II.2.A.).

Sin embargo, solo se han perforado seis zonas, en tres de las cuales la perforación quedó incompleta por diversas causas (Araró, Mich.; Las Derrumbadas, Pue. y Tulecheck, Baja California); en dos se encontraron fluidos geotérmicos de baja entalpía (Guadalupe Victoria y Rifto, Baja California) y sólo en una la perforación resultó negativa (San Marcos, Jal.).

Queda pendiente la perforación exploratoria en diez zonas geotérmicas y completar la perforación en tres zonas más; es decir un total de trece zonas con elevada probabilidad de potencial geotérmico (GUTIERREZ NEGRIN (1987)).

Cuadro II.2.A. Zonas de interés Geotérmico.

Zona Geotérmica	Estado	Perforación Exploratoria	Condición actual
1. Tulecheck	Baja California	Realizada	Perf. Incompleta
2. Las derrumbadas	Pue.	Realizada	Perf. Incompleta
3. Araró	Mich.	Realizada	Perf. Incompleta
4. Rifto	Baja California	Realizada	Baja Entalpía
5. G. Victoria	Baja California	Realizada	Baja Entalpía
6. San Marcos	Jalisco	Realizada	Descartada
7. Laguna Salada	Baja California	Recomendada	Perf. Superficial
8. Pathé-Taxido	Hidalgo	Recomendada	Perf. Superficial
9. Ixtlán de los Hervores	Michoacán	Recomendada	Pref. Superficial
10. Aeropuerto	Baja California	Recomendada	Sin Perforar
11. Los Negritos	Michoacán	Recomendada	Sin Perforar
12. Cuitzeo	Michoacán	Recomendada	Sin Perforar
13. San Bartolomé de los Baños	Guanajuato	Recomendada	Sin Perforar
14. Las Planillas	Jalisco	Recomendada	Sin Perforar
15. Las Tres Virgenes	B. Cal. Sur	Recomendada	Sin Perforar
16. Volcán Ceboruco	Nayarit	Recomendada	Sin Perforar

II.2.1. CAMPO GEOTERMICO DE CERRO PRIETO, B.C.N.

En Cerro Prieto se confirmó la presencia del recurso geotérmico comercialmente explotable en 1964.

En 1973 se inició la operación de dos unidades, cada una con capacidad de 37 500 KW y en 1979 se construyeron dos unidades adicionales, por lo que la capacidad instalada en esa época sumó 150 000 KW. Aprovechando el agua separada de Cerro Prieto I, se instaló una planta de doble flasheo, con capacidad de 30 000 KW.

Estudios posteriores, permitieron la construcción de Cerro Prieto II, con dos unidades de 110 MW cada una, y la de Cerro Prieto III, con dos unidades de 110 MW también. Estas plantas son de doble Flasheo, la capacidad total de este campo es de 620 000 KW.

Recientemente han sido hechas perforaciones exploratorias en la parte NW del campo, así como estudios de yacimientos que han permitido considerar la posible construcción de Cerro Prieto IV con capacidad similar a la de los campos II Y III. En el campo de Cerro Prieto se han perforado en la actualidad alrededor de 140 pozos geotérmicos, cuya profundidad varía entre los 750 m, para los más someros hasta los 4125 m, para el más profundo. La información obtenida a través de esos pozos, así como numerosos estudios multidisciplinarios realizados en el campo, han permitido estimar un volumen de roca caliente a más de 250 °C en el subsuelo que fluctúa entre 23 y 54 Km³, en el que se predice un volumen de fluidos geotérmicos de 4 Km³, equivalente a un mínimo de 3 500 millones de toneladas de vapor geotérmico. Por lo anterior se puede decir que el campo tiene una capacidad para generar otros 220 MW, con lo que podría llegar a los 840 MW [Gutiérrez Negrín (1989)].

En 1994 se produjeron 44,80 millones de toneladas de vapor lo que representa el 80% del total producido en el país. Dicha producción equivale a un promedio de 5 113 toneladas por hora de vapor durante todo el año, cuyo máximo mensual ocurrió en el mes de agosto con un promedio de 5 222 toneladas por hora.

Las nueve unidades de Cerro Prieto generaron en 1994 un total de 4 813 GWh con una generación media mensual de 401 GWh en el mes de octubre.

Con relación al año de 1993, la generación en 1994 fue un 4% inferior, ya que en ese año se produjeron 5 019 GWh, el máximo histórico de Cerro Prieto (GUTIERREZ NEGRIN (1995)).

II.2.2. CAMPO GEOTERMICO DE LOS HUMEROS PUEBLA.

Este campo se localiza entre la parte oriental del estado de Puebla y la parte occidental del estado de Veracruz, a 30 Km de Perote Ver. Se encuentra dentro de una caldera volcánica de edad cuaternaria, denominada caldera de los Humeros, que forma parte del Eje Volcánico Transmexicano (fig. II.2.).

Se han perforado 20 pozos geotérmicos, con profundidades que varían entre 1 450 y 3 100 m; los resultados de esas perforaciones, así como los estudios de geología, geofísica y geoquímica, indican que los fluidos geotérmicos están en andesitas que tienen un espesor de 1 600 m.

Se ha detectado la presencia de un acuífero profundo, de dimensiones regionales que al calentarse, constituye el yacimiento geotérmico. Se ha considerado que la fuente de calor podría ser una

cámara magmática ubicada a 5 Km de profundidad al sur del colapso central. Lo que hasta el momento se conoce del yacimiento geotérmico tener un volumen de 9 a 10 Km³ de roca a más de 250 ° C, en el que cabrían 1.4 Km³ de fluidos geotérmicos. Los datos conocidos permitieron a C.F.E. a través de la simulación del yacimiento, establecer que se podrían generar 55 MW durante un mínimo de 20 años, mediante varias unidades turbogeneradoras a boca de pozo [Gutiérrez Negrín (1989)].

De los 20 pozos perforados solo dos presentan problemas mecánicos debidos a la elevada corrosión de algunos fluidos.

La capacidad geotermoeléctrica instalada es de 35 MW, distribuidos en siete unidades a contrapresión de 5 MW cada una. Su producción de vapor durante 1994 fue de 3.6 millones de toneladas, equivalentes a un promedio anual de 410 toneladas por hora. La mayor producción media ocurrió en el mes de diciembre con 453 toneladas por hora de vapor.

Durante el año estuvieron integrados al sistema de vaporductos una media de 16 pozos productores, cuya producción promedio resultó ser de poco menos de 26 toneladas por hora de vapor. Es una producción bastante menor a la que tuvieron los pozos productores en Cerro Prieto y los azufres, lo que refleja la menor permeabilidad de las rocas que contienen al yacimiento en los Humeros (GUTIERREZ NEGRIN (1995)).

II.2.3. CAMPO LA PRIMAVERA, JALISCO.

Este campo se encuentra a 15 Km al poniente de Guadalajara (fig. II.2.), en la porción occidental del Eje Neovolcánico, en una zona que desde el punto de vista tectónico regional es muy importante. Los estudios geohidrológicos detectaron la presencia de un acuífero profundo cuya zona de recarga estaría al sureste de Cajititlán, Jalisco, este acuífero profundo es el que constituye el yacimiento geotérmico en el interior de la caldera.

Hasta el momento se ha explorado la porción central de la caldera con pozos profundos; los fluidos se encuentran a una profundidad entre 2 000 y 2 800 m, aunque localmente pueden hallarse a profundidades menores, hasta de 1 500 m asociados a estructuras que permiten su ascenso.

Hasta la fecha se han perforado 12 pozos, con profundidades que van desde 668 m, para un pozo que no pudo continuarse por problemas de perforación, hasta los 2 900 m. para el más profundo.

Se han alcanzado temperaturas estabilizadas superiores a 320 °C.

Solo uno de esos pozos que se perforó en el borde occidental de la caldera, resultó con temperaturas bajas. No han terminado de probarse, estudiarse y evaluarse todos los pozos, por lo que el vapor disponible en la actualidad apenas sería suficiente para producir con seguridad 110 MW; sin embargo, las estimaciones realizadas mediante los diversos estudios efectuados sugieren un volumen de reservas probables suficientes para generar 68 MW [Gutiérrez Negrín (1989)].

De los pozos perforados, seis de ellos han sido evaluados,

confirmándose una producción de vapor suficiente para instalar dos unidades a contrapresión de 5 MW cada una.

En este campo las actividades exploratorias fueron suspendidas desde 1989 a solicitud del gobierno estatal, careciéndose actualmente de los permisos necesarios en materia ambiental (GUTIERREZ NEGRIN (1995)).

II.2.4. CAMPO GEOTERMICO DE LOS AZUFRES, MICHOACAN.

Han sido instaladas 8 unidades turbogeneradoras a boca de pozo, que generan cada una 5 MW, dando un total de 40 MW.

En 1989 se instaló la planta turbogeneradora Tejamaniles, con una capacidad de 50 MW en el sur del campo y se tiene pensado construir en el futuro otras dos unidades de 50 MW, localizadas, una en el sector sur y otra en el norte del campo. A la fecha se han perforado 54 pozos, 30 productores, 10 inyectores y 14 sin uso, o en observación.

Considerando los datos tanto de los pozos como de los diversos estudios geológicos, geofísicos y geoquímicos, se ha estimado que las dimensiones probables del yacimiento son un volumen probable de roca con temperatura mínima de 250 °C que fluctúan entre 19 y 33 Km³, cabe esperar un volumen "In Situ" de fluidos geotérmicos de 2.7 Km³, el vapor en el yacimiento de los Azufres sería suficiente para generar en conjunto, entre 220 y 330 MW, durante 35 años [Gutiérrez Negrín (1989)].



Fig. 11.2. Campos Geotérmicos.

II.3. ZONAS GEOTERMICAS DE INTERES.

A partir de los reconocimientos geológicos, geoquímicos y geofísicos desarrollados en casi todo el país, se han identificado diversas zonas geotérmicas (fig. II.3.) en las que se han llevado a cabo los estudios superficiales reseñados en la primera etapa de la exploración.

A continuación se presenta una lista de las principales zonas de interés geotérmico, así como una lista de las zonas de menor interés.

Zonas Geotérmicas de Interés.

1. Las Planillas, Jalisco.
2. Las Tres Vírgenes, Baja California Sur.
3. Volcán Ceboruco, Nayarit.
4. La Soledad, Jalisco.
5. Araró, Michoacán.
6. Pathé, Hidalgo.
7. Caldera de Aocolco, Puebla.
8. Las Derrumbadas, Puebla.
9. Tetitlan - Valle Verde, Nayarit.
10. Tepic - San Juan, Nayarit.
11. San Antonio El Bravo (Ojinaga), Chihuahua.
12. Los Negritos, Michoacán.
13. Ixtlán de los Hervores, Michoacán.
14. Puruándaro, Michoacán.
15. Los Hervores-El Molote, Nayarit.
16. El Orito-Los Borbollones, Jalisco.

17. Santa Cruz de Atistique, Jalisco.

18. Hervores de la Vega, Jalisco.

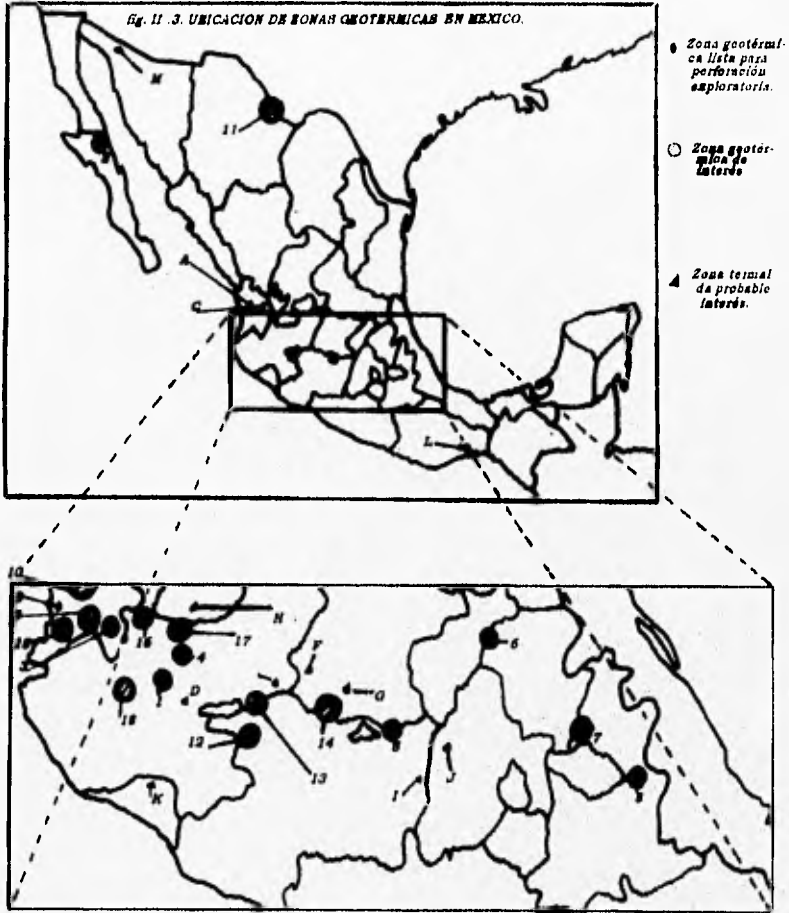
Además de las 18 zonas geotérmicas mencionadas, existen otras de menor interés, pero que merecen ser nombradas debido al probable potencial geotérmico que representan (fig. II.3.).

A continuación se presenta una lista de las zonas geotérmicas referentes.

Zonas Geotérmicas de Menor Interés.

- A. Coyotlan-San Diego, Nay.
- B. La Palma-Los Tepetates, Nay.
- C. Río Santiago, Nay.
- D. San Juan Cosala, Jalisco.
- E. Santa Rita-Agua Caliente, Jalisco.
- F. La Playa, Guanajuato.
- G. Valle de Santiago, Guanajuato.
- H. La Media Luna-Santa Rosa, Zacatecas.
- I. Domos de Zitácuaro, Michoacán.
- J. Volcán de Jocotepec, México.
- K. Complejo Volcánico de Colima.
- L. Nisanda-La Mata, Oaxaca.
- M. El Pinacate, Sonora.

Fig. 11.3. UBICACION DE ZONAS GEOTERMICAS EN MEXICO.



II.3.1. LAS PLANILLAS, JALISCO.

Se ha considerado que la fuente de calor en esta zona podría ser, a profundidad, la misma que para el cercano campo de la Primavera.

II.3.2. LAS TRES VIRGENES, B.C.S.

La fuente de calor del probable yacimiento sería la cámara magmática que originó al volcán más joven, cuya edad permite suponer las temperaturas suficientes para generar un yacimiento geotérmico. Los únicos inconvenientes para el desarrollo del campo podrían ser, la continua sismicidad reportada por los lugareños y lo escaso de la recarga hidráulica del acuífero.

II.3.3. VOLCAN CEBORUCO, NAYARIT.

Las principales manifestaciones termales son fumarolas y suelos calientes con temperaturas hasta de 92 °C. El geotermómetro de D' Amore y Panichi revela una temperatura de fondo de 246 °C.

II.3.4. LA SOLEDAD, JALISCO.

Se considera que la fuente de calor sería la cámara magmática generadora de los últimos domos y derrames riolíticos, en tanto que la roca almacenadora de los probables fluidos geotérmicos sería la secuencia andesítica que constituye el basamento local y que es correlacionable con las rocas almacenadoras del campo geotérmico la Primavera, distante a unos 30 Km. Existe, adicionalmente, un importante acuífero profundo que actuaría como recarga eventual del yacimiento.

II.3.5. ARARO, MICHOACAN.

Se considera que en caso de existir un yacimiento geotérmico, este podría estar contenido en un paquete de rocas de edad miocénica que presenta un alto índice de fracturamiento, condición favorable para alojar a los fluidos que se infiltran debido a la importante recarga local.

II.3.6. PATHE, HIDALGO.

Se trata de una amplia zona con manifestaciones termales. En el área de Pathé las aguas de los manantiales tienen temperaturas bajas (máximas de 38 °C). El geotermómetro de potasio-sodio revela temperaturas de fondo hasta de 214 °C.

II.3.7. CALDERA DE OCOCULCO, PUEBLA.

Las manifestaciones termales en la caldera y sus alrededores son manantiales calientes con temperaturas de fondo de 239 °C según el geotermómetro de potasio-sodio. En manantiales de alrededor, considerados como una descarga lateral del posible yacimiento geotérmico, se calculó una temperatura de 273 °C según el geotermómetro.

II.3.8. LAS DERRUMBADAS, PUEBLA.

El probable yacimiento geotérmico podría estar alojado en calizas arrecifales de plataforma (formaciones Orizaba y Guzmantla), que presentan condiciones adecuadas de porosidad y permeabilidad, la fuente de calor estaría constituida por la cámara magmática que originó a los domos, cuya edad implica temperaturas probablemente

suficientes para generar un yacimiento aprovechable.

II.3.9. TETITLAN-VALLE VERDE, NAYARIT.

Existen numerosos manantiales termales que afloran en los extremos de la superficie cubierta por los productos volcánicos, la máxima temperatura medida fue de 48 °C.

II.3.10. TEPIC-SAN JUAN, NAYARIT.

Las temperaturas superficiales de los manantiales son relativamente bajas (36 °C), sin embargo el geotermómetro de potasio-sodio calculó temperaturas de fondo de 256 °C.

II.3.11. SAN ANTONIO EL BRAVO (OJINAGA), CHIHUAHUA.

En la zona se encuentra un conjunto de once manantiales termales con temperaturas entre 36 y 90 °C. Con temperaturas máximas de fondo, calculadas con el geotermómetro potasio-sodio, de 233 °C.

II.3.12. LOS NEGRITOS, MICHOACAN.

Las manifestaciones termales tienen temperaturas entre 30 y 82 °C

e incluyen manantiales, fumarolas y volcanes de lodo. Las temperaturas de fondo calculadas por el geotermómetro potasio-sodio son de 243 °C, mientras que la geotermometría de gases revela temperaturas de fondo de 219 °C.

II.3.13. IXTLAN DE LOS HEVORES, MICHOACAN.

La actividad termal consiste en manantiales y volcanes de lodo con una temperatura superficial máxima de 90 °C. La temperatura de fondo calculada con el geotermómetro potasio-sodio es de 221 °C. La geotermometría de gases reporta temperaturas similares (218 °C).

II.3.14. PURUANDIRO, MICHOACAN.

Existen numerosos manantiales con temperaturas superficiales que varían de 30 a 48 °C, la máxima temperatura de fondo calculada con el geotermómetro potasio-sodio es de 167 °C, lo que podría deberse a la disolución de los fluidos profundos con los acuíferos someros.

II.3.15. HERVORES-EL MOLOTE, NAYARIT.

En la zona se encuentran abundantes manantiales con temperaturas entre 28 y 90 °C. El geotermómetro potasio-sodio indica temperaturas de fondo de 233 °C.

II.3.16. EL ORITO-LOS BORBOLLONES, JALISCO.

En el área de los Borbollones se presentan 15 manifestaciones termales con temperaturas superficiales entre 49 y 97 °C en una superficie de 2.5 Km². Las temperaturas máximas de fondo según el geotermómetro de potasio-sodio son de 189 a 196 °C.

II.3.17. SANTA CRUZ DE ATISTIQUE, JALISCO.

La principal zona de manifestaciones incluye chorros de agua a presión con temperaturas de 64 a 97 °C , así como suelos calientes y una área de alteración hidrotermal de aproximadamente 4500 m². Calculándose temperaturas de fondo máximas de 230 °C con el geotermómetro potasio-sodio.

II.3.18. HERVORES DE LA VEGA, JALISCO.

Las temperaturas superficiales varían entre 82 y 97 °C. El geotermómetro de gases indica temperaturas de fondo de 244 °C.

II.4. OTRAS ZONAS DE PROBABLE INTERES GEOTERMICO.

Además de las dieciocho zonas geotérmicas que se acaban de mencionar, en las que se han llevado a cabo diversos estudios de prefactibilidad con distintos grados de detalle, los reconocimientos geológicos y geoquímicos regionales han recomendado el desarrollo de mayores estudios en otras zonas del país. Se trata en estos casos de zonas en las que existe un conocimiento mucho menor de las que se describieron antes, pero en las que es recomendable continuar los estudios señalados en la primera etapa de la exploración, a fin de conseguir más datos para recomendar la perforación exploratoria o descartarlas como zonas de interés geotérmico.

A continuación se presenta la relación de estas zonas:

II.4.1. COYUTLAN- SAN DIEGO, NAYARIT.

Las principales manifestaciones son manantiales y hervideros de

lodo con temperaturas hasta de 79 °C. Las temperaturas de fondo calculadas son de 185 °C.

II.4.2. LA PALMA-LOS TEPETATES, NAYARIT.

Son dos manantiales puntuales de bajo gasto y temperaturas de 45 y 59 °C. Afloran en el cauce del Río la Confiscada. Se le calculó una temperatura de fondo de 230 °C.

II.4.3. RIO SANTIAGO, NAYARIT.

Los manantiales tienen temperaturas medias entre 67 y 80 °C. Las temperaturas máximas de fondo calculadas, son de 170 °C.

II.4.4. SAN JUAN COSALA, JALISCO.

Los manantiales tienen temperaturas medias entre 37 y 89 °C. Calculandose una temperatura de fondo de 158 °C.

II.4.5. LA PLAYA, GUANAJUATO.

Es una zona de intensa alteración hidrotermal de unos 800 m de diámetro, con tres pequeños manantiales con temperaturas máximas de 42 °C. Las temperaturas de fondo calculadas son de 115 °C.

II.4.6. SANTA RITA-AGUA CALIENTE, JALISCO.

Las principales manifestaciones son manantiales con temperaturas superficiales entre 30 y 77 °C. Las temperaturas de fondo calculadas según el geotermómetro de potasio-sodio son de 160 °C.

II.4.7. VALLE DE SANTIAGO, GUANAJUATO.

El análisis químico de las aguas no resultó de mayor interés ya que el geotermómetro de potasio-magnesio indicó temperaturas de fondo de alrededor de 80 °C.

II.4.8. MEDIA LUNA-SANTA ROSA, ZACATECAS.

El área de la Media Luna, presenta manifestaciones con temperaturas máximas de 50 °C, mientras que la Santa Rosa presenta temperaturas hasta de 73 °C. Las temperaturas máximas de fondo calculadas, según el geotermómetro de potasio-sodio son de 160 °C.

II.4.9. LOS DOMOS DE ZITACUARO, MICHOACAN.

No se ha efectuado ningún tipo de estudios en esta zona por habersele considerado sin mayor importancia termal.

II.4.10. COMPLEJO VOLCANICO DE COLIMA.

Este complejo está compuesto por dos volcanes cuaternarios, uno de los cuales, el Volcán de Fuego, está aún activo y presenta posibilidades de una nueva erupción.

Es evidente que el potencial geotérmico del complejo es muy elevado, pero no puede explotarse sencillamente debido a su alto riesgo eruptivo.

II.4.11. VOLCAN DE JOCOTEPEC, MEXICO.

La complejidad y magnitud del volcán sumados a lo reciente de sus productos, sugieren la presencia de una cámara magmática emplazada bajo este cuerpo volcánico, la cual podría ser la causa del ligero

termalismo (39 °C) detectado en aguas de los pozos perforados al sur del volcán, en el valle de Ixtlahuaca.

II.4.12. NISANDA- LA MATA, OAXACA.

Al norte de Juchitán, Oax., se localizan dos zonas de manantiales termales con temperaturas de 44 °C. Las temperaturas de fondo calculadas según el geotermómetro de potasio-sodio son de 221 °C.

II.4.13. EL PINACATE, SONORA.

No se han reportado manifestaciones termales dentro del complejo volcánico, lo cual podría deberse a la escasa precipitación pluvial de la zona. Hasta el momento solo se han efectuado trabajos bibliográficos (GUTIERREZ NEGRIN (1989)).

II.5. Proyectos geotermoeléctricos.

En lo referente a la exploración de nuevas zonas geotérmicas, en 1994 se perforaron pozos exploratorios en las zonas siguientes: Las tres Vírgenes, El Ceboruco-Domo San Pedro, Laguna Salada, Pathé y Las derrumbadas. Asimismo, en febrero de 1995 se inició la perforación de nuevos pozos en las zonas de la caldera de Acoculco y Los Negritos (fig. II.5.)(GITIERREZ NEGRIN (1995)).

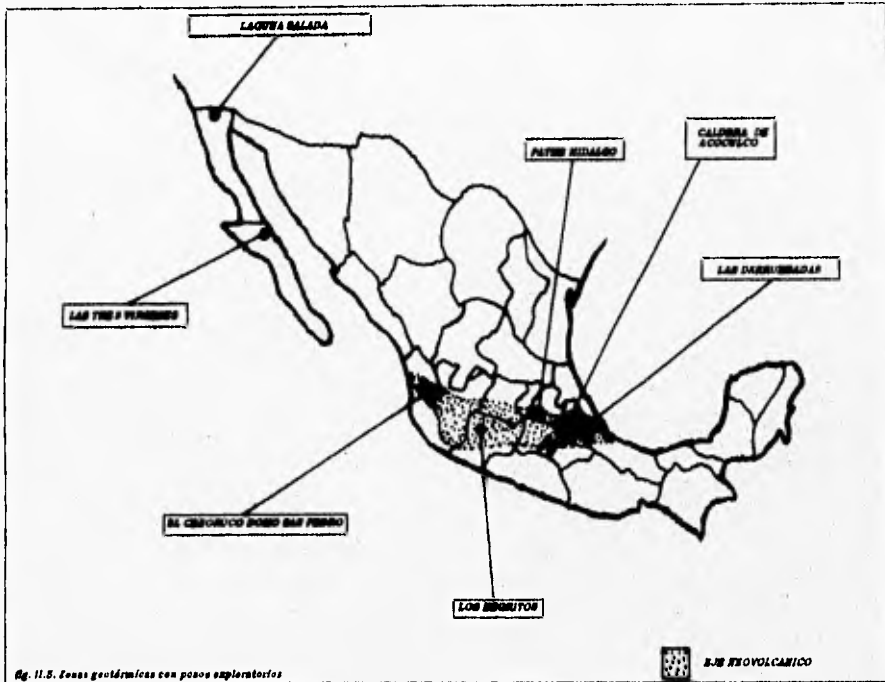


Fig. 11.5. Minas geodíamicas con pozos exploratorios

CAPITULO III. CONSTRUCCION DE UN POZO GEOTERMICO.

III.1. FLUIDOS DE PERFORACION.

Para la perforación de pozos geotérmicos se utiliza un equipo de perforación rotatoria, que requiere entre otras cosas de un fluido de perforación, así como de un sistema de circulación para dicho fluido (Fig. III.1.).

En general los lodos utilizados durante la perforación, son preparados a base de bentonita de sodio como material viscosificante y agua como fase líquida; además de aditivos como Spersene, XP-20, carbonato de sodio, sosa cáustica, y diesel, los cuales se adicionan conforme las condiciones de perforación lo requieren.

Por ejemplo, cuando se inicia la perforación, se utiliza sólo lodo bentonítico, pero a medida que se va avanzando, la temperatura y el contenido de sólidos aumentan, por lo que es necesario agregarle adelgazantes y estabilizadores de temperatura, para lo cual se emplea el Spersene, XP-20 y diesel.

La sosa cáustica se emplea para aumentar el PH a un rango de 9 a 10, ya que si se trabaja con un PH bajo, el índice de corrosión aumenta.

El carbonato de sodio se utiliza cuando se empieza a perforar después de haber cementado una sección del agujero, ya que este aditivo ayuda a combatir la contaminación del lodo debido al cemento que se está rebajando.

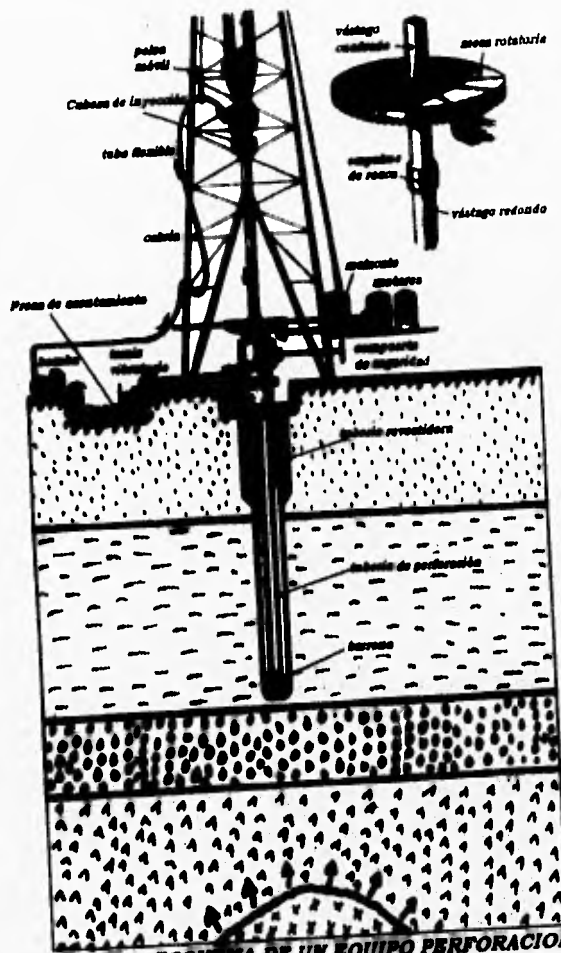


Fig. III. 1. ESQUEMA DE UN EQUIPO PERFORACION.

Cuando ocurren problemas de pérdida de circulación debido a fracturas de la formación, se utilizan obturantes de varios tipos mezclados con el lodo de perforación, y cuando con estos procedimientos no se logra solucionar el problema, entonces se procede a colocar tapones de cemento, operación que origina un considerable retraso en la perforación (A. SANCHEZ et.al. (1982)).

III.2. PERFORACION DE UN POZO GEOTERMICO.

III.2.1. PRIMERA ETAPA: PREPARACION PARA LA PERFORACION.

En el sitio definido para la perforación, se construye una plataforma de terracería de 70 por 60 m, y un camino de acceso. Sobre la plataforma se coloca el equipo bien centrado en la sección donde se va a perforar.

Antes de iniciar la perforación se hace un contrapozo, el cual sirve para facilitar la instalación y la operación de los equipos para controlar el pozo (válvula maestra, preventores etc.).

Después de terminado el contrapozo, se prepara el fluido de perforación, y posteriormente se construyen dos agujeros auxiliares de diámetro pequeño y poca profundidad: el agujero de rata, que tiene una profundidad de 13 m y sirve para guardar la flecha de perforación (Kelly), y el agujero de ratón que tiene 9 m de profundidad y sirve para contener la tubería durante conexiones rápidas. Una vez terminados estos agujeros se procede a perforar en seco un agujero con 40 " de diámetro entre 4 y 10 m de profundidad. Se introduce el primer tramo de tubería de revestimiento con diámetro de 30 ", éste es cementado por gravedad. En la parte superior de esta tubería se fija una línea de flujo de manera que actúe como difusor para el fluido de perforación y se pueda tener

un sistema de circulación cerrado. El objetivo principal es evitar la erosión o la inundación del pozo en la base del equipo, además proporciona un conducto para elevar el fluido de perforación a la superficie a medida que se va perforando el pozo [J. M. MORALES et. al (1990)].

III.2.2. SEGUNDA ETAPA: TUBERIA CONDUCTORA.

Esta tubería se introduce para proteger el pozo de fallas que se presentan generalmente cerca de la superficie, evita las filtraciones de agua de los mantos superficiales, y la contaminación de estos últimos con el fluido de perforación. Además sirve para soportar formaciones no consolidadas.

Se inicia la perforación empleando fluido de perforación y barrena de 12 1/4 " hasta una profundidad de 50 m. Después se utiliza un ampliador con diámetro de 20 " y una barrena piloto de 12 1/4 ", para rebajar hasta la misma profundidad. Una vez hecha esta ampliación, se introduce otro ampliador, ahora de 26 ", con una barrena piloto de 20 "; quedando así listo el pozo para correr la tubería de revestimiento con diámetro de 20 ", grado H-40 de 94 lb/pie. Posteriormente se realiza la cementación empleando la línea de perforación.

Transcurrido el tiempo de espera, para el fraguado del cemento, se hace una prueba hidráulica, que consiste en aplicar 1 000 lb/pg.² de presión durante 30 minutos, esta prueba se hace después de cada cementación con el fin de detectar algún defecto o fuga de fluido por la tubería [J. M. MORALES et. al (1990)].

III.2.3. TERCERA ETAPA: TUBERIA SUPERFICIAL O DE ANCLAJE.

Una vez cementada la tubería conductora, se corta el excedente de

la misma en la superficie para instalar los preventores.

Después de esto se continúa la perforación rompiendo el cemento con barrena de 17 1/2 ", para continuar con 12 1/4 " hasta la profundidad de 1 000 m, posteriormente con ampliador de 17 1/2 " y barrena piloto de 12 1/4 " se rebaja el agujero hasta la misma profundidad. Se corren registros de temperatura y presión antes de introducir la tubería de revestimiento de 13 3/8 "; ya instalada se cementa hasta la superficie.

Se coloca el equipo de preventores en la boca del pozo y cuando el cemento ha fraguado, se aplica la prueba hidráulica.

Esta tubería tiene el objetivo de evitar el atrapamiento de la tubería de perforación, y proporcionar una base para colocar el equipo de preventores, las válvulas y las conexiones que controlan el flujo del pozo durante su vida productiva [J. M. MORALES et. al (1990)].

III.2.4. CUARTA ETAPA: TUBERIA INTERMEDIA.

Se perforan los accesorios de la cementación y se continúa perforando con la barrena de 12 1/4 " hasta la profundidad de 2000 m .

Antes de cementar se corren registros de temperatura y presión y se introduce la tubería de revestimiento de 9 5/8 " de diámetro. Se realiza la operación de la cementación en una, dos o tres etapas, dependiendo de las condiciones del pozo.

Después de fraguar el cemento se aplica la prueba hidráulica.

Esta tubería tiene los objetivos de conducir el fluido geotérmico desde la tubería de producción hasta la superficie, aislar zonas

arenosas o de arcilla hidratable, y además aislar acuíferos profundos que provocan corrosión en la tubería de producción (J. M. MORALES et. al (1990)].

III.2.5. QUINTA ETAPA: LINER O TUBERIA CORTA.

Se continúa la perforación con barrena de 8 1/2 ", hasta la zona productora (2 000 - 3 000 m), es la etapa más delicada ya que atraviesa zonas de altas temperaturas, con el fin de encontrar una permeabilidad adecuada que justifique la explotación del yacimiento geotérmico.

Se toman los registros de presión y temperatura y posteriormente se coloca un colgador del cual quedará suspendido el liner de 7 " desde 80 m arriba de la zapata de la tubería de revestimiento anterior hasta el fondo del pozo. Se cementa la sección anular donde hay traslape entre la T.R. de 9 5/8 " y el liner de 7 ".

Esta tubería tiene unas perforaciones frente a la zona productora con la finalidad de permitir el flujo de vapor y/o salmuera geotérmicos desde la zona productora hasta la tubería intermedia y aislar la zona productora evitando flujos de otras formaciones (J. M. MORALES et. al (1990)].

III.2.6. SEXTA ETAPA: INDUCCION Y DESARROLLO.

Terminadas las operaciones de cementación, se retira el equipo, se coloca la válvula maestra y se instalan los equipos necesarios para registrar presión, temperatura y dilatación de la tubería en la superficie. El pozo atraviesa una serie de etapas que permiten conocer sus características de producción, y estas son:

a). OBSERVACION.

En esta etapa se corren registros de temperatura y presión a lo largo del pozo, mientras éste se calienta lentamente hasta que se estabiliza la temperatura, la cual es la temperatura del yacimiento.

En esta etapa se identifican los estratos calientes y fríos del pozo.

b). INDUCCION.

En aquellos pozos que no llegan a fluir por si solos se requiere de algún método para provocar el flujo del yacimiento al pozo, entre los utilizados en geotermia podemos citar los siguientes: pistoneo, cubeteo, presurización con gas, inyección de aire y empleo de agentes tensoactivos.

c). CALENTAMIENTO.

El objetivo en esta etapa es calentar gradualmente el pozo, permitiendo que fluya a través de diámetros de 1, 2, 3, ..., hasta 10 pg. (flujo total). Es importante iniciar esta etapa lo más pronto posible después de terminar la perforación para evitar problemas de corrosión en las tuberías.

d). EVALUACION.

En esta etapa, se realizan mediciones de flujo descargado por el pozo a diferentes presiones de cabezal con lo que se determinan las curvas características de producción.

Finalmente se realizan las conexiones del pozo a la central, o a

una planta generadora a boca de pozo [J. M. MORALES et. al (1990)].

III.3. CEMENTACION DE POZOS GEOTERMICOS.

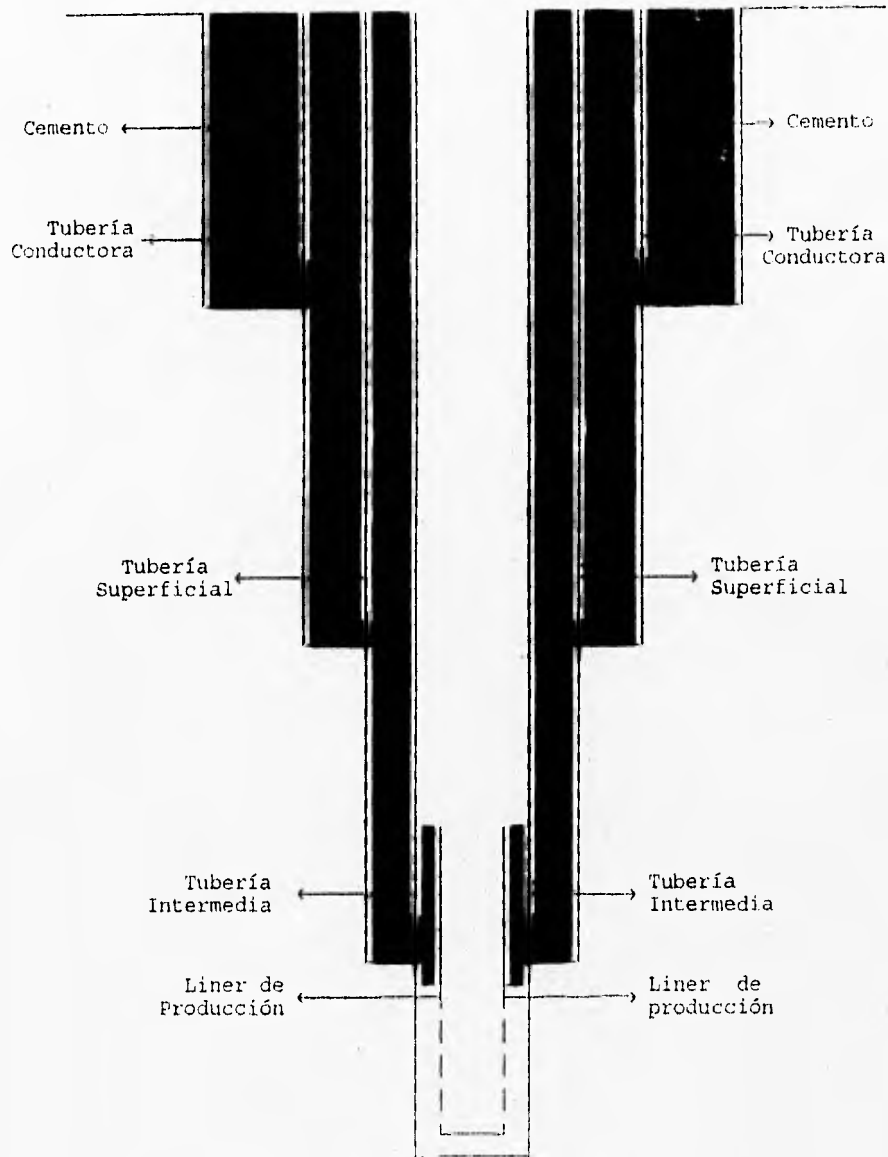
Las cementaciones que se vieron en el proceso de construcción de un pozo geotérmico son las llamadas cementaciones primarias, éstas tienen el objetivo de llenar el espacio anular entre la T.R. y el agujero (Fig. III.3.1), y sus principales funciones son:

- Soportar la T.R.
- Aumentar la resistencia de la T.R.
- Evitar la contaminación de acuíferos con fluido geotérmico y viceversa.
- Minimizar la corrosión de la T.R., reduciendo el contacto con las formaciones.

Con respecto a las observaciones durante la cementación de las tuberías de revestimiento; se toma nota de las condiciones prevalecientes durante la misma, tipo de cemento utilizado y tiempo que dura la operación, desde su inicio hasta el momento que aflora a la superficie por el espacio anular [J. M. MORALES et. al (1990)].

La secuencia de cementación de las tuberías de revestimiento es la siguiente|

Fig. III.3.1. Esquema de la cementación de un pozo geotérmico.



Al primer tramo de tubería, la que queda en el fondo, se le coloca una zapata que sirve como guía para que permita circular libremente la lechada de cemento, en el segundo tramo se coloca un cople flotador que actúa como válvula check; por último se colocan dos tapones de fondo; el primero separa la columna de lodo de la lechada de cemento inicial y el segundo va entre la lechada final y el lodo de desplazamiento; estos tapones son de un material tal que al llegar al cople flotador se rompen debido a la presión que se ejerce sobre ellos y así pasan a través de éste.

La lechada de cemento se prepara en el sitio donde se va a llevar a cabo la cementación [A. SANCHEZ et. al (1982)].

III.3.1. METODOS DE CEMENTACION PRIMARIA.

Una vez que se ha perforado hasta la profundidad deseada se extrae la tubería de perforación y se corre una serie de registros (presión, temperatura, calibración etc.). Posteriormente se introduce la tubería de revestimiento haciendo escalas para cada 50 m, para circular el lodo.

Las cementaciones primarias pueden llevarse a cabo con los siguientes métodos:

- En una sola etapa
- En varias etapas
- Con tubería interna
- Inversa
- De fraguado retrasado.

[J. M. MORALES et. al (1990)].

III.3.2. CEMENTACIONES SECUNDARIAS O CORRECTIVAS { J. M. MORALES
et. al (1990)}.

Las cementaciones secundarias son correctivas, y se pueden
presentar en los siguientes casos:

- Recementaciones por el espacio anular
- Cementaciones forzadas
- Tapones para sellar zonas de pérdidas de circulación
- Tapones para iniciar perforación direccional.

CAPITULO IV. PUBLICACIONES SOBRE EL CAMPO GEOTERMICO DE LOS AZUFRES.

IV.1. CARACTERISTICAS DEL CAMPO GEOTERMICO DE LOS AZUFRES, MICH.

El campo geotérmico de los Azufres Mich. se localiza a 200 km al oeste-noroeste de la ciudad de México, en la porción nororiental del estado de Michoacán (fig. IV.1.).

La extensión del campo es de aproximadamente 25 km² de superficie. La CFE inició los primeros trabajos de geología, geofísica y geoquímica en 1975 y los primeros pozos exploratorios se perforaron entre 1976 y 1979.

Los Azufres se encuentra en un ambiente geológico diferente al de Cerro Prieto, ya que se localiza dentro de la provincia del eje Neovolcánico Mexicano.

Las rocas aflorantes en el campo geotérmico son de origen volcánico, las más antiguas son andesitas.

Puesto que los fluidos geotérmicos se encuentran en rocas volcánicas, las fallas y fracturas desempeñan un papel muy importante, pues son las que generan la porosidad y la permeabilidad secundarias que contienen los fluidos.

En los Azufres las fallas y fracturas pertenecen básicamente a dos

sistemas estructurales, uno de dirección norte-sur con variaciones hasta noreste-sureste y otro de dirección principal este-oeste.

Se trata de fallas perpendiculares cuyas intersecciones favorecen el ascenso de los fluidos geotérmicos hasta la superficie en forma de fumarolas y manantiales de agua caliente.

El yacimiento geotérmico está formado por un acuífero regional profundo que al encontrar condiciones de alta temperatura se calienta y constituye el yacimiento.

La fuente de calor que ha alterado hidrotermalmente las rocas a profundidad, parece haberse desplazado, aunque es probable que esté relacionada con la cámara del volcán de San Andrés, que podría aún estar en proceso de enfriamiento y ceder el calor suficiente para generar el yacimiento.

El campo geotérmico ha sido dividido en cuatro secciones o módulos: Tejamaniles, Agua Fría, El Chino y Marítaro.

El campo produjo 7.5 millones de toneladas de vapor en 1994, con un promedio anual aproximado de 855 toneladas por hora y un máximo mensual de 953 toneladas por hora en el mes de febrero. La producción de los azufres equivalió al 13% del total de vapor producido en el país en ese año.

A lo largo del año, un promedio de 20 pozos productores estuvieron integrados al sistema de suministro de vapor, con una producción media anual de casi 43 toneladas por hora por pozo.

Las doce unidades de los Azufres generaron 529 GWh, con una generación promedio mensual de 44 GWh y un máximo de 53 GWh en el mes de marzo (GUTIERREZ NEGRIN (1995)).

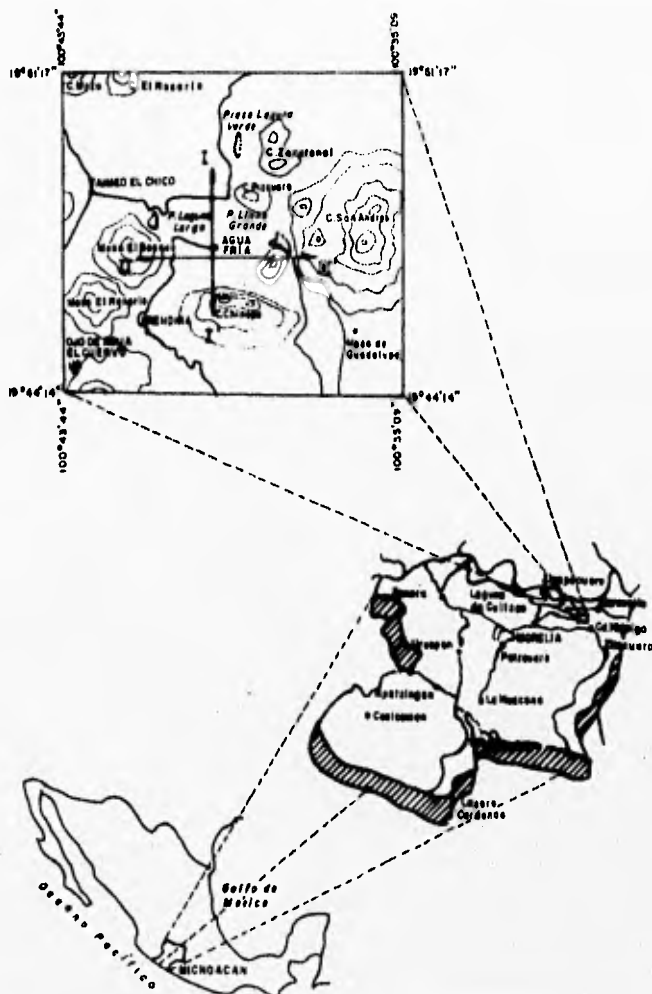


Fig. IV.1. LOCALIZACION DEL CAMPO GEOTERMICO LOS AZUFRES, Mich.

IV.2. REGIMEN DE FLUJO EN BASE A LA MINERALOGIA

AUTIGENICA.

Desde hace más de 6 años, se ha llevado a cabo un control estricto del muestreo de rocas efectuado durante las perforaciones de aproximadamente 53 pozos en el campo geotérmico de los Azufres, Mich., ubicado en el Cinturón Volcánico Mexicano.

Mediante el análisis comparativo de las zonas de minerales formados hidrotermalmente, a través del campo geotérmico con las temperaturas estabilizadas, se ha logrado definir varios parámetros del yacimiento basado en el telescopio de dichas zonas.

La petrografía es una de las principales herramientas que se usan en el estudio de los campos geotérmicos, dada la gran cantidad de información que provee en un corto tiempo.

Las principales aplicaciones de la petrología se enumeran a continuación:

- Un estudio petrográfico facilita un mejor conocimiento de la estratigrafía del lugar.

- Ayuda a conocer la distribución, tipo y grado de la alteración hidrotermal.

- En base a las paragénesis mineralógicas identificadas, es posible determinar las temperaturas del subsuelo.

- Se puede conocer con mayor certeza la composición química de la salmuera, sabiendo que la ocurrencia de los minerales hidrotermales es consecuencia directa de la composición química del fluido geotérmico.

- Si existe equilibrio químico se pueden estimar las condiciones físico-químicas del medio, sabiendo que la solubilidad o precipitación de los minerales está en función de las mismas, así

se puede saber si el medio es oxidante o reductor; si el fluido tiene un PH ácido o alcalino.

-Conociendo la composición química del fluido, las características físico-químicas del medio y la alteración hidrotermal, es factible estimar el grado de interacción agua-roca.

- Del mismo modo, los resultados petrográficos pueden ser conjuntados con los resultados geohidrológicos para conocer las zonas de recarga al yacimiento.

- Se puede saber dónde ha ocurrido o está ocurriendo la ebullición con base en la identificación de minerales índice de este fenómeno.

Existen muchas otras ventajas cuando se usa la petrografía como una herramienta práctica en el estudio de yacimientos hidrotermales; en el caso particular de un campo geotérmico activo dentro del contexto de desarrollo y explotación, los resultados e interpretaciones petrográficas son de importante consideración al decidir en que momento debe darse por terminado un pozo y saber las condiciones termodinámicas del sistema mucho antes de que el pozo sea terminado y probado, asimismo, los resultados petrográficos ayudan a la planeación de futuros pozos geotérmicos y al modelado matemático de los yacimientos.

IV.3. PETROLOGIA PRIMARIA.

De los estudios que se han llevado a cabo en el campo geotérmico de los Azufres se ha concluido que, las rocas que configuran el yacimiento, se pueden clasificar en dos categorías: Riolitas en la parte superior y andesitas basálticas en la parte inferior.

IV.4. GEOMETRIA DEL YACIMIENTO.

Mediante la comparación del comportamiento telescópico de las zonas de minerales autigénicos con las temperaturas estabilizadas y con algunos datos cualitativos de producción es posible delimitar el yacimiento(Fig. IV.4.).

Lo anterior parte del apoyo teórico que la primera ocurrencia de epidota hidrotermal se forma a 250 °C. La cima del yacimiento por lo tanto debe ser la superficie através del campo donde se encuentra la epidota si ésta se está formando y por tanto si la fase líquida está en equilibrio con la fase sólida. Sin embargo, la comparación de esta cima con las temperaturas estabilizadas de 250 °C no parece comportarse tan consistentemente en la zona norte del campo; esto se debe a que durante la evolución térmica del sistema ha habido cambios en el régimen de flujo.

La base del yacimiento puede ser delimitada en la superficie que contenga a la primera ocurrencia de anfíbol hidrotermal, cuya temperatura de formación es comúnmente 300 °C, a partir de esa superficie.

IV.5. FUENTE DE CALOR.

La fuente de calor debe estar ubicada más allá de la ocurrencia de anfíbol, siguiendo la configuración de este, es lógico que a mayor profundidad habrá un comportamiento telescópico hacia las zonas de hornfels de metamorfismo de contacto de bajo grado y luego hacia la fuente de calor.

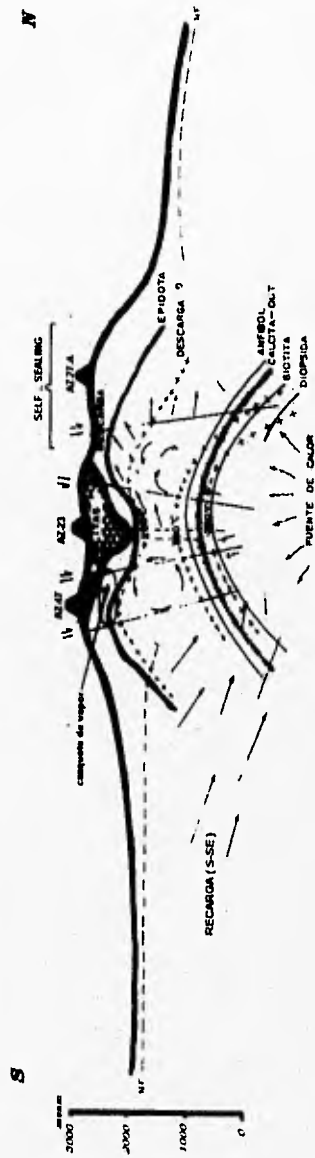


Fig. IV-4. Modelo conceptual del régimen de flujo en Los Andes, basado en el teleseismo de las zonas de mineralización, en las temperaturas estabilizadas y en algunos datos cualitativos de producción. El sentido de flujo se ha inferido tomando en cuenta las zonas de descarga y los regímenes geotérmicos actuales del campo.

Por último los límites laterales pueden inferirse de la observación de la pendiente de la epidota, ya que cerca de ellos la isógrada de este mineral observa una pendiente de 45 a 60 °C aproximadamente. Sin duda este comportamiento está relacionado con estructuras que quizá sean la proyección de las fronteras de la fuente de calor por debajo del yacimiento mismo.

IV.6. REGIMEN DE FLUJO E HISTORIA TERMICA.

En el análisis del comportamiento de las zonas de minerales autigénicos se puede evidenciar la existencia de tres elementos importantes del yacimiento: la cima, la base y la fuente de calor. Sin embargo, esta configuración asume un régimen geotérmico que no ha experimentado cambios durante su evolución. En el caso de los Azufres se tienen evidencias de alarmantes cambios en el régimen de flujo.

El comportamiento de los distintos regímenes geotérmicos, que se tienen, se refleja en las variaciones de las temperaturas para cada zona de minerales autigénicos que se atraviesa según sea el caso.

IV.7. ZONA DE DESCARGA.

Así, la ZONA DE DESCARGA con autosellamiento presenta temperaturas que reflejan regímenes conductivos en donde la permeabilidad se ha reducido totalmente (por ejemplo Paz-44, Paz-27-A, Paz-40, Paz-29).

Las zonas de fuente de calor se caracterizan por ubicarse directamente arriba del área más caliente y activa. Aquí, el zoneamiento de minerales autigénicos se reduce en espesor y sus

temperaturas son congruentes con aquellas estimadas de acuerdo a la isógrada de los minerales clave; se espera que el fluido geotérmico esté en equilibrio con los minerales en formación; ejemplos típicos son el pozo Az-1 y el pozo Az-25.

IV.8. ZONA DE RECALENTAMIENTO.

La ZONA DE RECALENTAMIENTO, se caracteriza aparentemente por presentar temperaturas más altas a aquellas presentadas por minerales autigénicos termocindicadores. En estas condiciones es posible que el fluido geotérmico no esté en equilibrio con los minerales autigénicos reportados para la zona productora; ejemplos de estos pozos; Paz-4 y Paz-28.

IV.9. ZONA DE CASQUETE DE VAPOR.

La ZONA DE CASQUETE DE VAPOR que representa una descarga restringida por la capa sello riolítica donde el flasheo separa la fase gaseosa de la fase líquida y se forma el mencionado casquete de vapor. En esta zona los minerales encontrados están aparentemente en equilibrio con el fluido geotérmico y son generados por ebullición.

La fuente de calor se ubica debajo o a un lado del sitio donde las riolitas presentan mayor espesor, ésto como primera aproximación puede estar relacionado con el conducto de suministro de magma ácido que alimentó a las riolitas mencionadas y posiblemente coincida con la parte más prominente del área de suministro.

IV.10. PROPIEDADES DE NUCLEOS DE PERFORACION DEL CAMPO GEOTERMICO

LOS AZUFRES.

Las mediciones que se han efectuado en núcleos de perforación del campo geotérmico de los Azufres, las cuales comprenden la determinación de diversas propiedades físicas, térmicas y mecánicas, en un total de 24 núcleos provenientes de 17 pozos, reportan datos experimentales de las siguientes **propiedades**: densidad total de la roca seca, densidad de sólidos, porosidad efectiva, porosidad total, permeabilidad absoluta, compresibilidad del volumen total, resistencia a la compresión, módulo de Young, módulo de Poisson, deformación en la condición de fractura, conductividad térmica, difusibilidad térmica y calor específico.

IV.11. OBSERVACIONES DE CAMPO.

Las observaciones de campo son importantes para el desarrollo de un programa de investigación, ya que en base a los datos recabados durante la perforación, se pueden definir parámetros que involucran las condiciones que prevalecen en el campo geotérmico, y más concretamente en el sitio de la perforación del pozo.

En el campo geotérmico los Azufres, las observaciones de campo se iniciaron en la segunda mitad del año de 1978, cuando se fundó una estación experimental del Instituto de Investigaciones Eléctricas. Durante este periodo se perforaron los pozos A-3, A-6 y A-10. Durante 1979, se observaron las operaciones de perforación de los pozos A-4, A-5, A-7, A-8, A-11, A-14 y A-20.

En 1980 y 1981, se observó el desarrollo de la perforación de los pozos A-9, A-12, A-13, A-15, A-16, A-17, A-18, A-19, A-21, A-22, A-23, A-24, A-25, A-26 y A-27.

CAPITULO V. DATOS DEL CAMPO GEOTERMICO DE LOS AZUFRES.

V.1. PROPIEDADES TERMOFISICAS.

En base a los datos obtenidos de las mediciones petrofisicas que se han efectuado en núcleos de perforación del campo geotérmico los azufres, se han elaborado las siguientes tablas:

POZO NO.	NUCLEO NO.	PROFUNDIDAD (m).	DENSIDAD		POROSIDAD	
			TOTAL (gr/cc)	SOLID. (gr/cc)	TOTAL (%)	EFFECTIVA (%)
1	4	1825-1829.60	2.72	2.79	2.60	2.1
3	1	600-605.50	2.30	2.70	14.80	15.10
3	4	1874-1880	2.56	2.95	13.20	11.10
3	5	1117-1119.70	2.74	2.80	2.10	1.20
4	3	1000-1000.50	2.43	2.78	12.60	11.70
5	1	600-600.50	2.08	2.71	23.20	22.70
5	3	1160-1165	3.38	2.70	11.90	10.90
8	2	800-804	2.59	2.81	7.80	7.60
9	4	1705-1710	2.66	2.73	2.60	2.90
10	1	1004-1005	2.66	2.79	4.70	1.40
19	1	1000-1005	2.29	2.71	15.50	14.90
20	1	650-654.50	2.66	2.60	13.10	12.10
20	3	1600-1603	2.66	2.79	4.70	4.70
22	2	800-805	2.45	2.72	9.90	10.20
25	1	671-675	2.30	2.69	14.50	14.10
26	2	596-601	2.61	2.68	2.60	1.60
26	3	1002-1007	2.41	2.69	10.40	9.30

TABLA V.1.1. DENSIDAD TOTAL, POROSIDAD EFECTIVA, DENSIDAD DE SOLIDOS Y POROSIDAD TOTAL DE NUCLEOS DE PERFORACION DEL CAMPO GEOTERMICO LOS AZUFRES.

TABLA V.1.1. CONTINUACION.

POZO NO.	NUCLEO NO.	PROFUNDIDAD (m).	DENSIDAD		POROSIDAD	
			TOTAL (gr/cc)	SOLID. (gr/cc)	TOTAL (%)	EFFECTIVA (%)
29	1	400-402	2.07	2.59	20.10	15.10
29	3	2496-?	2.81	2.83	0.70	0.90
41	2	600-605	2.36	2.82	16.30	16.70
46	3	802-805	2.51	2.71	7.40	7.80
47	4	2962-2964	2.76	2.82	2.10	1.60
48	4	2768.5-2684.5	2.84	2.87	1.00	1.00
50	3	1133-1136	2.47	2.71	8.90	7.10

POZO No.	NUCLEO No.	CONDUCTIVIDAD TÉRMI CA (Watt / m °C)	PERMEABILIDAD ABSOLUTA (md)
3	1	1.68	2
3	4	1.84	229
3	5	1.99	<2
4	3	1.58	<2
5	1	1.17	<2
5	3		151
8	2	2.34	123.50
9	4		3
10	1		<2
19	1	1.97	18.67
20	1	1.58	<2
20	3	1.71	<2
22	2	2.17	<2
25	1	1.75	<2
26	2	2.20	<2
26	3	1.55	200
29	1	1.05	41
41	2		<2
47	4	1.89	<2
50	3	1.52	5

TABLA 7.1.2. RESULTADO DE MEDICIONES DE CONDUCTIVIDAD TÈRMICA Y PERMEABILIDAD EN NUCLEOS DE PERFORACION DEL CAMPO GEOTÈRMICO LOS AZUFRES.

POZO No.	NUCLEO No.	Pc (bar)	E x 10 ⁵	U	Rc	W (%)
3	1	0.00	1.07	0.12	610	-0.65
3	1	13.80	1.41	0.17	950	-0.81
3	1	27.60	1.62	0.18	1060	-1.28
3	1	41.40	1.66	0.16	1280	-2.10
3	4	0.00	4.44	0.25	1605	-0.42
3	5	0.00	5.73	0.31	1940	-0.44
4	3	0.00	1.97	0.21	780	-0.40
4	3	13.80	3.15	0.19	1810	-0.71
4	3	27.60	3.28	0.19	2275	-0.86
5	1	0.00	1.11	0.17	460	-0.51
5	1	13.80	1.18	0.11	615	-0.92
8	2	0.00	1.44	0.35	505	-0.41
10	1	0.00	5.13	0.43	2285	-0.51
20	1	0.00	2.30	0.28	1025	-0.48
20	3	0.00	3.60	0.34	1280	-0.47
22	2	0.00	2.62	0.25	1190	-0.52
25	1	0.00	1.23	0.15	540	-0.44
26	2	0.00	5.39	0.24	1690	-0.40
47	4	0.00	4.07	0.25	1450	-0.40
50	3	0.00	3.81	0.28	990	-0.30

TABLA V.1.3. PROPIEDADES MECANICAS MEDIDAS EN NUCLEOS DE PERFORACION DEL CAMPO GEOTERMICO LOS AZUFRES, MEDIANTE ENSAYOS DE COMPRESION UNIAxIAL Y TRIAXIAL.

Nomenclatura:

Pc: Presión de confinamiento.

E: Módulo de Young (Kg / Cm²).

U: Módulo de Poisson.

Rc: Resistencia a la compresión (Kg / Cm²).

W: Deformación unitaria axial en la condición de fractura.

V.2. DATOS DE TUBERIAS REVESTIDAS.

DETERMINACION DE LA PROFUNDIDAD PROMEDIO DE ASENTAMIENTO DE LAS DIVERSAS TUBERIAS DE REVESTIMIENTO.

POZO	PROFUNDIDAD DE ASENTAMIENTO DE LAS T.R. EN (m.).			
	CONDUCTORA	SUPERFICIAL	INTERMEDIA	DE PRODUCCION
A-1	20	260	765	2159.86
A-2	31	302	1039	1115
A-3	38	296	1497	2440
A-4		303	656	1948
A-5	32	297	1045	1489
A-6	23	210	605	881
A-7	31.50	290	988	1690
A-8		299	1000	2299
A-9	55	305	1188	2447
A-10	30			
A-11	45	100		
A-12	48	299	796	
A-13		300	1003	1215
A-14	20	302	650	740
A-15	47	300	511	845
A-16		300	541	1322
A-16D	52	302.8	786	1039
A-17	47.50	300	560	722
A-18	58	301	1001	1324
A-19	49	301	955	1663
A-20		285.6	1000	
A-21	47	300	1001	1796
A-22	60	302.81	999.48	1550
A-23	48	300	1094	1823
A-24	54.50	300.84		
A-25	54	300	1488	2072
A-26	52	300	1159	1240
A-27	54			
A-27A	52	159.37	227	
A-28	60	303	697	1669
A-29	60	304	1080	
A-30				
A-31	57.40	303	948	1293.24
A-32	60	291.79	980.11	1556
A-33	60	293	612	683
A-34	46	291	750.66	856.28
A-35	55	299	954	1232.70
A-36	59	252	602	1034.36
A-37	63	295.52		
A-38	58.51	297.51	599.18	848.66
A-39	61	215		
A-40	47	692		1055

TABLA V. 2.

CONTINUACION DE LA TABLA V.2.

POZO	PROFUNDIDAD DE ASENTAMIENTO DE LAS T.R. EN (m.).			
	CONDUCTORA	SUPERFICIAL	INTERMEDIA	DE PRODUCCION
A-41	56	303	340	451.45
A-42	47	303	1296.55	1806
A-43	60	339.51	767	1503
A-44	60	304.78	2037	
A-45	65.50	304.63	1501.11	1687.40
A-46	56	302.59	847.78	872.55
A-47	153	543.18	2007.49	
A-48	62	302.94	1704	2635.14
A-49	120	554.33	1793.82	2400.51
A-50	59	703		
PROF. MEDIA	53.73	314.58	977.38	1458.00

V.3. DATOS DE PRODUCCION DE LOS POZOS.

POZOS PRODUCTORES

POZO	SALMUERA TON/HORA	VAPOR TON/HORA
A - 2	196	98
A - 4	57	40
A - 5	28	97
A - 6	0	48
A - 9	SIN EVALUAR	
A - 13	45	60
A - 16	40	40
A - 16/AD	4	30
A - 17	0	98
A - 18	70	80
A - 19	48	33
A - 22	48	40
A - 25	37	27
A - 26	140	142
A - 28	52	50
A - 32	SIN EVALUAR	
A - 33	0	65
A - 34	0	60
A - 35	0	33
A - 38	0	110
A - 41	0	60
A - 42	SIN EVALUAR	

NOTA. Estas producciones son a condiciones atmosféricas.

POZOS INYECTORES

POZO	CAPACIDAD TON/HORA
A - 1	70
A - 3	?
A - 7	100
A - 8	150
A - 10	20
A - 14	100
A - 15	150
A - 23	?
A - 40	100

POZOS ABANDONADOS

A - 16A
 A - 24
 A - 27
 A - 39

POZOS FALLIDOS

A - 10B
 A - 10C
 A - 12
 A - 20
 A - 29
 A - 50

POZOS EN PERFORACION

A - 37 (SE SUSPENDIO LA PER-
 FORACION A 300 m.)
 A - 43
 A - 44

POZOS POR INTERVENIR

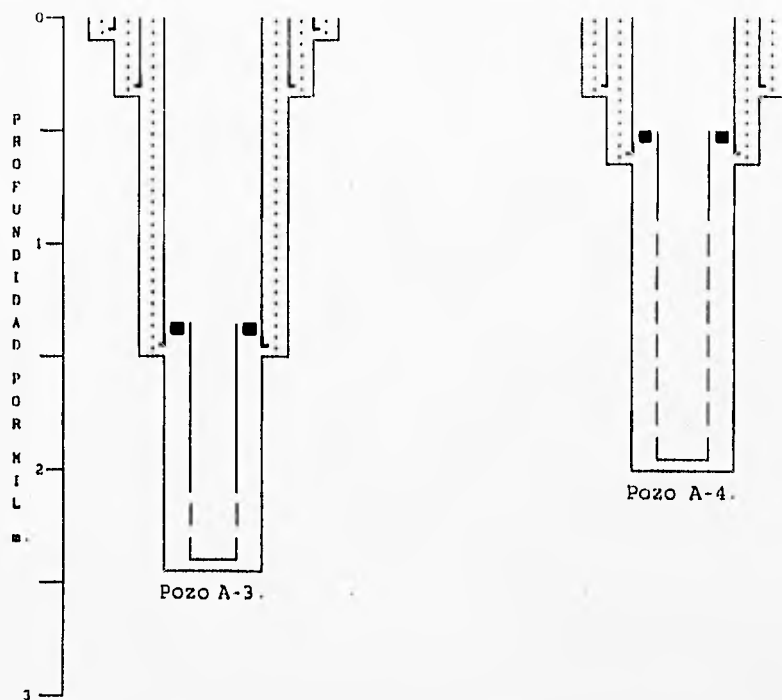
A - 21
 A - 31
 A - 46

V.4. ESTADO MECANICO.

Con los datos proporcionados por la Superintendencia de perforación de la C.F.E., los Azufres, se elaboraron las gráficas que se se muestran en las páginas posteriores.

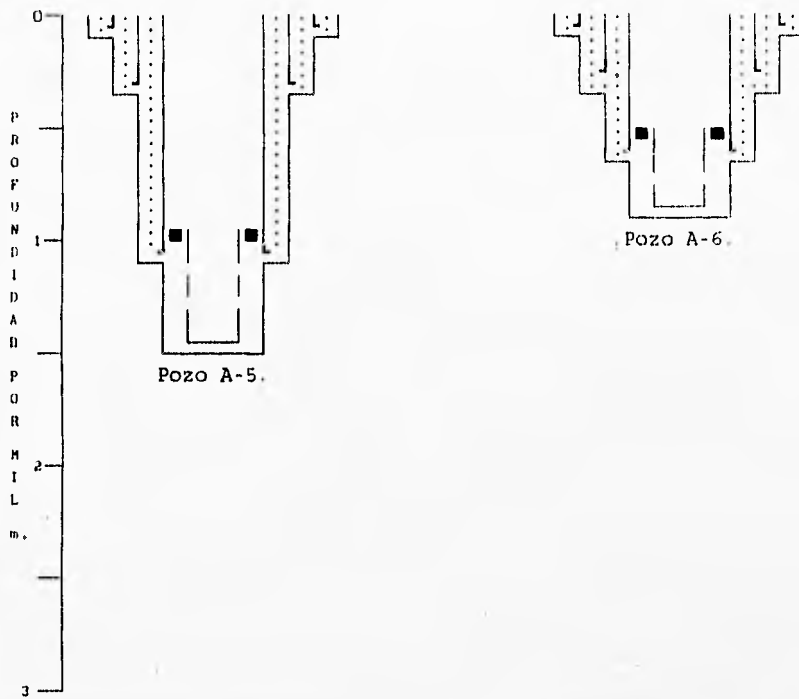
REPRESENTACION GRAFICA DE LAS PROFUNDIDADES DE ASENTAMIENTO DE LAS TUBERIAS DE REVESTIMIENTO EN LOS POZOS DEL CAMPO GEOTERMICO LOS AZUFRES, MICH.

CORTE ESQUEMATICO DE LOS POZOS A-3 Y A-4.



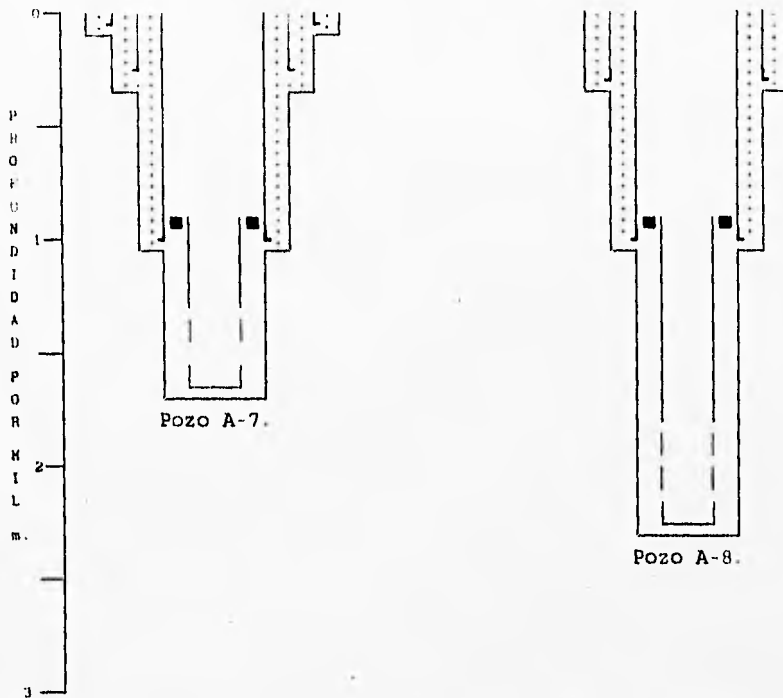
POZO	POZO A-3		POZO A-4	
	PROFUNDIDAD (m)		PROFUNDIDAD (m)	
TUBERIA φ (Pg)	AGUJERO	ASENT. T.R.	AGUJERO	ASENT. T.R.
CONDUCTORA 20	42	31		
SUPERFICIAL 13.375	300	296	306	303
INTERMEDIA 9.625	1500	1497	656	656
PRODUCCION 7	2450	2440	1950	1950

CORTE ESQUEMATICO DE LOS POZOS A-5 Y A-6.



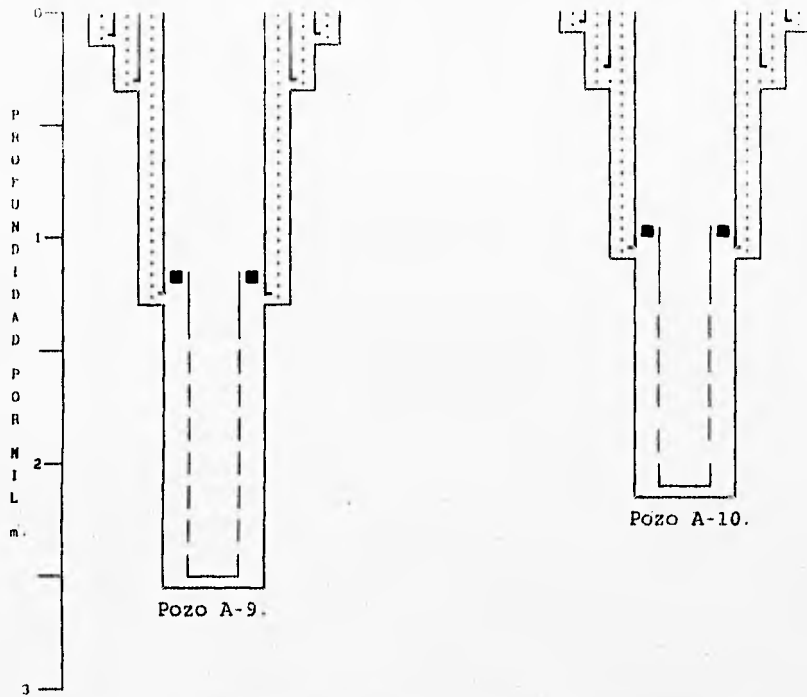
POZO	POZO A-5		POZO A-6	
	PROFUNDIDAD (m)		PROFUNDIDAD (m)	
	AGUJERO	ASENT. T. R.	AGUJERO	ASENT. T. R.
TUBERIA φ (Pq)				
CONDUCTORA 20	32	32	30	23
SUPERFICIAL 13.375	305	297	254	210
INTERMEDIA 9.625	1076	1045	608	605
PRODUCCION 7	1493	1489	900	881

CORTE ESQUEMATICO DE LOS POZOS A-7 Y A-8.



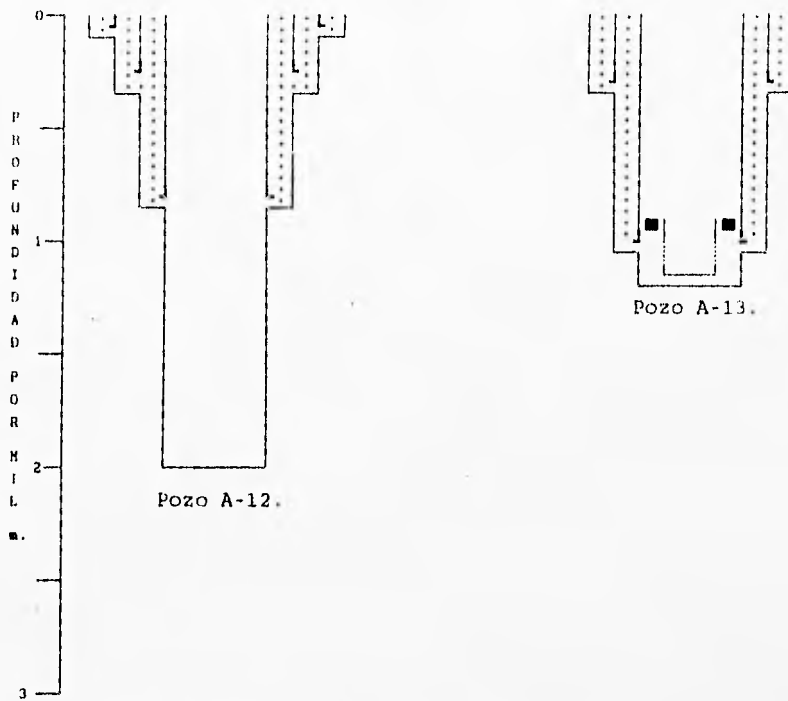
POZO	POZO A-7		POZO A-8	
	PROFUNDIDAD (m)		PROFUNDIDAD (m)	
	AGUJERO	ASENT. T.R.	AGUJERO	ASENT. T.R.
TUBERÍA φ (Pg)				
CONDUCTORA 20	32.80	32		
SUPERFICIAL 13.375	292	290	306	299
INTERMEDIA 9.625	1000	988	1005	1000
PRODUCCION 7	1706	1690	2301	2299

CORTE ESQUEMATICO DE LOS POZOS A-9 Y A-10.



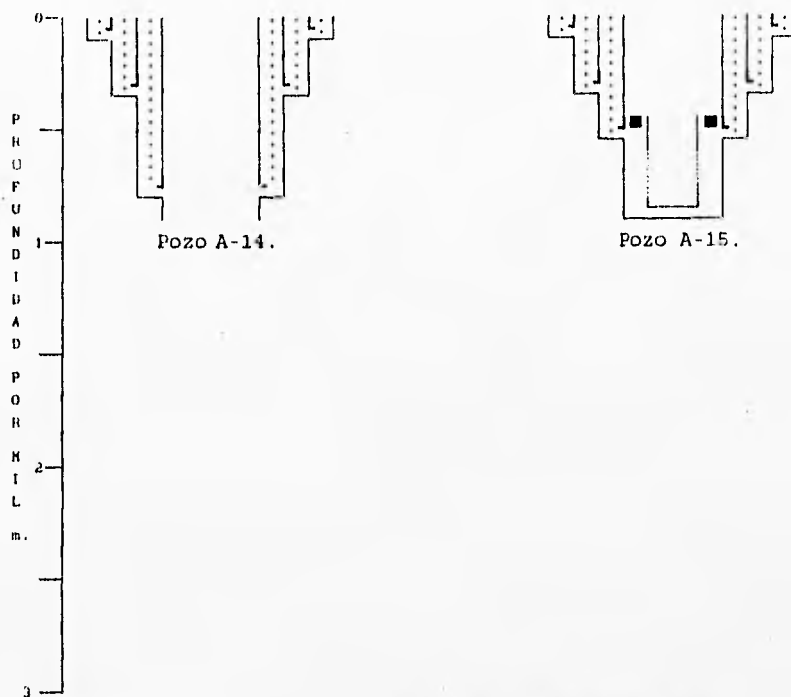
POZO	POZO A-9		POZO A-10	
	PROFUNDIDAD (m)		PROFUNDIDAD (m)	
TUBERIA ϕ (Pg)	AGUJERO	ASENT. T.R.	AGUJERO	ASENT. T.R.
CONDUCTORA 20	60	55	31	$\phi = 22.5$ Pg. 31
SUPERFICIAL 13.375	307	305	302	$\phi = 16$ Pg. 287
INTERMEDIA 9.625	1195	1188	1004	1000
PRODUCCION 7	2555	2447	2140	

CORTE ESQUEMATICO DE LOS POZOS A-12 Y A-13.



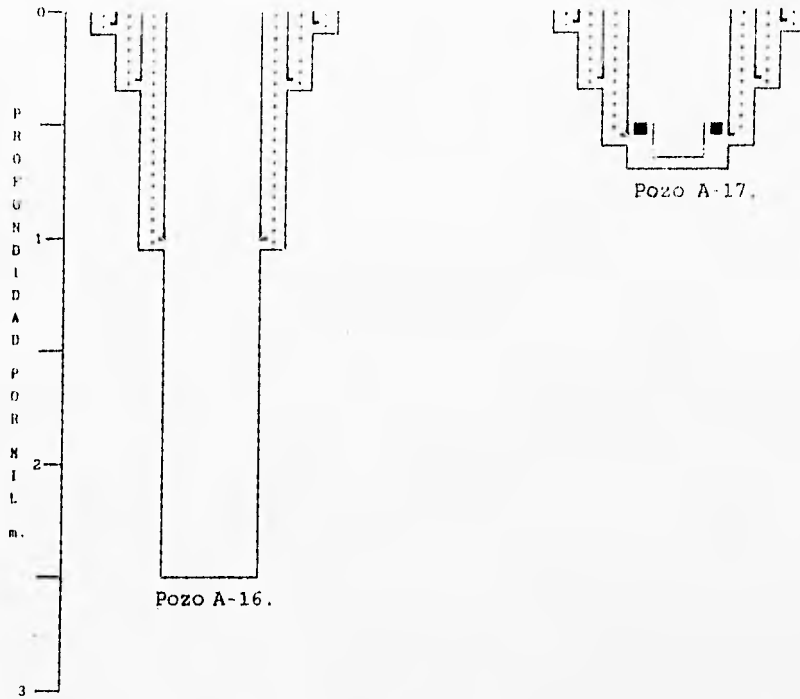
POZO	POZO A-12		POZO A-13	
	PROFUNDIDAD (m)		PROFUNDIDAD (m)	
TUBERIA φ (Pg)	ACUJERO	ASENT. T.R.	ACUJERO	ASENT. T.R.
CONDUCTORA 20	52	48		
SUPERFICIAL 13.375	305	299	304	300
INTERMEDIA 9.625	802	797	1005	1000
PRODUCCION 7	2020		1219	1215

CORTE ESQUEMATICO DE LOS POZOS A-14 y A-15.



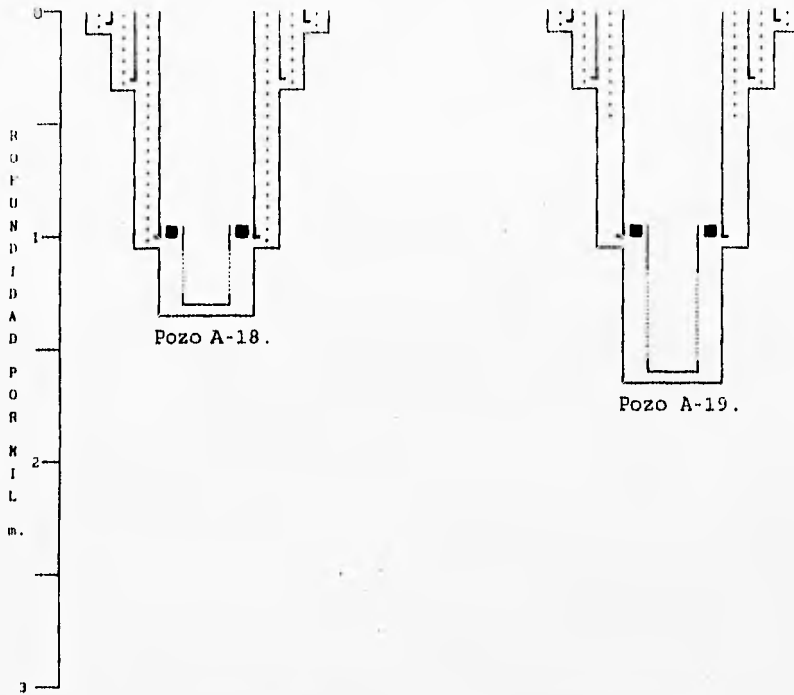
POZO	POZO A-14		POZO A-15	
	PROFUNDIDAD (m)		PROFUNDIDAD (m)	
TUBERIA φ (Pg)	AGUJERO	ASENT. T.R.	AGUJERO	ASENT. T.R.
CONDUCTORA 20	20	20	50	45
SUPERFICIAL 13.375	304	304	302	300
INTERMEDIA 9.625	755	650	511	511
PRODUCCION 7			847	845

CORTE ESQUEMATICO DE LOS POZOS A-16 y A-17.



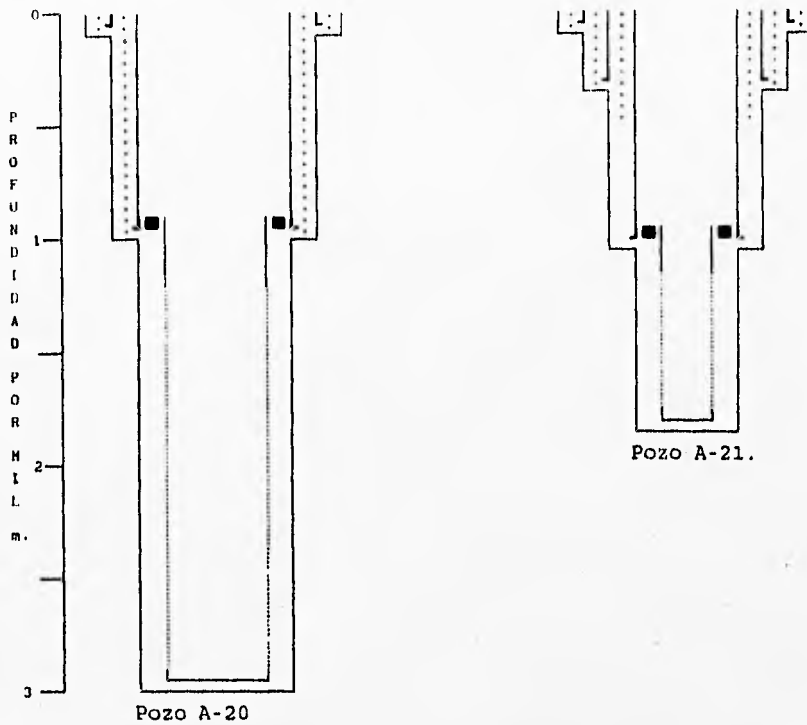
POZO	POZO A-16		POZO A-17	
	PROFUNDIDAD (m)		PROFUNDIDAD (m)	
TUBERIA φ (Pq)	ACUJERO	ASENT. T. R.	ACUJERO	ASENT. T. R.
CONDUCTORA 20	33	30	50	45
SUPERFICIAL 13.375	305	300	303	300
INTERMEDIA 9.625	1005	1000	613	560
PRODUCCION 7	2500		627	622

CORTE ESQUEMATICO DE LOS POZOS A-18 y A-19.



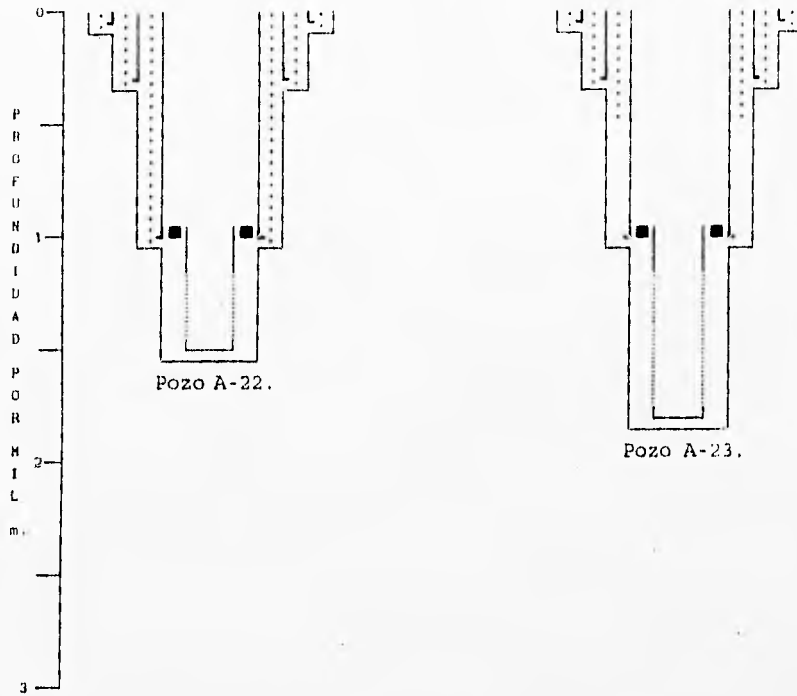
POZO	POZO A-18		POZO A-19	
	PROFUNDIDAD (m)		PROFUNDIDAD (m)	
	AGUJERO	ASENT. T.R.	AGUJERO	ASENT. T.R.
CONDUCTORA 20	58	56	50	49
SUPERFICIAL 13.375	305	301	305	302
INTERMEDIA 9.625	1005	990	1005	995
PRODUCCION 7	1328	1324	1666	1663

CORTE ESQUEMATICO DE LOS POZOS A-20 y A-21.



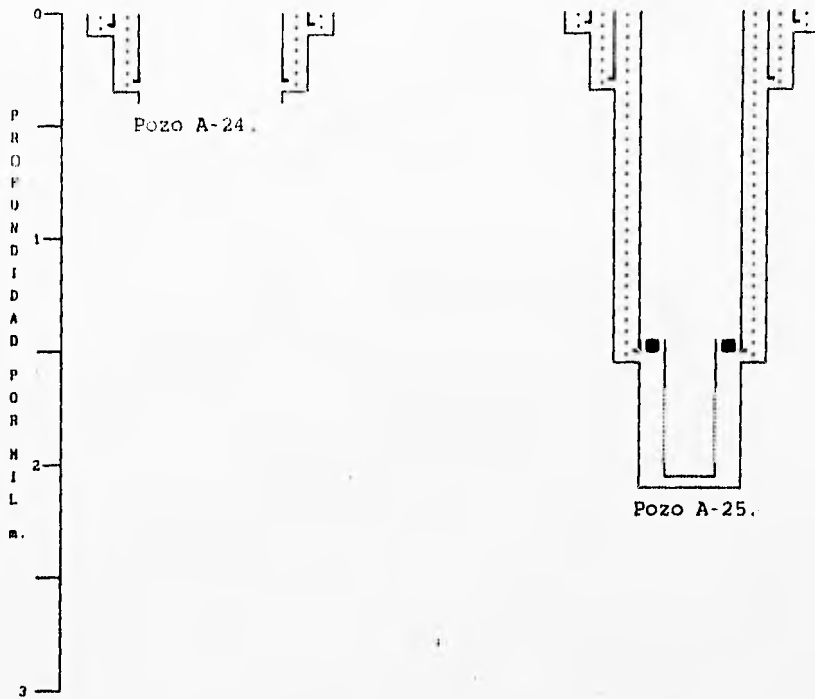
POZO	POZO A-20		POZO A-21	
	PROFUNDIDAD (m)		PROFUNDIDAD (m)	
	AGUJERO	ASENT. T.R.	AGUJERO	ASENT. T.R.
CONDUCTORA 20			53	47
SUPERFICIAL 13.375	302	286	305	300
INTERMEDIA 9.625	1005	1002	1005	1001
PRODUCCION 7	2893		1820	1796

CORTE ESQUEMATICO DE LOS POZOS A-22 y A-23.



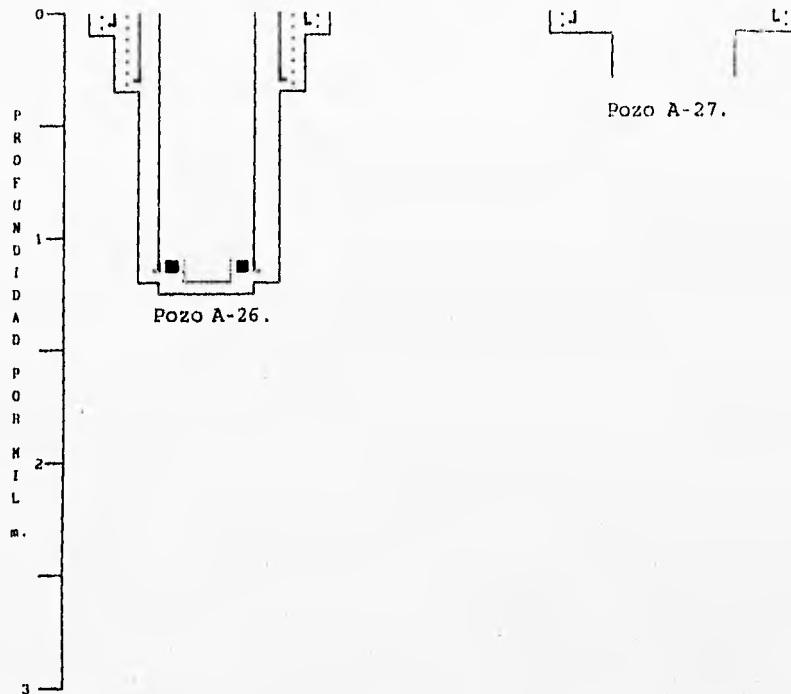
POZO	POZO A-22		POZO A-23	
	PROFUNDIDAD (m)		PROFUNDIDAD (m)	
TUBERIA φ (Pg)	AGUJERO	ASENT. T.R.	AGUJERO	ASENT. T.R.
CONDUCTORA 20	60	60	52	52
SUPERFICIAL 13.375	306	302	306	304
INTERMEDIA 9.625	1005	999	1096	1094
PRODUCCION 7	1560	1550	1825	1823

CORTE ESQUEMATICO DE LOS POZOS A-24 y A-25.



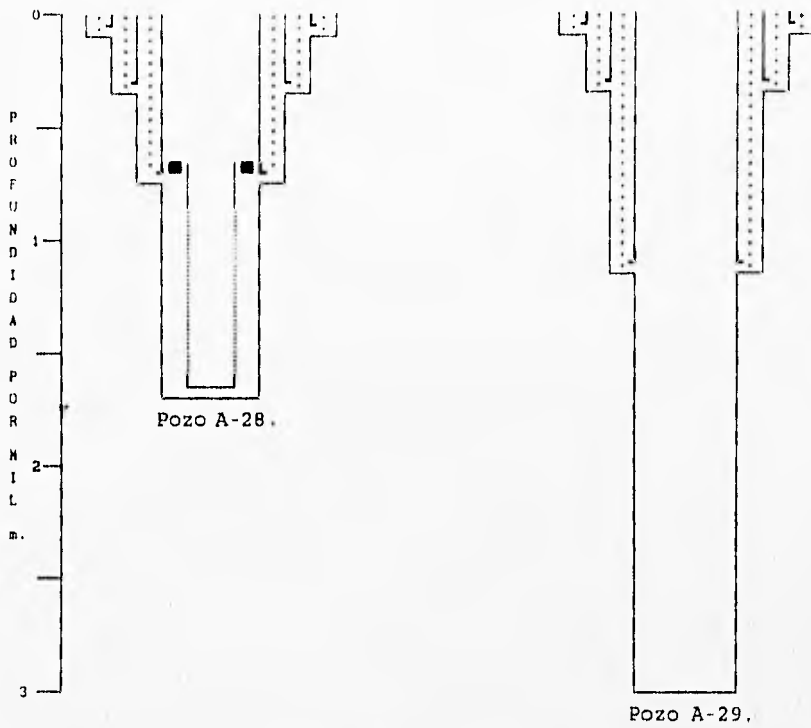
POZO TUBERIA φ (Pg)	POZO A-24		POZO A-25	
	PROFUNDIDAD (m)		PROFUNDIDAD (m)	
	AGUJERO	ASENT. T. R.	AGUJERO	ASENT. T. R.
CONDUCTORA 20	56	54.50	55	55
SUPERFICIAL 13.375	304	300.84	303	297
INTERMEDIA 9.625			1505	1488
PRODUCCION 7			2075	2072

CORTE ESQUEMATICO DE LOS POZOS A-26 y A-27.



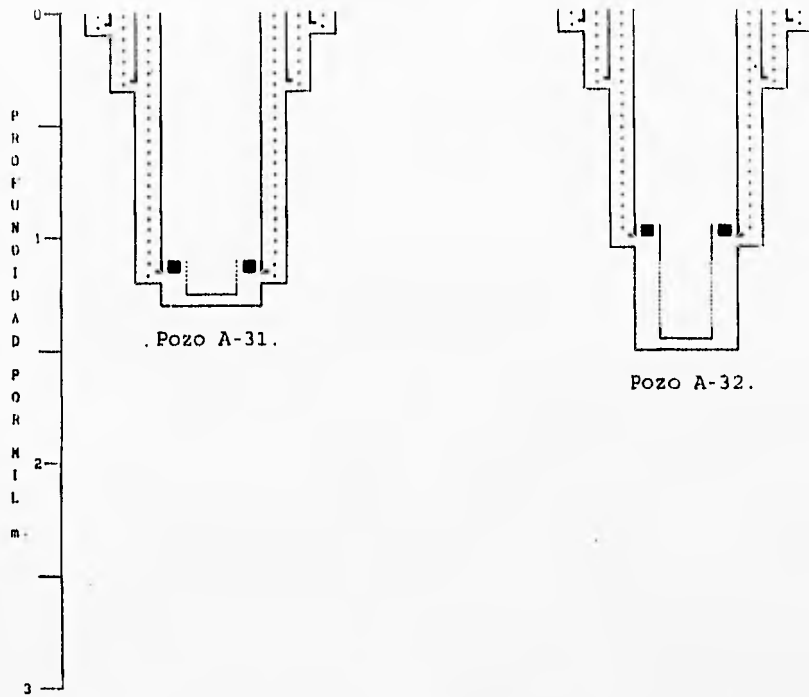
POZO	POZO A-26		POZO A-27	
	PROFUNDIDAD (m)		PROFUNDIDAD (m)	
TUBERIA φ (Pg)	AGUJERO	ASENT. T. R.	AGUJERO	ASENT. T. R.
CONDUCTORA 20	55	53	60	59
SUPERFICIAL 13.375	305	300		
INTERMEDIA 9.625	1165	1159.5		
PRODUCCION 7	1241	1240		

CORTE ESQUEMATICO DE LOS POZOS A-28 y A-29.



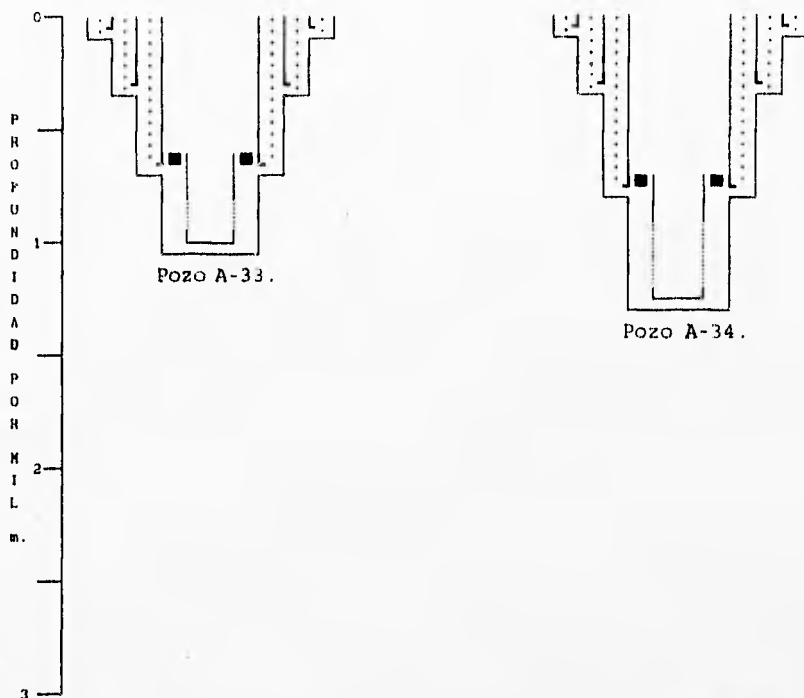
POZO	POZO A-28		POZO A-29	
	PROFUNDIDAD (m)		PROFUNDIDAD (m)	
	AGUJERO	ASENT. T.R.	AGUJERO	ASENT. T.R.
CONDUCTORA 20	60	58	60	59
SUPERFICIAL 13.375	303	300	304	300
INTERMEDIA 9.625	699	697	1081	1080
PRODUCCION 7	1680	1668	2900	

CORTE ESQUEMATICO DE LOS POZOS A-31 y A-32.



OZO	POZO A-31		POZO A-32	
	PROFUNDIDAD (m)		PROFUNDIDAD (m)	
TUBERIA φ (Pg)	AGUJERO	ASENT. T.R.	AGUJERO	ASENT. T.R.
CONDUCTORA 20	59	58	60	59
SUPERFICIAL 13.375	303	301	291.80	290
INTERMEDIA 9.625	1138	948	1004	979
PRODUCCION 7	1185		1482	

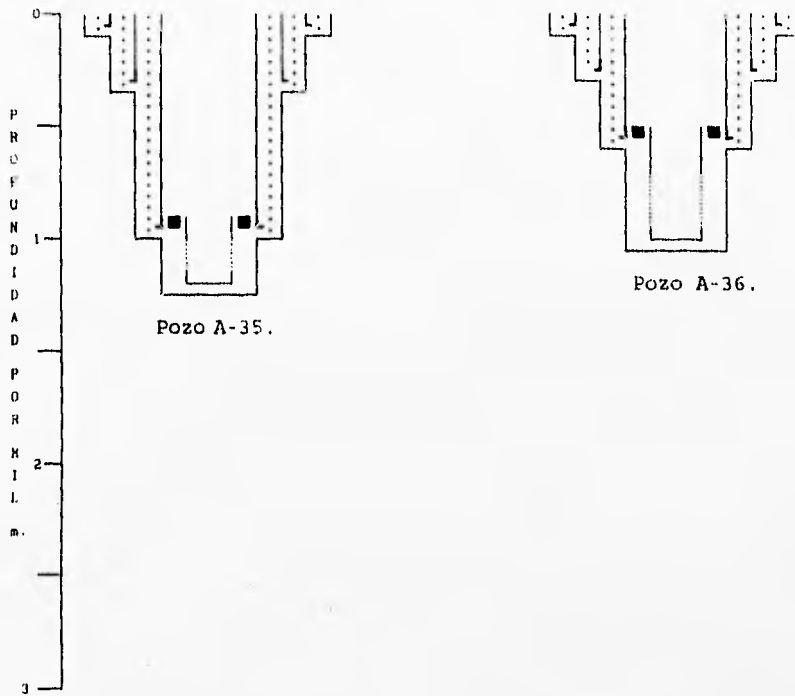
CORTE ESQUEMATICO DE LOS POZOS A-33 y A-34.



POZO	POZO A-33		POZO A-34	
	PROFUNDIDAD (m)		PROFUNDIDAD (m)	
	AGUJERO	ASENT. T. R.	AGUJERO	ASENT. T. R.
TUBERIA φ (Pg)				
CONDUCTORA 20	60	60	47	46
SUPERFICIAL 13.375	297	293	300	291
INTERMEDIA 9.625	645	612	757	750
PRODUCCION 7	1038	683	1273	856.3

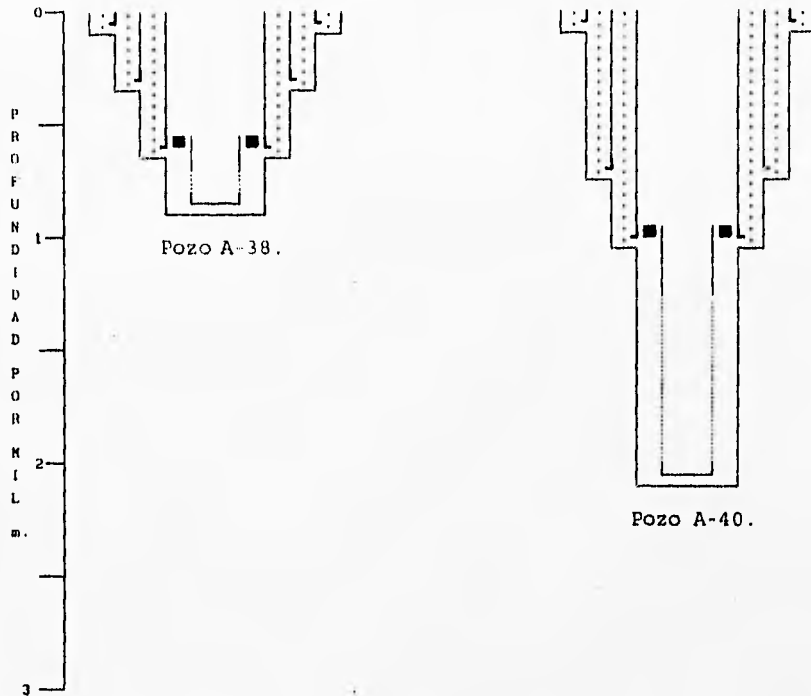
ESTA TESIS VA POR
 SALIR DE LA BIBLIOTECA

CORTE ESQUEMATICO DE LOS POZOS A-35 y A-36.



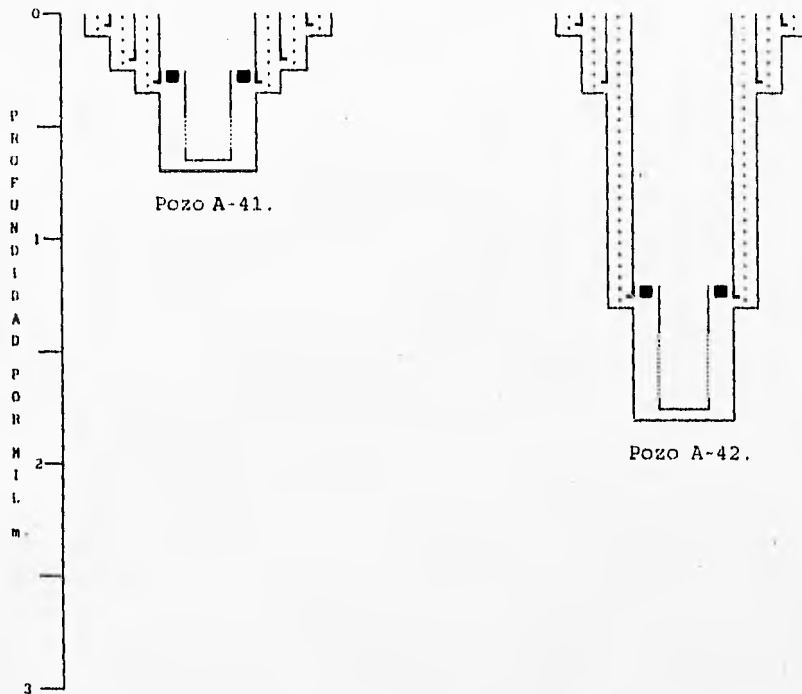
POZO	POZO A-35		POZO A-36	
	PROFUNDIDAD (m)		PROFUNDIDAD (m)	
TUBERIA φ (Pg)	ACUJERO	ASENT. T. R.	ACUJERO	ASENT. T. R.
CONDUCTORA 20	56	55	62	59
SUPERFICIAL 13.375	305	299	255	252
INTERMEDIA 9.625	960	954	605	602
PRODUCCION 7	1240	1232	1050	1034

CORTE ESQUEMATICO DE LOS POZOS A-38 y A-40.



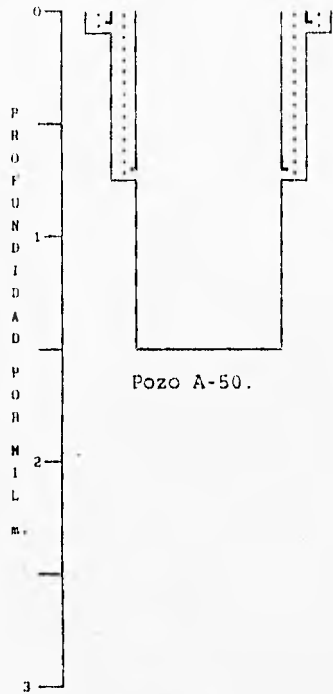
POZO	POZO A-38		POZO A-40	
	PROFUNDIDAD (m)		PROFUNDIDAD (m)	
	AGUJERO	ASENT. T. R.	AGUJERO	ASENT. T. R.
CONDUCTORA 20	62	58.5	47	47
SUPERFICIAL 13.375	305	297	692	$\phi = 11.75$ 692
INTERMEDIA 9.625	605	599	1052	
PRODUCCION 7	752	748	2081	$\phi = 7.625$ 1055

CORTE ESQUEMATICO DE LOS POZOS A-41 y A-42.



POZO	POZO A-41		POZO A-42	
	PROFUNDIDAD (m)		PROFUNDIDAD (m)	
TUBERIA φ (Pg)	AGUJERO	ASENT. T. R.	AGUJERO	ASENT. T. R.
CONDUCTORA 20	56	54	50	47
SUPERFICIAL 13.375	203		305	303
INTERMEDIA 9.625	340	340	1305	1296.5
PRODUCCION 7	674	451.5	1814	1806

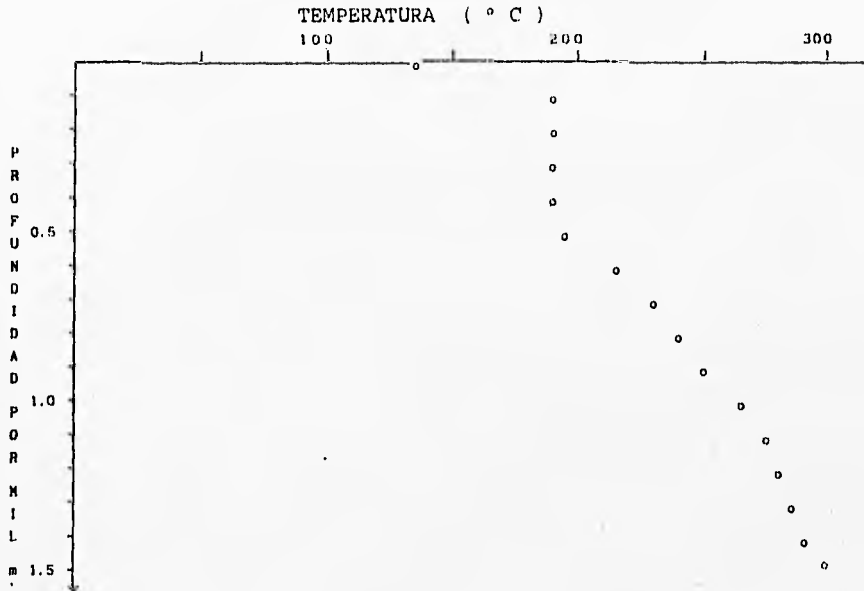
CORTE ESQUEMATICO DEL POZO A-50.



POZO	POZO A-50	
	PROFUNDIDAD (m)	
TUBERIA φ (Pg)	AGUJERO	ASENT. T.R.
CONDUCTORA 20	59	
SUPERFICIAL 11.75	710	
INTERMEDIA 9.625	1504	
PRODUCCION 7		

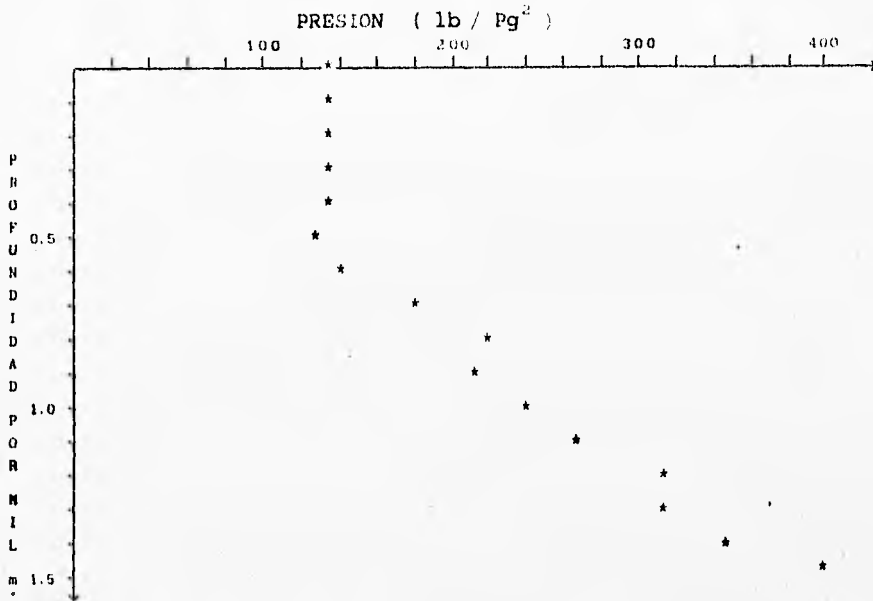
V.5. COMPORTAMIENTO TEMPERATURA-PRESION Vs. PROFUNDIDAD PARA EL POZO A-5.

GRAFICA 1. TEMPERATURA Vs PROFUNDIDAD (POZO A-5).



DATOS TÍPICOS DE UN REGISTRO DE TEMPERATURA EN UN POZO ESTÁTICO CON PRESIÓN.

GRAFICA 2. PRESION Vs PROFUNDIDAD (POZO A-5).



DATOS TIPICOS DE UN REGISTRO DE PRESION EN UN POZO ESTATICO CON PRESION.

V.6. VOLUMEN MAXIMO DE FLUIDOS GEOTERMICOS.

Considerando el dato proporcionado, la extensión del campo es de 25 Km² de superficie. Y como la profundidad del pozo productor más profundo es de 2591 m, para el pozo A-9 y la profundidad del pozo productor más somero es de 674 m. para el pozo A-41. Considerando que los pozos antes mencionados se encuentran localizados en la base y la cima del yacimiento respectivamente, el espesor del yacimiento es;

$$h = 2591 - 674 = 1917 \text{ m.};$$

y suponiendo que éste sea uniforme, el volumen total del yacimiento es: $V = 25 * 1.917 = 47.93 \text{ Km}^3$.

La porosidad efectiva promedio obtenida es $\phi_e = 8.15 \%$.

Por tanto el volumen máximo calculado de fluidos geotérmicos que puede contener el yacimiento es:

$$V_m = \phi_e * V = 47.93 * 0.0815 = 3.91 \text{ Km}^3$$

CAPITULO VI.

CONCLUSIONES

De la información analizada del presente trabajo se puede concluir que:

- Apartir de la crisis del petróleo en 1974, la geotermia adquiere cada vez mayor importancia como energético complementario de los combustibles fósiles.
- Para que la energía geotérmica pueda ser aprovechada, es necesario que ésta, esté concentrada en un área pequeña, constituyendo un yacimiento.
- La actividad geotérmica en México, está directamente relacionada con el vulcanismo.
- Los estudios exploratorios de una zona geotérmica se dividen en:
Estudios superficiales y perforación profunda.
- El yacimiento geotérmico de campo Los Azufres, está contenido en riolitas y andesitas.
- En el campo geotérmico Los Azufres, Mich., existe un sistema de fallas y fracturas, las cuales aumentan la porosidad y permeabilidad secundarias de las formaciones que contienen los fluidos geotérmicos.

- El máximo volumen de fluidos geotérmicos que pueden estar contenidos en el yacimiento del campo Los Azufres es 3.91 Km³. Volumen similar al expresado por Gutiérrez Negrín.

- El vapor contenido en el yacimiento sería suficiente para generar entre 220 y 330 Mw durante 35 años.

- Los primeros pozos exploratorios se perforaron entre 1976 y 1979.

- El fluido de perforación utilizado en el campo Los Azufres, es lodo bentonítico base agua, y aditivos como Spersene, XP-20, carbonato de sodio, sosa caústica y diesel.

- Se utilizan las siguientes tuberías de revestimiento :

a) Tubería conductora. Tiene un diámetro de 20 Pg y la profundidad de asentamiento promedio es 53.73 m.

b) Tubería superficial. Con un diámetro de 13 3/8 de Pg y la profundidad de asentamiento promedio es 314.58 m.

c) Tubería intermedia. Tiene un diámetro de 9 5/8 de Pg y se cementa de 1000 a 1500 m.

d) Tubería de producción (liner ranurado y ciego). Con un diámetro de 7 Pg. Esta tubería no se cementa, se cuelga por medio de un colgador de cuñas.

- Se ha perforado una longitud total de 80 562 m.

- Se han perforado 54 pozos, de los cuales 30 son productores, 10 inyectores y 14 en observación.

Bibliografía.

A. SANCHEZ, E. GARCIA, J. CASTILLO, S. MERCADO, G. H. BARROSO, S. SANTOYO Y M. MORALES.

"Fluidos de perforación de pozos geotérmicos".

Fase I, lodos y Cementos. Informe Final 10/3296/7, Cuernavaca Mor. Méx.

Vol. III. Observaciones de Campo, Informe IIE/FE/G. Diciembre 1982.

E. CONTRERAS, B. DOMINGUEZ, E. IGLESIAS, A. GARCIA Y R. HUITRON.

"Compendio de Resultados de Mediciones Petrofísicas en Núcleos de Perforación del Campo Geotérmico de Los Azufres, Mich.".

GEOTERMIA, Vol. 4, No. 2. Mayo-Agosto 1988, pp. 79-105.

EDUARDO GONZALEZ, DAVID NIEVA, HURTADO OROZCO .

"Petrografía y Metamorfismo Hidrotermal del Campo Geotérmico de Los Azufres, Mich.".

GEOTERMIA, Vol. 6, No. 1. Mayo-Agosto 1990, pp. 43-91.

E. GONZALEZ PARTIDA, D. NIEVA GOMEZ.

"Caracterización mineralógica en 10 Pozos del Campo Geotérmico de Los Azufres, Mich.".

GEOTERMIA, Vol. 5, No. 3. Septiembre-Diciembre 1989, pp. 347-373.

E. GONZALEZ PARTIDA Y F. GONZALEZ SANCHEZ.

"Estudio de los minerales opacos en una sección norte sur del campo geotérmico de Los Azufres, Mich."

GEOTERMIA, Vol. 4, No. 3. Septiembre-Diciembre 1988, pp. 107-122.

EDUARDO GONZALEZ P. y ROSA Ma. BARRAGAN R.

"El sistema Cu-Fe-S en el campo geotérmico de Los Azufres Mich."

GEOTERMIA, VOL. 1, No. 5. Enero-Abril 1989, pp. 107-125.

E. RAMIREZ-DOMINGUEZ, M. P. VERMA, D. NIEVA, J. I. QUIJANO Y J. MORENO.

"Ebullición y Mezcla en Procesos de Formación de Fuentes Termales en Los Azufres, Mich."

GEOTERMIA, Vol. 4, No. 2. Mayo-Agosto 1988, pp. 59-77.

GUTIERREZ NEGRIN C. A. LUIS.

"Geotermia: Una Fuente de Energía al Alcance de México".
Ciencia y Desarrollo, No. 73, . Marzo-Abril 1987, pp. 35-47.

J. CESAR VIGGIANO Y L. C. A. GUTIERREZ NEGRIN.

"Análisis Petrográfico Estadístico de Núcleos en el Campo Geotérmico de Los Azufres, Mich."

GEOTERMIA, Vol. 4, No. 2. Mayo-Agosto 1988, pp. 7-37.

J. CESAR VIGGIANO G.

"Régimen de flujo en base a Mineralogía Autigénica en el Campo Geotérmico de Los Azufres, Mich."

GEOTERMIA, Vol. 3, No. 3. Septiembre-Diciembre 1987, pp. 191-213.

J.M. MORALES, H. HERRERA, R. ARIOLA, S. SANTOYO Y A. PEREZ.

"Construcción de un pozo geotérmico".

Cap. I. de la sección cementación de pozos.

Monografía IIE sobre tecnología en construcción de pozos para el aprovechamiento comercial de recursos geotérmicos.

Curso OLADE-UNAM-IIE 1900, IIE Cuernavaca Mor.

L. C. A. GUTIERREZ N., A. LOPEZ, J. L. QUIJANO L.

"Zonas Geotérmicas de Interés en México".

GEOTERMIA, Vol. 5, No. 3. Septiembre-Diciembre 1989, pp. 283-346.

L. C. A. GUTIERREZ NEGRIN .

"Desarrollo Internacional 1985-1995 e Indices de Productividad".

GEOTERMIA, Vol. 7, No. 2. Mayo-Agosto 1991, pp. 231-253.

LUIS C. A. GUTIERREZ NEGRIN.

"1994-1995: Resultados y Perspectivas de la Geotermia en México".

GEOTERMIA, Vol. 11, No. 1, 1995. Mayo-Agosto, pp. 3-15.

