

# olade

## ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA Secretaría Permanente

BOLETIN ENERGETICO Nº 1.- ENERO-MARZO 1977



OLADE  
CENTRO DE DOCUMENTACION

ORGANO DE DIVULGACION TECNICA  
DEPARTAMENTO  
DE INFORMACION Y ESTADISTICA

# PROBLEMAS EN LA OPERACION DE LOS POZOS GEOTERMICOS DE CERRO PRIETO

## OPERATIONAL PROBLEMS ON THE GEOTHERMIC WELLS AT CERRO PRIETO

### SUMMARY

From the thirty - two geothermic deep wells drilled at Cerro Prieto, Baja California, Mexico, only two have not detected hot spots. At the present time, sixteen of these wells are connected to provide steam to the geothermic-electric plant with 75.000 KW capacity, inaugurated in 1973 and being in operation ever since.

The main problems encountered are:

incrustations of the production tubing, failure in the pipe casing and in some isolated cases, valve and elbow weathering of the superficial installations due to the sand dragging. To solve the first problem mentioned above, different methods of desincrustation were tested, increasing the thickness of the tubing and using joints of witer capacity for the second problem mentioned and regarding the third one, is not really a serious problem, due to the fact that this is present only very seldom.

ING. JORGE GUIZA LAMBARI

- Jefe del Departamento de Recursos Geotér-  
micos Comisión Federal de Electricidad  
MEXICO.
- Profesor de la Universidad Nacional Autó-  
noma de México;
- Profesor de la Universidad Ibero Americana;
- Estudios de Post Grado en Investigación de  
Operaciones, Evaluación de Proyectos y  
Administración y Fundamentos sobre Ope-  
ración de Reactores BWR. ;
- Miembro de Geothermal Resources Council.

## PROBLEMAS EN LA OPERACION DE LOS POZOS GEOTERMICOS DE CERRO PRIETO

### *ANTECEDENTES.*

En el campo geotérmico de Cerro Prieto se han perforado hasta la fecha 32 pozos geotérmicos profundos, algunos de ellos considerados como de exploración y otros de explotación o desarrollo.

De este total solamente dos de ellos no han detectado estratos suficientemente calientes, que son los pozos M - 4 y M - 6, aunque los registros de temperatura que se han corrido en este último han detectado un máximo de 152° C. de temperatura, insuficiente para mantener una producción continua de fluido geotérmico.

Del resto de los pozos, actualmente se tienen 16 conectados al sistema de recolección y conducción de vapor, para ser utilizado en los turbogeneradores 1 y 2 de la Planta Geotermoeléctrica de Cerro Prieto, con capacidad de 37.5 MW cada uno, es decir con una capacidad actual instalada de 75.000 KW.

La primera unidad de esta Planta fue puesta en servicio el 4 de Abril de 1973 y la segunda el 1o. de Septiembre del mismo año; desde entonces la operación de ambas unidades ha sido continua y solamente interrumpida por el mantenimiento programado fundamentalmente con propósitos de limpieza, que se ha dado a las turbinas una vez por año. Actualmente estos períodos de limpieza tienden a realizarse cada 18 meses en lugar de cada 12, dado el éxito que se ha tenido al incrementar la eficiencia de los separadores y por tanto la pureza del vapor.

La mayor parte de los pozos que se pusieron en servicio desde la iniciación de la operación de la planta o aún antes, continúan en producción, aunque si bien es cierto se ha visto una gradual disminución de su producción original, causada principalmente por la incrustación del ademe de producción.

El propósito de este trabajo es el de dar a conocer los problemas que se han presentado en la operación de algo más de tres años de estos pozos geotérmicos e indicar las medidas

que se han tomado para resolverlos o evitarlos.

### *TERMINACION DE LOS POZOS GEOTERMICOS*

Los pozos geotérmicos de Cerro Prieto, estan perforados a una profundidad promedio de 1.300 m, aunque hay algunos como el M - 53 que está perforado hasta 2.000 m.

La profundidad a la cual un pozo deberá terminarse ha quedado determinada, en primer lugar, por el grado de calentamiento que se observa en los lados de perforación, así como por la permeabilidad de los estratos calientes, evidenciada esta última por la pérdida de los fluidos de perforación, precisamente frente a los estratos calientes.

Habiéndose observado la formación de incrustaciones en el interior de las tuberías de producción en los lugares en los que ésta cambiaba de diámetro de menor a mayor según la dirección del flujo y habiendo explicado este fenómeno como producido por la expansión brusca y consecuente avaporación del fluido geotérmico saturado de sílice, se ha seguido la práctica de evitar la instalación de "liners" colgados, poniendo en su lugar tuberías de producción de diámetro uniforme desde el fondo hasta la superficie. Esta circunstancia ha obligado a "correr" las tuberías o ademes de producción con la porción del fondo previamente ranurada, con lo cual queda definitivamente fijada la zona que se va a explotar al poner el pozo en producción.

Otra práctica que se ha seguido, aunque con menos frecuencia, es la de "correr" un ademe ciego y perforar en forma selectiva con disparos a chorro, las zonas que de acuerdo con los registros de temperatura resulten más convenientes de explotar. Ambas terminaciones tienen sus ventajas y desventajas así como un diferente grado de dificultad.

La primera de ellas requiere una cementación en dos etapas, para evitar que la lechada de cementación se "cuelgue" al vencerse la

resistencia de las "canastas" de cementación e invada la zona productora. Con la cementación en dos etapas se logra que la primera cementación, que se efectúa en una longitud entre 80 y 100 m., sirva de apoyo a la segunda, que se realiza en toda la longitud de la tubería hasta la superficie.

La terminación del pozo utilizando disparos para perforar la tubería frente a la zona productora, ofrece dificultades debido a la temperatura que adquiere rápidamente el lodo en reposo en el seno del cual se hacen los disparos, requiriéndose por ello cables para el control de los disparos con aislamiento capaz de soportar altas temperaturas, además de la refrigeración con hielo del lodo de perforación.

#### *PROGRAMA DE ADEME*

El programa de ademe de la mayor parte de los pozos geotérmicos de Cerro Prieto, es como sigue: (FIG. 1)

En la parte superior del pozo se instala un ademe superficial de 406 mm. (16") de diámetro hasta una profundidad de 150 m., el cual se cementa desde el fondo hasta la superficie. A continuación se instala un ademe de anclaje de 298 mm. (11 3/4") de diámetro, hasta una profundidad de 700 a 1.000 m, el cual también es cementado desde el fondo hasta la superficie y finalmente se corre un ademe de producción desde el fondo hasta la superficie de 194 mm. (7 - 5/8") de diámetro, el cual tiene la porción inferior ranurada en una longitud de aproximadamente 150 m. Este ademe se cementa, dejando libre la porción ranurada, con cemento tipo "G" mezclado con aditivos apropiados, cuya proporción es variable con el objeto de ejercer la doble función de anclaje en la parte inferior y empacante en la superior.

Los aditivos que se emplean son principalmente harina de sílice, tierra diatomácea, perlita, retardadores de fraguado y bementita.

Este programa de ademe ha sido diseñado específicamente para las condiciones de Cerro Prieto tomando en cuenta la columna litológica de los pozos que se perforaron inicialmente, los cuales dieron a conocer la disposición de los diferentes estratos presentes

en el subsuelo.

El ademe de anclaje que se corre desde la superficie hasta una profundidad comprendida entre los 700 y los 1.000 m., tiene por objeto atravesar la capa sello compuesta por arcillas cuyo espesor es de este orden, ya que por lo general en el área en explotación no se presentan zonas calientes de producción dentro de estos estratos arcillosos que pudieran originar derrumbamiento de las paredes del pozo y atrapamiento de la tubería de perforación.

A partir de la profundidad indicada, se comienzan a detectar, durante la perforación, zonas alteradas por la acción hidrotermal, es decir estratos en que el terreno se ha metamorfizado, presentando mayor resistencia a la perforación y constituido por lutitas y areniscas. Es entonces cuando empieza a notarse un ascenso de la temperatura de los lodos de perforación, indicando que se ha llegado a la zona caliente. En el caso de que llegara a producirse una pérdida de la columna de los lodos, al encontrar una zona de muy alta permeabilidad, el peligro de derrumbe de las paredes del mismo sería mínimo y confinado a la sección situada debajo de la zapata de la tubería ancladora, ya que el resto del pozo hasta la superficie, se encuentra protegido precisamente por una tubería.

Como se dijo anteriormente, la perforación del pozo se continúa hasta encontrar las zonas de más elevada temperatura y porosidad.

Este programa está sujeto a modificación según sea la profundidad a que se encuentren los estratos productores. La tendencia actual es la de localizar estratos calientes poco profundos con el objeto de poder utilizar tuberías de gran diámetro como ademe de producción de los pozos. La entalpia menor con que se encontrará el fluido geotérmico a poca profundidad quedará altamente compensada por la mayor producción que podrá obtenerse al utilizar estas tuberías de mayor diámetro, obteniéndose así un potencial más elevado por pozo.

#### *INCRUSTACION*

En la mayor parte de los pozos geotérmicos de Cerro Prieto se ha notado una disminu-

ción gradual de su producción con el tiempo; fenómeno que se ha atribuído principalmente a la incrustación de la tubería de producción.

La velocidad de incrustación ha sido diferente de un pozo a otro. En algunos de ellos como en el M - 5, M - 8, M - 31, etc., ha sido tan lenta, que no se ha justificado su limpieza en el lapso que llevan conectados a la planta, en otros, su producción ha decaído tanto, que ha sido necesario sacarlos de servicio para desincrustarlos y tratar de recuperar su producción inicial.

Como regla general, se ha podido observar que los pozos que explotan los estratos productores más someros son los que más pronto se incrustan, debido a que el fluido geotérmico tiene en estos pozos una mayor concentración de sales de calcio. Esto se corrobora al analizar la composición de las incrustaciones que se han formado en la tubería de producción de pozos que explotan zonas de producción a diferentes profundidades.

De acuerdo con estos análisis, la relación  $\text{CaCO}_3/\text{SiO}_2$  en la incrustación, es mayor en los pozos someros y disminuye a medida que los estratos productores se localizan más abajo.

Así por ejemplo, en el Pozo M - 1A, cuya producción se obtuvo de una profundidad de 350 a 450 m., la incrustación estaba constituída por 94.6% de  $\text{CaCO}_3$  con sólo trazas de  $\text{SiO}_2$ , lo que dá una relación  $\text{CaCO}_3/\text{SiO}_2$  infinita.

En el pozo M - 29, con un horizonte productor comprendido entre los 726 y los 800 m., esta relación en la incrustación fue de 62 como promedio.

En el pozo M - 39 con el horizonte productor entre 1086 y 1493 m., la relación  $\text{CaCO}_3/\text{SiO}_2$  promedio 9.

En el M - 11 produciendo entre 876 y 1395 m., esta relación fue de solamente 1.26.

Como la máxima temperatura a que puede encontrarse el fluido geotérmico en un

campo de agua caliente, es la temperatura de saturación correspondiente a la presión hidrostática a que se encuentra sometido en función de la profundidad corregida por su salinidad, se deduce que los fluidos de más alta temperatura o alta entalpia, provenientes de los estratos productores más profundos, son los que tienen menor tendencia a formar incrustaciones.

El mecanismo de incrustación de un pozo geotérmico es el siguiente:

Los fluidos geotérmicos se hallan en el yacimiento con una concentración de  $\text{SiO}_2$  correspondiente al punto de saturación a la temperatura del yacimiento. Al evaporarse una parte del agua que contienen, pasan a una condición de sobresaturación. Esta evaporación generalmente ocurre a lo largo de la tubería de producción, mientras el fluido viaja hacia la boca del pozo, originándose un depósito de sílice en la zona en que el flujo pasa de la condición de bache a la de eminentemente anular, por ser en esta zona donde se produce la ebullición de la película líquida que se encuentra sobre la pared del tubo conductor originándose la situación de sobresaturación que se menciona anteriormente. En esta zona se produce también el desprendimiento más importante del bióxido de carbono contenido en el fluido geotérmico, originándose la precipitación del carbonato de calcio, en una proporción que dependerá de su concentración en dicho fluido.

Es posible determinar para un gasto dado y aún para el gasto total, la profundidad a la cual se inicia la evaporación del fluido geotérmico en un pozo en producción y por consiguiente la zona más probable en que puede formarse la incrustación. Para este propósito se toman simultáneamente los registros de presión y temperatura a lo largo del pozo el cual se mantiene descargando al flujo que se desee y que sea posible mantener sin causar la expulsión de los instrumentos de medición. Estos valores de la presión y temperatura se comparan con la curva de saturación termodinámica de la salmuera en un diagrama PT (Fig. 2).

Los puntos que se encuentran por debajo de la curva de saturación indican condiciones de líquido sobrepresionado, donde la evaporación aún no se produce. Cuando los valores de presión y temperatura obtenidos de los registros respectivos para una profundidad dada, coinciden con los de la curva de saturación, es cuando se inicia la evaporación.

En algunos pozos esta coincidencia ocurre desde el fondo del pozo indicando que en esta zona, incluyendo la zona ranurada del "liner" o de la tubería de producción, puede incrustarse. En otros pozos la coincidencia ocurre dentro de la tubería de producción y más cerca de la superficie.

Esta zona de evaporación desciende cuando se hace trabajar el pozo a un gasto mayor (1).

#### *DESINCRUSTACION*

La desincrustación de los pozos se ha ensayado utilizando diferentes métodos y equipos con resultados variables y no siempre satisfactorios.

En algunos pozos se ha empleado el mismo equipo rotatorio de perforación, como en el pozo M - 5, el cual por haberse notado una disminución de su producción del 50% , se limpió por este método, habiéndose recuperado su producción original.

Para esta operación se utilizaron escariadores y barrenas tricónicas. Sin embargo, en otros pozos en que se ha utilizado este mismo método no se ha obtenido el mismo éxito.

El inconveniente que tiene este sistema es el de que es necesario utilizar lodos de perforación para levantar los cortes, lo que ocasiona un enfriamiento del pozo, con los consecuentes esfuerzos térmicos sobre el ademe, que ésto trae consigo. Además, existe el peligro de invadir la zona de producción con estos mismos lodos, lo que puede originar su oclusión parcial o total, aunque siempre se coloca un tapón puente.

Otros pozos como el M - 11, se han desincrustado con un equipo de percusión, el que tiene la ventaja de no requerir el uso de

lodos de perforación, pudiéndose llevar a cabo la operación en "caliente", utilizando el propio flujo del pozo para levantar los cortes. Es necesario, desde luego, utilizar los prensa-estopas adecuados para poder trabajar sin que interfieran los escapes de vapor. Este método tiene el inconveniente de que para un equipo de esta naturaleza los límites de profundidad para la mejor operación son menos de 600 m. (2) ya que a profundidades mayores de 400 m el estiramiento del cable disminuye la carrera efectiva de la herramienta (3).

Así mismo el uso de prensa-estopas impide sentir en el cable el golpe de la barrena que es con lo que se controla la operación del equipo, aparte de que no se tiene el recurso de poder girar la barrena en el caso de un atascamiento de la misma.

También se ha intentado la limpieza (Pozo M - 20) con equipo de chorro de agua a alta presión, ("Water blast"), con poco éxito, debido a la acción amortiguadora del agua en que está sumergida la cabeza de toberas, llegándose con poca velocidad a la incrustación.

A la fecha se está considerando para la desincrustación, el empleo de un equipo rotatorio para perforación con aire, equipado con los preventores rotatorios apropiados, el cual no requiere enfriar el pozo ni el uso de lodos de perforación sino que es el mismo aire el que ayuda a levantar los cortes, empleando barrenas del tipo de cola de pescado que permitan un mayor flujo entre la barrena y la tubería de producción.

#### *PROBLEMAS CON LAS TUBERIAS DE ADEME*

Las tuberías que se han utilizado en Cerro Prieto, hasta la fecha, han sido de la clase K - 55 (o J - 55), cuya composición ha demostrado soportar bien la acción corrosiva de los fluidos geotérmicos, ya que inclusive hay pozos como el M - 5 que tienen más de 12 años de haber sido perforados y aún están en servicio.

En los primeros pozos (M - 3 y M - 5) se utilizó tubería con rosca redonda; pero se tuvo la experiencia de que estas roscas llegaron a fallar con los cambios bruscos de temperatura;

por tal motivo se optó por roscas Buttress y se han extremado los cuidados para evitar que los pozos se sujeten a estos cambios bruscos de temperatura, para lo cual se da un lapso suficientemente largo de estabilización antes de poner en producción por primera vez un pozo (desarrollo) o bien al ahogarlo durante alguna intervención que sea necesario hacer en el mismo ( 4 ).

Como no es posible evitar del todo estos cambios bruscos de temperatura, se ha seleccionado para los nuevos pozos las juntas que para el manejo de vapor han diseñado especialmente los fabricantes de accesorios para tuberías, tales como la HYDRIL SUPER EU, las cuales tienen una resistencia a los esfuerzos de tensión y de compresión superior a la de la tubería misma (eficiencia de 100 a 110%), mientras que la Buttress es algo menor (90 a 100%). Adicionalmente, como las juntas quedan a tope, se evita la posible cavitación que pudiera ocasionarse en los espacios de mayor diámetro que quedan con otros coples. No se tiene hasta el momento suficiente experiencia para afirmar que ésta sea la solución definitiva a este problema, ya que sólo se han utilizado en un solo pozo.

También se han tenido problemas con el colapso de las tuberías al producirse esos cambios súbitos de temperatura, lo que ha obligado a utilizar tuberías de ademe con mayor resistencia al aplastamiento. De análisis de las dos alternativas existentes: utilizar una tubería fabricada con aleaciones de mayor resistencia, o incrementar el espesor de las tuberías fabricadas de material K - 55, se vió que esta última era la más económica, por lo cual en el programa de perforación de pozos que está por iniciarse, se consideraron tuberías con peso por metro lineal mayor al estándar API.

Actualmente se tienen en la Residencia de Cerro Prieto, las tuberías que habrán de utilizarse para estos nuevos pozos, las cuales son de los pesos siguientes:

*Tubería de:*

298 mm (11 - 3/4") de diámetro, Peso: 96.9  
Kg/m (65 lb/ft)

194 mm ( 7 - 5/8") de diámetro, Peso: 67.5  
Kg/m (45.3 lb/ft)

127 mm ( 5" ) de diámetro, Peso: 34.6  
Kg/m (23.2 lb/ft)

Es de esperarse que con estas tuberías se eliminen los problemas de colapso de las tuberías o cuando menos que éstos se reduzcan a un mínimo ( 3 ).

En otros campos geotérmicos no se han tenido problemas de colapsos posiblemente por la menor temperatura de los fluidos geotérmicos que se explotan. Lo que sí se tiene plenamente comprobado, es que los pozos de alta temperatura lógicamente están expuestos a tener problemas de este tipo, ya que el esfuerzo por dilatación térmica, sobrepasa el punto de cedencia de la tubería.

#### *EROSION POR FLUJO DE ARENA*

En Cerro Prieto, todos los pozos producen a través de un "liners" o ademe ranurado, o a través del ademe perforado con disparos, como se explicó al principio.

Las ranuras tienen un ancho de 6.35 mm (1/4") y una longitud de 50.8 mm (2").

La densidad del ranurado se calculó en base de procurar un área de paso igual al área transversal de la tubería productora por cada 30 cm. de longitud (un pie lineal).

Normalmente, en un pozo después de terminada su perforación, se substituye el lodo de perforación por agua y una vez que se logra establecer y mantener su producción (activación), se abre gradualmente su purga hasta lograr el máximo calentamiento. Se procede enseguida a desarrollarlo es decir, descargarlo verticalmente a la atmósfera a través de una serie de conos de diámetro creciente hasta lograr que el flujo no contenga prácticamente arena al hacerlo fluír con la máxima descarga ( 4 ).

En muy pocos pozos se ha presentado el flujo de arena espontáneo estando un pozo en operación. Cuando ésto ha llegado a suceder, se ha ocasionado la erosión de la curva que

conecta el pozo al separador; pero ésto no ha constituido un problema grave.

Se considera que el flujo de arena que se presentó en algunos de los pozos al principio era debido a la presencia de alguna rotura de la tubería.

No se ha considerado necesario hasta la fecha la instalación de filtros de grava formados "in situ" en el fondo del pozo ni de filtros integrales con la tubería o "liner " ranurado.

#### **CONCLUSIONES:**

Los problemas que se han presentado en

la operación de los pozos geotérmicos de Cerro Prieto, Mexicali, B.C., han sido relativamente pocos y puede considerarse, que con las precauciones debidas, en la apertura y cierre de los pozos, así como en las intervenciones que se tengan que hacer en los mismos para cualquier reparación, es posible garantizar una vida superior a los 5 años; sin embargo, queda aún por resolver el problema de la incrustación de la tubería de producción por las sales contenidas en los fluidos geotérmicos.

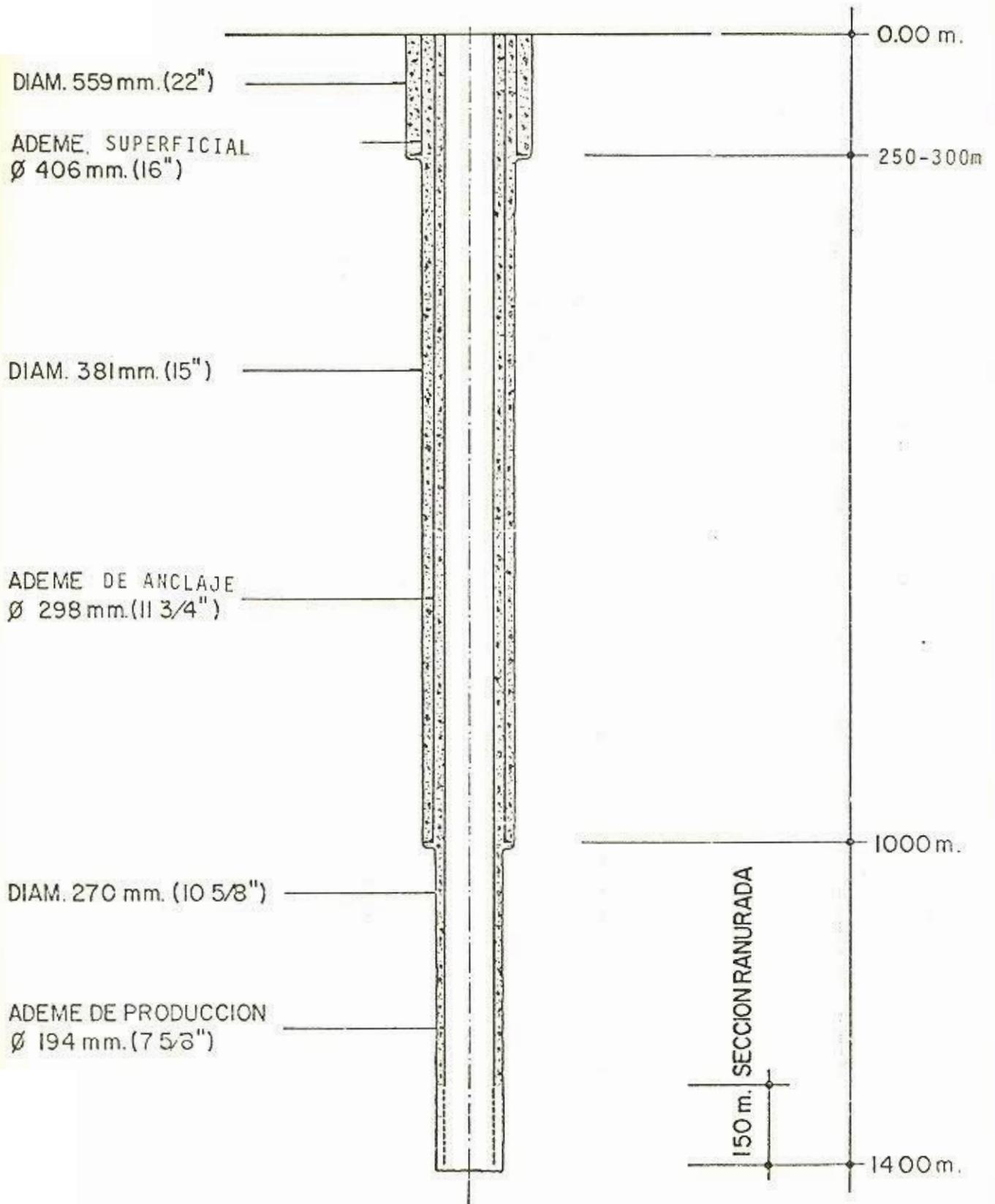
Debe de continuarse en la investigación de un método de desincrustación económico y eficiente que no perjudique el yacimiento ni las tuberías de ademe de los pozos.

## BIBLIOGRAFIA

- (1) Tolivia Enrique, (1972) "Flow in Geothermal Wells (An Analytical Study) " *Geothermics. Vol. I No. 4* pp. 141 - 145.
- (2) Mc Cray & Cole (1970) *Tecnología de la Perforación de Pozos Petroleros C.E.C.S.A.* México, D.F. P. 378
- (3) Uren Charles Lester (1964) *Ingeniería de Producción de Petróleo, Desarrollo de los Campos Petroleros. C.E.C.S.A., México, D.F.* p. 217.
- (4) Domínguez A. Bernardo y Bermejo Fco. Javier (1975) "*Método Actual para la Apertura e Inicio de Explotación de Pozos en el Campo Geotérmico de Cerro Prieto, Baja California, México*" en *Actas de Segundo Simposio de las Naciones Unidas para el Desarrollo y Uso de los Recursos Geotérmicos. San Francisco, Calif. U.S.A.* pp. 1619 - 1628
- (5) Tolivia Enrique (1975) "Estudio sobre las tuberías de Pozos de Cerro Prieto". Informe Interno no publicado por la Comisión Federal de Electricidad.

# PROGRAMA TIPICO DE ADEME DE UN POZO GEOTERMICO.

FIG 1



POZO M-30  
COMPORTAMIENTO TERMODINAMICO

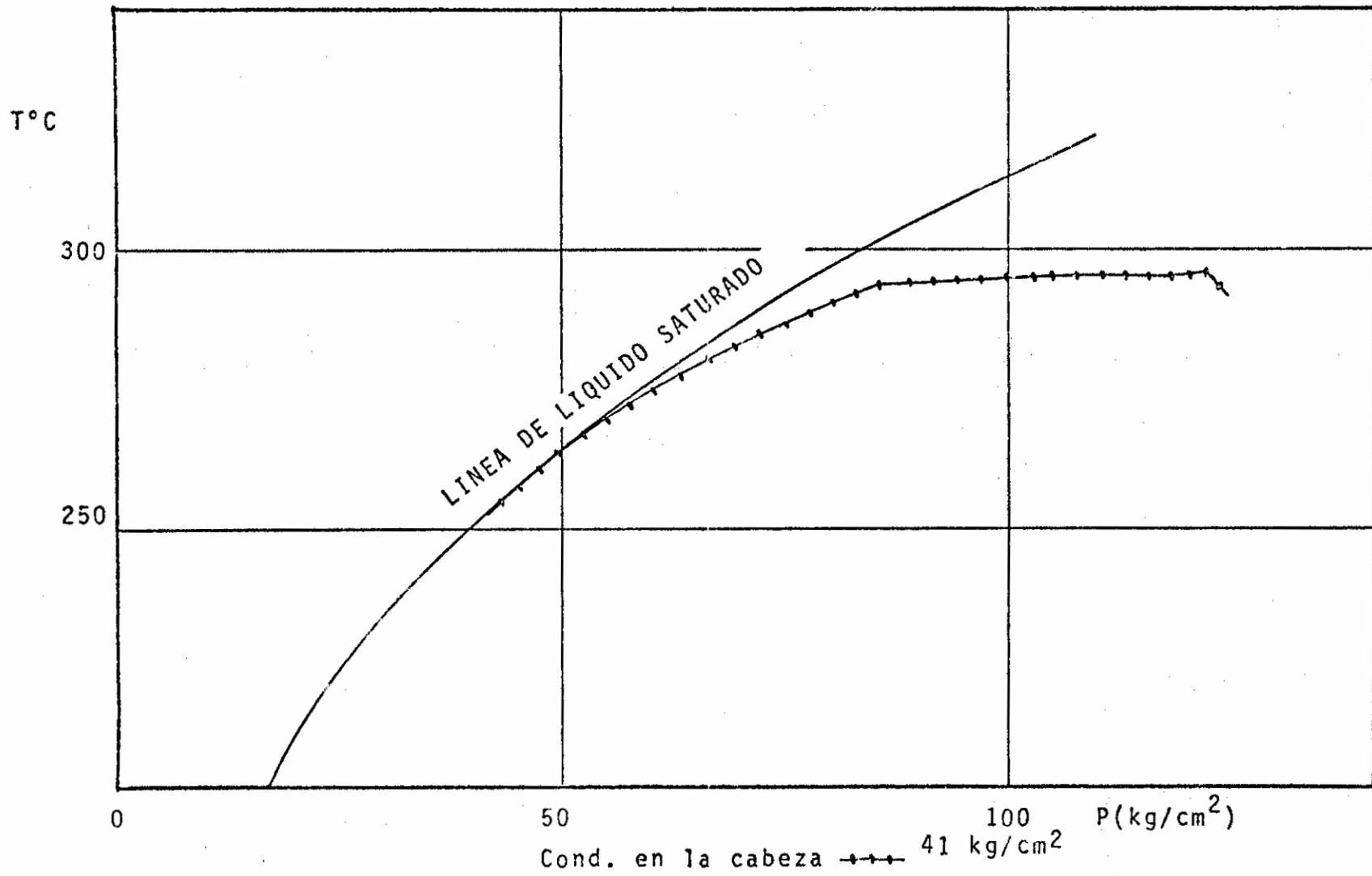


FIG. 2  
22