



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

REGISTROS DE PRESION Y
TEMPERATURA EN POZOS
GEOTERMICOS

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO PETROLERO

P R E S E N T A

PABLO CRESPO HIDEZ.

México, D. F.

1987



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 está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

I N D I C E

	PAGINA
INTRODUCCION	1
CAPITULO I.- GENERALIDADES	
I.1.- ENERGIA GEOTERMICA	3
I.2.- CONCEPTOS BASICOS DE YACIMIENTOS GEOTERMICOS	4
I.3.- DISEÑO MECANICO DE UN POZO GEOTERMICO	16
I.4.- INSTALACIONES SUPERFICIALES	19
I.5.- DETERMINACION DE ZONAS DE INTERES EN UN POZO GEOTERMICO	28
I.6.- PARAMETROS QUE SE OBTIENEN A PARTIR DE LOS - REGISTROS DE PRESION Y TEMPERATURA	31
CAPITULO II.- DESCRIPCION DEL EQUIPO UTILIZADO EN LA TOMA DE REGISTROS DE PRESION Y TEMPERATURA	
I N T R O D U C C I O N	33
II.1.- UNIDAD DE REGISTROS DE PRESION Y TEMPERATURA DE BAJA RESOLUCION	34
II.2.- UNIDAD DE REGISTROS DE ALTA RESOLUCION PARA- MEDICIONES DE PRESION	58
CAPITULO III.- OPERACION Y CALIBRACION DEL EQUI- PO PARA TOMA DE REGISTROS	
I N T R O D U C C I O N	70
III.1.- OPERACION Y CALIBRACION DE LA UNIDAD DE RE- GISTROS DE BAJA RESOLUCION	71
III.2.- OPERACION Y CALIBRACION DE LA UNIDAD DE RE- GISTROS DE ALTA RESOLUCION	85

	PAGINA
CAPITULO IV.- INTERPRETACION DE LA CARTA REGISTRADORA	
INTRODUCCION	97
IV.1.- CARTA NORMAL DE PRESION Y TEMPERATURA	99
IV.2.- PROBLEMAS MECANICOS EN LA ZONDA QUE SE DETE <u>C</u> TAN MEDIANTE LA CARTA REGISTRADORA	101
IV.3.- LECTOR DE LA CARTA REGISTRADORA	116
CAPITULO V.- APLICACIONES DEL EQUIPO A POZOS GEOTERMICOS	
INTRODUCCION	118
V.1.- CORRELACION DE LOS DATOS DE PRESION Y TEMPERATURA PARA DEFINIR CONDICIONES INICIALES DE YACIMIENTO-- CON MODELOS MATEMATICOS Y DIAGRAMAS	119
V.2.- INTERPRETACION DEL PERFIL DE PRESION Y TEMPERATURA PARA IDENTIFICAR ZONAS PRODUCTORAS	127
V.3.- EVALUACION DE PARAMETROS PETROFISICOS A PARTIR DE LAS PRUEBAS DE INYECCION RECUPERACION	130
V.4.- DETERMINACION DEL INDICE DE INYECTIVIDAD	132
V.5.- DETECCION DE LA CIMA DE CEMENTO DE TUBERIA DE RE-VESTIMIENTO	135
V.6.- DETERMINACION Y DISTRIBUCION DE LAS FASES AGUA-- VAPOR-GAS EN POZOS A CONDICIONES ESTATICAS	137
CAPITULO VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	139
NOMENCLATURA	142
BIBLIOGRAFIA	143

I N T R O D U C C I O N .

Motivado por la necesidad de obtener fuentes-alternas de energía, el hombre ha desarrollado técnicas-que le permiten extraer de una manera controlada, los -recursos que le proporciona la naturaleza, así como méto-dos a través de los cuales son evaluados cuantitativa y-cualitativamente.

De las diferentes fuentes de recursos que ha-logrado aprovechar, hasta principios de siglo, ha surgi-do la necesidad de explotar la energía calorífica almace-nada en la corteza terrestre, lo cual ha dado lugar --al inicio del desarrollo de la Industria Geotérmica,-apoyada en los Principios y Fundamentos de la Industria-Petrolera.

En nuestro País, a partir de fines de la deca-da de los cincuenta se ha dado especial interés a la ex-plotación de pozos geotérmicos, en la actualidad han lo-grado desarrollarse los Campos de Cerro Prieto en Baja -California Norte y Los Azufres en el Estado de Michoacan; además se tienen en proceso de perforación exploratoria-en los Campos de La Primavera en Jalisco, y Los Humeros-en el Estado de Puebla.

Existen otros lugares en exploración geológi-ca, geofísica y geoquímica.

Se puede afirmar que el Potencial Geotérmico-de México es grande, y que dentro de esta área ocupa un-lugar sobresaliente, ya que ha logrado desarrollar algu-nos de sus campos con procedimientos y programas propios reduciendo en gran parte, la dependencia tecnológica del extranjero. México presta asesoría en Perforación Geotér-mica a algunos países de Latinoamérica.

Con la finalidad de evaluar los recursos geotérmicos, a través de las diferentes etapas de un pozo, es necesario realizar mediciones directas empleando los registradores de Presión y Temperatura e indirectas utilizando modelos matemáticos, nomogramas o correlaciones entre pozos vecinos; por esta razón durante la etapa de perforación de un pozo geotérmico se efectúan registros de Presión y Temperatura; en la etapa de terminación; -- además de lo anterior, se realizan pruebas de Presión, -- las cuales requieren la utilización de los mismos instrumentos, variando solamente los procedimientos de aplicación. A lo largo de la vida productiva de un pozo geotérmico, continuamente se toman registros de pruebas de Presión, Temperatura -- Presión, con el fin de conocer las variaciones que se han presentado en las propiedades del sistema pozo-yacimiento.

El objetivo de este trabajo es realizar una descripción de los elementos que se utilizan en la toma de estos registros, aplicados a pozos geotérmicos, así como los procedimientos de operación y calibración, dándole un enfoque práctico o de campo. Para lograr este -- objetivo, se desarrolló con la recopilación de las experiencias obtenidas en la aplicación de estos dispositivos, así como consultando los diferentes manuales de los instrumentos y equipos.

Se intenta con esto reunir la mayor información posible en un solo trabajo para su utilización práctica.

C A P I T U L O I

G E N E R A L I D A D E S .

I.1.- ENERGIA GEOTERMICA.

La tierra es una fuente casi inagotable de calor natural, el cual se incrementa a mayores profundidades de la corteza. Existen grandes zonas de actividad -- volcánica a lo largo de la superficie terrestre, estas regiones se caracterizan por tener elevadas temperaturas aún a profundidades someras (decenas o centenas de metros), si en estas zonas se localizan mantos acuíferos, el calor de la roca se transfiere a los fluidos, con lo cual adquieren altas temperaturas que en ocasiones produce un cambio de fase (liquido a vapor) aún a profundidades relativamente grandes, el agua al aumentar su temperatura almacena una gran cantidad de energía interna y energía de flujo, dando lugar a lo que se conoce como -- ENERGIA GEOTERMICA.

La fuente generadora de calor puede ser una intrusión magmática o una gran masa ígnea, la cual se -- formó en el suceso de un evento geológico, estos fenómenos pueden crear una serie de fallas y fracturamientos -- que actúan como canales de conexión entre la fuente de calor y el acuífero subterráneo o algún estrato permeable saturado con agua.

Algunos yacimientos tienen una capa superficial impermeable que sirve de sello, la cual evita que los fluidos calientes del yacimiento migren hacia la superficie, manifestándose fugas o migraciones a través de pequeñas fallas o fracturas, dando origen a diversos tipos de manifestaciones hidrotermales como fumarolas, volcanes de lodo, geisers, lagunas calientes y otros.

I.2.- CONCEPTOS BASICOS DE YACIMIENTOS GEOTERMICOS.

DEFINICIONES.

CAMPO GEOTERMICO. Es un área con actividad geotérmica a la cual se le asigna comunmente el nombre geográfico del lugar. El término es netamente geográfico y en ningun momento se describe al sistema que ha dado origen y mantiene la actividad del campo.

SISTEMA GEOTERMICO. -Es el total del sistema hidrológico subterráneo asociado con un campo geotérmico. Esto incluye todas las partes de la unidad de flujo, desde la fuente de agua, sea fría o caliente hasta las áreas de descarga dentro o cerca del campo. También incluye las fuentes de calor directamente relacionadas con la unidad de flujo.

REGION GEOTERMICA. -Es una unidad independiente dentro del contexto de la geología regional, esto es, debe estar limitada y definida por ciertas características geológicas cuya existencia permitieron la creación y mantenimiento de sistemas geotérmicos asociados con los campos que ésta contiene.

YACIMIENTO GEOTERMICO. - Es la sección del sistema geotérmico con fluidos de alta temperatura (mínima 180° C) en la cual se lleva a cabo la extracción de masa o energía que se ve considerablemente afectada por ella.

RECURSO GEOTERMICO BASE. - Es aquel contenido en una cantidad de material dada de la corteza terrestre aún cuando se desconozca su existencia y sin importar el factor económico.

RECURSO GEOTERMICO ACCESIBLE. Es aquella parte

del recurso geotérmico base que se encuentra a una profundidad tal que puede ser alcanzado por la perforación en un futuro cercano.

RECURSO GEOTERMICO ACCESIBLE IDENTIFICADO.-Se refiere a una concentración específica de energía geotérmica conocida y caracterizada mediante evidencias geoquímicas, geológicas, geofísicas y de perforación.

RECURSO GEOTERMICO ACCESIBLE NO IDENTIFICADO.-Se refiere a concentraciones de energía geotérmica no especificadas pero que su existencia se basa en un amplio conocimiento geológico y teórico.

RESERVA GEOTERMICA.- Es la parte del recurso geotérmico que ha sido identificado y que además puede ser extraído a costos competitivos con otras fuentes de energía comerciales.

En la figura 1 se muestra un diagrama de McKelvey para energía geotérmica, mostrando los conceptos de recurso y reserva. El eje vertical depende del factor económico y el horizontal del conocimiento geológico.

CLASIFICACION DE SISTEMAS GEOTERMICOS.- Esta clasificación está hecha en base a los procesos naturales de transportación de calor y fluido. La transferencia de calor desde el interior de la tierra hasta la superficie puede llevarse a cabo mediante convección o conducción.

SISTEMAS CONDUCTIVOS.- A este grupo pertenecen los acuíferos con temperatura arriba de la del medio ambiente, manantiales calientes asociados con sistemas de fallas y fracturas, sistemas geopresurizados y roca seca caliente.

SISTEMAS CONVECTIVOS.- A estos pertenecen los sistemas de líquido dominante, y, vapor dominante.

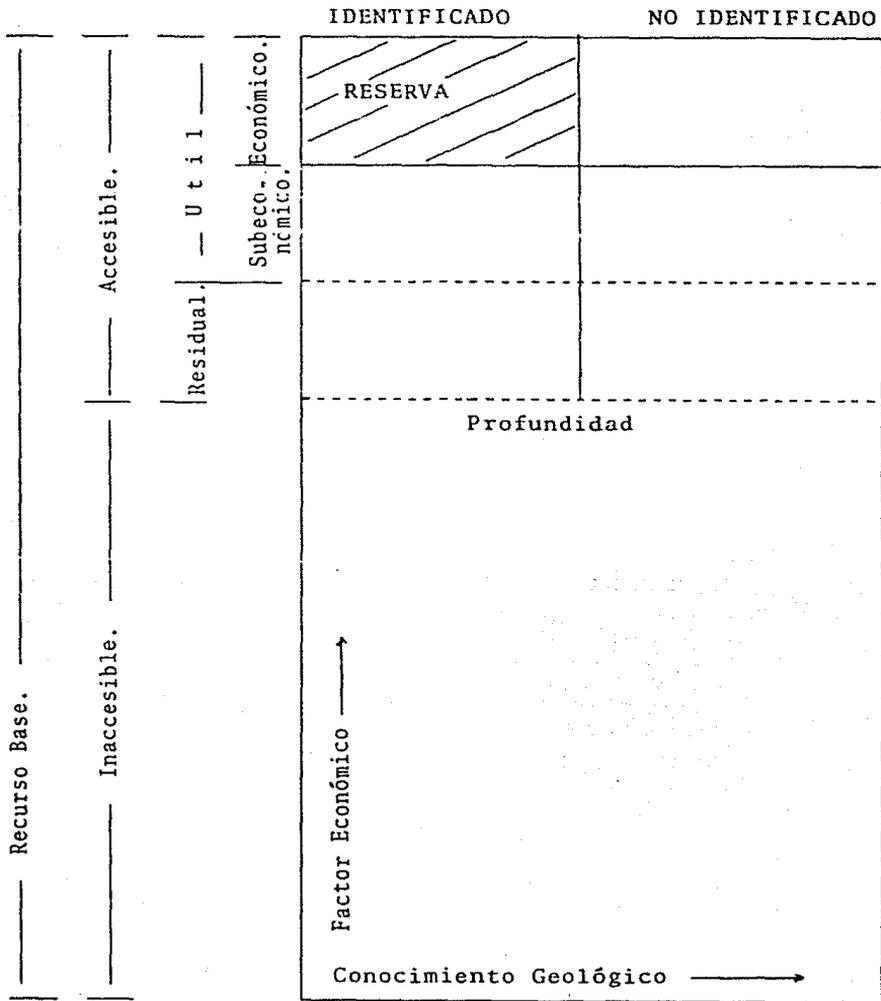


Figura 1.- Diagrama de McKelvey.

De los sistemas antes mencionados se describen a detalle cuatro tipos principales:

- a].- Vapor Dominante (Vapor Seco)
- b].- Líquido Dominante (Agua Caliente)
- c].- Acumulaciones Geopresurizadas (Calientes).
- d].- Formaciones Secas (Roca Caliente)

Cada uno de estos sistemas tiene un potencial de explotación, el yacimiento de vapor dominante ofrece las condiciones óptimas para generar electricidad. En la actualidad la técnica disponible para generar energía eléctrica por medios geotérmicos solamente hace uso del vapor.

Hay algunas consideraciones que deben cumplirse para generar energía eléctrica a partir del vapor geotérmico:

a].- La temperatura del yacimiento debe ser alta (180° C como mínimo y preferentemente superior a los 200° C).

b].- La profundidad del yacimiento debe estar a menos de 3000 metros.

c].- El volumen del yacimiento debe ser adecuado (mayor de 5 km³).

d].- El yacimiento debe contener fluidos a presión para transferir el calor y así en superficie accionar las plantas generadoras de energía eléctrica con una presión mínima de 7 kg/cm² en el cabezal del pozo.

e].- La transmisibilidad de la formación debe

ser adecuado (mínimo 6 $\frac{\text{Darcy-metro}}{\text{centipoise}}$), para asegurar una -
entrega sostenida de fluidos a los pozos a gastos lo sufi-
cientemente altos (20 toneladas/hora de vapor como mínimo)
con una calidad de 100 %; equivalente a entregar 1144.2 --
Btu/lbm de energía calorífica a la turbina generadora de -
electricidad.

f].- No debe haber grandes problemas tecno- -
lógicos sin resolver.

Desafortunadamente, estas condiciones son muy
difíciles de encontrar en la corteza terrestre.

YACIMIENTOS DE VAPOR DOMINANTE.- Este tipo de sistema es el más raro que se ha encontrado en la naturaleza y el más deseable, debido a que permite obtener recursos energéticos con menores problemas de producción, y contaminación ambiental.

Los mecanismos de producción de los yacimientos de vapor son similares a los yacimientos de gas natural.

La recuperación en fracción de la masa original es usualmente alta, de alrededor de 0.85-0.90; la situación para la recuperación de energía, sin embargo es completamente diferente, siendo muy baja. Esto se debe a que la mayoría del calor es almacenado en la roca y, partiendo de que los procesos de flujo de vapor en el yacimiento son isotérmicos, nada del calor que contiene la roca se recupera. Para recuperar el calor almacenado en la formación, los procesos de producción deben reducir la temperatura de la roca. Para estos sistemas, se puede recuperar energía adicional por medio de un proceso de recuperación mejorada, usando reinyección de líquido al yacimiento.

SISTEMAS DE AGUA CALIENTE.- En estos sistemas el agua es la fase continua, y controla a la presión del yacimiento. Estos pueden contener algo de vapor, el cual se encuentra como burbujas distribuidas en las zonas poco profundas de baja presión.

El agua en estos sistemas es una solución acuosa diluida que contiene sodio, potasio, litio, calcio, cloruro, bicarbonato, sulfato, boro, y un alto porcentaje de sílice.

La energía que almacenan estos sistemas es -- más alta que para los sistemas de vapor dominante. Ramey y colaboradores han mostrado que la fracción de energía recuperada por esta clase de sistemas es más alta que para los sistemas de vapor dominante.

Esto es causado por "flasheo" del agua en el yacimiento o por reinyección del agua producida, los cuales son los factores clave en la recuperación de energía geotérmica en estos sistemas. Los problemas encontrados en la explotación de estos sistemas son más difíciles que -- aquellos encontrados en los sistemas de vapor dominante, debido a los problemas de incrustación, corrosión, y contaminación ambiental.

ACUMULACIONES GEOPRESURIZADAS (Calientes).-

Los sistemas geopresurizados están compuestos de roca que contiene fluidos a presiones más grandes que la normal (hidrostática). Precisamente, estas zonas tienen formación altamente impermeable, que evita la migración de los fluidos hacia el exterior, en consecuencia, causa que los fluidos saturantes en estas zonas soporten parcialmente una sobre carga de almacenamiento. Esto da como resultado un incremento de presión del fluido.

Los gradientes de presión en una zona geopresurizada, usualmente se aproximan al gradiente de presión litostática, igual a $1 \text{ lb/pg}^2/\text{pie}$.

Los sedimentos geopresurizados tienen una baja conductividad térmica y una alta capacidad calorífica, causando una alta temperatura en el sistema.

Los fluidos contenidos en un sistema geopresurizado están normalmente saturados con metano. La cantidad de metano asociada con el agua que satura el sistema, puede ser importante. Esto puede significar un beneficio adicional que se obtiene a partir de la explotación de estas acumulaciones.

Otro factor que incrementa la solución del metano en el agua de estos yacimientos es la salinidad del agua, la cual es más baja a condiciones de yacimiento geopresurizado que a condiciones normales.

El agua de baja salinidad puede contener más metano en solución que el agua de alta salinidad.

FORMACIONES SECAS (Roca Caliente).-

Las formaciones secas calientes son sistemas que no contienen agua que actúe como medio de transmisión de calor.

La incidencia de este tipo de recursos geotérmicos es más grande que los sitios geotérmicos saturados de fluidos.

Estos sistemas pueden dar un importante suministro de energía, teniendo los medios para extraer y usar tal calor económicamente. La forma más sencilla económica y práctica para recuperar calor de estos sistemas es introduciendo agua a la formación, haciéndola circular hasta que haya sido calentada a una temperatura suficientemente alta, y entonces recuperar el fluido como vapor o agua caliente, (Smith y colaboradores, 1973, 1975). Frecuentemente las formaciones secas tienen muy baja permeabilidad, y los problemas de recuperación del agua inyectada son solu-

cionados creando fracturas con un área de flujo, tal que permita que el agua pueda fluir hacia los pozos productores continuamente, por largos periodos de tiempo. Esto -- permitirá recuperar el calor mediante el contacto del -- agua con la superficie de flujo en la roca.

El sistema de extracción de calor básico consiste de un pozo inyector y un pozo productor, interconectados por una fractura hidráulica.

Los sistemas geotérmicos saturados con fluidos (sistemas convectivos) pueden ser clasificados sobre las bases de la localización de sus condiciones iniciales en un diagrama presión-temperatura. Whiting y Ramey (1969); y Martin (1975) han presentado una clasificación de estos sistemas. En la figura 2 se presenta un diagrama presión-temperatura para el agua como fluido.

La línea continua es la curva de ebullición o "flasheo". Para incluir el efecto de las sales disueltas en las salmueras geotérmicas se debe modificar el diagrama. Esto es de gran ayuda para analizar eventos subsiguientes cuando se pone a producir un yacimiento considerando diferentes condiciones iniciales. Algunos puntos de la figura 2 se deben de observar. El punto A representa las condiciones iniciales para una fase, (vapor), este yacimiento inicialmente existe en la región de vapor. No hay yacimiento de agua caliente porque las condiciones no lo permiten; en consecuencia, el flujo es isotérmico y la curva no se cruza. Al fin de su vida productiva la temperatura del yacimiento será alta. De esta manera, puede recuperarse energía adicional por medio de la inyección de agua.

El punto B representa las condiciones iniciales de un yacimiento, estas condiciones caen sobre la curva de presión de vapor y, consecuentemente, hay dos fases (agua caliente y vapor) presentes en las condiciones -- iniciales del yacimiento. La analogía de este yacimiento con un yacimiento petrolero, es la presencia de una capa de gas. De acuerdo con Whiting y Ramey (1969), para estos sistemas de producción hay una mezcla de agua caliente y vapor que varía en un rango desde líquido saturado - hasta vapor saturado.

El punto C corresponde a un yacimiento que - originalmente sólo tiene agua caliente. El mecanismo de - producción es tal que, eventualmente, tanto como la pre - sión del yacimiento declina, las condiciones de la curva de saturación se alcanzan.

Como el fluido en el yacimiento es agua ca - liente, el flujo en el yacimiento es isotérmico e isoen - trópico. Cuando se alcanza la curva de saturación, la pre - sión y temperatura declinan a lo largo de esta curva.

El punto D de la figura 2 corresponde a un - yacimiento que originalmente existió a condiciones de pre - sión y temperatura arriba del punto crítico. Eventualmen - te, tanto como la presión declina debido a la producción, un yacimiento de este tipo debe ser similar al yacimiento A. Estos yacimientos usualmente no muestran condiciones - de presión y temperatura que podrían dar como resultado - un cruzamiento con la curva de presión.

El punto E representa un yacimiento cuya con - dición inicial de presión es más alta que la presión crí - tica. Debido a la producción, la presión del yacimiento -

declinará, y el yacimiento eventualmente será similar a los casos C y B .

Para la predicción del comportamiento de estos sistemas, es necesario conocer la producción de masa y entalpía de los fluidos producidos, así como la historia de presiones de los pozos.

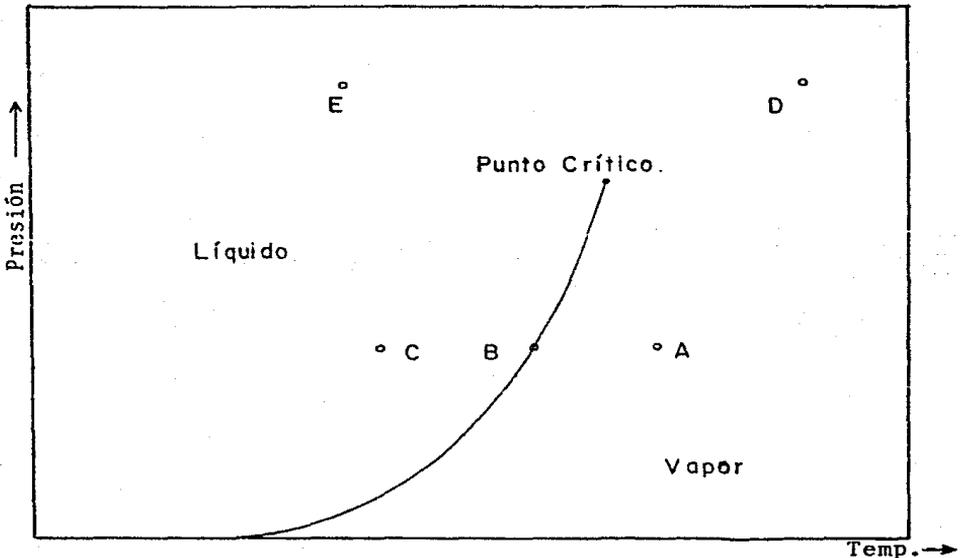


Fig. 2 .-Diagrama Presión-Temperatura para el agua.

La tabla I presenta la valoración de los diferentes sistemas geotérmicos:

Tabla I.- Valoración de los diferentes sistemas geotérmicos.

TIPO DE YACIMIENTO	TECNOLOGIA	IMPACTO AMBIENTAL	RENTABILIDAD ECONOMICA	DISPONIBILIDAD DEL RECURSO
Vapor Dominante	Establecida	Pequeño	Atractivo	Limitada
Líquido Dominante	Parcialmente - establecida	Potencialmente grande	Conocida pero Incierto	Limitada pero significativa en algunas áreas
Formaciones Secas (roca caliente)	Sólo parcialmente desarrollada	Desconocido	Parcialmente conocido	Potencialmente grande
Acumulaciones Geopresurizadas (calientes)	Sólo parcialmente desarrollada	Desconocido	Parcialmente conocida	Limitada pero significativa en algunas áreas

Debido a que la energía geotérmica es una -- fuente importante de energía en todo el mundo, la tecnología para la recuperación de calor de las formaciones secas (roca caliente) tiene que ser desarrollada completamente. Esto necesitará de un extenso programa de investigación para evaluar todos los aspectos relacionados a estos sistemas.

I.3.- DISEÑO MECANICO DE UN POZO GEOTERMICO.

La obtención de energía geotérmica en forma de vapor o agua caliente con fines comerciales se logra a través de pozos, los cuales se perforan a profundidades que oscilan de 500 a 3000 m, dependiendo de la localización de las zonas productoras.

Los pozos geotérmicos se construyen usando técnicas y equipos similares a la perforación de pozos petroleros, salvo algunas diferencias.

A continuación se da una descripción del estado mecánico de un pozo geotérmico típico.

Se tiene un contrapozo de aproximadamente 2-metros de profundidad y 3 m de largo por 2m de ancho.

Concentricamente distribuidas las tuberías de revestimiento de un pozo geotérmico quedan de la siguiente manera:

a).- Tubería Conductora de 30 pg de diámetro con una longitud de aproximadamente 12 metros. El agujero tiene un diámetro de 40 pg y se realiza a pico y pala.

b).- Tubería de revestimiento (.Superficial) de 20 pg de diámetro, totalmente cementada, con una longitud que va desde la superficie hasta los 60-100 m de profundidad, dependiendo de las condiciones de la litología superficial. El agujero de esta tubería se perfora inicialmente con una barrena de 12 1/4 pg de diámetro, luego se

hace una ampliación a 20 pg de diámetro, y por último se amplía a 26 pg de diámetro.

c].- Tubería de Revestimiento de 13 3/8 pg de diámetro (Intermedia), totalmente cementada con una longitud que va desde la superficie hasta los 300 metros aproximadamente. El agujero de esta tubería se perfora con barrena de 12 1/4 de pg de diámetro y posteriormente se amplía a 17 1/2 pg de diámetro.

d].- Tubería de Revestimiento de 9 5/8 pg de diámetro (Productora) completamente cementada con longitud que va desde la superficie hasta profundidades de 500- y 2000 metros o más dependiendo de las condiciones de cada pozo. El agujero de esta tubería se perfora con barrena de 12 1/4 pg de diámetro.

e].- Tubería de Revestimiento Corta de 7 pg-- de diámetro. Esta tubería se utiliza en las zonas de los pozos que presentan interés para producción o inyección. - El agujero en el cual se aloja ésta, se perfora con barrena de 8 1/2 pg de diámetro. La tubería de revestimiento -- corta se ancla a la parte inferior de la tubería de 9 5/8 pg de diámetro.

La descripción del estado mecánico que presenta un pozo geotérmico, se observa en la figura 3 .

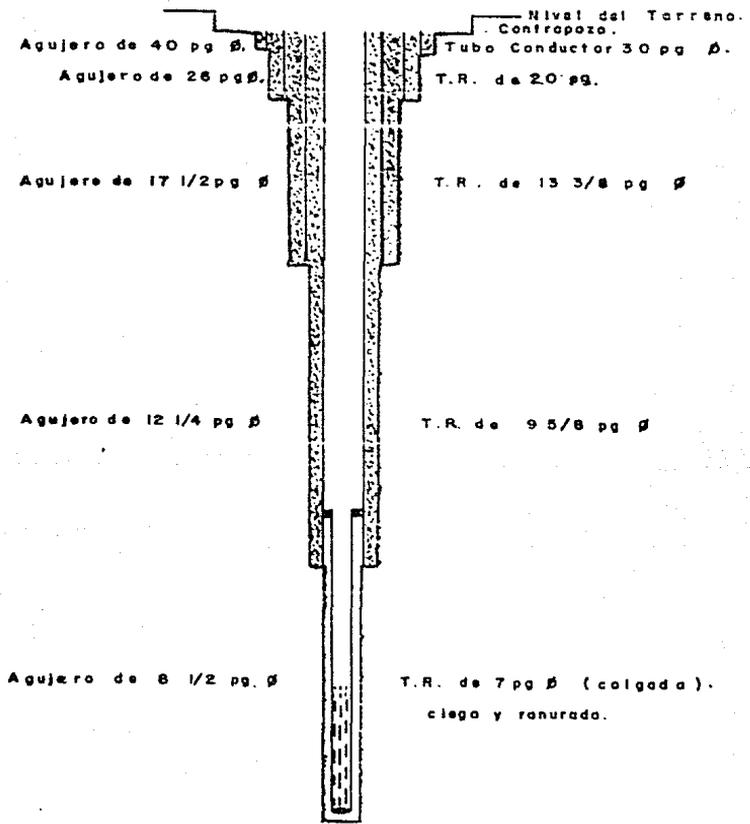


Fig. 3 - CONDICIONES MECANICAS TÍPICAS DE UN POZO GEOTERMICO.

I.4.- INSTALACIONES SUPERFICIALES DE UN POZO GEOTERMICO.

Las instalaciones superficiales de un pozo -- geotérmico, se pueden subdividir en Arbol de Válvulas y - Línea de Descarga.

Aj.- Arbol de Válvulas Geotérmico.

Se define como el conjunto de accesorios y -- elementos mecánicos superficiales que se instalan una vez terminado el pozo.

Inicia sobre el último cabezal de revestimiento, y es el medio para hacerlo producir y medirlo, controlarlo y/o repararlo.

Durante la construcción del pozo se instala - el medio árbol, el cual está constituido por elementos como cabezal de revestimiento, cuñas colgadoras de la última tubería de revestimiento cementada, el carrete adaptador;- este medio árbol está complementado por el equipo de control superficial, constituido por elementos como preventores, desviador de flujo, las líneas del cabezal o del carrete, etc. Estos se sustituyen al terminar el pozo por la válvula maestra, válvulas laterales, cruz y la válvula superior.

Los árboles de válvulas geotérmicos se originan a partir de los árboles de navidad petroleros, solo se han hecho algunas adaptaciones y modificaciones con motivo de las altas temperaturas, presiones y fluidos con gases -

que se encuentran asociados a la producción geotérmica. -
Los rangos de presión y temperatura (presión de trabajo -
con vapor), para accesorios del árbol geotérmico, deben-
estar de acuerdo con el Código A N S I B 1 6 . 5 y - --
A N S I B 1 6 . 3 4 .

Los elementos mecánicos y accesorios que in-
tegran un árbol geotérmico se describen a continuación, -
incluyendo el último cabezal de revestimiento.

El árbol geotérmico está conformado en forma
ascendente de la siguiente manera (esta distribución pue
de observarse en las figuras 4 y 5):

a).- Cabezal para tubería de revestimiento -
de 13 3/8 pg de diámetro.

b).- Cuñas Colgadoras para tubería de reves-
timiento de 9 5/8 pg de diámetro (dentro del cabezal).

c).- Juego de Válvulas Laterales de 2 pg de
diámetro (del cabezal).

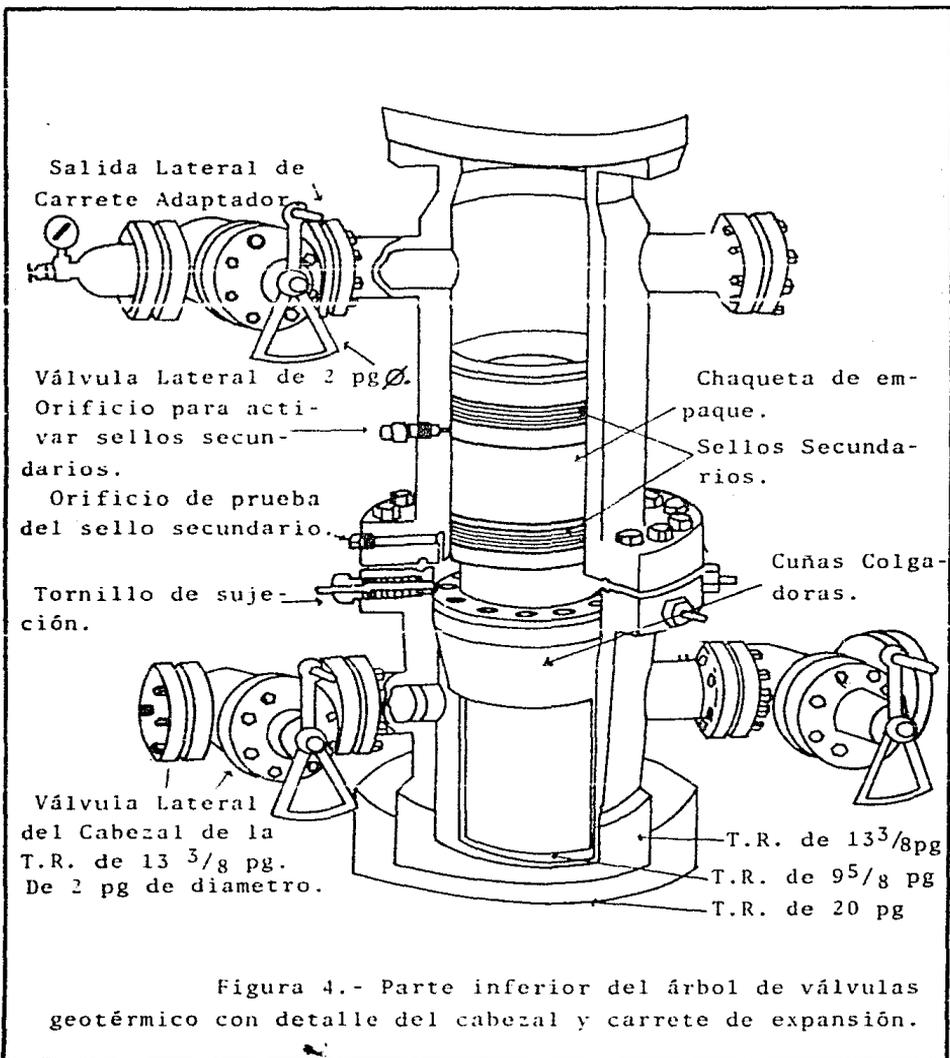
d).- Carrete Adaptador (de expansión) de -
12 pg a 10 pg de diámetro.

e).- Juego de Válvulas Laterales de 2 pg de
diámetro (del carrete).

f).- Válvula Maestra de 10 pg de diámetro.

g).- Cruz Bridada de 10 pg de diámetro con -
cuatro brazos.

h).- Válvula Superior de 10 pg de diámetro.



i].- Juego de Válvulas Laterales de 10 pg de diámetro.

A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de los elementos antes mencionados.

a].- Cabezal para Tubería de Revestimiento.

Se define como el elemento unido al final de la sarta de tubería de revestimiento, o a otro cabezal, - que sirve para soportar a la sarta de tubería de menor -- diámetro y efectuar también el aislamiento del espacio -- anular entre las dos sargas de revestimiento. Por lo general el cabezal para tubería de revestimiento de 13 3/8 pg de diámetro (33.97 cm) está compuesto de un cuerpo con un mecanismo de doble acción (colgador-empacador), pu -- diendo o no haber un elemento de retención para este último mecanismo, está construido de acero forjado en forma - integral, con brida en la parte superior de 15 5/8 pg - - (34.61 cm) de diámetro A P I tipo 6 B para presión- de trabajo de 211.2 kg/cm^2 (3000 lb/pg²) en frío, con - salidas laterales roscadas tipo N P T y soldadas al - - cuerpo, opuestas 180°, teniendo éstas en el extremo, briedas de 5.24 cm (2 1/16 pg) de diámetro A P I tipo 6 B para 351.4 kg/cm^2 (5000 lbs/pg²), con rosca interior de 2 pg de diámetro tipo N P T . La rosca en la parte infe -- rior interna es tipo Buttres con preparación para soldadu -- ra, y diámetro interior de 31.75 cm (12 1/2 pg), para - alojar cuñas colgadoras de 34.29 cm (13 1/2'pg) de - diámetro, y profundidad del nido para alojar cuñas colga- doras de 20.48 cm (8 1/16 pg), espesor mínimo de la - - sección del nido 3.81 cm (1.5 pg), longitud de rosca - -

Buttres 13.97 cm (5 1/2 pg).

b).- Cuñas Colgadoras para Tubería de Revestimiento de 9 5/8 pg de diámetro.

Este es un mecanismo combinado (colgador -- empacador) formado por tres partes básicas: cuerpo metálico, empaque para alta temperatura y mordazas metálicas. El empaque debe alojarse entre las dos partes metálicas. Se utiliza para sellar y aislar el espacio anular formado por dos sargas de tubería de revestimiento, también sirve para mantener suspendida, tensionada y empacada una sarga, esto a través de la acción de las mordazas o cualquier aditameno to semejante contra la sarga de revestimiento.

Las cuñas colgadoras o colgador tipo envolverte, tienen un mecanismo de cerrojo tipo aldaba, que abre mediante la presión de un destornillador y cuatro mordazas cementadas en la superficie para una sujeción perfecta de la tubería. Presentan una capacidad de carga máxima de 450 toneladas, diámetro exterior de 34.13 cm (13 7/16 pg) - y altura total de 20.47 cm (8 1/10 pg).

c).- Válvulas Laterales de 2 pg de diámetro - (5.08 cm).

Es el dispositivo que se emplea para el control de flujo, pudiendo ser de paso completo, regulación - y/o para cambios de dirección.

La válvula más comunmente usada es de Clase - ANSI-900 (3000 lb/pg²), deben ser probadas hidrostática - mente en el lugar de fabricación, efectuandose la prueba - de presión de 158.2 kg/cm² (2250 lb/pg²), como prueba de sello a condiciones estándar ; la prueba del cuerpo debe-

ser a la presión de 210.9 kg/cm^2 (3250 lb/pg^2) a condiciones ambientales. El diámetro interior para estas válvulas será el referido nominalmente. A temperatura de 300°C estas válvulas soportan una presión máxima de trabajo de 90.75 kg/cm^2 (1285 lb/pg^2).

d].- Válvula Maestra de 10 pg de diámetro -- (25.40 cm).

Es el dispositivo mecánico que se emplea para el control de flujo pudiendo ser de paso completo, regulación y/o para cambios de dirección. Esta válvula es Clase ANSI-900, con espesor mínimo de 1.75 pg (4.44 cm); estas válvulas deben cumplir con las pruebas antes mencionadas.

e].- Carrete de Expansión (Adaptador de 12 a 10 pg).

Es el accesorio del árbol geotérmico que permite la instalación del sistema de regulación, y hace las funciones de adaptador de diámetros entre el cabezal y el resto del árbol, con diseño interior para absorber el crecimiento de la tubería de revestimiento profunda. Está -- constituido en forma integral de acero fundido, con brida inferior de 30.48 cm (12 pg) de diámetro y brida superior de 25.4 cm (10 pg) de diámetro, con dos salidas laterales en forma integral al cuerpo opuestas 180° .

Ambas bridas son Clase ANSI-900, y las salidas laterales equipadas en los extremos con bridas de 5.08 cm (2 pg) de diámetro Clase ANSI-1500 con rosca interior NPT de 2 pg de diámetro.

La brida de 30.48 cm (12 pg) de diámetro en su parte interna, deberá estar con anillos de empaque resistentes a alta temperatura para trabajos con vapor. La altura total del carrete es de 91.4 cm (36 pg).

La distancia del centro de las salidas laterales al paño de la brida inferior es de 62.07 cm (24 7/16 pg). La distancia del paño de la brida de 5.08 cm (2 pg) al centro del carrete es de 43.81 cm (17 1/4 pg).

El espesor mínimo de la parte inferior es de 6.35 cm (2 1/2 pg) y de la parte superior 4.44 cm (--- 1 3/4 cm). El diámetro interior desde la parte inferior hasta una altura de 16.19 cm (6 3/8 pg) es de 24.68 cm. El diámetro interior del resto del carrete es de 25.4 cm (10 pg).

f).- Cruz Bridada de Cuatro Brazos de 10 pg - de diámetro (25.40 cm).

Es el componente del árbol geotérmico que permite la instalación de los mecanismos de regulación y derivación para que el pozo sea operado. Estas cruces son Clase ANSI-900 de 25.4 x 25.4 x 25.4 x 25.4 cm (10 x 10 x 10 x 10 pg) de diámetro.

g).- Válvula Superior.

Es el dispositivo mecánico que se emplea para el control de flujo, pudiendo ser completo o regulado, esta válvula se emplea por lo general cuando el pozo produce para una planta de vapor generadora de energía eléctrica, cumple con las mismas especificaciones que la válvula maestra (Clase ANSI-900).

B].- Línea de Descarga.

La línea de descarga de un pozo geotérmico es el ducto por medio del cual se conduce vapor o mezcla de vapor y agua hacia los silenciadores o hacia el separador.

La línea de descarga por lo general es de 8 - pg de diámetro y se conecta al árbol de válvulas a través de alguna de las válvulas laterales si el flujo es al silenciador o la válvula superior si va al separador la producción.

Soporte del Arbol.

Una de las características particulares de un árbol geotérmico es el soporte del árbol, el cual cumple con la finalidad de proporcionar estabilidad al pozo cuando está produciendo, y conducirlo verticalmente cuando se alarga (pozo caliente) o se contrae al enfriarse.

I.5.- DETERMINACION DE ZONAS DE INTERES EN UN POZO GEOTERMICO.

En el transcurso de la perforación de un pozo geotérmico se presentan diferentes horizontes de roca, los cuales van conformando su columna litológica. Un patrón que indica si un pozo tiene alta o baja temperatura es la temperatura de salida del fluido de perforación.

Uno de los factores principales para que un pozo geotérmico sea productor de vapor o mezcla es su temperatura, el otro factor importante es su capacidad de transmisión de fluidos (transmisibilidad).

Durante la perforación geotérmica, la transmisibilidad de un pozo se estima inicialmente mediante la pérdida de circulación que se presenta en las zonas del ya cimientó.

En el Campo Geotérmico Los Azufres en la mayoría de los casos la pérdida de circulación se presenta en forma normal durante las últimas etapas de perforación. Salvo algunas excepciones, en las cuales se ha estado ensayando con éxito una técnica de fracturamiento inducido a la formación, esto se aplica a pozos que no presentan pérdida de circulación, debido a un posible sello por mineralización, recristalización en el objetivo (falla o fractura) o por daño a la formación por el fluido de perforación.

Se ha observado que al inducir una fractura en un pozo situado en una zona caliente, se presenta un -

calentamiento casi inmediato en este, lo cual confirma que se ha "comunicado" el pozo al yacimiento.

Así pues, durante la perforación, un pozo tendrá una zona de interés cuando presente una buena pérdida de circulación y una alta temperatura. Para cuantificar la pérdida de circulación solamente basta medir el abatimiento de nivel en las presas de lodo, pero para determinar la temperatura del agujero, es necesaria la intervención de los registradores de temperatura, y para cuantificar la presión de fondo, los registradores de presión, estos registros sirven además para detectar las zonas de pérdida de fluido de perforación o zonas de comunicación al yacimiento.

Una pérdida de circulación solo es un índice cualitativo de la transmisibilidad que puede tener la formación, por lo que para determinarle su capacidad de transmisión, almacenamiento y el posible daño, es necesario realizar una prueba de presión (Prueba de Permeabilidad), estas pruebas se efectúan con la ayuda de los registradores de presión.

Si los resultados de ambas mediciones de temperatura y transmisibilidad son satisfactorias, se procede a la terminación del pozo, instalando la tubería de revestimiento corta de producción.

La determinación de los intervalos de formación que deben cubrirse con tubería de revestimiento corta ranurada o ciega, se toma en base a los registros de presión y temperatura, previamente tomados a lo largo del pozo.

Debido a los problemas que presenta el agua generada en los sistemas de líquido dominante, es necesario contar con los pozos inyectoros, con los cuales se resuelven los problemas de contaminación y se incrementa la vida del yacimiento.

Así pues cuando se determina que un pozo presenta buena transmisibilidad (En el Campo Los Azufres se considera mínimo 6 $\frac{\text{Darcy-metro}}{\text{centipoise}}$) y poca o baja temperatura (160° C o menos) y si las características topográficas lo permiten se procederá a terminarlo con fines de inyección.

I.6.- PARAMETROS QUE SE OBTIENEN A PARTIR DE LOS REGISTROS DE PRESION Y TEMPERATURA.

Debido a que en los sistemas ígneos fracturados no es posible llevar a cabo un análisis petrofísico - completo mediante núcleos que resulte confiable, en geotérmia se dispone de los registros de presión y temperatura, estos son una de las herramientas más importantes en la medición y determinación de propiedades del sistema roca fluidos.

En pozos fluyentes con el registrador de presión es posible medir la presión de fondo fluyendo.

Cuando un pozo ha permanecido cerrado por -- algún tiempo, presenta condiciones estáticas o de yacimiento, en este caso, al medir con el registrador la presión en el fondo se determina la presión de fondo estático (P_{ws}).

Bajo los mismos criterios anteriormente expuestos se determinan la temperatura de fondo fluyendo (t_{wf}) y la temperatura de fondo estático (t_{ws}).

Con pruebas de presión se determinan las propiedades petrofísicas del sistema roca-fluidos, de especial interés en geotérmia son las propiedades petrofísicas siguientes:

a).- Transmisibilidad ($\frac{\kappa h}{\mu}$)

b).- Coeficiente de Almacenamiento de la for

mación ($\rho c_t h$) ; [m/kg/cm²].

c].- Daño (s) .

d].- Coeficiente de Almacenamiento del Pozo -
(c)

Los datos para el análisis y obtención de estos parámetros son obtenidos a través del registrador de presión.

Donde:

ρ :porosidad de la formación.

Ct :compresibilidad total.

h :espesor de la formación productora.

s :daño a la formación.

C A P I T U L O I I

D E S C R I P C I O N D E L E Q U I P O U T I L I Z A D O E N L A T O M A D E R E G I S T R O S D E P R E S I O N Y T E M P E R A T U R A .

I N T R O D U C C I O N .

En este capítulo se exponen los elementos que integran las Unidades de Registros de Presión y Temperatura de Baja y Alta Resolución, que se utilizan en pozos geotérmicos.

El equipo de registros de presión y temperatura comprende un conjunto de dispositivos mecánicos, hidráulicos y electrónicos, por medio de los cuales es posible obtener información de pozos. Entre las características principales de estos equipos, se encuentra la facilidad de transportación de un lugar a otro, la rapidez para obtener información a diferentes profundidades, y el alto grado de precisión con que operan.

Estas unidades tienen la versatilidad para operar en pozos en perforación, terminación y etapa productiva. La aplicación para cada etapa presenta algunas particularidades, debido a que las condiciones superficiales de los pozos varían de acuerdo a las condiciones en que se encuentran.

II.1.- UNIDAD DE REGISTROS DE PRESION Y TEMPERATURA DE BAJA RESOLUCION.

Esta unidad de registros es de gran importancia en un campo geotérmico, ya que de una manera rápida se puede obtener la información necesaria de las condiciones de presión y temperatura que prevalecen en los pozos.

El diseño y material con que están construidas sus partes, además de la facilidad y rapidez de su maniobra de instalación y desmantelamiento en el campo (pozos), la convierten en la instalación que más se aplica para la mayoría de los casos, excepto para estudios especiales que requieran de una alta sensibilidad en los cambios de presión por intervalos de tiempo grandes como las pruebas de interferencia.

La unidad de registros de presión y temperatura de baja resolución está constituida por las siguientes partes:

- a).- Camión Transportador.
- b).- Cabina de Control.
- c).- Sistema de Potencia.
- d).- Sistema de Izaje.
- e).- Sistema Eléctrico.
- f).- Sonda Registradora.

a).- CAMION TRANSPORTADOR.

La rapidez de movilidad de la unidad de registros de presión y temperatura es una de sus características principales, y su ubicación con respecto al pozo depen

de de las condiciones de operación del mismo.

Esta particularidad se debe a que la unidad - está montada y perfectamente sujeta a la plataforma de un camión de carga (3 ejes), la cual debe tener suficiente espacio para transportar herramientas adicionales que se utilizan en la operación de la unidad.

Para evitar posibles fallas que puedan entorpecer o retrasar alguna toma de registros, el camión de la unidad debe ser sometido a revisión mecánica periódicamente.

La figura 6 muestra el camión de transporte y la distribución de áreas de la unidad y herramientas.

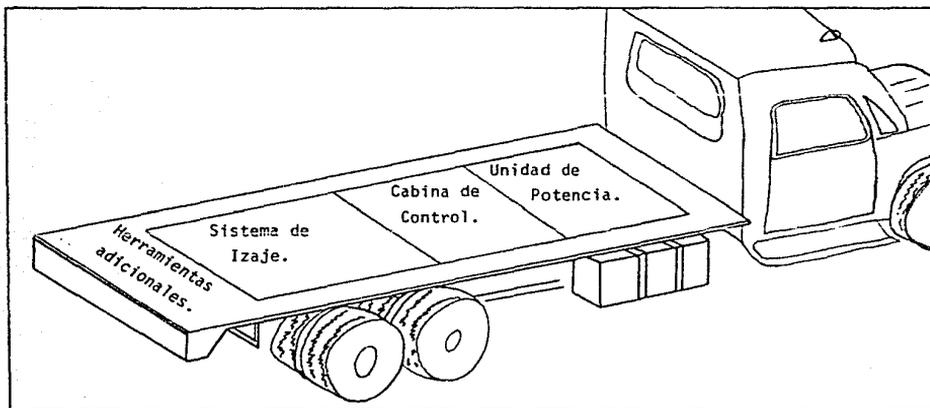


Fig.6.- Camión de transporte y distribución de áreas.

b).- CABINA DE CONTROL.

La unidad de registros de presión y temperatura está equipada con una cabina de mando desde donde el -- operador controla las maniobras que se ejecutan en la unidad.

La figura 7 muestra la distribución de los -- instrumentos de medición, válvulas y otros dispositivos, - los cuales se alojan en la consola de control. La cabina - de control se ubica entre la unidad de potencia y los ca-- rretes.

A continuación se presentan las partes de que consta la cabina de control:

- 1.- Odómetro.
- 2.- Contador.
- 3.- Tacómetro.
- 4.- Indicador de Peso.
- 5.- Válvula de Control Remoto.
- 6.- Válvula de Control de Flujo.
- 7.- Panel de Instrumentos.
- 8.- Manómetro.
- 9.- Interruptor de Ignición.
- 10.-Caja de Fusibles.
- 11.-Junta universal.
- 12.-Ventana.

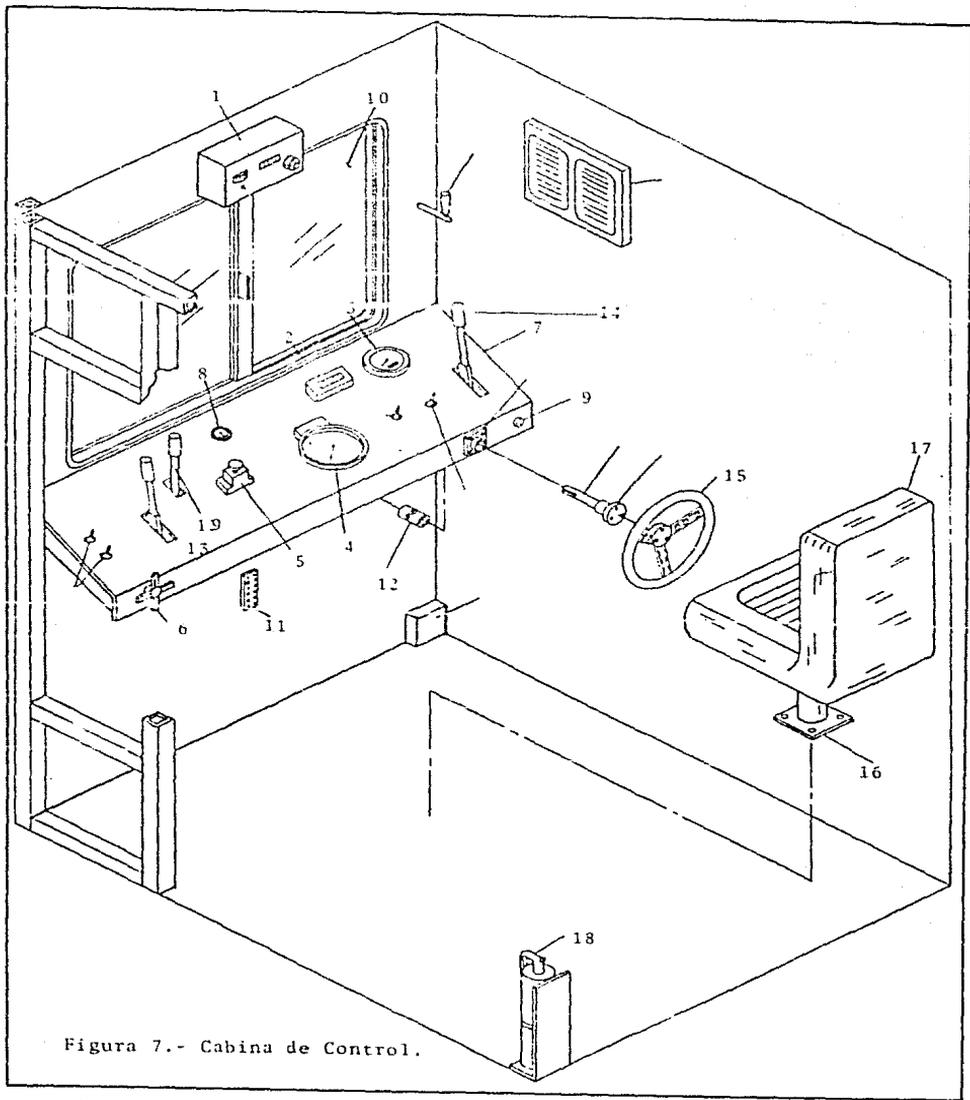


Figura 7.- Cabina de Control.

- 13.- Palanca de Frenos (carrete chico).
- 14.- Palanca de Frenos (carrete grande).
- 15.- Volante guía.
- 16.- Pedestal.
- 17.- Asiento del Operador.
- 18.- Extintor de Fuego.
- 19.- Válvula de Control Direccional.

c).- SISTEMA DE POTENCIA.

El sistema de potencia de la unidad es el conjunto de dispositivos mecánicos e hidráulicos que tienen la función de suministrar la fuerza mecánica e hidráulica que se necesita para hacer operar en una manera controlada y sistematizada el equipo registrador.

Se incluyen en este sistema además de los motores y bomba una serie de válvulas que tienen la función de controlar la dirección de flujo del fluido motriz. La figura 8 muestra este sistema.

La potencia mecánica que se necesita en el sistema es suministrada por un motor de combustión interna (diesel) tipo Lister.

El sistema de potencia hidráulica opera en circuito abierto con una presión de operación máxima de 2000 lb/pg² (140.7 kg/cm²).

Los principales componentes de este sistema -

son:

1.- Bomba Hidráulica. Esta bomba se encuentra conectada al motor diesel y accionada por éste suministra - el fluido motriz a través de mangueras de alta presión al motor hidráulico.

2.- Motor Hidráulico. Este dispositivo opera hidráulicamente accionado por el fluido motriz que procede de la bomba, tiene la función de accionar la caja de transmisión en sentido hacia adelante y en reversa.

3.- Válvula de Control Direccional. Esta válvula tiene la función de controlar la dirección de flujo - del fluido motriz.

4.- Válvulas de Seguridad. El sistema de potencia está provisto de un juego de 4 válvulas de seguridad, las cuales se enumeran a continuación:

- a].- Válvula Principal.
- b].- Válvula de Control Remoto.
- c].- Válvula de Paso.
- d].- Válvula Auxiliar.

Otro de los elementos de este sistema es el enfriador de aceite, el cual mediante radiación al medio ambiente enfría el fluido motriz.

Finalmente se tiene el tanque del aceite con capacidad de 340.65 l (90 gal), en el cual se almacena - el fluido motriz de la bomba.

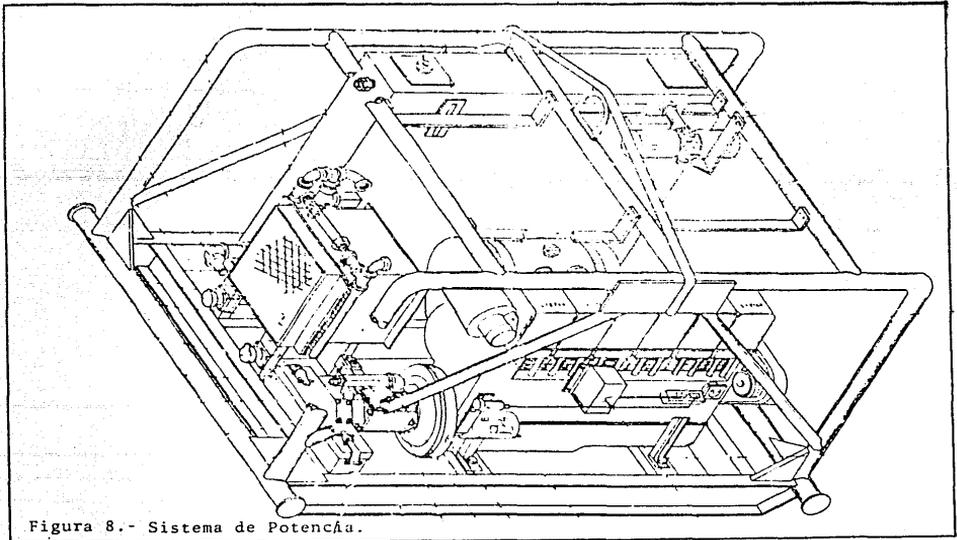


Figura 8.- Sistema de Potência.

d).- SISTEMA DE IZAJE.

Esta sección de la unidad tiene la función de introducir y extraer la sonda registradora del pozo durante alguna operación.

A continuación se describen los elementos que conforman el sistema de izaje o levantamiento.

a).- Carrete y Cable.

El carrete se encarga de almacenar, transportar y enrollar el cable o alambre de una manera ordenada dependiendo de la operación que se está realizando. Además en ciertas operaciones le transmite una fuerza o tensión al cable.

La unidad de registros de presión y temperatura para pozos geotérmicos está provista de dos carretes; un carrete grande capaz de alojar aproximadamente 7622 m de cable de 3/16 pg de diámetro. Y un carrete chico que aloja aproximadamente 7622 m (25000 pie) de alambre de 0.092 pg (3/32 pg) de diámetro.

La tensión en el cable y la velocidad del mismo, depende de la velocidad de la transmisión seleccionada y de la velocidad del motor, en revoluciones por minuto.

b).- Caja de Transmisión y Cadenas.

La bomba hidráulica de la unidad suministra potencia al fluido motriz, el cual acciona un motor hidráulico cuyo fin es activar el juego de engranes que constituyen la caja de transmisión. El fluido motriz es conducido a través de mangueras de alta presión.

La caja de transmisión cuenta con cuatro velocidades hacia adelante y una en reversa.

La velocidad que pueda dar la caja de transmisión al carrete y por consiguiente al cable, depende de la combinación de engranes seleccionados. De la misma manera, se tendrá una tensión en el cable dependiendo de la velocidad del motor deseada.

Las tablas II y III ilustran la tensión esperada en el cable a 140.64 kg/cm^2 (2000 lb/pg^2) de presión y la velocidad del cable a 2200 r.p.m. en el motor.

Tabla II.- Tensión en el Cable.

TENSION EN EL CABLE (lb) A 2000 lb / pg ² *						
CARRETE GRANDE				CARRETE CHICO		
VEL.	CENTRO	MEDIO CARRETE	LUBRICADOR	CENTRO	MEDIO CARRETE	LUBRICADOR.
ALTA	2030	1350	970	1520	830	560
3ª	3440	2290	1640	2580	1410	950
2ª	6310	4200	3000	4730	2580	1740
1ª	13,070	8700	6220	9800	5350	3620
REVERSA	15,930	10,620	7580	11,950	6520	4410

* EFICIENCIA VOLUMETRICA 76.5 %

Tabla III.- Velocidad en el Cable.

VELOCIDAD EN EL CABLE (pie/min) 2200 r.p.m. **						
CARRETE GRANDE				CARRETE CHICO		
VEL.	CENTRO	MEDIO CARRETE	LUBRICADOR	CENTRO	MEDIO CARRETE	LUBRICADOR.
ALIA	620	1250	1750	1000	2010	2970
3º	480	730	1020	640	1190	1750
2º	260	390	550	350	650	960
1º	125	185	260	170	310	460
REVERSA	100	150	210	135	255	375

EFICIENCIA VOLUMETRICA 95 %

c).- Guía y Contador del Cable.

Cuando se opera el cable, es necesario guiarlo a lo largo del carrete, con el fin de evitar que se dañe por mal acomodamiento, esto se logra mediante la guía del cable, este elemento consta de un riel sobre el cual se desliza el soporte o base del contador.

La guía del cable se controla desde la cabina del operador mediante un volante.

El contador del cable es un elemento esencial en el funcionamiento de la unidad, ya que para cualquier operación que realice la unidad en un pozo, es necesario conocer la profundidad de los elementos en el agujero respecto de un nivel de referencia. (Cabezal del pozo, -

altura de la rotaria, etc.).

El contador consta de dos poleas de diferente diámetro. Sobre la polea de mayor diámetro (polea principal del sistema) se da una vuelta al cable con la finalidad de evitar resbalamiento del mismo, y en consecuencia posibles errores de medición; la polea principal va conectada a un juego de engranes que funcionan como contador, de esta manera la cantidad de metros de cable que entran o salen del carrete son leídos por el operador.

d).- Frenos.

La unidad de registros de baja resolución utiliza un sistema mecánico de frenos. El cual es controlado en la cabina manualmente. Este sistema consiste de un par de anillos que abrazan en uno de sus extremos a cada carrete y un conjunto de palancas.

e].- CONEXIONES.

Para poder conectar la unidad de registros en el pozo, es necesario contar con una serie de elementos -- que permitan llevar a cabo las operaciones, sin importar -- la etapa en la que se encuentra el pozo, y con el máximo -- control, por lo que, para tal efecto se cuenta con un dispositivo llamado lubricador, el cual consta de un preventivo de estoperos, válvula de purga, cuerpo del lubricador, y polea principal. Este dispositivo funciona como receptor momentaneo para introducir y extraer la sonda al pozo.

En pozos terminados o en etapa productiva, se auxilia de una "pluma", la cual funciona como sostén del -- lubricador y sirve de escalera para maniobras, ya que en -- los pozos que existe un equipo de perforación o reparación -- instalado, el lubricador se sostiene del gancho e con el -- cable del malacate auxiliar.

La conexión o desconexión del lubricador debe realizarse con el máximo cuidado, ya que aloja a la sonda -- registradora tanto en la etapa final como inicial del re -- gistro. La figura 9 muestra el esquema del lubricador y -- las herramientas complementarias.

f].- SISTEMA ELECTRICO.

El sistema eléctrico de la unidad consta de --

Polea Principal.

Preventor de Estoperos.

Tuerca Union.

Valvula de Seguridad

Soporte.

Brida para
Conexion en pozos
Terminados.

Valvula de
Purga

Lubricador

Cuerpo de Válvula.

T.P. (4 1/2")

"Conexion de
Pottella

Fig.9 - Lubricador y Herramientas Complementarias.

un generador, lámpara interior que ilumina la caseta -- - del operador, y un par de reflectores, cuya finalidad es -- iluminar el área de trabajo (pozo y plataforma del camión) el botón de encendido del motor que suministrará potencia mecanica al sistema, y la iluminación del tablero de la cabina de control.

g).- SONDA REGISTRADORA.

Como se mencionó anteriormente los pozos geotérmicos presentan un gradiente térmico anormal, esto a -- causa de una comunicación directa de los fluidos calientes del yacimiento o por transferencia de calor de la roca.

La sonda de registros de presión y temperatura está diseñada para obtener datos de presión y temperatura de cualquier intervalo de profundidad de los pozos, ya sea a condiciones estáticas, fluyendo a través de tuberías o en agujero descubierto, de diámetro grande o pequeño.

La sonda de registros se compone de tres partes principales:

- a).- Elemento.
- b).- Registrador.
- c).- Reloj.

a).- Elemento. Es el dispositivo mecánico cuya función es la de percibir cualquier cambio de presión o

temperatura que exista en el pozo, transformando dichos - cambios en deflexiones.

Elemento de Presión. El elemento de presión está constituido por un tubo Bourdón armado en una sola - pieza, y enrollado en forma helicoidal, fácilmente reem- plazable en el campo y constituido de una aleación de cro- mo-niquel. La figura 10 muestra un elemento de este tipo.

A temperatura estable el tubo Bourdón gira - (deflexiona) como respuesta a la presión ejercida sobre él.

Este elemento se aloja en una camisa protecto- ra sellada y conectada en su extremo superior a la sección- registradora de la sonda, y en su extremo inferior se aco- pla a una cámara o depósito con fluido limpio (aceite o -- agua) en el cual un dispositivo llamado sensor del fluido recibe la señal de presión que rodea a la sonda en cual- - - quier intervalo de profundidad a través del fluido para - transmitirlo al elemento de presión.

La cámara de fluidos limpios actúa como una - trampa que evita que los fluidos del pozo lleguen hasta el elemento protegiéndolo de los efectos de la corrosión, in- crustación y altas temperaturas que pudieran originarse -- por contacto directo.

El sensor del fluido puede ser de fuelles o - un filtro; el primero tiene un recubrimiento de teflón que le permite resistir la acción de los ácidos y sustancias - alcalinas de los pozos.

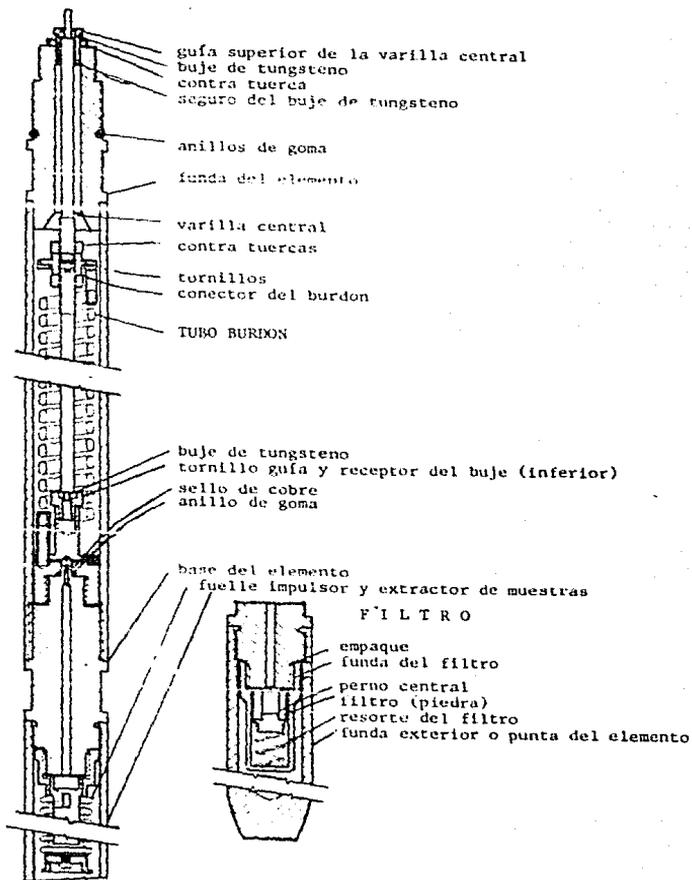


Figura 10.- Elemento de Presión.

Cualquier fuga en el fuelle afectará su longitud, a temperatura ambiente deberá medir 6 pg(15.24 cm) desde el hombro hasta el final, si su longitud cambia, significa que el fuelle ha tenido fuga.

El sensor de fluido de filtro, se usa en sustitución del fuelle; se aplica en especial en pozos con --fluidos limpios, ya que permite una comunicación directa de la cámara al Bourdón.

El sello entre la cámara y el elemento(camisaprotectora) se logra a través de un empaque sintético.

El elemento de presión tiene una amplia variedad de rangos de operación; la selección de cada uno de --ellos estará influenciada por las condiciones particulares de cada pozo como: profundidad del registro, pozo en perforación, pozo produciendo, inyectando, y en prueba. De esta manera los elementos de presión se tienen los siguientes rangos de operación:

0-800 a 0-30,000 lb/pg²

o

0-52 a 0-2100 kg/cm²

Operando a temperaturas hasta de 427° C.

Elemento de Temperatura. El elemento de temperatura usado en geotermia es de tipo Bi-metal, por su rango de aplicación a altas temperaturas. Está constituido por --dos láminas bimetálicas con diferentes coeficientes de dila

tación, los cuales al enfriarse o calentarse se acortan o alargan proporcionalmente al cambio de temperatura, la forma de este elemento es helicoidal. La espira fija en su parte inferior, tiende a desenrollarse si la temperatura se incrementa y viceversa.

El elemento más dilatante está ubicado en la parte exterior de la espira. Los elementos de temperatura de tipo bimetal helicoidal son usados para temperaturas -- arriba de 175° C. La figura 11 muestra un elemento de temperatura bimetalico alojado en la camisa protectora.

Los rangos de operación de los elementos de temperatura son variados, y la selección de cada uno de -- ellos dependerá de las condiciones particulares de cada pozo, como se mencionó anteriormente.

En el Campo Geotérmico de Los Azufres, los -- rangos de temperatura más comunmente usados son:

20-180° C

20-400° C

185-375° C

115-375° C

b).- Registrador. Esta sección de la sonda -- tiene la función de registrar en una carta los cambios de presión o temperatura que el elemento respectivo percibe a través de ciertos intervalos de tiempo.

El movimiento de rotación o efecto de giro -- que genera el elemento al cambiar las condiciones de presión o temperatura es transmitido a un estilete construido

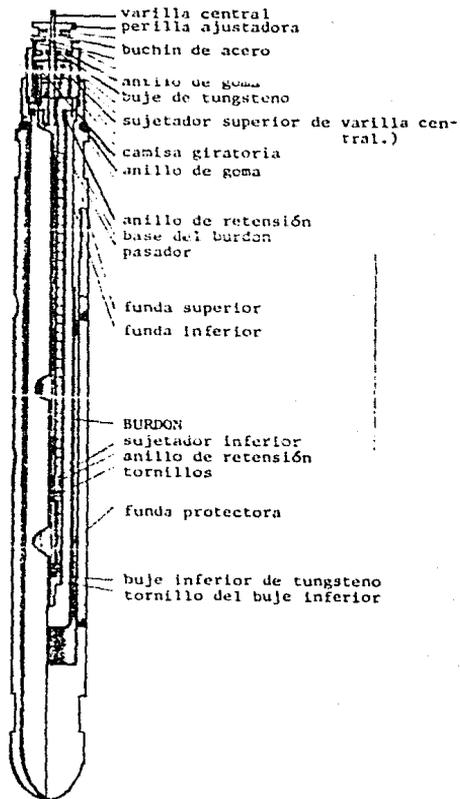


FIGURA 11. - ELEMENTO DE TEMPERATURA.

de osmio, safiro, o diamante mediante una flecha.

El conjunto del estilete opera dentro de un portacartas, el cual se desplaza una distancia aproximada de 5 pg accionado por el conjunto del tornillo sinfin, imprimiendo el estilete una marca sobre una carta de $2 \frac{1}{4} \times 3 \frac{5}{8}$ pg con recubrimiento, la marca es de aproximadamente 0.001 pg de ancho, y puede ser observada con la ayuda de un lente de 5X o más, o bien mediante el uso de un lector de cartas de doble movimiento (ver fig. 12).

c).- Reloj. El reloj tiene el propósito de regular el recorrido del portacartas a través del tornillo sinfin, y está diseñado para resistir vibración, impactos ligeros y altas temperaturas como las que se encuentran en pozos geotérmicos.

Estos instrumentos tienen una gran variedad de horas de trabajo; desde 2 hasta 360 horas. La experiencia en geotermia ha demostrado que para altas temperaturas (arriba de 177° C), los relojes de más horas tienden a fallar, esto puede ser originado por el gran período al que están expuestos los componentes del reloj a las altas temperaturas. No se recomienda usar estos instrumentos por muchas horas en temperaturas que excedan a los 177° C. La figura 13 muestra un reloj de este tipo.

Los componentes de la sonda registradora anteriormente descritos se acoplan y protegen con la funda de cada uno de ellos, la cual está construida de acero monel y acero templado en las partes externas o de contacto con los fluidos del pozo.

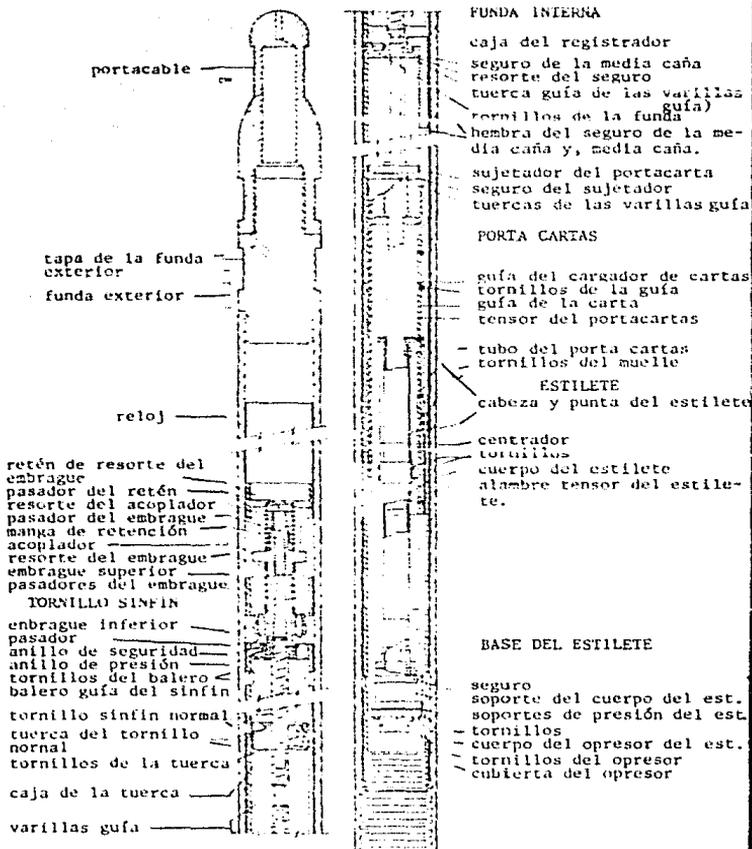


Figura 12.- Registrador.

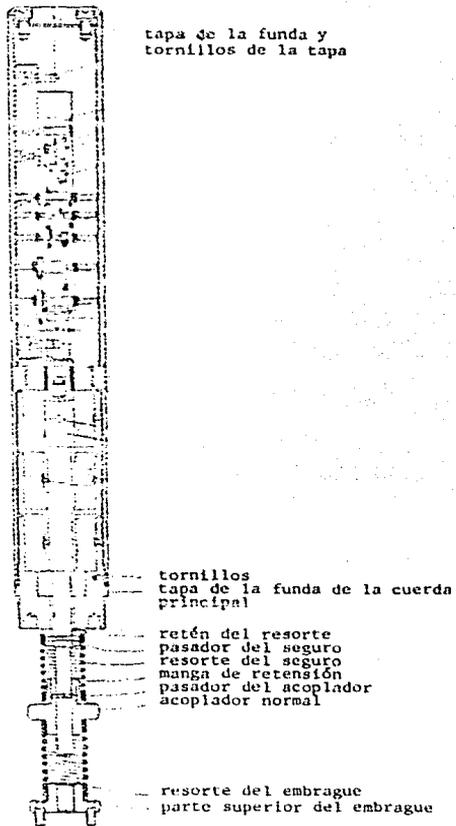


Figura 13.- Reloj de la Sonda.

Elementos Adicionales de la Sonda. Existen -
una serie de accesorios sin los cuales no sería posible --
llevar a cabo el funcionamiento correcto de la sonda. Las-
figuras 14(a) hasta la (i) presentan estos accesorios.



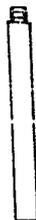
a). - DESCANSADOR DE FONDO.



b). - CENTRADOR.



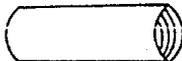
c). - ABSORVEDOR DE COLPES.



d). - BARRA DE EXTENSION.



e). - COPE FLEXIBLE.



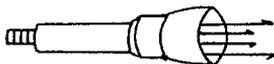
f). - COPE FIJO CAJA-CAJA .



g). - COPE FIJO CAJA-PISTON.



h). - COPE FIJO PISTON-PISTON .



i). - ZAPATA CON GANCHOS PARA PESCA.

Figura 14.- Elementos adicionales de la sonda.

II.2.- UNIDAD DE REGISTROS DE ALTA RESOLUCION PARA MEDICIONES DE PRESION.

La necesidad de tener datos precisos de presión a través de intervalos de tiempo prolongados de las condiciones de fondo de pozo, ha dado origen a la utilización de instrumentos más sofisticados y complejos en los pozos geotérmicos.

Esto conduce a mejorar la calidad de los resultados obtenidos de los trabajos evaluatorios del sistema pozo-yacimiento, tales como las mediciones de presión de fondo fluyendo, fondo estático en algún registro ordinario o durante la realización de cualquier tipo de prueba de presión.

Para satisfacer la necesidad anteriormente expuesta se utiliza la Unidad de Registros de Alta Resolución para Mediciones de Presión.

Además de operar con una alta precisión y -- durante períodos prolongados en condiciones de fondo de pozo (altas temperaturas) , esta unidad tiene la ventaja de presentar los datos de presión, impresos a intervalos de tiempo seleccionados de acuerdo a las necesidades del estudio en horas, minutos o segundos; en unidades de presión del Sistema Internacional (bar o kg/cm^2) , o del antiguo Sistema Inglés (lb/pg^2) en el mismo instante de su medición.

Este equipo presenta las siguientes desven--

tajas:

Debe ser operado con gas inerte (comúnmente se utiliza Nitrógeno), los desplazamientos de aire por el gas inerte deben realizarse de la mejor manera para evitar atrapamiento de aire o partículas sólidas, además la cámara debe estar sumergida en una fase líquida y no rodeada por gases de formación o vapor; además la unidad necesita una fuente continua de energía eléctrica para su correcto funcionamiento.

Esta unidad consta de las siguientes partes:

- a].- Cámara de Fondo.
 - b].- Tubo de Presión Flexible (Tubing).
 - c].- Transductor.
 - d].- Computador.
 - e].- Impresor.
 - f].- Elementos Adicionales.
-
- a].- CAMARA DE FONDO.

La cámara de fondo es la parte de la unidad que se encuentra en contacto directo con los fluidos de formación y en consecuencia la que está expuesta a mayor presión y temperatura. Sirve como elemento de contacto entre los fluidos del pozo y el gas inerte. La figura 15 muestra las partes que la componen.

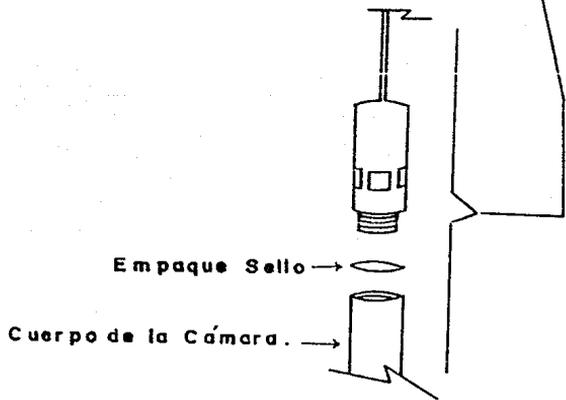
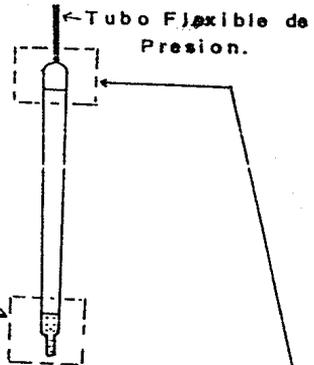
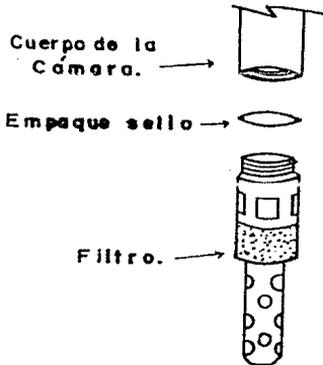


Fig. 15.- Partes de la Cámara de Fondo.

b].- TUBO DE ACERO FLEXIBLE (TUBING).

El tubo de acero flexible cumple con la función de conducir la presión que rodea a la cámara de fondo hasta el transductor, además sirve de sostén a la cámara, ya que ésta cuelga de él. Este tubo de presión funciona como un capilar y tiene un diámetro de 0.062 pg, construido de acero inoxidable; para almacenarlo se utilizan carretes.

c].- TRANSDUCTOR DE PRESION.

Una parte fundamental de la unidad de registros de alta resolución es el sensor de presión llamado - transductor de presión, el cual permite conocer las variaciones de presión que se tienen en el fondo del pozo debido a la carga hidrostática presente.

Este transductor consiste básicamente de un cristal de cuarzo contenido en el seno de un fluido el cual oscila con cierta frecuencia dependiendo de la presión que se le comunica a la membrana que separa este cristal de cuarzo con un fluido inerte, que sirve de transmisor de presión (generalmente N_2) de fondo; apoyándose en el tubo de presión flexible (tubing).

La frecuencia de salida de todos los transductores tipo "Paroscientific", nominalmente varía de 40-kHz a presión cero; hasta 36 kHz a presión de escala total.

Por lo tanto, un incremento de presión causa un decremento de frecuencia o un incremento en el período de señal de salida. Esta relación entre la presión y el período de la señal de salida se representa por la expresión:

$$P = A \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) - B \left(1 - \frac{T_0}{T}\right)^2 ;$$

donde:

p (bar, lb/pg²), es la presión medida.
 A (bar, lb/pg²) y B (bar, lb/pg²) son los coeficientes de calibración.
 T_0, T (seg) es el período de señal.

La operación de linearización de la respuesta entre la señal de salida y la presión medida, se efectúa - para una temperatura de operación del transductor constante. La calibración del transductor se verá a detalle en el siguiente capítulo.

Las experiencias de campo han demostrado que estos elementos varían considerablemente los resultados -- que arrojan con los cambios de temperatura (hasta de 30° C) del medio ambiente, lo que dificulta notablemente su interpretación.

Ante este problema se decidió cuantificar estas variaciones de presión cuando la temperatura cambia en el entorno del transductor que se opera a presión constante. La figura 16 muestra un transductor de presión.

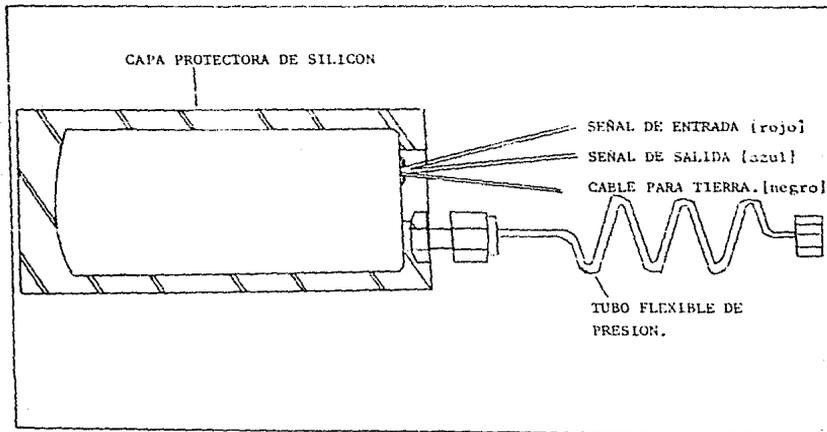


Fig. 16.- Transductor de presión.

Se observó que a mayor presión de trabajo del sensor, mayor es el efecto de la variación de temperatura sobre la respuesta obtenida.

Hay dos formas de eliminar este efecto; por una parte es posible corregir cada una de las lecturas obtenidas con un factor por temperatura a la que fué registrada. La otra posible solución sería operar el transductor en un ambiente a temperatura constante.

La primera opción presenta una serie de problemas operativos y matemáticos, pues se necesita encontrar la expresión que represente la variación de la presión con la temperatura para cada sensor; sin embargo debido a que generalmente se operan 3 ó 4 transductores simultáneamente y las distancias a las que se encuentran cada uno de ellos en ocasiones son grandes, el registro de temperatura permanente es difícil de lograr.

Estos inconvenientes indujeron a utilizar el funcionamiento de los transductores operados a temperatura constante.

Para esto se construyó un recipiente aislado que contenía al elemento sensor, manteniéndolo a temperatura constante mediante una resistencia (foco), controlado por un termistor, obteniendo así un ambiente a temperatura fija. Con este sistema las variaciones de presión por cambio de temperatura quedaron prácticamente eliminadas.

El sistema anterior fue probado satisfactoriamente durante el desarrollo de la prueba de interferencia efectuada en la zona de la Cumbre del Campo Geotérmico Los

Azufres en el año de 1981, entre los pozos Az-15, Az-14, -- Az-4, y Az-21.

La representación de los sistemas de control-térmico se muestra en la figura 17.

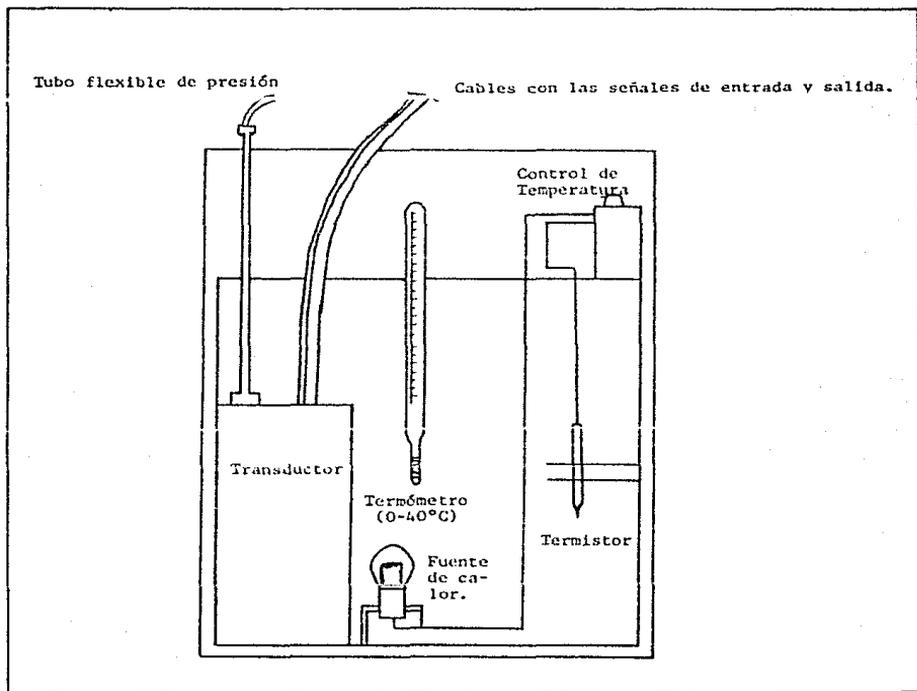


Fig.17.- Sistema de Control Térmico.

d).- COMPUTADOR.

El computador es uno de los dispositivos electrónicos que integran la unidad de registros de alta resolución. Es un instrumento ligero diseñado para obtener la lectura digital de los datos de presión linearizada acoplado a un transductor de presión de cuarzo. Está provisto de una pantalla con 8 dígitos(6 se usan para datos de presión), una serie de botones cuyo objetivo es seleccionar la función de operación deseada e introducir los coeficientes de calibración del transductor.

En el Campo Geotérmico Los Azufres se utilizan computadores Modelo 600 montados en una cubierta de 3 1/2 pg de alto, 8 1/2 pg de ancho y 13 pg de largo. El panel frontal contiene dos conectores pequeños a través de los cuales se suministra potencia y se recibe la señal de los transductores de presión.

Otras características del panel son:

-Un botón de reestablecimiento con el cual se apaga o enciende el sistema.

-Un botón(blanco) el cual determina la función que se asignará al computador.

-Las funciones básicas son P1, P2, P1-P2, y T(período)en microsegundos, el cual da la señal proveniente de cada transductor.

-El botón de programación se usa en conjunto con los botones P1 y P2 para introducir los coeficientes -

de calibración para el transductor respectivo.

-Se tiene un botón extra(F) para funciones --
adicionales tales como la función P1-Cte.

El panel posterior contiene un enchufe de "ba-
nana" a través del cual se suministra potencia y tierra al
transductor y auxilia con las entradas de P1 y P2 (trans-
ductor 1 y transductor 2). Se dispone de una potencia de -
+12 voltios y 100 miliampers de corriente.

Los conectores del panel posterior están co-
nectados en paralelo con los conectores del panel frontal.
La figura 18 muestra un esquema de un computador.

Este modelo responde a 8 combinaciones de fun-
ciones con botones. Cualquier otra combinación causará el-
mensaje de "Error 5 " en la pantalla.

Las 8 combinaciones válidas son:

- 1.- "P1" y "PROG"
- 2.- "P2" y "PROG"
- 3.- "P1"
- 4.- "P2"
- 5.- "P1-P2"
- 6.- "P1/P2"
- 7.- "P1" y "T"
- 8.- "P2" y "T"

e].- IMPRESOR.

Esta sección de la unidad de registros de alta resolución es de gran importancia, ya que permite la -- automatización completa del equipo, el impresor está provisto de un reloj electrónico y un selector múltiple de -- intervalos de tiempo, con lo cual es posible obtener los -- resultados de las mediciones de presión a cualquier hora -- deseada.

Los principales componentes de este instrumento son:

- Estructura Principal.
- Tablero de Control Principal.
- Mecanismo de Impresión.

El impresor opera con un rango de temperatura de 0-50° C y 95% de humedad relativa. Las dimensiones son- 21.6 cm de ancho, 17.8 cm de alto, y 35.6 cm de largo; con un peso aproximado de 7kg.

Este instrumento recibe una señal eléctrica - del computador y la transforma en una señal mecánica obteniéndose de esta manera los datos impresos sobre papel térmico. La figura 19 muestra un impresor de este tipo.

Fig.18 -- Computador .

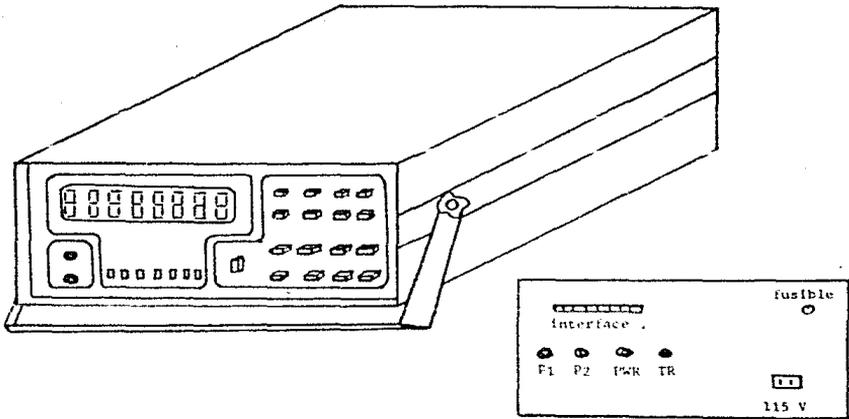
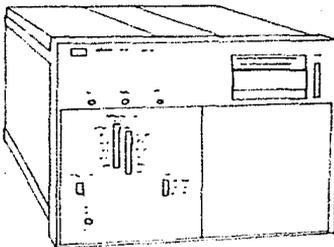


Fig.19 - Impresor



C A P I T U L O I I I

O P E R A C I O N Y C A L I B R A C I O N D E L E Q U I P O P A R A T O M A D E R E G I S T R O S .

I N T R O D U C C I O N .

Las operaciones y procedimientos que se describen en este capítulo son parte indispensable del conocimiento del equipo de registros de presión y temperatura en pozos geotérmicos.

Se enumeran los procedimientos que se recomiendan durante la instalación y operación de ambas unidades de registros (alta y baja resolución), así como los que se aplican durante la calibración de los instrumentos descritos en el capítulo II.

Cuando se opera correctamente un equipo cuya instalación cumple con los procedimientos marcados por diseño y seguridad, con los instrumentos de medición perfectamente calibrados, se tiene garantizado que se efectuará un buen registro; optimizando tiempo de espera durante la perforación, o toma de decisiones durante la terminación de un pozo; con la seguridad de tener datos confiables de presión y temperatura.

III.1 .- OPERACION Y CALIBRACION DE LA UNIDAD DE REGISTROS DE BAJA RESOLUCION.

a.- INSTALACION.

La instalación de la unidad de registros de baja resolución comprende el conjunto de operaciones que permite colocar a toda la unidad (camión-sonda registradora) en posición de operación, es decir, en condiciones de iniciar cualquier registro.

A).- Instalación del Lubricador sobre el Pozo.

Con el fin de tener control directo sobre el pozo durante la toma del registro, es necesario instalar el dispositivo llamado Lubricador, el cual para pozos en perforación o con equipo de reparación instalado, se auxilia de una combinación llamada "botella" que adapta el diámetro de la tubería de perforación de 4 1/2 pg y el diámetro de 2 pg del lubricador.

En pozos terminados en los cuales no se tiene equipo de perforación o reparación instalado, en sustitución de la conexión de botella se usa una brida adaptadora la cual proporciona la combinación de la válvula superior de 10 pg de diámetro a las 2 pg de diámetro del lubricador.

Procedimiento de instalación del lubricador en pozos en etapa de perforación, terminación o reparación.

1.- Ubicar el camión transportador frente al-

equipo de perforación o reparación observando una adecuada visibilidad del operador de la unidad al piso del equipo.

2.- Verificar que la tubería de perforación y el "tubo pichancha" (tramo de T.P. ranurado), se encuentren a la profundidad programada del registro, y acondicionar el sistema de preventores y conexiones superficiales.

3.- Conectar la combinación de botella.

4.- Introducir la sonda al cuerpo del lubricador y conectarla al cable.

5.- Con el apoyo del malacate auxiliar del -- equipo de perforación, instalar el lubricador sobre la combinación de botella, en consecuencia sobre el pozo, enroscando la tuerca unión.

6.- Se procede a iniciar el registro.

B].- Procedimiento de Operación de la Sonda - Registradora.

1.- Desenroscar el tapón de protección del registrador, sacandolo de su funda, aflojar los opresores -- del estilete del tapón de protección mediante un desarmador exagonal.

Remover el tapón de protección, manteniendo -- la funda en posición horizontal; remover la "media caña" -- y el pequeño bloque de madera, despues quitar el conjunto del estilete, enseguida retirar el portacartas de la funda

interior, dejandolo caer en la mano.

2.- Armar la funda interior junto con el elemento de presión o temperatura, apretar la funda interior con el elemento; sosteniendo la funda interior lo mas serca posible de las roscas, empleando las herramientas apropiadas. Conviene hacer notar que el uso de llaves tipo "estilson" no es recomendable debido al posible daño que --causarían a la cubierta interior y al elemento.

3.- Instalar el conjunto del estilete por medio de los opresores a la pequeña flecha del elemento respectivo; el alambre levantador del estilete debe alinearse con la marca y la ranura de la cubierta interior. En esta posición el estilete se encuentra en la posición correcta con respecto al portacartas.

Asegurarse que el alambre levantador del estilete esté en la posición "desajustada" ("off").

4.- Cargar el portacartas; para efectuar lo -- anterior enrollar la carta alrededor del mandril de baquelita con los lados paralelos a la ranura del mismo.

Insertar la carta y el mandril en el interior del portacartas, primero encajar los filos de la ranura en la guia del portacartas. Empujar la misma y el mandril hacia el interior del portacartas y, mientras se incerta, -- dar un pequeño movimiento lateral hacia atrás y hacia adelante, facilitando la introducción. Se empuja en todo su recorrido hasta que solo quede fuera 0.25 pg aproximadamente. Retirar el mandril.

5.- Instalar el reloj en la cubierta interior empujando hacia adentro. Dar vueltas en sentido contrario a las manecillas del reloj, enroscar el reloj en la parte superior de la funda o cubierta interior. Asegurarse que el reloj se encuentra embragado (tornillo sinfin libre), empujando hacia arriba la perilla y dandole vueltas en el sentido de las manecillas del reloj.

6.- Colocar el portacartas en la cubierta o funda interior con los dedos, mover el portacartas hacia el conjunto del estilete para asegurar que se despiace libremente, enseguida instalar la media caña.

7.- Para marcar la línea base, verificar que el alambre levantador del estilete esté en la posición "Desajustado" ("off").

Embragar el reloj (tornillo sinfin libre), y mover el portacartas a la posición superior máxima posible, a continuación, colocar el alambre levantador del estilete en la posición de "Ajuste" ("on"). Colocar el registrador en una posición cercana a la vertical (75° aproximadamente) y dejar caer el portacartas, asegurarse que se mueva en toda su carrera, colocar el alambre levantador en la posición "Desajustada" ("off"), y regresar el portacartas a su posición superior máxima posible.

8.- Desembragar el reloj y conectarlo, con el portacartas mediante el tornillo sinfin.

9.- Ajustar el estilete. Para ajustar el estilete utilizar una pequeña varilla terminada en punta; no se debe aplicar demasiada fuerza ya que el alambre levanta--

dor del estilete es frágil.

10.- Enroscar la funda o cubierta exterior. -
Al colocar la funda exterior tener cuidado de no golpear -
las roscas.

11.- Llenar la trampa de fluidos con aceite.

12.- Conectar la trampa al registrador.

13.- Si se desea, instalar un termómetro de -
máxima.

14.- Pasar el alambre de acero a través del -
portacable, luego darle vueltas sobre si mismo para formar
el nudo "cola de rata"; después jalar el alambre y probar-
que gire libremente dentro del portacable, conectar el - -
portacable al registrador e introducirlo al pozo para to-
mar el registro.

15.- Despues de tomar el registro de pozo, sa-
car el portacartas del registrador y la carta del porta- -
cartas.

Para sacar la carta, insertar el mandril en -
el portacartas hasta el tope; jalar la carta y el mandril-
juntos.

16.- Lavar el exterior del registrador y los-
fuelles o filtros del interior para remover fluidos corro-
sivos.

b).- OPERACION.

Procedimientos para operar la unidad cuando se introduce la sonda al pozo.

Las herramientas de fondo de pozo pueden ser-- introducidas al agujero mediante caída libre y pueden ser - controladas en hidráulica o dinámicamente. A continuación - se describen algunos de los procedimientos de operación.

Caída Libre.

1.- Seleccionar el carrete que se va a utili--
zar.

2.- Tomar el freno de mano.

3.- Colocar la transmisión en posición neutral

4.- Motor apagado en posición neutral.

5.- Soltar lentamente el freno de mano y desen--
redar el suficiente cable del carrete hasta tener en posi--
ción preparada la herramienta de fondo en la cabeza del po--
zo. Colocar el dispositivo del contador en ceros.

6.- Liberar el freno de mano lentamente, permi
tiendo que el ritmo de caída se incremente a la velocidad -
deseada. El ritmo de caída solamente se controla por la can
tidad de tensión aplicada al freno. Observar que se está --
desenredando el cable en el malacate y ajustar la velocidad
necesaria para prevenir que el cable se enrede en el carrete.

7.- La cantidad de alambre desenredado del ma--
lacate, deberá estar indicado en el dispositivo del conta--

dor y medido en pies o metros; esta indica la profundidad a la que se encuentran los dispositivos en el pozo.

Control Hidráulico.

1.- Seleccionar el carrete a usarse y ajustar la traba del embrague al tren de potencia.

2.- Tomar el freno de mano.

3.- Revisar las siguientes válvulas y asegurarse que estén en la posición de operación siguiente:

a].- Palanca de la válvula de 4 vías en el -- centro (posición neutral).

b].- Válvula auxiliar remota completamente -- abierta.(gírar la perilla en el sentido de las manecillas del reloj.)

4.- Ajustar la transmisión a su engrane de AL TA (cuarta).

5.- Encender el motor de acuerdo con el instructivo de operación en posición neutral.

6.- Cambiar la palanca de la válvula de cuatro vías hacia adelante; posición cerca del carrete.

7.- Desajuste el freno de mano.

8.- Cerrar lentamente la válvula de control remoto hasta que el carrete empiece a girar.

Continuar cerrando la válvula de control hasta obtener la velocidad deseada del cable. El ajuste de la

velocidad del cable puede hacerse por variación de las revoluciones por minuto (R.P.M.) del motor; abriendo o cerrando la válvula de control remoto; jalando la palanca de la válvula de cuatro vias hacia su centro, en posición neutral; abriendo la válvula hidráulica; y aplicando tensión al freno.

9.- Diversas formas de parar el carrete cuando libera el alambre.

a).- Jalar la palanca de la válvula de cuatro vias hacia su centro (posición neutral).

b).- Ajustar el freno de mano.

c).- Reducir las R.P.M. del motor al mínimo.

d).- Abrir la válvula de control remoto.

Control Dinámico.

1.- Apagar el Motor.

2.- Seleccionar el carrete que se usará y - -
ajustar la traba del embrague al tren de potencia.

3.- Ajustar el freno de mano.

4.- Ajustar la transmisión al engrane de ALTA
(cuarta).

5.- Colocar la válvula de cuatro vias en la -
posición hacia adelante.

6.- Cerrar completamente la válvula hidráulica.

7.- Desajustar el freno de mano.

8.- Abrir lentamente la válvula hidráulica; - girar manualmente en el sentido de las manecillas del reloj hasta obtener la velocidad deseada en el cable. Abriendo o cerrando la válvula hidráulica se disminuirá o incrementará el ritmo de caída. Observar que el cable se desenrede correctamente ajustando la velocidad necesaria para - prevenir forzar el cable.

Recuperación del Cable (Extracción).

1.- Asegurar que el embrague se ajuste al carrete que será usado.

2.- Ajustar el freno de mano.

3.- Verificar que las siguientes válvulas estén en la posición de operación descrita:

a).- La palanca de la válvula de cuatro vías a su posición neutral (centro).

b).- Válvula hidráulica completamente cerrada.

c).- Válvula de control remoto completamente abierta.

4.- Determinar en forma aproximada la tensión requerida en el cable, seleccionar el engrane de transmisión (XMSN) apropiado a partir de la tabla incluida en las especificaciones del carrete y ajustar la transmisión.

NOTA: Los valores de las tablas deberán ser - ajustados como aproximaciones. La eficiencia mecánica puede variar por la resistencia en las bandas de freno, las -

pérdidas por fricción en los dientes de los engranes y el empuje de la cadena, y por el uso normal de los otros componentes mecánicos.

5.- Encender el motor y colocarlo a una velocidad de 1500 R.P.M.

6.- Regresar la palanca de la válvula de cuatro vías hacia el operador. (Si la transmisión está en reversa jalar la palanca hacia adelante.

7.-Desajustar el freno de mano.

8.- Lentamente cerrar la válvula de control remoto hasta que el carrete empiece a girar. Continuar cerrando lentamente la válvula de control hasta que la presión del sistema sea máxima o la velocidad deseada se obtenga. Para aumentar la velocidad del cable aumentar las R.P.M. del motor.

9.- Si el carrete tiende a detenerse, cerrar lentamente la válvula de control remoto para incrementar la presión del sistema. Si esta presión tiende a exceder a 1800 lb/pg^2 (126.58 kg/cm^2), detener la operación del cable y asignar un engrane a la transmisión más bajo. Si la presión del sistema tiende al límite de 1500 lb/pg^2 (105.48 kg/cm^2) o menos, puede seleccionarse un engrane más alto para la transmisión.

10.- La velocidad del cable puede variar al incrementar o reducir las R.P.M. del motor, abriendo o cerrando la válvula de control remoto, moviendo la palanca de la válvula de cuatro vías entre la posición neutral y la posición de operación; abriendo la válvula hidráulica para disminuir la velocidad del cable, la misma válvula --

completamente cerrada para tener la máxima velocidad del cable.

Observaciones:

No usar la válvula de cuatro vías para controlar la velocidad del cable al dirigirse hacia el lubricador los elementos. Usar la válvula de control remoto y el motor inactivo.

11.- Parar la operación del cable mediante:

a).- Colocación de la palanca de la válvula de cuatro vías en la posición neutral (centro).

b).- Ajustar el freno de mano.

c).- Reducir las R.P.M. del motor al mínimo.

d).- Abrir la válvula de control remoto.

c].- CALIBRACION.

La calibración de los elementos de presión -- realizadas por el fabricante, se hacen mediante incrementos de presión, de tal forma que sería conveniente al tomar registros de presión, empezar a registrar las zonas de menor a mayor presión.

Si se desea tomar presiones decrecientes en los pozos será necesario calibrar previamente el elemento--utilizando presiones decrecientes, esto con el fin de obtener una mayor precisión en los registros.

Cuando los elementos de presión operan a temperaturas mayores de 200 °F (93.3 °C), para mayor precisión de los aparatos, será necesario calibrar los elementos a las temperaturas que se considera se encontraran en los pozos.

Calibración a Temperatura Ambiente.

Armar el aparato de presión y el registrador, conectar el elemento al calibrador de peso muerto y presionar el elemento a su rango máximo, mantener la presión por dos minutos y después liberarla manteniendo el aparato sin presión otros dos minutos.

Presionar nuevamente el elemento a su maximo permitido, liberar la presión durante dos minutos. Presurizar por tercera vez y después liberar la presión por siete minutos.Hacer la línea base.

El registrador deberá estar en posición vertical y los fuelles al mismo nivel del calibrador de peso -- muerto. Aplicar presión en 5 ó 6 etapas con incrementos -- iguales para cubrir todo el rango del elemento.

Cada nivel de presión de calibración debe ser alcanzado incrementando la presión aplicada al elemento; si se rebasa por error el nivel de presión, la presión debe bajarse 500 lb/pg² (35.16 kg/cm²), hasta conseguir el nivel de presión correcto. El tubo portacartas se mueve -- aproximadamente 0.25 pg en cada nivel mientras se golpea -- el instrumento en forma suave y continua por lo menos durante tres veces. Este procedimiento mostrará si hay fricción estática en el instrumento, la cual debe corregirse -- antes de usarse.

Calibración a Temperaturas Elevadas.

Seguir los mismos pasos que para la calibración a temperatura ambiente.

Instalar un reloj de 3 horas y un tornillo de avance de doble paso o usar una funda o cubierta exterior -- provista de un aditamento para efectuar el avance del portacartas en forma manual.

Permitir durante 30 minutos que el registrador alcance la temperatura de equilibrio con el baño de calibración, conectar el elemento con el calibrador de peso -- muerto. Aplicar presión en la misma forma como se hizo en la calibración a temperatura ambiente. Dejar 3 ó 4 minutos de tiempo a cada nivel de presión, si se usa un reloj para mover o avanzar el portacartas. Esta espera se eliminará --

usando la funda de calibración manual.

Frecuencia de Calibración.

La frecuencia de las calibraciones de un elemento de presión dependerá del uso que se le da. Algunos operadores suelen calibrar antes y después de cada corrida usando la misma carta para la calibración y la corrida, -- otros acostumbran calibrar a intervalos regulares cada 6 meses o cada 30 corridas, lo que ocurra primero. Si al verificar la calibración de un elemento, la deflexión de -- cualquier nivel de presión difiere 0.2 % (0.004 pg) de la calibración previa, el elemento deberá repararse y necesita una nueva tabla de calibración.

Los medidores de presión y temperatura son su ministrados por el fabricante con una tabla de calibración dichas tablas son preparadas usando un módulo constante en tre cada nivel de calibración. Las tablas están disponibles en las siguientes unidades: lb/pg² o kg/cm² .

Las tablas de calibración se suministran en la siguiente forma:

DEFLEXION(pg)	TEMPERATURA(°C)
2.001	88.4
2.002	88.5
2.003	88.6
.	.
.	.
.	.
2.153	92.7

III.2.- OPERACION Y CALIBRACION DE LA UNIDAD DE REGISTROS DE ALTA RESOLUCION.

a). - INSTALACION.

La instalación de la unidad de registros de alta resolución es una de las operaciones más delicadas del proceso de obtención de información de los pozos, debido a la naturaleza de las partes que constituyen esta unidad, ya que consta de un grupo de circuitos y sistemas electrónicos que al mínimo error de suministro de voltaje puede originar que el sistema se dañe temporal o permanentemente.

Antes de proceder a instalar los instrumentos de la unidad, es conveniente realizar una inspección detallada de cada uno de ellos. Verificar que la unidad esté completa.

Desplazamiento con N_2 .

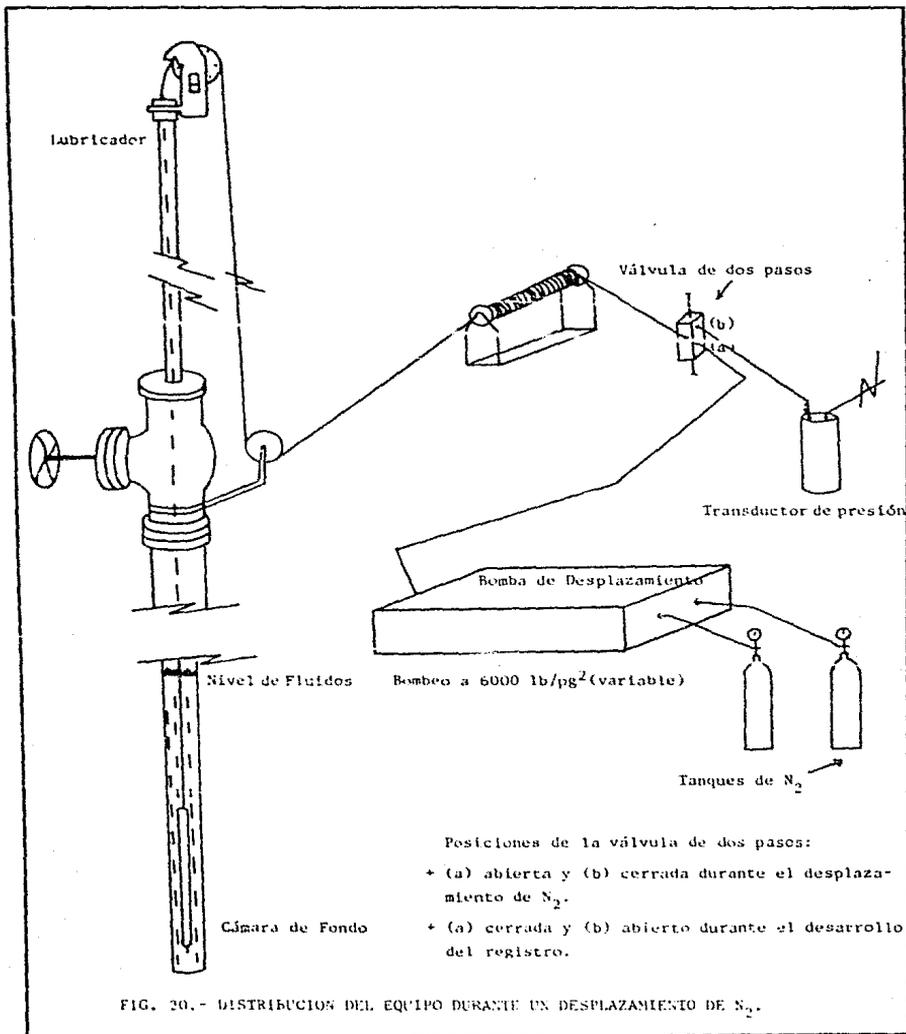
El objetivo de los desplazamientos con nitrógeno durante la operación de la unidad de registros de alta resolución es proporcionar un medio uniforme desde la cámara de fondo hasta el transductor, con lo cual se efectúan mediciones más precisas. Además de la propiedad del nitrógeno de ser un fluido inerte.

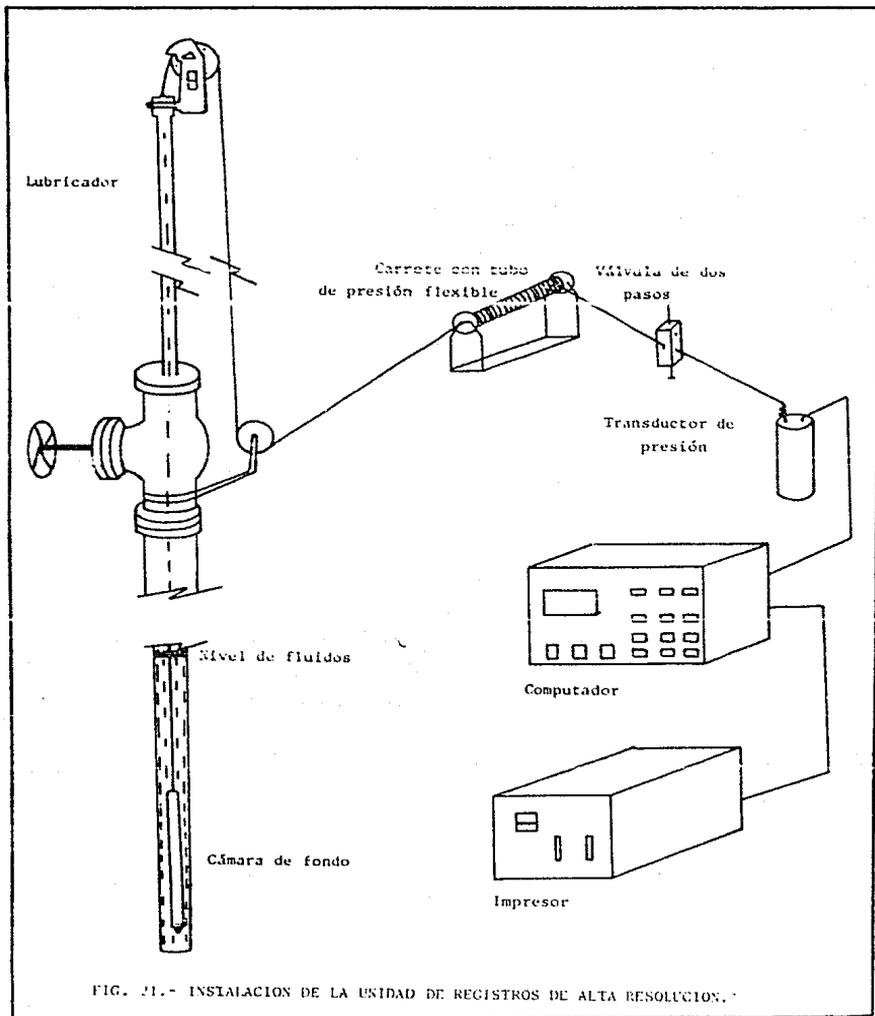
Para realizar un desplazamiento se utilizan dos tanques de nitrógeno, una bomba de doble desplazamiento.

to tipo "Sperry-Sun", y una válvula de dos pasos, además - la conexión del tubo flexible de presión a la cámara de -- fondo. La figura 20 muestra esta instalación.

Los desplazamientos se realizan en la mayoría de las ocasiones a 6000 lb/pg^2 (421.94 kg/cm^2) de presión.

Una vez efectuado el desplazamiento se conecta a la válvula de dos pasos el tubo flexible de presión - que proviene del transductor de presión. La conexión de -- los otros elementos de la unidad, se realiza a través de - de contactos tipo hembra-macho; el computador se conecta a una fuente de voltaje y al transductor; a su vez el impresor se conecta al computador que recibe la señal de fre- - cuencia (seg^{-1}) del transductor y la transforma en una señal eléctrica que transmite al impresor para que este se - active. La figura 21 muestra la instalación de los diferentes elementos de la unidad operando.





b).- OPERACION.

Debido al alto grado de automatización que --
presentan las partes que constituyen esta unidad, el as--
pecto operativo no requiere de complicados procedimientos--
para su utilización.

Los detalles básicos para el correcto funcio--
namiento de estos instrumentos son:

1.- Suministrar energía eléctrica en forma --
continua durante todo el desarrollo del registro o estudio

2.- Verificar continuamente que exista N₂ en--
el tubo flexible de presión. para garantizar mediciones co--
rrectas de presión.

3.- Asegurar que el impresor térmico cuente -
con suficiente papel para la impresión de datos medidos; y
recolectar el papel impreso con los datos periódicamente.

4.- Permitir un medio ambiente a los instru--
mentos en superficie sin cambios bruscos de temperatura y--
protegidos de la humedad y de las lluvias, lo cual obliga--
a instalar a los instrumentos durante las pruebas en case--
tas móviles.

Operación del Computador de Presión.

Una vez que están conectados los instrumentos
a la línea de potencia de corriente alterna y al transduc--
tor, se procede a iniciar a programar el computador utili--
zando algunas de las 8 funciones descritas en el capítulo--
anterior.

Operación de las Funciones.

1.- Función "P1" y "PROG".

Oprimiendo "P1" y "PROG" es posible examinar y cambiar los coeficientes de calibración. Esta operación permite tener acceso al espacio de memoria de los coeficientes ubicados en "P1". Presionando momentaneamente el botón "A", aparecerá en pantalla el coeficiente de calibración A para P_1 ; presionando el botón "B" o "T₀" aparecerán de la misma manera cada uno de estos coeficientes.

Para cambiar el valor de uno de los coeficientes primero presionar el botón del coeficiente deseado ("A", "B", "T₀"); así aparecerá en pantalla el valor actualmente almacenado para ese coeficiente. A continuación teclear el nuevo valor del coeficiente, utilizando los botones numéricos del tablero frontal (0-9) y el punto decimal si por alguna razón existe error al teclear el nuevo valor se puede corregir éste antes de almacenarlo en memoria utilizando la tecla de corrección "C". Cuando el valor correcto esté tecleado (ver pantalla) presionar el botón "ENTER" (E); la pantalla aparecerá en blanco lo que indica que el nuevo coeficiente ha sido almacenado en memoria.

Para verificar esta operación, presionar el botón del coeficiente apropiado y deberá aparecer el nuevo valor del coeficiente almacenado.

Cuando todos los coeficientes sean introducidos y verificados, liberar el botón "PROG".

2.- Función "P2" y "PROG".

Esta combinación es idéntica a la anterior --

excepto que los coeficientes almacenados son utilizados para calcular en "P2".

3.- Función "P1".

Este botón se usa para llevar a la pantalla P1 cuando se han introducido los coeficientes de calibración apropiados y se ha designado un transductor. (Cuando no existe este último aparecerá en pantalla el mensaje "ERROR 1"). Un transductor puede ser asignado al conector -- frontal o posterior del computador, pero no en ambos.

4.- Función "P2".

Este botón es idéntico a "P1" excepto que se usa para "P2" junto con sus coeficientes de calibración. (Si no está conectado el transductor a esta entrada aparecerá en pantalla el mensaje "ERROR 2".

5.- Función "P1-P2".

Este botón es usado para encontrar la diferencia entre P1 y P2. (Si la señal para P1 o P2 no existe -- aparecerá en pantalla el mensaje "ERROR 1" o "ERROR 2" segun sea el caso.)

6.- Función "P1/P2".

Este botón obtiene el cociente entre P1 y P2-- si esta división es más grande que 999,999 aparecerá el -- mensaje "ERROR 4" en pantalla.

7.- Función "P1" y "T".

Esta combinación se usa para mandar a pantalla el periodo de la señal del transductor conectado en la

entrada 1 en microsegundos. (si no existe la señal aparecerá en pantalla el mensaje "ERROR 1").

8.- Función "P2" y "T".

Esta combinación se usa para mandar a pantalla el periodo de la señal del transductor conectado a la entrada 2. (Si no está presente la señal aparecerá el mensaje "ERROR 2").

c].- CALIBRACION.

La calibración de la unidad se basa principalmente en la calibración del transductor de presión mediante la ayuda del computador.

Los transductores de presión digitales de cuarzo, están provistos de una serie de coeficientes de calibración (A,B,T_o); los cuales son válidos para un cierto rango de temperatura de operación. Estos coeficientes permiten al computador linearizar la señal de presión para mostrarla en pantalla, mediante la ecuación:

$$P = A\left(1 - \frac{T_o}{T}\right) - B\left(1 - \frac{T_o}{T}\right)^2 \quad ; \text{ donde:}$$

P : Presion(Unidades en función de los coeficientes de calibración.

B,A,T_o : Son los coeficientes de calibración.

T : Periodo de la señal del Transductor.

La presión está dada en las unidades de los coeficientes A y B.

T_o es el periodo de la señal de salida del transductor a presión cero.

Calibración del Transductor en un solo punto.

Los coeficientes de calibración A y B dependen de las características del material y de la geometría-

del transductor; en cambio el coeficiente T_0 depende del tiempo de uso (desgaste) del transductor, debido a esto -- los coeficientes A y B son estables con el tiempo.

Para corregir los posibles cambios del coeficiente T_0 es posible recalibrar el transductor mediante -- una medición de presión siguiendo el siguiente procedimiento:

1.- Asignar al transductor de presión la entrada P1 del computador.

2.- Oprimir los botones de las funciones "P1" y "T".

3.- Aplicar una presión al transductor.

4.- Calcular la diferencia entre la presión arrojada por el computador y el valor de presión aplicada al computador; $\Delta p = P \text{ salida} - P \text{ aplicada}$.

5.- Calcular la relación de la diferencia de presión (Δp) y el rango de la escala de presión; enseguida multiplicar por un factor de 3 para obtener la corrección de T_0 :

$$T_{0.c} = \frac{\Delta P}{FS \cdot 3}$$

donde:

$T_{0.c}$: Corrección del factor-
 T_0 .

Δp : Diferencial de presión.

FS : Rango de la escala de presión.

6.- Sumar algebraicamente el término $T_0.c$ al coeficiente T_0 .

7.- Oprimir las funciones "P1" y "PROG"; enseguida teclear el nuevo valor T_0 almacenandolo en la memoria del computador. (Oprimir la función T_0 para transmitir el valor teclado a la memoria). Si se desea una recalibración mas precisa, iterar desde el punto 3 hasta el punto 7.

Calibración Completa del Transductor.

Procedimiento para realizar una calibración completa del transductor de presión calculando los coeficientes de calibración A,B, T_0 simultaneamente :

1.- Asignar al transductor de presión la entrada "P1" del computador.

2.- Oprimir los botones de las funciones "P1" y "T".

3.- Aplicar 10 % de la escala total de presión, luego registrar el periodo de salida (T_1) y la presión de salida (P_1).

4.- Substituir estos datos en la ecuación de linearización de presión y obtener:

$$P_1 = A(1-T_0/T_1) - B(1-T_0/T_1)^2 \quad - - - (1)$$

5.- Repetir los pasos del 3 al 4 con 50 % de la escala total de presión y con los datos obtenidos sustituir en la ecuación 1.

6.- Una vez mas repetir los pasos del 3 al 4- con 100 % de la escala total de presión y sustituir en la ecuación 1 los valores de T_1 y P_1 .

El resultado de este procedimiento es un sistema de tres ecuaciones con tres incognitas.

7.- Resolver simultaneamente las ecuaciones anteriores para los coeficientes A, B, T. .

8.- Oprimir "P1" y "PROG", iniciando a introducir los nuevos coeficientes A, B, y T. al computador.

C A P I T U L O I V

INTERPRETACION DE LA CARTA REGISTRADORA .

I N T R O D U C C I O N .

La etapa de interpretación de la carta registradora es una de las operaciones más importantes en el -- proceso de evaluación de la presión y temperatura en pozos geotérmicos.

Para realizar una buena lectura de la carta -- es necesario contar con información adicional de las condi -- ciones del pozo durante el registro, tales como: estado me -- cánico del mismo, cualquier incidente no previsto en el -- equipo, válvulas con fuga, etc.

Antes de proceder a instalar la carta en el -- lector, es necesario inspeccionarla con la finalidad de -- identificarla, esto se logra mediante el número del elemen -- to, número de reloj (fecha, serie y tipo de registro).

Identificación de la línea base.

La línea base es la línea más baja que se ha -- ce a la carta registradora, con la finalidad de comprobar -- que la punta del estilete parte de un punto inicial con de -- flexión cero a condiciones del medio ambiente y termina -- su recorrido sobre un punto final con deflexión cero a -- las mismas condiciones después de haber efectuado su reco -- rrido.

La mayoría de los elementos de temperatura -- tienen su punto "cero" definido por un tope mecánico, el -- cual sirve para hacer la línea base, como lo ejemplifica -- la figura 22.

En el caso de los elementos de presión no - -
existe el tope mecánico por lo que los trazos se distribu-
yen simétricamente sobre la línea base al inicio y final -
del recorrido de la carta. Ver figura 23.

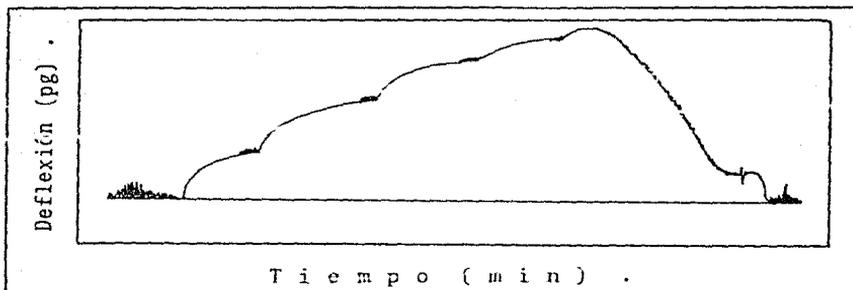


Figura 22.- Trazas sobre la línea base para -
elemento de temperatura.

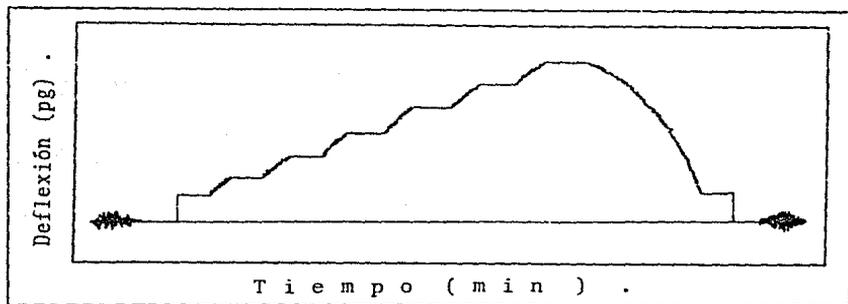


Figura 23.- Trazas sobre la línea base para -
elemento de presión.

IV.1.- CARTA NORMAL DE PRESION Y TEMPERATURA.

Al efectuar un registro a un pozo, la sonda se introduce al mismo en intervalos de profundidad denominados estaciones. Así pues, al tomar un registro de presión o temperatura en un pozo estático, se tendrá una curva característica para cada tipo de gradiente.

El gradiente de presión tiene un trazo tipo-escalón, donde los fragmentos de línea continua horizontal corresponden a la presión en la estación, y la longitud de línea al tiempo de espera en la estación. Estas líneas tienen la característica de ser paralelas a la línea base.

Los incrementos de presión causados por el viaje de la sonda de una estación a otra se manifiestan en las pequeñas líneas marcadas en zig-sag.

Una carta normal de presión presenta una tendencia escalonada hasta un punto máximo que se considera es la mayor profundidad alcanzada por el registrador, a partir de este punto se inicia la extracción del elemento a superficie y el gradiente de presión decrece al ritmo de extracción, hasta llegar a la presión de partida intersectando la línea base. Si esto no sucede se tienen problemas en la sonda.

La carta de temperatura presenta un escalonamiento creciente similar a la carta de presión durante la etapa de entrada al pozo, a diferencia de la carta ante-

rior el comportamiento de la temperatura en las estaciones se presenta como una curva, lo que indica que el elemento de temperatura responde más lentamente a los cambios de la misma por cambios de profundidad.

En las figuras 24 y 25 se muestra la carta -- normal de presión y temperatura, respectivamente.

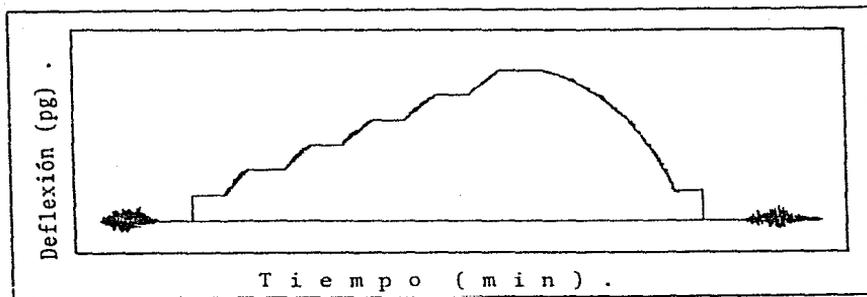


Figura 24.- Carta normal de presión.

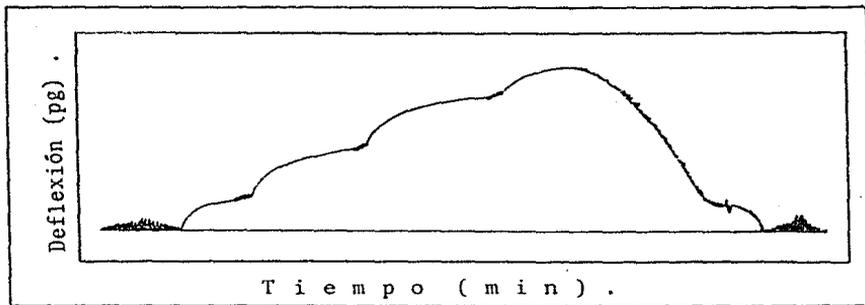


Figura 25.- Carta normal de temperatura.

IV.2.- PROBLEMAS MECANICOS DE LA SONDA DETECTADOS EN LA CARTA REGISTRADORA.

Las condiciones en que operan los registradores de presión en los pozos geotérmicos, originan que se presenten una gran variedad de posibles errores en los datos registrados sobre las cartas. En este tema se citan -- algunos de los principales problemas.

1.- Discordancia de la marca del estilete entre el punto de llegada y punto de salida sobre la línea base.

Esta discordancia puede ser positiva cuando la marca del estilete no toca la línea base, o negativa -- cuando la marca del estilete sobrepasa la línea base.

La discordancia positiva puede originarse por tres causas principales:

a].- El elemento tiene presión en su interior la cual debe liberarse.

b].- Fuga en los fuelles, verificar la longitud de los fuelles inmediatamente después de cada corrida.

c].- La temperatura expande el fluido causando la deflexión.

La figura 26 muestra una carta con este tipo de error.

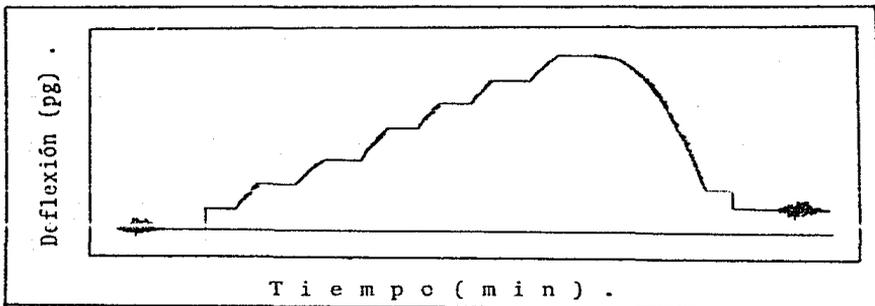


Figura 26.- Discordancia positiva.

La discordancia negativa puede originarse por cualquiera de los siguientes motivos:

a).- El tubo Bourdón tiene fugas, esto origina que el fuelle pierda longitud.

b).- Fuga en los anillos, perdiendo gas el interior del registrador durante la toma del registro. Para tener seguridad de que éste es el problema, dar un ligero golpe sobre el registrador desarmado, el estilote debe regresar a su posición original (línea base).

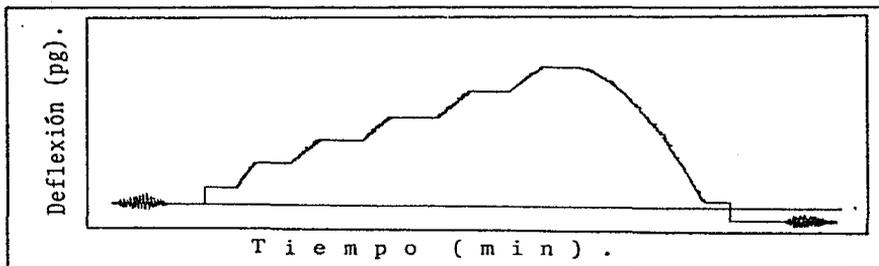


Figura 27.- Discordancia negativa.

2.- La traza del registro sobre la carta se manifiesta irregular al estar estática la sonda.

Esta situación se origina debido a la alta fricción que hay en el conjunto del tornillo sinfin (balero del tornillo de avance) y en el balero de la flecha del estilete que distorciona las deflecciones y escalona el avance del reloj. Además se recomienda verificar el fleje del estilete. La figura 28 muestra este tipo de error.

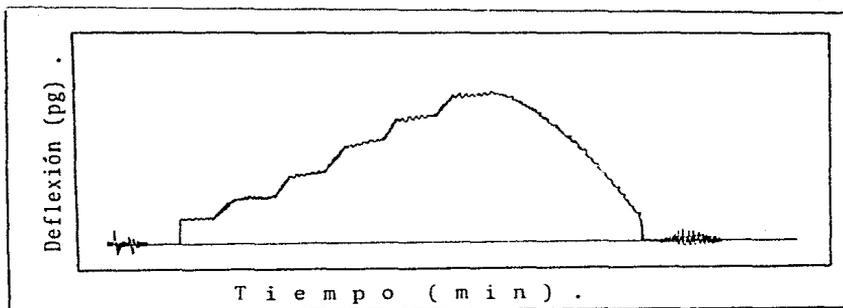


Figura 28.- Traza irregular sobre la carta.

3.- La línea del registro presenta discordancia completa (positiva o negativa) respecto a la línea base.

Esto se debe a que el registrador fue apretado después de haber hecho la línea base, ver figura 29.

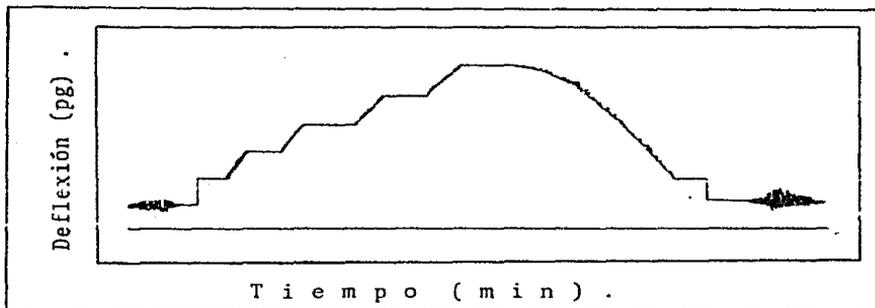


Figura 29.- Discordancia completa respecto a la línea base.

4.- Línea Base Curveada. Esta situación puede originarse por estar sucio el tonillo sinfin, y la tuerca o el balero de apoyo del tornillo sinfin, este último se ensucia debido a la entrada de agua, lodo o vapor al portacarta. La figura 30 muestra la línea base curveada.

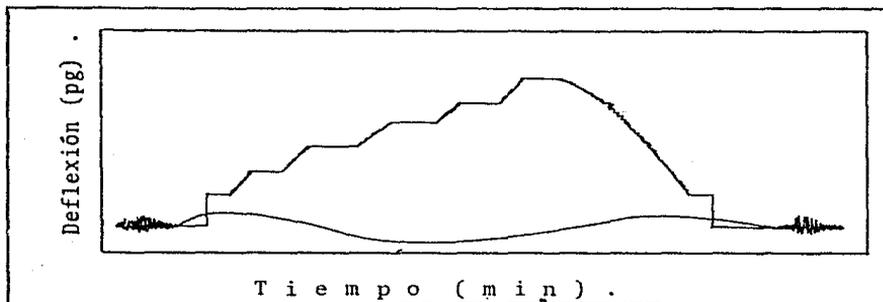


Figura 30.- Línea base curveada.

5.- Deflexiones diferentes para puntos a idén

tica profundidad.

Esta falla se origina por una respuesta lenta del bourdon del elemento, cuando esto sucede el elemento - deberá ser rigurosamente calibrado utilizando presiones de crecientes. Ver figura 31.

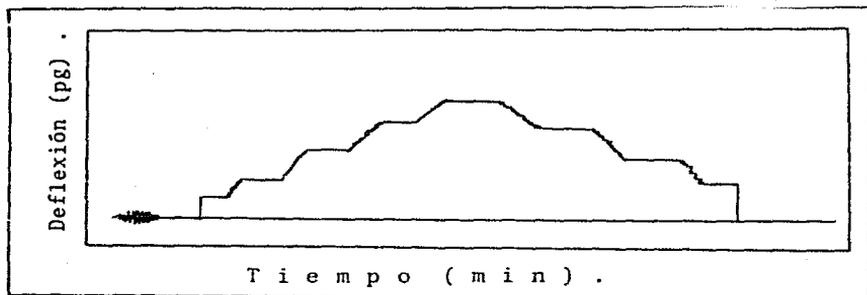


Figura 31.- Deflexiones diferentes en puntos a idéntica profundidad.

6.- La carta se desliza en un periodo más largo al esperado.

El deslizamiento de la carta depende del funcionamiento del reloj; si el reloj está sucio o defectuoso puede avanzar ocasionalmente y provocar un giro repentino del tornillo sin fin sin rotar a una velocidad constante. - Ver la Figura 32.

7.- La carta se desliza en un periodo más corto al esperado.

Este efecto contrario al anterior se debe al avance incompleto de la carta, por efecto de simples vibraciones sobre la sonda en su viaje hacia el fondo, o por fa

lla mecánica del reloj. Ver la figura 33.

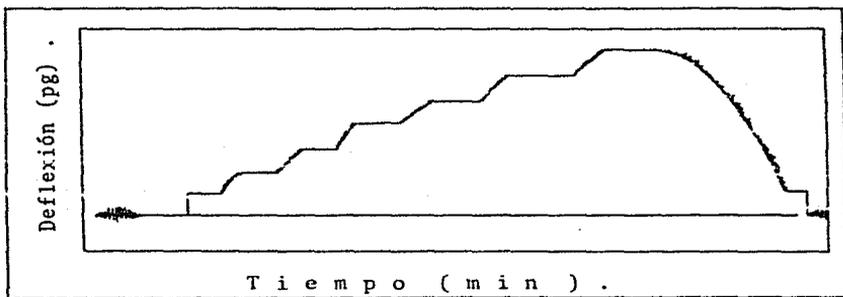


Figura 32.- Sobredeslizamiento de la carta.

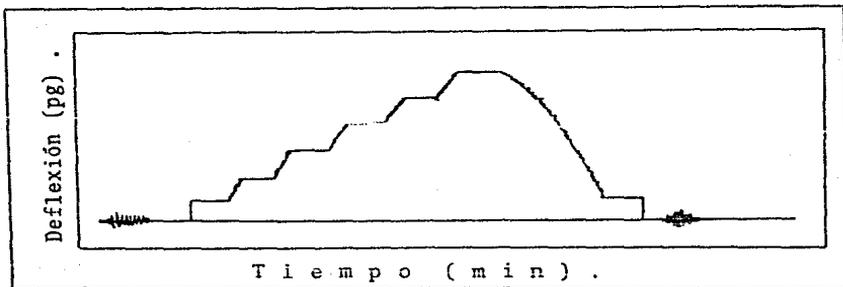


Figura 33.- Deslizamiento incompleto de la carta.

8.- El gradiente registrado es más pequeño -- que el esperado.

Este efecto puede ocasionarse debido a un acortamiento del fuelle, por una pérdida de fluido en el tubo -- bourdon y fuelle. Es necesario verificar la longitud del -- fuelle después del registro (6 pg de longitud). La figura--

34 ilustra este caso.

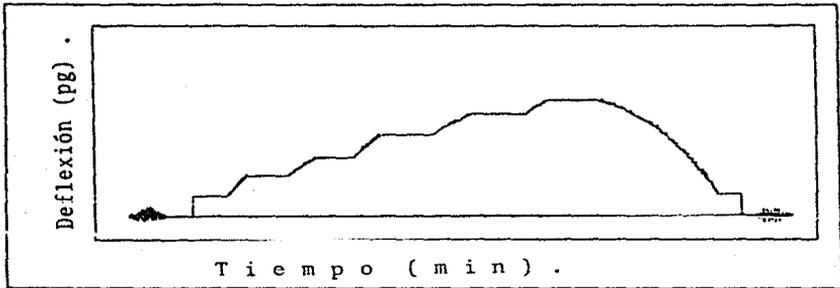


Figura 34.- Gradiente más pequeño al esperado.

9.- El registrador marca una línea completamente errática sobre la carta.

Las cuatro posibles causas de este problema -- son:

a).- El eje del estilete no está lo suficientemente ajustado, o está dañado.

b).- El brazo del ensamble del estilete alrededor del resorte del soporte está flojo.

c).- El estilete está flojo en el punto donde se conecta del brazo del estilete.

d).- La tensión del resorte del estilete es mínima.

10.- Línea Base a Trazos.

La línea base a trazos no se reconoce a simple

vista, sino hasta revisarla en el lector.

Esta situación es provocada por un indicador del estilete desgastado, o desnivelado que genera la discontinuidad de la línea base. Ver figura 36.

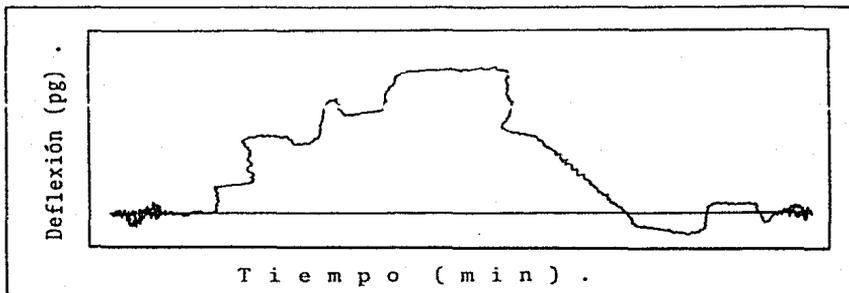


Figura 35.- Trazo completamente errático sobre la carta.

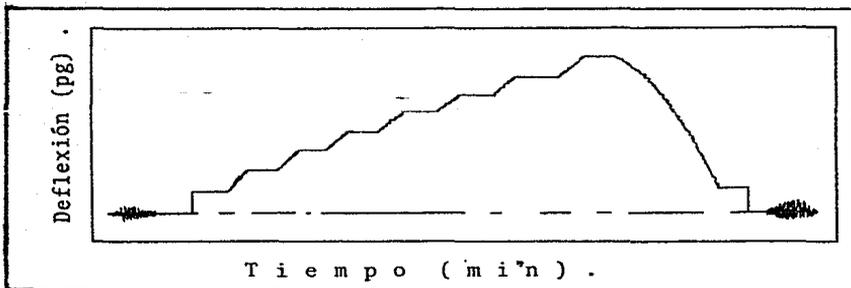


Figura 36.- Línea Base a Trazos.

IDENTIFICACION DE GRADIENTES .

a).-GRADIENTE EN POZO CERRADO (ESTATICO).

En este subtema se hace la descripción de las partes que conforman un gradiente típico de presión en un pozo estático con presión en la cabeza diferente de cero. Ver figura 37.

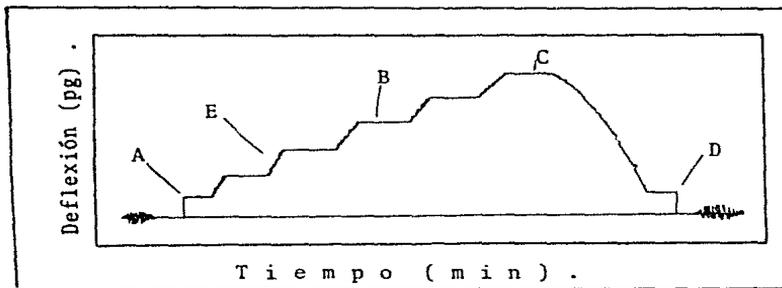


Figura 37.- Gradiente en pozo cerrado (estático).

Descripción:

- (A).- Deflexión por presión en el cabezal.
- (B).- Deflexión en una estación.
- (C).- Deflexión a la profundidad máxima (máxima deflexión).
- (D).- Deflexión por presión a la salida.
- (E).- Cambios de deflexión por el avance.

de una estación a otra.

b).- GRADIENTE DE UN POZO CON GAS.

La figura 38 muestra el comportamiento del --
gradiente de un pozo con gas.

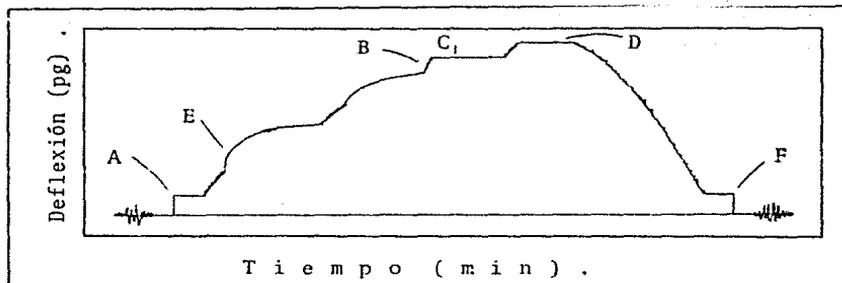


Figura 38.- Gradiente de un pozo con gas.

Descripción:

(A).- Deflexión por presión en la cabeza.

(B).- Deflexión en la estación que manifiesta el cambio de fase de gas a líquido.

(C).- Deflexión de estación en fase líquida.

(D).- Deflexión a la profundidad máxima.

(E).- Deflexión de estación en fase gaseosa.

(D-F).- Recuperación del elemento.

(F).- Presión de salida.

c].- GRADIENTES EN POZOS OPERANDO Y CERRADO.

(INCREMENTO DE PRESION).

A continuación se describe gráficamente el comportamiento de un gradiente de presión en pozos operando y cerrado. El cual se presenta en la figura 39.

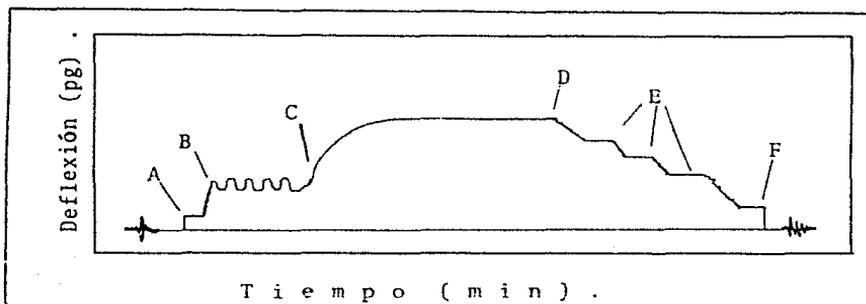


Figura 39.- Comportamiento del gradiente de presión en pozo operando y cerrado.

Descripción:

(A).- Deflexión por presión de flujo estabilizada en la cabeza del pozo.

(B).- Deflexión por presión de fondo fluyendo estabilizada.

(C).- Deflexión a pozo cerrado (instantáneo).

(D).- Deflexión a pozo cerrado estabilizado.

(E).- Deflexiones por presión estática en pequeñas estaciones.

(F).- Deflexión por presión estática en la cabeza.

(B-C).- Intervalo de presión de fondo fluyendo.

(C-D).- Curva de incremento de presión.

(D-F).- Recuperación del elemento.

d).- GRADIENTE DE POZO INYECTANDO Y CERRADO
(INYECCION RECUPERACION).

La figura 40 muestra el comportamiento del --
gradiente de presión inyectando y cierre de pozo.

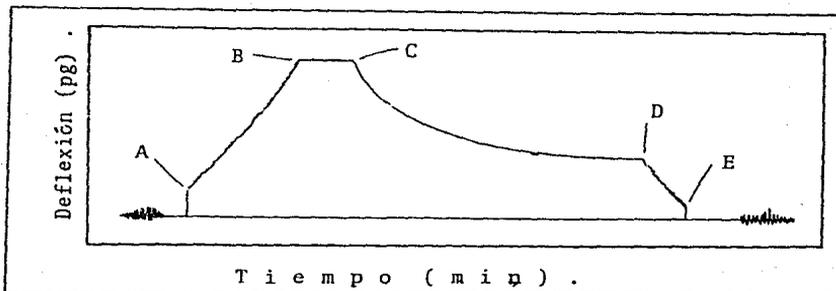


Figura 40 .- Gradiente de presión de pozo inyectando y cerrado.

Descripción:

(A).- Deflexión por presión de inyección en la cabeza de pozo.

(B).- Deflexión por presión de fondo inyec--
tando.

(C).- Deflexión por presión de fondo inyec--
tando estabilizada, y suspensión de la inyección.

(C-D).- Curva de deflexión por recuperación -
del pozo a la presión estática.

(D-E).- Deflexión marcada en el exceso de car-
ta durante la recuperación del elemento.

(A-B).- Incremento de deflexión por incremen-
to de profundidad.

e].- GRADIENTE DE TEMPERATURA TIPICO TRANSVER
SAL.

En este subtema se describe, el comporta-
miento de las partes de un gradiente de temperatura típi-
co. Ver figura 41.

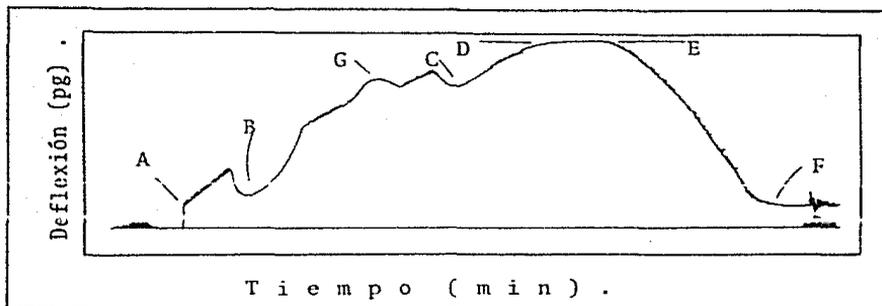


Figura 41.- Gradiente de temperatura típico - transversal.

Descripción:

(A).- Deflexión por temperatura en la cabeza - de pozo.

(B) y (C).- Secciones frías, por entrada de - agua fría, gas, o mala cementación de la tubería de reves - timiento.

(A-D).- Gradiente de temperatura en todo el - pozo.

(D).- Deflexión de temperatura a la profundi - dad máxima.

(D-E).- Estabilización del elemento a la máxi - ma profundidad y temperatura.

(E-F).- Recuperación de la sonda y residuo - de calor retenido en el elemento por una recuperación rápi -

da a la superficie.

(G).- Sección caliente, por entrada de agua - caliente al pozo o contacto de la tubería de revestimiento con una zona caliente.

IV.3.- LECTOR DE LA CARTA REGISTRADORA.

Una vez que se ha efectuado algún registro y se ha recuperado la carta de la sonda, se procede a identificarla e interpretarla, obteniendo así la información que se ha impreso sobre ella. Esto se puede lograr de varias formas. Primero usando una regla de acero graduada en centésimas de pulgada, apoyado por una lente amplificadora de 4-6X; el inconveniente de este método de lectura es la gran imprecisión de los datos leídos, además de la lentitud del proceso.

Para obtener una óptima precisión y mayor rapidéz de procesamiento, es recomendable usar un lector de cartas de dos ejes.

El lector de cartas consiste principalmente de un lente ocular enfocable de 5x o un microscópio de 56x montado sobre uno de dos tornillos sinfin perpendiculares entre sí, que actúan como ejes X-Y, los cuales se deslizan controlados por un mecanismo giratorio que opera manualmente. Cada uno de estos ejes cuenta con un contador de avance, el cual da las deflexiones marcadas en la carta en pulgadas (eje X), o el desplazamiento de la carta en el tiempo (eje Y); con una precisión hasta de 0.0001 pg.

Otra de las ventajas de este instrumento es que está equipado con un foco cuya función es iluminar la carta y proyectar una cruz sobre la misma, con lo cual se eliminan errores de paralaje, durante la interpretación.

El lector de cartas puede usarse para leer distintos tamaños de cartas. La figura 42 muestra un lector -

de cartas de dos ejes.

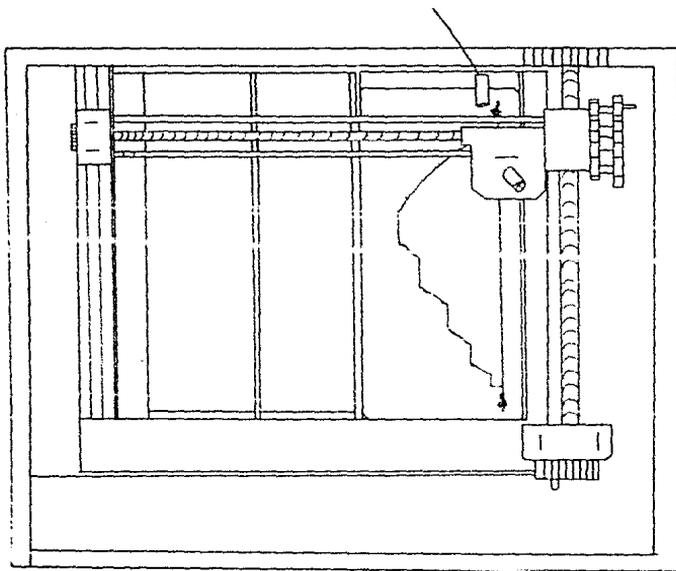


Figura 42.- Lector de Cartas.

C A P I T U L O V
A P L I C A C I O N E S D E L E Q U I P O
A P O Z O S G E O T E R M I C O S .

I N T R O D U C C I O N .

En los capítulos anteriores se ha descrito el equipo utilizado en la toma de registros de presión y temperatura que se aplica en los pozos geotérmicos, así como su operación y calibración; en este capítulo se verá la utilidad de la información obtenida con el fin de reafirmar la importancia que estos dispositivos tienen en el proceso evaluatorio de los pozos que conforman un campo.

Se hará referencia además a trabajos específicos que son producto de los datos obtenidos de las mediciones de presión y temperatura con estos equipos.

V.1.- CORRELACION DE PRESION Y TEMPERATURA PARA DEFINIR CONDICIONES INICIALES DE YACIMIENTO, CON MODELOS-MATEMATICOS Y NOMOGRAMAS.

Una de las aplicaciones más importantes de las mediciones de los registros de presión y temperatura aplicados a sistemas geotérmicos es la determinación de las condiciones iniciales de presión y temperatura que imperan en los fluidos de estos yacimientos, lo cual permitirá evaluar cualitativamente las condiciones termodinámicas de los fluidos.

La figura 43 muestra la distribución de presiones estáticas y de fluidos en el yacimiento del Campo Geotérmico Los Azufres, la cual es el resultado de la correlación de datos medidos de presión utilizando la unidad de registros de baja resolución, esto ha permitido definir la profundidad de ubicación del nivel de "flasheo"; así como el comportamiento de la presión de yacimiento respecto a la profundidad.

Para definir las condiciones iniciales de presión y temperatura que existen en los pozos de un sistema geotérmico se hace referencia a un diagrama de fases para agua-vapor; la figura 44 muestra la distribución de los pozos que conforman el Campo Los Azufres.

PRESION DE FONDO DE POZO @ C. EST.

[kg/cm²]

ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR [m. s. n. m.]

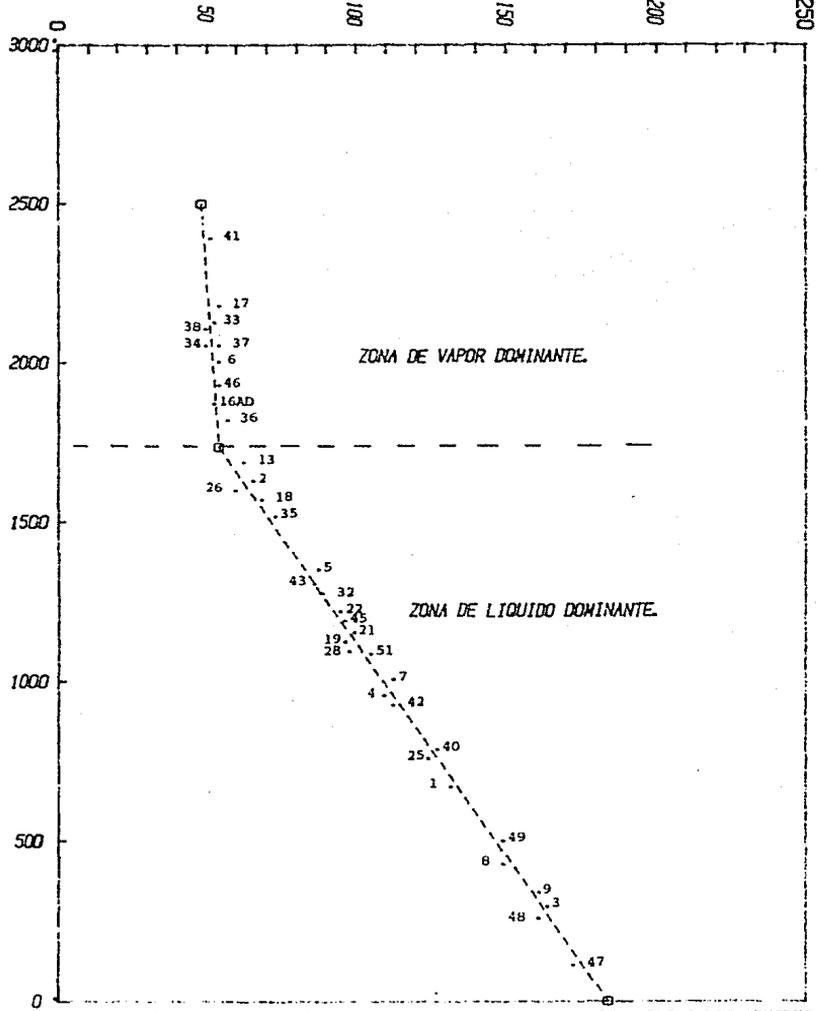


FIG. 43. - DISTRIBUCION DE PRESION EN EL YACIMIENTO. CAMPO GEOTERMICO LOS AZUFRES.

Según la clasificación descrita en el capítulo I, se tiene una zona de vapor dominante (casquete de vapor) y otra de líquido dominante.

Los números marcados en la figura 43, corresponden a los pozos que conforman el Campo Geotérmico Los Azufres; la ubicación de cada pozo corresponde a la presión de fondo estática registrada, y su respectiva profundidad de registro en metros sobre el nivel del mar.

Los datos de presión de fondo estático, se han ajustado matemáticamente utilizando el método de mínimos cuadrados; obteniéndose como resultado las siguientes correlaciones:

$P=190.11829-0.0785855 D$; $D < 1734.46$
para zona de líquido dominante.

$P=69.93226-0.00929265 D$; $D > 1734.46$
vapor dominante.

donde:

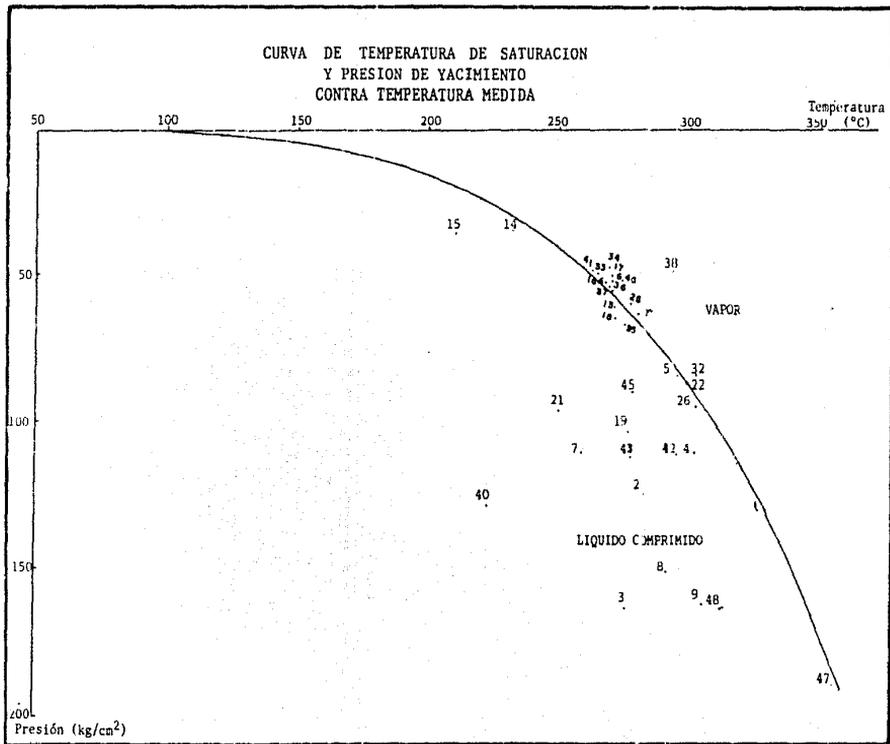
D; profundidad (m.s.n.m.).

P; presión (kg/cm²).

La línea discontinua sobre la Figura 43, muestra el comportamiento gráfico de estas ecuaciones.

Se ha elaborado un programa de cómputo en lenguaje Basic en el que se incluyeron las correlaciones anteriores; este programa calcula la presión cuando se conoce

FIGURA 4.4. - DISTRIBUCION DE LA PRESION Y TEMPERATURA
 ESTADISTICA DE POZOS DEL CAMPO LOS AZULES RESPECTO A LA CURVA DE SATURACION .



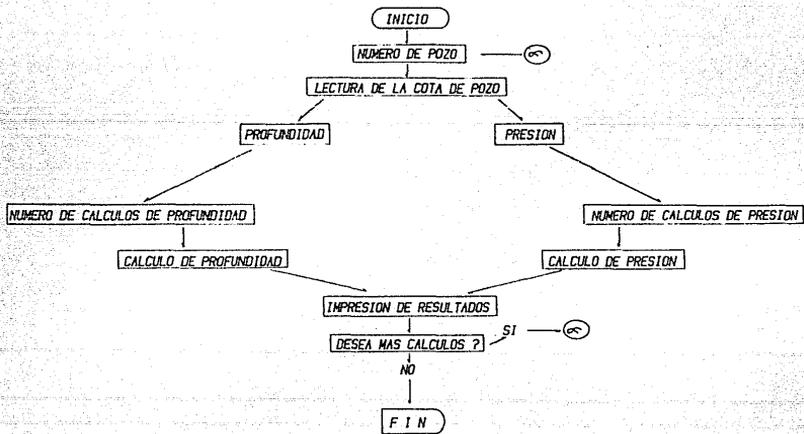
la profundidad o viceversa.

El programa contiene una serie de pasos adicionales al cálculo de presiones cuya finalidad es la de protegerlo contra posibles datos de entrada erróneos, se pretende además que sea un programa conversacional para facilidad de uso. La página siguiente muestra el diagrama de flujo correspondiente, y un listado de la codificación.

Como se mencionó anteriormente se toman registros de presión y temperatura con la unidad de baja resolución durante la perforación de un pozo al presentarse pérdida de circulación, en la terminación y vida fluyente; en el primer caso el motivo principal es determinar mediante la presión de fondo si el pozo ha intersectado el yacimiento; comparando la presión registrada con la presión calculada por el programa de cómputo antes mencionado, en caso de no contar con una computadora esta relación puede obtenerse mediante el diagrama de la figura 43.

A continuación se muestra un ejemplo de aplicación de las correlaciones antes mencionadas, aplicado a la perforación del pozo Az-51 del Campo Los Azufres.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DE COMPUTO.



```

1 PRINT "CARGA(10)"
2 PRINT "CARGA(20) PRESION ESTATICA LOS ALTORES" 3 PRINT "COMERCIOS/INFORMACION GENERAL DE ESTUDIOS"
4 PRINT "INFORMACION DE YACIMIENTOS."
5 CLEAR
6 PRINT "A PRINT " B PRINT "
7 PRINT "A PRINT " B PRINT "
10 PRINT "PROM PROGRAMA CALCULA LA PRESION ESTATICA DE FONDO DE POZO DE 2020 PARA EL CAMPO AZUFRES."
15 DIM L(125)
20 DISP "QUE DEBEAS CALCULAR" 3 DISP "PRESION(P) 4 PROFUNDIDAD(D) 5 INPUT 04
25 PRINTER IN 10.120
30 DISP "DA EL POZO DE ESTACION" 8 INPUT 4480 QUITAR 410
35 PRINT TAB(40):"ALTURA DEL POZO "TAB(12):"P.S.N.M." 8 PRINT
43 IF 04="0" THEN 135
44 DISP "CUANTOS CALCULOS DE PROFUNDIDAD DEBEAS PARA EL POZO "TAB(18) INPUT 88 PRINT 8 PRINT
50 PRINT TAB(5):"POTR"TAB(20):"PROFUNDIDAD"TAB(30):"PROFUNDIDAD"TAB(40):"PRES.ESTAT."
51 PRINT TAB(21):"P.S.N.M."TAB(42):"P.S.N.M."TAB(43):"P.S.N.M."
60 FOR I=1 TO 4
70 DISP "DA LA PRESION(P)/QZM" 8 INPUT 88 IF 88=0 OR 88=80 THEN 1600
110 IF 85=814 THEN 170
115 L=1:ZONA DE LIGNERO DOMINANTE
116 D1=17.725*P+7419.2550 8 GOTO 150
120 D1=107.4119*P-7535.5437
125 L=2:ZONA DE VAPOR DOMINANTE
130 D1=7:Z1
140 PRINT TAB(5):"A"TAB(20):"B"TAB(40):"C"TAB(60):"P"TAB(70):"L"
150 NEXT I
160 DISP "DEBEAS HAPER OTRO CALCULO" 3 INPUT 048 IF 04="0" THEN 20
170 IF 04="8" THEN DISP "TECELE 01 8 NOT 8 GOTO 140
180 END
190 DISP "CUANTOS CALCULOS DE PRESION DEBEAS PARA EL POZO "TAB(18):8 INPUT 88 PRINT 8 PRINT 8 PRINT
200 PRINT TAB(5):"POTR"TAB(20):"PROFUNDIDAD"TAB(30):"PROFUNDIDAD"TAB(40):"PRESION ESTATICA"
210 PRINT TAB(5):" "TAB(20):"P.S.N.M."TAB(40):"P.S.N.M."TAB(42):"P.S.N.M."
210 FOR I=1 TO 4
220 DISP "DA LA PROFUNDIDAD (P.S.N.M.) 8 INPUT 04 D1=2:0 8 IF 01=00 OR 01=500 THEN 1100
230 IF 01=734.44 THEN 270
235 L=1:ZONA DE LIGNERO DOMINANTE
240 P=190.11107*P-678585540 8 GOTO 240
250 P=49.9120*P-320262650
275 L=2:ZONA DE VAPOR DOMINANTE
280 PRINT TAB(5):"A"TAB(20):"B"TAB(40):"C"TAB(60):"P"TAB(70):"L"
290 NEXT I
300 GOTO 140
310 END
410 ASIGNA " TO "0000000705
420 I=1
430 READ K 1 44.X.Y.T
440 IF 44=" " THEN 530
450 IF 44=418 THEN 530
460 K=K+1 8 GOTO 430
530 ASIGNA " TO "
540 RETURN
1000 DISP "ESTA OMEISION ESTA FUERA DEL RANGO DE PRESION DE YACIMIENTO DE ESTE CAMPO(40-200K/CMT)"
1010 FOR I=1 TO 5
1020 READ 50.500
1030 NEXT I
1040 GOTO 40
1100 DISP "ESTE DATO DE PROFUNDIDAD ESTA FUERA DEL RANGO PARA ESTE YACIMIENTO.(200-3500 *1."
1110 FOR 0=1 TO 7
1120 READ 40.400 8 NEXT 0
1130 GOTO 210

```

Aplicación del modelo de distribución de -
presión durante la perforación del pozo Az-51:

Profundidad (m.b.r.)	Presión Calc. (kg/cm ²)	Presión Reg. (kg/cm ²)	Decisión
1042.0	52.479	70.20	Continuar perforando
1000.00	52.089	80.03	continuar perforando
1832.0	104.60	105.20	Terminar - el pozo.

donde:

Presión Calc. : Presion Calculada.

Presión Reg. : Presión Registrada.

m.b.r. : metros bajo la rotaria.

V.2.- INTERPRETACION DEL PERFIL DE PRESION Y TEMPERATURA PARA IDENTIFICAR ZONAS PRODUCTORAS.

La definición de los perfiles de presión y temperatura en un pozo es muy importante; ya que mediante estos es posible conocer la distribución de fluidos y las zonas de aporte del yacimiento.

La figura 45 muestra la distribución de un perfil de presión y temperatura típico en un pozo geotérmico.

Para tener mayor conocimiento de los intervalos de producción de un pozo es necesario contar con varios perfiles de presión y temperatura (mínimo 4); tomados subsecuentemente con cierto intervalo de tiempo entre uno y otro, lo cual permite conocer la evolución de estos parámetros en el agujero. Los cambios de presión y temperatura son más bruscos en las zonas de aporte.

La figura 46 muestra una serie de registros de temperatura, tomados con el fin de diseñar la terminación de un pozo.

PRESION [kg/cm²] y TEMPERATURA [G. C.]

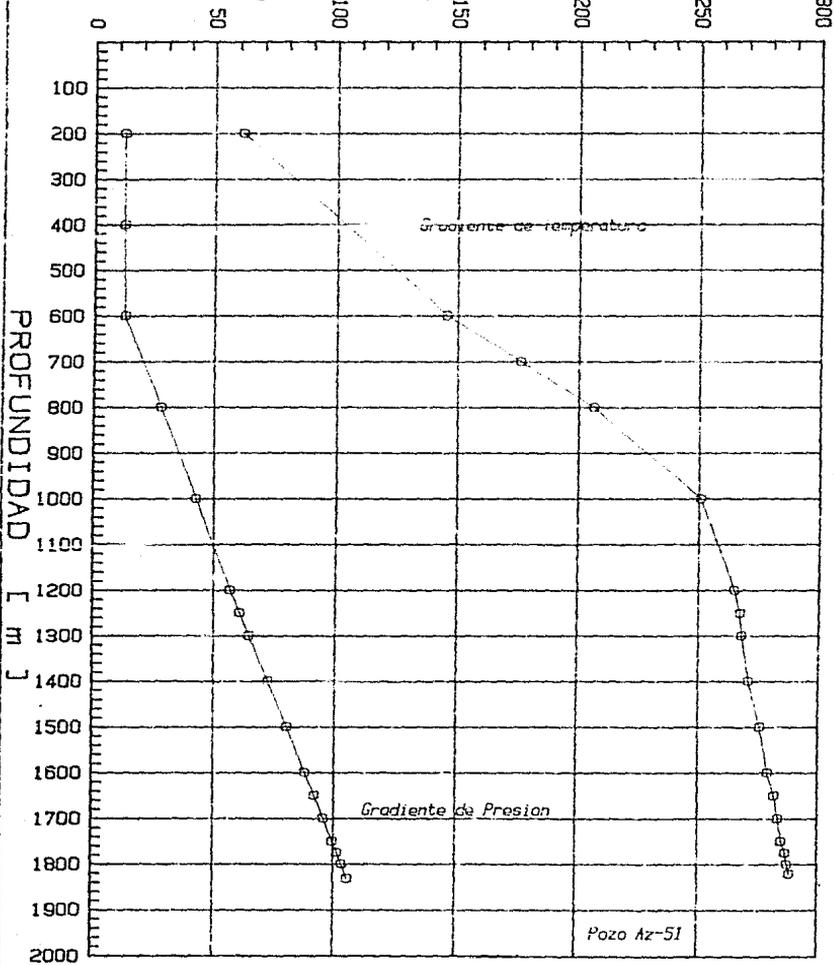
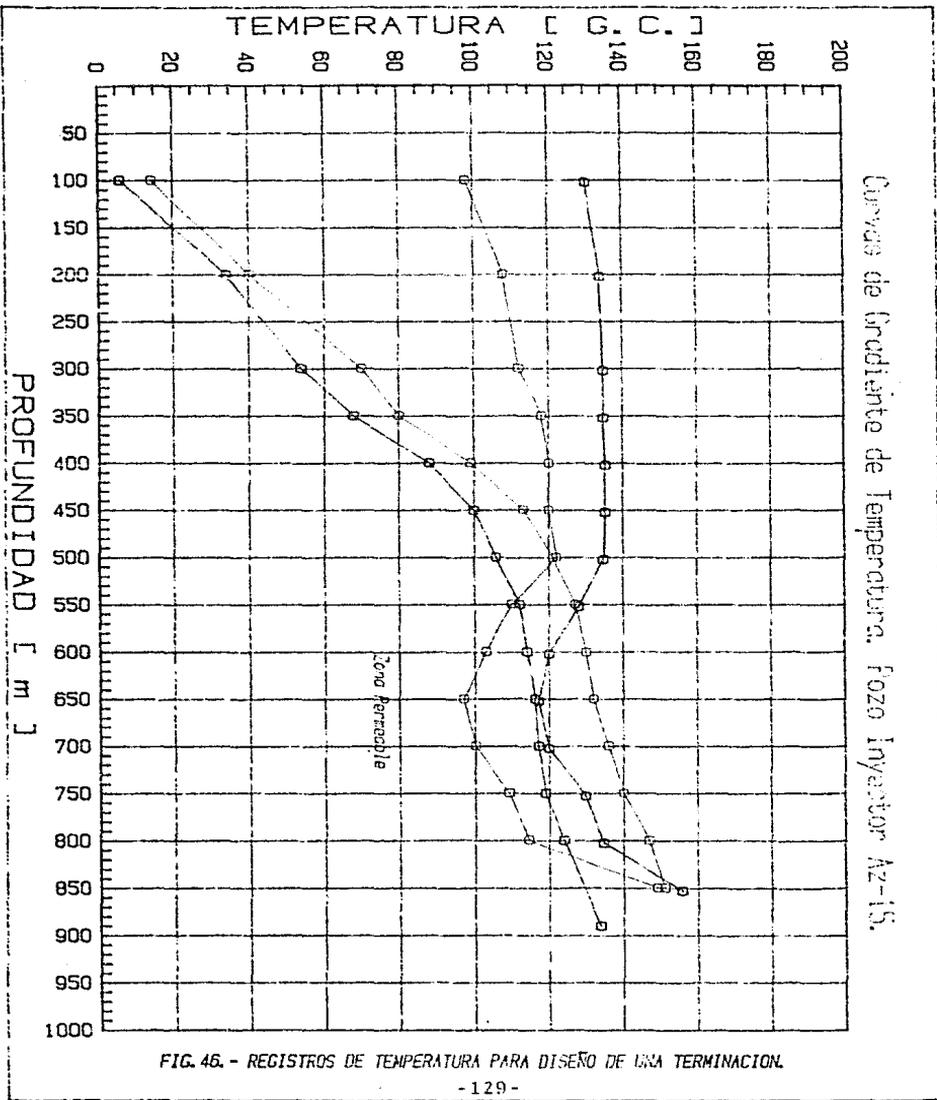


FIG. 45. - GRADIENTE DE PRESION Y TEMPERATURA TÍPICO DE UN POZO GEOTERMICO.

CAMPO GEOTERMICO LOS AZULES



V.3.- EVALUACION DE PARAMETROS PETROFISICOS A PARTIR DE PRUEBAS DE INYECCION-RECUPERACION.

Una vez que se ha comprobado la intersección del yacimiento mediante un pozo, es necesario evaluar la capacidad de transmisibilidad que presenta el sistema pozo yacimiento, además de poder determinar los coeficientes de almacenamiento del pozo y formación, así como el daño; quedando definidas las principales características del sistema.

De los resultados obtenidos por estas pruebas en forma aproximada se estima lo que producirá el pozo; los índices de transmisibilidad están dentro de los siguientes rangos:

Cuando el valor de transmisibilidad $(\frac{kh}{\mu})$; resulta menor a 6 no se recomienda realizar la terminación del pozo; donde k es la permeabilidad en Darcy, h el espesor de formación en metros, y μ la viscosidad en centipoise.

Para valores mayores de 6 pero menores de 9 es factible terminar el pozo; si la transmisibilidad es mayor que 9 pero menor a 12, se estima al pozo de buenas características de producción. Si la transmisibilidad arroja un valor mayor a 12 pero menor a 18, se tiene buena comunicación entre el agujero y el yacimiento; por lo que se estima un pozo con muy buenas características productivas. Cuando la transmisibilidad es mayor, de 18 se considera que se tiene un pozo con excelente comunicación con el yacimiento.

Es importante considerar todas las propiedades del sistema pozo-yacimiento antes mencionadas para decidir sobre la terminación de un pozo. La clasificación de transmisibilidad anteriormente descrita obedece a una correlación empírica de éstas con los gastos de producción reportados en los pozos del Campo Los Azufres.

Para realizar una prueba de este tipo se debe colocar la sonda registradora con el elemento de presión y temperatura a la profundidad que se ha detectado la zona de aporte de fluidos.

V.4.- DETERMINACION DEL INDICE DE INYECTIVIDAD.

La necesidad de inyectar el agua geotérmica - que producen los pozos de mezcla vapor-agua da origen a la utilización de pozos inyectoros en los sistemas de líquido dominante con el fin de evitar la contaminación de mantos-acuíferos superficiales de agua dulce.

Debido a que se manejan grandes volúmenes de agua (gasto másico, cientos de toneladas/hr), es necesario definir cualitativamente la capacidad de aceptación del -- sistema pozo-yacimiento, por lo tanto su índice de inyecti vidad.

La determinación de la presión de fondo inyec tando en un pozo para un cierto gasto se obtiene utilizando la unidad de registros de presión de baja resolución.

La presión estática se obtiene con una correlación como la figura 43, o mediante otro registro de presión a condiciones estáticas; y con el gasto de inyección-conocido, queda definido el índice de inyectividad, para - flujo en una sola fase.

La expresión que define el índice de inyecti-
vidad es:

$$II = \frac{Q_i}{P_{wi} - P_{ws}} = \text{Cte.}$$

donde:

II, [toneladas/hora/kg/cm²]

Q_i, [toneladas/hora]

P_{ws}, P_{wi} [kg/cm²]

Conociendo el comportamiento de flujo en la -
tubería aplicando la ecuación general de flujo de líquidos
por tuberías, es posible obtener el gasto máximo de acepta
ción del sistema pozo yacimiento.

Es notorio en este tipo de pozos observar una
evolución continua del índice de inyectividad causado por-
el fracturamiento inducido por la inyección continua de --
fluido geotérmico.

La figura 48, muestra la evolución de este pa
rámetro en el pozo inyector Az-7 del Campo Los Azufres.

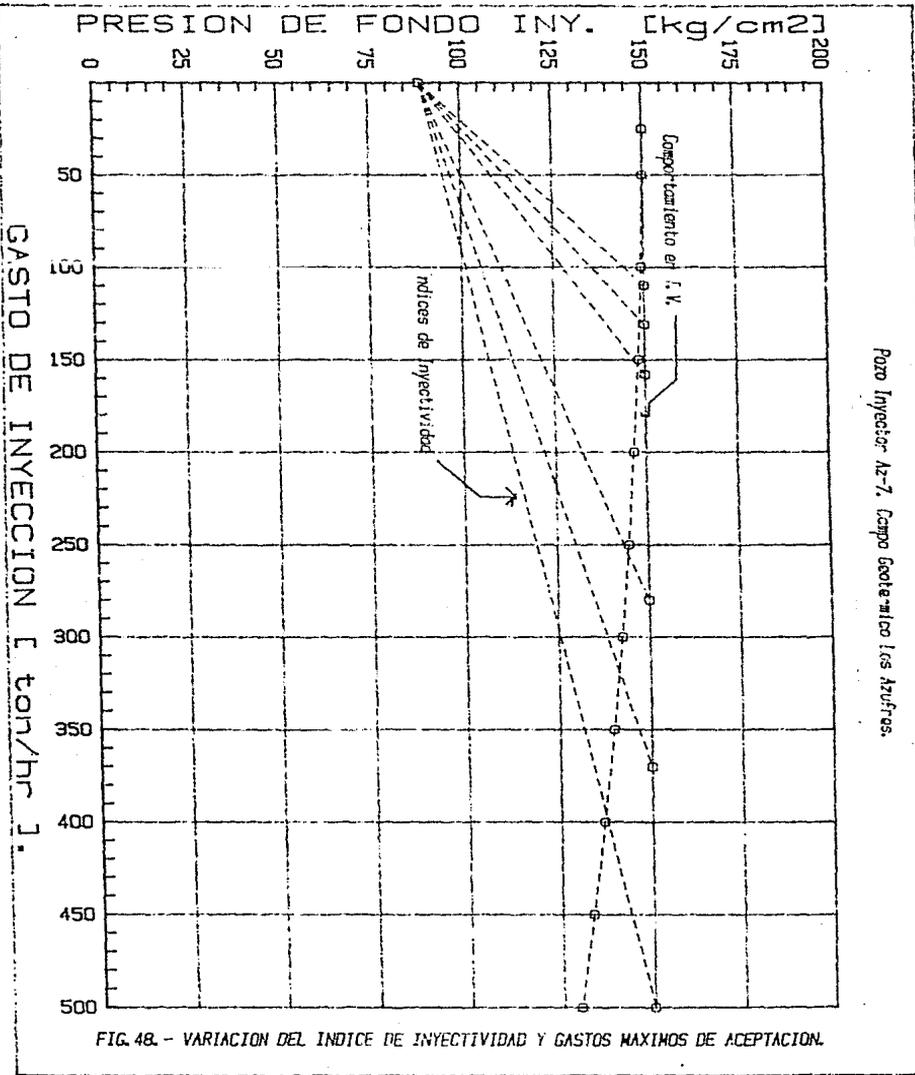


FIG. 48. - VARIACION DEL INDICE DE INYECTIVIDAD Y GASTOS MAXIMOS DE ACEPTACION.

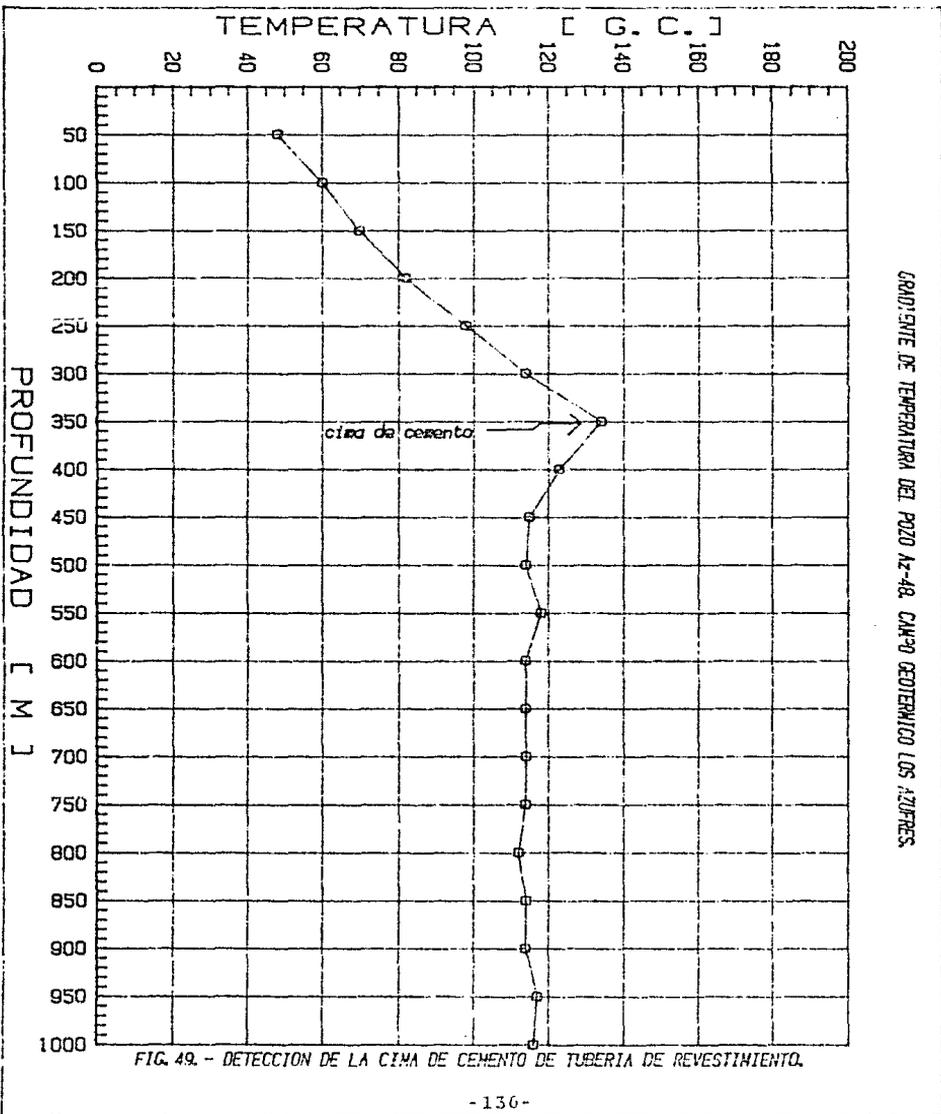
V.5.- DETECCION DE LA CIMA DE CEMENTO DE TUBERIA DE REVESTIMIENTO.

Una de las diferencias entre un pozo geotérmico y un petrolero, es que en los primeros la cementación de las tuberías de revestimiento es desde el fondo hasta la superficie. El motivo de esto, es evitar posibles colapsos de tubería debido a la dilatación ocasionada por las altas temperaturas que adquieren al estar fluyendo.

Por su naturaleza los sistemas ígneos fracturados, no presentan un gradiente de fractura definido; en el Campo Geotérmico Los Azufres se han realizado fracturamientos de formación con diferentes presiones; esto origina un grave problema durante la cementación de las tuberías; principalmente la de 9 ⁵/₈ pg de diámetro, la cual por lo general se cimenta en dos etapas.

No obstante, aún realizando las cementaciones por etapas, y con lechadas y operaciones bien diseñadas, en ocasiones no logra aflorar a superficie la lechada, debido al fracturamiento de la formación. En esta situación es necesario definir la profundidad a la cual permanece la cima de cemento en el espacio anular de la tubería de revestimiento y el agujero: Para resolver el problema se toma un registro de temperatura a todo lo largo del pozo.

La figura 49 muestra un registro de temperatura efectuado con el fin de detectar la cima de cemento en el pozo Az-48, debido a que no afloró lechada de cemento durante la cementación de la tubería de 9 ⁵/₈ pg de diámetro.



V.6.- DETERMINACION Y DISTRIBUCION DE LAS FASES AGUA-VAPOR GAS EN POZOS A CONDICIONES ESTATICAS.

En el Campo Los Azufres se utiliza un diagrama de temperatura de saturación contra profundidad y un registro de temperatura, para definir la distribución de las fases agua-vapor-gas en los pozos a condiciones estáticas.

Esta aplicación de los registros de temperatura ha permitido conocer el estado termodinámico de saturación de los fluidos de los pozos en estado estático (cerrados o purgados con orificio de 1 pg). Además es de gran utilidad para ayudar a definir las zonas productoras de los pozos en etapa de terminación.

Permite optimizar inhibidores de corrosión, aplicando éstos, solo en las zonas de los pozos en que aumenta la concentración de fluidos corrosivos (zona de gas).

Ayuda a conocer la longitud de tubería de acero flexible (tubing), que está altamente expuesta a la corrosión durante el desarrollo de alguna prueba de interferencia). La fig.47, muestra la distribución de las fases agua-vapor-gas en el pozo Az-9, usando un registro de temperatura y el diagrama de temperatura de saturación contra profundidad.

CAMPO GEOTERMICO LOS AZUFRES.

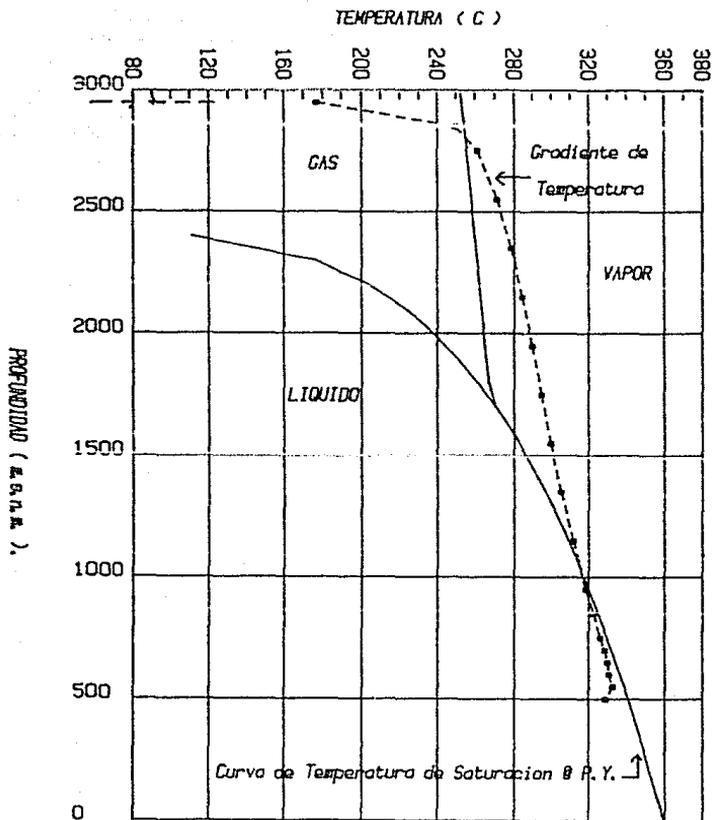


FIG. 47. - DISTRIBUCION DE LAS FASES ACUA-VAPOR-GAS EN EL POZO Az-9.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Al descubrir un nuevo campo geotérmico, es necesario determinar su potencial energético, y definir las condiciones iniciales de presión y temperatura mediante -- los pozos perforados, ésta tarea no sería factible de realizar sin la aplicación de los registros de presión y temperatura a pozos geotérmicos.

Los sistemas geotérmicos por su naturaleza -- ígnea fracturada, presentan grandes problemas para el análisis de propiedades petrofísicas mediante nucleos; por lo que para obtener estas propiedades es necesario realizar -- algún tipo de prueba de presión, utilizando la unidad de registros de baja resolución.

Es muy importante conocer los principios de -- operación, procedimientos de aplicación, calibración y mantenimiento de los instrumentos de medición empleados en la toma de registros de pozo.

Debido a las extremas condiciones de temperatura, y a la naturaleza de los fluidos geotérmicos, los registradores descritos en este trabajo constituyen la principal herramienta para evaluar los pozos y correlacionar -- condiciones de yacimiento; extendiéndose su aplicación a -- problemas mecánicos de pozo.

El bajo costo de operación y mantenimiento, -- es un aspecto muy importante de las unidades aquí descritas, ya que permiten obtener buena información de los pozos en forma económica.

La operación de las unidades de registros de presión y temperatura no requiere de sofisticadas metodologías para su aplicación, esto produce una gran ventaja, ya que, por su simplicidad, no requiere de personal altamente calificado para su operación, exige, en cambio, un mínimo de experiencia.

Durante la perforación de un pozo, cuando del resultado de un registro de presión o temperatura depende la decisión sobre el agujero, es necesario efectuar cuanto antes la interpretación, utilizando el lector de cartas de dos ejes en el lugar de la perforación, se pueden reducir los tiempos de espera y toma de decisiones.

Para obtener resultados satisfactorios de las mediciones efectuadas a los pozos, es necesario que los elementos y todas las partes de las unidades de registros se encuentren en óptimas condiciones de operación por lo que se recomienda observar continuamente su calibración y mantenimiento; además tener cuidado de no golpear bruscamente la sonda durante el armado, introducción, viaje al fondo, extracción del pozo y, desarmado de la misma. Utilizar la llaves mecánicas adecuadas.

El transporte de la unidad de registros de baja resolución es muy importante, por lo que se recomienda observar un estricto control sobre el mantenimiento del camión transportador.

Los fluidos geotérmicos son muy corrosivos, por lo que se recomienda una revisión periódica del estado en que se encuentra el cable y el alambre de la unidad de registros de baja resolución, con el fin de evitar el máximo de problemas de pesca, y en especial el tubo flexible -

de presión de la unidad de registros de alta resolución. - Para ambos casos se recomienda usar inhibidores de corrosión o realizar un estudio a detalle del posible efecto -- causado por el ácido sulfhídrico (H_2S) presente en pequeñas cantidades.

Para operar la unidad de registros de alta re solución es necesario contar con una fuente continua de -- energía eléctrica (24 horas), por lo que se recomienda en la medida de lo posible conectar ésta a un sistema de ener gía y evitar al máximo usar plantas generadoras accionadas por un motor de combustión interna.

Se recomienda que la información obtenida por los dispositivos descritos en este trabajo sea analizada - lo antes posible para evitar probables decisiones incorrectas.

N O M E N C L A T U R A .

A continuación se presenta una relación de simbolos y su significado, que han sido usados en el presente trabajo:

A.P.I. : American Petroleum Institute.

A.N.S.I.: American National Standard Institute.

A, B : Constantes.

⊕C. Est. : Medido a condiciones estáticas.

⊕p.y. : medido a condiciones de presión de yacimiento.

Ct : Compresibilidad total del sistema pozo-yacimiento.
(m/kg/cm²).

c : coeficiente de almacenamiento del pozo. (bl/psi).

p : Incremento de presión.

F.S. : Rango de la escala de presión.

C.G. : Grado Centígrado.

h : Espesor de la formación productora.

II : Indice de Inyectividad (ton/hr/kg/cm²).

k : Permeabilidad (Darcy) del fluido .

m.b.r. : metros bajo la rotaria.

m.s.n.m. :metros sobre el nivel del mar.

N₂ : Nitrógeno.

P_{ws} : Presión de fondo estático.

P_{wf} : Presión de fondo fluyendo.

P_{wi} : Presión de fondo inyectando.

q_i : Gasto de inyección.

R.P.M. : Revoluciones por minuto.

s : Daño (adimensional)

T, T_o : Periodo de señal del transductor.(microsegundos).

T_{ws} : Temperatura de fondo estático.

T_{o.c} : Corrección del factor T_o .

T.R. : Tubería de revestimiento.

μ : Viscosidad del fluido (centipoise).

B I B L I O G R A F I A .

1.- Aspectos Prácticos sobre Ingeniería de Ya
cimientos.

Por: M.C. Jaime Ortíz R.
Mexicali B.C. México, Febrero de 1985.

2.- Reservoir Engineering Concepts.

Por: Fernando Samaniego V.
I.I.E. México
Heber Cinco-Ley
U. de Stanford, U.S.A.

3.- Especificaciones para Accesorios del Ar-
bol Geotérmico.

Por: Tec. Jaime Cabrera B.
C.F.E. Los Azufres Mich. Mexico, 1985.

4.- Apuntes de Terminación de Pozos Geotérmi-
cos.

Por: Ing. Carlos Miranda M.
UNAM-OLADE, Mexico D.F. 1985.

5.- Manual de Operación y Mantenimiento de la
Unidad Mathey.

Por: Mathey Manufacturing Co.
Tulsa Oklahoma U.S.A., Marzo de 1980.

6.- Instructivo de Operación y Mantenimiento de Instrumentos de Profundidad Kuster.

Por: Kuster Company
Long Beach Ca. U.S.A., 1976.

7.- Manual del Computador Digital de Cuarzo.

Por: Paroscientific Inc.
Redmond Wash. U.S.A., 1978.

8.- Thermal Printer, Operating Information.

Por: Hewlett Packard, U.S.A., Junio de 1986.

9.- Corrección a las Respuestas de los Transductores de Presión Paroscientific.

Por: Hector Gutierrez P.
Morelia Mich. México, 1985.

10.- Operación del Transductor de Presión.

Por: Paroscientific Inc.
Redmond Wash. U.S.A., Junio de 1978.

11.- Distribución de la Presión y Temperatura Estáticas en el Yacimiento Bifásico del Campo Geotérmico - Los Azufres.

Por: Pablo Crespo H.
Los Azufres Mich. México, Octubre de 1986.

12.- Registros de Presión y Temperatura Efectuados a los Pozos Az-51, Az-15, y Az-48.

C.F.E. Superintendencia de Producción.
Los Azufres Mich., 1984-1986.

13.- Determinación de Gastos Máximos e Índices de Inyectividad de Pozos Inyectores de la Zona Sur del Campo Geotérmico Los Azufres.

Por: Aciel Olivares T.

Gustavo Garcia G.

Los Azufres Mich. México, Octubre de 1986.

14.- Geothermal Energy

Por: William W. Eaton.

U.S. Energy Research and Developmen Admi
nistration.

Washington D.C., 1975.

15.- Induction and Growth of Fractures in Hot
Rock.

Por: Smith M. y colaboradores. 1973.

Geothermal Energy Resources.

Stanford U. Press. Standord Ca.

16.- Man-Made Geothermal Reservoirs. Second --
U.N. Symposium on the Developmen and Use of Geothermal Re-
sources, San Francisco Ca.

Por: Smith M. y colaboradores. 1975.

Proc. Lawrence Berkeley Lab. University of --
California, Berkeley Ca.

17.- Applications of Material and Energy Balane
ces to Geothermal Steam Production. J.P.T. (July) 1969.

Por: Whiting R.L. and Ramey H.J. Jr. 1969.

18.- Analisis of Internal Steam Drive in ----
Geothermal Reservoir, J.P.T. (Dec.) 1975.

Por: Martin J.C. 1975.

19.- Apuntes de Transportes de Hidrocarburos.
Por: Francisco Garaicochea P.
Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.
México D.F. Noviembre de 1983 .

20.- Determinación Y Distribución de las Fa--
ses Agua-Vapor-Gas a Condiciones Estáticas en Pozos del --
Campo Geotérmico Los Azufres.

Por: Pablo Crespo H.
Los Azufres Mich. Mexico, Mayo de 1987.