

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
CIUDAD UNIVERSITARIA

ANALISIS ESTADISTICO DE DATOS DE
PERFORACION DE POZOS DEL CAMPO GEOTERMICO
DE LA PRIMAVERA, JAL.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO PETROLERO

P R E S E N T A :

CARLOS CAMACHO VAZQUEZ



DIRECTOR DE TESIS: DR. EDUARDO GONZALEZ PARTIDA

MEXICO, D. F.

JULIO 1996

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

SR. CARLOS CAMACHO VAZQUEZ
Presente

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

**ANALISIS ESTADISTICO DE DATOS DE PERFORACION DE POZOS
DEL CAMPO GEOTERMICO DE LA PRIMAVERA, JAL.**

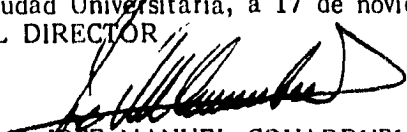
RESUMEN


- I INTRODUCCION (GENERALIDADES)**
 - II ANALISIS DE PUBLICACIONES CFE-III**
 - III ELABORACION DE BASE DE DATOS**
 - IV ANALISIS ESTADISTICO**
 - V DISCUSION DE RESULTADOS**
 - VI CONCLUSIONES**
- BIBLIOGRAFIA (REFERENCIAS)**

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

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, a 17 de noviembre de 1994
EL DIRECTOR


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

 JMCS'EGLM'tjh.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE INGENIERIA EN
CIENCIAS DE LA TIERRA

ASUNTO: Solicitud de Jurado para Examen
Profesional.

ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS
Director de la Facultad de Ingeniería
de la U.N.A.M.
Presente

El señor CARLOS CAMACHO VAZQUEZ registrado con número de cuenta 8334921-4 en la carrera de Ingeniero Petrolero, habiendo satisfecho los requisitos académicos necesarios para realizar sus trámites de examen profesional, le ruega atentamente autorizarle el siguiente jurado:

PRESIDENTE: ING. WALTER FRIEDEBERG MERZBACH

VOCAL: ING. SALVADOR MACIAS HERRERA

SECRETARIO: DR. EDUARDO GONZALEZ PARTIDA

1ER. SPTE.: M. I. RAFAEL RODRIGUEZ NIETO

2DO. SPTE.: ING. MANUEL VILLAMAR VIGUERAS

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, a 18 de octubre de 1995
EL JEFE DE LA DIVISION

M. en C. ROLANDO DE LA LLATA ROMERO

ENTERADO

CARLOS CAMACHO VAZQUEZ



Gracias...

A mis Padres por su apoyo incondicional firme y sostenido en mi formación personal y educativa, sobretodo gracias por ser mis mejores amigos.

Los Amo...

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México por la oportunidad que me dio en mi formación profesional y el honor de pertenecer a ella, esperando retribuirle algún día un poco del prestigio, que ella me a proporcionado.

Al Dr. Eduardo González Partida y M.I. José Manuel Morales Rosas por su distinguida y valiosa colaboración en la realización de tema de tesis.

A mis Profesores por la confianza de haberme transmitido parte de sus conocimientos, legándome así un cúmulo de experiencias y una sólida preparación que permitira desarrollar con responsabilidad y cariño mi profesión.

A mis Amigos y Compañeros por su amistad y los momentos compartidos dentro y fuera de las aulas.

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS DE PERFORACIÓN DE
POZOS DEL CAMPO GEOTÉRMICO DE LA PRIMAVERA,
JAL.**

CONTENIDO

TÍTULO.	ii
AGRADECIMIENTOS.	v
CONTENIDO.	vi
INTRODUCCIÓN.	1
RESUMEN.	1
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN (GENERALIDADES).	2
1.1 La geotermia y su importancia.	3
1.1.1 Aspectos generales de la energía geotérmica.	
1.1.2 Definición de geotermia.	
1.2 Etapas de identificación del recurso geotérmico.	6
1.3 Definición de potencial geotérmico.	7
1.3.1 Potencial probable.	
1.3.2 Potencial posible.	
1.3.3 Potencial probado.	
1.4 Objetivo de la perforación de pozos geotérmicos.	8
1.4.1 Aspectos generales de la perforación de pozos geotérmicos.	
1.4.2 Sistemas que integran el equipo de perforación.	
1.5 Fluidos de perforación.	14
1.5.1 Importancia de los fluidos en la perforación geotérmica.	
1.5.2 Funciones y propiedades del lodo.	
1.6 Problemas que se presentan durante la perforación geotérmica.	16
1.6.1 Pérdidas de circulación.	
1.6.2 Inestabilidad de los lodos por altas temperaturas (gelación).	
1.6.3 Derrumbes en las paredes de los pozos.	
1.6.4 Pegaduras de tuberías por presión diferencial.	
1.6.5 Pesca.	
1.7 Tuberías de revestimiento.	21
1.7.1 Diseño de tuberías de revestimiento.	
1.7.2 Funciones del ademe.	
1.8 Clasificación de tuberías de revestimiento.	24

1.8.1	Tubería conductora.	
1.8.2	Tubería superficial.	
1.8.3	Tubería intermedia.	
1.8.4	Tubería corta o liner.	
1.8.5	Tubería productora o de explotación.	
1.9	Cementación de pozos geotérmicos.	26
1.9.1	Cementación de la tubería de ademe.	
1.9.2	Requisitos del cemento	
1.9.3	Composición, especificaciones y atributos del cemento.	
1.10	Costos en la construcción de pozos geotérmicos.	29

CAPÍTULO II ANÁLISIS DE PUBLICACIONES CFE-III. 33

II.1	Estado de la exploración geotérmica en México.	34
II.2	Potencial geotérmico y capacidad instalada en México.	37
II.3	Tecnología de la perforación de pozos en México.	38
II.4	Aspectos generales del campo geotérmico La Primavera.	43
II.5	Condiciones geológicas del campo La Primavera.	44
II.6	Fases de exploración geotérmica para el campo La Primavera.	49
II.7	Estado de la perforación en el yacimiento geotérmico La Primavera, Jal.	52
II.8	Memoria de la construcción de pozos en el campo geotérmico La Primavera, Jal. Primera etapa (1980-1983).	53
II.8.1	Pozo PR-1.	
II.8.2	Pozo PR-2.	
II.8.3	Pozo PR-4.	
II.8.4	Pozo PR-5.	
II.9	Memoria de la construcción de pozos en el campo geotérmico La Primavera, Jal. Segunda etapa (1984-1987).	63
II.9.1	Pozo PR-8.	
II.9.2	Pozo PR-9.	
II.9.3	Pozo PR-10.	
II.9.4	Pozo PR-12.	

CAPÍTULO III ELABORACIÓN DE BASE DE DATOS. 73

III.1	Procesamiento de archivos en Quick BASIC bajo MS-DOS.	74
III.2	Qué es un archivo.	75
III.3	Organización de archivos y acceso a su información.	76
III.4	Selección de datos para desarrollar la base de datos.	79
III.5	Información que contiene la estructura de datos.	80
III.5.1	Estructura 1: Información general del pozo.	
III.5.2	Estructura 2: Información del agujero y tuberías de revestimiento.	
III.5.3	Estructura 3: Información de las tuberías de producción y empacador.	
III.5.4	Estructura 4: Información del tapón de cemento.	
III.6	Presentación de la base de datos.	85
III.7	Diagramas de flujo y programa de la base de datos.	86

CAPÍTULO IV	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.	97
IV.1	Conceptos básicos de la estadística	98
IV.2	Distribuciones de frecuencia.	98
IV.2.1	Intervalos de clase.	
IV.2.2	Tamaño o anchura del intervalo de clase.	
IV.2.3	Marcas de clase.	
IV.3	Reglas para formar distribuciones de frecuencia.	99
IV.4	Histograma y polígonos de frecuencias.	99
IV.4.1	Histograma de frecuencias.	
IV.4.2	Polígonos de frecuencias.	
IV.5	Medidas de centralización.	100
IV.5.1	Promedio.	
IV.5.2	Promedio aritmético.	
IV.5.3	Mediana.	
IV.5.4	Moda.	
IV.5.5	Media geométrica.	
IV.6	Variación o dispersión.	102
IV.7	Rango.	102
IV.8	Desviación media.	102
IV.9	Desviación típica.	103
IV.10	Métodos cortos para calcular la desviación típica.	104
IV.11	Propiedades de la desviación típica.	105
IV.12	Correlación y regresión.	106
IV.13	Ajuste por mínimos cuadrados.	109
IV.14	Ajuste por aproximación logarítmica.	110
IV.15	Ajuste por aproximación exponencial.	112
IV.16	Ajuste por aproximación geométrica o de potencia.	113
IV.17	Nomenclatura.	115
IV.18	Información estadística del campo geotérmico La Primavera.	117
CAPÍTULO V	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	150
V.1	Resultados sobre la perforación de los pozos.	151
V.2	Resultados sobre el registro de temperatura de los pozos.	161
V.3	Resultados sobre la producción de los pozos.	165
CAPÍTULO VI	CONCLUSIONES.	171
	BIBLIOGRAFÍA (REFERENCIAS).	175

INTRODUCCIÓN.

EL presente trabajo está enfocado a la recopilación y el análisis estadístico de los siguientes datos : Estado mecánico, Tiempo de construcción, Columna litológica, Perfiles de temperatura y producción de los pozos del campo geotérmico "La Primavera" en el Estado de Jalisco. Por lo tanto mencionaremos los aspectos generales que intervienen en la perforación y cementación de tuberías revestidoras en el desarrollo de un pozo geotérmico y la estadística aplicada como herramienta útil para el análisis de los datos ya enunciados.

El trabajo incluye también un programa de cómputo que permite acceder una base de datos que construye el esquema del estado mecánico de los pozos que se perforaron para este campo.

RESUMEN.

Capítulo I : Hablamos de los aspectos generales de la geotermia, donde la perforación de pozos constituye una parte esencial en la realización de un proyecto geotérmico.

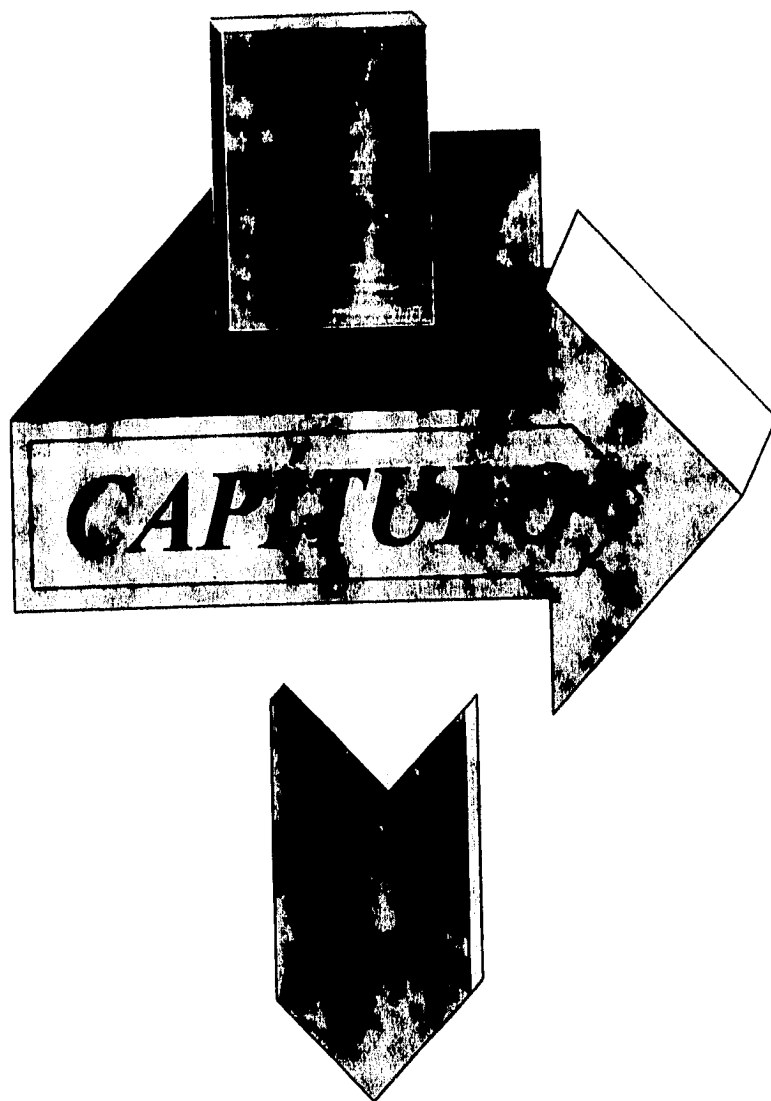
Capítulo II : Recopila información sobre el desarrollo de la geotermia en México, cuyo análisis se enfoca a la revisión de la exploración y explotación de los pozos del campo geotérmico La Primavera.

Capítulo III : Describe los conceptos básicos para desarrollar una base de datos, estableciendo información y diagramas de flujo necesarios para construir esquemáticamente el estado mecánico de los pozos de este campo.

Capítulo IV : Define los conceptos básicos de la estadística que se utilizan en técnicas de correlación y dispersión de datos que son aplicados a la información de perforación y producción de los pozos del campo geotérmico ya mencionado.

Capítulo V : Indica los resultados que se obtuvieron en torno al análisis efectuado en el capítulo anterior y sobre lo presentado por las publicaciones ya revisadas con respecto al campo geotérmico en estudio.

Capítulo VI : Presenta conclusiones finales concernientes a la estadística de los pozos del campo geotérmico La Primavera y comentarios referentes a la base de datos propuesta por el programa WELLCAM versión 1.0.



INTRODUCCIÓN (GENERALIDADES).

I.1 LA GEOTERMIA Y SU IMPORTANCIA.

La actividad geotérmica ha existido desde tiempos remotos; sin embargo, hasta hace algunas décadas, el hombre ha encontrado en ella una fuente de energía para generar electricidad y múltiples aplicaciones.

En la actualidad la geotermia es la única fuente de energía no convencional que, por su bajo costo de operación en las centrales geotermoeléctricas, compete con las fuentes convencionales como el petróleo y el gas. Esto ha hecho que los encargados de las políticas energéticas de varios países resalten la importancia de este recurso, ya que es abundante en América.

En el mundo, muchos de los países que circundan en el Océano Pacífico, gracias a la actividad volcánica que favorece la existencia de campos geotérmicos, están aprovechando este recurso a nivel comercial.

México ocupa el tercer lugar en cuanto a capacidad instalada de generación geotermoeléctrica en el mundo. De los 780 MW., que actualmente produce la CFE (Comisión Federal de Electricidad), casi la tercera parte se exporta a los Estados Unidos [Hiriart, 1990].

I.1.1 Aspectos generales de la energía geotérmica.

La energía geotérmica está relacionada con los procesos volcánicos y tectónicos terrestres. Las manifestaciones en la superficie de la tierra incluyen desde emanaciones y fumarolas en volcanes aparentemente inactivos, fuentes hidrotermales, géysers y escapes de vapor a presión de origen subterráneo, hasta expresiones espectaculares como son los volcanes con mayor o menor actividad.

Al hablar de lo que significa la geotermia nos referimos básicamente al calor natural de la tierra, independientemente de los factores que intervengan en sus manifestaciones en la superficie terrestre. Este calor fluye por conducción directa a través de las rocas o bien es transportado por los fluidos contenidos en su seno que, ascienden debido al fenómeno de convección por las fracturas, hasta las zonas porosas y permeables más o menos profundas que permiten constituir los yacimientos geotérmicos.

Los grandes yacimientos de agua y vapor originan gradientes térmicos que pueden alcanzar hasta los 200 °C por cada kilómetro de profundidad, mientras el gradiente promedio es de 30 °C/Km.

Las manifestaciones termales superficiales generalmente no reflejan, en forma directa, la temperatura del yacimiento ni la de los flujos que se obtendrán en la superficie mediante la perforación de pozos.

La temperatura de las manifestaciones superficiales como son las fuentes hidrotermales, los géysers, los escapes de vapor, los volcanes de lodo, las emanaciones y las fumarolas de volcanes aparentemente inactivos etc., dependen básicamente de los siguientes factores :

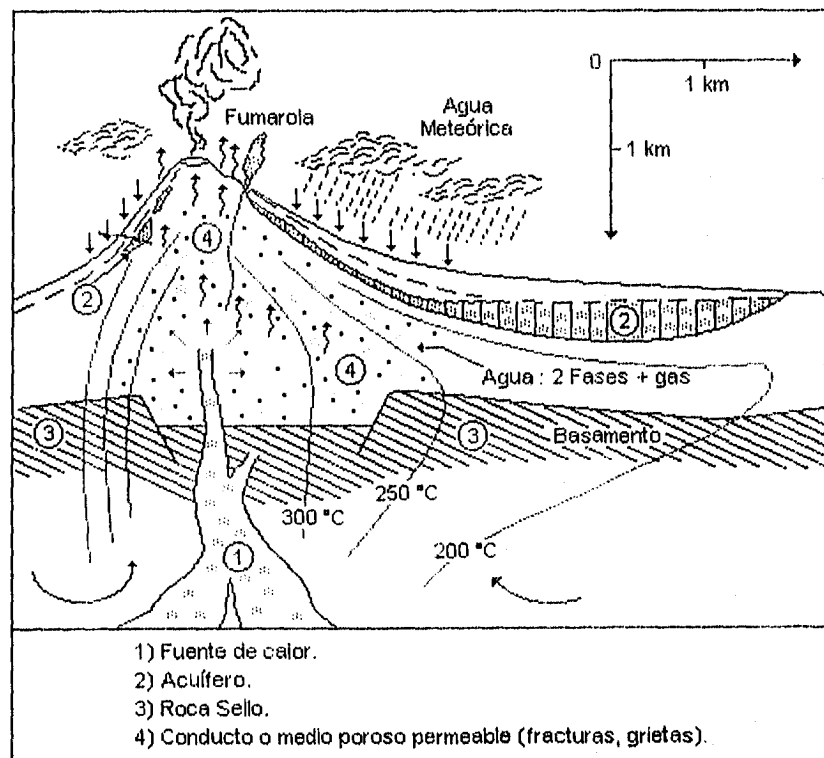
- La temperatura interna del yacimiento.
- El contacto y mezcla que tengan aguas superficiales.
- La estructura geológica del yacimiento.
- El grado de fracturamiento del yacimiento.

La proporción de agua y vapor de las mezclas que salgan a la superficie, están en función de la presión y temperatura del yacimiento, así como también de la profundidad de los pozos que han sido perforados.

Por lo que toca a la temperatura del yacimiento, ésta dependerá fundamentalmente de su profundidad y cercanía a la fuente de calor.

Las fuentes de calor (cámaras magmáticas) pueden ser pequeñas y enfriarse en menos de 10 años [González y Casarrubias, 1986] y otras pueden cubrir varios Km³, permanecer energizadas durante miles de años y dar lugar a sistemas geotérmicos importantes que, en condiciones especiales, llegan a constituir campos geotérmicos.

Para considerar económicamente atractiva la explotación de un yacimiento geotérmico, éste requiere presentar cuatro características principales :



**Fig. I.1 Esquema básico de un Sistema Geotérmico.
 [Modificado de Henley y Ellis, 1983]**

- 1) Una fuente de calor.
- 2) Un acuífero.
- 3) Roca sello.
- 4) Un conducto o medio poroso permeable (fracturas, grietas).

I.1.2 Definición de geotermia.

Al hablarse de geotermia comúnmente nos referimos a la utilización del calor interno de la tierra, principalmente para generar electricidad y aprovechar la energía térmica, con el fin de solventar diversas necesidades del hombre.

El término geotermia se aplica a la energía del agua caliente o el vapor provenientes del subsuelo, y a los procesos que deben realizarse para su obtención, conducción y utilización en la generación de electricidad.

I.2 ETAPAS DE IDENTIFICACIÓN DEL RECURSO GEOTÉRMICO.

El aprovechamiento de la energía geotérmica con el propósito de generar energía eléctrica, es un proceso que comprende las siguientes etapas :

- 1) Estudios de reconocimiento.
- 2) Estudios de prefactibilidad.
- 3) Estudios de factibilidad.
- 4) Construcción de una central.
- 5) Operación y supervisión del campo.

Las tres primeras forman parte de la exploración para identificar el recurso geotérmico, mientras que las dos últimas se refieren al desarrollo y explotación respectivamente. En la Tabla I.1 se muestra el cuadro básico de exploración geotérmica [Razo, 1987].

Tabla I.1 Modelo Estratégico de Exploración Geotérmica.		
PROGRAMA BÁSICO		
ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO	FOTOGEOLOGÍA	ESTUDIOS GEOQUÍMICOS
CONOCIMIENTO GEOLÓGICO	ESTUDIOS GEOLÓGICOS	ESTUDIOS GEOLÓGICOS
ESTUDIOS GEOQUÍMICOS	RESISTIVIDAD	RESISTIVIDAD
	GRAVIMETRÍA	
	MAGNETOMETRIA	
PROGRAMA COMPLEMENTARIO		
FOTOGEOLOGÍA	GEOHIDROLOGÍA	GRAVIMETRÍA
	SÍSMICA PASIVA	SUBSIDENCIA

1.3 DEFINICIÓN DEL POTENCIAL GEOTÉRMICO.

La disponibilidad de este recurso en nuestro país ha impulsado trabajos de exploración a detalle y la evaluación de yacimientos. Para evaluar el potencial de un campo debemos definir lo siguiente :

1.3.1 Potencial probable : Estimación de la capacidad de generación geotermoeléctrica disponible cuando existen evidencias en el área u otras áreas de producción dentro del mismo yacimiento.

1.3.2 Potencial posible : Estimación que no se debe a la presencia física del recurso, si no a la posible existencia de una estructura que reúna las condiciones favorables para que se considere como un yacimiento geotérmico.

1.3.3 Potencial probado : Corresponde básicamente a la capacidad de generación instalada y a lo que se conoce actualmente en el desarrollo y explotación de uno o más campos que pertenecen al mismo yacimiento.

Para la evaluación del potencial geotérmico de un campo no solamente se requiere del conocimiento de las propiedades de las formaciones de los yacimientos (permeabilidad, porosidad, etc.), así como la detección y localización de accidentes hidrológicos que actúan como barreras o como recarga de fluidos al realizar un análisis de pruebas de formación y presión de pozos, si no que también se deben utilizar los resultados que se obtienen durante el desarrollo de las etapas de exploración y explotación.

Una vez que se han establecido los lugares que representan potencial geotermoeléctrico al realizar la etapa de exploración, se inicia la perforación de los pozos hasta su etapa de terminación.

La construcción de pozos geotérmicos nos permite la puesta en marcha de un proyecto para instalar una central geotermoeléctrica culminado así la etapa de exploración del campo geotérmico, posteriormente pasa a la etapa de desarrollo.

1.4 OBJETIVO DE LA PERFORACIÓN DE POZOS GEOTÉRMICOS.

De acuerdo a los objetivos de los pozos se tienen tres tipos : exploratorios, productores e inyectores. La localización de los pozos se establece empleando las etapas de exploración geotérmica citadas en la Tabla I.1.

Pozos exploratorios : Su objetivo es verificar con la menor inversión económica posible, la existencia de un intervalo productor de fluidos geotérmicos, establecer un programa de perforación que permita evaluar el potencial y definir los límites del yacimiento.

Pozos productores : La finalidad de estos pozos es de permitir un conducto adecuado para la extracción de energía geotérmica, garantizando una vida útil y seguridad en la instalación.

Pozos inyectores : Se utilizan para la inyectar agua o salmuera desechada de una zona donde existe alta temperatura para recargar hidráulica y térmicamente al yacimiento y/o productor de vapor en otro pozo.

1.4.1 Aspectos generales de la perforación de pozos geotérmicos.

La perforación de los pozos geotérmicos inicialmente se basó en la tecnología de perforación de pozos petroleros, aunque se han modificado varios aspectos debido a los siguientes factores :

- La litología que se perfora en el pozo geotérmico es más dura (rocas ígneas intrusivas-extrusivas) en comparación con las rocas sedimentarias (arcillas calizas, etc.) que se perforan en los pozos petroleros.
- Las presiones y temperaturas que se manejan en los pozos geotérmicos son más altas que las que se presentan en los pozos petroleros.
- La corrosión que existe en los pozos geotérmicos es más severa (interacción química de las aguas de infiltración, yacimiento, acuífero, gases y vapores) que la que se manifiesta en los pozos petroleros.
- Alto índice de fracturamiento.

Los principales aspectos de innovación son los siguientes :

- a) La torre de enfriamiento.
- b) Las tuberías de revestimiento, fluidos de perforación y cementación deben ser los apropiados para soportar y operar a las altas temperaturas.

- c) Los registros de temperatura son una herramienta indispensable para la identificación y localización correcta del intervalo productor del pozo.

El costo de perforación geotérmica debido a estos factores se incrementa, por esta razón, una óptima planeación en los programas y diseño de la perforación y terminación de pozos, será aquella que considere los factores antes señalados, garantizando así la vida útil de la instalación y con ello tener una explotación económicamente atractiva mayor de 10 años (Hiriart, 1990).

La construcción de pozos se inicia una vez que se han realizado las etapas de reconocimiento del recurso y se establecieron tanto la localización de los pozos como la profundidad del intervalo productor, con ello se realiza un programa de perforación en el que interviene el tipo de litología a perforar, tipo de barrenas a utilizar, diseño y colocación de sartas de perforación y tuberías de revestimiento, equipo de control de superficie, diseño de fluidos de perforación, sistemas cementantes que se emplean en la dosificación de la lechada que se usará en la cementación de ademes, pruebas de formación, registros de producción y la distribución del tiempo por actividad durante la construcción del pozo.

La velocidad, eficiencia, seguridad y costo de los pozos petroleros como de los pozos geotérmicos dependen directamente del comportamiento de los fluidos utilizados en su perforación y terminación. Una selección incorrecta de las técnicas que se emplean en los programas de perforación y terminación, tiene como resultado un pronto abandono del pozo mientras que la selección adecuada prolonga su vida productiva.

La Fig. 1.2 muestra de manera general, el desarrollo de construcción de un pozo.

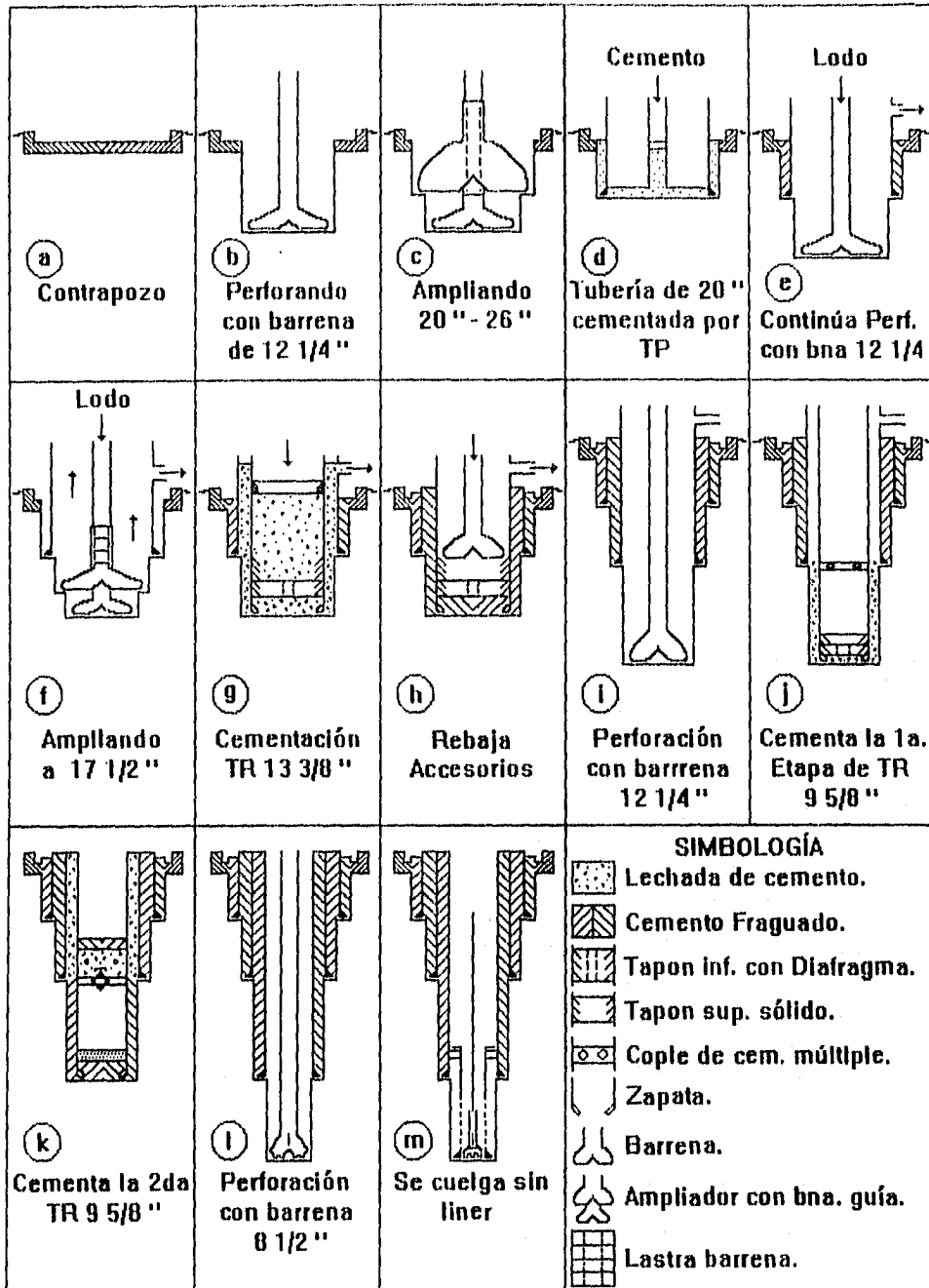


Fig. 1.2 Fases de construcción de un pozo.

1.4.2 Sistemas que integran el equipo de perforación.

Los principales sistemas que constituye el equipo de perforación son los siguientes :

- a) Sistema de soporte o levantamiento.
 - Base estructural, mástil o torre.
 - Dispositivos mecánicos para levantamiento y malacate.
- b) Sistema rotatorio.
 - Mesa rotatoria.
 - Sarta de perforación.
 - Barrena.
- c) Sistema de circulación.
 - Fluido de perforación.
 - Área de acondicionamiento de fluido (cribas, presas).
 - Equipo de circulación (bombas).
- d) Sistema de potencia.
 - Generadores de corriente eléctrica.
 - Máquinas de combustión interna.
 - Sistemas de transmisión mecánica y eléctrica.
- e) Sistema de prevención.
 - Preventores con dispositivos de cierre.
 - Bombas con acumuladores de operación automática.
 - Líneas de control.
 - Líneas de inyección.

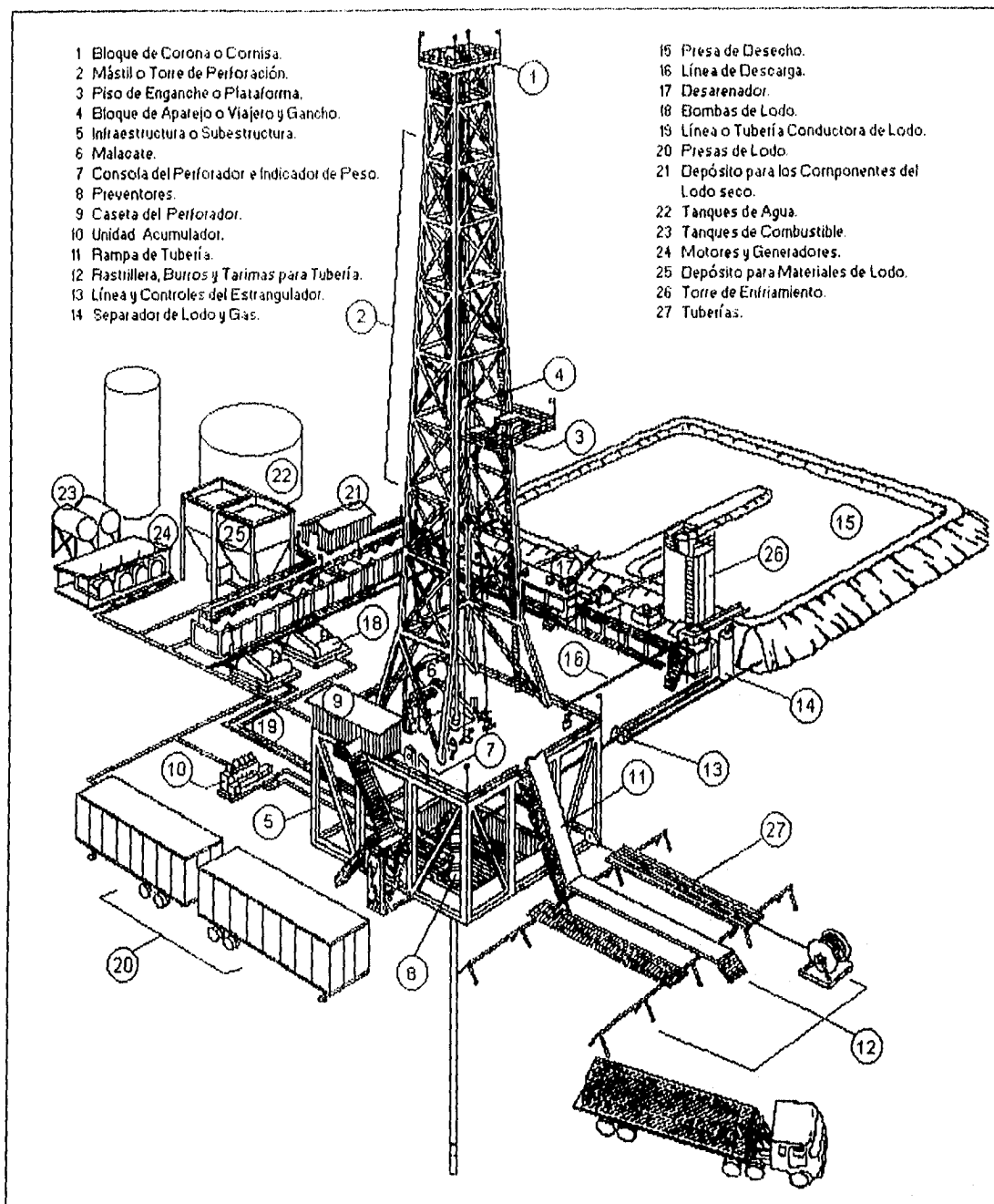


Fig. I.3 Componentes del equipo de perforación de pozos.

I.5 FLUIDOS DE PERFORACIÓN.

La perforación geotérmica representa una fuerte problemática debido a las condiciones severas a las que se enfrenta, las medidas adoptadas para solucionarlas se basan en el establecimiento de un adecuado control de lodos a utilizar. Por esta razón, se toma en cuenta los siguientes aspectos :

- Diseño de un programa de lodos.
- Las condiciones de control que deben establecerse para detectar y solucionar oportunamente los problemas que se presenten durante la perforación.

I.5.1 Importancia de los fluidos en la perforación geotérmica.

La tecnología de perforación empleada en pozos geotérmicos es similar a la petrolera, aunque las condiciones a las que se enfrenta son más críticas debido a temperaturas que exceden los 250 °C a profundidades someras, las pérdidas totales de lodo y contacto con fluidos de alta salinidad.

El costo del sistema de lodos representa aproximadamente el 6-8 % del costo total del pozo, mientras que los problemas vinculados con éste como la estabilidad del pozo, pegadas de tubería, pesca y pérdidas de circulación afectan drásticamente hasta el 30 % del tiempo total y costo del pozo [Santoyo, Morales y Barroso, 1987]. De aquí la importancia que tiene, el diseñar adecuadamente el sistema de lodos y el programa para su control.

I.5.2 Funciones y propiedades del lodo.

Se debe entender al fluido de perforación como cualquier mezcla empleada para la producción y acarreo de los recortes de formación generados por la barrena durante la perforación de un pozo, debe proporcionar el flujo y la potencia hidráulica necesaria para limpiar y lubricar la barrena, a un peso y velocidad de rotación adecuados [Benítez, Garaicochea y Reyes, 1983]. De aquí que este fluido óptimo deba cumplir las siguientes funciones :

- a) Transporte y eliminación de sólidos desde el fondo hasta la superficie, lo cual repercute directamente sobre la velocidad de penetración y la vida útil de la barrena.
- b) Mantener el control de las presiones en el pozo mediante el peso de la columna hidrostática de lodo, evitando la entrada de los fluidos que existen en la formación.
- c) Enfriar, lubricar y proporcionar potencia hidráulica a la sarta de perforación y barrena respectivamente. Esta función es auxiliada incorporando al sistema de circulación una torre de enfriamiento para eliminar el calor substraído por el lodo al salir del pozo.
- d) Estabilizar las paredes del pozo por medio de un enjarre apropiado, evitando la pérdida de fluido a la formación.
- e) Facilitar la introducción y transporte de herramientas de toma de registros para obtener información más precisa de las formaciones atravesadas por el pozo.
- f) Brindar protección contra la erosión y corrosión de la sarta provocada por la presencia de gases como H, H₂S, O₂, CO₂, NH₃, NH₄ y SO₄.
- g) Proporcionar información química a partir de sus análisis químicos y obtener perfiles químicos de la formación.

La mayoría de los fluidos empleados en la perforación de pozos geotérmicos son base agua, es decir, emplean agua como la fase continua para que ciertos materiales se mantengan en suspensión y otros en disolución. Estos materiales comprenden a los sólidos reactivos como las arcillas comerciales, lutitas, arcillas hidratables de la formación, aditivos químicos, y los sólidos inertes químicamente como la arena, dolomita y barita [Santoyo, Morales y Barroso, 1987].

Los efectos que estos producen en el lodo son determinados cuantitativamente sobre sus propiedades reológicas, de filtración y químicas. Los parámetros reológicos del lodo son :

- a) La viscosidad plástica que indica el grado de actividad mecánica entre sólido-sólido y sólidos-líquidos, proporcionalmente cualitativamente la concentración de estos y su estado de asociación.
- b) El punto de cedencia que es la fuerza que contribuye a sostener el flujo una vez que el fluido está en movimiento, se debe a las fuerzas de atracción molecular entre las partículas de arcillas reactivas.
- c) La resistencia del gel que es la fuerza necesaria para iniciar el flujo a partir de una condición estacionaria, se debe a las fuerzas de repulsión-atracción entre las partículas arcillosas. Cualitativamente es proporcional con el punto de cedencia, ya que si este es alto probablemente esta sea alta.

Estas propiedades son medidas mediante el empleo de viscosímetros rotacionales recomendados por las normas API. Los datos así obtenidos son lo suficientemente prácticos y precisos para predecir el comportamiento de flujo del lodo utilizando el modelo plástico de Bingham que es el más popular entre los ingenieros.

1.6 PROBLEMAS QUE SE PRESENTAN DURANTE LA PERFORACIÓN DE UN POZO.

Es importante señalar que durante la exploración y desarrollo en el campo geotérmico se presentan problemas en la perforación y terminación de los pozos, estos están relacionados con los fluidos de perforación y los cementos, ya que un mal acondicionamiento y/o utilización de estos pueden provocar severos daños a las formaciones productoras o no productoras que constituyen tanto al yacimiento como al mismo pozo, esto ocasiona la pérdida de tiempo y en algunos casos del fluido de control, lo que repercute en el incremento de los costos de perforación [Santoyo, Morales y Barroso, 1987].

Para evitarlo, es trascendente conocer los problemas más comunes, saber como evitarlos y si se presentan como controlarlos. Estos problemas son :

1.6.1 Pérdidas de circulación : Es el problema más serio y costoso de la perforación geotérmica debido al consumo elevado de materiales usados en ésta, al costo de tiempo por renta del equipo parado y al número de pozos abandonados. Este problema consiste en la pérdida de lodo hacia la formación y se manifiesta como una disminución del nivel de las presas o como una pérdida completa del sistema de lodos. Normalmente este fenómeno se presenta en formaciones no consolidadas o con alta permeabilidad, fracturas naturales, fracturas horizontales inducidas, cavernas (cavidades y canales) y fracturas verticales naturales e inducidas. Las zonas de pérdida se clasifican en dos grupos horizontales y verticales, mismas que son mostradas en la Fig. 1.4.

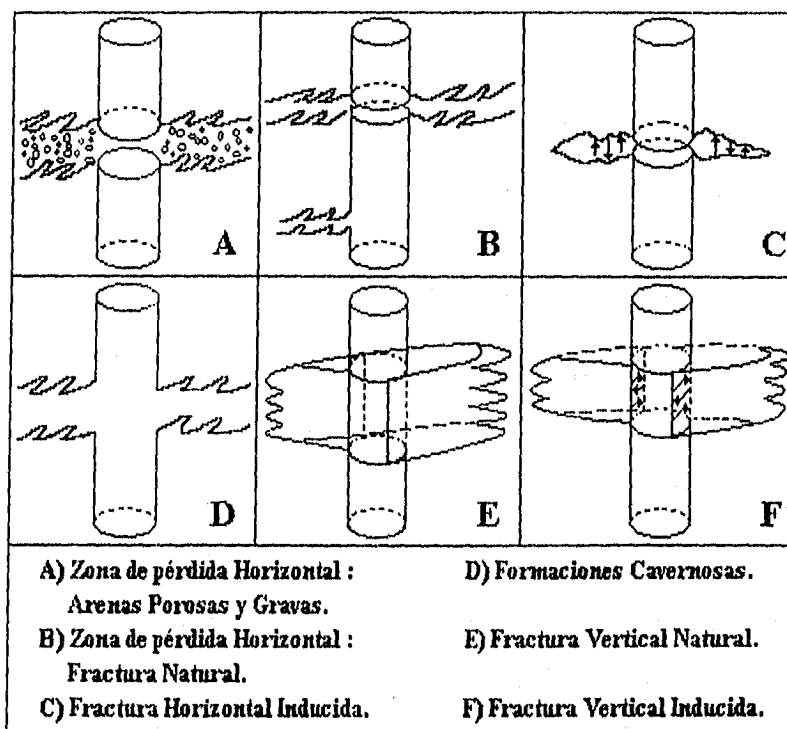


Fig. 1.4 Zonas de pérdidas de circulación.
[Santoyo, Morales y Barroso, 1987]

Las pérdidas de circulación pueden controlarse ya sea disminuyendo la densidad del lodo (agregando agua o aceite) para disminuir la presión hidrostática que ejerce el fluido de control en la zona de pérdida, o bien colocando baches o tapones de material obturante para depositarlos frente a la zona de pérdida [Alonso, 1983].

Otro método para controlar este problema consiste en bombear agua para acarrear los fragmentos de formación cortados por la barrena hacia la zona de pérdida en donde son depositados para obturarla. Se recomienda en zonas cavernosas o de fracturamiento alto.

1.6.2. Inestabilidad de los lodos por altas temperaturas (gelación): La mayor parte de los lodos empleados en los pozos geotérmicos son base agua cuya estabilidad térmica en condiciones de circulación se reduce a temperaturas mayores a los 180 °C, acelerándose su degradación al interrumpir la circulación de este debido a que alcanza la temperatura de equilibrio en las formaciones penetradas tal como se aprecia en la Fig. 1.5. Así, bajo condiciones estáticas y con tiempos de exposición prolongados, el lodo tiende a desarrollar una gelatinosidad excesiva que causa problemas específicos como dificultades de circulación y daño a las formaciones productoras.

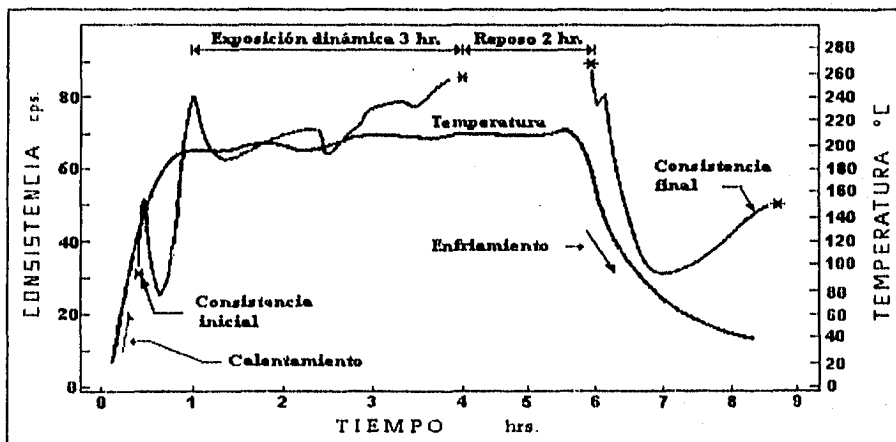


Fig. 1.5 Comportamiento de consistencia del lodo bajo condiciones simuladas de fondo de pozo a 215 °C y 3000 psig. en Fann 5 std-1. [Modificado de Santoyo, Morales y Barroso, 1987]

1.6.3 Derrumbes en las paredes del pozo : Se presentan durante las operaciones de perforación y/o acondicionamiento del pozo previo a la corrida y cementación de las tuberías de revestimiento. Su origen, se debe a factores críticos como la presencia de las arcillas deleznable y las deficientes propiedades de flujo del lodo que causan el hinchamiento de estas arcillas y por tanto provocar derrumbes ocasionando otros problemas como son el atascamiento de la sarta de perforación, barrenas o pescados.

1.6.4 Pegaduras de tuberías por presión diferencial : Esta se originan por una falta de control sobre las propiedades de filtración del lodo de perforación, lo que trae como resultado la depositación de enjarre grueso de elevado coeficiente de fricción que provoca la pegadura de la tubería por presión diferencial, especialmente en las zonas que tienen contacto con la parte estabilizadora (collares de perforación) de la sarta.

1.6.5 Pesca : Las operaciones de rescate o pesca de herramientas son operaciones muy difíciles y riesgosas debido a la presencia de altas temperaturas, en algunos casos la pesca se agudiza conforme transcurre el tiempo llegando a desviar o abandonar el pozo. Estas operaciones son originadas por accidentes de tipo mecánico que ocurren cuando las barrenas se desgastan o descalibran con gran rapidez, o cuando se presenta el atrapamiento de la tubería debido a que se acumula material producto de un derrumbe que se va al fondo atascando la tubería lo que puede provocar el rompimiento de la sarta de perforación.

Los problemas anteriormente mencionados nos indican que su prevención depende fundamentalmente de una buena planeación del programa de fluidos de perforación y cementación que se utilizan además de la atención del personal encargado de la operación y acondicionamiento del equipo de perforación.

La Tabla 1.2 presenta un resumen de los síntomas y alternativas de solución a estos problemas.

Tabla I.2 Detección de Problemas por Cambios en las Propiedades del Lodo y Alternativas Generales para su Solución [Santoyo, Morales y Barroso, 1987].

<p>1. Contaminación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alto contenido de sólidos. • Alto contenido de arena. • Cemento. • Yeso o anhídrita. 	<p>Altas viscosidades y resistencias de gel, baja penetración, estabilidad térmica reducida, no responde el lodo al tratamiento químico.</p> <p>Falla prematura de la barrena y desgaste excesivo de asientos de válvulas y flechas de bomba.</p> <p>Altos niveles de viscosidad y resistencia de geles, incremento de pH, pérdida de agua y filtración de calcio.</p> <p>Elevadas viscosidades y resistencias de gel, aumento de la pérdida de agua y filtración de calcio.</p>	<p>Dilución del lodo con agua y eliminación mecánica.</p> <p>Eliminación mecánica con desarenadores hasta una mínima concentración.</p> <p>Prevenir, si es posible, para bajas concentraciones eliminarlo químicamente agregando bicarbonato de sodio.</p> <p>Prevenir para concentraciones bajas o eliminarlo químicamente con bicarbonato de sodio.</p>
<p>2. Gelación por alta temperatura.</p>	<p>Dificultad para iniciar la circulación y descender herramientas registradoras. altas viscosidades y resistencias de gel. Disminución de la alcalinidad, aumento de la pérdida de agua y de calcio en el filtrado.</p>	<p>Reducir la concentración de sólidos por dilución de agua y agregar al lodo un bache tratado con 1 a 2 lb/bbl de CLS y cromato de sodio.</p>
<p>3. Pegamiento de tuberías.</p>	<p>Circulación parcial o completa mientras se esta pegando. Probablemente alta pérdida de agua y elevado contenido de sólidos.</p>	<p>Si es posible reducir la densidad del lodo, enviar baches tratados con diesel y/o surfactantes.</p>
<p>4. Hinchamiento de arcillas.</p>	<p>Aumento de la viscosidad, resistencias del gel y el contenido de sólidos.</p>	<p>Mantener baja la viscosidad y resistencias del gel para evitar un lavado de la formación, usar inhibidores de arcillas.</p>

1.7. TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO.

La tubería de revestimiento representa la tercera parte o más del costo de perforación del pozo, por lo que la selección adecuada de la misma permite obtener ahorros económicos.

1.7.1. Diseño de tuberías de revestimiento.

El diseño del ademado del pozo se realiza de manera telescopiada, es decir con el diámetro más grande desde la superficie hasta el más pequeño a la profundidad de la formación productora. La Fig. 1.6 puede ser usada en la selección del tamaño de ademe y de barrenas requeridas para cumplir con los programas de perforación. Las líneas continuas indican la ruta de selección de barrenas que comúnmente se utilizan en la perforación del agujero y la corrida de T.R. a cementar. Las líneas discontinuas indican una ruta opcional en la selección de barrenas y T.R. a utilizar en la construcción del pozo debido a que se debe tener una especial atención en las condiciones que se presentan al estar perforando como la densidad del lodo, la cementación, las presión de las formaciones etc.

En pozos geotérmicos el diseño de la T.R. es complejo debido a los esfuerzos originados por la combinación de la temperatura con la corrosión de los fluidos geotérmicos. Los factores de diseño deberán contemplar la profundidad del pozo, diámetro de tuberías, densidad del fluido de control a la profundidad de asentamiento de estas, factores de diseño y conocer la propiedades físicas de las tuberías como son los esfuerzos mecánicos, esfuerzos térmicos, y esfuerzos inducidos por las formaciones. Los esfuerzos mecánicos son los siguientes :

- 1) Esfuerzo por Tensión. Debido a la deformación por efecto del peso.
- 2) Esfuerzo por Presión Interna o Estallamiento. causada por las presión del fluido en el interior de la tubería
- 3) Esfuerzo por Presión al Colapso. Originada por la presión externa que se ejerce sobre tubería.

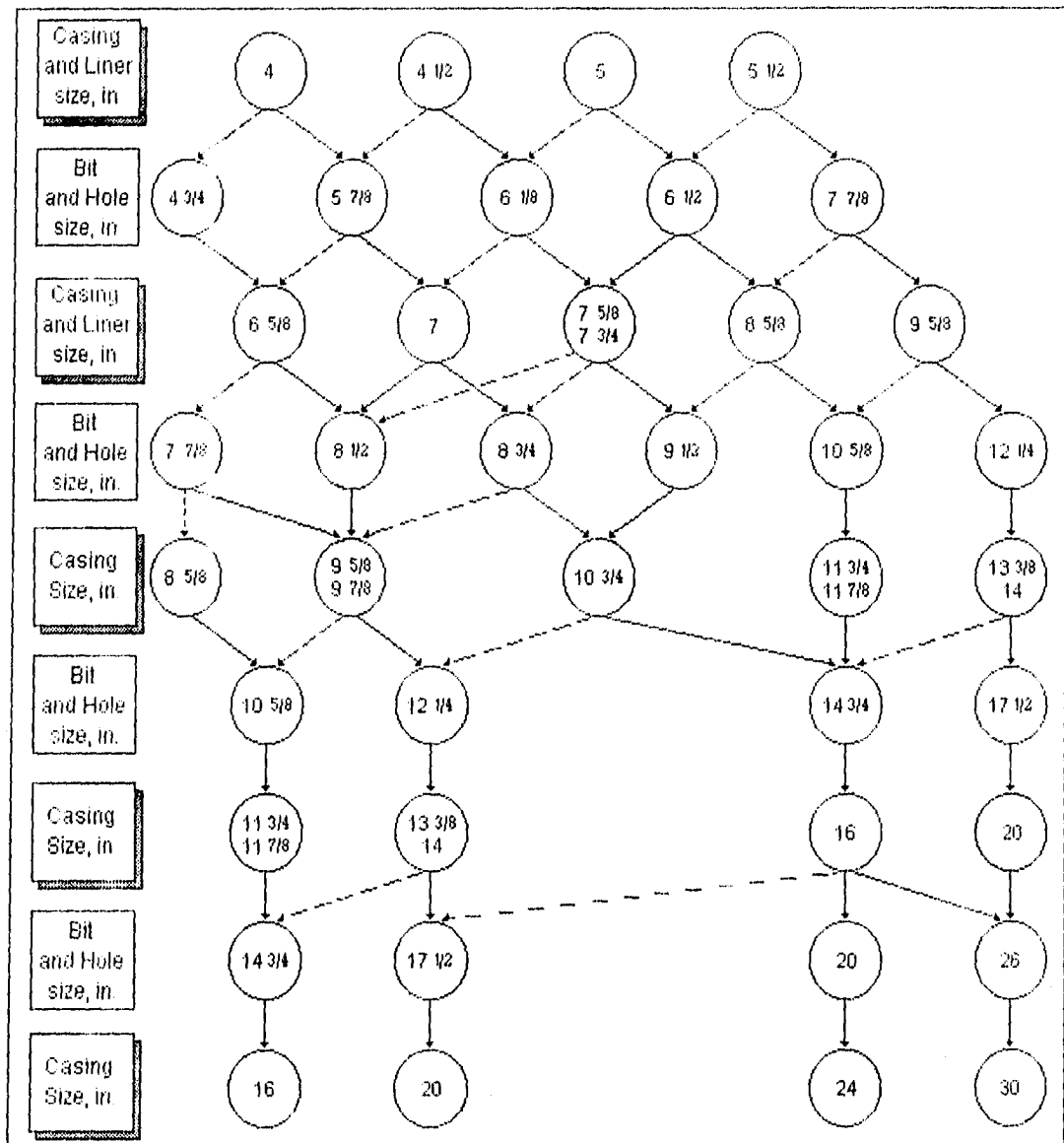


Fig. 1.6 Rutas de selección del tamaño de barrena y tuberías de revestimiento [Adams and Greenip, 1985]

En general, las resistencias características de las tuberías empleadas en los campos geotérmicos se presentan en la Tabla 1.3.

Tabla I.3									
Características y Resistencias Mecánicas de Tuberías de Revestimiento utilizadas en los Pozos Geotérmicos de México en Gral. [Jaimes y Vaca, 1987].									
TUBERÍA DE ADEME	DIÁMETRO		GRADO	PESO		UNIÓN ROSCA COPLÉ	RESISTENCIA A ESFUERZOS MECÁNICOS		
	mm	pg		kg/m	lb/ft		Tensión 1000 lbs F.S. = 1.8	Colapso Psi F.S. = 1.125	Presión INT. Psi F.S. = 1.25
Conductora	580.0	20	H-40	140.0	94.0	Redonda C	322.8	462.2	1224
Superficial	399.7	13 3/8	K-55	81.2	54.5	Buttres	173.9	1004.4	2184
				101.9	68.0	Buttres	593.9	1733.3	2760
Intermedia	244.5	9 5/8	C-75	70.0	47.0	Hydril SEU	563.6	4115.5	5152
			N-80	70.0	47.0	Hydril SEU	603.3	4222.2	5496
T.P. o Liner	177.6	7	C-75	43.2	29.0	Hydril SEU	352.2	6008.8	6120
T.P. o Liner	114.3	4 1/2	C-75	20.1	13.5	Hydril CS	160.0	7262.2	6768

1.7.2 Funciones del ademe.

Las funciones de la tubería de revestimiento en los pozos geotérmicos son las siguientes :

- 1) Evita los derrumbes de las paredes del pozo y de las formaciones no consolidadas.
- 2) Proporcionar un agujero de diámetro conocido a través del cual puedan efectuarse las operaciones de reparación terminación y/o producción del pozo a través de sistemas artificiales.
- 3) Impide la contaminación proveniente de zonas problema (H₂S, CO₂, formaciones salinas, etc.).
- 4) Suministra un soporte adecuado para la instalación de válvulas y conexiones en la superficie, necesarias para el control y manejo de los fluidos producidos en el pozo.
- 5) Previene el flujo de fluidos de una formación a otra.
- 6) Confina la producción del intervalo seleccionado al aislar la zona productora del agua del yacimiento.

1.8 CLASIFICACIÓN DE LAS TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO.

Durante la perforación de un pozo es indispensable contener las paredes del mismo, esto se logra inicialmente con la columna de lodo. Conforme avanza la profundidad y a intervalos determinados la contención de las paredes se efectúa empleando la cementación de tuberías de revestimiento. Debido a que la perforación atraviesa varias formaciones y cada una de ellas presenta diferentes problemas, se introducen en el pozo en forma telescopiada varias tuberías de ademe que de acuerdo a sus funciones específicas se denominan como se indica a continuación según [Benítez, 1982] y [Adams and Greenip, 1985].

1.8.1 Tubería Conductora : Esta sarta es la primera que quedara en el pozo, es de corta longitud (10 a 50 m). Su objetivo es evitar la erosión e inundación del pozo en la base del equipo y proporcionar un conducto tubular para retorno del fluido de perforación a la superficie. Previene la erosión y soporta los cabezales de las subsecuentes sarta. Su diámetro va de 16 a 30 pg y su colocación depende del programa y profundidad del pozo.

1.8.2 Tubería Superficial : Después de cementada la tubería conductora y continuar perforando el pozo con el siguiente diámetro de barrena, se instala una tubería de menor diámetro llamada tubería superficial. Su objetivo es proteger al pozo de actividades internas o fallas que se presentan generalmente cerca de la superficie. También protege al pozo de las filtraciones de agua de los mantos acuíferos, para soportar las formaciones flojas no consolidadas y la instalación de las primeras válvulas de control, permite continuar la perforación y sostiene mediante cuñas las siguientes tuberías. Esta sarta se cementa en su totalidad y su diámetro es de 11 3/4 a 20 pg.

1.8.3 Tubería Intermedia : Este ademe es de menor diámetro que la tubería superficial, depende de la profundidad del pozo o de los problemas que durante la perforación se encuentren, como zonas de presiones anormales o pérdidas de circulación. Su objetivo es aislar zonas con pérdidas de circulación, permitiendo aumentar la densidad del fluido de control además de proporcionar el anclaje para el árbol de válvulas. Esta tubería se cementa en su totalidad y su diámetro llega a ser de 8 5/8 a 14 pg.

1.8.4 Tubería Corta o Liner : Esta tubería es una variación especial de la tubería de producción que evita utilizar una sarta desde la superficie hasta el fondo del pozo. Su longitud permite cubrir el agujero descubierto quedando sólo una parte traslapada dentro de la penúltima tubería, aproximadamente 50 a 150 m. Su objetivo es alcanzar el intervalo productor, esta tubería tiene en su parte inferior ranuras que permiten el flujo de los fluidos de la formación hacia el interior de la tubería de producción. Su diámetro varía de 6 5/8 a 9 5/8 de pg.

1.8.5 Tubería Productora o de Explotación : Esta tubería es la última en instalarse en el pozo y llega hasta la zona productora. Sus objetivos son solucionar problemas tales como zonas con tendencia a la fractura, aislar la zona de producción evitando flujos de otras formaciones, además será la protectora de la tubería de producción (T.P.), en ocasiones puede ser el conducto por el cual se tendrá el flujo de los fluidos del intervalo productor hacia la superficie. Se cementa parcial o totalmente y su diámetro suele ser de 4 a 5 1/2 pg.

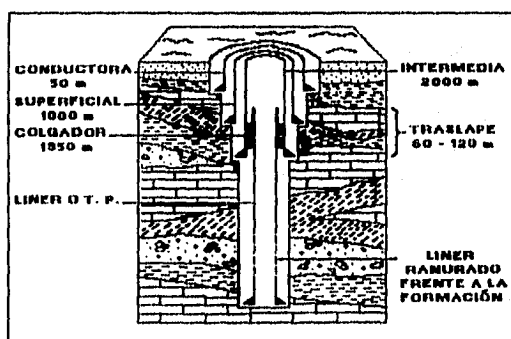


Fig. 1.7 Tuberías de revestimiento usadas en la perforación de un pozo.

1.9 CEMENTACIÓN DE POZOS GEOTÉRMICOS.

Durante las operaciones de perforación y terminación de pozos interviene la cementación. Las cementaciones de los pozos geotérmicos se clasifican en dos tipos.

- Cementaciones Primarias.
- Cementaciones Secundarias.

Las primeras intervienen en el proceso de construcción de un pozo geotérmico, se efectúan durante la etapa perforación con el objeto de llenar el espacio anular entre la T.R. y el agujero; mientras que las segundas se consideran como cementaciones de tipo correctivo cuando se modifica el estado mecánico del pozo al presentarse problemas en la perforación o cuando se realizan operaciones de reparación posteriores a la terminación del mismo.

1.9.1 Cementación de la tubería de ademe.

La cementación de una tubería de revestimiento es necesaria para :

- Soportar los esfuerzos térmicos.
- Proveer una efectiva adherencia entre tubería y formación.
- Darle un efectivo aislamiento en espacio anular.
- Controlar o nulificar el movimiento de fluidos gas, aceite, agua, vapor de tal manera que no ocasionen problemas durante la perforación y terminación del pozo.
- Proteger la tubería de revestimiento de la corrosión.
- Sellar o aislar zonas de pérdida de circulación.

- Proporcionar una base firme para el soporte del equipo de seguridad en la superficie.

Los problemas básicos son :

- Inadecuada preparación del pozo antes de correr la tubería.
- Sello deficiente en zonas de pérdida de circulación
- Alta temperatura.
- Inadecuado diseño de la lechada.

1.9.2 Requisitos del cemento.

Los requisitos necesarios para que un cemento desempeñe satisfactoriamente las funciones en el pozo son :

- 1) La lechada de cemento se debe colocar en la posición deseada por medio de equipo de bombeo en la superficie.
- 2) Después de ser colocado, debe desarrollar suficiente fuerza (resistencia a la compresión) en un tiempo razonablemente corto.
- 3) Establecer un sello positivo entre la tubería de revestimiento y las formaciones.
- 4) Poseer la resistencia (fuerza) necesaria para soportar las fallas mecánicas.
- 5) Químicamente debe ser inerte para no reaccionar al ponerse en contacto con cualquier formación o fluidos.
- 6) Ser estable para no deteriorarse, descomponerse o de alguna otra forma perder sus cualidades de resistencia para que su uso sea mayor de 10 años.
- 7) El cemento debe ser lo suficientemente impermeable para que los fluidos no fluyan a través de él cuando se ha fraguado.

El diseño de la cementación en pozos geotérmicos debe considerar aspectos como son las profundidades, las temperaturas del pozo, presencia de fluidos salinos y características químicas, presencia de gases, las condiciones del pozo (calibración de agujero) y los problemas de perforación (zonas inestables, pérdidas de circulación, etc.).

Con los datos anteriores se definirá el tipo de cemento a utilizarse, las características que tendrán las lechadas y la técnica de cementación que se empleara.

1.9.3 Composición, especificaciones y atributos del cemento.

Los materiales usados en la cementación de tuberías de revestimiento en pozos geotérmicos se clasifican en :

- Cemento Base (Cemento Portland).
- Estabilizadores de alta temperatura
- Aceleradores y retardadores de fraguado.
- Reductores de densidad y fricción.
- dosificantes y homogenizadores.
- Controladores de filtrado y de zona de pérdida de circulación.

El API tiene clasificados 9 tipos de cemento para pozos petroleros (A, B, C, D, E, F, G, H y J). La ASTM tiene clasificados 5 tipos de cemento para construcción (I, II, III, IV y V). En pozos geotérmicos se recomiendan utilizar los tipos G, H y J principalmente por los atributos de alta resistencia a la compresión, a la no degradación de sus características cementantes por efectos químicos de los sulfatos y su resistencia a altas temperaturas ($T^{\circ}\text{C} > 150$) según [Morales, Santoyo, Baca y Barroso, 1987].

El cemento Portland o base es un producto de combustión de las siguientes materias primas: caliza, barro, esquistos, bauxita y diversos materiales que contienen hierro. La composición química del cemento incluye el silicato tricálcico (que reacciona rápidamente con el agua, es el principal constituyente y es responsable de la característica de alta resistencia a la compresión), el silicato dicálcico y la aluminoferrita tricálcica que reaccionan lentamente y contribuyen al incremento de la resistencia del cemento a largo plazo.

El aluminio es un elemento indispensable pero su porcentaje debe mantenerse lo más bajo posible porque causa grietas en el cemento.

Los retardadores y aceleradores de fraguado, y los estabilizadores de temperatura son necesarios para acondicionar el tiempo de espesamiento requerido para mezclar y bombear la lechada hasta el espacio anular seleccionado.

Un programa de cementación adecuado a las necesidades del pozo basado en una buena selección de estos materiales garantizan las funciones y la vida útil de la instalación.

1.10 COSTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE POZOS GEOTÉRMICOS.

Los costos que intervienen en la generación de energía geotermoeléctrica, la construcción de pozos tiene varios conceptos que pueden reducirse para hacer más competitiva la utilización de esta energía. Aquí se analizan los factores que influyen en el costo durante la construcción de los pozos y su impacto en el costo final de la energía generada.

Las Tablas I.4 y I.5 se aprecian los diferentes conceptos que constituye el costo en la generación de electricidad a partir de energía geotérmica entre los cuales destaca la construcción de los pozos e instalación de equipos superficiales. También se observan los costos que intervienen en las etapas que integran un proyecto geotérmico promedio [Carson and Lin, 1981].

En la Tabla I.6 se exponen los costos del Kwh geotérmico comparado con otros sistemas de generación a nivel mundial [Carson and Lin, 1980].

Concepto	Costo (US\$)	Costo (Ct/Kwh)
Estudio de Reconocimiento.	230,000.0	4.5
Estudio de Prefactibilidad.	1,600,000.0	32.5
Estudio de Factibilidad.	10,700,000.0	215.0
Pozos e Instalaciones Superficiales	15,000,000.0	300.0
Transporte y Evaluación de Fluidos.	2,000,000.0	40.0
Central Geotermoeléctrica.	36,000,000.0	725.0
Línea de Transmisión.	1,900,000.0	38.0
Totales	67,660,000.0	1,354.0

Concepto	Mínimo	Máximo	Promedio
Exploración.	8.5	23.0	15.8
Producción de Fluidos.	180.0	600.0	390.0
Red de Separación y Capacitación.	36.0	290.0	163.0
Central Eléctrica.	480.0	900.0	690.0
Tratamiento y eliminación del Efluente.	36.0	240	138.0
Totales	740.5	2,053.0	1,396.8

La Tabla I.7 muestra el impacto en tiempo y costo que causan los problemas en la perforación de pozos en algunos campos geotérmicos de USA [Santoyo, Morales y Barroso, 1987].

	110.00	225.00	250.00	150.00
Capital USD /Kw				
Producción USD / Kw-H	4.66	6.50	4.55	5.92

Geysers.	Perdida de circulación	41	53,000.0
	Pegada de tubería	24	14,000.0
	cementación	17	20,000.0
	total	82	87,000.0
Baca.	Perdida de circulación	75	125,000.0
	Pegada de tubería	39	20,000.0
	cementación	26	27,000.0
	total	140	172,000.0
Imperial Valley.	Perdida de circulación	6	10,000.0
	Pegada de tubería	15	9,000.0
	cementación	45	48,000.0
	total	66	67,000.0

La Fig. I.8 se presentan las aportaciones en tiempo y costo de las diferentes operaciones de perforación y terminación para un pozo promedio del campo geotérmico de East Mesa, USA [Mercado, Arellano, Hurtado, Nieva, Iglesias, Barroso y Fernández, 1993].

En la Fig. I.9 se muestran los costos de construcción de los pozos geotérmicos (P.G.) y los pozos petroleros (P.P.) con los incrementos en el costo a través del tiempo [Carson, 1981 y Morales, 1985]. Aquí se aprecia que los costos en P.G. se mantienen aproximadamente tres veces más caros que los P.P., aunque individualmente varían entre 1 y 6 veces el costo P.P. y el factor de escalación es de 17 % anual.

En 1985 Hiriart, indicó que los costos de construcción de pozos representan el 50 % de la inversión total requerida para explotar un campo geotérmico considerando una vida útil de 10 años [Hiriart, 1990].

Considerando el mantenimiento y las reparaciones que se realizan en el pozo, su costo puede llegar a alcanzar hasta un 30 % del costo de construcción del mismo [Morales, 1985]. Resumiendo, el tiempo de construcción de pozos depende principalmente de tres eventos :

- a) Velocidad de penetración durante las operaciones de perforación.
- b) El tiempo necesario para resolver los problemas presentados durante las operaciones de perforación.
- c) El tiempo utilizado durante la introducción y cementación de las tuberías de revestimiento.

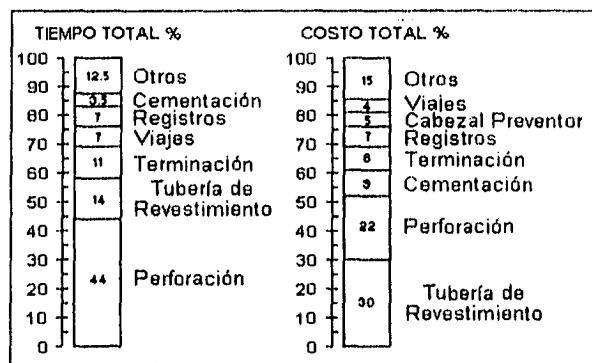


Fig. I.8 Tiempo de perforación y Costo de operación para el pozo modelo East Mesa. [Mercado, Arellano, Hurtado, Nieva, Iglesias, Barroso y Fernández, 1993]

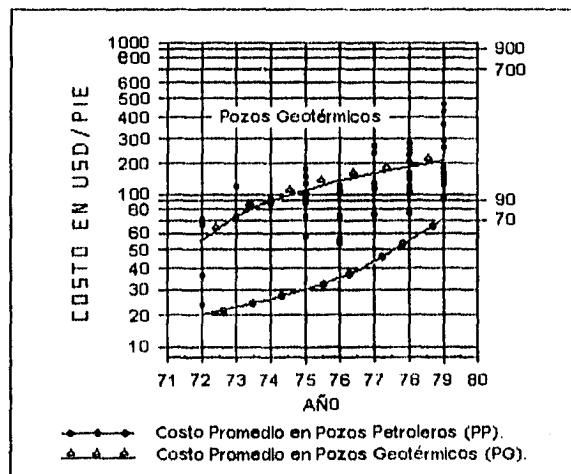
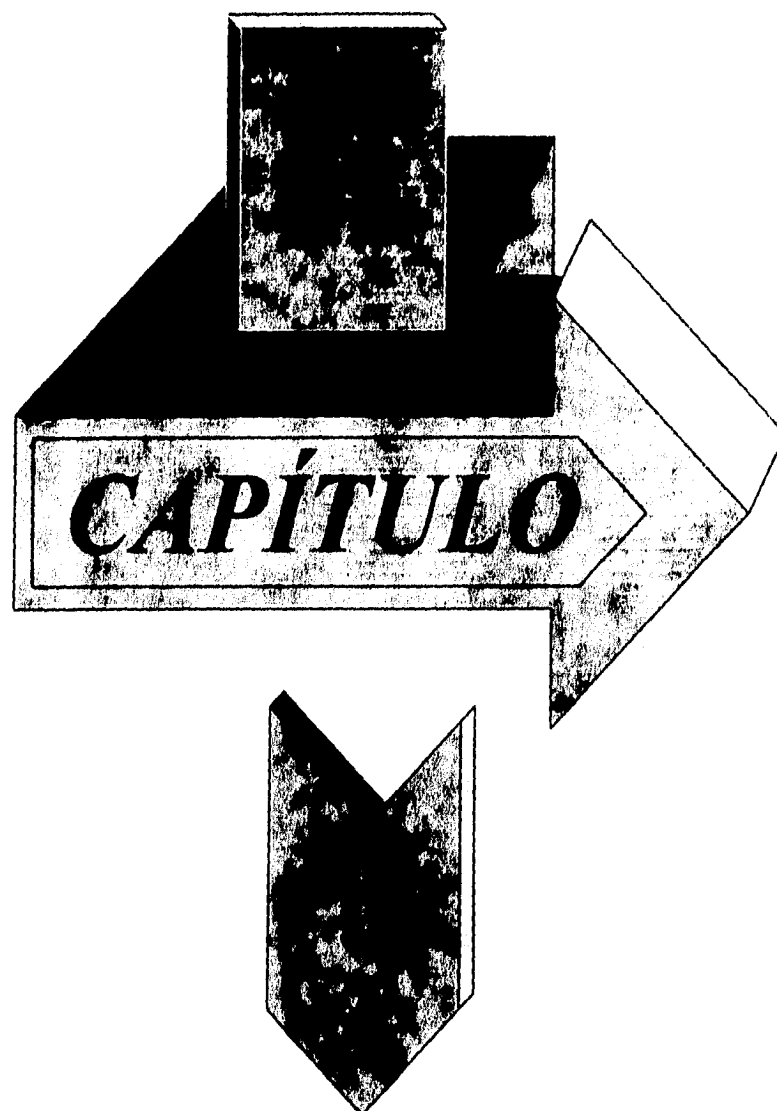


Fig. I.9 Escalación en costo por pozo. [Carson y Morales, 1985]



*ANÁLISIS DE PUBLICACIONES
IIE-CFE.*

El presente capítulo, efectúa el análisis y recopilación sobre la historia de exploración y explotación del campo geotérmico La Primavera, para ello, se hace la revisión de los trabajos publicados por el IIE (Instituto de Investigaciones Eléctricas) así como publicados por la CFE (Comisión Federal de Electricidad).

II.1 ESTADO DE EXPLORACIÓN GEOTÉRMICA EN MÉXICO.

[Razo, 1987]

Es bien conocido que la investigación geotérmica con el propósito de generación de energía, es un proceso que comprende las siguientes etapas :

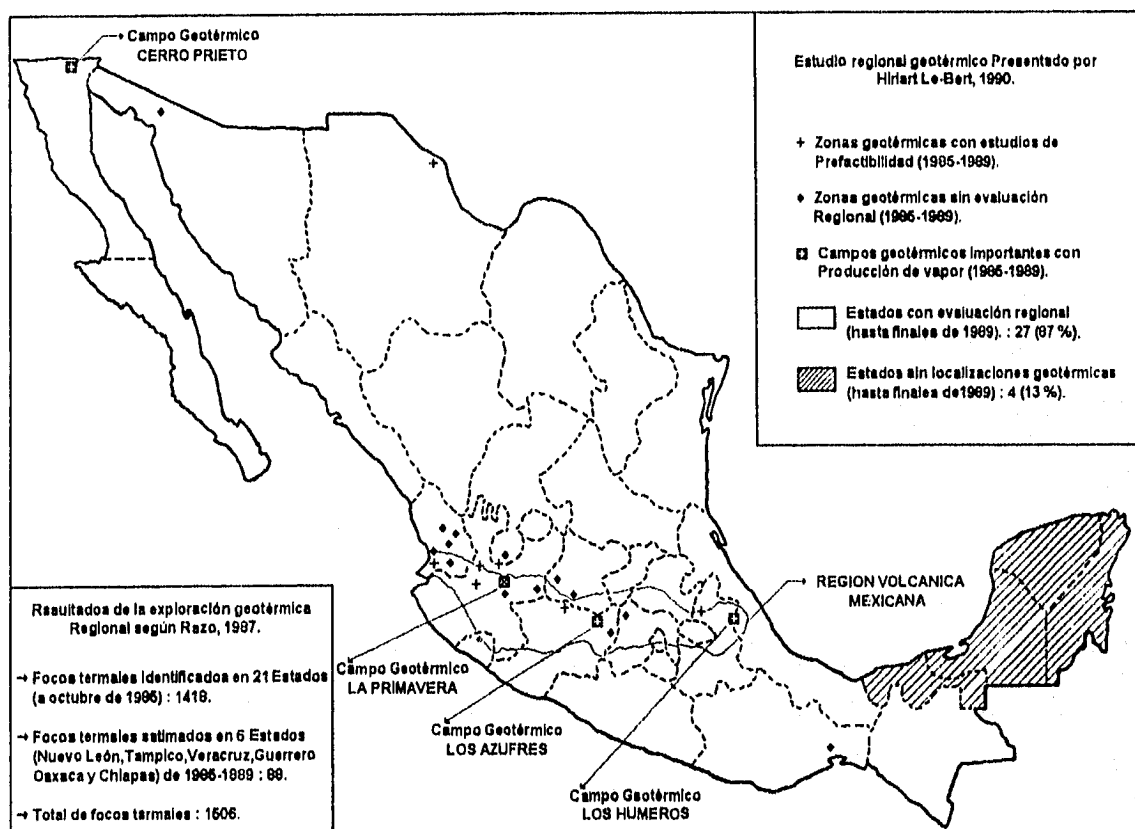
- a) Reconocimiento
- b) Estudios de Prefactibilidad
- c) Estudios de Factibilidad
- d) Diseño de Construcción de una Central
- e) Operación y Supervisión del Campo

Las primeras tres etapas son primordiales para la identificación del recurso geotérmico. La fase de **reconocimiento** implica una investigación de carácter regional, que consiste en :

- Recopilación de información geológica, geofísica y geoquímica.
- Análisis geoestadístico de dicha información, utilizando para ello imágenes vía satélite.
- Verificación de la información recopilada e interpretaciones realizadas con método geoestadístico.
- Censo de las zonas geotérmicas identificadas en el campo.
- Muestreo de aguas manantiales termales y ríos, para realizar un análisis químico.
- Una evaluación de las posibilidades geotérmicas de cada zona, estableciendo prioridades para la siguiente fase.

La etapa de exploración que consiste en el reconocimiento de los recursos geotérmicos en México se concluyó en 1987 y de ella se tienen los siguientes resultados.

De los 31 estados de la república en 21 ya sea efectuado la identificación y evaluación de los focos termales, habiéndose registrado un total de 1,418 entre manantiales, pozos de agua caliente, fumarolas, volcanes de lodos y suelos calientes, ver la Fig. II.1.



En seis estados más (Oaxaca, Guerrero, Veracruz, Chiapas, Tamaulipas y Nuevo León) la etapa de reconocimiento ya se terminó y únicamente se está realizando la cuantificación y la evaluación de los focos termales.

En seis estados restantes no se han programado estudios de reconocimiento tomando en cuenta que no presentan condiciones favorables para la existencia de los sistemas geotérmicos de alta entalpia porque están constituidos por rocas sedimentarias del Mesozoico y Cenozoico.

Si se integran los focos por evaluar, se contara con 1506 focos en el país. Varios de ellos tienen un origen común por estar asociados al mismo sistema geotérmico, la conjunción de estos focos en zonas geotérmicas establecen como resultado que en México se han identificado alrededor de 545.

La segunda fase de la exploración geotérmica comprende los estudios de **prefactibilidad** que, por medio de análisis geológicos, geoquímicos y geofísicos, determinan la posible existencia del yacimiento y precisar los sitios más favorables para la perforación de pozos exploratorios.

Desde el inicio de la exploración geotérmica en nuestro país, hasta 1987 se han efectuado los estudios de prefactibilidad en 42 zonas geotérmicas en 21 continuarán las exploraciones con perforaciones profundas (a 2,500 m). Las otras 21 zonas han sido eliminadas como fuentes de vapor primario, por haberse concluido que los fluidos que contienen son de baja entalpia y/o difícil recuperación por las características de las rocas.

La tercera fase de exploración geotérmica son los estudios de **factibilidad** su propósito es la identificación del recurso geotérmico y su evaluación mediante la perforación de pozos. En México ha permitido el desarrollo de cuatro campos geotérmicos importantes, estos son :

- a) Campo Geotérmico Cerro Prieto, B.C.N.
- b) Campo Geotérmico Los Azufres, Mich.
- c) Campo Geotérmico Los Humeros, Pue.
- d) Campo Geotérmico La Primavera, Jal.

Sin tomar en cuenta las cuatro últimas zonas geotérmicas mencionadas, debe considerarse que en nuestro país esta pendiente la realización de estudios de factibilidad en otras zonas geotérmicas, más las que resulten de los estudios de prefactibilidad que se lleven a cabo a futuro.

El tiempo necesario para desarrollar un programa de perforación, dependerá del número de pozos que se construyan. En términos generales un pozo a 1500 m debe perforarse en 3 meses y otro a 2000 m en 4 meses.

La fase de desarrollo es la continuación de los estudios geocientíficos que forman parte de la evaluación del reservorio, la búsqueda y extracción del recurso que culminan con la elaboración de un proyecto definitivo para la construcción de una central.

La fase de explotación define los parámetros más importantes que permiten de manera general la optimización en el manejo del fluido geotérmico, desde su extracción del yacimiento hasta la producción de la energía eléctrica en forma continua y confiable, considerando la evolución o desarrollo del campo.

El diseño de la metodología respectiva dentro de la cinco etapas que comprende dicho proyecto, requieren de una selección y combinación de técnicas que se adaptan a las condiciones de infraestructura y política del país.

II.2 POTENCIAL GEOTÉRMICO Y CAPACIDAD INSTALADA EN MÉXICO.

[Alonso, 1987]

Actualmente, aun no es posible contar con una cuantificación precisa de la disponibilidad de este recurso para la generación de electricidad. Los trabajos de exploración a detalle y la evaluación de yacimientos, permiten solo estimaciones gruesas en cuanto al potencial eléctrico probable y posible. La Tabla II.1 presentan datos del programa de crecimiento de CFE conforme la proyección del desarrollo económico del país.

CERRO PRIETO	110	110	220
LOS AZUFRES	55	55	110
LOS HUMEROS	55	55	110
LA PRIMAVERA	55	55	110
INVENTARIO	1525	5725	7250
TOTAL	1800	6000	7800

El potencial probado que se muestra en la Tabla II.2 corresponde básicamente a la capacidad de generación instalada y lo que se conoce de los campos actualmente durante su desarrollo y explotación.

	CAPACIDAD INSTALADA	ADICIONAL	TOTAL
CERRO PRIETO	620	220	840
LOS AZUFRES	30	140	170
LOS HUMEROS		55	55
LA PRIMAVERA		10	10
TOTAL	650	425	7800

II.3 TECNOLOGÍA DE PERFORACIÓN DE POZOS EN MÉXICO.

[Jaime y Vaca, 1987]

La perforación de pozos geotérmicos depende del tipo de pozo (exploratorio, inyector y productor) y de los objetivos que se quieran alcanzar para el aprovechamiento de este recurso en nuestro país.

Inicialmente se establece la localización y la profundidad del pozo conforme el intervalo productor para alcanzar como resultado de los estudios realizados en la etapa exploratoria de : geología, geoquímica, geoelectrónicos, magnetométricos, gravimétricos, sismológicos y la información proporcionada por los pozos someros de 200.0 a 1500.0 m.

Posteriormente se procede a seleccionar el equipo, detallando las diferentes etapas que intervienen en el cálculo de la capacidad.

El programa de perforación describe las técnicas que se aplicarán en la perforación y terminación del pozo. Los diámetros de agujero y tuberías así como tipo de fluidos, pruebas de producción y registros, son presentados en este programa.

Además se incluyen los criterios aplicados en el diseño de tuberías de revestimiento, el tipo de sartas de perforación, el equipo de control de superficie, se describe el tipo de cemento y materiales que se usan en la cementación de ademes, así como dosificación de lechada y la distribución de tiempo por actividad durante la construcción del pozo.

Con el fin de mostrar la importancia que tiene la tecnología de perforación de un pozo geotérmico a continuación mencionamos como ejemplo el **programa de perforación del pozo PR-13**.

Este pozo tiene el objetivo de realizar una perforación vertical con diámetro de 8 1/2 pg (219.9 mm) hasta 2000.0 m de profundidad, para obtener datos de producción en el campo La Primavera, Jal. La superficie del terreno se encuentra a una altura de 1840.0 m.s.n.m (Metros Sobre el Nivel del Mar).

Tuberías de revestimiento.

Conductora : T.R. con diámetro de 20 pg (508 mm), peso de 94 lb/pie (140.1 kg/m), acero tipo H-40 y rosca buttres, se coloca desde la superficie hasta 95.0 m de profundidad.

Superficial : T.R. con diámetro de 13 3/8 pg (339.2 mm), peso de 54.5 lb/pie (528.5 kg/m), acero tipo K-55 y rosca buttres, se coloca desde la superficie hasta 595.0 m de profundidad.

Intermedia : T.R. con diámetro de 9 5/8 pg (244.5 mm), peso de 47 lb/pie (70.1 kg/m), acero tipo L-80 y rosca Hydril SEU, se coloca desde la superficie hasta 1395.0 m de profundidad.

Producción : Es un Liner con diámetro de 7 pg (177.8 mm), 29 lb/pie (43.2 kg/m), acero tipo L-80 y rosca Hydril SEU, colgada con 50.0 m de traslape en la T.R. de 9 5/8 pg y con una sección ranurada desde 1395 a 2000 m. Ranuras trapecoidales de 2 pg por 1/4 pg (50.8 mm por 6.35 mm).

Centradores : Son accesorios que se utilizan para centrar las tuberías de 13 3/8, 9 5/8 y 7 pg en el pozo. Estos estarán colocados a 1.5 y 3.0 m arriba de las zapata y posteriormente a intervalos de 25.0 m.

Pruebas de presión : Estas pruebas se realizan durante 15 minutos para corroborar los esfuerzos mecánicos a las que se encuentran sometidos las tuberías de revestimiento y al equipo de superficie, después de la cementación.

Registros de temperatura : Son necesarios para determinar las temperaturas estáticas de formación y de fondo.

Registro sísmico de cementación : Se requieren para verificar el sello completo del cemento con la pared externa de la T.R. y/o detectar posibles fugas.

Fluidos de perforación : El fluido que se utiliza en la tuberías superficiales es de las siguientes propiedades :

- Densidad de 1.05 gr/cm³ (66 lbs/gal).
- pH de 7 a 9.
- Viscosidad funnel de 50 a 60 seg.
- Filtrado de 10 a 12 cm³ / 30 seg.

Durante la perforación, el lodo es tratado químicamente con el fin de que adquiera las propiedades adecuadas y favorables para continuar la perforación ya que este es afectado por la temperatura conforme se incrementa la profundidad. En la Tabla II.3 se indican las propiedades del lodo al perforar el agujero y para colocar la T.R. Intermedia.

Tabla II.3 Propiedades del Lodo del Pozo PR-13.		
PROPIEDADES	T.R. INTERMEDIA	AGUJERO
Densidad (gr/cm ³)	1.1	1.09
pH	8 a 9	9
Viscosidad funnel (seg)	40 a 45	40 a 45
Filtrado (cm ³ / 30 min)	8 a 10	6 a 8
Gel (lb / 100 pie ²)	0 a 6	0 a 4
Punto de cedencia (lb / 10 pie ²)	6 a 9	5 a 8
Viscosidad plástica (cps)	14 a 18	14 a 18
Enjarre (mm)	1	1
Contenido de sólidos (% Vol.)	8 a 14	8 a 10
Contenido de arena (% si se presentan pérdidas de circulación)	0.5 a 1.0	0.5 a 1.0

Núcleos y recortes : Se obtendrán muestras de recorte cada 3.0 m y núcleos a 1500.0 y 2000.0 m.

Registros de desviación : La desviación máxima permisible es 4.0 a 2000.0 m, el límite admisible entre intervalos cortos es de 15.0 pies cada 35.0 m.

Programa de actividades :

- 1) Perforar agujero con diámetro de 26 pg. (609.6 mm) a 100.0 m S.N.M.R. (Sobre el Nivel de Mesa Rotatoria), correr T.R. con diámetro de 20 pg. Colocar cabezal después de 12 horas.
- 2) Perforar agujero con diámetro de 17 1/2 pg (444.5 mm) a 600.0 m S.N.M.R., correr y cementar tubería con diámetro de 13 3/8 pg. Colocar cabezal después de 12 horas. Colocar carrete de expansión de 12 pg por 10 pg (304.8 mm por 254 mm) de diámetro.
- 3) Perforar agujero con diámetro de 12 1/4 pg (311.2 mm) a 1400.0 m S.N.M.R. La profundidad dependerá de la temperatura, condiciones de perforación y geología. Correr tubería con diámetro de 9 5/8 pg. Colocar cabezal y cuñas para 9 5/8 pg después de 12 hrs.
- 4) Perforar agujero con diámetro de 8 1/2 pg (215.9 mm) con agua a 2000.0 m S.N.M.R., correr tubería con diámetro de 7 pg (177.8 mm) ciega y ranurada.

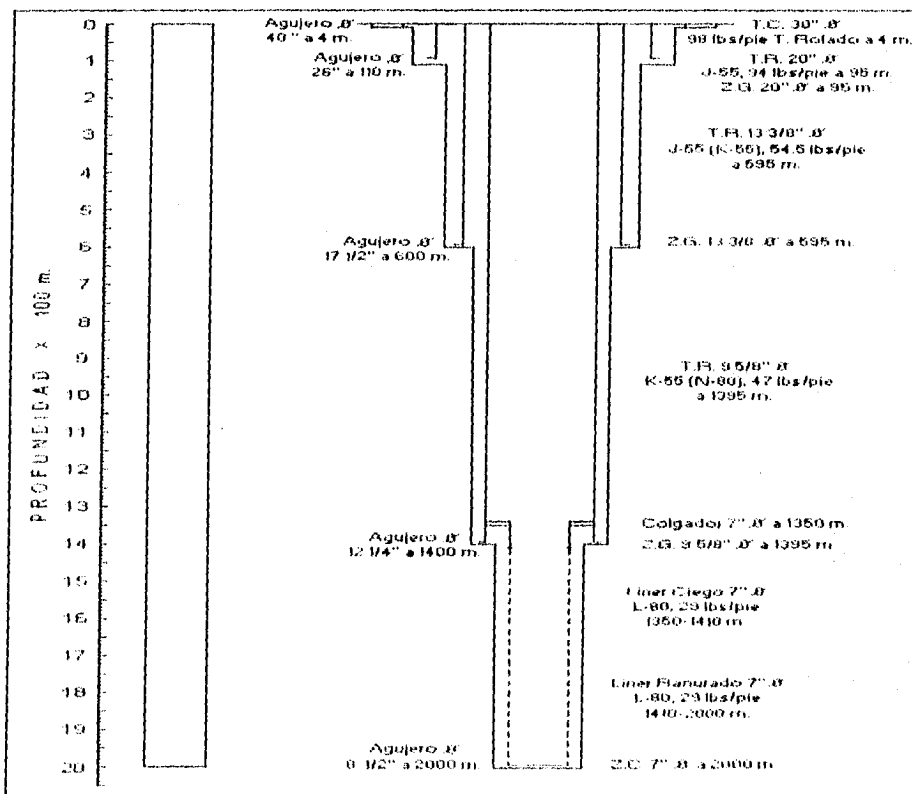


Fig. II.2 Esquema del pozo PR-13.

II.4 ASPECTOS GENERALES CAMPO GEOTÉRMICO LA PRIMAVERA.

[Morales, 1993]

Este campo se encuentra localizado a 15 Km al poniente de Guadalajara en la porción oriental del eje Neovolcánico, en una zona que desde el punto de vista tectónico regional es muy importante. Este complejo volcánico incluye flujos y domos reolíticos de tipo prealcalino, ignimbritas y pumicitas con intercalaciones de sedimentos lacustres y fluviales. Los estudios geohidrológicos detectaron la presencia de un acuífero profundo, cuya zona de recarga estaría al sureste de Cajititlan, Jalisco. Este acuífero profundo es el que constituye el yacimiento geotérmico en el interior de la caldera.

Los fluidos están contenidos en rocas andesitas con intercalaciones de tobas de probable edad pliocénica. Se ha explorado la porción central de la caldera con pozos geotérmicos; los fluidos se encuentran a una profundidad entre 2,000 y 2,800 m, aunque localmente pueden encontrarse a profundidades menores, hasta de 1,500 m, asociados a estructuras que permiten su ascenso.

Hasta la fecha se han perforado 12 pozos con profundidades que van de 668 m, para un pozo que no pudo continuarse por problemas de perforación, hasta 2,900 m. La Fig. II.3 se muestra la localización de los pozos, así como la geología del este campo.

La extensión del campo es de más de 25 Km² y esta dividido en 4 sectores : Tejamaniles, Agua Fría, El Chino y Marítaro, donde la capacidad instalada probable estimada en el sector sur del Tejamaniles es de 50 MW [González y Casarrubias, 1986].

II.4 ASPECTOS GENERALES CAMPO GEOTÉRMICO LA PRIMAVERA.

[Morales, 1993]

Este campo se encuentra localizado a 15 Km al poniente de Guadalajara en la porción oriental del eje Neovolcánico, en una zona que desde el punto de vista tectónico regional es muy importante. Este complejo volcánico incluye flujos y domos reolíticos de tipo prealcalino, ignimbritas y pumicitas con intercalaciones de sedimentos lacustres y fluviales. Los estudios geohidrológicos detectaron la presencia de un acuífero profundo, cuya zona de recarga estaría al sureste de Cajititlan, Jalisco. Este acuífero profundo es el que constituye el yacimiento geotérmico en el interior de la caldera.

Los fluidos están contenidos en rocas andesitas con intercalaciones de tobas de probable edad pliocénica. Se ha explorado la porción central de la caldera con pozos geotérmicos; los fluidos se encuentran a una profundidad entre 2,000 y 2,800 m, aunque localmente pueden encontrarse a profundidades menores, hasta de 1,500 m, asociados a estructuras que permiten su ascenso.

Hasta la fecha se han perforado 12 pozos con profundidades que van de 668 m, para un pozo que no pudo continuarse por problemas de perforación, hasta 2,900 m. La Fig. II.3 se muestra la localización de los pozos, así como la geología del este campo.

La extensión del campo es de más de 25 Km² y está dividido en 4 sectores : Tejamaniles, Agua Fría, El Chino y Marítaro, donde la capacidad instalada probable estimada en el sector sur del Tejamaniles es de 50 MW [González y Casarrubias, 1986].

Se han alcanzado temperaturas estabilizadas superiores a 320 °C. Solo un pozo, perforado en el borde occidental de la caldera, resultó con temperatura baja. No han terminado de probarse, estudiarse y evaluarse todos los pozos, por lo que el vapor disponible en la actualidad, apenas sería suficiente, para producir con seguridad 10 MW; sin embargo las estimaciones realizadas mediante diversos estudios sugieren un volumen de reservas probables suficientes para generar 68 MW.

II.5 CONDICIONES GEOLÓGICAS DEL CAMPO LA PRIMAVERA.

[Kruger, Aragón, Lucio y Villa, 1988]

El campo geotérmico de la Primavera se localiza en la porción occidental de la Faja Volcánica Mexicana, casi en la intersección de tres sistemas estructurales regionales que son los grábenes de : Colima, Chápala y Tepic-Chápala, cuyas orientaciones son : N-S, E-W, NW-SE, siendo este último de mayor influencia en la zona.

Este campo geotérmico está dentro de un complejo volcánico riolítico cuaternario, cuya formación se inició hace al menos 120 mil años, el mismo es una caldera volcánica a la cual se le asocian una serie de domos dispuestos en forma semicircular que rodean a la zona de colapso, dentro de ésta, ocurrió una serie de depósitos vulcano sedimentarios.

La etapa final de este vulcanismo, se dio al ocurrir un nuevo aporte de magma hacia el margen sureste de la caldera que produjo un abombamiento general y la extrusión de los últimos domos y lavas riolíticas, a los cuales se han calculado con 25,000 años de edad, por medio de la relación isotópica potasio-argón [Venegas, S. 1981 y Gutiérrez N. 1984]. Actualmente, se considera que la cámara magmática ha entrado en su proceso de solidificación final y enfriamiento.

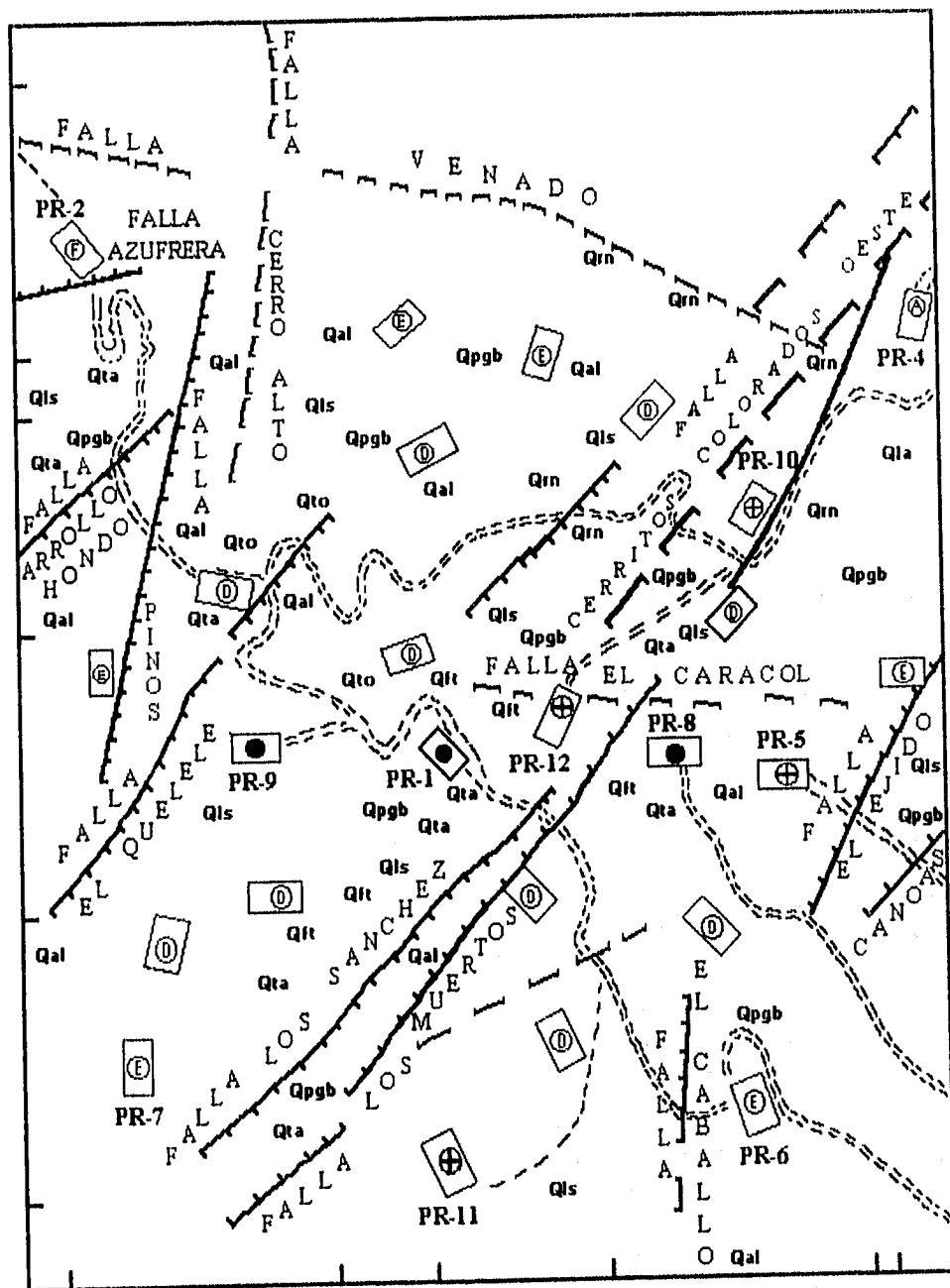






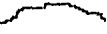


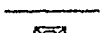









Fig. II.3 Plano de localización de pozos del Campo Geotérmico La Primavera, Jalisco.

SIMBOLOGIA DEL CAMPO GEOTERMICO LA PRIMAVERA, JALISCO	
LITOLÓGICOS	
Qal	Aluvión.
Qre	Suelos Residuales.
Qro	Domo Nejahuete compuesto por riolita perlítica.
Qrf	Riolita fisural Cerritos Colorados.
Qbv	Brecha riolítica formada en la base de los derrames riolíticos.
Qls	Sedimentos lacustres formados por una alterancia de estratos de pómez y toba bentonítica.
Qta	Toba bentonítica.
Qft	Toba tala compuesta por flujos piroclásticos.
Qpgb	Horizonte o bloque de pomez gigante.
Qrn	Riolita esferulítica con lentes de obsidiana en la base de Nej.
GEOTERMICOS	
	Pozo en terminación, perforación o estudio.
	Pozo productor.
	Pozo abandonado.
	Pozo fallido.
	Pozo exploratorio.
	Pozo para desarrollo del campo.
GEOLOGICOS	
	Contacto geológico.
	Falla normal de primer orden.
	Falla normal de segundo orden.
	Falla normal inferida.
	Fractura.
	Cráter.
TOPOGRAFICOS	
	Brecha transitabile o camino de terraceria.
	Vereda.
	Plataforma.
	Puente.
	Arroyo.

Las lavas ácidas más antiguas que se han observado aflorando en este complejo volcánico, se caracterizan por su mayor prealcalinidad en comparación con lavas más recientes, las cuales fueron eruptadas al sur del mismo complejo, estas últimas sobreyacen a los flujos piroclásticos llamados Toba Tala.

El basamento de este complejo volcánico, se asocia a una serie de derrames constituidos por basaltos, Ignimbritas, riolitas y andesitas aflorantes sobre el Río Grande Santiago.

Durante la perforación de los pozos existentes en el campo, se han estudiado con detalle las muestras de canal y núcleos recuperados, con la finalidad de verificar la litología de subsuelo. Los pozos objeto del presente estudio (PR-1, PR-2, PR-8, PR-9) han sido estudiados por Gutiérrez N. (1981), Venegas S. (1984) y Sánchez R. (1985).

La columna estatigráfica más completa hasta el momento, es la cortada por el pozo PR-9, el cual alcanzó una profundidad de 2,986 m y es la que describe con detalle en la Fig. II.4.

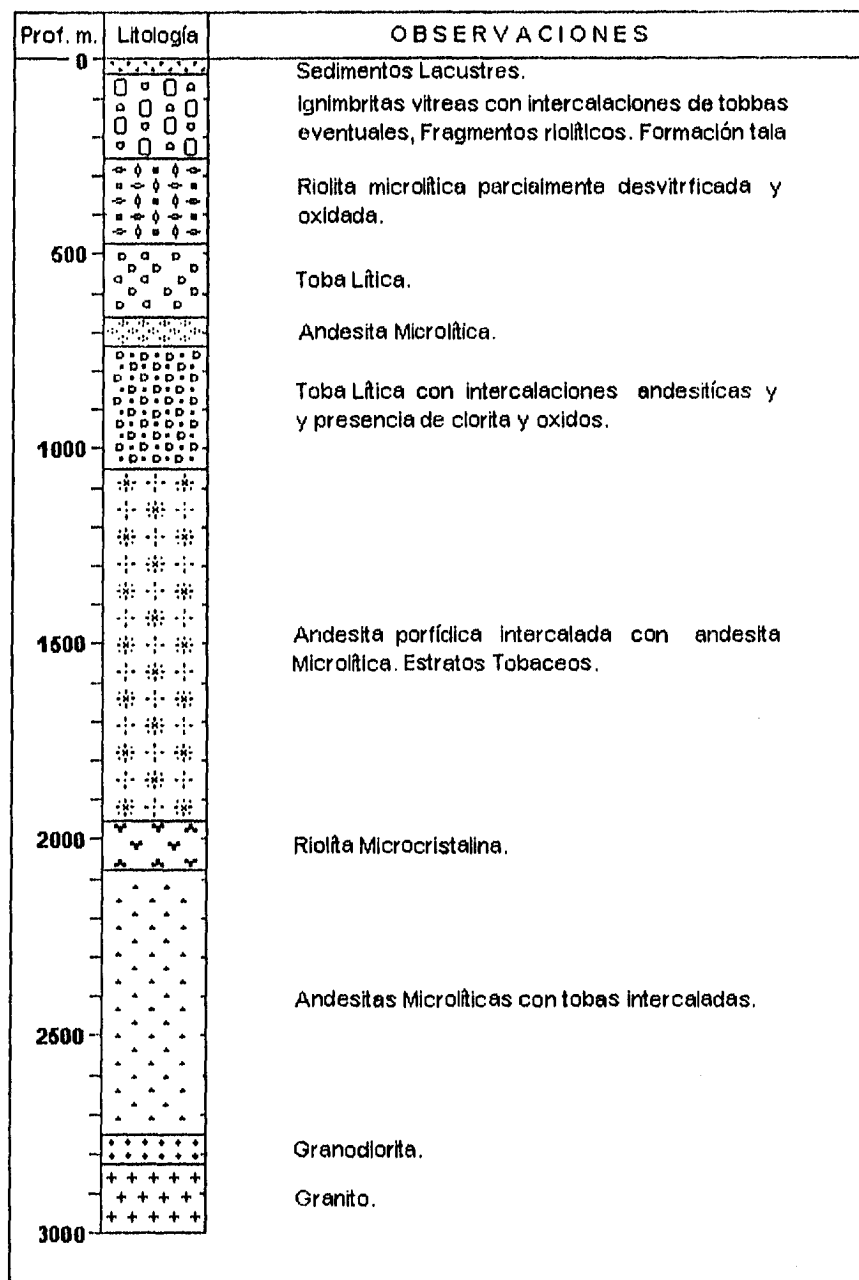


Fig. II.4 Columna Litológica del pozo Primavera PR-9.
[según R. Maciel F.]

II.6 FASES DE EXPLORACIÓN GEOTÉRMICA PARA EL CAMPO LA PRIMAVERA.

[Razo, 1987. Villa, Chacón y Medina, 1988]

Desde el año de 1966, se iniciaron estudios de reconocimiento y exploración geoquímica [Mercado, 1970], [Truesdell y Mahood, 1978], [Templos M. L. A., 1980] y se definieron las zonas de mayor interés, sugiriéndose la parte central de la caldera para las primeras perforaciones exploratorias.

En 1976, se realizaron estudios geoquímicos para determinar el potencial probable del campo geotérmico La Primavera, Jalisco, con base en el muestreo de fluidos geotérmicos y empleando métodos geotermométricos (geotermómetros) [Mercado, 1976], donde se presentó la información siguiente.

Tabla II.4 Potencial del Campo Geotérmico La Primavera, Jal. en Base a Estudios Geoquímicos [Mercado, 1976].											
Lat.	Long.		SiO ₂	NaKCa	Subsuelo	Área	Espesor	Vol.	Cont. Cal.	MWS	MW30
N	W	°C	°C	°C	°C	Km ²	Km	Km ³	por 10 ¹⁸ cal	e	e
		(1)	(2)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
32°40'	103°35'	69	170	173	173	7.5	1.5	11.2	1.06	28	93

(1) Máxima temperatura encontrada superficialmente. Manantial o fumarola.

(2) Temperatura calculada con base en geotermómetros químicos.

(3) Temperatura probable en base a los datos existentes.

(4) Área de alteración : 1.5 Km² en manifestaciones aisladas.

(5) Techo supuesto a 1.5 Km de profundidad (si no hay datos). Fondo supuesto a 3 Km para el sistema de convección.

- (6) Calculado de área y espesor supuestos.
- (7) Calculado como producción del volumen supuesto calor específico volumétrico de $0.6 \text{ Cal/cm}^3\text{°C}$ y temperatura en °C arriba de 15 °C .
- (8) MW / electricidad siglo.
- (9) MW electricidad a 30 años.

Los estudios de prefactibilidad geotérmica sistematizados en el campo geotérmico La Primavera, se iniciaron en el año de 1978.

A partir de enero de 1980, se inició la perforación de pozos profundos localizados en base a los estudios Geológicos, Geofísicos y Geoquímicos realizados a detalle. La perforación de los pozos; se realizó en dos etapas de la fase exploratoria del campo, la primera de 1980 a 1982 y la segunda de 1984 a 1988.

hasta 1986, se habían perforado 10 pozos a profundidades de 668 a 2,986 m. El yacimiento geotérmico se localiza en rocas volcánicas de composición andesítica y riolítica con temperaturas de 285 °C hasta 305 °C , a profundidades comprendidas entre los 1,150 y 2,986 m. Aparentemente, el yacimiento se encuentra limitado (a 2,840 m de profundidad en el pozo PR-9), por las rocas granodioríticas correspondientes a un cuerpo intrusivo de edad pliocénica.

De los 10 pozos perforados, tres son productores (PR-1, PR-8, PR-9), otros tres están en proceso de evaluación (PR-10, PR-11, PR-12), dos no se han terminado (PR-4, PR-5) y uno es inyector (PR-2) y otro es fallido (RC-1). Se ha estimado preliminarmente que el yacimiento en área de 2 Km^2 , tiene capacidad para alimentar una planta de 30 MW, si bien el potencial de todo el yacimiento podría ser superior a los 100 MW. Las Tablas II.5 y II.6 muestra los registros de temperatura y de producción que presentaron la mayoría de los pozos.

La producción de los tres pozos evaluados, es suficiente para generar 10 MW, por lo que se ha decidido instalar dos plantas de 5 MW cada una.

Tabla II.5 Registro de Temperatura de los Pozos de Campo Geotérmico La Primavera, Jal.

PR-1	1226	03/04/81	266	256	Flujo por 6 pg.
PR-1	1822	14/11/84	305	303	Flujo por 2 pg.
PR-2	2000	15/10/85	168	210	Temperatura Kuster de 1400 a 1850 m es de 160 a 169 ° C y Temperatura Kuster de 1850 a 1980 m es de 184 a 210 °C.
PR-4	668	03/08/81	199	80	
PR-5	690	02/06/82	198	178	Prueba de inducción.
PR-5	1215		258		Inducción.
PR-5	1215	06/09/82	234	223	
PR-5	1215		207		Último análisis químico.
PR-8	1861	03/12/86	261	287	Flujo por 2 pg.
PR-9	2986		297		

La fecha corresponde cuando se efectuó el registro Kuster (Datos proporcionados por el área de producción).

Tabla II.6 Producción en los Pozos del Campo Geotérmico La Primavera, Jal.

PR-1	1822	1440 a 1818	10.7	11.02	15.38	1918
PR-2	2000	1567 a 1995	—	INY.	INY.	—
PR-8	1861	1423 a 1850	7.6	8.52	17.81	1783
PR-9	2986	1735 a 2161	9.3	16.86	32.63	1807
PR-10	2271	1799 a 2143	EST.	—	—	—
PR-11	2157	1800 a 2150	EST.	—	—	—
PR-12	2303	1705 a 2293	—	—	—	—
PR-13	2006	1800 a 2000	EST.	—	—	—

* Estimados a una presión de cabezal de 8 bar.
 INY. Probablemente pozo de inyección.
 EST. Actualmente en periodo de estabilización.
 Datos proporcionados por la residencia de perforación de La Primavera, Jal. (abril, 1988).

II.7 ESTADO DE LA PERFORACIÓN EN EL YACIMIENTO GEOTÉRMICO LA PRIMAVERA, JALISCO.

[Hiriart Le-Bert, 1990]

En el artículo publicado por Hiriart Le-Bert (1990), presenta una tabla que señala datos interesantes a cerca de los pozos perforados en los campos de la región volcánica Mexicana. En el caso del campo geotérmico La Primavera: se menciona que desde enero de 1985 hasta enero de 1990 se tenía un pozo de inyección (PI-1), un pozo de exploración (PR-10), cinco pozos de producción (PR-8, PR-9, PR-11, PR-12 y PR-13) y otro pozo perforado (PR-7) que se suspendió en 1987 y que inicialmente se programo para alcanzar una profundidad de 2,500 m.

Desde 1980 hasta 1985, se habían reportado cinco pozos perforados (PR-1, PR-2, PR-4, PR-5, RC-1), de ellos sólo el PR-1 resulto productor y los demás fueron de exploración, donde el pozo PR-4 se tuvo que taponar y abandonar a los 680 m y el pozo PR-1 después de alcanzar la profundidad de 1,226 m continuó su perforación, hasta alcanzar la profundidad total de 1,822 m en la segunda fase de exploración.

De los trece pozos considerados en el campo, se han perforado una cantidad de 23,017 m. Siendo el pozo PR-9 el más profundo con 2,986 m y el pozo PR-1 el más somero. La temperatura más alta fue registrada en el pozo PR-9, con 356 °C hasta la profundidad total del pozo. El gasto de producción total del pozo PR-9 a 89 bares de presión de separación, es de 167 ton/hora (49.4 kg/s) de vapor y 342 ton/hora (95 kg/s) de agua, incluyendo el pozo PR-1.

Entre 1985 y 1989, se incrementó en un 60 % el número de pozos en el campo geotérmico La Primavera, el número de metros perforados se incremento en 200 %. La producción de vapor aumento en 300 % en el mismo periodo. Aunque cabe mencionar que la perforación en el campo fue suspendida desde finales de 1989.

En la Tabla II.7 se muestra los datos de los pozos de campo geotérmico La Primavera Jal., que fueron recopilados por Hiriart Le-Bert. en 1990.

PR-7	1987	S/T	1386	---	---	---
PR-8	1985	P	1861	286	1305	25.5
PR-9	1985	P	2986	356	1430	49.4
PR-10	1988	E	2271	290	---	---
PR-11	1987	P	2157	311	---	---
PR-12	1987	P	2303	337	1504	14.4
PR-13	1988	P	2006	286	1250	25.0
PI-1	1988	I	442	101	---	---

Datos proporcionados por Hiriart Le-Bert (enero 1 de 1985 a enero 1 de 1990).

II.8 MEMORIA DE LA CONSTRUCCIÓN DE POZOS EN EL CAMPO GEOTÉRMICO LA PRIMAVERA, JAL.

Primera Etapa (1980-1983).

La residencia de perforación en Guadalajara de la Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, CFE publicó en enero de 1983, la memoria de perforación y construcción de cuatro pozos en el campo geotérmico de La Primavera, Jal. En dicho informe se incluyen datos como la localización, el objetivo, el diseño de perforación, detalles constructivos, el estado mecánico y los resultados que se obtuvieron durante la perforación de la primera etapa de exploración del campo, que consistió de los pozos PR-1, PR-2, PR-4 y PR-5. De ellos presentamos el siguiente informe.

II.8.1 Pozo PR-1.

Este pozo se encuentra localizado dentro de la caldera de la Primavera, Jal., en el área conocida como Las Barrancas, con las siguientes coordenadas rectangulares :

X = 653,800 m, Y = 2,284,200 m, Z = 1,850 m.

a) Objetivo :

El objetivo de su perforación fue iniciar la exploración de la zona para conocer la secuencia litológica y confirmar las anomalías resistivas que pueden servir como parámetro indicativo de la producción de vapor.

b) Diseño :

- 1) Perforación de agujero con diámetro de 26 pg desde la superficie hasta 50.0 m de profundidad para instalar una T.R. de 20 pg.
- 2) Perforación de agujero con diámetro de 17 1/2 pg desde la superficie hasta 300.0 m de profundidad para instalar una T.R. de 13 3/8 pg.
- 3) Perforación de agujero con diámetro de 12 1/4 pg desde la superficie hasta 1000.0 m de profundidad para instalar una T.R. de 9 5/8 pg.
- 4) Perforación de agujero con diámetro de 8 1/2 pg hasta una profundidad favorable y con características productoras para colgar un liner de 7 pg.

c) Construcción :

- 1) Se perforó agujero con diámetro de 26 pg desde la superficie hasta 41.0 m de profundidad y se instaló una T.R. de 20 pg a 40.0 m, cementándose en su totalidad.
- 2) Se perforó agujero con diámetro de 17 1/2 pg desde la superficie hasta 244.0 m de profundidad y se instaló una T.R. de 13 3/8 pg a 233.0 m, cementándose en su totalidad.

- 3) Se perforo agujero con diámetro de 12 1/4 pg desde la superficie hasta 751.0 m de profundidad y se instaló una T.R. 9 5/8 pg a 670.0 m, cementándose en su totalidad.
- 4) Se continuó la perforación del agujero con diámetro de 8 1/2 pg desde la superficie hasta 1226.0 m de profundidad y se instaló liner de 7 pg, cementándose desde 659.0 m (boca del colgador) hasta 1159.0 m de profundidad.

d) Resultados obtenidos :

- La perforación de este pozo se inició el día 4 de enero de 1980 y se terminó el día 23 de noviembre de 1980, alcanzando una profundidad total de 1226.0 m.
- La temperatura máxima registrada durante la perforación fue de 248 °C a la profundidad de 1159.0 m.
- Las zonas interesantes presentan baja permeabilidad.
- El pozo actualmente se encuentra en observación, fluyendo al silenciador con la siguiente producción :

Producción pozo PR-1	Ton/Hora	Kg/seg
Vapor	18	64.8
Agua	18	64.8
Gas	1	3.6
Total de Mezcla	37	133.2

e) Diagrama del pozo : Ver Fig. II.5.

II.8.2. Pozo PR-2.

El pozo PR-2 se encuentra localizado dentro de la caldera de La Primavera, Jal., en área conocida como "La Azufrera" con las siguientes coordenadas rectangulares :

X = 653,000 m, Y = 2,885,200 m, Z = 1,775 m.

a) Objetivo :

El objetivo de este pozo fue continuar la exploración en la caldera de La Primavera y confirmar las anomalías resistivas.

b) Diseño :

EL diseño fue similar al pozo PR-1.

c) Construcción :

- 1) Se perforó agujero con diámetro de 26 pg desde la superficie hasta 48 m de profundidad y se instaló la T.R. de 20 pg a 47.0 m, cementándose en su totalidad.
- 2) Se perforó agujero con diámetro de 17 1/2 pg desde la superficie hasta a 272.0 m de profundidad y se instaló la T.R. de 13 3/8 pg a 263.0 m, cementándose en su totalidad.
- 3) Se perforó agujero con diámetro de 12 1/4 pg desde la superficie hasta 1005.0 m de profundidad y se instaló una T.R. de 9 5/8 pg a 998.0 m, cementándose en su totalidad.
- 4) Se continuó la perforación del agujero con diámetro de 8 1/2 pg desde la superficie hasta a 2000.0 m de profundidad y se colgó un liner de 7 pg combinado (ciego y ranurado), cementándose desde 994.0 m (boca del colgador) hasta 1995.0 m de profundidad.

d) Resultados obtenidos :

- La perforación de este pozo se inició el día 16 de junio de 1980 y se terminó el 16 de marzo de 1981, alcanzando la profundidad total de 2000.0 m.
- La temperatura máxima registrada durante la perforación fue de 305 °C a la profundidad de 1950.0 m.
- La zonas de interés presentaron una permeabilidad baja.
- El pozo en observación, se operó fluyendo a un separador tipo Webber, con los siguientes datos de producción:

Producción pozo PR-2	Ton/Hora	Kg/seg
Vapor	9	32.4
Agua	3	10.8
Gas	5	18
Total de Mezcla	17	61.2

e] Diagrama del pozo : Ver Fig. II.6.

II.8.3 Pozo PR-4.

El pozo PR-4 se encuentra localizado dentro de la caldera La Primavera. En el área conocida como Cerritos Colorados, con las siguientes coordenadas rectangulares :

X = 655,800 m, Y = 2,285,040 m, Z = 1,910 m.

a] Objetivo :

El objetivo de este fue la de continuar la exploración dentro de la caldera de La Primavera, en el área de interés por las anomalías resistivas que presenta y así poder confirmar las mismas.

b] Diseño :

El diseño fue similar a la del pozo PR-1.

c) Construcción :

- 1) Se perforó agujero con diámetro de 26 pg desde la superficie hasta 74.0 m de profundidad y se instaló una T.R. de 20 pg a 72.0 m, cementándose en su totalidad.
- 2) Se perforó agujero con diámetro de 17 1/2 pg desde la superficie hasta 310.0 m de profundidad y se instaló una T.R. de 13 3/8 pg a 305.0 m, cementándose en su totalidad.
- 3) Se perforó agujero con diámetro de 12 1/4 pg desde la superficie hasta 668.0 m de profundidad, siendo este el estado actual del pozo.

d) Resultados obtenidos :

- La perforación de este pozo se inició el día 11 de noviembre de 1980 y se terminó el día 25 de agosto de 1981, alcanzando una profundidad total de 668.0 m.
- La temperatura máxima registrada durante la perforación fue de 82 °C a la profundidad de 500.0 m.
- El pozo presento alta permeabilidad en todo su desarrollo.

e) Diagrama del pozo : Ver Fig. II.7.

II.8.4 Pozo PR-5.

El pozo se localiza dentro de la caldera de La Primavera. A la margen izquierdo del Arroyo del Caracol, con las siguientes coordenadas rectangulares :

X = 654,380 m, Y = 2,284,200 m, Z = 1,860 m.

a) Objetivo :

El objetivo de este pozo fue el mismo que en los pozos anteriormente mencionados.

b) Diseño :

- 1) Perforación de agujero con diámetro de 26 pg desde la superficie hasta 35.0 m de profundidad para instalar una T.R. de 20 pg.
- 2) Perforación de agujero con diámetro de 17 1/2 pg desde la superficie hasta 500.0 m de profundidad para instalar una T.R. de 13 3/8 pg.
- 3) Perforación de agujero con diámetro de 12 1/4 pg desde la superficie hasta 1500.0 m de profundidad para instalar una T.R. de 9 5/8 pg.
- 4) Perforación de agujero con diámetro de 8 1/2 pg desde la superficie hasta una profundidad favorable con características de producción, para colgar un liner de 7 pg.

c) Construcción :

- 1) Se instaló tubo conductor con diámetro de 30 pg desde la superficie hasta 27.0 m de profundidad, cementada totalmente.
- 2) Se perforó agujero con diámetro de 26 pg desde la superficie hasta 337.0 m de profundidad y se instaló una T.R. de 20 pg a 325.0 m, cementándose por etapas.
- 3) Se perforó agujero con diámetro de 17 1/2 pg desde la superficie hasta 477.0 m de profundidad y se instaló una T.R. de 13 3/8 pg a 473.0 m, cementándose por etapas.

- 4) Se perforó agujero con diámetro de 12 1/4 pg desde la superficie hasta 690.0 m de profundidad y se instaló una T.R. de 9 5/8 pg a 571.0 m, cementándose por etapas.
- 5) Se perforó agujero con diámetro de 8 1/2 pg desde la superficie hasta 1215.0 m de profundidad y se instaló un liner de 7 pg combinado (ciego y ranurado), cementándose desde 524.6 m (boca del colgador) hasta 879.7 m de profundidad.

d) Resultados obtenidos :

- La perforación de este pozo se inicio el día 18 de mayo de 1981 y se terminó el día 27 de agosto de 1982, alcanzando una profundidad total de 1215.0 m.
- La temperatura máxima registrada durante la perforación fue de 262 °C a la profundidad de 1050.0 m.
- El pozo presento condiciones de permeabilidad alta durante toda la etapa de construcción del mismo.

e) Diagrama del pozo : Ver Fig. II.8.

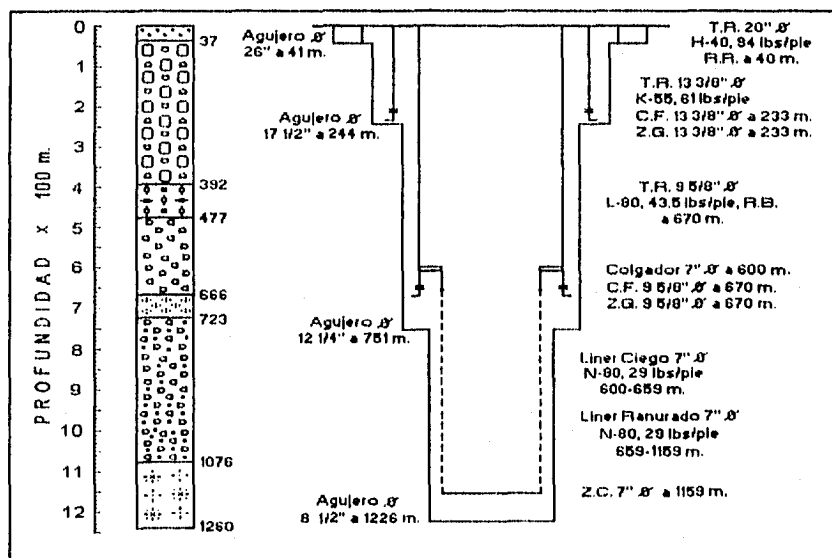


Fig. II.5 Esquema del pozo PR-1 (1a. etapa 1982).

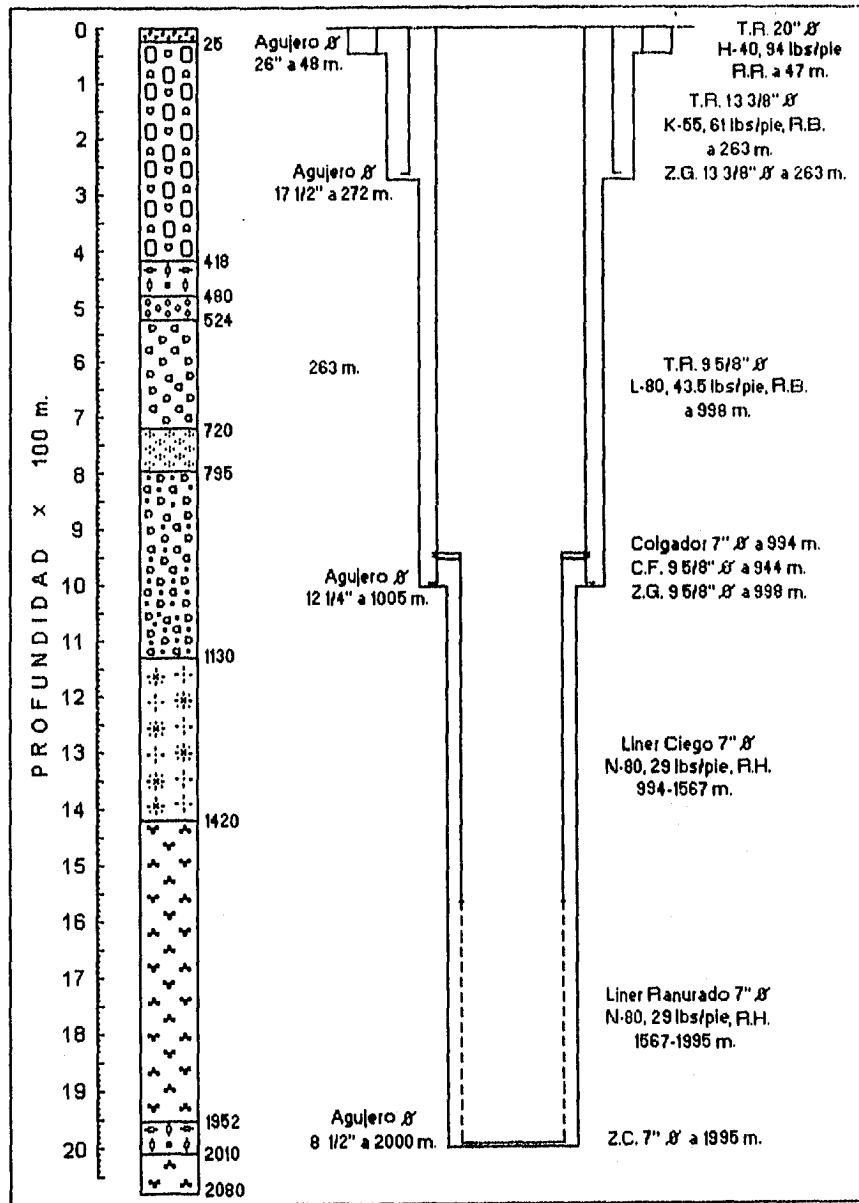


Fig. II.6 Esquema del pozo PR-2.

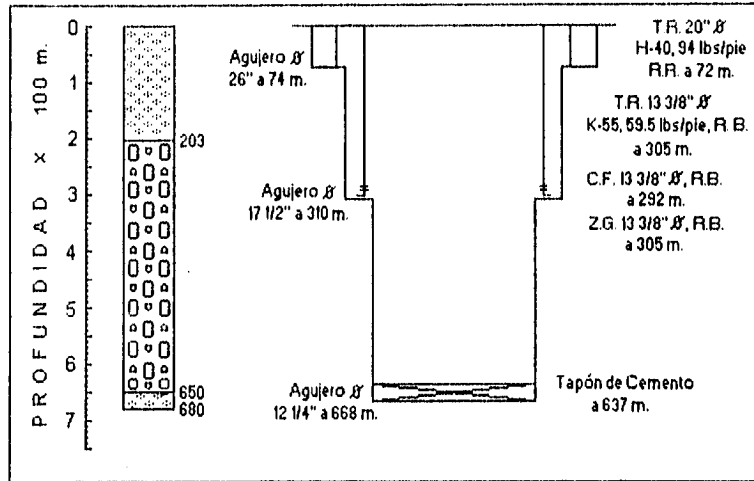


Fig. II.7 Esquema del pozo PR-4.

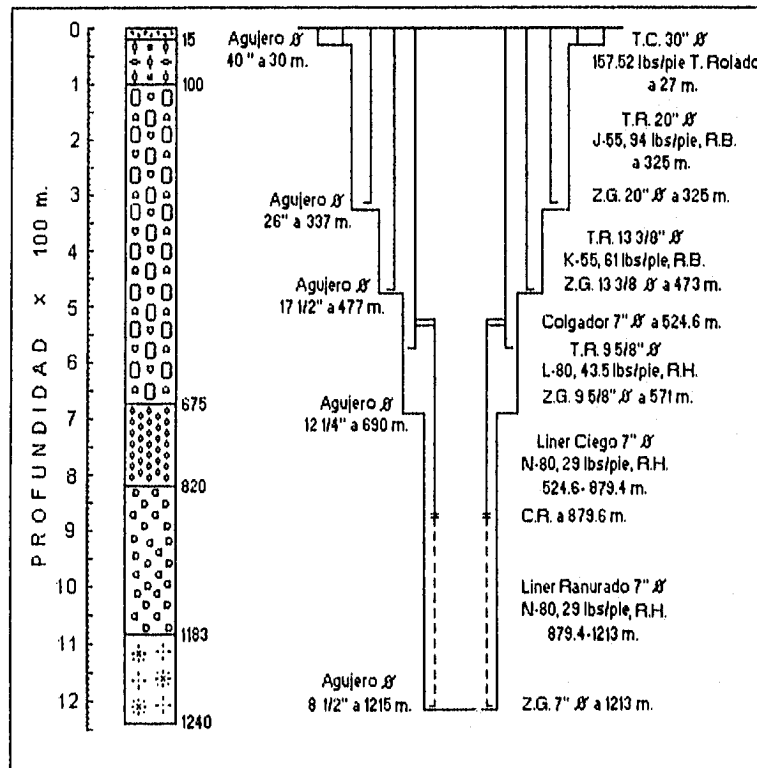


Fig. II.8 Esquema del pozo PR-5.

II.9 MEMORIA DE LA CONSTRUCCIÓN DE POZOS EN EL CAMPO GEOTÉRMICO LA PRIMAVERA JAL.

Segunda etapa (1984-1987).

La información de la perforación de los pozos geotérmicos PR-8, PR-9, PR-10 y PR-12 que fue proporcionada por el Instituto de investigaciones eléctricas (IIE) en el Departamento de Geotermia con sede en Cuernavaca Morelos.

II.9.1 Pozo PR-8.**a) Objetivo :**

El objetivo de este pozo fue el mismo de los pozos anteriormente mencionados.

b) Diseño :

- 1) Perforación de agujero con diámetro de 40 pg a desde la superficie hasta 20.0 m de profundidad para instalar un tubo conductor de 30 pg.
- 2) Perforación de agujero con diámetro de 26 pg desde la superficie hasta 180.0 m de profundidad para instalar una T.R. de 20 pg.
- 3) Perforación de agujero con diámetro 17 1/2 pg desde la superficie hasta 600.0 m de profundidad para instalar una T.R. de 13 3/8 pg.
- 4) Perforación de agujero con diámetro de 12 1/4 pg desde la superficie hasta 1500.0 m de profundidad para instalar una T.R. de 95/8 pg.
- 5) Perforación de agujero con diámetro de 8 1/2 pg desde la superficie hasta una profundidad favorable con características de producción, para colgar un liner de 7 pg.

c] Construcción :

- 1) Se perforó agujero con diámetro de 40 pg desde la superficie hasta 12.0 m de profundidad y se instaló un tubo conductor de 30 pg a 4.0 m, cementada totalmente.
- 2) Se perforó agujero de con diámetro de 26 pg desde la superficie hasta 160.0 m de profundidad y se instaló una T.R. de 20 pg a 155.0 m, cementándose por etapas.
- 3) Se perforó agujero con diámetro de 17 1/2 pg desde la superficie hasta 594.0 m de profundidad y se instaló una T.R. de 13 3/8 pg a 589.04 m, cementándose por etapas.
- 4) Se perforó agujero con diámetro de 12 1/4 pg desde la superficie hasta 1492.0 m de profundidad y se instaló una T.R. de 9 5/8 pg a 1424.0 m, cementándose por etapas.
- 5) Se perforó agujero con diámetro de 8 1/2 pg desde la superficie hasta 1861.0 m de profundidad y se instaló un liner de 7 pg combinado (ciego ranurado), cementándose desde 1351.0 m (boca del colgador) hasta 1850.0 m de profundidad. La longitud del liner ciego (89.5 m) viene desde los 1351.0 m hasta los 1440.5 m de profundidad. La longitud del liner ranurado (409.27 m) viene desde los 1440.5 m hasta los 1850.0 m de profundidad.

d] Resultados obtenidos :

- La perforación de este pozo se inició el día 30 de septiembre de 1984 y se terminó el día 26 de mayo de 1985, alcanzando una profundidad total de 1861.0 m.
- La boca del colgador quedó a 1351.0 m. Se bajo el liner de 7 pg hasta 1351.0 m, se ancló y colgó, quedando traslape de 71.73 m y la zapata quedó a 1850.32 m, la longitud del liner combinado (ciego y ranurado) es de 498.77 m.

e] Diagrama del pozo : Ver Fig. II.9.

II.9.2 Pozo PR-9.**a) Objetivo :**

El objetivo de este pozo fue el mismo de los pozos anteriormente mencionados.

b) Diseño :

El diseño fue similar al del pozo PR-8.

c) Construcción :

- 1) Se perforó agujero con diámetro de 40 pg desde la superficie hasta 12.0 m de profundidad y se instaló un tubo conductor de 30 pg a 12.0 m, cementada totalmente.
- 2) Se perforó agujero con diámetro de 26 pg desde la superficie hasta 105.0 m de profundidad y se instaló una T.R. de 20 pg a 103.0 m, cementándose por etapas.
- 3) Se perforó agujero con diámetro de 17 1/2 pg desde la superficie hasta 604.0 m de profundidad y se instaló una T.R. de 13 3/8 pg a 603.0 m, cementándose por etapas.
- 4) Se perforó agujero con diámetro de 12 1/4 pg desde la superficie hasta 1462.0 m de profundidad y se instaló una T.R. de 9 5/8 pg a 1309.5 m, cementándose por etapas.
- 5) Se perforó agujero con diámetro de 8 1/2 pg desde la superficie hasta 2986.0 m de profundidad y se instaló un liner de 7 pg combinado (ciego y ranurado), cementándose desde 1254.8 m (boca del colgador) hasta 2162.0 m de profundidad. La longitud del liner ciego (477.7 m) viene desde los 1254.8 m hasta los 1735.1 m de profundidad. La longitud del liner ranurado (426.7 m) viene desde los 1735.1 m hasta los 2162.0 m de profundidad.

d) Resultados obtenidos :

- La perforación de este pozo se inició el día 15 de junio de 1985 y se terminó el día 6 de noviembre de 1985, alcanzando una profundidad total de 2986 m.
- La boca del colgador quedó a 1254.8 m. Se bajó el liner de 7 pg hasta 1257.1 m, se ancló y colgó, quedando la zapata a 2162.3 m, la longitud del liner (combinado ciego y ranurado) es de 904.4 m.

e) Diagrama del pozo : Ver Fig. II.10.

II.9.3. Pozo PR-10.**a) Objetivo :**

El objetivo de este pozo fue el mismo de los pozos anteriormente mencionados.

b) Diseño :

El diseño del pozo es similar al del PR-8.

c) Construcción :

- 1) Se perforó agujero con diámetro de 40 pg desde la superficie hasta 12.0 m de profundidad y se instaló una tubo conductor de 30 pg a 12.0 m, cementada totalmente.
- 2) Se perforó agujero con diámetro de 26 pg desde la superficie hasta 105.0 m de profundidad y se instaló una T.R. de 20 pg a 101.0 m, cementándose por etapas.

- 3) Se perforó agujero con diámetro de 17 1/2 pg desde la superficie hasta 265.0 m de profundidad y se instaló una T.R. de 13 3/8 pg a 260.34 m, cementándose por etapas.
- 4) Se perforó agujero con diámetro de 12 1/4 pg desde la superficie hasta 820.0 m de profundidad y se instaló una T.R. de 9 5/8 pg a 814.13 m, cementándose por etapas.
- 5) Se perforó agujero con diámetro de 8 1/2 pg desde la superficie hasta 1800.0 m de profundidad y se instaló un liner ciego de 7 pg, cementándose el liner ciego que tiene una longitud de 1056.0 m.
- 6) Se perforó agujero con diámetro de 5 7/8 pg desde la superficie hasta 2271.0 m de profundidad y se instaló un liner con diámetro de 4 1/2 pg, cementándose desde los 1663.1 m (boca del colgador) hasta 1243.0 m de profundidad (profundidad donde se encuentra la zapata). La longitud de este liner es de 480.0 m.

d) Resultados obtenidos :

- La perforación de este pozo se inició el día 29 de noviembre de 1985 y se terminó el día 2 de agosto de 1986, alcanzando una profundidad total de 2271.0 m.

e) Diagrama del pozo : Ver Fig. II.11.

II.9.4 Pozo PR-12.

a) Objetivo :

El objetivo de este pozo fue el mismo que el de los pozos anteriormente mencionados.

b) Diseño :

El diseño fue similar al del pozo PR-8.

c) Construcción :

- 1) Se perforó agujero con diámetro de 40 pg desde la superficie hasta 12.1 m de profundidad y se instaló un tubo conductor de 30 pg a 12.0 m, cementada totalmente.
- 2) Se perforó agujero con diámetro de 26 pg desde la superficie hasta 110.0 m de profundidad y se instaló una T.R. de 20 pg a 108.0 m, cementándose por etapas.

d) Resultados obtenidos :

- La perforación de este pozo se inició el día 11 de junio de 1986.
- El pozo PR-12 se planeó perforar hasta la profundidad de 2500.0 m.

e) Diagrama del pozo : Ver Fig. II.12.

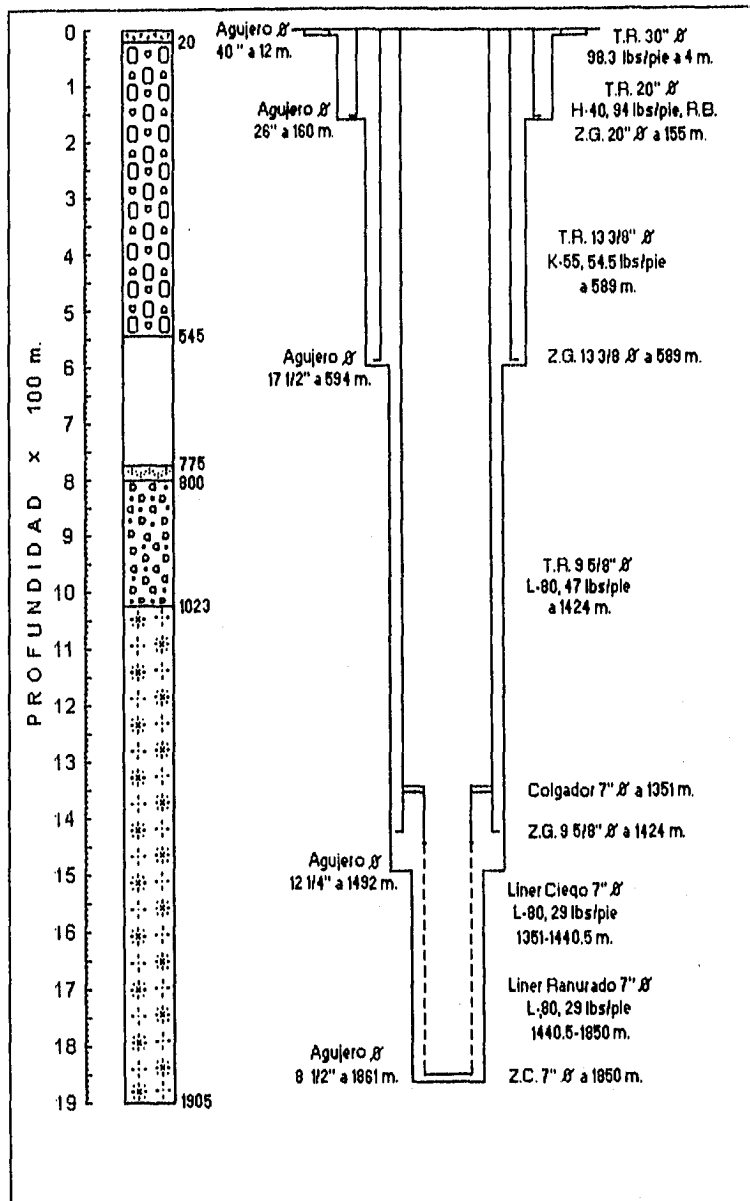


Fig. II.9 Esquema del pozo PR-8.

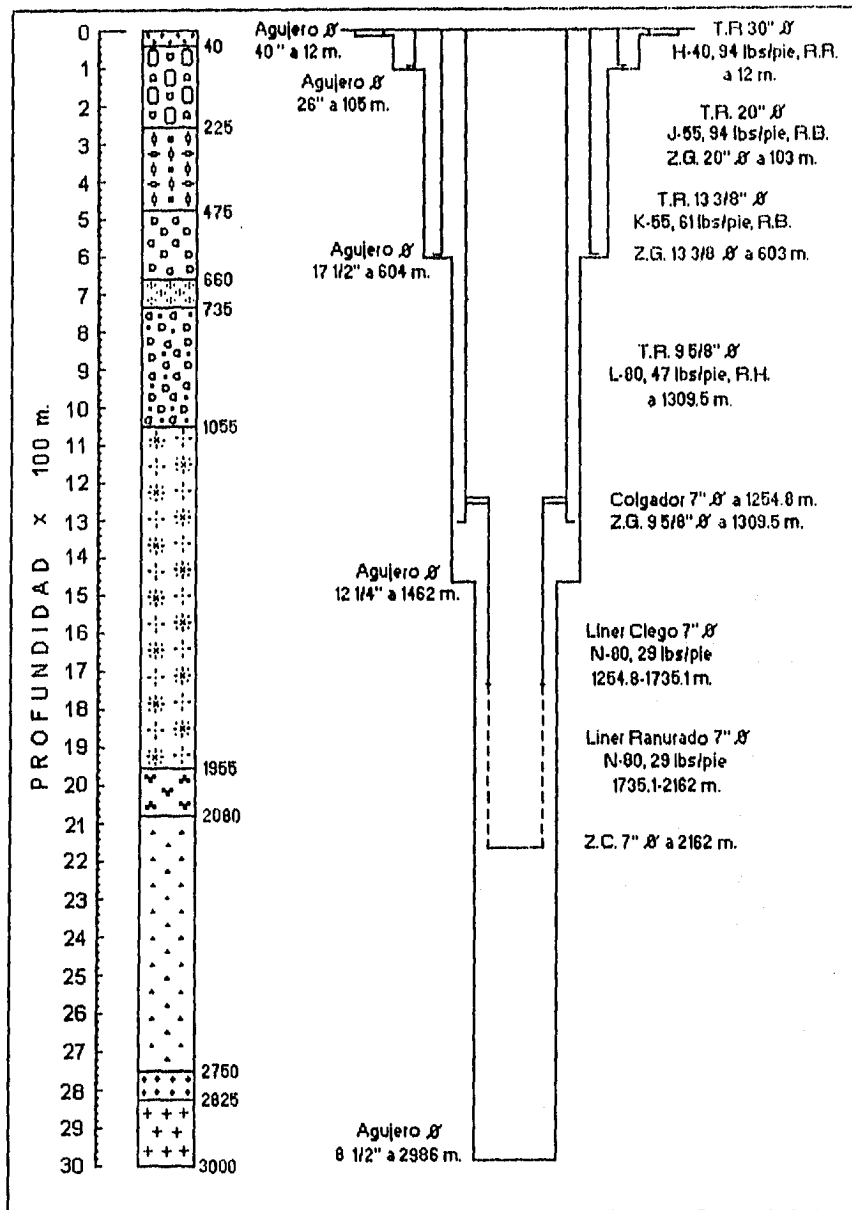


Fig. II.10 Esquema del pozo PR-9.

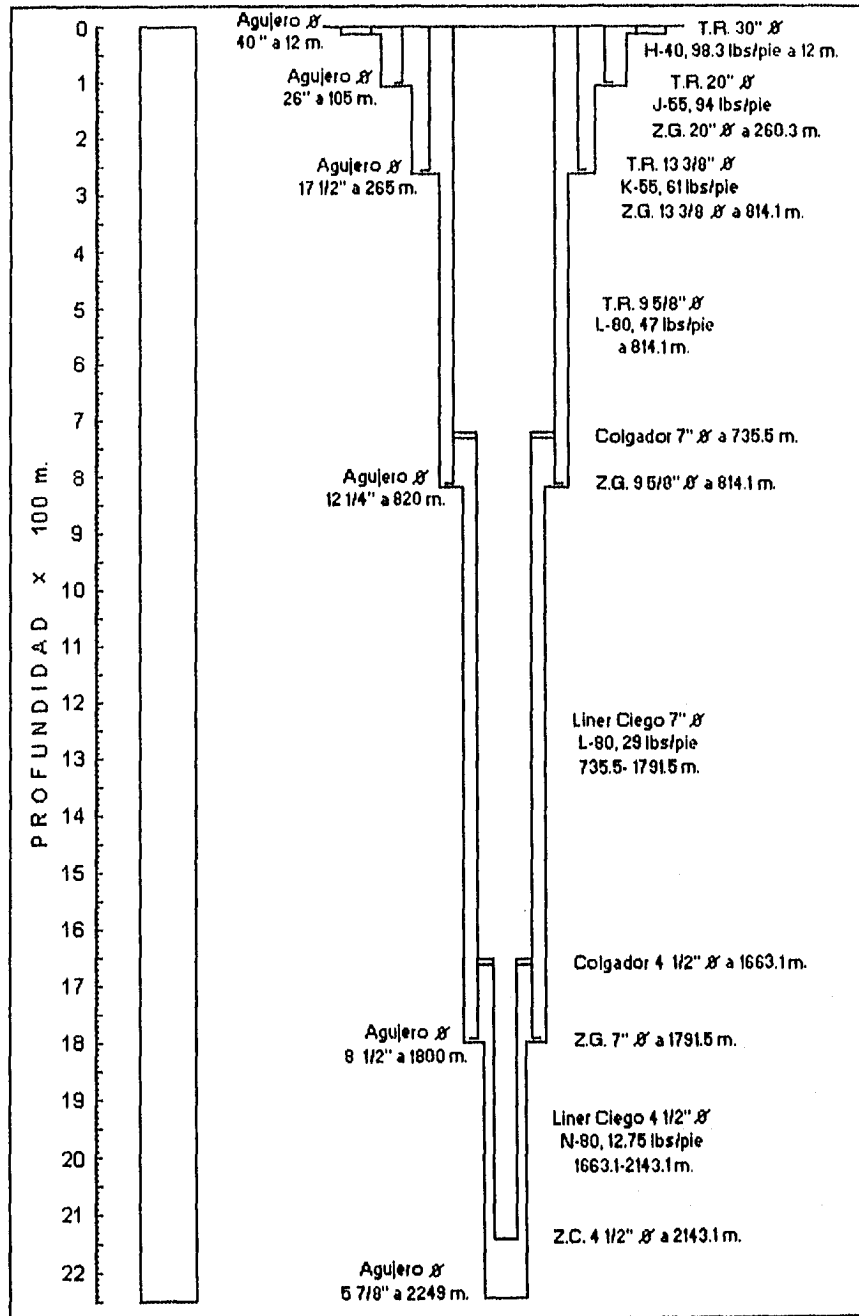


Fig. II.11 Esquema del pozo PR-10.

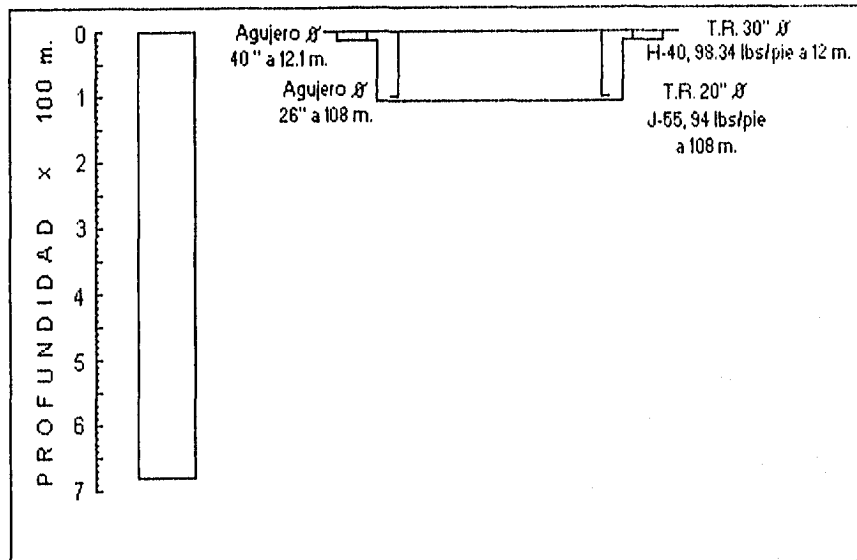
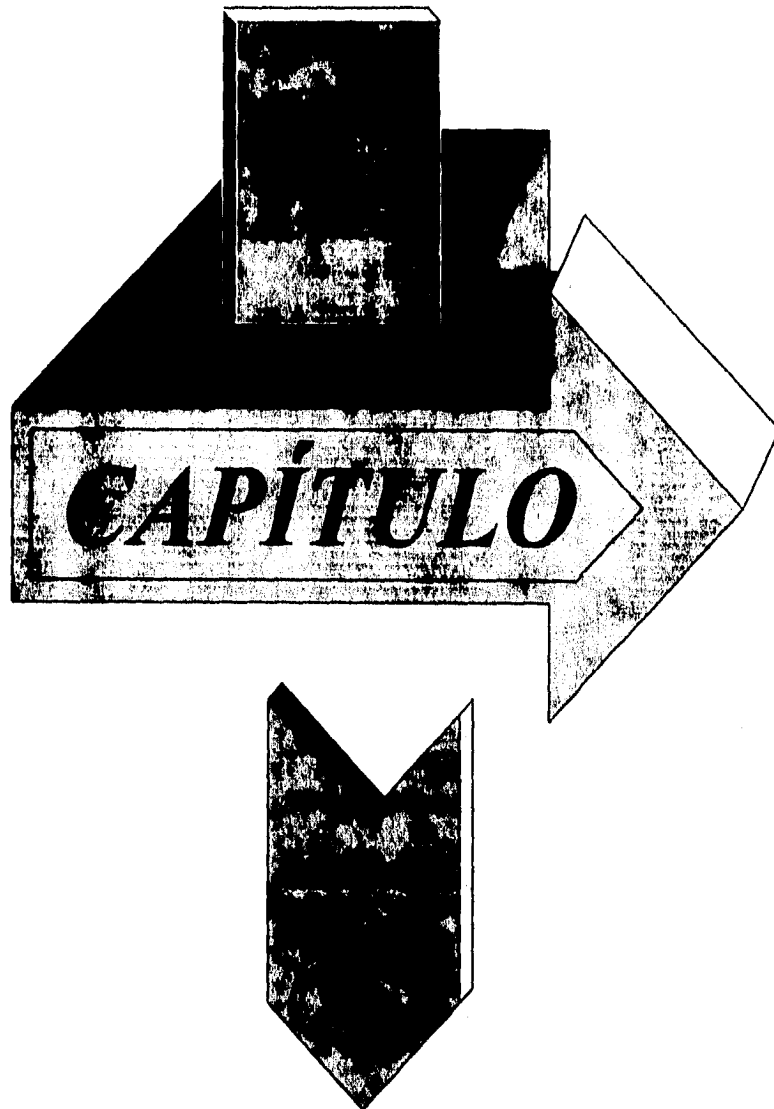


Fig. II.12 Esquema del pozo PR-12.



***ELABORACIÓN DE BASE DE
DATOS.***

Una vez que se tiene suficiente información histórica de los datos del estado mecánico de los pozos del campo geotérmico La Primavera, Jal., se requiere una base de datos que nos permita, mediante un programa de computo almacenar, procesar, manipular, dicha información a través del uso de dispositivos magnéticos (cintas y discos).

En este capítulo, la base de datos se elabora a través del lenguaje de programación Básica (Quick BASIC 4.5) y el MS-DOS (versión 5.0 o superior), debido a la facilidad y la versatilidad para el manejo de programas de computo con soporte para los registros del archivo de datos, presentando tablas y esquema sobre el estado mecánico del pozo.

III.1 PROCESAMIENTO DE ARCHIVOS EN Quick BASIC BAJO MS-DOS.

La programación clásica con un lenguaje compilador requiere siempre de un editor, un enlazador, un compilador y un depurador para realizar el proceso completo de puesta a punto de programas.

Los compiladores como el Quick BASIC 4.5 incluyen un conjunto de programas que permiten tener las cualidades antes descritas. El conjunto de todos estos programas con el tratamiento integrado y simultáneo, proporciona una excelente herramienta de programación en manos del programador.

Los soportes de almacenamiento magnético, como cintas y discos, sirven para contener la información de manera permanente, con el objeto de que no se pierda ésta, cuando se desconecte la energía eléctrica de la computadora.

Toda la información grabada en un disco se almacena en archivos que contienen información lógica relacionada entre sí. Esta información se organiza de varias formas, dando lugar a diferentes tipos de archivos.

Para que el Sistema Operativo DOS y el lenguaje Quick BASIC puedan reconocer y manejar los diferentes archivos que se desea grabar o que ya existen en disco duro, deben tener un nombre que los identifique y los distinga entre si.

III.2. QUÉ ES UN ARCHIVO.

En la solución de problemas de carácter informático, se tiene la necesidad de :

- Guardar información entre procesamientos sucesivos.
- Poder acceder a esta información en función de los trabajos a realizar.
- Conocer bien el trabajo a ejecutar, para determinar la estructura de la información y su volumen a fin de definir un soporte magnético.

Cualquier información almacenada en un disco incluyendo los programas, se denomina archivo. En esencia, un archivo es un conjunto o colección de datos que, en el caso informativo, están asociados un dispositivo físico (disco, cinta magnética, etc.).

En resumen, un archivo es un conjunto de datos que se almacena en un disco o cinta magnética y que tienen una determinada dimensión.

Existen cuatro grupos de archivos que son : Los archivos de sistema operativo, los archivos de programas, los archivos de datos y los archivos de texto.

Archivos de sistema operativo : Este tipo de archivos contienen ordenes del sistema operativo DOS y programas ejecutables (traducciones de programas escritos en lenguajes de alto nivel, tipo compilador y que han sido compilados). Se manejan directamente por el sistema operativo y se ejecutan para realizar la orden correspondiente.

Archivos de programas : Están compuestos de instrucciones que deberá realizar la computadora cuando se corra o ejecute el programa, es decir, programas escritos en el lenguaje de programación BASIC, PASCAL, FORTRAN, COBOL, etc. Algunas operaciones se pueden realizar sobre archivos de programas desde DOS. Existen archivos de programas que se pueden grabar en disco con formato de texto (código ASCII) y que podrán ser manipulados con las ordenes EDLIN y TYPE de DOS.

Archivos de datos : Son archivos que contienen cualquier tipo de información que pueda ser dispuesta en listas o tablas. Es el mejor medio para almacenar este tipo de información flexible, pueden ser creados por el sistema operativo o también por la ejecución de ambientes de programación, como el basic u otro lenguaje. En esencia, los archivos de datos se crearan y se manipularan mediante programas de computo, y en ocasiones será posible algún tipo de procesamiento mediante ordenes del DOS tipo TYPE, PRINT, SHELL, SORT.

Archivos de texto : Se utilizan para almacenar información tipo texto, como letras, lista de nombres etc., se suelen crear y mantener mediante programas procesadores o editores de texto.

III.3 ORGANIZACIÓN DE ARCHIVOS Y ACCESO A SU INFORMACIÓN.

El orden de los registros es de gran importancia para el proceso o administración correcto del archivo. Este orden deberá ser en función de su uso, por lo que existe una relación entre el uso y el modo de disponer los registros sobre el soporte, para ello, se requiere una organización.

La organización de archivos se refiere al medio en el que se almacenan los registros y el acceso a archivos se refiere al modo en que se encuentran los registros. Normalmente los registros se almacenan y encuentran en espacios de campo denominados por nombres o claves de campo. Los archivos difieren entre si en su organización ya que dependen de la forma de almacenamiento y el medio de acceso. Por lo que existen las siguientes tipos de organización.

- Secuenciales.
- Aleatorios.
- Secuencial Indexado.

Archivos secuenciales : En este método los registros están dispuestos en orden, unos a continuación de otros, en el orden en que fueron introducidos. Los registros están ordenados o en secuencia según un campo específico o clave. Tienen la ventaja de ocupar muy poco espacio, ya que cada registro toma solamente la cantidad de espacio requerido por sus campos, Es decir, las longitudes de los registros dependerán del tamaño de los campos dentro de los registros.

Los archivos secuenciales se utilizan para almacenar información que va sufrir pocas modificaciones en el transcurso de su vida, o cuando el número de datos que componen el archivo es de 80 a 200 registros aproximadamente , es pequeño y permite, su introducción en una matriz en memoria central, por lo que puede ser utilizado directamente con variables de un programa.

El inconveniente que tiene, es que su lectura se ejecuta de manera ordenada y no puede leerse de manera aleatoria o directa un dato o grupos de datos al que se desea acceder, son más lentos que otro tipo de archivos.

Se suelen emplear para aplicaciones donde todos o la mayoría de los registros necesitan ser procesados por lotes, cuando las secciones de trabajo son cortas, para que el tiempo de acceso no sea muy grande, o en archivos cuya consulta no es frecuente.

Archivos aleatorios : Se nombran también como archivos de acceso directo, ya que permiten un acceso directo o al azar de un registro deseado en cualquier momento sin necesidad de tener que pasar previamente por los anteriores, o bien, se puede escribir y leer de ellos en modo aleatorio, del cual difieren de los archivos secuenciales en cuanto al tamaño o longitudes de los registros, ya que los archivos de tipo secuencial son registros de longitud fija y no variable como es el caso de los archivos aleatorios.

La ventaja considerable de los archivos de acceso directo, es su rapidez de acceso, dan mayores capacidades de procesamiento y son útiles cuando la información a procesar (los datos) tienen la misma estructura como por ejemplo la típica agenda de direcciones con datos básicos generales como nombre, dirección, teléfono, etc.

Las desventajas en el manejo de este tipo de archivos es que al utilizar registros de longitud fija, se malgasta el espacio de disco si se coloca información de menor longitud que la establecida para cada registro, además de que, el espacio que se requiere acceder la misma cantidad de información en el disco es mayor en el caso de archivos de tipo aleatorio, que el caso de archivos de tipo secuencial.

Archivos secuenciales indexados : Se dice que un archivo tiene una organización indexada cuando sus registros están ordenados por un campo que se denomina clave del registro y determina su posición en el archivo, por lo que la computadora reconoce cada registro por su campo clave. Esta clave o índice proporciona a los programas de cómputo una característica para acceder a cualquier registro especificado, sin tener que leer todos los registros que le preceden. Esta cualidad, se le llama acceso aleatorio, ya que se puede acceder a cualquier registro del archivo con independencia del registro que se acaba de leer.

La ventaja de este tipo de archivos es que los nuevos registros se pueden añadir al archivo, sin destruir la naturaleza esencialmente secuencial del mismo. La importancia de esta organización, es que si bien se puede acceder directamente a los registros, se almacena secuencialmente y se puede acceder a ellos secuencialmente y en otras ocasiones aleatoriamente, además de que el acceso de lectura es mucho más versátil y rápido que el caso de archivos de tipo aleatorio.

El inconveniente de estos archivos es que el acceso de registros en el disco ocupa más espacio.

III.4 SELECCIÓN DE DATOS PARA DESARROLLAR LA BASE DE DATOS.

La selección de los datos se realizó, en función al grado de importancia y su influencia a la corrida del programa editor de archivo de datos tipo secuencial, ya que consideramos que éste es el adecuado, debido a que no contempla una cantidad grande de datos, además de que su diseño contempla 4 Estructuras :

- a) La edición de registro con los datos que contienen la información de carácter general del pozo.
- b) La edición de registro con información ordenada de datos concernientes a la construcción del pozo como características del agujero y tubería de revestimiento (T.R.).
- c) La edición de registro también abarca información de manera ordenada de las características de producción (T.P.) y Empacador.
- d) La edición de registro contempla información acerca del pozo que han sido taponados, es decir, del tapón de cemento.

Cabe señalar que para el diseño de las estructuras b y c se tomaron en cuenta los datos que se obtuvieron y se confirmaron a través de una ruta crítica de diseño y selección de barrenas (agujero) y corrida de T.R., Liner y T.P. que se muestra en la Fig. 1.6 del Capítulo I.

III.5. INFORMACIÓN QUE CONTIENE LA ESTRUCTURA DE DATOS.

El programa de edición de datos esta estructurado por cuatro partes :

III.5.1 Estructura 1 Información general del pozo : Los registros requeridos para estructura son :

- [1] FN = Nombre del Campo.
- [2] WN = Número de Pozo.
- [3] LPCX = Coordenada X del Plano de Localización del Pozo en m.
- [4] LPCY = Coordenada Y del Plano de Localización del Pozo en m.
- [5] FIP = Fecha de Inicio de Perforación del Pozo.
- [6] FTP = Fecha de Terminación de Perforación del Pozo.
- [7] PTP = Profundidad Total del Pozo en m. $\{0 < PTP \leq 3000\}$
- [8] EIP = Espesor del Intervalo Productor en m.
- [9] PMIP = Profundidad Media del Intervalo Productor en m. $\{0 < PMIP \leq PTP\}$
- [10] APIC = Grado API del Cemento.
- [11] Pf = Porosidad de la Formación Productora en fracción.
- [12] Kf = Permeabilidad de la Formación Productora md.
- [13] CML = Condado Municipio y Localidad.
- [14] STCD = Estado o Ciudad.
- [15] KB = Barreton Cuadrado (Kelly Bushing).
- [16] GRE = Elevación Sobre el Nivel del Mar (Ground Elevation) en msnm.
- [17] PTPB = Profundidad del Tapón Cementador (Plugged Back) m.
- [18] CIA = Compañía, Empresa, Operador.
- [19] NEA = Número de Etapas de Agujero. $\{1 \leq NEA \leq 6\}$

- [20] NEA = Número de Etapas de T.R. y/o Liner. $\{1 \leq NEA \leq 6\}$
- [21] NEP = Número de Etapas de T.P. $\{1 \leq NEP \leq 3\}$
- [22] Tipo de Pozo = $\{1 \text{ o } 2\}$

De la información anterior hay que indicar que los datos más importantes para esta estructura debido a su orden de trascendencia son :

- a) El Tipo de Pozo. En general se presentan dos opciones que son :
- 1 Pozo de exploración (perforación)
 - 2 Pozo de desarrollo (prueba de producción, productor, inyector)
- b) Profundidad Total del Pozo. Para el caso de los pozos geotérmicos el rango de profundidades es : $0 < PTP \leq 3000$ m.
- c) Número de etapas de Agujero Perforado. En este caso serán de 1 a 6 conforme a la información individual que se obtuvo de los pozos de los campos geotérmicos más importantes de México.
- d) Número de etapas de T.R. y/o Liner. También se consideran de 1 a 6 etapas debido a que no necesariamente el número de etapas tanto para el agujero como de T.R. y/o Liner son similares, siendo incluso las etapas de T.R. menor que las etapas de agujero.
- e) Número de Etapas de T.P. Aquí sólo se contemplan de 1 a 3 etapas considerando que en términos teóricos el pozo estuviera atravesando 1, 2 y 3 intervalos productores a diferentes profundidades de los cuales, uno sólo produce y los demás se cierran.

Cabe señalar que cada etapa tiene su propio empacador y que únicamente se tienen que definir, qué etapa es la productora o de inyección.

También se considera importante la historia del pozo, sólo que esta información no se manipulará en el desarrollo de las siguientes estructuras.

III.5.2 Estructura 2 Información del agujero y tuberías de revestimiento : Los registros que componen esta estructura son :

- DIÁMETRO = Diámetro del Agujero en pg.
- PFIN = Profundidad Final del Agujero en m.
- DIÁMETRO = Diámetro de la T.R en pg.
- PFIN = Profundidad Final de la T.R. o Liner en m.
- PINI = Profundidad Inicial del Liner Ciego en m.
- PINIR = Profundidad Inicial del Liner Ranurado en m.
- GRADO = Grado de T.R. y/o Liner.
- PESO = Peso de la T.R. y /o Liner en lb/pie.
- ROSCA = Tipo de rosca.

Esta estructura de datos presenta información que esta relacionada con los datos principales de información general acerca del pozo. Donde el diámetro y la profundidad final del agujero esta relacionada con el tipo de pozo, la profundidad total del pozo y el número de etapas de agujero, los rangos de trabajo de estos datos son los siguientes :

- a) El tipo de pozo puede ser de exploración o de desarrollo.
- b) $0 < \text{Diámetro de Agujero} \leq 40$ pg.
- c) $1 \leq \text{Número de Etapas de agujero} \leq 6$.
- d) $0 < \text{Prof. Fin. de Agujero} \leq \text{Prof. Total del Pozo}$.

Para el diámetro y profundidad final de la T.R. y/o Liner, su manejo estará en función de los siguientes rangos :

- a) El tipo de pozo no se tiene restricción si se considera como exploratorio o desarrollo.
- b) $0 < \text{Diámetro de T.R.} \leq 40 \text{ pg.}$
- c) $1 \leq \text{Número de Etapas de T.R.} \leq 6.$
- d) $0 < \text{Prof. Fin. de T.R. o Liner} \leq \text{Prof. Total del Pozo.}$

Para la profundidad inicial de liner ciego y la profundidad inicial del liner ranurado, el manejo de esta información estará en función de los siguientes rangos :

- a) El tipo de pozo no se tiene restricción en caso de que sea exploratorio o de desarrollo.
- b) Pueden presentarse cuando mucho 2 etapas de liner colgados en la última T.R. que viene desde la superficie; generalmente es la tubería intermedia (9 5/8 pg).
- c) $0 < \text{Prof. Ini. de Liner Ciego} \leq \text{Prof. Total del Pozo.}$
- d) $0 < \text{prof. Ini. de Liner Ranurado} \leq \text{Prof. Total del Pozo.}$

Los rangos de los datos antes señalados son importantes, debido a que en la edición de los registros para el archivo de datos, nos permite corregir o depurar los errores que se presentan al editar en el momento de que estos registros se manipulen con programas de computo que se adaptan para este tipo de arreglos, como pueden ser un gráfico estadístico, tablas, etc.

Los otros datos que contiene la segunda estructura, también no son importantes en cuanto a la manipulación de estos, donde sólo suelen editarse para que proporcionen información más específica acerca de las características del agujero y tuberías de revestimiento y o liner.

III.5.3 Estructura 3 Información de las tuberías de producción y empacador : Contempla los registros siguientes :

- DIÁMETRO = Diámetro de T.P. en pg.
- PFIN = Profundidad Final de la T.P. en m.
- PINI = Profundidad Inicial de T.P. en m.
- GRADO = Grado de la T.P.
- PESO = Peso de la T.P. en lb/pie.
- ROSCA = Tipo de Rosca.
- PFIN = Profundidad Final del Empacador en m.
- PINI = Profundidad Inicial del Empacador en m.
- FESC = Factor de Escala para Diámetro del Empacador. $\{23 \leq FESC \leq 68\}$

En esta estructura, encontramos que los registros más importantes en el caso de la tubería de producción es el diámetro, la profundidad final e inicial de T.P.; ya que esta depende de los datos básicos de la primera estructura como son :

- a) El tipo de pozo, donde la única opción de manipulación del dato, es cuando el pozo está en desarrollo.
- b) $0 < \text{Diámetro de T.P.} \leq 5 \frac{1}{2}$ pg.
- c) $1 \leq \text{Número de Etapas de T.P.} \leq 3$
- d) $0 < \text{Prof. Fin. de T.P.} \leq \text{Prof. Total del Pozo.}$
- e) $0 < \text{Prof. Ini. de T.P.} \leq \text{Prof. Total del Pozo.}$

La manipulación de los registros de la información acerca del empacador, se manejan de manera similar como en el caso de los datos de la T.P., de acuerdo con los siguientes rangos :

- a) El tipo de pozo, se manipula por la misma opción que el caso de la T.P.
- b) Número de empacadores a utilizar dependerá de número de etapas de T.P. así como el factor de escala para el diámetro del empacador.
- c) Los rangos de profundidad final e inicial para colocación de los empacadores son similares al caso de la T.P.

III.5.4 Estructura 4 Información del tapón de cemento : Contiene registros que hablan sobre las características del cemento con el que se desea taponar el pozo debido a los problemas que suelen presentarse durante la perforación.

- DIÁMETRO = Diámetro a la cual se desea taponar el pozo en m.
- PFIN = Profundidad final donde se coloca la lechada del cemento para el tapón en m.
- PINI = Profundidad Inicial donde se coloca el nivel de la lechada del cemento para el tapón en m.
- VOLUMEN = Volumen de la lechada de cemento en m³.
- DENSIDAD = Densidad de la lechada de cemento en gr/cm³.
- TIPO = Tipo de cemento.
- FESC = Factor de escala para el tapón. {29 ≤ FESC ≤ 79}

Los rangos de profundidad y diámetro son similares a las del agujero.

III.6 PRESENTACIÓN DE LA BASE DE DATOS.

La presentación de las estructuras que componen la base de datos, se realiza mediante edición en pantalla de ventanas con celdas de captura de datos, las cuales pueden ser modificados, reeditarse e imprimirse por pantalla o en impresora. Los esquemas del agujero y tuberías del pozo, se imprimen también por pantalla y para editarse por papel en la impresora se utiliza el comando GRAPHICS.COM del sistema operativo MS-DOS.

Los esquemas de los pozos que pertenecen al campo geotérmico "La Primavera" que se muestran en la sección II.8 y II.9 del Capítulo II, fueron hechos por el programa de base de datos que se propone en los puntos anteriores. Posteriormente se dan a conocer los diagramas de flujo y programa que integra la base de datos.

III.7. DIAGRAMAS DE FLUJO Y PROGRAMA DE LA BASE DE DATOS.

En esta sección se muestran los diagramas de flujo de los registros de datos que integran las estructuras anteriormente descritas. Las Figuras III.7 y III.8 manejan los datos de la estructura 1. La Fig. III.9 maneja los registros de la estructura 2. La Fig. III.10 maneja los datos de la estructura 3. La Fig. III.11 maneja datos de la estructura 4. Estos conforman la parte esencial del programa de base de datos.

También se presentan los diagramas de flujo que permiten el acceso de entrada y salida de datos que constituyen las estructuras ya descritas a través de los comandos LOAD (llamar), OPEN (abrir), EDIT (editar), SAVE (salvar) y ESQUEMA-GRAFICO de agujero y tuberías del pozo; como parte complementaria del programa de bases de datos (Figuras III.1 a la III.6).

Estos diagramas de flujo son traducidos en subrutinas en lenguaje Quick Basic 4.5 e integrados en un programa ejecutable llamado WELLCAM versión 1.0.

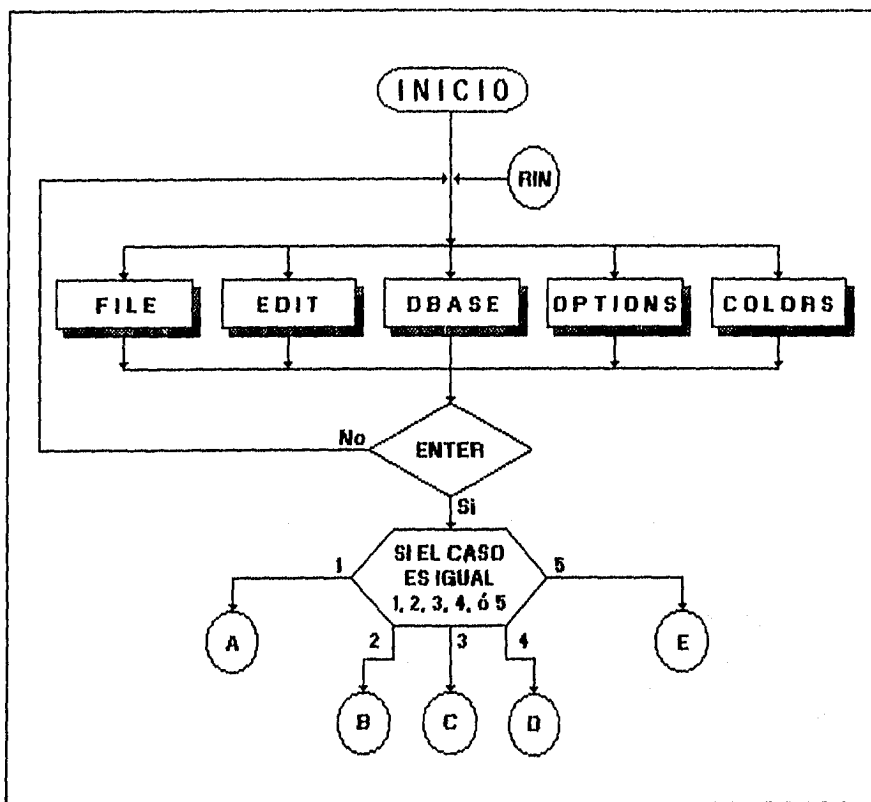


Fig. III.1 Diagrama de flujo inicial "Menu de acceso principal de edición de archivo de datos".

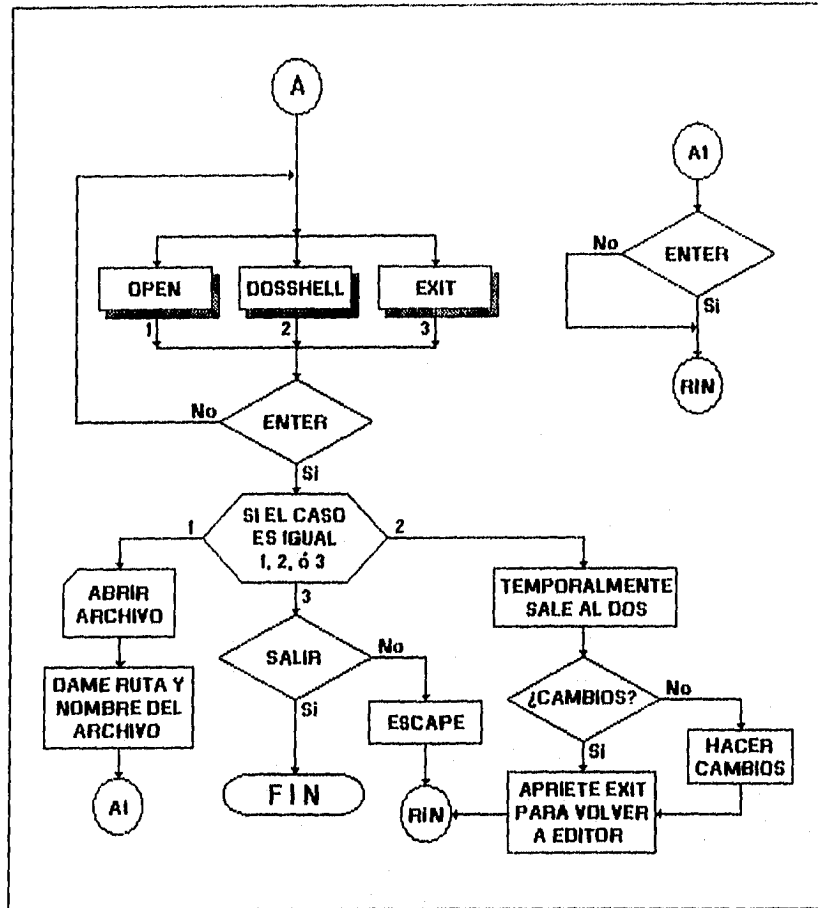


Fig. III.2 Diagrama de flujo A "Menu de acceso a edición de entrada de archivo.

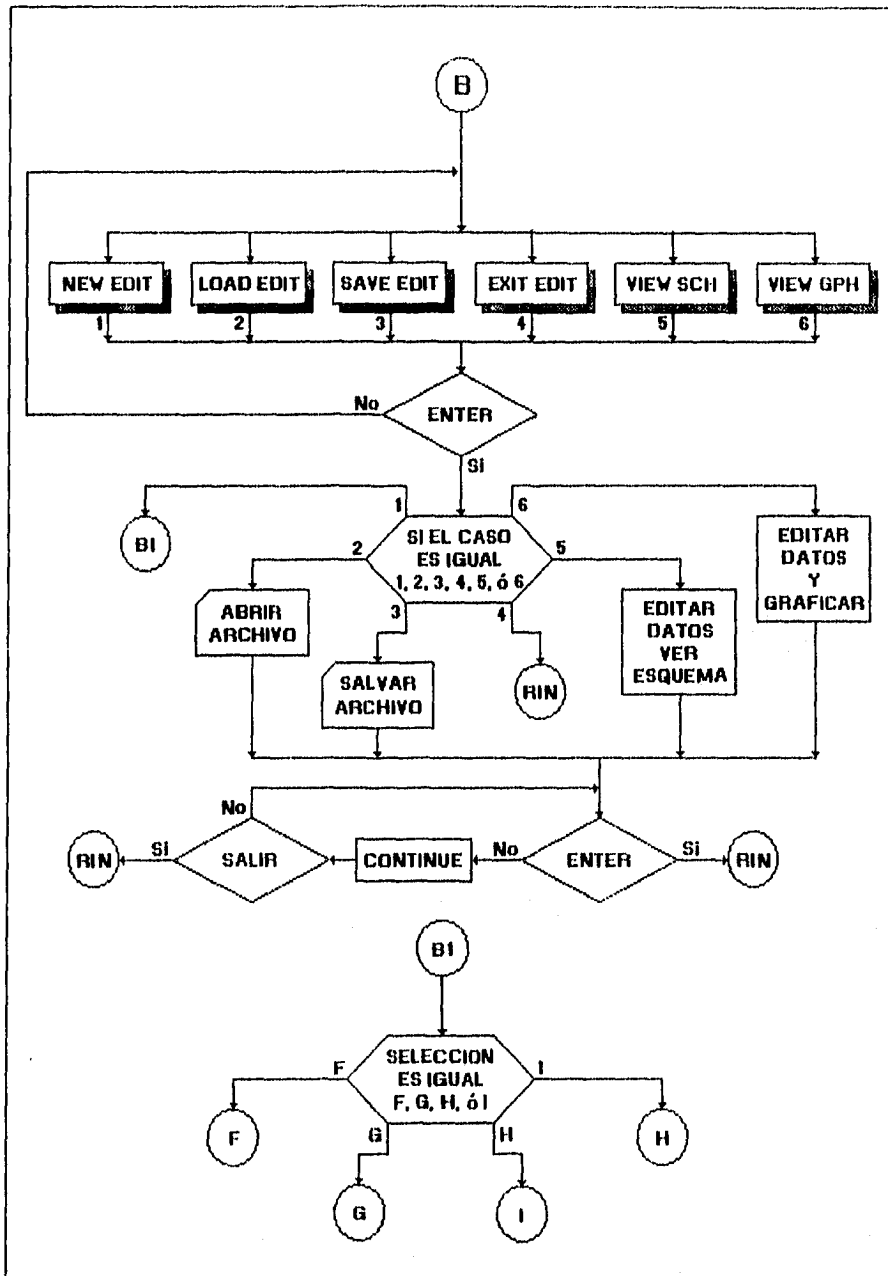


Fig. III.3 Diagrama de flujo B "Menu de acceso a edición de entrada y salida de archivo".

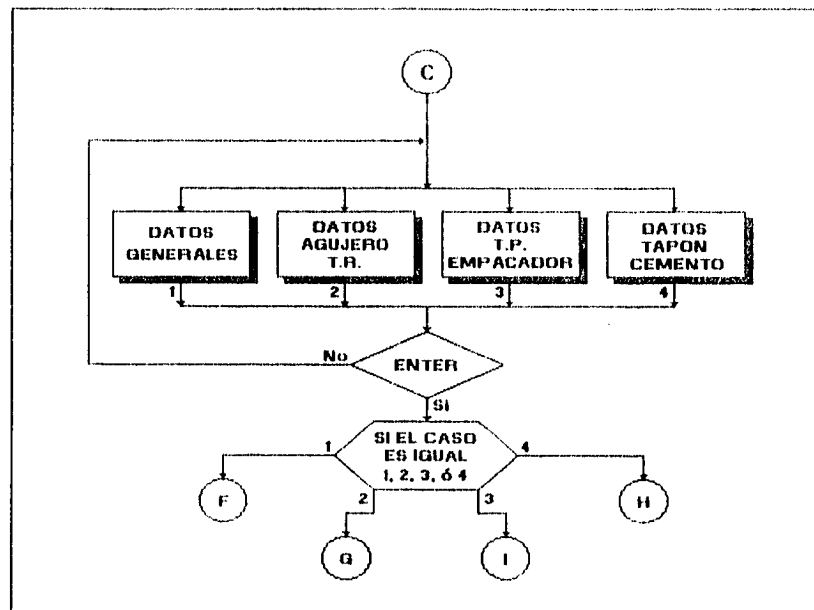


Fig. III.4 Diagrama de flujo C "Menu de acceso a la estructura de datos del pozo".

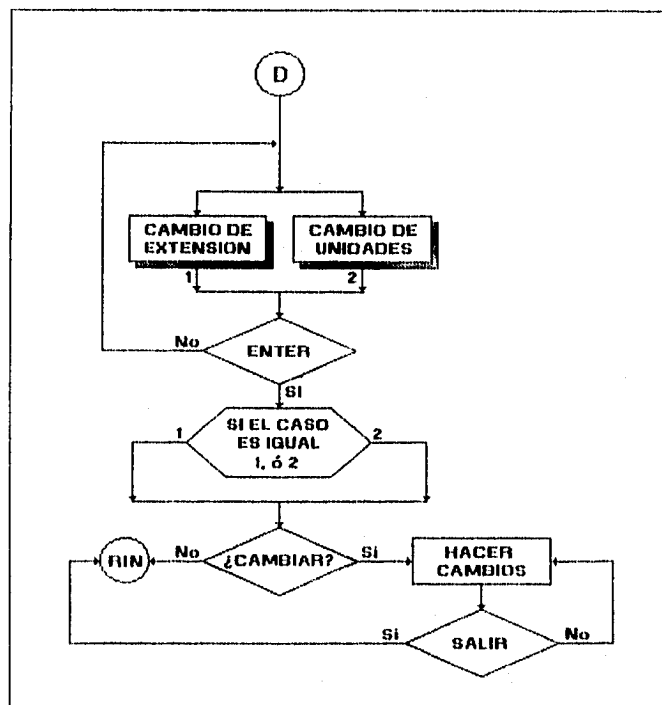


Fig. III.5 Diagrama de flujo D "Menu de formato de archivo".

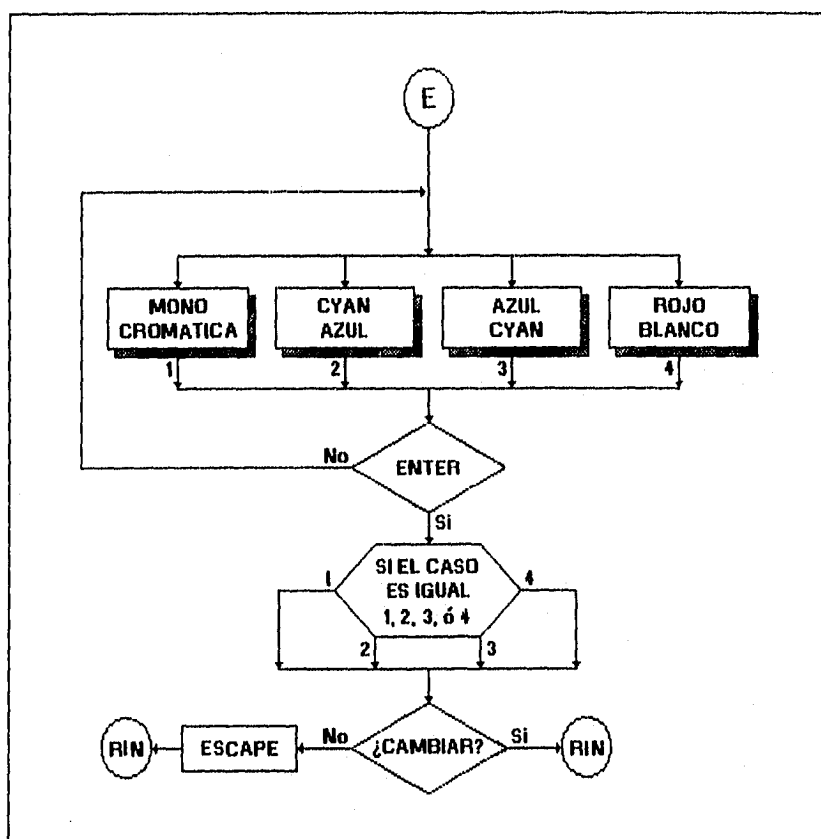


Fig. III.6 Diagrama de flujo E "Menu de tipo de monitor".

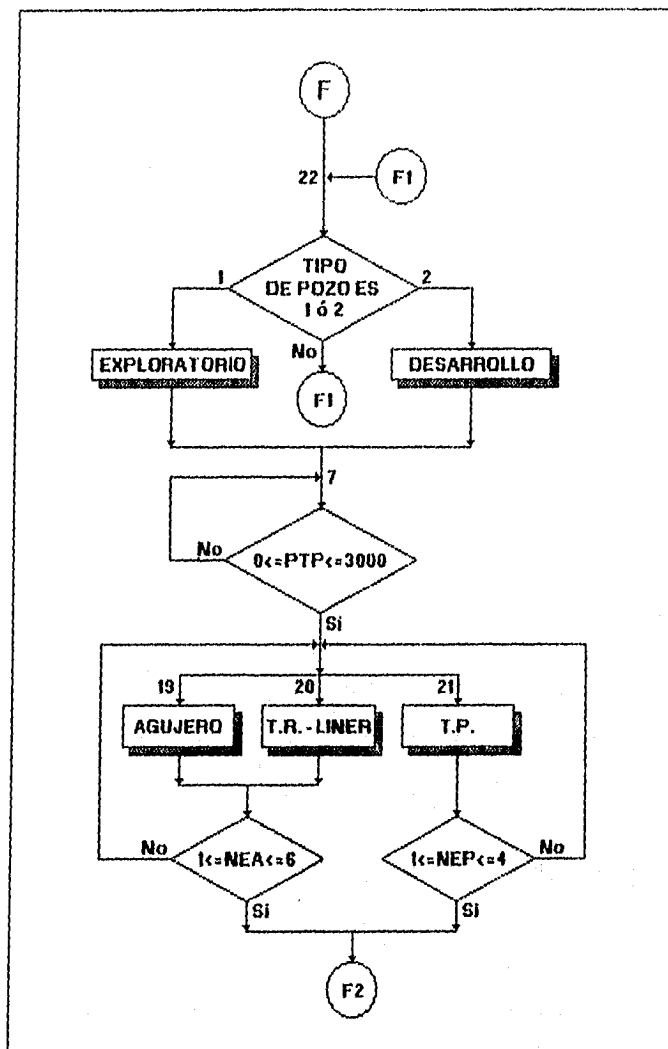


Fig. III.7 Diagrama de flujo F "Edición de captura de datos generales del pozo, estructura 1".

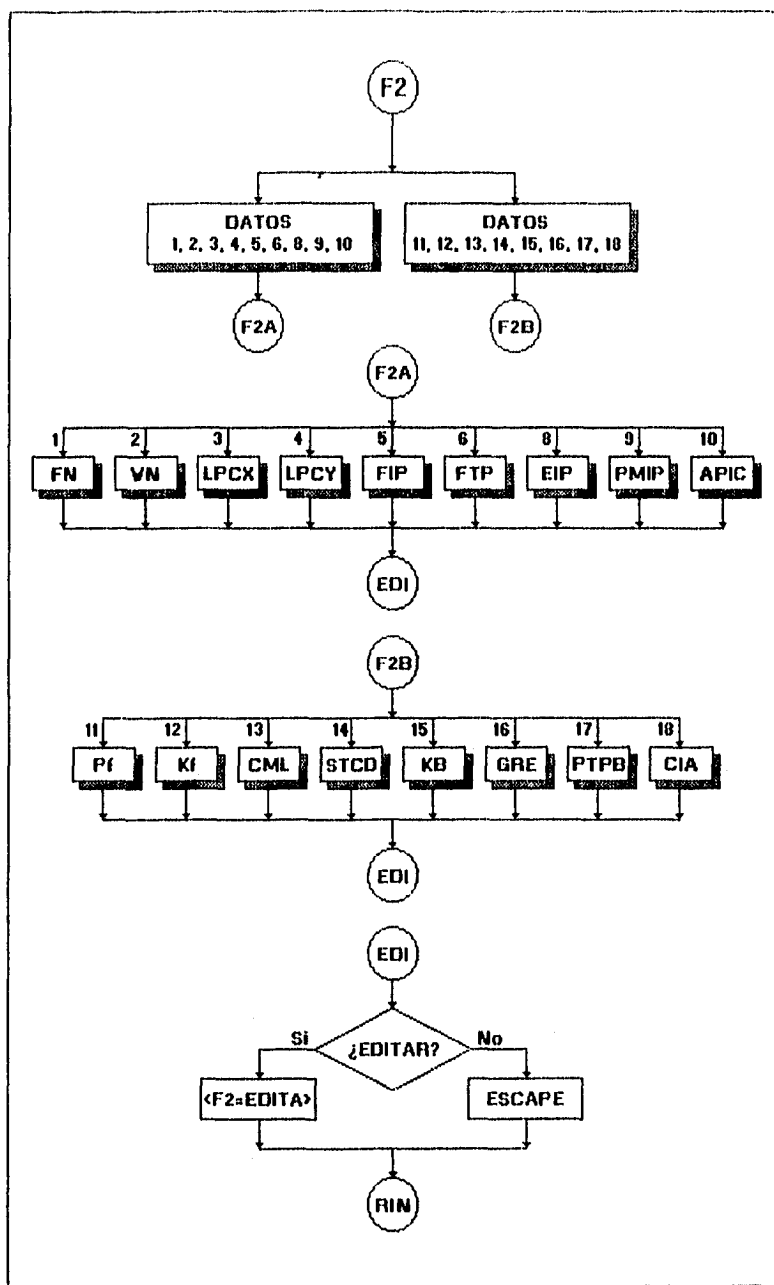


Fig. III.8 Diagrama de flujo F "Edición de captura de datos generales del pozo, estructura 1 (continuación)".

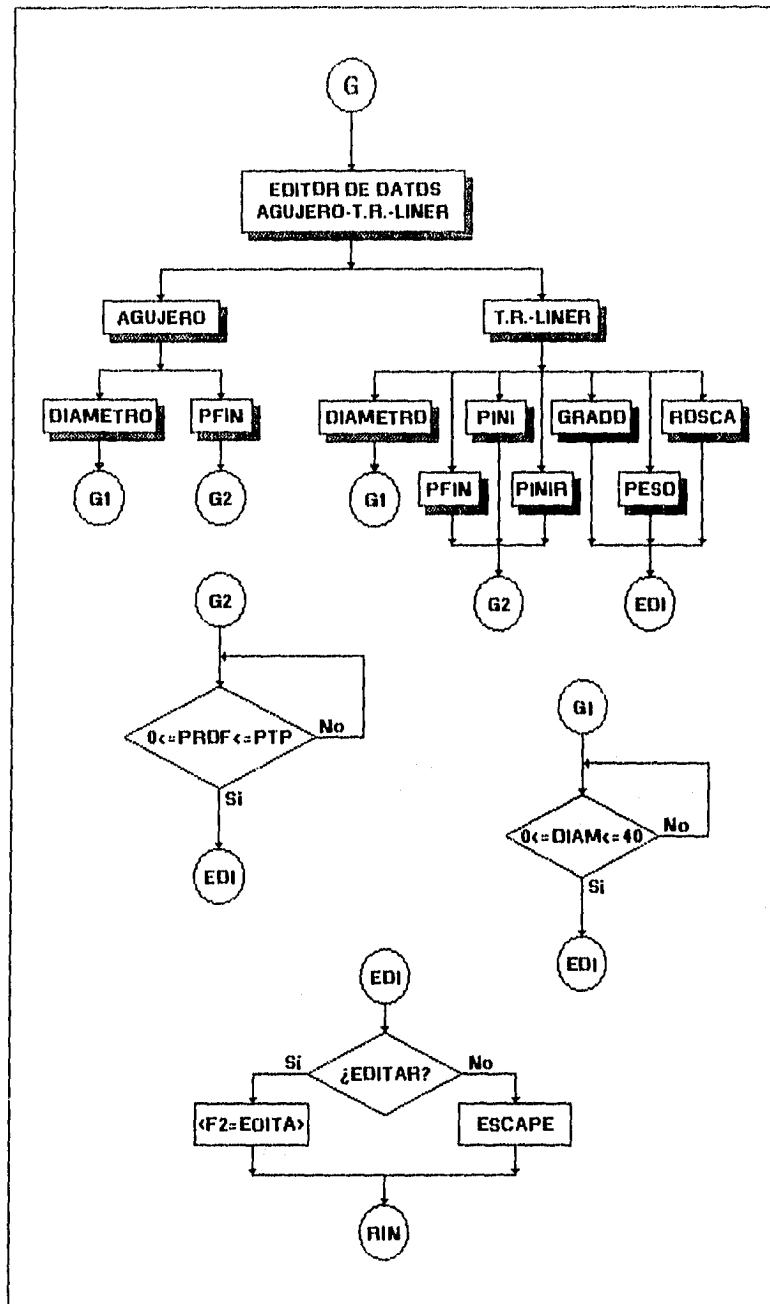


Fig. III.9 Diagrama de flujo G "Edición de captura de datos Agujero T.R. y Liner del pozo, estructura 2".

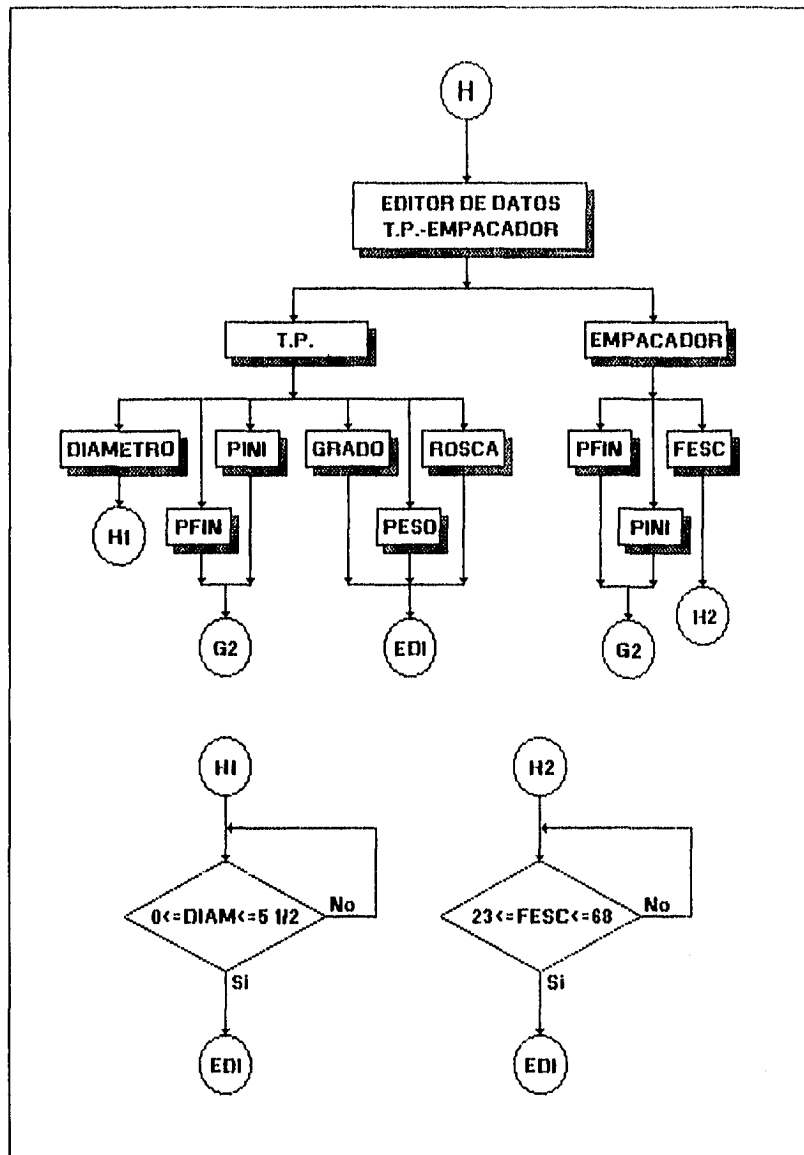


Fig. III.10 Diagrama de flujo H "Edición de captura de datos T.P., Empacador del pozo, Estructura 3".

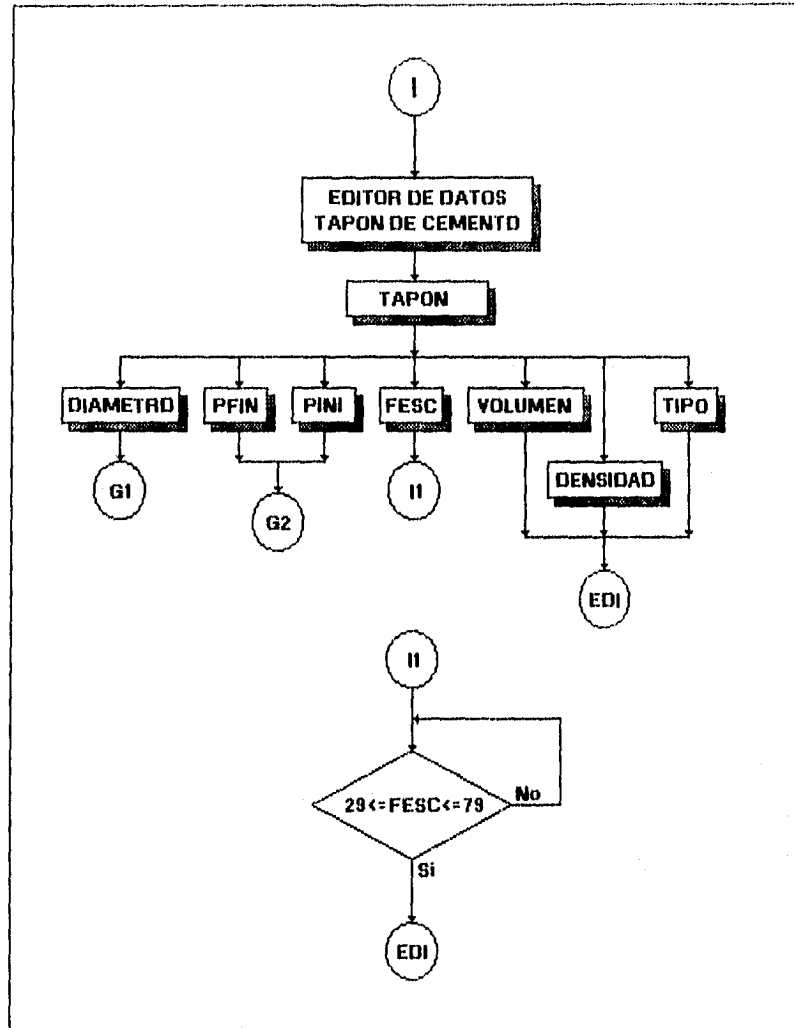
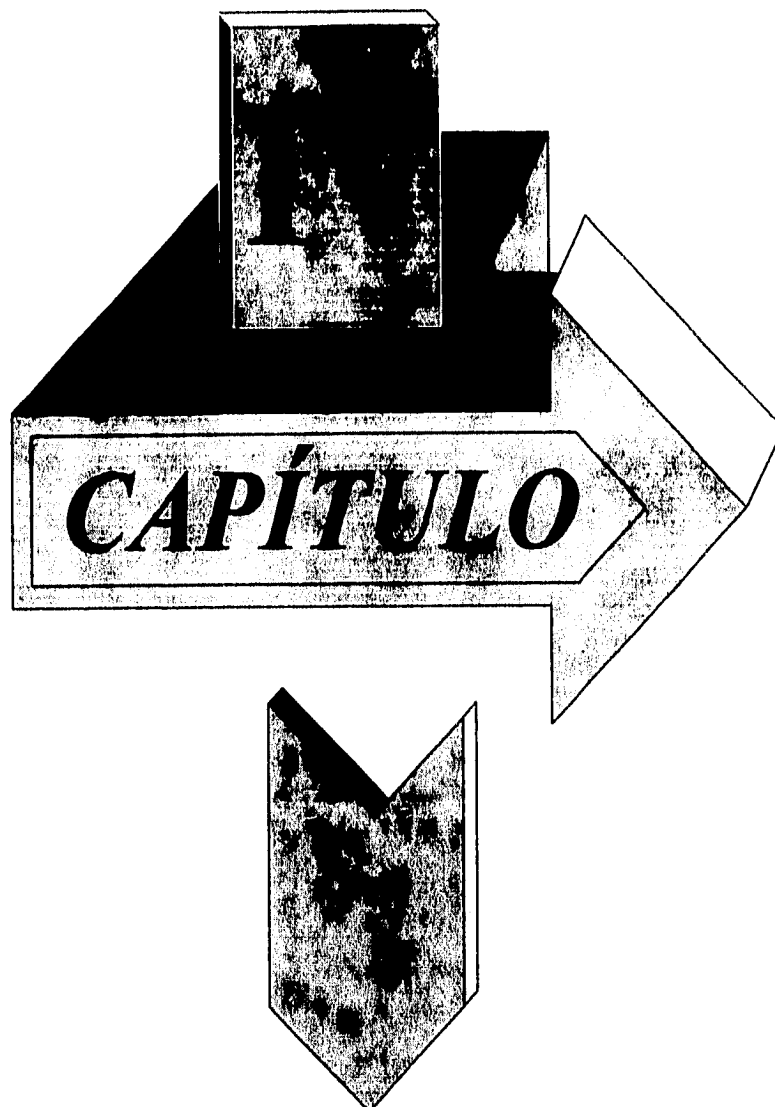


Fig. III.11 Diagrama de flujo I "Edición de captura de datos del tapón de cemento del pozo, estructura 4".



ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

IV.1. CONCEPTOS BÁSICOS DE LA ESTADÍSTICA.

La estadística esta ligada con los métodos científicos en las etapas de toma de organización, recopilación, presentación y análisis de datos, para inferir conclusiones que permitan definir criterios razonables en la toma de decisiones, basados en el análisis estadístico.

Toma de datos : Es la obtención de datos que no han sido ordenados numéricamente.

Ordenación : La ordenación es la colocación de datos numéricos en orden creciente o decreciente. La diferencia entre el mayor y el menor de los números se llama recorrido o rango.

IV.2. DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIA.

Cuando se dispone de un gran número de datos, es útil observar como se distribuyen en clases o categorías y determinar el número de individuos pertenecientes a cada clase, esto es la frecuencia de clase. Al reunir las clases y frecuencias correspondientes, se forma una distribución de frecuencias o tablas de frecuencia.

Los datos ordenados y resumidos en una distribución de frecuencias suelen llamarse datos agrupados. Aunque con el proceso de agrupamiento generalmente se pierde del detalle original de los datos, se tiene la importante ventaja de presentarlos en cuadros que facilitan encontrar las relaciones que pueda haber entre ellos.

IV.2.1 Intervalo de clase : Es un rango que abarca el límite inferior y límite superior de una clase.

IV.2.2 Tamaño o anchura del intervalo de clase : Es la diferencia entre los límites superior e inferior de la clase. Si todos los intervalos de clase de una distribución de frecuencias tienen igual anchura, se dice que todos los intervalos de clase tienen una anchura o longitud constante.

IV.2.3 Marcas de clase : Es el punto medio de los intervalos de clase, se obtiene sumando los límites inferior y superior de la clase, dividido por dos. Gráficamente la marca de clase suele representarse, en el punto medio de la clase.

IV.3 REGLAS PARA FORMAR DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIA.

- Determinar el mayor y el menor de los datos registrados y así encontrar el rango (diferencia entre el mayor y el menor de los datos).
- Dividir el rango en un número conveniente de intervalos de clase. Si esto no es posible, utilizar intervalos de clase con diferente tamaño o intervalos de clase abiertos. El número de intervalos de clase se toma entre 5 y 20 dependiendo de los datos. Los intervalos de clase se eligen también de forma que las marcas de clase o puntos medios coincidan con los datos realmente observados. Esto tiende aminorar el llamado error de agrupamiento, sin embargo los límites reales de la clase no coincidirían con los datos observados.
- Determinar el número de observaciones que caen dentro de cada intervalo de clase; es decir, encontrar las frecuencias de clase.

IV.4 HISTOGRAMAS Y POLÍGONOS DE FRECUENCIA.

Existen dos representaciones gráficas de las distribuciones de frecuencia. Una es por representación en histogramas de frecuencias y otra es por polígonos de frecuencias.

IV.4.1 Histograma de frecuencias.

Consiste de una serie de rectángulos que contienen :

- a) Su base sobre un eje horizontal (eje X) con centros en las marcas de clase y longitud de igual tamaño de los intervalos de clase.
- b) Superficies proporcionales a las frecuencias de clase.

Si todos los intervalos de clase tienen el mismo tamaño, las alturas de los rectángulos son proporcionales a las frecuencias de clase y se acostumbra en tal caso a tomar las alturas numéricamente iguales a las frecuencias de clase. Si los intervalos de clase no son de igual tamaño, estas alturas deben ser calculadas.

IV.4.2 Polígono de frecuencias.

Es un gráfico de línea trazado sobre las marcas de clase, puede obtenerse uniendo los puntos medios de los techos de los rectángulos en el histograma.

IV.5 MEDIDAS DE CENTRALIZACIÓN.

Las medidas de centralización son de gran importancia en el análisis estadístico, ya que tienen el objeto de mostrar la tendencia, el comportamiento y desviación de los datos agrupados. Se pueden definir varios tipos de medidas de centralización, las más comunes son la media aritmética o media, la mediana, la moda, la media geométrica. Cada una de ellas tiene sus ventajas e inconvenientes, dependiendo la aplicación de una u otra de los resultados que se deseen obtener de los datos.

IV.5.1 Promedio : Es un valor, que es típico o representativo de un conjunto de datos. Como los valores tienden a situarse en el centro del conjunto de datos ordenados según su magnitud. Los promedios también se conocen como medidas de centralización.

IV.5.2 Promedio aritmético (X_p): Es la suma de un conjunto de N números X_1, X_2, \dots, X_N dividida entre el número de valores pertenecientes al conjunto. También se conoce como media aritmética y se define como :

$$X_p = [X_1 + X_2 + \dots + X_N] / N = \sum X_i / N \quad [1]$$

IV.5.3 Mediana (X_m): La mediana de una colección de datos colocados en orden de magnitud, es el valor medio o la media aritmética de los valores medios. Geométricamente, la mediana es el valor de X (abscisa) que corresponde a la vertical que divide un histograma en dos partes de igual área. También es posible calcularse la mediana mediante una interpolación lineal o cuadrática del conjunto de datos ordenados.

IV.5.4 Moda (X_{mod}): La moda una serie de números, es aquel valor que se presenta con la mayor frecuencia, es decir, el valor más común. La moda puede no existir, incluso si existe puede ser no única. En una distribución de frecuencias puede presentar una, dos, o más modas las cuales suelen llamarse unimodales, bimodales, o multimodales respectivamente.

Para curvas unimodales que sean moderadamente sesgadas (asimétricas), se tiene la relación empírica :

$$\text{Promedio-Moda} = 3 \cdot [\text{Promedio-Mediana}] \quad [2]$$

IV.5.5 Media geométrica : Es una serie de N números X_1, X_2, \dots, X_N cuyo valor es la raíz N -ésima del producto de dichos números. Se denota por X_g y se define como :

$$X_g = [X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_N]^{1/N} \quad [3]$$

IV.6 VARIACIÓN O DISPERSIÓN.

La variación o dispersión indican el grado en que los datos numéricos tienden a extenderse alrededor de un valor medio. Se utilizan distintas medidas dispersión o variación, las más comunes son : el rango, la desviación media y desviación típica.

IV.7 RANGO.

El rango (**R**) de un conjunto de números, es la diferencia entre el mayor y el menor de todos ellos.

$$R = |X_{\max} - X_{\min}| \quad [4]$$

La media del rango (X_r) se define como :

$$X_r = X_{\min} + [R/2] \quad [5]$$

IV.8 DESVIACIÓN MEDIA.

La desviación media o promedio de desviación (**Dm**) de una serie de **N** números X_1, X_2, \dots, X_N se encuentra definida por :

$$D_m = \sum |X_i - X_p| / N \quad [6]$$

X_p es la media aritmética de una serie de números y $|X_i - X_p|$ es el valor absoluto de las desviaciones de los diferentes valores de X_i del valor X_p .

IV.9. DESVIACIÓN TÍPICA.

La desviación típica (S_x) de una serie de N números X_1, X_2, \dots, X_N se define como :

$$S_x = [\sum(X_i - X_p)^2 / N]^{1/2} \quad [7]$$

La ecuación (7) también se le conoce como la desviación estándar.

Si consideramos la desviación típica para datos de la población y la desviación típica para datos de muestras obtenidas de la población, entonces la ecuación (7) se transforma en :

$$S_{xp} = [\sum(X_i - X_p)^2 / N]^{1/2} \quad [8]$$

$$S_{xm} = [\sum(X_i - X_p)^2 / (N-1)]^{1/2} \quad [9]$$

La ecuación (8) y (9) son las desviaciones típicas para la población y la muestra respectivamente. La diferencia entre una y otra es el denominador dentro del radical, es decir N y $N-1$ debido a que los parámetros de una muestra se usan para dar una estimación de los parámetros de la población, cuando se profundiza la teoría estadística se ha encontrado que el mejor estimador de la dispersión de la población se obtiene al dividir entre $N-1$ en lugar de N .

El inconveniente es que para un gran número de muestras obtenidas de la población, los cálculos de la media aritmética y la desviación típica resulta un proceso largo, ya que se tiene que calcular ambas para cada una de las muestras, sin tomar en cuenta que en ocasiones los datos de la población y de las muestras no presentan en la mayoría de los casos, una distribución normal cuando se construye el diagrama de dispersión.

Por ello, es conveniente obtener de la población, una muestra que sea representativa de la población y con esto podemos predecir, que tan cerca se encuentra el promedio de la muestra al comparar el promedio de la población.

Ahora, si la población y la muestra de esa población tienen causas aleatorias y la dispersión de los datos presenta una distribución más o menos normal, las desviaciones típicas del promedio de una muestra y la población de N cantidades X_1, X_2, \dots, X_N es δx , que se conoce también como el **error típico** definido por la ecuación (10), así las ecuaciones (8) y (9) se convierten en :

$$\delta x = S_x / [N]^{1/2} \quad [10]$$

$$\delta x_p = [\sum(X_i - X_p)^2 / N^2]^{1/2} \quad [11]$$

$$\delta x_m = [\sum(X_i - X_p)^2 / (N \cdot (N-1))]^{1/2} \quad [12]$$

IV.10 MÉTODOS CORTOS PARA CALCULAR LA DESVIACIÓN TÍPICA.

La ecuación (7) también puede escribirse en las siguientes formas equivalentes :

$$S_x = [(\sum(X_i)^2 / N) - (\sum(X_i) / N)^2]^{1/2} \quad [13]$$

$$S_x = [(\sum X^2 / N) - (\sum X / N)^2]^{1/2} \quad [14]$$

$$S_x = [((N \cdot \sum X^2) - (\sum X)^2) / N^2]^{1/2} \quad [15]$$

La ecuación (15) tiene la forma δx de la ecuación (10), es decir.

$$\delta x_p = S_x = \left[\frac{(N \cdot \sum X^2) - (\sum X)^2}{N^2} \right]^{1/2} = \left[\frac{(N \cdot \sum X^2) - (\sum X)^2}{N} \right]^{1/2} / [N]^{1/2} \quad [16]$$

En el numerador de la ecuación (6) se sustituye $N-1$ en lugar de N en el denominador del argumento dentro del radical. La ecuación resultante es :

$$\delta x_m = S_x = \left[\frac{(N \cdot \sum X^2) - (\sum X)^2}{(N-1)} \right]^{1/2} / [N]^{1/2} = \left[\frac{(N \cdot \sum X^2) - (\sum X)^2}{(N \cdot (N-1))} \right]^{1/2} \quad [17]$$

La ecuación (16) y (17) son respectivamente, la desviación típica o el error típico para el conjunto de datos de la población (δx_p) y la desviación típica para un conjunto de datos representativos de la población (δx_m). Ambas ecuaciones son aplicables para un conjunto de N datos X_1, X_2, \dots, X_N que presenta una distribución normal, no importa si las muestras son pequeñas o grandes. La ventaja que tienen sobre las otras ecuaciones, es que permiten un cálculo mucho más rápido, además de que no interviene de manera directa el valor del promedio aritmético y el valor de las diferencias existentes entre X_i y X_p como sucede en los casos de las ecuaciones (7) a (12). También pueden utilizarse para la aplicación en los métodos de ajuste o regresión de N pares de puntos, para explicar la correlación que pueda existir entre variables y su dispersión.

IV.11 PROPIEDADES DE LA DESVIACIÓN TÍPICA.

Las propiedades de la desviación típica S_x o δx , para el caso de las distribuciones normales son :

Si $D_s = S_x = \delta x$ entonces :

- a) El 68.27 % de los casos están comprendidos entre $Xp - Ds$ y $Xp + Ds$. Es decir, una vez el valor de la desviación típica a ambos lados de la media.
- b) EL 95.45 % de los casos están comprendidos entre $Xp - 2Ds$ y $Xp + 2Ds$. Es decir, dos veces el valor de la desviación típica a ambos lados de la media.
- c) EL 99.73 % de los casos están comprendidos entre $Xp - 3Ds$ y $Xp + 3Ds$. Es decir, tres veces el valor de la desviación típica a ambos lados de la media.

Para el caso de distribuciones moderadamente asimétricas, los porcentajes anteriores pueden mantenerse aproximados.

Varianza : La varianza de un conjunto de datos, se define como el cuadrado de la desviación típica.

$$\text{Varianza} = Ds^2 = Sx^2 = \delta x^2 \quad [18]$$

La ecuación (18) puede aplicarse para todas las ecuaciones de desviación típica vistas con anterioridad. Las desventajas y ventajas en su aplicación también ya han sido descritas.

IV.12 CORRELACIÓN Y REGRESIÓN.

La teoría de correlación y regresión considera la estimación y relación que existe entre una variable dependiente y una o más variables independientes, con el fin de explicar el comportamiento de un cierto número de datos o variables.

La regresión : Realiza la estimación de una variable (dependiente) a partir de una o más variables relacionadas entre si (variables independientes).

La correlación : Indica el grado de relación entre las variables que se estudian, para determinar en que medida una ecuación lineal o de otro tipo describe o explica en forma adecuada la relación entre las variables.

Cuando se trata de dos variables solamente se habla de correlación o regresión simple. cuando se trata de más de dos variables se habla de una correlación y regresión múltiple. Aquí sólo consideramos la correlación simple para el análisis.

En la correlación de un conjunto de pares de datos denotados por las variables (X, Y) , se debe utilizar un diagrama de dispersión que muestra la localización de N puntos $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_N, Y_N)$ en un sistema de coordenadas rectangulares. Si todos los puntos parecen encontrarse cerca de una recta, se dice que el comportamiento de dichos datos es lineal y que su correlación se aproxima a una ecuación lineal. Si todos los puntos parecen estar cerca de una curva, el comportamiento de estos datos es no lineal y su correlación se aproxima a una ecuación no lineal. Si no existe una relación entre el conjunto de datos se dice que no hay correlación.

En los problemas de dispersión de los datos muestrales alrededor de rectas o curvas, se es necesario definir cuantitativamente las medidas de correlación.

Coefficiente de correlación (r) : Se define como la raíz de cuadrada de la razón que existe en la variación explicada con respecto a la variación total.

$$r = \pm \left[\frac{\sum(X_{est}-X_p)^2}{\sum(X_i-X_p)^2} \right]^{1/2} \quad [19]$$

$$\sum(X_i-X_p)^2 = \sum(X_i-X_{est})^2 - \sum(X_{est}-X_p)^2 \quad [20]$$

La ecuación (19) es el coeficiente de correlación, el numerador dentro del radical es la variación explicada y el denominador es la variación total. La ecuación (20) es la variación total (primer miembro), el primer término del segundo miembro se llama variación no explicada y el segundo término es la variación explicada.

El coeficiente de correlación, es un parámetro indicador del grado de relación que existe entre variables (dependientes e independientes) al efectuar un análisis estadístico de ajuste de datos a través de un modelo de regresión lineal. El signo del coeficiente de correlación indica la naturaleza de la relación de dichas variables.

Si r es positivo ($0 \leq r \leq 1$) señala que a un aumento de la abscisa (X) le corresponde un aumento de la ordenada (Y). Si r es negativo ($-1 \geq r \geq 0$) señala que a un aumento de la abscisa (X) le corresponde una disminución de la ordenada (Y). Si r es cercano a ± 1 señala que la relación entre las variables se representa fielmente mediante una función lineal.

Si suponemos una relación lineal entre dos variables la ecuación (19) se convierte en :

$$r = \frac{\sum(x \cdot y)}{[\sum x^2 \cdot \sum y^2]^{1/2}} \quad [21]$$

Donde $x = X_i - \bar{X}$ e $y = Y_i - \bar{Y}$. Esta fórmula nos da automáticamente el signo adecuado de r y muestra la simetría entre X e Y .

Desarrollando la ecuación (21) se obtiene una fórmula más corta para el cálculo del coeficiente de correlación lineal.

$$r = \frac{[N \cdot \sum(X \cdot Y) - \sum X \cdot \sum Y]}{[(N \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2) \cdot (N \cdot \sum Y^2 - (\sum Y)^2)]^{1/2}} \quad [22]$$

La ventaja de utilizar la ecuación (22) con respecto a las otras, es la facilidad con que se realizan los cálculos sin tener que tomar en cuenta el valor de X a estimar (X_{est}), tampoco se requiere el promedio aritmético (X_p) y es aplicable para un método de ajuste lineal, no importando si Y es la variable dependiente y X la variable independiente o viceversa.

Para el caso de ecuaciones no lineales utilizando el método de ajuste logarítmico y exponencial también pueden aplicarse, sólo si, se hace la transformación a la forma lineal, mediante un diagrama de dispersión en coordenadas semilog para el modelo logarítmico y el modelo exponencial, por último el diagrama de dispersión en coordenadas log-log para el modelo geométrico o de potencia.

IV.13 AJUSTE POR MÍNIMOS CUADRADOS.

La recta de aproximación por mínimos cuadrado de un conjunto de N puntos (X_1, Y_1) (X_2, Y_2) , ..., (X_N, Y_N) esta dada por :

Si Y es la variable dependiente y X la variable independiente, la ecuación de la recta tiene la forma :

$$Y = a + bX \quad [23]$$

El sistema de ecuaciones normales esta dado por :

$$\Sigma Y = aN + b\Sigma X \quad [24]$$

$$\Sigma(X*Y) = a\Sigma X + b\Sigma X^2 \quad [25]$$

La solución de este sistema se realiza despejando la constante **a** de la ecuación (24), luego sustituyendo **a** en la ecuación (25) se obtiene la constante **b**. Por lo que finalmente se tiene :

$$a = [\Sigma Y - b \Sigma X] / N \quad [26]$$

$$b = [(N \cdot \Sigma(X \cdot Y)) - (\Sigma X \cdot \Sigma Y)] / [(N \cdot \Sigma X^2) - (\Sigma X)^2] \quad [27]$$

Para este método se aplica la estadística con las ecuaciones (1), (16), (17) y (22) tanto para la variable dependiente como la variable independiente.

$$X_p = \Sigma X_i / N \quad [28]$$

$$Y_p = \Sigma Y_i / N \quad [29]$$

$$\delta x_p = S_{xp} = [((N \cdot \Sigma X^2) - (\Sigma X)^2) / N^2]^{1/2} \quad [30]$$

$$\delta y_p = S_{yp} = [((N \cdot \Sigma Y^2) - (\Sigma Y)^2) / N^2]^{1/2} \quad [31]$$

$$\delta x_m = S_{xm} = [((N \cdot \Sigma X^2) - (\Sigma X)^2) / (N \cdot (N-1))]^{1/2} \quad [32]$$

$$\delta y_m = S_{ym} = [((N \cdot \Sigma Y^2) - (\Sigma Y)^2) / (N \cdot (N-1))]^{1/2} \quad [33]$$

$$r = [N \cdot \Sigma(X \cdot Y) - \Sigma X \cdot \Sigma Y] / [(N \cdot \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2) \cdot (N \cdot \Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2)]^{1/2} \quad [34]$$

$$X_p \pm \delta x_p, X_p \pm \delta x_m, Y_p \pm \delta y_p, Y_p \pm \delta y_m \quad [35]$$

$$Y_{est} = a + bX, Y_{est} \pm \delta y_m \quad [36]$$

IV.14 AJUSTE POR APROXIMACIÓN LOGARÍTMICA.

El ajuste por aproximación logarítmica de un conjunto de **N** puntos $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_N, Y_N)$ tiene la forma :

$$e^y = e^a + X^b \quad [37]$$

Siendo Y la variable dependiente y X la variable independiente, la ecuación (37) se transforma a la forma lineal:

$$Y = a + b \ln X \quad [38]$$

El sistema de ecuaciones esta dado por:

$$\Sigma Y = aN + b \Sigma \ln X \quad [39]$$

$$\Sigma (Y \ln X) = a \Sigma \ln X + b \Sigma \ln X^2 \quad [40]$$

La solución del sistema anterior se hace despejando la constante a de la ecuación (39), luego sustituyendo a en la ecuación (40) se obtiene la constante b . Por lo que finalmente se tiene:

$$a = [\Sigma Y - b \Sigma \ln X] / N \quad [41]$$

$$b = [(N \Sigma (Y \ln X)) - (\Sigma Y \Sigma \ln X)] / [(N \Sigma \ln X^2) - (\Sigma \ln X)^2] \quad [42]$$

Para este caso, el método aplica la siguiente estadística a partir de las ecuaciones (1), (16), (17) y (22), tanto para la variable dependiente como la variable independiente.

$$X_p = \text{Exp}(X_p \ln) = \text{Exp}(\Sigma \ln X_i / N) \quad [43]$$

$$Y_p = \Sigma Y_i / N \quad [44]$$

$$\delta \ln x_p = S \ln x_p = [((N \Sigma \ln X^2) - (\Sigma \ln X)^2) / N^2]^{1/2} \quad [45]$$

$$\delta y_p = S y_p = [((N \Sigma Y^2) - (\Sigma Y)^2) / N^2]^{1/2} \quad [46]$$

$$\delta \ln x_m = S \ln x_m = [((N \Sigma \ln X^2) - (\Sigma \ln X)^2) / (N(N-1))]^{1/2} \quad [47]$$

$$\delta y_m = S y_m = [((N \Sigma Y^2) - (\Sigma Y)^2) / (N(N-1))]^{1/2} \quad [48]$$

$$r = [N \Sigma (\ln X \cdot Y) - \Sigma \ln X \Sigma Y] / [(N \Sigma \ln X^2 - (\Sigma \ln X)^2) (N \Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2)]^{1/2} \quad [49]$$

$$X_{p \pm \delta xp} = \text{Exp}(X_{p \ln \pm \delta \ln xp}), X_{p \pm \delta xm} = \text{Exp}(X_{p \ln \pm \delta \ln xm}), Y_{p \pm \delta yp}, Y_{p \pm \delta ym} \quad [50]$$

$$Y_{est} = a + b \ln X, Y_{est \pm \delta ym} \quad [51]$$

El diagrama de dispersión de los datos se traza en sistema de coordenadas semilogarítmicas, es decir, la variable dependiente tiene un eje en escala normal y la variable independiente tiene un eje en escala logarítmica.

IV.15 AJUSTE POR APROXIMACIÓN EXPONENCIAL.

El análisis de regresión exponencial sobre un grupo de N datos $(X_1, Y_1) (X_2, Y_2), \dots, (X_N, Y_N)$ determina la curva exponencial dada por la forma :

$$Y = ab^X \quad [52]$$

Donde Y es la variable independiente y X la variable dependiente , linealizando la ecuación (52) adquiere la forma :

$$\ln Y = \ln a + \ln b X \quad [53]$$

El sistema de ecuaciones esta dado por :

$$\Sigma \ln Y = \ln a N + \ln b \Sigma X \quad [54]$$

$$\Sigma (\ln Y \cdot X) = \ln a \Sigma X + \ln b \Sigma X^2 \quad [55]$$

La solución del sistema se efectúa despejando la constante a de la ecuación (54), luego sustituyendo a en la ecuación (55) se obtiene la constante b . Por lo que finalmente se tiene :

$$a = \text{Exp}[(\sum \ln Y - \ln b \sum X) / N] \quad [56]$$

$$b = \text{Exp}[\frac{[(N \cdot \sum (\ln Y \cdot X)) - (\sum \ln Y \cdot \sum X)]}{[(N \cdot \sum X^2) - (\sum X)^2]}] \quad [57]$$

También se calcula la estadística que se lista a continuación :

$$X_p = \sum X_i / N \quad [58]$$

$$Y_p = \text{Exp}(Y_p \ln) = \text{Exp}(\sum \ln Y_i / N) \quad [59]$$

$$\delta x_p = S_{xp} = \frac{[(N \cdot \sum X^2) - (\sum X)^2]}{N^2}^{1/2} \quad [60]$$

$$\delta \ln y_p = S_{\ln y_p} = \frac{[(N \cdot \sum \ln Y^2) - (\sum \ln Y)^2]}{N^2}^{1/2} \quad [61]$$

$$\delta x_m = S_{xm} = \frac{[(N \cdot \sum X^2) - (\sum X)^2]}{N(N-1)}^{1/2} \quad [62]$$

$$\delta \ln y_m = S_{\ln y_m} = \frac{[(N \cdot \sum \ln Y^2) - (\sum \ln Y)^2]}{N(N-1)}^{1/2} \quad [63]$$

$$r = \frac{[N \cdot \sum (\ln Y \cdot X) - \sum \ln Y \cdot \sum X]}{[(N \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2) \cdot (N \cdot \sum \ln Y^2 - (\sum \ln Y)^2)]^{1/2}} \quad [64]$$

$$X_p \pm \delta x_p, X_p \pm \delta x_m, Y_p \pm \delta y_p^* = \text{Exp}(Y_p \ln \pm \delta \ln y_p), Y_p \pm \delta y_m^* = \text{Exp}(Y_p \ln \pm \delta \ln y_m) \quad [65]$$

$$Y_{est} = ab^X, Y_{est} \pm \delta y_m^* = \text{Exp}(\ln(Y_{est}) \pm \delta \ln y_m) \quad [66]$$

El diagrama de dispersión de los datos se traza en sistema de coordenadas semilogarítmicas, es decir, los ejes de la variable dependiente están en escala logarítmica y la variable independiente en escala normal.

IV.16 AJUSTE POR APROXIMACIÓN GEOMÉTRICA O DE POTENCIA.

El análisis de regresión geométrica o de potencia sobre un conjunto de N datos (X_1, Y_1) $(X_2, Y_2), \dots, (X_N, Y_N)$ determina la curva de potencia dada por la forma :

$$Y = aX^b \quad [67]$$

Donde Y es la variable dependiente y X la variable independiente, linealizando la ecuación (67) adquiere la forma:

$$\ln Y = \ln a + b \ln X \quad [68]$$

El sistema de ecuaciones esta dado por:

$$\sum \ln Y = \ln a N + b \sum \ln X \quad [69]$$

$$\sum (\ln Y \cdot \ln X) = \ln a \sum \ln X + b \sum \ln X^2 \quad [70]$$

La solución del sistema se lleva a cabo despejando la constante a de la ecuación (69), luego sustituyendo a en la ecuación (70) se obtiene la constante b . Por lo que finalmente se tiene:

$$a = \text{Exp} \left[\left(\frac{\sum \ln Y - b \sum \ln X}{N} \right) \right] \quad [71]$$

$$b = \left[\frac{(N \cdot \sum (\ln Y \cdot \ln X)) - (\sum \ln Y \cdot \sum \ln X)}{(N \cdot \sum \ln X^2) - (\sum \ln X)^2} \right] \quad [72]$$

También se calcula la estadística que se lista a continuación:

$$X_p = \text{Exp}(X_p \ln) = \text{Exp}(\sum \ln X_i / N) \quad [73]$$

$$Y_p = \text{Exp}(Y_p \ln) = \text{Exp}(\sum \ln Y_i / N) \quad [74]$$

$$\delta \ln x_p = S \ln x_p = \left[\frac{(N \cdot \sum \ln X^2) - (\sum \ln X)^2}{N^2} \right]^{1/2} \quad [75]$$

$$\delta \ln y_p = S \ln y_p = \left[\frac{(N \cdot \sum \ln Y^2) - (\sum \ln Y)^2}{N^2} \right]^{1/2} \quad [76]$$

$$\delta \ln x_m = S \ln x_m = \left[\frac{(N \cdot \sum \ln X^2) - (\sum \ln X)^2}{N \cdot (N-1)} \right]^{1/2} \quad [77]$$

$$\delta \ln y_m = S \ln y_m = \left[\frac{(N \cdot \sum \ln Y^2) - (\sum \ln Y)^2}{N \cdot (N-1)} \right]^{1/2} \quad [78]$$

$$r = \frac{[N \cdot \sum (\ln Y \cdot \ln X) - \sum \ln Y \cdot \sum \ln X]}{\left[\frac{(N \cdot \sum \ln X^2 - (\sum \ln X)^2) \cdot (N \cdot \sum \ln Y^2 - (\sum \ln Y)^2)}{N \cdot (N-1)} \right]^{1/2}} \quad [79]$$

$$X_p \pm \delta x_p^* = \text{Exp}(X_p \ln \pm \delta \ln x_p), \quad X_p \pm \delta x_m^* = \text{Exp}(X_p \ln \pm \delta \ln x_m) \quad [80]$$

$$Y_p \pm \delta y_p^* = \text{Exp}(Y_p \ln \pm \delta \ln y_p), \quad Y_p \pm \delta y_m^* = \text{Exp}(Y_p \ln \pm \delta \ln y_m) \quad [81]$$

$$Y_{est} = aX^b, \quad Y_{est} \pm \delta y_m^* = \text{Exp}(\ln(Y_{est}) \pm \delta \ln y_m) \quad [82]$$

El diagrama de dispersión de los datos se traza en sistema de coordenadas log-log, es decir, la variable dependiente e independiente tiene ejes en escala logarítmica.

IV.17 NOMENCLATURA.

a = Constante de regresión.

b = Coeficiente de variación.

r = Coeficiente de correlación.

X = Suma de los datos X.

Y = Suma de los datos Y.

X^2 = Suma de los cuadrados de los datos X.

Y^2 = Suma de los cuadrados de los datos Y.

$(\sum X)^2$ = El cuadrado de la suma de los datos X.

$(\sum Y)^2$ = El cuadrado de la suma de los datos Y.

$(Y \cdot X)$ = Suma de los productos de los datos Y por los datos X.

$\ln X$ = Suma de los valores logarítmicos de los datos X.

$\ln Y$ = Suma de los valores logarítmicos de los datos Y.

$\ln X^2$ = Suma de los cuadrados de los valores logarítmicos de los datos X.

$\ln Y^2$ = Suma de los cuadrados de los valores logarítmicos de los datos Y.

$(\sum \ln X)^2$ = El cuadrado de la suma de los valores logarítmicos de los datos X.

$(\sum \ln Y)^2$ = El cuadrado de la suma de los valores logarítmicos de los datos Y.

$(Y \cdot \ln X)$ = Suma de los productos de los datos Y por los valores logarítmicos de los datos X.

$(X \cdot \ln Y)$ = Suma de los productos de los datos X por los valores logarítmicos de los datos Y.

$(\ln Y \cdot \ln X)$ = Suma de los productos de los val. logarítmicos de los datos Y por los val. logarítmicos de los datos X.

X_p = Media o promedio aritmético de los datos X.

Y_p = Media o promedio aritmético de los datos Y.

δ_{xp} = S_{xp} = Desviación o error típico de la población de datos X.

δ_{yp} = S_{yp} = Desviación o error típico de la población de datos Y.

δ_{xm} = S_{xm} = Desviación o error típico de la muestra de datos X.

δ_{ym} = S_{ym} = Desviación o error típico de la muestra de datos Y.

$X_{p \ln}$ = Media o promedio aritmético de los valores logarítmicos de los datos X.

$Y_{p \ln}$ = Media o promedio aritmético de los valores logarítmicos de los datos Y.

$\delta_{\ln xp}$ = $S_{\ln xp}$ = Desviación o error típico de la población de los valores logarítmicos de los datos X.

$\delta_{\ln yp}$ = $S_{\ln yp}$ = Desviación o error típico de la población de los valores logarítmicos de los datos Y.

$\delta_{\ln xm}$ = $S_{\ln xm}$ = Desviación o error típico de la muestra de los valores logarítmicos de los datos X.

$\delta_{\ln ym}$ = $S_{\ln ym}$ = Desviación o error típico de la muestra de los valores logarítmicos de los datos Y.

$X_p \pm \delta_{xp}$, $X_p \pm \delta_{xm}$ = Desviación típica (población y muestra) alrededor del valor promedio de X.

$Y_p \pm \delta_{yp}$, $Y_p \pm \delta_{ym}$ = Desviación típica (población y muestra) alrededor del valor promedio de Y.

$X_p \pm \delta_{xp}^*$, $X_p \pm \delta_{xm}^*$ = Desviación típica (población y muestra) alrededor del valor logarítmico promedio de X.

$Y_p \pm \delta_{yp}^*$, $Y_p \pm \delta_{ym}^*$ = Desviación típica (población y muestra) alrededor del valor logarítmico promedio de Y.

Y_{est} = El valor estimado de Y en función de X.

$Y_{est} \pm \delta_{ym}$ = Desviación típica de la muestra alrededor del valor de Y estimado.

$Y_{est} \pm \delta_{ym}^*$ = Desviación típica de la muestra alrededor del valor logarítmico de Y estimado.

IV.18. INFORMACIÓN ESTADÍSTICA DEL CAMPO GEOTÉRMICO LA PRIMAVERA.

El Informe estadístico del campo geotérmico La Primavera en el Estado de Jalisco se realiza en base a la información obtenida en los capítulos anteriores. Los datos que se analizan se encuentran presentados en tablas y gráficas que facilitan la aplicación de los conceptos estadísticos empleados en las técnicas de ajuste y dispersión de puntos que se proponen en este capítulo, con la finalidad de obtener el perfil de comportamiento y correlación de la siguiente información.

- Tiempo y profundidad total de construcción de los pozos.
- Profundidad y tipo de tuberías que fueron utilizadas en cada pozo perforado y evaluación de los totales utilizados en el campo.
- Profundidad y temperatura que registraron los pozos.
- El flujo másico de vapor, agua, gas y total de la mezcla (Q_v , Q_w , Q_g y Q_t) que se produce a presiones en la cabeza de los pozos (P_{wh}).

Los resultados que proporcionen estos datos, pueden ser analizados y anexados con los datos de las publicaciones que existen sobre los estudios que se han efectuado para este campo, como el diseño y características mecánicas de las tuberías que se necesitaron en la perforación de los pozos, propiedades reológicas de los fluidos de perforación, profundidades de la litología atravesadas por el pozo, relación con las zonas o intervalos probables de producción de fluidos geotérmicos, gradientes de temperatura, gradientes de flujo y presión de fluidos en la cabeza del pozo.

La Tabla IV.1, presenta información y estadística correspondiente a la profundidad total alcanzada y el tiempo de construcción de los pozos del campo geotérmico La Primavera. La Fig. IV.1 gráfica el perfil del tiempo y profundidad total en la que se construyeron los pozos.

La Tabla IV.1a, establece la correlación estadística que existe entre la profundidad total y el tiempo de construcción de estos pozos utilizando los métodos de ajuste ya citados.

La Tabla IV.2, contiene información de las profundidades y longitudes de los tramos alcanzadas por los diferentes diámetros de tuberías que se utilizaron en la construcción de los pozos del campo geotérmico La Primavera. Aquí se lleva a cabo un análisis estadístico que permite encontrar la distribución de frecuencias más representativa de estos datos, para ello, se hace el uso de medidas de centralización obteniéndose información estadística que comprende desde Mínimos, Máximos, Valores medios del rango, Medianas, Promedios, Modas y Desviaciones (Errores Típicos) de los metros totales de tuberías de ademe requeridos por cada pozo.

También se tienen medidas de centralización de los metros totales de los tramos de tubería que se requirieron para los distintos diámetros de los pozos construidos en el campo.

Las Tablas IV.2.a y IV.2.b, muestran las tablas de distribución de frecuencias, donde se establecen los rangos de longitud y profundidad para determinado diámetro de tuberías, el número de pozos que pueden ser representados (frecuencia) y el valor de la mediana que se obtiene gráficamente a través de la construcción de histogramas de barras y polígonos que posteriormente son mostradas en gráficas.

La construcción de los histogramas dependerán de la cercanía o margen de error que exista en las medidas de centralización para tener una mayor confiabilidad en la distribución de los datos.

La Tabla IV.3, contempla información estadística que se obtuvo de los registros de temperatura en los pozos de este campo. La gráfica de la Fig. IV.3, presenta el perfil de temperatura y profundidad de registro de ellos.

La Tabla IV.3a desarrolla una correlación estadística de la población (33 datos) del registro de temperatura que se presentan en la Tabla IV.3. Aquí los métodos de ajuste se aplican para las variables de temperatura y profundidad de registro e incluyen gráficas de dispersión para cada caso.

La Tabla IV.3b, hace de manera similar la correlación estadística de los datos del registro de temperatura con la diferencia de que se selecciona una muestra (16 datos) que se obtiene de la población.

La Tabla IV.4, presenta un registro de los datos de producción de algunos pozos del campo geotérmico La Primavera, contiene datos de Flujo másico (agua, vapor, agua y total de la mezcla), presión y entalpía a condiciones superficiales (en el cabezal del pozo), en él se efectúa la estadística de los mismos. Las Figuras IV.4 y IV.4a, indican el perfil de los datos para esta tabla.

Las Tablas IV.4a, IV.4b y IV.4c, aplican el mismo análisis de correlación estadística como se realizó en la Tabla IV.1. En la Tabla IV.4a, se correlacionan datos de presión y flujo másico de vapor. La Tabla IV.4b, correlaciona datos de presión y flujo másico de agua. Finalmente la Tabla IV.4c, correlaciona datos de presión y flujo másico del total (mezcla).

Los resultados y los criterios de análisis que proporcionen estas tablas se presentaran en el capítulo siguiente.

Tabla IV.1
Tiempo Total de Construcción de Pozos
Campo Geotérmico La Primavera

PR-1	1226,0	323,0
PR-2	2000,0	274,0
PR-4	668,0	288,0
PR-5	1215,0	467,0
PR-8	1861,0	239,0
PR-9	2986,0	145,0
PR-10	2271,0	277,0
PR-7	1386,0	
PR-11	2157,0	
PR-12	2303,0	
PR-13	2006,0	
PI-1	442,0	
No.	12,0	7,0
Suma Total	20521,0	2013,0
Xmin	442,0	145,0
Xmáx	2986,0	467,0
R	2544,0	322,0
Xr	1714,0	306,0
Xm	1930,5	277,0
Xp	1710,1	287,6
dxp	705,1	89,8
dxm	736,5	97,0
Vxp	497226,4	8061,7
Vxm	542428,8	9405,3
Xp-dxp	1004,9	197,8
Xp+dxp	2415,2	377,4
Xp-2dxdp	299,8	108,0
Xp+2dxdp	3120,4	467,1
Xp-dxm	973,6	190,6
Xp+dxm	2446,6	384,6

Fig. IV.1 Perfil del Tiempo y Profundidad Total.

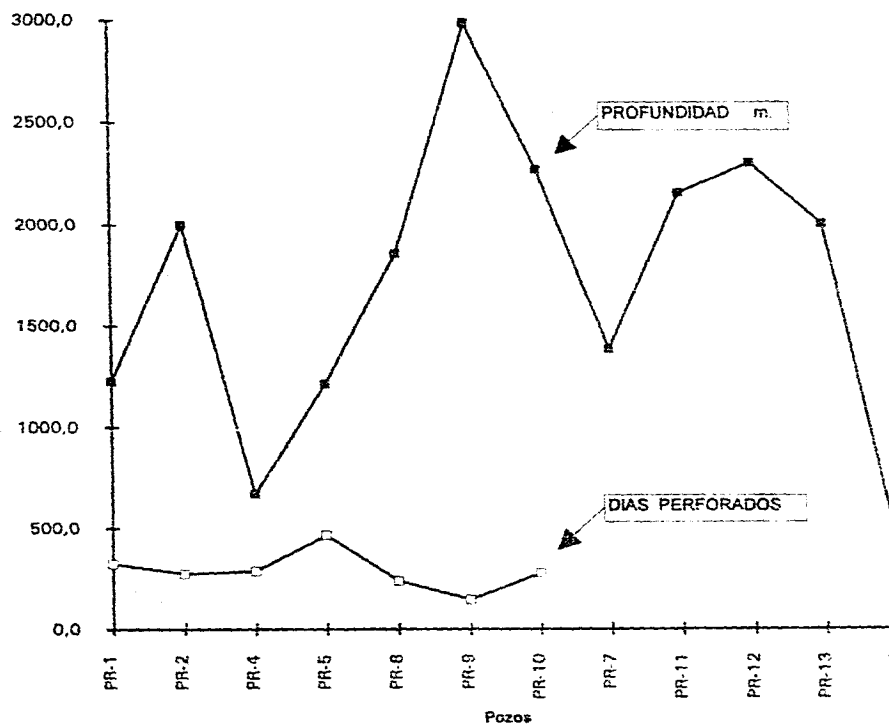


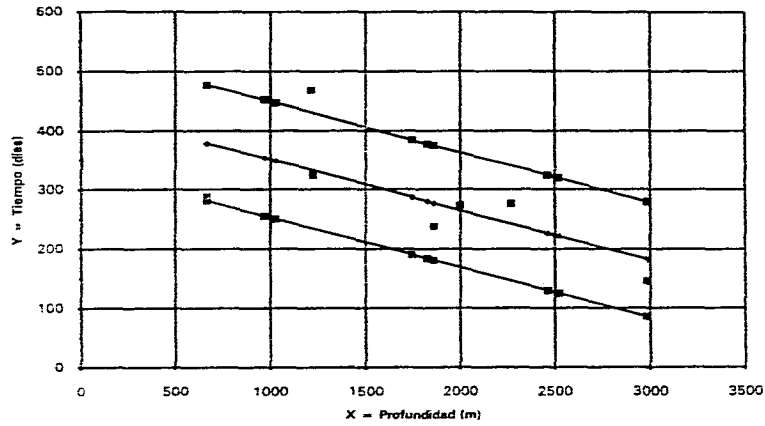
Tabla IV.1a
Correlación Estadística de Tiempo-Profundidad Total de Perforación de los Pozos del Campo Geotérmico La Primavera, Jalisco.

PR-1	1226	1226	323	1503076	104329	395998	7,11512116	5,777652323	50,57360458	33,38126637	41,0878445	7083,401748	2297,018414
PR-2	2000	2000	274	4000000	75076	548000	7,60090246	5,613128106	57,7737182	31,50720714	42,66483923	11226,25621	2082,647274
PR-4	668	668	288	446224	82944	192384	6,504288174	5,66296048	42,30576464	32,0691214	36,83352688	3782,857601	1873,234994
PR-5	1215	1215	467	1476225	218089	567405	7,102499356	6,146329258	50,4454971	37,77736334	43,65429959	7467,790048	3316,867199
PR-8	1861	1861	239	3463321	57121	444779	7,528868257	5,476463552	56,68387228	29,99165304	41,23157807	10191,69867	1799,399752
PR-9	2986	2986	145	8916196	21025	432970	8,001689978	4,976733742	64,02704251	24,76787874	39,82228051	14860,52695	1160,245047
PR-10	2271	2271	277	5157441	76729	629067	7,727975542	5,624017506	59,72160598	31,62957291	43,46226974	12772,14376	2140,643225
No.	7	7											
Suma Total	12227.00	2013.00		24962483	635313	3210603	51,57773688	39,27728497	381,5311053	221,1240629	288,7566385	67384,67499	14670,0619
Y = a+bX	-0.084742949	435,5931479	-0,677359342	717,6755563	89,78682236	775,1781976	96,98085231	1746,714286	287,5714286	971,5360881	2521,892483	190,5905763	384,5522809
Y = a+blnX	-108,6153282	1087,876117	-0,558776639	0,46191251	89,78682236	0,498922534	96,98085231	1584,854884	287,5714286	962,2993649	2610,170071	190,5905763	384,5522809
lnY = ma+lnb X	0,999661255	494,1461158	-0,749044408	717,6755563	0,32461362	775,1781976	0,350622783	1746,714286	273,4286498	971,5360881	2521,892483	192,5619512	388,2554475
lnY = lna+blnX	-0,433963536	6691,489158	-0,617513172	0,46191251	0,32461362	0,498922534	0,350622783	1584,854884	273,4286498	962,2993649	2610,170071	192,5619512	388,2554475

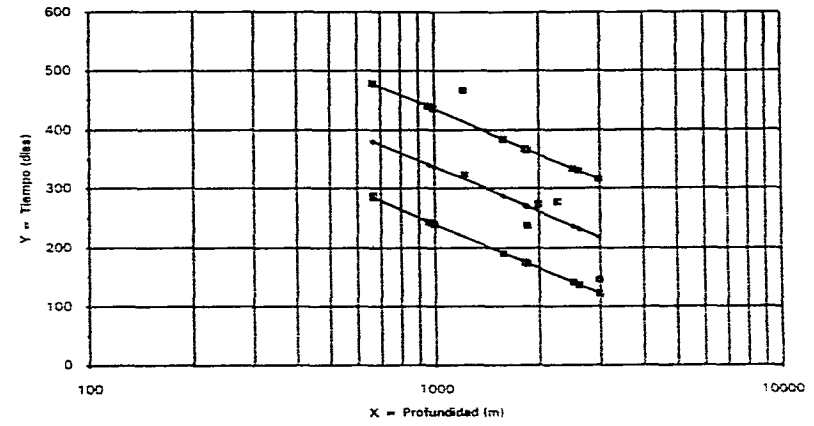
Estimación del Tiempo de Construcción en Función de la Profundidad Y=F(X).

Grafica No 1. Método de Ajuste por Mínimos Cuadrados Y = a+bX						Grafica No 2. Método de Ajuste Logarítmico Y = a+blnX								
a	b	r	d _{xm}	d _{ym}	d _{xp}	d _{xm}	a	b	r	d _{lnxm}	d _{lnym}	d _{lnxp}	d _{lnym}	
435,5931479	-0,084742949	-0,677359342	775,1781976	96,98085231	717,6755563	89,78682236	1087,876117	-108,6153282	-0,558776639	0,498922534	96,98085231	0,46191251	89,78682236	
X = Profundidad (m)			Y = Tiempo (días)			Yest = a+bX			Yest-d _{ym}			Yest+d _{ym}		
X _{max}	2986	Y _{max}	467	182,5507027	85,56985042	279,531555	X _{max}	2986	Y _{max}	467	218,7699339	121,7890816	315,7507962	
X _{min}	668	Y _{min}	145	378,9848581	282,0040058	475,9657104	X _{min}	668	Y _{min}	145	381,4107224	284,4298701	478,3915747	
X _r	1827	Y _r	306	280,7677804	183,7869281	377,7486327	X _r	1827	Y _r	306	272,1282372	175,1473849	369,1090865	
X _m	1861	Y _m	277	277,8865201	180,9056678	374,8673724	X _m	1861	Y _m	277	270,1255118	173,1446554	367,1063641	
X _p	1746,714286	Y _p	287,5714286	287,5714286	190,5905763	334,5522809	X _p	1584,854884	Y _p	287,5714286	287,5714286	190,5905763	384,5522809	
X _{p-dxp}	1029,038729	Y _{p-dyp}	197,7845062	348,3893715	251,4085192	445,3702238	X _{p-dxp}	998,5813444	Y _{p-dyp}	197,7845062	337,7422074	240,7613551	434,7230597	
X _{p+dxp}	2464,389842	Y _{p+dyp}	377,3582509	226,7534856	129,7726333	323,734338	X _{p+dxp}	2515,333394	Y _{p+dyp}	377,3582509	237,4006497	140,4197874	334,381502	
X _{p-dxm}	971,5360881	Y _{p-dym}	190,5905763	353,2623149	256,2814628	450,2431672	X _{p-dxm}	962,2993649	Y _{p-dym}	190,5905763	341,7620633	244,781211	438,7429156	
X _{p+dxm}	2521,892483	Y _{p+dym}	384,5522809	221,8905423	124,8996899	318,8613946	X _{p+dxm}	2610,170071	Y _{p+dym}	384,5522809	233,3807938	136,3999415	330,3618451	
Grafica No 3. Método de Ajuste Exponencial Y = ab^X o Y = Exp(lna+lnbX)						Grafica No 4. Método de Ajuste Geométrico Y = aX^b o Y = Exp(lna+blnX)								
a	b	r	d _{xm}	d _{lnym}	d _{xp}	d _{lnyp}	a	b	r	d _{lnxm}	d _{lnym}	d _{lnxp}	d _{lnym}	
494,1461158	0,999661255	-0,749044408	775,1781976	0,350622783	717,6755563	0,32461362	6691,489158	-0,433963536	-0,617513172	0,498922534	0,350622783	0,45191251	0,32461362	
X = Profundidad (m)			Y = Tiempo (días)			Yest = ab^X			Yest-d _{ym}			Yest+d _{ym}		
X _{max}	2986	Y _{max}	467	179,6783042	126,5383304	255,1344946	X _{max}	2986	Y _{max}	467	207,7114888	146,2806927	254,9402558	
X _{min}	668	Y _{min}	145	394,0632472	277,518789	559,5507365	X _{min}	668	Y _{min}	145	397,8073433	280,1555663	564,8671717	
X _r	1827	Y _r	306	266,0913678	187,394675	277,8368621	X _r	1827	Y _r	306	257,0675059	181,0396261	365,0234181	
X _m	1861	Y _m	277	263,0437754	185,2484101	373,5094265	X _m	1861	Y _m	277	255,0187306	179,5967774	362,1142534	
X _p	1746,714286	Y _p	277,3582509	273,4286498	192,5619512	388,2554475	X _p	1584,854884	Y _p	277,3582509	273,4286498	192,5619512	388,2554475	
X _{p-dxp}	1029,038729	Y _{p-dyp}	197,7845062	348,6925982	245,5665386	495,1266111	X _{p-dxp}	998,5813444	Y _{p-dyp}	197,7845062	334,1178904	235,30231	474,4312315	
X _{p+dxp}	2464,389842	Y _{p+dyp}	377,3582509	214,4101335	150,998199	304,4520111	X _{p+dxp}	2515,333394	Y _{p+dyp}	377,3582509	223,7630151	197,5849588	317,7326502	
X _{p-dxm}	971,5360881	Y _{p-dym}	190,5905763	355,5524386	250,3975768	504,8672524	X _{p-dxm}	962,2993649	Y _{p-dym}	190,5905763	339,5274836	239,1120125	482,1125919	
X _{p+dxm}	2521,892483	Y _{p+dym}	388,2554475	210,273418	148,0849198	268,5780754	X _{p+dxm}	2610,170071	Y _{p+dym}	388,2554475	220,1978637	155,0742043	312,6703079	

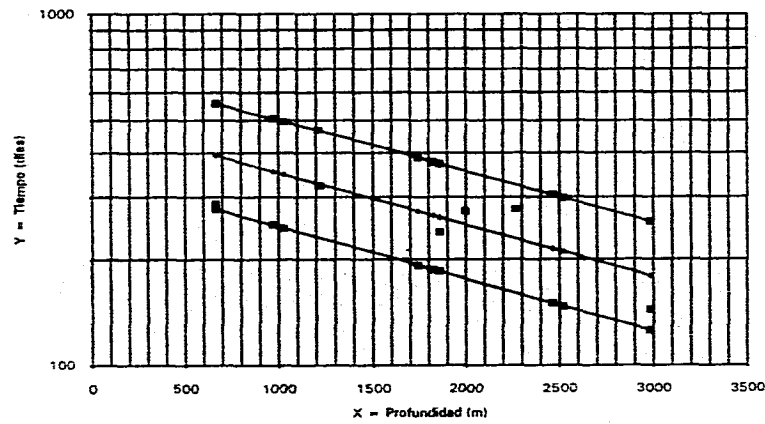
(1) $Y_{est} = a + bX$



(2) $Y_{est} = a + b \ln X$



(3) $Y_{est} = ab^X$ o $Y_{est} = \text{Exp}(\ln a + \ln b X)$



(4) $Y_{est} = aX^b$ o $Y_{est} = \text{Exp}(\ln a + b \ln X)$

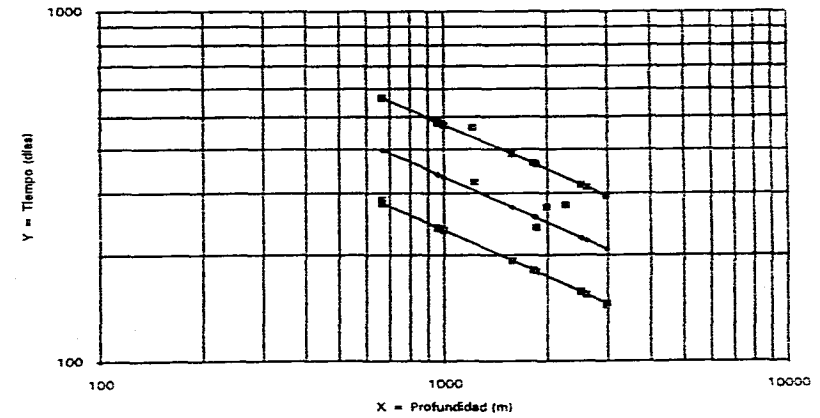
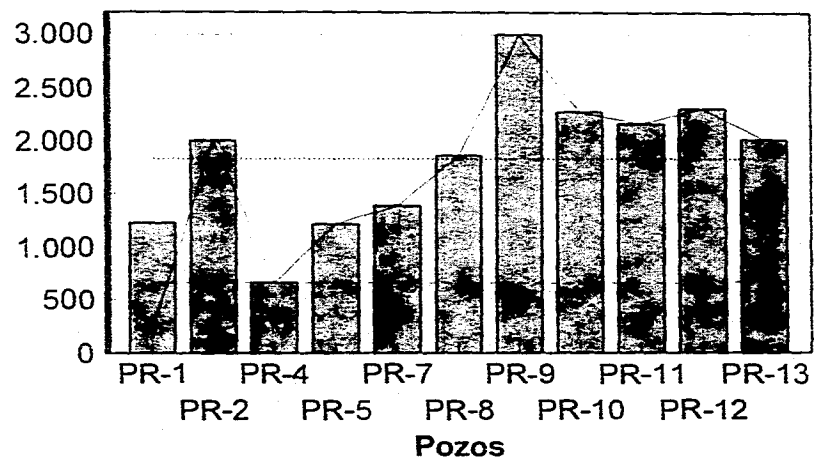


Tabla IV.2
Profundidades y Tramos de Tuberías de los Pozos del Campo Geotérmico La Primavera, Jal.

PR-1		40,0	233,0	670,0	1159,0	600,0	559,0				1502,0
PR-2		47,0	263,0	998,0	1995,0	994,0	1001,0				2309,0
PR-4		72,0	305,0								377,0
PR-5	27,0	325,0	473,0	571,0	1213,0	524,6	688,4				2084,4
PR-7											
PR-8	4,0	155,0	589,0	1424,0	1850,0	1351,0	499,0				2671,0
PR-9	12,0	103,0	603,0	1309,5	2162,0	1254,8	907,2				2934,7
PR-10	12,0	101,0	260,3	814,1	1791,5	735,5	1056,0	2143,1	1663,1	480,0	2723,4
PR-11											
PR-12	12,0	108,0									120,0
PR-13	4,0	95,0	595,0	1395,0	2000,0	1350,0	650,0				2739,0
S=Suma de Prof. en m.	71,0	1046,0	3321,3	7181,6	12170,5	6809,9	5360,6	2143,1	1663,1	480,0	17460,5
F=Numero de pozos	6,0	9,0	8,0	7,0	7,0	7,0	7,0	1,0	1,0	1,0	9,0
Xp = S / F en m.	11,8	116,2	415,2	1025,9	1738,6	972,8	765,8	2143,1	1663,1	480,0	1940,1
Xmin	4,0	40,0	233,0	571,0	1159,0	524,6	499,0				120,0
Xmax	27,0	325,0	603,0	1424,0	2162,0	1351,0	1056,0				2934,7
R=ABS(Xmax-Xmin)	23,0	285,0	370,0	853,0	1003,0	826,4	557,0				2614,7
Xr = Xmin + (R/2)	15,5	182,5	418,0	997,5	1660,5	937,8	777,5				1527,4
Xm	12,0	101,0	389,0	998,0	1850,0	994,0	688,4				2309,0
Sx=Sum[(Xp-Xi) ²]	352,8	58573,6	193643,9	754383,8	940738,4	761462,9	292877,9				8880131,0
Vxp = Sx/F	58,8	6508,2	24205,5	107769,1	134391,2	108780,4	41839,7				986681,2
dxp = Vxp ^{0,5}	7,7	80,7	155,6	328,3	366,6	329,8	204,5				993,3
Vxm	70,6	7321,7	27663,4	125730,6	156789,7	126910,5	48813,0				1110015,4
dxm	8,4	85,6	166,3	354,6	396,0	356,2	220,9				1053,6
Xp-dxp	4,2	35,5	259,6	697,7	1372,0	643,0	561,3				946,7
Xp+dxp	19,5	196,9	570,7	1354,2	2105,2	1302,7	970,3				2933,4
Xp-2dxp	-3,5	-45,1	104,0	389,4	1005,5	313,2	356,7				-46,6
Xp+2dxp	27,2	277,6	726,3	1682,5	2471,8	1632,5	1174,9				3926,7
Xp-dxm	3,4	30,7	248,8	671,4	1342,7	616,6	544,9				886,5
Xp+dxm	20,2	201,8	581,5	1380,5	2134,6	1329,1	986,7				2993,6
<p>S = Sumatoria F = Frecuencia Xp = Valor promedio Xmin = Valor mínimo Xmax = Valor máximo R = Rango Xr = Valor medio Xi = Valor i-esimo</p> <p>Xm = Mediana Pfin = Profundidad Final en m. Pini = Profundidad Inicial en m. Longitud = Longitud en m.</p> <p>Sx = Sumatoria de las diferencias al cuadrado Vx = Varianza (poblacional y muestral) dx = Desviación o Error Típico (poblacional y muestral).</p>											

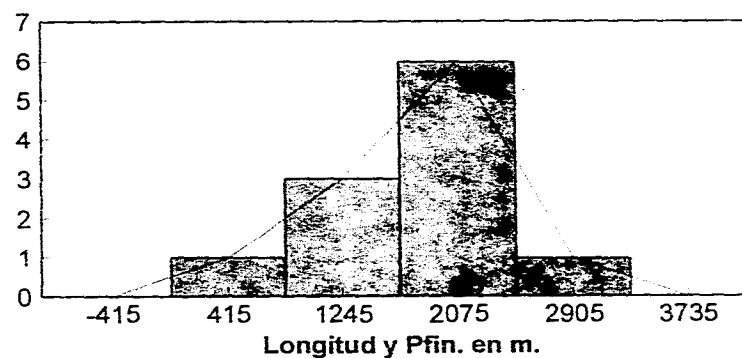
Histogramas de Profundidad Total de los Pozos [PTP] del Campo Geotérmico La Primavera, Jal.

Profundidad en m.



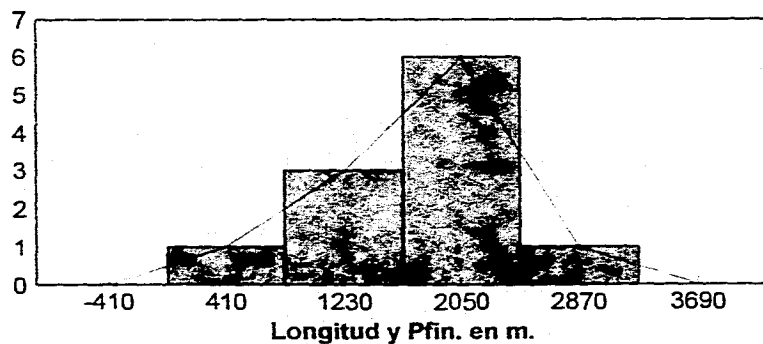
IPF = 830 m.

No. de Pozos



IPF = 820 m.

No. de Pozos



IPF = 824 m.

No. de Pozos

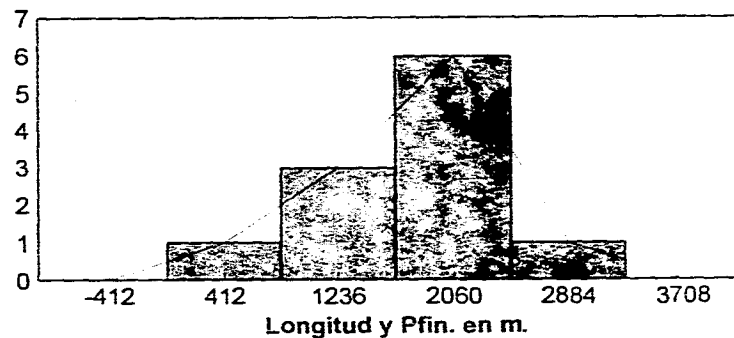


Tabla IV.2a

Rangos Estimados de Profundidad Final y Longitudes de Tuberías Utilizadas en el Campo Geotérmico La Primavera.

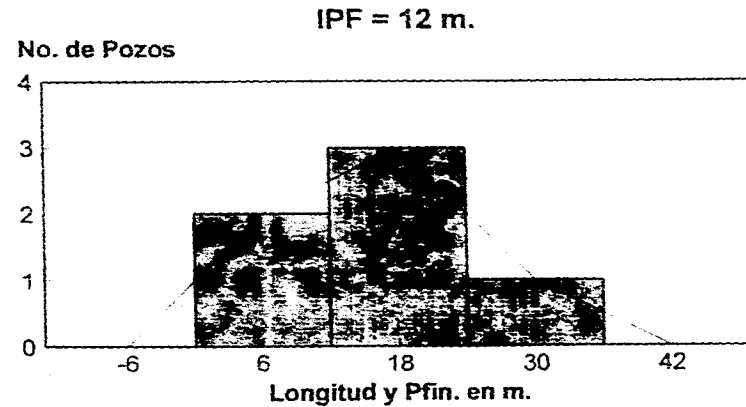
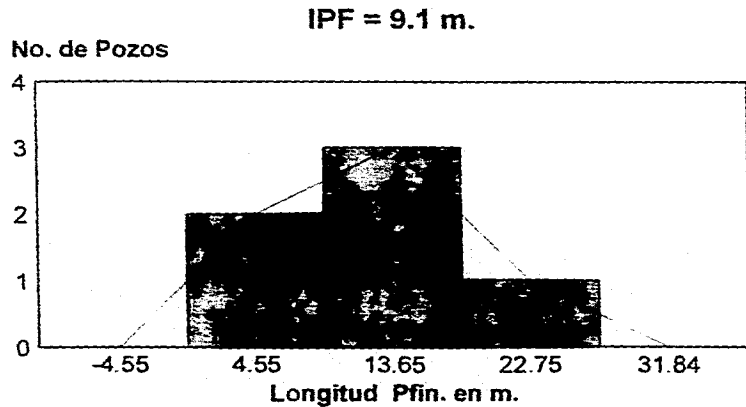
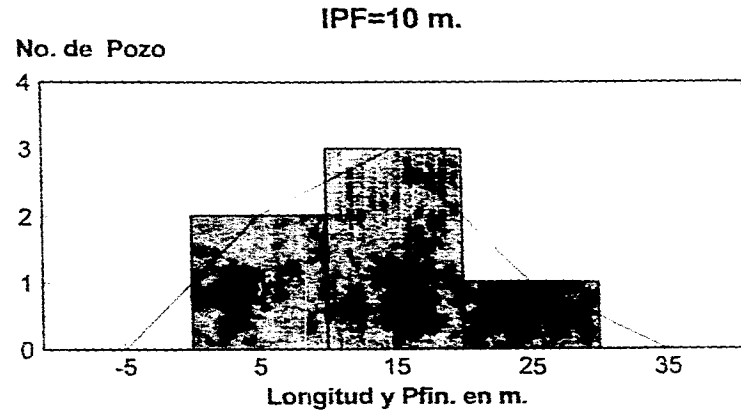
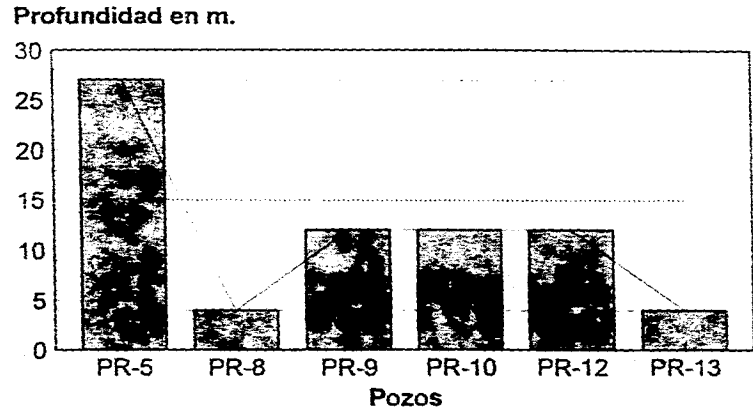
30	0	11,99	6	2	0	9,99	5	2	0	9,09	4,55	2
	12	23,99	18	3	10	19,99	15	3	9,1	18,19	13,65	3
	24	35,99	30	1	20	29,99	25	1	18,2	27,29	27,75	1
20	IPF = 70				IPF = 130				IPF = 130			
	0	69,99	35	2	0	70,99	35,5	2	0	71,99	36	2
	70	139,99	105	5	71	141,99	106,5	5	72	143,99	108	5
	140	209,99	175	1	142	212,99	177,5	1	144	215,99	180	1
	210	279,99	245	0	213	283,99	248,5	0	216	287,99	252	0
	280	349,99	315	1	284	354,99	319,5	1	288	359,99	324	1
	IPF = 68				IPF = 70				IPF = 70			
	0	67,99	34	2	0	76,99	38,5	3	0	77,49	38,75	3
	68	135,99	102	5	77	153,99	115,5	4	77,5	154,99	116,25	4
	136	203,99	170	1	154	230,99	192,5	1	155	235,49	193,75	1
204	271,99	238	0	231	307,99	269,5	0	235,5	309,99	271,25	0	
272	339,99	306	1	308	384,99	346,5	1	310	387,49	378,25	1	
13 3/8	IPF = 270				IPF = 270				IPF = 270			
	0	289,99	145	3	0	279,99	140	3	0	269,99	135	3
	290	579,99	435	2	280	559,99	420	2	270	539,99	405	2
	580	869,99	725	3	560	839,99	700	3	540	809,99	675	3
	IPF = 270				IPF = 270				IPF = 270			
	0	276,99	138,5	3	0	264,99	132,5	3	0	300,99	150,5	3
	277	253,99	415,5	2	265	529,99	397,5	2	301	601,99	415,5	4
	554	830,99	692,5	3	530	794,99	662,5	3	602	902,99	752,5	1
	IPF = 300				IPF = 299				IPF = 298			
	0	299,99	150	3	0	298,99	149,5	3	0	297,99	149	3
300	599,99	450	4	299	597,99	448,5	4	298	595,99	447	4	
600	999,99	750	1	598	896,99	747,5	1	596	893,99	745	1	
9 5/8	IPF = 675				IPF = 700				IPF = 690			
	0	674,99	337,5	2	0	699,99	350	2	0	689,99	345	2
	675	1349,99	1012,5	3	700	1399,99	1050	4	690	1379,99	1035	3
	1350	2024,99	1687,5	2	1400	2059,99	1750	1	1380	2069,99	1725	2
	IPF = 680				IPF = 684				IPF = 684			
	0	679,99	340	2	0	264,99	341,5	2	0	683,99	342	2
680	1359,99	1020	3	683	1365,99	1024,5	3	684	1367,99	1026	3	
1360	2039,99	1700	2	1366	2048,99	1707,5	2	1368	2051,99	1710	2	

Rango = Rango de profundidades o longitudes de Tubería en m. X_r = Valor de medio del rango en m. No. Pozos = Frecuencia en que se presenta.

IPF = Intervalo de profundidad final o longitud de tubería en m.

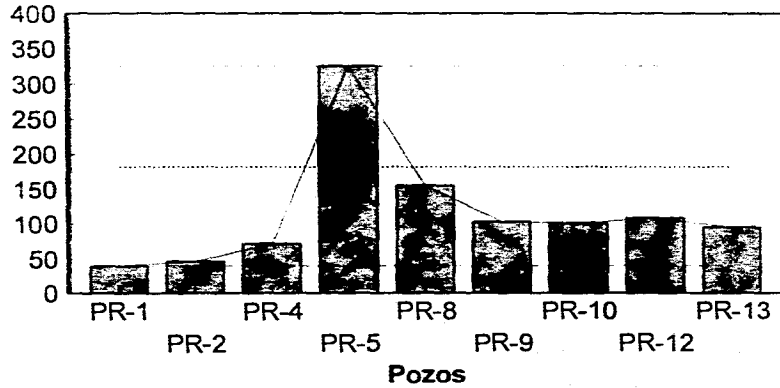
X_m = Valor mediana de profundidad o longitud de tubería en m.

Histogramas de Longitud y Profundidad Final Para Tuberías de 30 pg. de los Pozos del Campo Geotérmico La Primavera, Jal.



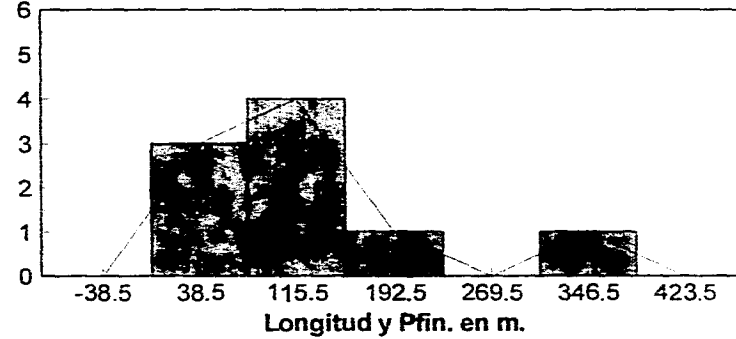
Histogramas de Longitud y Profundidad Final Para Tuberías de 20 pg. de los Pozos del Campo Geotérmico La Primavera, Jal.

Profundidad en m.



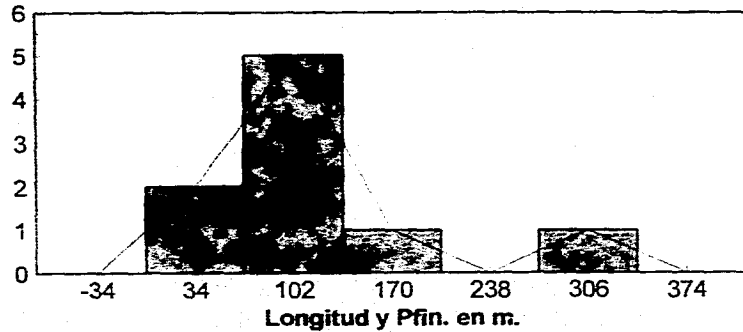
IPF = 77 m.

No. de Pozos



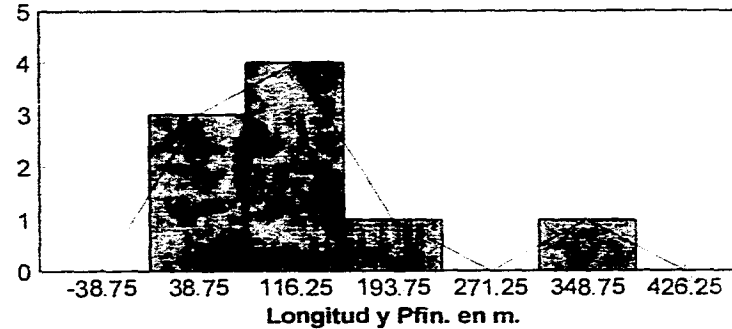
IPF = 68 m.

No. de Pozos



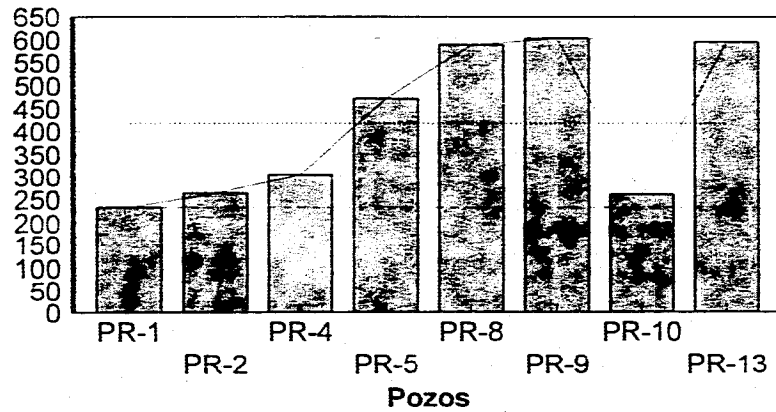
IPF = 77.5

No. de Pozos

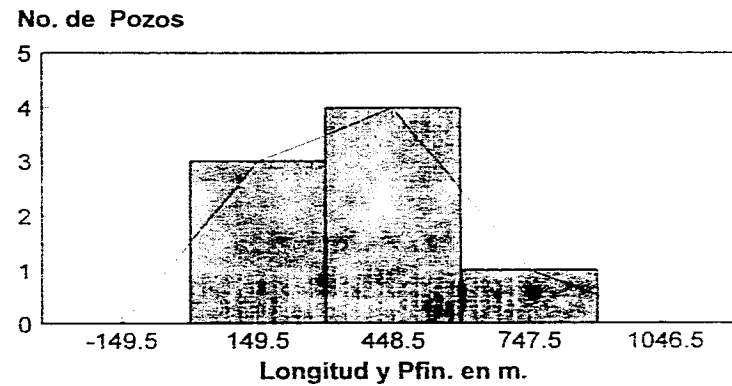


Histogramas de Longitud y Profundidad Final Para Tuberías de 13 3/8 pg. de los Pozos del Campo Geotérmico La Primavera, Jal.

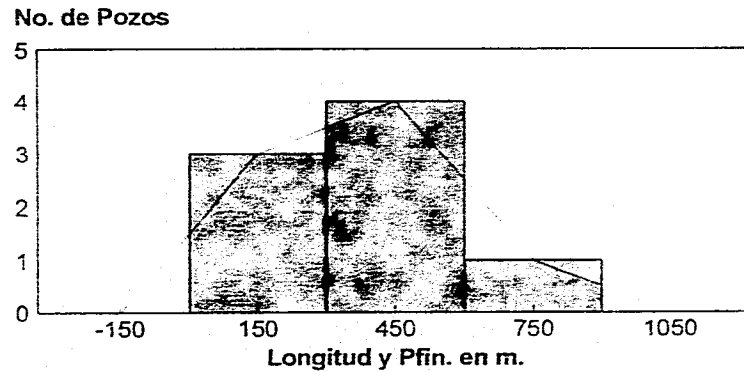
Profundidad en m.



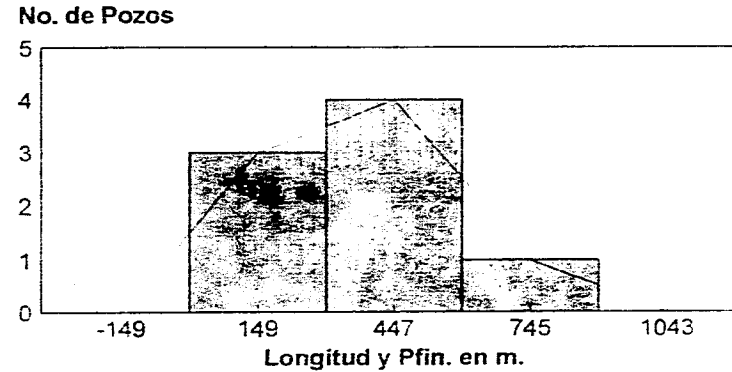
IPF = 299 m.



IPF = 300 m.

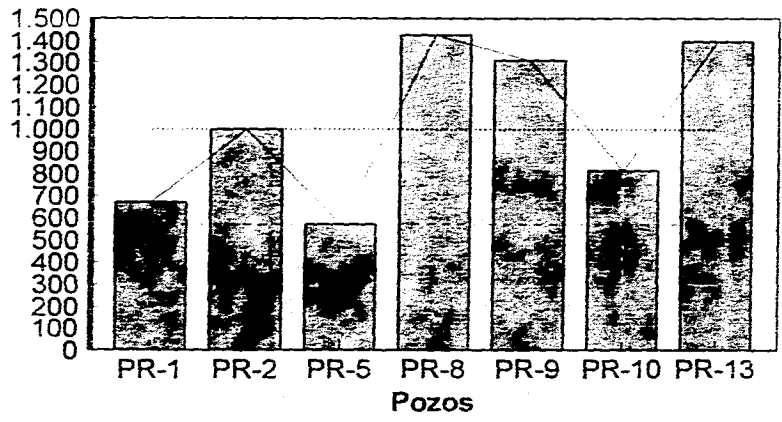


IPF = 298 m.

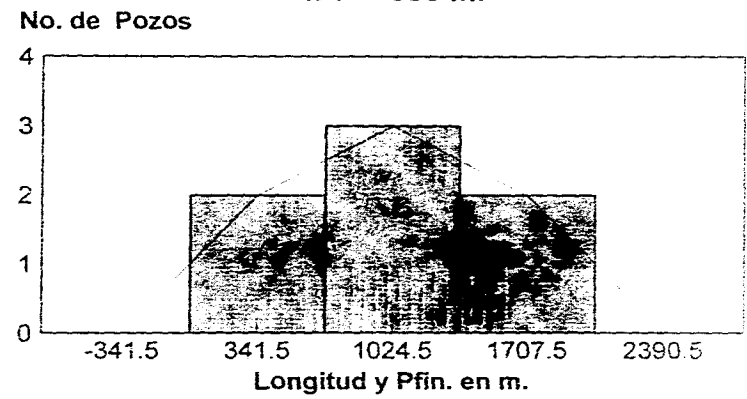


Histogramas de Longitud y Profundidad Final Para Tuberías de 9 5/8 pg. de los Pozos del Campo Geotérmico La Primavera, Jal.

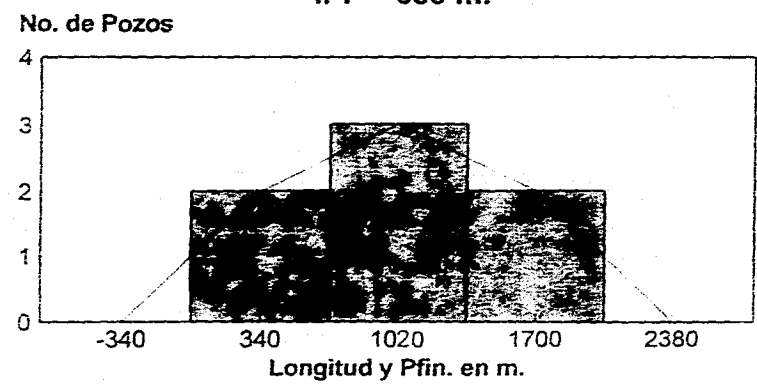
Profundidad en m.



IPF = 683 m.



IPF = 680 m.



IPF = 684 m.

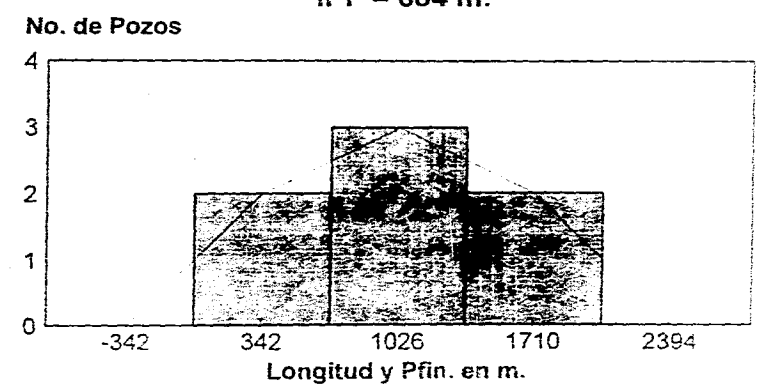


Tabla IV.2b

Rangos Estimados de Profundidad Final y Longitudes de Tuberías Utilizadas en el Campo Geotérmico La Primavera.

7	IPF = 1962,5				IPI = 210				ITT = 1702,5			
	700	1399,99	1050	2	710	1419,99	1065	2	720	1439,99	1080	2
	1400	2099,99	1750	4	1420	2129,99	1775	4	1440	2159,99	1800	4
	2100	2799,99	2450	1	2130	2839,99	2485	1	2160	2879,99	2520	1
	1020	1529,99	1275	2	1040	1559,99	1300	2	1030	1544,99	1287,5	2
	1530	2039,99	1785	4	1560	2079,99	1820	4	1545	2059,99	1802,5	4
	2040	2549,99	2295	1	2080	2599,99	2340	1	2060	2574,99	2317,5	1
7	0	629,99	315	2	0	659,99	330	2	0	649,99	325	2
	630	1259,99	945	3	660	1319,99	990	3	650	1299,99	975	3
	1260	1889,99	1575	2	1320	1979,99	1620	2	1300	1949,99	1625	2
	0	648,99	1275	2	0	639,99	320	2	0	647,99	324	2
	649	1297,99	1785	3	640	1279,99	960	3	648	1295,99	972	3
	1296	1946,99	2295	2	1280	1919,99	1600	2	1296	1993,99	1620	2
7	300	659,99	450	2	330	659,99	495	3	320	639,99	480	2
	660	899,99	750	2	660	989,99	825	2	640	959,99	800	3
	900	1199,99	1050	3	990	1319,99	1155	2	960	1279,99	1120	2
	305	609,99	457,5	2	310	619,99	465	2	306	611,99	459	2
	610	914,99	762,5	3	620	929,99	775	3	612	917,99	765	3
	915	1219,99	1067,5	2	930	1239,99	1085	2	918	1223,99	1077	2
Totales de tubería por pozo	0	1379,99	690	2	0	1369,99	685	3	0	1373,99	687	2
	1380	2759,99	2070	6	1370	2739,99	2055	6	1374	2747,99	2061	6
	2760	4139,99	3450	1	2740	4109,99	3425	1	2748	4121,99	3435	1
	0	1399,99	700	2	0	1409,99	705	2	0	1389,99	695	2
	1400	2799,99	2100	6	1410	2819,99	2115	6	1390	2779,99	2085	6
	2800	4200	3500	1	2820	4229,99	3525	1	2780	4169,99	3475	1

IPF = Intervalo ó rango de Profundidad Final de T.R. en m.

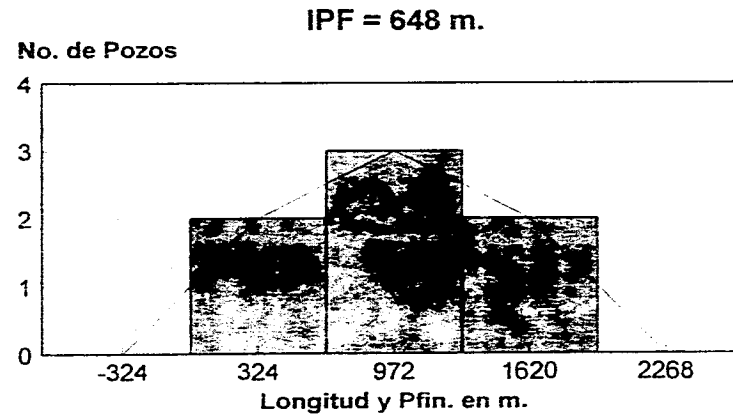
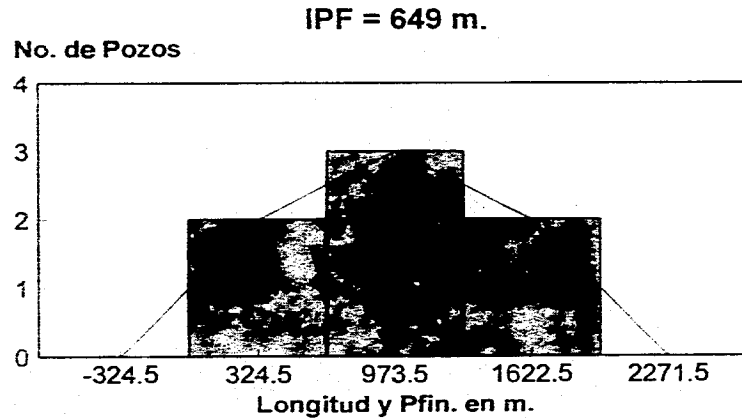
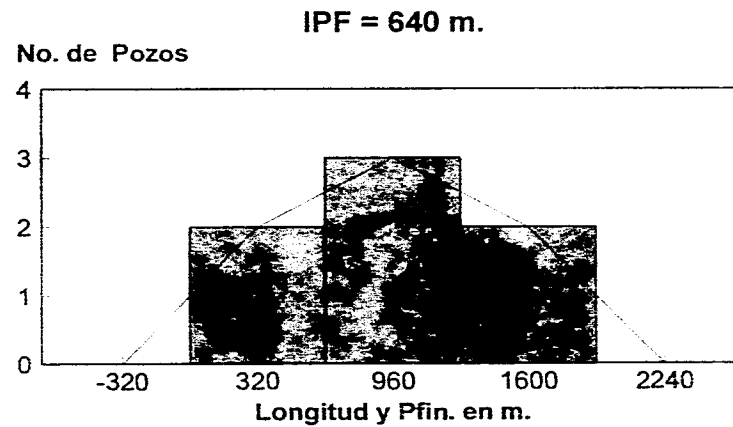
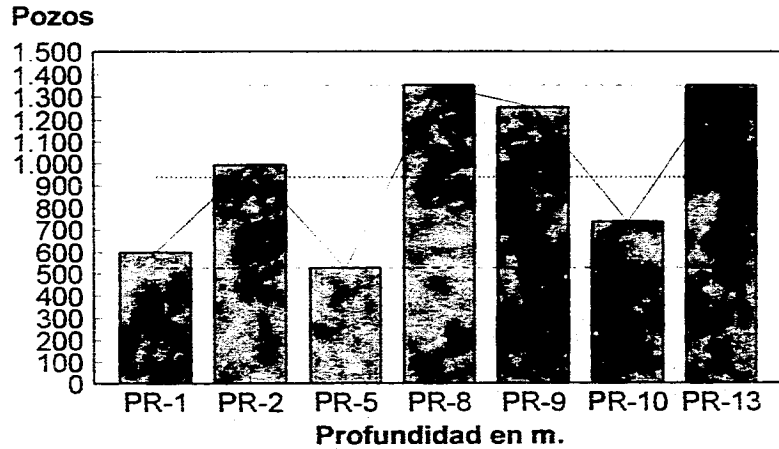
IPI = Intervalo o rango de Profundidad Inicial de colocación de liner en m.

IL = Intervalo de Longitud del Liner (ciego y/o ranurado) en m.

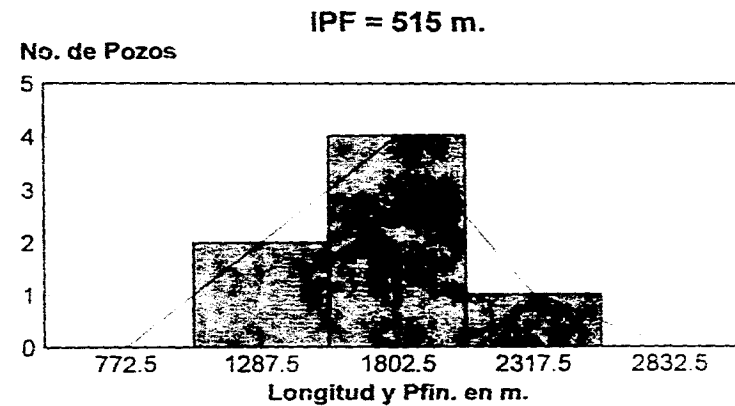
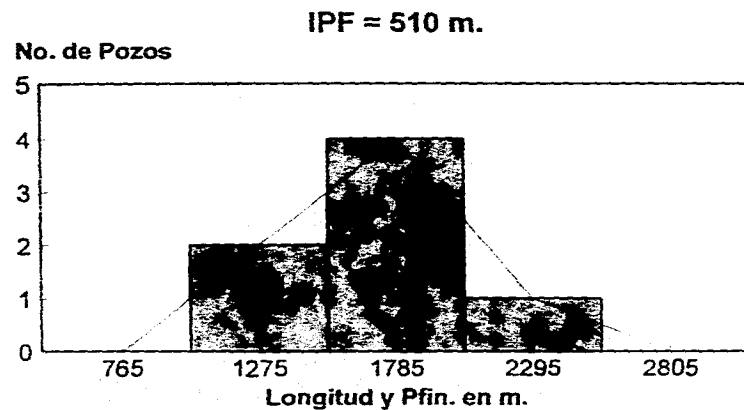
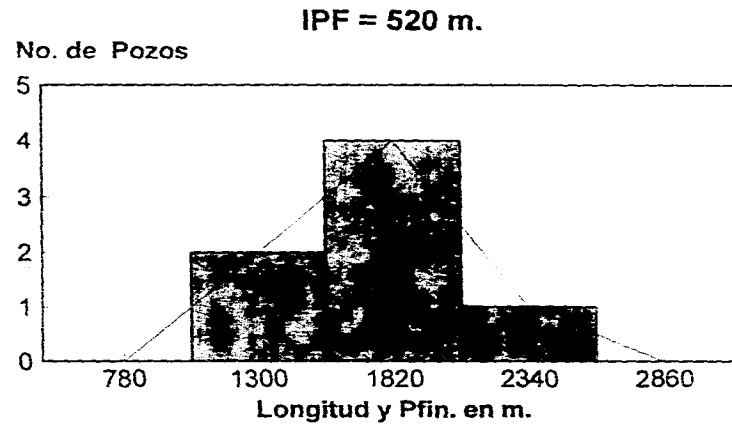
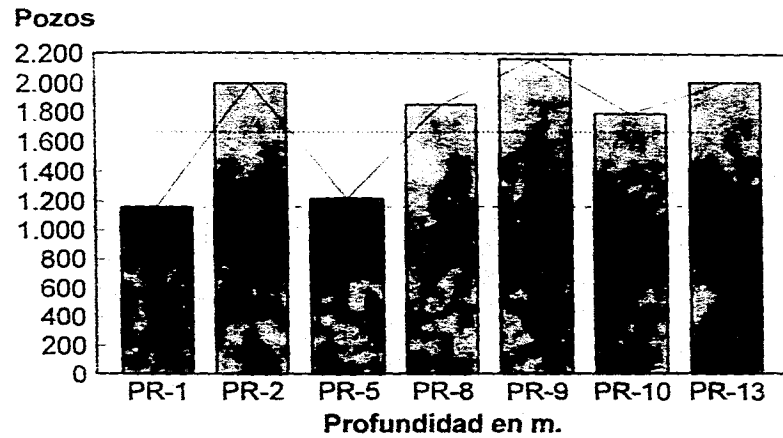
ITT = Intervalo o rango de los metros Totales de Tuberías ocupadas por los Pozos.

Nota : Los intervalos anteriores son supuestos.

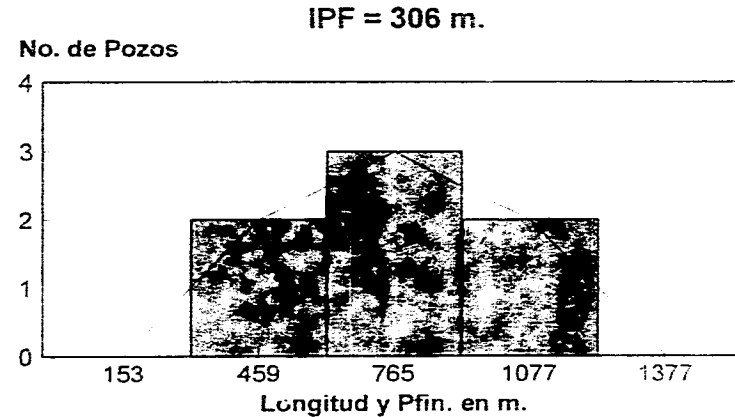
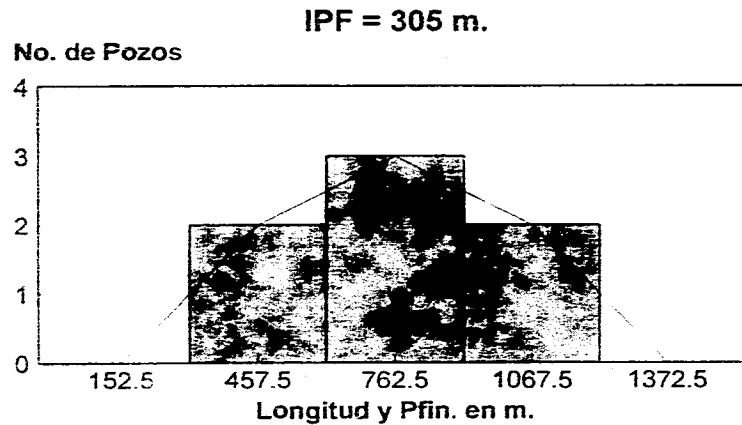
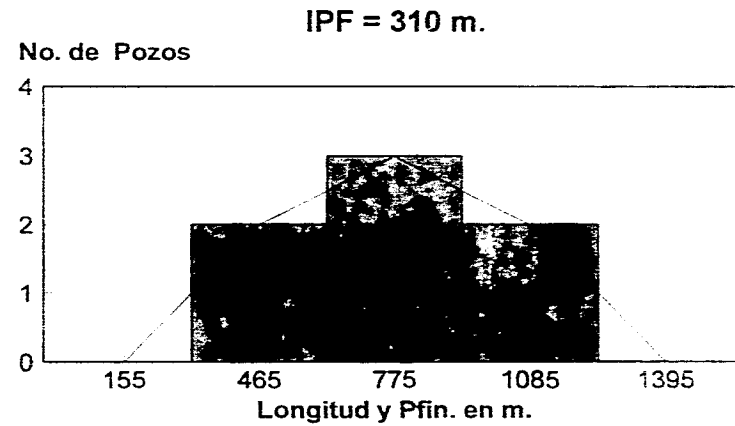
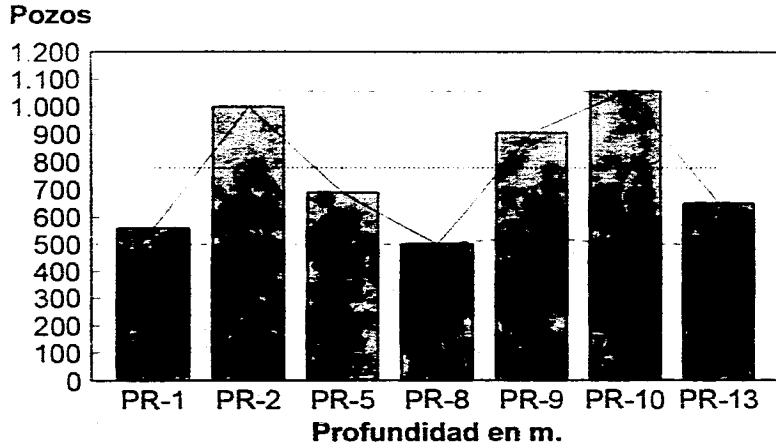
Histogramas de Profundidad Inicial Para Tuberías de 7 pg. de los Pozos del Campo Geotérmico La Primavera, Jal.



Histogramas de Profundidad Final Para Tuberías de 7 pg. de los Pozos del Campo Geotérmico La Primavera, Jal.

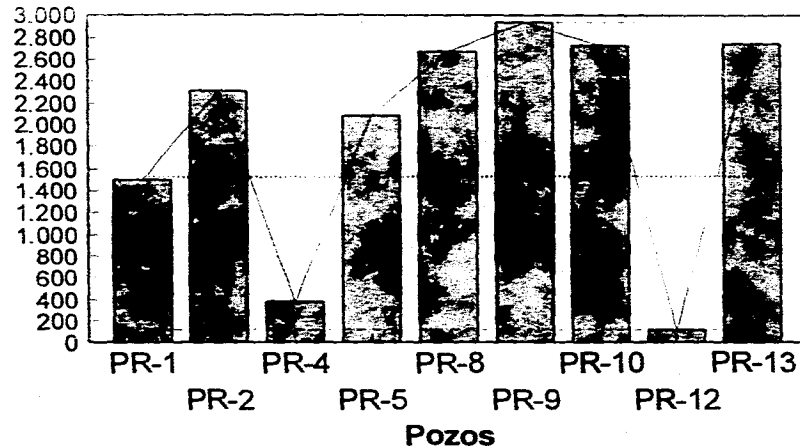


Histogramas de Longitud Para Tuberías de 7 pg. de los Pozos del Campo Geotérmico La Primavera, Jal.

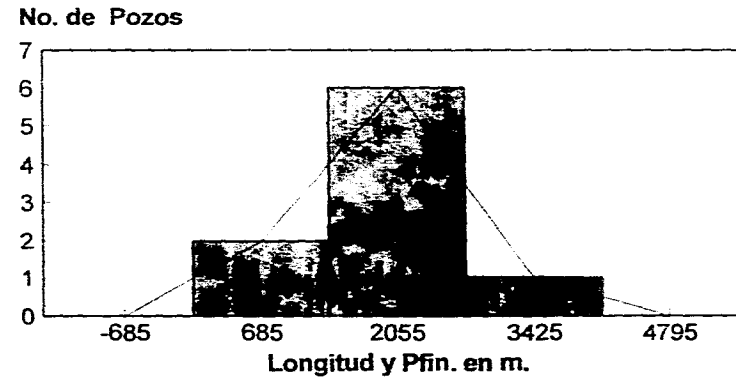


Histogramas de Metros de Tubería que hay por cada Pozo del Campo Geotérmico La Primavera, Jal.

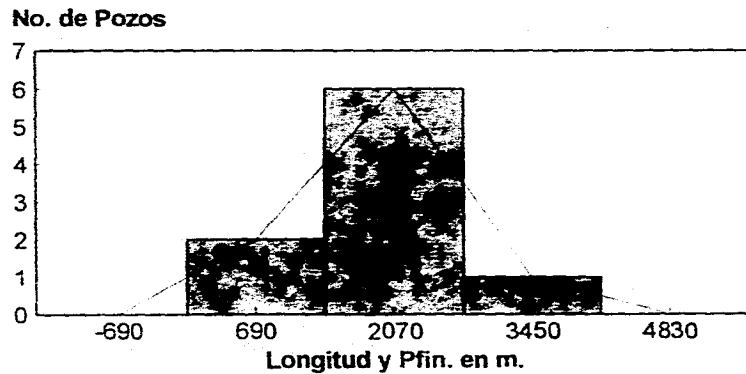
Profundidad en m.



IPF = 1370 m.



IPF = 1380 m.



IPF = 1374 m.

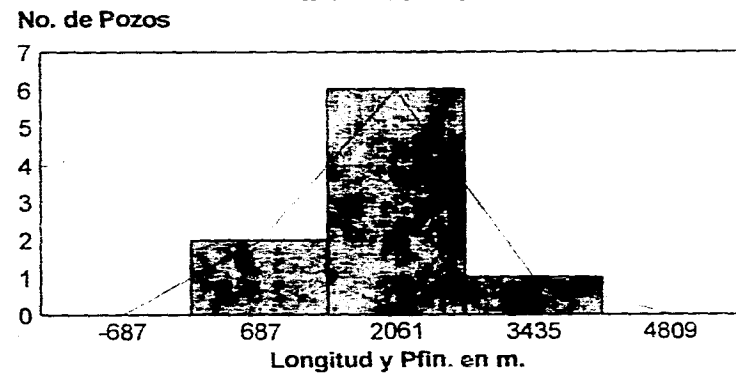


Tabla IV.3 Registros de Temperatura en los Pozos Campo Geotérmico La Primavera		
PR-1	1226	266
PR-1	1226	256
PR-1	1822	303
PR-1	1822	305
PR-2	1950	305
PR-5	1215	258
PR-8	1861	281
PR-8	1861	287
PR-8	1861	286
PR-9	2986	356
PR-10	2271	290
PR-10	2080	287
PR-11	2157	311
PR-12	2303	337
PR-12	2225	326,6
PR-13	2006	286
PI-1	442	101
PR-4	668	199
PR-4	500	82
PR-5	690	198
PR-5	690	178
PR-1	1159	284
PR-2	1850	169
PR-2	1850	184
PR-2	1980	210
PR-2	2000	168
PR-2	2000	210
PR-4	668	80
PR-5	1215	234
PR-5	1215	223
PR-5	1215	207
PR-9	2986	297
PR-12	2293	218
No	33	33
Suma Total	54293	7982,6
Xmin	442	80
Xmax	2986	356
R	2544	276
Xr	1714	218
Xm	1850	258
Xp	1645,242424	241,8969697
dxp	658,7782553	69,89403445
dxm	668,9924808	70,97772751
Vxp	433968,7897	4885,176051
Vxm	447550,9394	5037,837803
Xp-dxp	986,4641689	172,0029352
Xp+dxp	2304,02068	311,7910041
Xp-2dxp	327,6859136	102,1089008
Xp+2dxp	2962,798935	381,6850386
Xp-dxm	976,2499434	170,9192422
Xp+dxm	2314,234905	312,8746972

Fig. IV.3 Perfil de Temperatura y Profundidad de Registro.

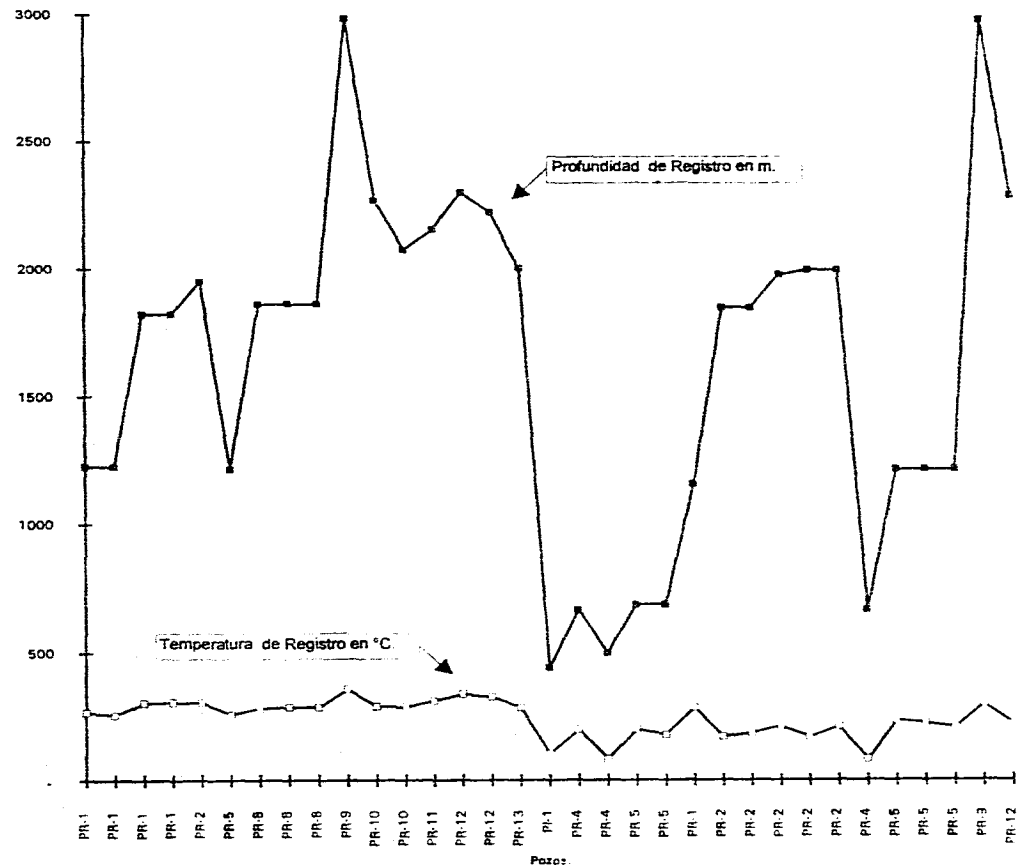


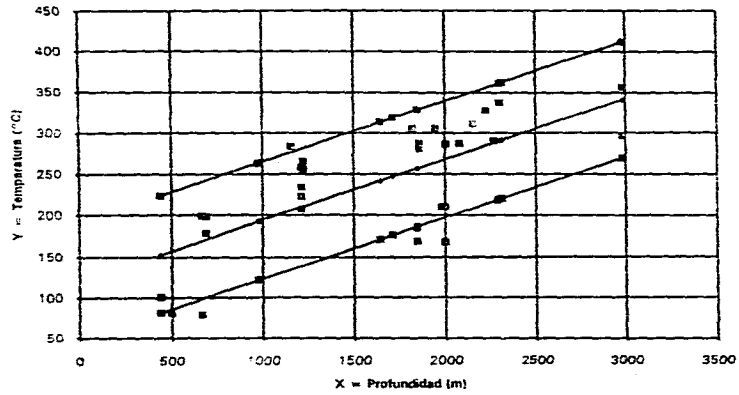
Tabla IV.3a
Correlación Estadística de Registro de Temperatura en los Pozos del Campo Geotérmico La Primavera, Jalisco.

PR-1	1226	1226	266	1503076	70756	326115	7,111512116	5,583496309	50,57360458	31,17543103	39,70710165	6845,366475	1891,662223
PR-1		1226	256	1503076	65536	313856	7,111512116	5,545177444	50,57360458	30,74899289	39,43459658	6798,387547	1820,547102
PR-1	1822	1822	303	3319684	91809	552066	7,507690078	5,713732806	56,3654103	32,64674257	42,89693509	10410,42117	2274,830094
PR-1		1822	305	3319684	93025	555710	7,507690078	5,720311777	56,3654103	32,72196682	42,94632797	10420,40806	2289,845474
PR-2	1950	1950	305	3802500	93025	594750	7,575594652	5,720311777	57,38948281	32,72196682	43,3347061	11154,60796	2310,553319
PR-5	1215	1215	258	1476225	66564	313470	7,102499356	5,552959585	50,4454971	30,83536015	39,43999197	6746,845896	1832,444834
PR-8	1861	1861	281	3463321	78961	522941	7,528869257	5,638354669	56,68387228	31,79104338	42,45043513	10492,97804	2115,612261
PR-8		1861	287	3463321	82369	534107	7,528869257	5,659482216	56,68387228	32,02973895	42,60950166	10532,2964	2160,785477
PR-8		1861	286	3463321	81796	532246	7,528869257	5,655991811	56,68387228	31,99024336	42,58322286	10525,80076	2153,256607
PR-9	2986	2986	356	8916196	126736	1063018	8,001689976	5,874930731	64,02704251	34,51481109	47,00937435	17542,54316	2848,601652
PR-10	2271	2271	290	5157441	84100	658590	7,727975542	5,669880923	59,72160598	32,14754968	43,8167011	12876,29958	2241,112907
PR-10	2080	2080	287	4325400	82369	596960	7,640123173	5,659482216	58,37148209	32,02973895	43,23914122	11771,72301	2192,715351
PR-11	2157	2157	311	4652649	96721	670827	7,676473646	5,739792912	56,92824764	32,94522267	44,06136903	12380,73331	2387,383304
PR-12	2303	2303	337	5303809	113669	776111	7,7419679	5,82008293	59,93806696	33,67336532	45,05889522	13403,65099	2609,043182
PR-12	2225	2225	326,6	4950625	106667,56	726685	7,707512195	5,788736181	59,40574423	33,60946657	44,6167547	12879,938	2517,273483
PR-13	2006	2006	286	4024036	81796	573716	7,503897969	5,655991811	57,81926432	31,99024336	43,00758464	11346,91957	2174,714819
PR-1		442	101	195364	10201	44642	6,091309882	4,615120517	37,10405608	21,29933738	28,11212921	2039,883268	615,2222981
PR-4		668	199	446224	39601	132932	6,504288174	5,293304825	42,30576464	28,01907597	34,42917997	3535,927623	1294,353394
PR-4		500	82	250000	6724	41000	6,214008098	4,406719247	38,62133382	19,41917452	27,38603312	2203,259624	509,5678641
PR-5		690	198	476100	39204	136620	6,536691598	5,285267031	42,72833704	27,96576819	34,56777067	3646,904251	1294,264936
PR-5		690	178	476100	31684	122820	6,536691598	5,18176355	42,72833704	26,85068076	33,87172099	3575,43065	1163,531104
PR-1		1159	284	1343281	80656	329156	7,055312843	5,648974238	49,77743932	31,91090994	36,85528049	6547,161142	2003,708849
PR-2		1850	169	3422500	28561	312650	7,522940918	5,128998715	56,59464006	26,31566083	38,59192495	9490,312623	1271,377015
PR-2		1850	184	3422500	33856	340400	7,522940918	5,214935758	56,59464006	27,19555496	39,2316536	9547,631152	1384,221129
PR-2		1980	210	3920400	44100	415800	7,590852124	5,347107531	57,62103596	28,59155895	40,58910256	10587,27291	1594,078546
PR-2		2000	168	4000000	28224	336003	7,60090246	5,123963979	57,7737182	26,25500686	38,94675041	10247,92796	1276,951613
PR-2		2000	210	4000000	44100	420000	7,60090246	5,347107531	57,7737182	28,59155895	40,64284278	10694,21506	1596,189517
PR-4		668	80	446224	6400	53440	6,504288174	4,382026635	42,30576464	19,20215743	28,50196402	2927,193792	520,3430539
PR-5		1215	234	1476225	54756	284310	7,102499356	5,455321115	50,4454971	29,76052847	38,74641471	6628,215155	1661,984849
PR-5		1215	223	1476225	49729	270945	7,102499356	5,407171771	50,4454971	29,23750657	38,40443402	6569,713702	1583,857356
PR-5		1215	207	1476225	42849	251505	7,102499356	5,332718793	50,4454971	28,43788973	37,87563179	6479,253334	1470,217367
PR-5		2986	297	8916196	89209	896842	8,001689978	5,693732139	64,02704251	32,41858567	45,55947939	17001,48417	2376,501923
PR-12		2293	218	5257849	47524	499874	7,737616283	5,384495063	59,87070574	28,99278708	41,66315667	12346,64716	1686,80035
No		33	33										
Suma Total		54293,00	7982,60	103646777,00	2092177,56	141901003,00	240,93	179,25	1767,14	979,14	1313,19	300300,45	59123,58
Y = a+bX	0,073789642	120,4947906	0,695497749	658,7782553	69,89403445	668,9924808	70,97772751	1645,242424	241,8969697	976,2499434	2314,234905	170,9192422	312,8746972
Y = a+blnX	103,9179184	-516,8023051	0,737177521	0,49581739	69,89403445	0,50350494	70,97772751	1481,703295	241,8969697	895,5541067	2451,493034	170,9192422	312,8746972
lnY = lna+lnb X	1,00037632	123,0804418	0,673636274	658,7782553	0,367950628	668,9924808	0,373656629	1645,242424	228,5738908	976,2499434	2314,234905	157,3077224	332,1282475
lnY = lna+blnX	0,552624239	4,043776078	0,744667049	0,49581739	0,367950628	0,50350494	0,373656629	1481,703295	226,5738908	895,5541067	2451,493034	157,3077224	332,1282475

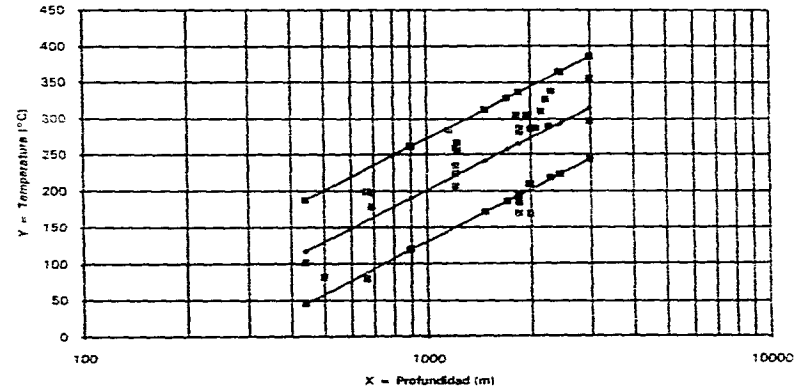
Tabla 4.3a (continuación). Estimación de la Temperatura de Registro en Función de la Profundidad Y=F(X).

Grafica No 1. Método de Ajuste por Mínimos Cuadrados $Y = a + bX$							Grafica No 2. Método de Ajuste Logarítmico $Y = a + b \ln X$						
a	b	r	d _{xm}	d _{ym}	d _{xp}	d _{yp}	a	b	r	d _{lnxm}	d _{ym}	d _{lnxp}	d _{yp}
120.4947906	0.073789842	0.695497749	668.9924808	70.97772751	658.7782553	69.89403445	-516.8023051	103.9179184	0.737177521	0.50350494	70.97772751	0.49581739	69.89403445
X = Profundidad (m)		Y = Temperatura (°C)		Yest = a + bX	Yest-d _{ym}	Yest+d _{ym}	X = Profundidad (m)		Y = Temperatura (°C)		Yest = a + b ln X	Yest-d _{ym}	Yest+d _{ym}
X _{max}	2986	Y _{max}	356	340.8312598	269.8535323	411.8089873	X _{max}	2986	Y _{max}	356	314.716661	243.7389335	385.6943885
X _{min}	442	Y _{min}	80	153.1099009	82.1321734	224.0876284	X _{min}	442	Y _{min}	80	116.1939981	45.2162106	187.1718556
X _r	1714	Y _r	218	246.9705804	175.9928529	317.9483079	X _r	1714	Y _r	218	257.0313175	156.05359	328.009045
X _m	1850	Y _m	258	257.0059989	186.0282714	327.9837264	X _m	1850	Y _m	258	264.9660553	193.9883278	335.9437828
X _p	1645.242424	Y _p	241.8969697	241.8969697	170.9192422	312.8746972	X _p	1481.703295	Y _p	241.8969697	241.8969697	170.9192422	312.8746972
X _{p-dxp}	986.4641689	Y _{p-dyp}	172.0029352	193.2858261	122.3080986	264.2635536	X _{p-dxp}	902.4652543	Y _{p-dyp}	172.0029352	190.3726586	119.3949311	261.3503861
X _{p+dxp}	2304.02068	Y _{p+dyp}	311.7910041	290.5081133	219.5303858	361.4858408	X _{p+dxp}	2432.719314	Y _{p+dyp}	311.7910041	293.4212808	222.4435533	364.3990083
X _{p-dxm}	976.2499434	Y _{p-dym}	170.9192422	192.53218	121.5543925	263.5098475	X _{p-dxm}	895.5541067	Y _{p-dym}	170.9192422	189.5737845	118.5960669	260.551512
X _{p+dxm}	2314.234905	Y _{p+dym}	312.8746972	291.2618194	220.2840919	362.2395469	X _{p+dxm}	2451.493034	Y _{p+dym}	312.8746972	294.2201549	223.2424274	365.1978824
Grafica No 3. Método de Ajuste Exponencial $Y = ab^X$ o $Y = \text{Exp}(\ln a + \ln b X)$							Grafica No 4. Método de Ajuste Geométrico $Y = aX^b$ o $Y = \text{Exp}(\ln a + b \ln X)$						
a	b	r	d _{xm}	d _{lnym}	d _{xp}	d _{lnyp}	a	b	r	d _{lnxm}	d _{lnym}	d _{lnxp}	d _{lnyp}
123.0804418	1.00037632	0.673636274	668.9924808	0.373655629	658.7782553	0.367950628	4.043776078	0.552624239	0.744667049	0.50350494	0.373655629	0.49581739	0.367950628
X = Profundidad (m)		Y = Temperatura (°C)		Yest = ab ^X	Yest-d _{ym}	Yest+d _{ym}	X = Profundidad (m)		Y = Temperatura (°C)		Yest = aX ^b	Yest-d _{ym}	Yest+d _{ym}
X _{max}	2986	Y _{max}	356	378.5388452	260.5156844	550.0308269	X _{max}	2986	Y _{max}	356	336.6711931	231.7017855	489.1955928
X _{min}	442	Y _{min}	80	145.3493786	100.0314587	211.1979786	X _{min}	442	Y _{min}	80	117.1417124	80.61855144	170.2112048
X _r	1714	Y _r	218	234.5642469	161.4303686	340.8304547	X _r	1714	Y _r	218	247.7307212	170.4917189	359.9618247
X _m	1850	Y _m	258	246.8792711	169.9057391	358.7246364	X _m	1850	Y _m	258	258.407664	177.839739	375.4758142
X _p	1645.242424	Y _p	228.5738908	228.5738908	157.3077224	332.1262475	X _p	1481.703295	Y _p	228.5738908	228.5738908	157.3077224	332.1262475
X _{p-dxp}	986.4641689	Y _{p-dyp}	158.207728	178.3940097	122.7732321	259.2130396	X _{p-dxp}	902.4652543	Y _{p-dyp}	158.207728	173.7919377	119.6060224	252.5260602
X _{p+dxp}	2304.02068	Y _{p+dyp}	330.2368615	292.8687104	201.5563092	425.5489787	X _{p+dxp}	2432.719314	Y _{p+dyp}	330.2368615	300.6239774	206.8935915	436.8176561
X _{p-dxm}	976.2499434	Y _{p-dym}	157.3077224	177.7097401	122.3023083	258.2187708	X _{p-dxm}	895.5541067	Y _{p-dym}	157.3077224	173.0551789	119.0989748	251.4555227
X _{p+dxm}	2314.234905	Y _{p+dym}	332.1262475	293.9963984	202.3323997	427.1875507	X _{p+dxm}	2451.493034	Y _{p+dym}	332.1262475	301.9038429	207.7744127	438.6773576

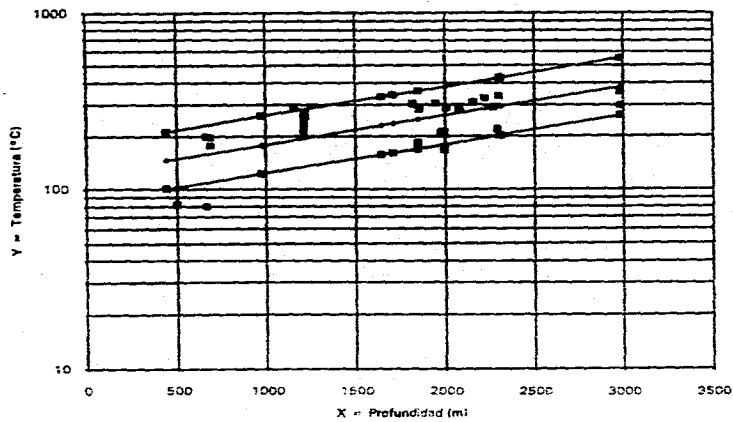
(1) $Y_{est} = a + bX$



(2) $Y_{est} = a + b \ln X$



(3) $Y_{est} = ab^X$ o $Y_{est} = \text{Exp}(\ln a + \ln b X)$



(4) $Y_{est} = aX^b$ o $Y_{est} = \text{Exp}(\ln a + b \ln X)$

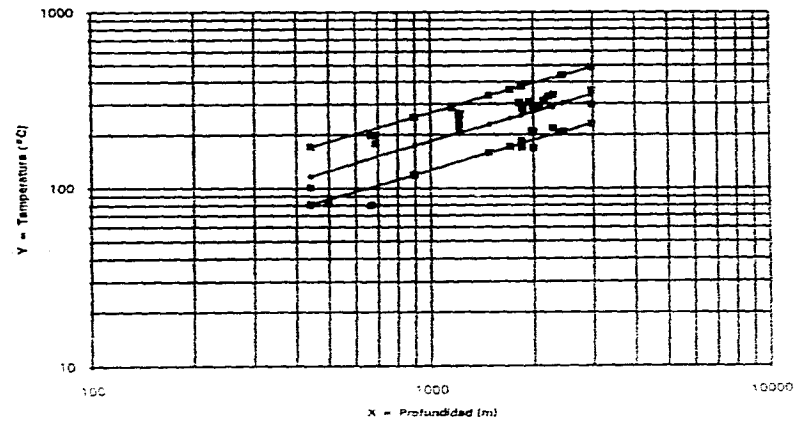


Tabla IV.3b

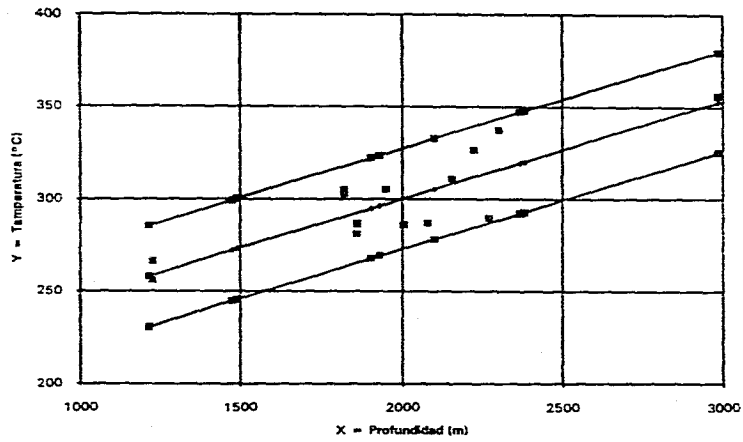
Correlación Estadística de Registro de Temperatura en los Pozos del Campo Geotérmico La Primavera, Jalisco.

Pozo	Profundidad	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆
PR-1	1226	1226	266	1503076	70756	326116	7,111512116	5,583496309	50,57360458	31,17543103	39,70710165	6645,366475	1891,662223				
PR-1	1226	1226	256	1503076	65536	313856	7,111512116	5,545177444	50,57360458	30,74899289	39,43459658	6798,387547	1820,547102				
PR-1	1822	1822	303	3319684	91809	552066	7,507690078	5,713732806	56,3654103	32,64674257	42,89693509	10410,42117	2274,830094				
PR-1	1822	1822	305	3319684	93025	555710	7,507690078	5,720311777	56,3654103	32,72196682	42,94632797	10422,40806	2289,845474				
PR-2	1950	1950	305	3802500	93025	594750	7,575584652	5,720311777	57,38948281	32,72196682	43,3347061	11154,60796	2310,553319				
PR-5	1215	1215	258	1476225	66564	313470	7,102499356	5,552959585	50,4454971	30,83536075	39,43989187	6746,845896	1832,444834				
PR-8	1861	1861	281	3463321	78961	522941	7,528869257	5,638354669	56,98367228	31,79104338	42,45043513	10492,97804	2115,612261				
PR-8	1861	1861	287	3463321	82369	534107	7,528869257	5,659483216	56,68367228	32,02973995	42,60950766	10532,2964	2160,784271				
PR-8	1861	1861	295	3463321	81796	532246	7,528869257	5,655991811	56,68367228	31,99024336	42,58322286	10525,80076	2153,256607				
PR-9	2986	2986	356	8916166	126736	1063016	8,001689978	5,874930731	64,02704251	34,51481109	47,00937435	17542,54316	2846,601632				
PR-10	2271	2271	290	5157441	84100	658590	7,727975542	5,669880923	59,72160598	32,14754968	43,8167011	12876,29958	2241,112907				
PR-10	2080	2080	287	4326400	82369	996960	7,640123173	5,659483216	58,37148209	32,02973995	43,23914122	11771,72301	2192,715351				
PR-11	2157	2157	311	4552649	96721	670827	7,676473646	5,739792912	58,92824764	32,94522267	44,06136903	13380,73303	2367,383304				
PR-12	2303	2303	337	5303809	113569	776111	7,7419679	5,82008293	59,93806696	33,87336532	45,05889522	13403,65099	2609,043182				
PR-12	2225	2225	326,6	4950625	109667,56	726685	7,707512195	5,788736181	59,40574423	33,50946657	44,6167547	12879,938	2517,273493				
PR-13	2006	2006	286	4024036	81796	573716	7,603897969	5,655991811	57,81926432	31,99024336	43,00758464	11345,91957	2174,714819				
No.	16	16															
Suma Total	30872,00	4740,60		62545364,00	1415799,56	9311167,00	120,60	91,00	909,98	517,67	686,21	176129,92	35820,38				
Y = a+bX	0,053342376	193,3633846	0,883522431	438,5943456	26,4799895	452,9782923	27,34841555	1829,5	296,2875	1476,521708	2382,478292	268,9390844	323,6359156				
Y = a+blnX	95,68811312	-424,9780187	0,862889581	0,238789399	26,4799895	0,246620631	27,34841555	1877,452409	296,2875	1467,110948	2402,563729	268,9390844	323,6359156				
lnY = ln(a+lnbX)	1,000178029	209,3364173	0,886923947	438,5943456	0,088029799	452,9782923	0,090916786	1829,5	295,131127	1476,521708	2382,478292	269,4823699	323,2210781				
lnY = ln(a+lnbX)	0,322420475	25,97462977	0,974596524	0,238789399	0,088029799	0,246620631	0,090916786	1877,452409	295,131127	1467,110948	2402,563729	269,4823699	323,2210781				

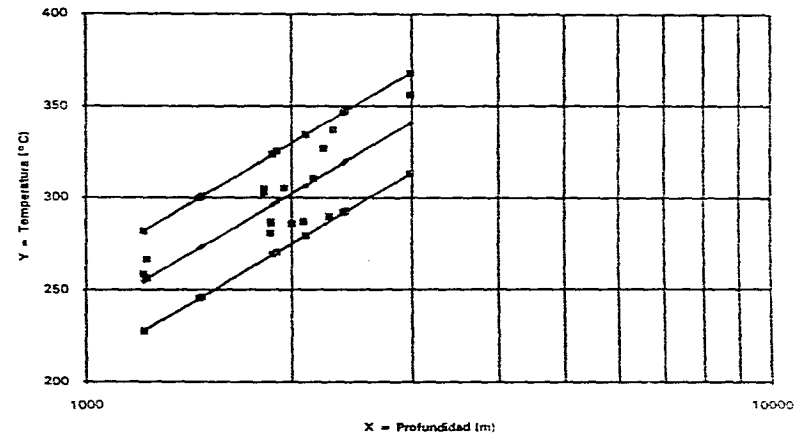
Estimación de la Temperatura de Registro en Función de la Profundidad Y=F(X).

Grafica No 1. Método de Ajuste por Mínimos Cuadrados Y = a+bX							Grafica No 2. Método de Ajuste Logarítmico Y = a+blnX						
a	b	r	dxm	dym	dyp		a	b	r	dlnxm	dym	dlnxp	dyp
193,3633846	0,053342376	0,883522431	452,9782923	27,34841555	438,5943456	26,4799895	-424,9780187	95,68811312	0,862889581	0,246620631	27,34841555	0,238789399	26,4799895
X = Profundidad (m)	Y = Temperatura (°C)	Yest = a+bX	Yest-dym	Yest+dym			X = Profundidad (m)	Y = Temperatura (°C)	Yest = a+blnX	Yest-dym	Yest+dym		
Xmax 2986	Ymax 356	352,6437207	325,2953052	379,9921363			Xmax 2986	Ymax 356	340,6885971	313,3401815	366,0370126		
Xmin 1215	Ymin 256	258,174372	230,8259565	285,5227876			Xmin 1215	Ymin 256	254,6467431	227,2983275	281,9951586		
Xr 2100,5	Yr 306	305,4090464	278,0606308	332,7574619			Xr 2100,5	Yr 306	307,0294146	279,680999	334,3778301		
Xm 1905,5	Ym 288,5	295,007283	267,6588674	322,3556985			Xm 1905,5	Ym 288,5	297,7064289	270,3580133	325,0548444		
Xp 1929,5	Yp 296,2875	296,2875	268,9390844	323,6359156			Xp 1929,5	Yp 296,2875	296,2875	268,9390844	323,6359156		
Xp-dxp 1490,905654	Yp-dyp 269,6075105	272,8918353	245,5434197	300,2402509			Xp-dxp 1490,905654	Yp-dyp 269,6075105	273,4381929	246,0897774	300,7866085		
Xp+dxp 2368,094346	Yp+dyp 322,7674895	319,6631647	292,3347491	347,0315803			Xp+dxp 2368,094346	Yp+dyp 322,7674895	319,1368071	291,7883915	346,4852226		
Xp-dxm 1476,521708	Yp-dym 268,9390844	272,1245614	244,7761458	299,472977			Xp-dxm 1476,521708	Yp-dym 268,9390844	272,6888372	246,3404216	300,0372527		
Xp+dxm 2382,478292	Yp+dym 323,6359156	320,4504386	293,102023	347,7988542			Xp+dxm 2382,478292	Yp+dym 323,6359156	319,8961626	292,5377473	347,2345784		
Grafica No 3. Método de Ajuste Exponencial Y = ab*X o Y = Exp(lna+lnbX)							Grafica No 4. Método de Ajuste Geométrico Y = aX*b o Y = Exp(lna+lnbX)						
a	b	r	dxm	dlnym	dyp	dlnyp	a	b	r	dlnxm	dlnym	dlnxp	dlnyp
209,3364173	1,000178029	0,886923947	452,9782923	0,090916786	438,5943456	0,088029799	25,97462977	0,322420475	0,874596924	0,246620631	0,090916786	0,238789399	0,088029799
X = Profundidad (m)	Y = Temperatura (°C)	Yest = ab*X	Yest-dym*	Yest+dym*			X = Profundidad (m)	Y = Temperatura (°C)	Yest = aX*b	Yest-dym*	Yest+dym*		
Xmax 2986	Ymax 356	356,1995375	325,2435002	390,1018496			Xmax 2986	Ymax 356	342,7594755	312,9715144	376,3825913		
Xmin 1215	Ymin 256	259,8823618	237,2969448	284,6174106			Xmin 1215	Ymin 256	256,4955964	234,2045107	280,9083001		
Xr 2100,5	Yr 306	304,2531464	277,8116282	333,2113118			Xr 2100,5	Yr 306	306,0090165	279,4140022	335,1343019		
Xm 1905,5	Ym 288,5	293,8729205	268,3335095	321,8431182			Xm 1905,5	Ym 288,5	296,5454586	270,7738693	324,7701213		
Xp 1929,5	Yp 295,131127	295,131127	269,4823699	323,2210781			Xp 1929,5	Yp 295,131127	295,131127	269,4823699	323,2210781		
Xp-dxp 1490,905654	Yp-dyp 270,261486	272,9651194	249,2427282	299,5453272			Xp-dxp 1490,905654	Yp-dyp 270,261486	273,261487	249,5133396	299,2699324		
Xp+dxp 2368,094346	Yp+dyp 322,2892889	319,0971152	291,3655625	349,4680979			Xp+dxp 2368,094346	Yp+dyp 322,2892889	318,7510363	291,04956	349,0690799		
Xp-dxm 1476,521708	Yp-dym 269,4823699	272,267076	248,6053492	298,1808756			Xp-dxm 1476,521708	Yp-dym 269,4823699	272,5723859	248,884721	298,5162441		
Xp+dxm 2382,478292	Yp+dym 323,2210781	319,9152223	292,1125709	350,3640707			Xp+dxm 2382,478292	Yp+dym 323,2210781	319,5568835	291,785374	349,5162599		

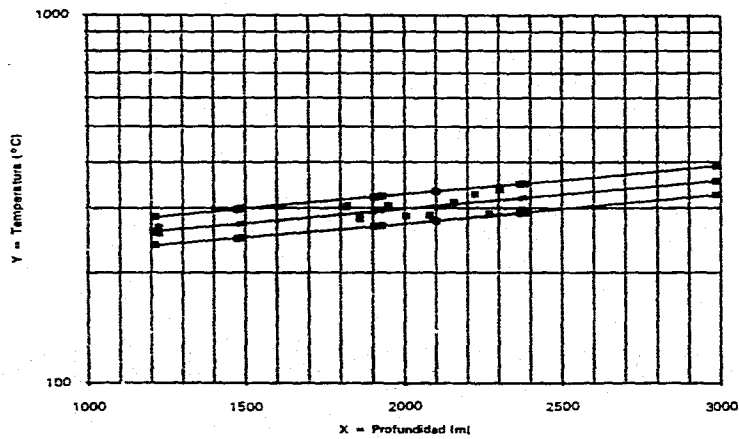
(1) $Y_{est} = a + bX$



(2) $Y_{est} = a + b \ln X$



(3) $Y_{est} = ab^X$ \circ $Y_{est} = \text{Exp}(\ln a + \ln b X)$



(4) $Y_{est} = aX^b$ \circ $Y_{est} = \text{Exp}(\ln a + b \ln X)$

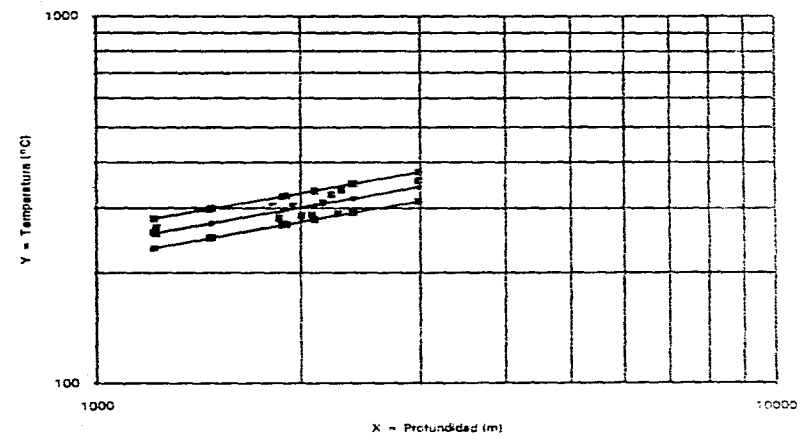


Tabla IV.4
Registro de la Producción en los Pozos Campo Geotérmico La Primavera, Jalisco.

PR-1	1155			18	18	1	37	64,8	64,8	3,6	133,2		23-Nov-80
PR-1	1822	115	8,085495324	63,5	68,5		132	228,6	246,6		475,2	1918	1988
PR-1	1518	157,3	11,05955143	39,7	55,4		95,1	142,92	199,44		342,36		
PR-1	1440	157,3	11,05955143	39,7	55,4		95,1	142,92	199,44		342,36		
PR-8	1861	110	7,733952049	48,4	75,3		123,7	174,24	271,08		445,32	1783	1988
PR-8	1567	111,7	7,853478763	29,5	64,1		93,6	106,2	230,76		336,96		
PR-8	1955	111,7	7,853478763	29,5	64,1		93,6	106,2	230,76		336,96		
PR-9	1735	141,1	9,92055122	60,7	117,5		178,2	218,52	423		641,52		26-May-85
PR-9	2161	141,1	9,92055122	60,7	117,5		178,2	218,52	423		641,52		5-Nov-85
PR-9	2984	185	13,00710117	79,3	41,6		120,9	285,46	149,76		435,24	1807	1988
PR-9	2986			167			167	601,2			601,2	1430	1985
PR-12	2303			51,84			51,84	186,624			186,624	1504	1987
PR-13	2006			90			90	324			324	1250	1988
PR-8	1861			91,8			91,8	330,48			330,48	1305	1985
PR-2	1950			9	3	5	17	32,4	10,8	18	61,2		6-Mar-81
No.	15	9	9	15	11	2	15	15	11	2	15	7	
Suma Total	29648	1230,2	86,49370738	878,64	680,4	6	1565,04	3163,104	2449,44	21,6	5634,144	10997	
Xmin	1159	110	7,733952049	9	3	1	17	32,4	10,8	3,6	61,2	1250	
Xmax	2986	185	13,00710117	167	117,5	5	178,2	601,2	423	18	641,52	1916	
R	1827	75	5,273149125	158	114,5	4	161,2	568,8	412,2	14,4	580,32	668	
Xr	2072,5	147,5	10,37052661	88	60,25	3	97,6	316,8	216,9	10,8	351,36	1584	
Xm	1961	141,1	9,92055122	51,84	64,1	3	95,1	186,624	230,76	10,8	342,36	1504	
Xp	1976,533333	136,6888889	9,610411931	58,576	61,85454545	3	104,336	210,8736	222,6763636	10,8	375,6096	1571	
dxp	478,506547	25,06460295	1,762258521	37,38660095	33,45078783	2	46,14075	134,5917634	120,4228362	7,2	166,1067	244,7202484	
dxm	495,301332	26,58502607	1,869157426	38,69880855	35,08348226	2,828427125	47,76021369	139,3157108	128,3005361	10,18233765	171,9367693	264,328079	
Vxp	228968,5156	628,234321	3,105555096	1397,757931	1118,955207	4	2128,968811	18114,94278	14501,65948	61,64	27591,43579	59888	
Vxm	245323,4095	706,7636111	3,493749483	1497,597783	1230,850727	8	2281,038011	19408,96727	15951,82543	103,68	29562,25263	59969,33333	
Xp+dxp	1498,026796	111,6242859	7,848153409	21,18939905	28,40375762	1	58,19525	76,28183658	102,2535274	3,6	209,5029	1326,279752	
Xp+dxm	2455,03988	161,7534918	11,37267045	95,96260095	95,30533329	5	150,47675	345,4653654	343,0991998	18	541,7163	1815,720248	
Xp+2dxp	1019,520239	66,55968299	6,085894888	-16,1972019	-5,04703021	-1	12,0545	-58,30992665	-18,16930876	-3,6	-43,39619999	1081,559503	
Xp+2dxm	2933,546427	186,8180548	13,13492857	133,3492019	128,7561211	7	196,6175	480,0571268	463,522036	25,2	707,823	2060,440497	
Xp+dxm	1481,232001	110,1038628	7,741254505	19,87719145	26,7710632	0,171572875	56,57576631	71,55788924	96,37582751	0,617662351	203,6728307	1306,671921	
Xp+dxm	2471,834665	163,273915	11,47956636	97,27460855	96,93802771	5,628427125	152,0952137	350,1893106	348,9768998	20,96233765	547,5463693	1835,328079	
Fc1	3,6												
Fc2	1/14,222												

Fc1 = Factor de conversión de unidades (de Torr/hora a Kg/s).

Fc2 = Factor de conversión de unidades (de Psi a Kg/cm2).

Fig. IV.4 Perfil de Profundidad, Qt, Presión y Entalpia.

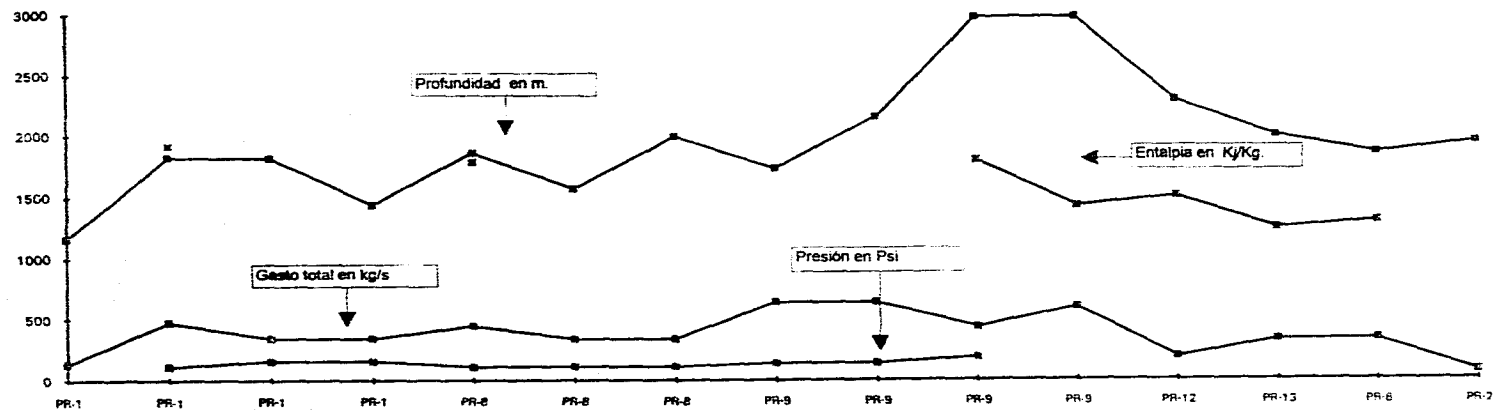


Fig. IV.4a Perfil de Gasto (vapor, agua, gas) y Presión.

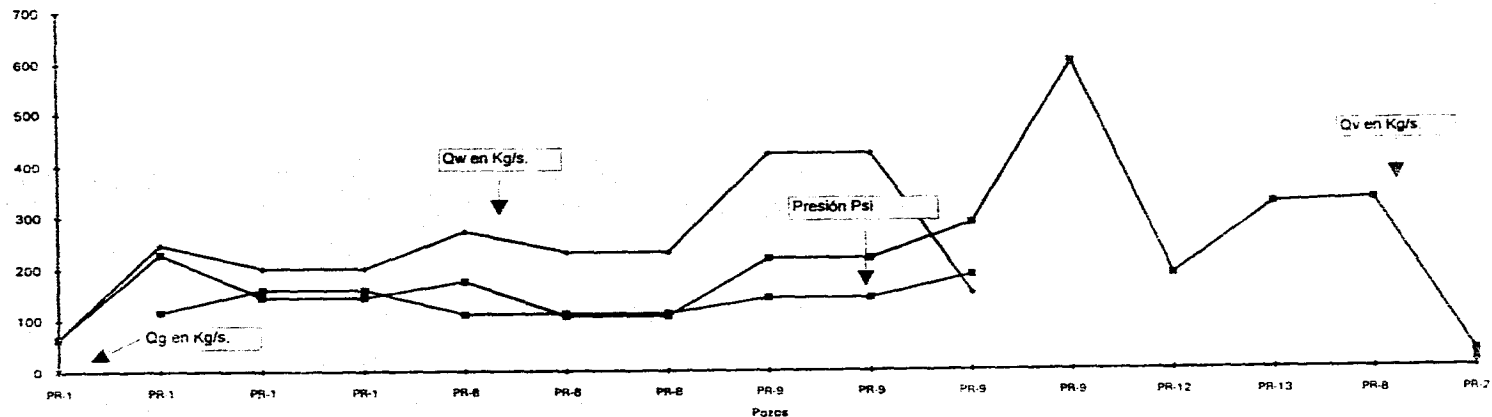


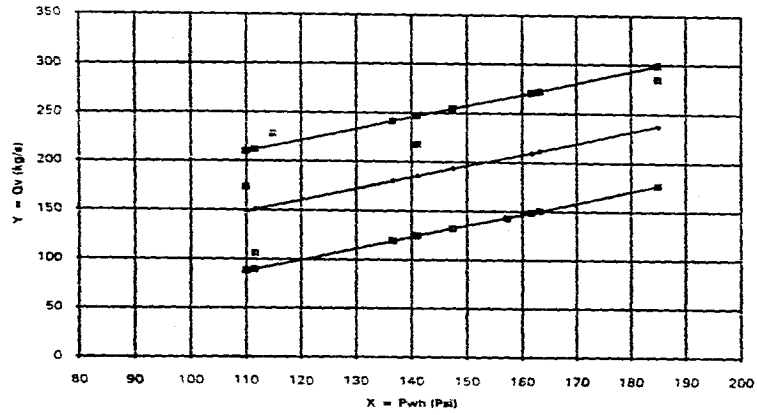
Tabla IV.4a
Correlación Estadística de Presión-Producción de Vapor (Flujo Másico) de los Pozos del Campo Geotérmico La Primavera, Jalisco.

PR-1	1822	115	228,6	13225	52257,96	26289	4,744932128	5,431973751	22,5143809	29,50633884	25,77434677	624,6769814	1084,691485
PR-1	1818	157,3	142,92	24743,29	20426,1264	22481,316	5,05815481	4,962285033	25,58493008	24,62427275	25,10000591	780,5674357	722,9114855
PR-1	1440	157,3	142,92	24743,29	20426,1264	22481,316	5,05815481	4,962285033	25,58493008	24,62427275	25,10000591	780,5674357	722,9114855
PR-8	1861	110	174,24	12100	30359,5776	19166,4	4,700480366	5,160433659	22,09451567	26,63007555	24,25651709	567,6477025	819,0116989
PR-8	1567	111,7	106,2	12476,89	11278,44	11862,54	4,715816706	4,665324109	22,23892721	21,76524904	22,00081337	521,116703	500,8197342
PR-8	1595	111,7	106,2	12476,89	11278,44	11862,54	4,715816706	4,665324109	22,23892721	21,76524904	22,00081337	521,116703	500,8197342
PR-9	1735	141,1	218,52	19909,21	47750,9904	30833,172	4,949468859	5,386877544	24,49724198	29,01844967	26,66218265	760,0884214	1081,557935
PR-9	2161	141,1	218,52	19909,21	47750,9904	30833,172	4,949468859	5,386877544	24,49724198	29,01844967	26,66218265	760,0884214	1081,557935
PR-9	2984	185	285,48	34225	81498,8304	52813,8	5,220355825	5,654171974	27,25211494	31,96966071	29,5167896	1046,021815	1490,307181
No.		9	9										
Suma Total		1230,20	1623,60	173808,78	323027,4816	228623,256	44,11264907	46,27655276	216,5032101	238,922018	227,0736573	6361,891619	8004,589574
Y = a + bX													
Y = a + bX	1,184125763	18,5431652	0,512955922	25,06460295	57,8600242	26,58502607	61,3698232	136,6888889	180,4	110,1038628	163,273915	119,0301768	241,7698232
Y = a + blnX	161,3475626	-610,4298231	0,499902449	0,179267461	57,8600242	0,190141855	61,3698232	134,4786502	180,4	111,1925737	162,6413236	119,0301768	241,7698232
lnY = ln a + ln b X	1,00548308	70,69642113	0,489423888	25,06460295	0,330942898	26,58502607	0,351017951	136,6888889	171,0110346	110,1038628	163,273915	120,386829	242,9233678
lnY = ln a + blnX	0,893439467	2,143883724	0,483964531	0,179267461	0,330942898	0,190141855	0,351017951	134,4786502	171,0110346	111,1925737	162,6413236	120,386829	242,9233678

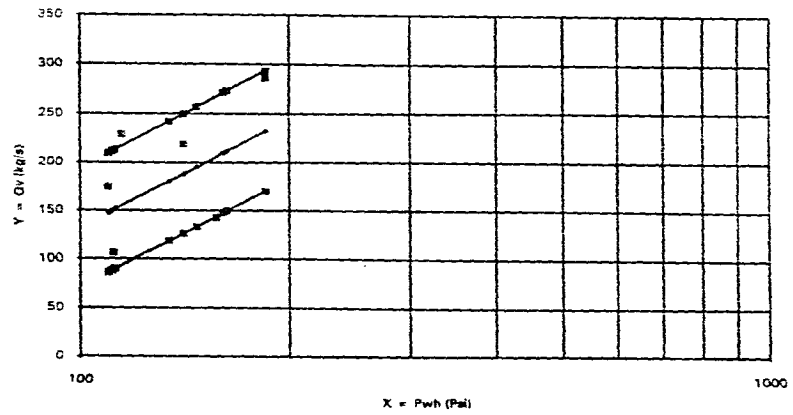
Estimación del Flujo de Vapor en Función de la Presión en la Cabeza del Pozo Y=F(X).

Grafica No 1. Método de Ajuste por Mínimos Cuadrados Y = a + bX							Grafica No 2. Método de Ajuste Logarítmico Y = a + blnX									
a	b	r	dxm	dym	dyp	dyp	a	b	r	dlnxm	dym	dlnxp	dyp			
18,5431652	1,184125763	0,512955922	25,58502607	61,3698232	25,06460295	57,8600242	-610,4298231	161,3475626	0,499902449	0,190141855	61,3698232	0,179267461	57,8600242			
X = Pwh (Psi)			Y = Qv (kg/s)				Yest = a + bX			Yest-dym				Yest+dym		
Xmax	185	Ymax	285,48	237,6064313	176,2368081	298,9762545	Xmax	185	Ymax	285,48	231,8618653	170,4920421	293,2316885			
Xmin	110	Ymin	106,2	148,7969991	87,42717589	210,1668223	Xmin	110	Ymin	106,2	147,9812271	86,61140385	209,3510503			
Xr	147,5	Yr	195,84	193,2017152	131,831892	254,5715384	Xr	147,5	Yr	195,84	195,3121812	133,942358	256,6820044			
Xm	141,1	Ym	174,24	185,6233103	124,2534871	246,9931335	Xm	141,1	Ym	174,24	188,1549135	126,7850903	249,6247367			
Xp	136,6888889	Yp	180,4	180,4	119,0301768	241,7698232	Xp	134,4786502	Yp	180,4	180,4	119,0301768	241,7698232			
Xp-dxp	111,6242859	Yp-dyp	122,5399758	150,7203579	89,35053472	212,0901811	Xp-dxp	112,408324	Yp-dyp	122,5399758	151,4756322	90,10580898	212,8454554			
Xp+dxp	161,7534918	Yp+dyp	238,2600242	210,0796421	148,7098189	271,4494653	Xp+dxp	160,8822792	Yp+dyp	238,2600242	205,3243678	147,9545446	270,694181			
Xp-dxm	110,1038628	Yp-dym	119,0301768	148,9199857	87,55016253	210,2898089	Xp-dxm	111,1925737	Yp-dym	119,0301768	149,7210751	88,35125186	211,0909983			
Xp+dxm	163,273915	Yp+dym	241,7698232	211,8800143	150,5101911	273,2498375	Xp+dxm	162,6413236	Yp+dym	241,7698232	211,0789249	149,7091017	272,4487481			
Grafica No 3. Método de Ajuste Exponencial Y = ab^X o Y = Exp(ln a + ln b X)							Grafica No 4. Método de Ajuste Geométrico Y = aX^b o Y = Exp(ln a + bln X)									
a	b	r	dxm	dlnym	dyp	dlnyp	a	b	r	dlnxm	dlnym	dlnxp	dlnyp			
70,69842113	1,00648308	0,489423888	26,58502607	0,351017951	25,06460295	0,330942898	2,143883724	0,893439467	0,483964531	0,190141855	0,351017951	0,179267461	0,330942898			
X = Pwh (Psi)			Y = Qv (kg/s)				Yest = ab^X			Yest-dym				Yest+dym		
Xmax	185	Ymax	285,48	233,6728341	164,498926	331,9352576	Xmax	185	Ymax	285,48	227,3955325	160,079987	323,0182703			
Xmin	110	Ymin	106,2	143,9203953	101,3158014	204,4407673	Xmin	110	Ymin	106,2	142,9098028	100,6043735	203,0052077			
Xr	147,5	Yr	195,84	183,3866228	129,0981817	260,5016291	Xr	147,5	Yr	195,84	185,7315205	130,749626	263,8340096			
Xm	141,1	Ym	174,24	175,9558954	123,8678682	249,9476061	Xm	141,1	Ym	174,24	178,5144996	126,6690517	253,8621362			
Xp	136,6888889	Yp	171,0110346	171,0110346	120,386829	242,9233678	Xp	134,4786502	Yp	171,0110346	171,0110346	120,386829	242,9233678			
Xp-dxp	111,6242859	Yp-dyp	122,8280225	145,4389956	102,3848522	206,5979585	Xp-dxp	112,408324	Yp-dyp	122,8280225	145,7020025	101,6700017	206,9715637			
Xp+dxp	161,7534918	Yp+dyp	238,0952924	201,0793173	141,5540316	285,635749	Xp+dxp	160,8822792	Yp+dyp	238,0952924	200,7163482	141,2985116	285,1201468			
Xp-dxm	110,1038628	Yp-dym	120,386829	144,0170239	101,3838252	204,5780294	Xp-dxm	111,1925737	Yp-dym	120,386829	144,2932729	101,5782965	204,9704447			
Xp+dxm	163,273915	Yp+dym	242,9233678	203,0647013	142,9516846	288,4560125	Xp+dxm	162,6413236	Yp+dym	242,9233678	202,6759346	142,676004	287,9037643			

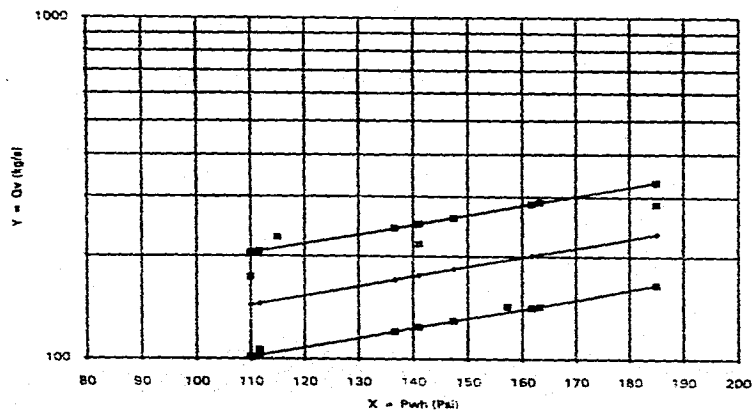
(1) $Y_{est} = a + bX$



(2) $Y_{est} = a + b \ln X$



(3) $Y_{est} = ab^X$ or $Y_{est} = \text{Exp}(\ln a + \ln b X)$



(4) $Y_{est} = aX^b$ or $Y_{est} = \text{Exp}(\ln a + b \ln X)$

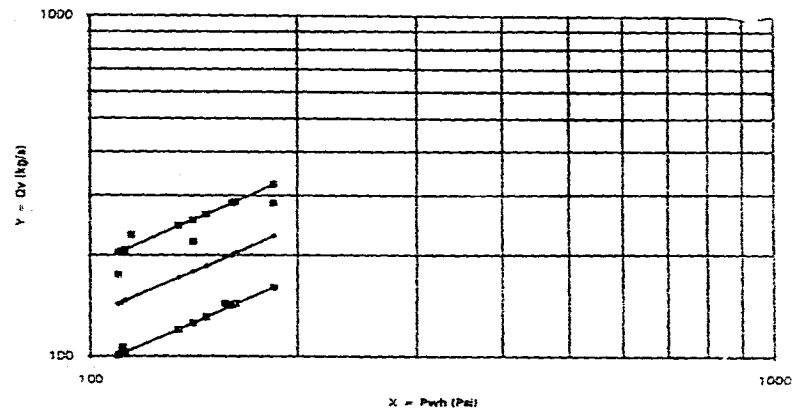


Tabla IV.4b
Correlación Estadística de Presión-Producción de Agua (Flujo Másico) de los Pozos del Campo Geotérmico La Primavera, Jal.

PR-1	1822	115	246.6	13225	60811.56	28359	4,744932128	5,507767591	22,5143809	30,33550383	26,1339834	633,3932729	1170,100263
PR-1	1818	157,3	199,44	24743,29	39776,3136	31371,912	5,05815481	5,295513439	25,58493008	28,04246258	26,78552677	832,984264	1008,798395
PR-1	1440	157,3	199,44	24743,29	39776,3136	31371,912	5,05815481	5,295513439	25,58493008	28,04246258	26,78552677	832,984264	1008,798395
PR-8	1861	110	271,08	12100	73484,3664	29818,8	4,700480366	5,60241398	22,09451567	31,38704241	26,33403692	616,2555378	1274,206218
PR-8	1567	111,7	230,76	12476,89	53250,1776	25775,892	4,715816706	5,441378209	22,23892721	29,60859682	25,66054226	507,801946	1088,221863
PR-8	1995	111,7	230,76	12476,89	53250,1776	25775,892	4,715816706	5,441378209	22,23892721	29,60859682	25,66054226	507,801946	1088,221863
PR-9	1735	141,1	423	19909,21	178929	59685,3	4,949468859	6,047372179	24,49724198	36,57071027	29,93128028	653,2842145	2093,625327
PR-9	2161	141,1	423	19909,21	178929	59685,3	4,949468859	6,047372179	24,49724198	36,57071027	29,93128028	653,2842145	2093,625327
PR-9	2984	185	149,76	34225	22428,0576	27705,6	5,220355825	5,009034013	27,25211494	25,09042174	26,14893989	926,6712924	781,8004884
No		9	9										
Suma Total		1230,20	2373,64	173808,78	700634,9664	319549,608	44,11264907	49,68774324	216,5032101	275,2565073	243,3716588	6764,470952	11607,39814
Y = a+bx	-0,871569641	382,8937491	-0,240089791	25,06460295	90,98896636	25,58502607	96,50837269	136,6888889	263,75	110,1038628	163,273915	167,2516273	360,2683727
Y = a+bbX	-95,95838537	734,0909532	-0,189058264	0,179267461	90,98896636	0,190141855	96,50837269	134,4786502	263,75	111,1925737	162,6413236	167,2516273	360,2683727
lnY = lna+lnb X	0,995184793	483,2989298	-0,374868293	25,06460295	0,322734034	26,58502607	0,342311136	136,6888889	249,8499056	110,1038628	163,273915	177,42522	351,8382298
lnY = lna+blnX	-0,581253571	4314,85837	-0,322866016	0,179267461	0,322734034	0,190141855	0,342311136	134,4786502	249,8499056	111,1925737	162,6413236	177,42522	351,8382298

Estimación del Flujo de Agua en Función de la Presión en la Cabeza del Pozo Y=F(X).

Grafica No 1. Método de Ajuste por Mínimos Cuadrados Y = a+bx						Grafica No 2. Método de Ajuste Logaritmico Y = a+blnX							
a	b	r	dxm	dym	dyp	a	b	r	dxm	dym	dyp		
382,8937491	-0,871568641	-0,240089791	26,58502607	96,50837269	25,58502607	734,0909532	-95,95838537	-0,189058264	0,190141855	96,50837269	0,179267461	90,98896636	
X = Pwh (Psi)	Y = Qw (kg/s)	Yest = a+bx	Yest-dym	Yest+dym	X = Pwh (Psi)	Y = Qw (kg/s)	Yest = a+blnX	Yest-dym	Yest+dym				
Xmax 185	Ymax 423	221,6535505	125,1451779	318,1619232	Xmax 185	Ymax 423	233,1540372	136,6456645	329,9624099				
Xmin 110	Ymin 149,76	287,0211986	190,5128259	383,5295713	Xmin 110	Ymin 149,76	283,0404469	186,5320742	379,5486196				
Xr 147,5	Yr 286,38	254,3373746	157,8290019	350,8457473	Xr 147,5	Yr 286,38	254,8912647	158,382892	351,3966374				
Xm 141,1	Ym 230,76	259,9154139	163,4070412	356,4237866	Xm 141,1	Ym 230,76	259,1479131	162,6355404	355,6562856				
Xp 136,6888889	Yp 263,76	263,76	167,2516273	360,2683727	Xp 136,6888889	Yp 263,76	263,76	167,2516273	360,2683727				
Xp-dxp 111,6242859	Yp-dyp 172,7710336	285,6055219	189,0971492	382,1138946	Xp-dxp 111,6242859	Yp-dyp 172,7710336	280,9622161	184,4538434	377,4705888				
Xp+dxp 161,7534916	Yp+dyp 354,7489664	241,9144781	145,4061054	338,4228508	Xp+dxp 161,7534916	Yp+dyp 354,7489664	246,5577839	150,0494112	349,0661566				
Xp-dxm 110,1038628	Yp-dym 167,2516273	286,930675	190,4223023	383,4390477	Xp-dxm 110,1038628	Yp-dym 167,2516273	282,0057054	185,4973328	376,5140791				
Xp+dxm 163,273915	Yp+dym 360,2683727	240,589325	144,0693523	337,0976977	Xp+dxm 163,273915	Yp+dym 360,2683727	245,1417895	148,6334169	341,6501620				
Grafica No 3. Método de Ajuste Exponencial Y = ab^X o Y = Exp(lna+lnbX)						Grafica No 4. Método de Ajuste Geométrico Y = aX^b o Y = Exp(lna+blnX)							
a	b	r	dxm	dlnxm	dlnyp	a	b	r	dxm	dlnxm	dlnyp		
483,2989298	0,995184793	-0,374868293	26,58502607	0,342311136	25,08460295	0,322734034	4314,85837	-0,581253571	-0,322866016	0,190141855	0,342311136	0,179267461	0,322734034
X = Pwh (Psi)	Y = Qw (kg/s)	Yest = ab^X	Yest-dym	Yest+dym	X = Pwh (Psi)	Y = Qw (kg/s)	Yest = aX^b	Yest-dym	Yest+dym				
Xmax 185	Ymax 423	197,8819211	140,5213394	278,6569988	Xmax 185	Ymax 423	207,5701421	147,4012089	292,2999358				
Xmin 110	Ymin 149,76	284,2014392	201,8191792	400,2120035	Xmin 110	Ymin 149,76	280,8017161	199,4049433	395,424519				
Xr 147,5	Yr 286,38	237,1462139	168,4039827	333,9485119	Xr 147,5	Yr 286,38	236,7818663	168,1452495	333,4358381				
Xm 141,1	Ym 230,76	244,5864056	173,6874656	344,4261782	Xm 141,1	Ym 230,76	242,9664415	172,5370848	342,1449469				
Xp 136,6888889	Yp 263,76	249,8499056	177,42522	351,8382298	Xp 136,6888889	Yp 263,76	249,8499056	177,42522	351,8382298				
Xp-dxp 111,6242859	Yp-dyp 172,7710336	281,9819653	200,243704	397,0865439	Xp-dxp 111,6242859	Yp-dyp 172,7710336	277,28898	196,9104537	390,4778996				
Xp+dxp 161,7534916	Yp+dyp 354,7489664	221,3793185	157,207481	311,7459965	Xp+dxp 161,7534916	Yp+dyp 354,7489664	225,1260592	159,8681436	317,0714496				
Xp-dxm 110,1038628	Yp-dym 167,2516273	284,0589965	201,7180268	400,0114159	Xp-dxm 110,1038628	Yp-dym 167,2516273	279,0472137	198,1590234	382,9538315				
Xp+dxm 163,273915	Yp+dym 360,2683727	219,7605993	156,0579644	309,4665177	Xp+dxm 163,273915	Yp+dym 360,2683727	223,7975744	158,8608389	316,0246416				

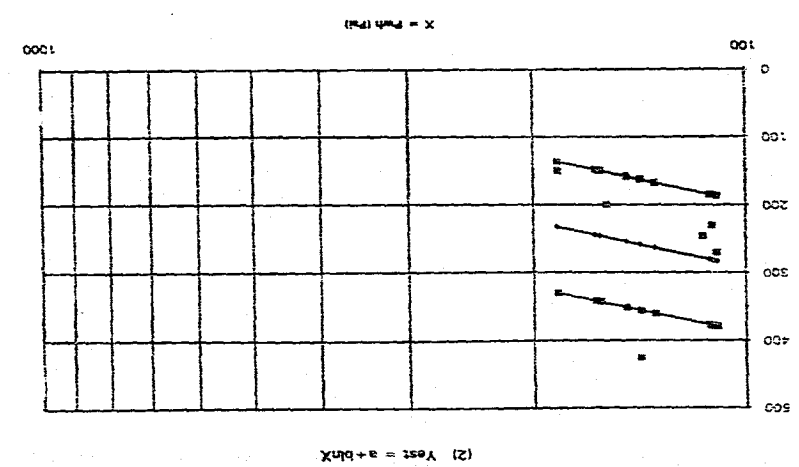
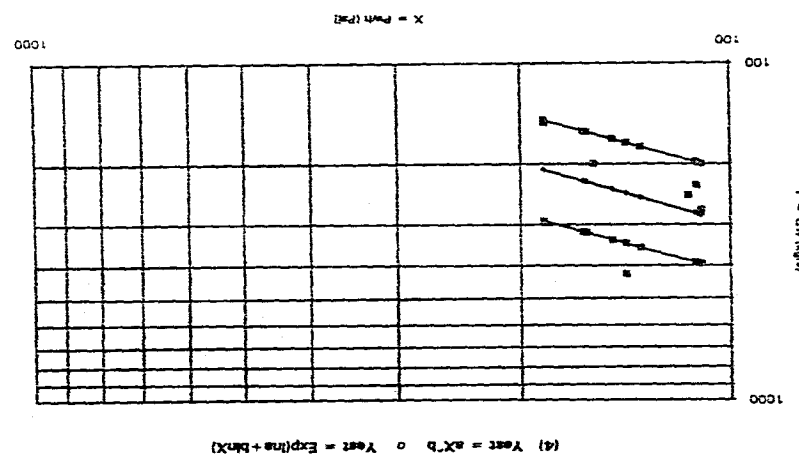
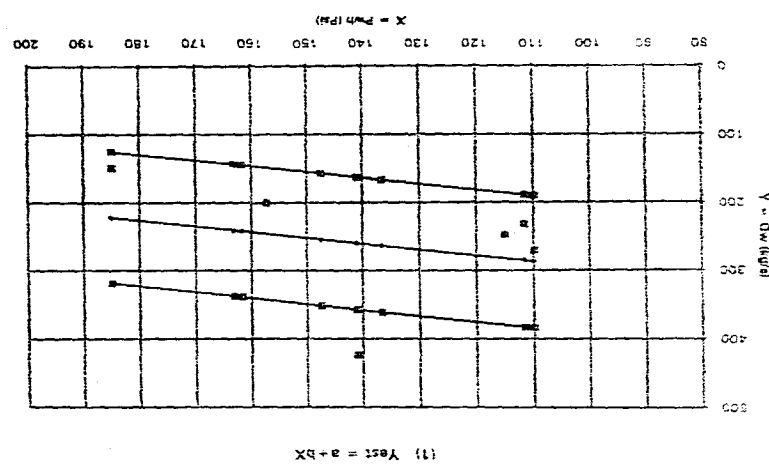
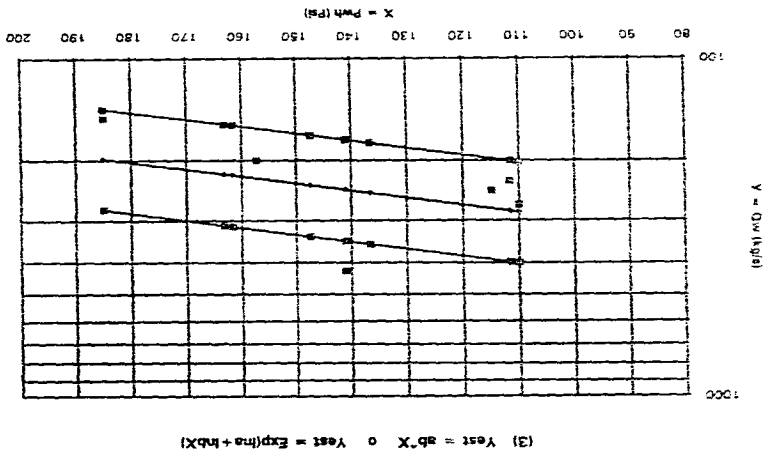


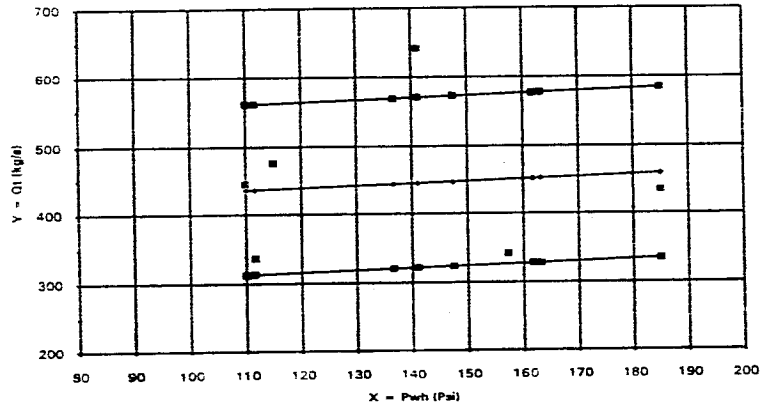
Tabla IV.4c
Correlación Estadística de Presión-Producción Total de la Mezcla (Agua y Vapor) de los Pozos, Campo La Primavera, Jal.

PR-1	1822	115	475,2	13225	225815,04	54648	4,744932128	6,163735768	22,5143809	37,99163962	25,24650788	708,8296133	2254,791747
PR-1	1818	157,3	342,36	24743,29	117210,3696	53853,228	5,05815481	5,835862815	25,58493008	34,0572948	29,51869757	917,9812208	1731,709881
PR-1	1440	157,3	342,36	24743,29	117210,3696	53853,228	5,05815481	5,835862815	25,58493008	34,0572948	29,51869757	917,9812208	1731,709881
PR-8	1861	110	445,32	12100	198309,9024	48985,2	4,700480366	6,098793125	22,09451567	37,19527758	28,66725734	670,8672437	2093,217916
PR-8	1567	111,7	336,96	12476,89	113542,0416	37638,432	4,715816706	5,819964229	22,23892721	33,87198363	27,44588454	650,0900044	1589,041597
PR-8	1995	111,7	336,96	12476,89	113542,0416	37638,432	4,715816706	5,819964229	22,23892721	33,87198363	27,44588454	650,0900044	1589,041597
PR-9	1735	141,1	641,52	19909,21	411547,5104	90518,472	4,949468859	6,46384036	24,49724198	41,78123221	31,99257657	912,0478749	3175,183262
PR-9	2161	141,1	641,52	19909,21	411547,5104	90518,472	4,949468859	6,46384036	24,49724198	41,78123221	31,99257657	912,0478749	3175,183262
PR-9	2984	185	435,24	34225	189433,8576	80519,4	5,220355825	6,075897603	27,25211494	36,91653168	31,71834744	1124,041057	2272,107669
No.		9		9									
Suma Total		1230,20	3997,44	173808,78	1898159,443	548172,864	44,11264907	54,5777613	216,5032101	331,5244691	267,54543	7463,976114	19611,98681
Y = a+bX	0,312557122	401,4369143	0,067106751	25,06460295	116,7411633	26,58502607	123,8227023	136,8888889	444,16	110,1038628	163,273915	320,3372977	567,9827023
Y = a+blnX	65,38917724	123,6611302	0,100411469	0,179257461	116,7411633	0,190141855	123,8227023	134,4786502	444,16	111,1925737	162,6413236	320,3372977	567,9827023
lnY = ln(a+lnb X)	1,000672757	392,3946918	0,067927236	25,06460295	0,248158481	26,58502607	0,263211817	136,8888889	430,1765477	110,1038628	163,273915	330,624696	559,7036896
lnY = ln(a+blnX)	0,133779378	223,2938752	0,096641022	0,179257461	0,248158481	0,190141855	0,263211817	134,4786502	430,1765477	111,1925737	162,6413236	330,624696	559,7036896

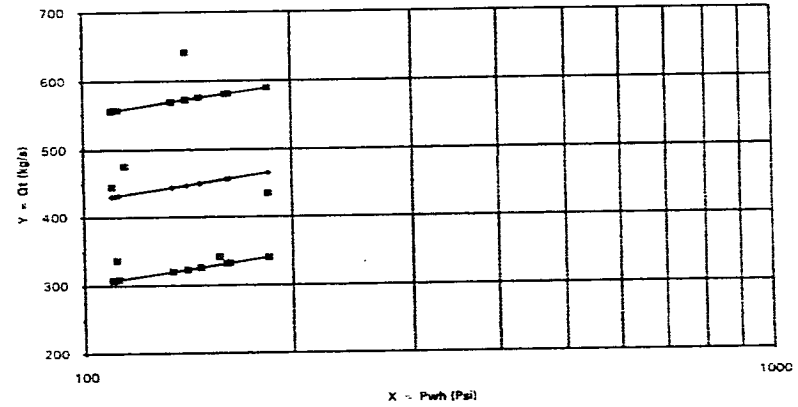
Estimación del Flujo de la Mezcla Total (Agua y Vapor) en Función de la Presión en la Cabeza del Pozo Y=F(X).

Grafica No 1. Método de Ajuste por Mínimos Cuadrados Y = a+bX						Grafica No 2. Método de Ajuste Logarítmico Y = a+blnX							
a	b	r	d _{xm}	d _{ym}	d _{yp}	a	b	r	d _{lnxm}	d _{ym}	d _{lnxp}	d _{yp}	
401,4369143	0,312557122	0,067106751	26,58502607	123,8227023	25,06460295	116,7411633	123,6611302	65,38917724	0,100411469	0,190141855	123,8227023	0,179267461	116,7411633
X = Pwh (Psi)	Y = Qt (kg/s)	Yest = a+bX	Yest-d _{ym}	Yest+d _{ym}	X = Pwh (Psi)	Y = Qt (kg/s)	Yest = a+blnX	Yest-d _{ym}	Yest+d _{ym}				
X _{max} 185	Y _{max} 641,52	459,2599818	335,4372796	583,0826841	X _{max} 185	Y _{max} 641,52	465,0159025	341,1932002	588,6386047				
X _{min} 110	Y _{min} 336,96	435,8181977	311,9954954	559,6409	X _{min} 110	Y _{min} 336,96	431,0216739	307,1989716	554,8443762				
X _r 147,5	Y _r 489,24	447,5390898	323,7163875	571,3617921	X _r 147,5	Y _r 489,24	450,2034459	326,3807436	574,0261481				
X _m 141,1	Y _m 435,24	445,5387242	321,7160219	569,3614265	X _m 141,1	Y _m 435,24	447,3028266	323,4801243	571,1255289				
X _p 136,6888889	Y _p 444,16	444,16	320,3372977	567,9827023	X _p 134,4786502	Y _p 444,16	444,16	320,3372977	567,9827023				
X _{p-dxp} 111,6242859	Y _{p-dyp} 327,4188367	436,3258796	312,5031776	560,1485821	X _{p-dxp} 112,408324	Y _{p-dyp} 327,4188367	432,4378482	308,615146	556,2605505				
X _{p+dxp} 161,7534918	Y _{p+dyp} 560,9011633	451,9541202	328,1714179	575,8168224	X _{p+dxp} 160,8822792	Y _{p+dyp} 560,9011633	455,8821518	332,0544495	579,704854				
X _{p-dxm} 110,1038628	Y _{p-dym} 320,3372977	435,8506608	312,0278585	559,6733631	X _{p-dxm} 111,1925737	Y _{p-dym} 320,3372977	431,7257805	307,9040782	555,5494828				
X _{p+dxm} 163,273915	Y _{p+dym} 567,9827023	452,4693392	328,6466369	576,2920415	X _{p+dxm} 162,6413236	Y _{p+dym} 567,9827023	456,5932195	332,7705172	580,4159218				
Grafica No 3. Método de Ajuste Exponencial Y = ab*X o Y = Exp(lna+lnbX)						Grafica No 4. Método de Ajuste Geométrico Y = aX*b o Y = Exp(lna+blnX)							
a	b	r	d _{xm}	d _{lnym}	d _{yp}	d _{lnyp}	a	b	r	d _{lnxm}	d _{lnym}	d _{lnxp}	d _{lnyp}
392,3946918	1,000672757	0,067927236	26,58502607	0,263211817	25,06460295	0,248158481	223,2938752	0,133779378	0,096641022	0,190141855	0,263211817	0,179267461	0,248158481
X = Pwh (Psi)	Y = Qt (kg/s)	Yest = ab*X	Yest-d _{ym}	Yest+d _{ym}	X = Pwh (Psi)	Y = Qt (kg/s)	Yest = aX*b	Yest-d _{ym}	Yest+d _{ym}				
X _{max} 185	Y _{max} 641,52	444,3828275	341,5433455	578,1875128	X _{max} 185	Y _{max} 641,52	448,9289717	345,0374168	584,1025112				
X _{min} 110	Y _{min} 336,96	422,5241472	324,743221	549,7471337	X _{min} 110	Y _{min} 336,96	416,7678913	321,8560031	544,8594573				
X _r 147,5	Y _r 489,24	433,3156762	333,0373645	563,7880168	X _r 147,5	Y _r 489,24	435,5283775	334,7800004	566,6669676				
X _m 141,1	Y _m 435,24	431,4546079	331,6059884	561,3665766	X _m 141,1	Y _m 435,24	432,9514483	332,7574266	563,3141191				
X _p 136,6888889	Y _p 444,16	430,1765477	330,624696	559,7036896	X _p 134,4786502	Y _p 444,16	430,1765477	330,624696	559,7036896				
X _{p-dxp} 111,6242859	Y _{p-dyp} 327,4188367	422,9859573	325,0981587	550,347996	X _{p-dxp} 112,408324	Y _{p-dyp} 327,4188367	419,5826543	322,7588878	546,4403916				
X _{p+dxp} 161,7534918	Y _{p+dyp} 560,9011633	437,4893752	336,2451823	569,2184262	X _{p+dxp} 160,8822792	Y _{p+dyp} 560,9011633	440,5178691	338,6496772	573,2889167				
X _{p-dxm} 110,1038628	Y _{p-dym} 320,3372977	422,536619	324,7659054	549,7855354	X _{p-dxm} 111,1925737	Y _{p-dym} 320,3372977	418,3721205	322,3206392	541,6460246				
X _{p+dxm} 163,273915	Y _{p+dym} 567,9827023	437,9369507	336,5891794	569,8007676	X _{p+dxm} 162,6413236	Y _{p+dym} 567,9827023	441,2593331	339,142693	574,123527				

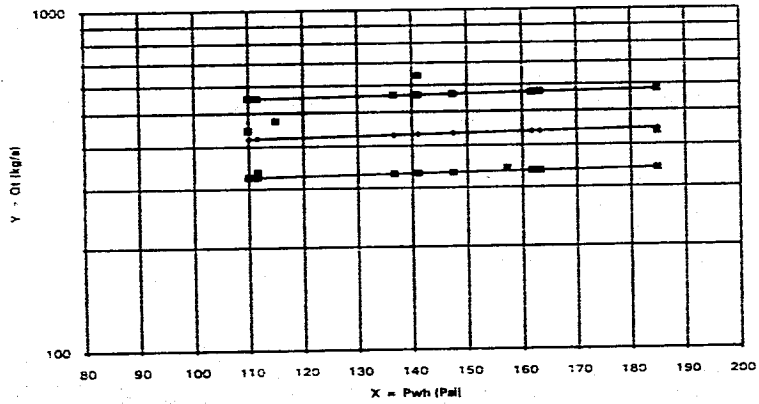
(1) $Y_{est} = a + bX$



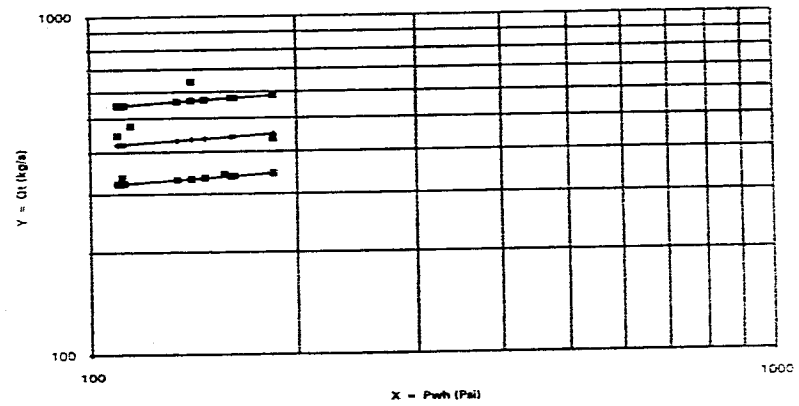
(2) $Y_{est} = a - b \ln X$

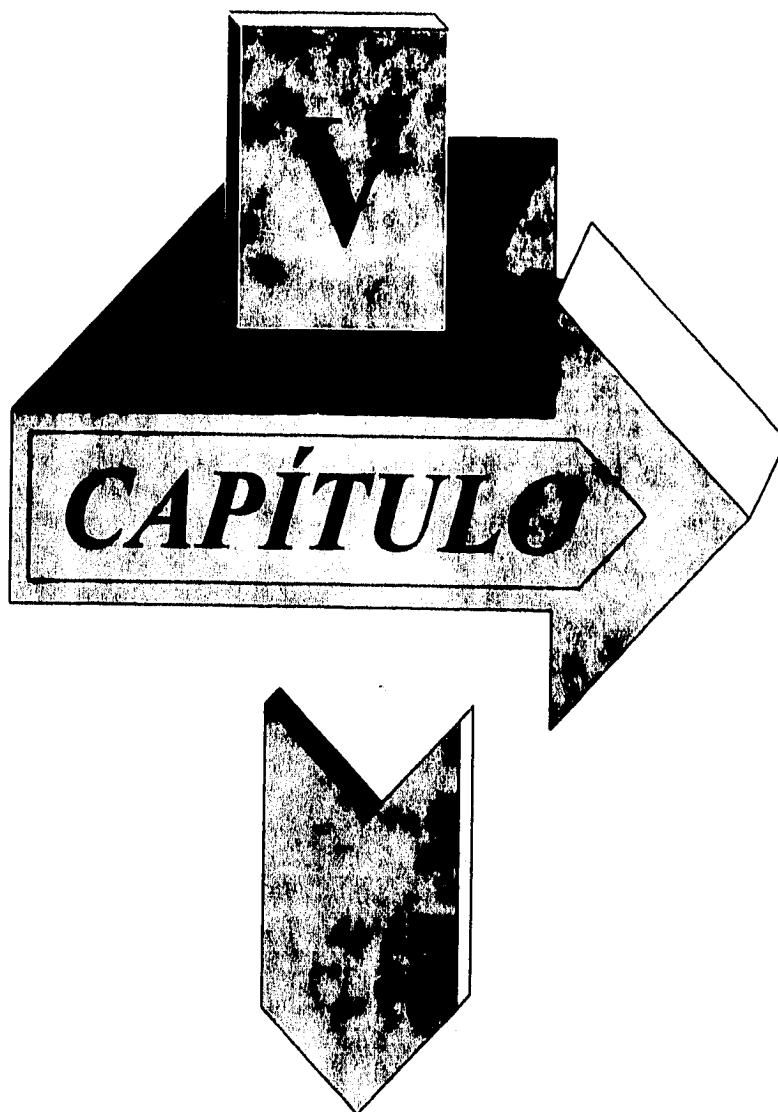


(3) $Y_{est} = ab^X$ o $Y_{est} = \text{Exp}(\ln a + \ln b X)$



(4) $Y_{est} = aX^b$ o $Y_{est} = \text{Exp}(\ln a + b \ln X)$





DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

El objetivo de este capítulo es presentar los datos y resultados más sobresalientes que se obtuvieron en los Capítulos II y IV con el fin de evaluar el estado de la perforación, registros de temperatura y la producción que se recopiló de los pozos del campo geotérmico La Primavera en el Estado de Jalisco.

V.1 RESULTADOS SOBRE LA PERFORACIÓN DE LOS POZOS.

De acuerdo a los datos de perforación y producción de los pozos de este campo presentados por las publicaciones del IEE y CFE dio como resultado la Fig. V.1, donde se observa el programa de barrenas y tuberías que fueron utilizados durante la primera y segunda etapa de perforación, que comprende los años 1980 a 1982 en los pozos PR-1, PR-2, PR-4 y PR-5 en la primera y de 1984 a 1988 en los pozos PR-8, PR-9, PR-10, PR-12, PR-13 en la segunda.

Los pozos perforados en la primera etapa iniciaron su perforación desde la superficie, utilizando un diámetro de barrena de 26 pg y cementado T.R. con diámetro de 20 pg (PR-1, PR-2 y PR-4), a excepción del pozo PR-5 que inicio su perforación desde la superficie, con diámetro de barrena de 40 pg y cementado un tubo de conducto de 30 pg de diámetro.

La segunda etapa en los pozos PR-8, PR-9, PR-10, PR-12 y PR-13 comenzaron su perforación siguiendo un programa de perforación similar al que se propuso para construir el pozo PR-5, es decir, se perforó el agujero desde la superficie con diámetro de barrena de 40 pg y cementado la primer tubería de 30 pg de diámetro.

Considerando ambas etapas, tenemos que los estudios estadísticos realizados en las Tablas IV.2, IV.2a y IV.2b para las fases de tuberías requeridas en la construcción de los pozos, muestra los siguientes resultados :

		Diámetro	Prof. Final. en m		Temp. Est. en °C		Tiempo de C. Est. días	
			Rango	Mediana	Rango	Mediana	Rango	Mediana
			Yest=ab ^X		a=209.336417 b=1.0001780 dlnym=0.0907		a=494.146115 b=0.99966125 dlnym=0.35062	
Casing and Liner size, in.	4 1/2	(114.3 mm)						
Bit and Hole size, in.	5 7/8	(149.9 mm)						
Bit and Hole size, in.	6 1/8	(155.6 mm)						
Casing and Liner size, in.	7	(177.8 mm)	1545	1738.125	275.60	285.24	292.77	274.22
Bit and Hole size, in.	8 1/2	(215.9 mm)						
Casing size, in.	9 5/8	(244.5 mm)	684	1026	236.44	251.28	391.93	349.05
Bit and Hole size, in.	12 1/4	(311.15 mm)						
Casing size, in.	13 3/8	(399.7 mm)	288	417.3	220.74	225.48	446.69	428.99
Bit and Hole size, in.	17 1/2	(444.5 mm)						
Casing size, in.	20	(508.0 mm)	77.5	98.2	212.24	213.03	481.34	477.97
Bit and Hole size, in.	26	(660.4 mm)						
Casing size, in.	30	(762.0 mm)	9.1	12.2	209.67	209.79	492.62	492.11
Bit and Hole size, in.	40	(1016.0 mm)						

Fig V.1 Selección de barrenas (agujero) y tuberías utilizadas en la perforación de los pozos del campo geotérmico La Primavera, Jal.

Tubería de 30 pg. de diámetro. El rango de profundidad de colocación que alcanzo en 6 pozos PR-5, PR-8, PR-9, PR-10, PR-12 y PR-13 fue de 4 a 27 m. Mientras que los valores del promedio (X_p), media (X_r) y mediana (X_m) resultaron de 11.8, 15.5 y 12 m respectivamente. La desviación o error típico (d_{xp}) fue de 7.7 m. La distribución de frecuencia y su histograma más cercano al normal, luego de 3 ensayos presentaron valores de $IPF = 9.1$ m (Intervalo en Profundidad Final de T.R.) y $X_m = 12.2$ m, en un rango medio de 4.55 a 22.75 m, donde el intervalo de clase de 9.1 a 18.19 m presento la mayor frecuencia con 3 de 6 pozos.

Tubería de 20 pg. de diámetro. El rango de profundidad de colocación que alcanzo en 9 pozos PR-1, PR-2, PR-4, PR-5, PR-8, PR-9, PR-10, PR-12 y PR-13 fue de 40 a 325 m. Mientras que los valores X_p , X_r y X_m resultaron de 116.2, 182.5 y 101 m respectivamente. La desviación o error típico (d_{xp}) fue de 80.7 m. La distribución de frecuencia y su histograma más cercano al normal, luego de 6 ensayos presentaron valores de $IPF = 77.5$ m. y $X_m = 98.2$ m., en un rango medio de 38.75 a 378.25 m, donde el intervalo de clase de 77.5 a 154.99 m presento la mayor frecuencia con 4 de 9 pozos.

Tubería de 13 3/8 pg. de diámetro. El rango de profundidad de colocación que alcanzo en 8 pozos PR-1, PR-2, PR-4, PR-5, PR-8, PR-9, PR-10 y PR-13 fue de 233 a 603 m. Mientras que los valores X_p , X_r y X_m resultaron de 415.2, 418 y 389 m respectivamente. La desviación o error típico (d_{xp}) fue de 155.6 m. La distribución de frecuencia y su histograma más cercano al normal, luego de 9 ensayos presentaron valores de $IPF = 298$ m y $X_m = 417.3$ m, en un rango medio de 149 a 745 m, donde el intervalo de clase de 298 a 595.99 m presento la mayor frecuencia con 4 de 7 pozos.

Tubería de 9 5/8 pg. de diámetro. El rango de profundidad de colocación de tuberías con diámetro de 9 5/8 pg que alcanzaron 7 pozos PR-1, PR-2, PR-5, PR-8, PR-9, PR-10 y PR-13 fue de 571 a 1424 m. Mientras que los valores X_p , X_r y X_m resultaron de 1025.9, 997 y 998 m respectivamente.

La desviación o error típico (d_{xp}) fue de 328.3 m. La distribución de frecuencia y su histograma más cercano al normal, luego de 9 ensayos presentaron valores de IPF = 684 m y $X_m = 1026$ m, en un rango medio de 342 a 1710 m, donde el intervalo de clase de 684 a 1367.99 m presentó la mayor frecuencia con 3 de 7 pozos.

Tubería de 7 pg. de diámetro. En este caso, se toma en cuenta el análisis estadístico de los valores IPF, el Intervalo de Profundidad Inicial donde se coloca el liner (IPI) y el Intervalo de Longitud del liner considerando si éste es ciego, ranurado o combinado (IL). También se obtiene X_m para cada una de ellas (ver Tabla IV.2b), estos valores son comparados con la estadística de la Tabla IV.2, de la cual se tienen los siguientes resultados :

El rango de profundidad de colocación del liner con diámetro de 7 pg que alcanzaron 7 pozos PR-1, PR-2, PR-5, PR-8, PR-9, PR-10 y PR-13 fue de 1159 a 2162 m. Mientras que los valores del promedio (X_p), media (X_r) y mediana (X_m) resultaron de 1738.6, 1660.5 y 1850 m respectivamente. La desviación o error típico (d_{xp}) fue de 356.6 m. La distribución de frecuencia y su histograma más cercano al normal, luego de 6 ensayos presentaron valores de IPF = 515 m y $X_m = 1738.125$ m, en un rango medio de 1287.5 a 2317.5 m, donde el intervalo de clase de 1545 a 2059.99 m presentó la mayor frecuencia con 4 de 7 pozos.

La Fig. V.1 también indica la temperaturas y el tiempo de construcción estimados para los pozos de este campo en función del rango de clase y mediana de la profundidades finales para las tuberías de 7 a 30 pg de diámetro, considerando los métodos de ajuste para los datos descritos en la gráfica 3 de las Tablas IV.1a y IV.3b.

El rango que alcanzó la profundidad inicial del liner de 7 pg de diámetro en los 7 pozos mencionados fue de 524.6 a 1351 m. Mientras que los valores X_p , X_r y X_m resultaron de 972.8, 937.8, 994 m respectivamente. La desviación o error típico (d_{xp}) fue de 329.8 m. La distribución de frecuencia y su histograma más cercano al normal, luego de 6 ensayos presentaron valores de IPI = 648 m y $X_m = 972$ m, en un rango medio de 324 a 1620 m, donde el intervalo de clase de 648 a 1295.99 m presentó la mayor frecuencia con 3 de 7 pozos.

El rango que alcanzó la longitud de los tramos de liner de 7 pg de diámetro que se utilizaron en los mismos 7 pozos resultaron ser de 499 a 1056 m. Mientras que los valores X_p , X_r y X_m resultaron de 765.8, 777.5, 688.4 m respectivamente. La desviación o error típico (d_{xp}) fue de 204.5 m. La distribución de frecuencia y su histograma más cercano al normal, luego de 6 ensayos presentaron valores de $I_L = 306$ m y $X_m = 765$ m, en un rango medio de 459 a 1077 m, donde el intervalo de clase de 612 a 917.99 m presentó la mayor frecuencia con 3 de 7 pozos.

El total de tubería utilizada en los pozos. En este caso, se considera el total de tubería que se requirieron en 9 pozos PR-1, PR-2, PR-4, PR-5, PR-8, PR-9, PR-10, PR-12 y PR-13 fue 17460.5 m, siendo el PR-12 con un mínimo total utilizado de 120 m y el máximo total utilizado fue para el pozo PR-9 con 2934.7 m. La cantidad de tubería que se requiere para construir un pozo de este campo tiene un promedio (X_p), medio (X_r) y mediana (X_m) de 1940, 1527.4 y 2309 m respectivamente. La desviación error típico (d_{xp}) de utilizar o no utilizar tubería sobre el valor promedio del pozo es de 993.3 m, dando por esta vía un mínimo ($X_p - d_{xp}$) de 946.7 m y un máximo ($X_p + d_{xp}$) de 2933.3 m, siendo este rango representativo a 7 de 9 pozos y no representativo a 2 de 9, en los pozos PR-4 y PR-12.

La distribución e histograma de frecuencia que más se acercó al normal, luego de 6 ensayos presentó un valor de Intervalo de Tubería Total a utilizar (ITT) de 1390 m y la mediana (X_m) de 1963.37 m, en un rango medio de 695 a 3475 m, donde el intervalo de clase de 1390 a 2779.99 m presentó la mayor frecuencia con 6 de 9 pozos.

El análisis anterior, se realizó sin tomar en cuenta los tramos de tubería con los diferentes diámetros que se necesitaron para cada pozo, ya que estos se encuentran presentados en la Tabla IV.2, con los valores de profundidad final (PFIN) para los diámetros de 30, 20, 13 3/8 y 9 5/8 de pg. Para el caso del liner con diámetro de 7 y 4 1/2 pg, la longitud de los tramos, se obtiene por la diferencia de la PFIN y la Profundidad Inicial (PINI).

Hay que señalar que los valores IPF, IPI, IL y ITT se definieron mediante la suposición como constantes de intervalo de clase para distribuciones de frecuencias. El valor de X_m es valor de la mediana que se obtiene a partir de la geometría del histograma de frecuencias que se construyó.

Esta información estadística puede ser otro criterio de evaluación para reafirmar los estudios que se hacen para un proyecto geotérmico, en este caso, en los programas de exploración y perforación de los pozos.

Características y resistencias de las tuberías. La Tabla V.1 es un resumen del tipo y resistencias mecánicas de las tuberías requeridas por los pozos perforados en el campo geotérmico La Primavera. Estas se obtuvieron de la información recopilada en el Capítulo II, considerando los mismos factores de seguridad (FS) que se indicaron en la Tabla I 3. Donde la resistencia por tensión es de (FS=1.8), la resistencia a la presión por colapso es de (FS=1.125) y la resistencia por presión interna o de estallamiento es de (FS=1.25).

Tabla V.1 Características y Resistencias Mecánicas de Tuberías de Revestimiento Utilizadas en los Pozos del Campo Geotérmico La Primavera, Jal.									
TUBERÍA DE ADME	DIÁMETRO	PESO	GRUPO	PESO	PESO	ROSCA	TENSION	COLAPSO	PRESION
	mm.	g.		kg/m	lb/ft	COPLEE	1000 lbs E.S. = 1.8	Psi FS = 1.125	Psi E.S. = 1.25
Tubo	762.0	30	H-40	146.4	98.3	---	---	---	---
			---	234.6	157.5	---	---	---	---
Conductora	580.0	20	H-40	140.0	94.0	Redonda C.	322.8	462.2	1224.0
			J-50	140.0	94.0	Redonda C.	822.2	462.2	1688.0
Superficial	399.7	13 3/8	K-55	81.2	54.5	Buttres	473.9	1004.4	2184.0
				90.85	61.0	Buttres	534.4	1025.8	2472.0
Intermedia	244.5	9 5/8	L-80	64.8	43.5	Hydril SEU	558.3	3386.7	5084.0
				70.0	47.0	Hydril SEU	603.3	4222.2	5496.0
T.P. o Liner	177.6	7	L-80	43.2	29.0	Hydril SEU	375.6	6240.0	6528.0
			N-80	43.2	29.0	Hydril SEU	375.6	6240.0	6528.0
T.P. o Liner	114.3	4 1/2	L-80*	18.99	12.75	Hydril CS	160.0	6666.7	6744.0
			N-80*	18.99	12.75	Hydril CS	160.0	6666.7	6744.0

(*) Obtenidos según "Tubing Minimum Performance Properties and Dimension". September, 1, 1975.

Características de los fluidos de perforación utilizados. La reología de los fluidos de perforación que se requirieron durante las fases de perforación de agujero y colocación y cementación de tuberías en los pozos de este campo (según Vaca en 1984), presentan los siguientes rangos.

	20	13 3/8	9 5/8	7
Diámetro en pg	20	13 3/8	9 5/8	7
PFIN en m	40 a 325	233 a 603	571 a 1424	1159 a 2162
pH	9 a 9.5	9 a 9.8	9.5 a 10.5	9.5 a 10
Densidad en gr/cm ³	1.06 a 1.08	1.06 a 1.09	1.06 a 1.11	1.08 a 1.11
Viscosidad March en seg/qt	50 a 65	44 a 48	40 a 46	40 a 48
Viscosidad Plástica en cps	7 a 12	7 a 10	10 a 12	6 a 10
Punto de cedencia en lb/100/ft ²	10 a 14	12 a 15	8 a 10	8 a 10
Gel inicial/final en lb/100/ft ²	0/2 a 2/13	0/2 a 1/4	0/2 a 1/4	0/2 a 2/6
Filtración API en cm ³ /30 min	10 a 12	8 a 10	8 a 10	6 a 8
Espesor de enjarre en mm	2 a 4	2.6 a 4.0	1 a 2	0.5 a 1.0
Contenido de arena en % vol.	Máx. 1.5	Máx. 1	Máx. 1	Máx. 1
Contenido de agua en % vol.	96 a 97	94 a 97	88 a 94	89 a 95
Contenido sólidos en % vol.	3 a 4	3 a 4	3 a 8	3 a 5
Contenido de aceite en % vol.		0 a 2	2 a 4	2 a 6
Dureza en ppm	Máx. 100	Máx. 100	Máx. 100	Máx. 100
Cloruros en ppm	< 100	Máx. 800	Máx. 800	Máx. 800

Características de la litología de los pozos. La litología según los estudios geológicos realizados en el campo y lo presentado durante la perforación de los pozos indican un patrón mas o menos similar a la litología que presento el pozo PR-9 (ver Fig. II.2), siendo este el más profundo de los que se han perforado en campo geotérmico La Primavera en el estado de Jalisco.

Profundidad total de los pozos. En la Tabla IV.1 tenemos que la profundidad total alcanzada en 12 pozos PR-1, PR-2, PR-4, PR-5, PR-7, PR-8, PR-9, PR-10, PR-11, PR-12, PR-13 y PI-1 (pozo inyector 1) sin considerar su tiempo de construcción, presentan una profundidad total promedio (X_p), media del rango (X_r), mediana (X_m) y desviación típica (d_{xp}) de 1710.1, 1714, 1930.5 y 705.1 m respectivamente siendo el mínimo de 442 m (PI-1) y el máximo de 2986 m (PR-9).

El rango de variación alrededor de la profundidad total promedio fue para $X_p-d_xp = 1004.9$ y $X_p+d_xp = 2415.2$ m, donde el 88.33 % representa una confiabilidad de encontrar 10 de 12 pozos dentro de este rango.

Tiempo de construcción de los pozos. El tiempo que se transcurre durante la construcción que consiste en perforar, ademar, cementar y terminar un pozo para este campo, según el estudio estadístico efectuado en las Tablas IV.1 y IV.1a, indican un patrón variable entre la profundidad y el tiempo total de construcción (ver Fig. IV.1).

Por esta razón se aplicó la correlación estadística que consistió en aplicar métodos de ajuste o dispersión de datos para obtener el rango de variación y el promedio de estas variables, donde el valor del coeficiente de correlación (r) que se obtiene, resulta ser un criterio para determinar el método más representativo para el ajuste de los datos, según se aproxime a la linealidad definida por $r=\pm 1$.

Comportamiento de la profundidad y tiempo total de construcción. El análisis de correlación para estas variables se efectuó para una muestra de 7 pares de datos en los pozos PR-1, PR-2, PR-4, PR-5, PR-8, PR-9 y PR-10. Según la Tabla IV.1a, se observa que el método de ajuste por aproximación exponencial de la forma $Y=ab^X$ fue el más apropiado, cuyo coeficiente de correlación (r) tiene un valor de -0.74904. El signo negativo indica que la relación de las variables de profundidad y tiempo total de construcción de los pozos son inversamente proporcionales. Los valores de las constantes a y b son indicativas del comportamiento del tiempo que se transcurre al construir un pozo a una determinada profundidad que se desee alcanzar.

En los pozos PR-1, PR-4 y PR-5 siendo más someros, su tiempo de construcción fue más prolongado que en el caso de los pozos PR-2, PR-8, PR-9 y PR-10 que son más profundos y cuyo tiempo de construcción es relativamente menos prolongado. Si descartamos el análisis de los pozos PR-5 y PR-9, la relación de las variables mantendrían un comportamiento similar al estudiado.

Los valores de las constantes, desviaciones muestrales y rangos de variación sobre los promedios en el estudio de correlación realizado, se muestran en la Tabla V.3.

Si graficamos los valores de los tiempos de construcción estimados (Y_{est}) y el rango ($Y_{est-dym}$, $Y_{est+dym}$) para los valores de Profundidad (Mínimo, Máximo, X_p , X_p-dxm , X_p+dxm), se obtiene una región de los tiempos en que aproximadamente se tardaría la construcción de un pozo de este campo. Los límites inferior y superior (L.I.T.D.y L.S.T.D.) indican que los tiempos que están por abajo del tiempo medio estimado (T.M.D.) presentan menos problemas durante la construcción del pozo que aquellos que están por encima de T.M.D. Estos límites comprenden tiempos de 126.538 a 559.550 días a profundidades que van desde 668 a 2986 m.

Los datos para el tiempo de construcción presentan una confiabilidad de 71.42 %, es decir, 5 de 7 datos registrados se encuentran dentro de un intervalo de confianza comprendido entre los 148.084 hasta 504.867 días a profundidades que van desde 971.536 hasta 2521.892 m.

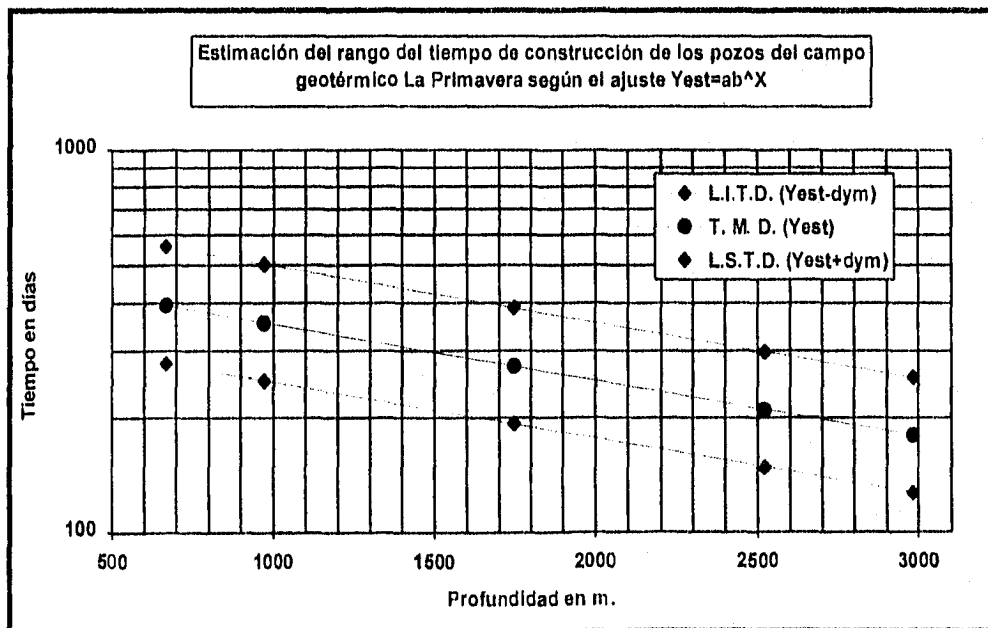
Las razones por las que se tiene este comportamiento se deben a factores como :

- A la topografía del terreno donde se localizaron los pozos.
- Al sistema de fallas que compone la geología del campo.
- A la discontinuidad de la litología de los estratos perforados en cada pozo.
- A los problemas de la perforación que se presentaron en los primeros pozos, incrementando así el tiempo y costo de operación.

Tabla V.3 Medidas de Centralización y Rangos de Variación entre la Profundidad Total y el Tiempo en que se Construye un pozo Geotérmico del Campo La Primavera, Jal.

Forma	bX	Días			
$r = -0.74904$					
$b = 0.999661255$					
$a = 494.1461158$					
Mínimo	668	145	394.063	277.518	559.550
Máximo	2986	467	179.678	126.538	255.134
Rango (R) = Máx. - Mín.	2316	322			
Media del rango (Xr, Yr) = Min. + R/2	1827	306	266.091	187.394	377.836
Mediana (Xm, Ym)	1861	277	263.043	185.248	373.509
Promedio (Xp, Yp*)	1746.714	273.428	273.428	192.561	388.255
Desviación poblacional (d _{xp} , d _{lnyp})	717.675	0.32461	---	---	---
Rango de var. pob. (X _p -d _{xp} , Y _p -d _{yp} *)	1029.039	197.636	348.692	245.566	495.125
Rango de var. pob. (X _p +d _{xp} , Y _p +d _{yp} *)	2464.389	378.287	214.410	150.998	304.452
Desviación muestral (d _{xm} , d _{lnym})	775.178	0.35062	---	---	---
Rango de var. (X _p -d _{xm} , Y _p -d _{ym} *)	971.536	192.561	355.552	250.397	504.867
Rango de var. (X _p +d _{xm} , Y _p +d _{ym} *)	2521.892	388.255	210.273	148.084	298.578

(*) Tiempo obtenidos por antilogaritmos



V.2. RESULTADOS SOBRE EL REGISTRO DE TEMPERATURA DE LOS POZOS.

De acuerdo al análisis estadístico efectuado en la Tabla IV.3 y la correlación de la profundidad y temperatura de registro presentadas en las Tablas IV.3a y IV.3b, arrojan los siguientes resultados.

Considerando una población de 33 datos para la profundidad y temperatura según lo expuesto en la Tabla IV.3, indica que la máxima temperatura fue registrada en el pozo PR-9 con 356 °C a la profundidad de 2986 m, siendo el pozo PR-4 el mínimo registrado con 80 °C a los 668 m de profundidad. La temperatura promedio (X_p), media sobre el rango (X_r), mediana (X_m) y la desviación típica de la población (d_{xp}) presentaron valores de 241.896, 218, 258 y 69.894 °C respectivamente, mientras que la profundidad a la que se tomo el registro presentaron valores de X_p , X_r , X_m y d_{xp} de 1645.242, 1714, 1850 y 658.778 m respectivamente.

Si consideramos una muestra de 16 de 33 datos representativos de la población (Tabla IV.3b), tenemos que el mínimo de temperatura fue registrado en el pozo PR-1 con 256 °C a la profundidad de 1226 m, siendo el máximo registrado en el pozo PR-9 con 356 °C a 2986 m de profundidad. Los valores X_p , X_r , X_m y d_{xp} para la temperatura resultaron ser de 296.287, 306, 288.5 y 26.479 °C respectivamente, mientras que la profundidad a la que se tomo el registro presentaron valores de X_p , X_r , X_m y d_{xp} de 1929.5, 2100.5, 1905.5 y 438.594 m respectivamente.

El análisis de la población según la Fig. IV.3, indica que los pozos PR-1 y PR-4 presentan tanto registros de alta temperatura (mayores de 230 °C) a profundidades someras (menores de 1200 m), como registros de baja temperatura a profundidades que van mas a la de las someras, incluyendo los pozos PR-2 y PR-5. Por esta razón, se expone el análisis de correlación de la variables de profundidad y temperatura de registro en las Tablas IV.3a y IV.3b para determinar el comportamiento de estas variables.

Comportamiento de la temperatura y profundidad de registro . La correlación hecha para la población de 33 datos (Tabla IV.3a) presentan un ajuste por aproximación geométrica (o de potencia) de la forma $Y = aX^b$, donde el coeficiente de correlación (r) es de +0.74466. Mientras que la muestra representativa de 16 de 33 datos (Tabla IV.3b), el método que más se aproxima es el ajuste exponencial de la forma $Y = ab^X$, donde el coeficiente de correlación (r) es de +0.88692, siendo este último, el de mayor consistencia comparado con lo encontrado para la población de 33 datos.

Los valores de las constantes, promedio, media del rango, mediana, desviaciones y rangos de variación presentados y estimados para la población y la muestra, se indican en la Tabla V.4.

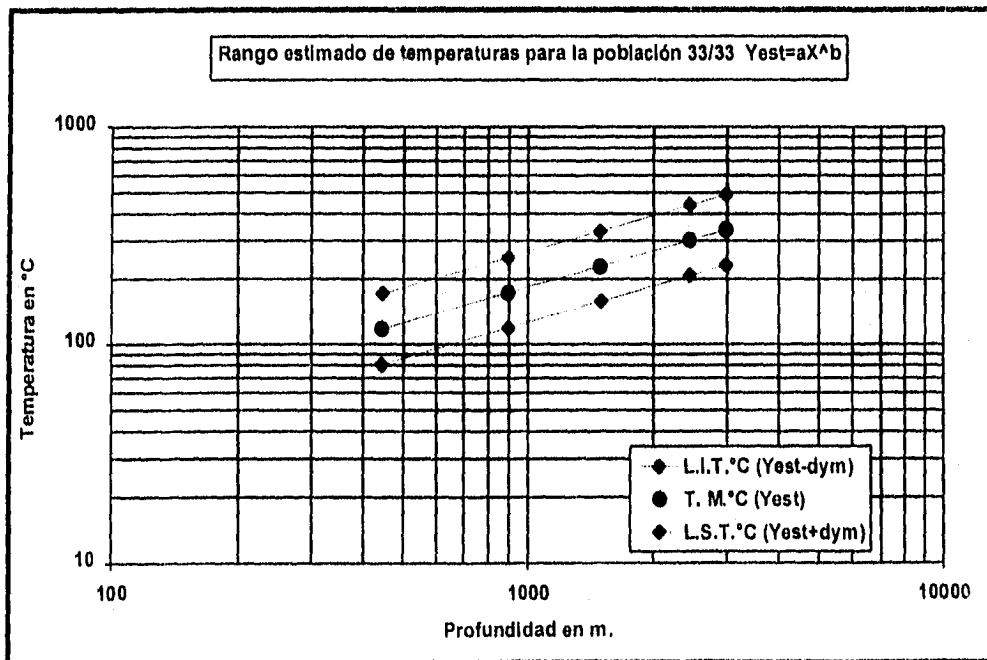
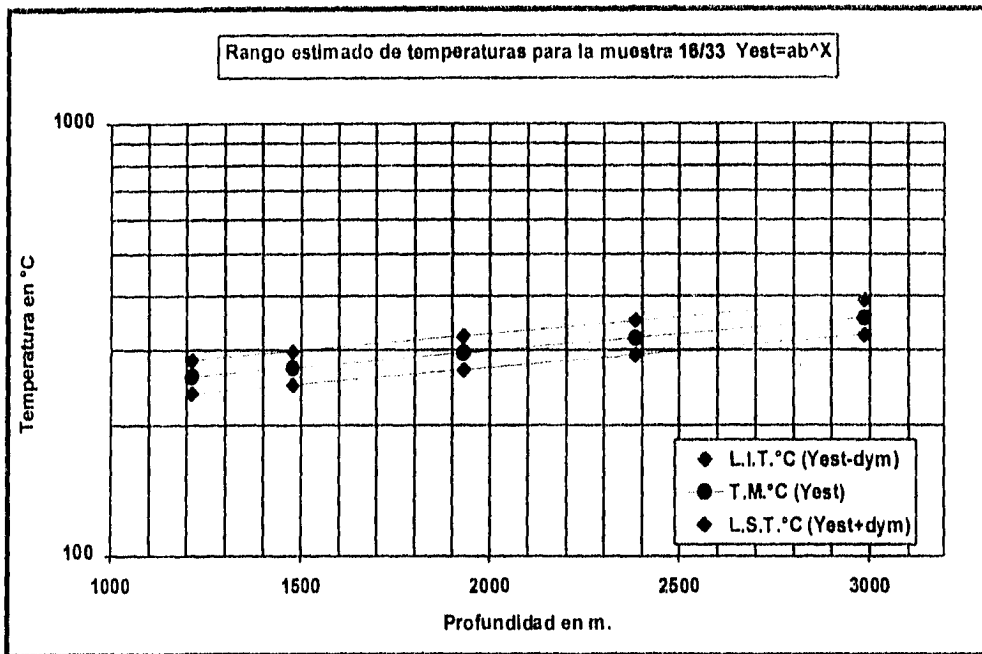
Al graficar los valores de profundidad (X), los valores de temperatura estimada (Yest) y sus rangos (Yest-dym, Yest+dym), se logro determinar una región de temperaturas marcada por los límites inferior, superior y medio (L.I.T.°C, L.S.T.°C y T.M.°C) que pueden esperarse, dentro de un rango de profundidades a las que se quiere saber el registro de temperatura.

Los límites para la población (33 datos) comprenden temperaturas de 80.618 a 489.195 °C a profundidades que van desde 442 a 2986 m. Los límites para la muestra (16 datos) comprenden temperaturas que van desde 237.296 a 390.101 °C a la profundidades que van de 1215 a 2986 m.

Los datos para el comportamiento de la temperatura, para el caso de la población (33 datos), presentan una confiabilidad de 75.75 %, es decir, 25 de 33 registros se encuentran dentro de un intervalo de confianza comprendido entre los 119.098 y 438.677 °C de temperatura a profundidades que van desde 895.554 hasta 2451.493 m. En el caso de la muestra (16 datos), se obtuvo una confiabilidad de 75 %, es decir, 12 de 16 registros se encuentran en un intervalo de confianza que esta comprendido entre los 248.605 y 350.364 °C de temperatura a profundidades que van desde 1476.521 hasta 2382.478 m.

Tabla V.4 Medidas de Centralización y Rangos de Variación en el Registro de Temperatura de los Pozos Geotérmicos del Campo La Primavera, Jal.					
No. de datos (Población)	33	33			
$r = 0.74466$					
$b = 0.552624239$					
$a = 4.04377608$					
Mínimo	442	80	117.141	80.618	170.211
Máximo	2986	356	336.671	231.701	489.195
Rango (R) = Máx. - Mín.	2544	270			
Media del rango (X_r, Y_r) = Min. + R/2	1714	218	247.730	170.491	359.961
Mediana (X_m, Y_m)	1850	258	258.407	177.839	375.475
Promedio (X_p^*, Y_p^*)	1481.703	228.573	228.573	157.307	332.126
Desviación poblacional (d_{lnx}, d_{lny})	0.495817	0.367951	---	---	---
Rango de var. pob. (X_p-d_{xp}, Y_p-d_{yp})	902.465	158.207	173.791	119.606	252.526
Rango de var. pob. (X_p+d_{xp}, Y_p+d_{yp})	2432.719	330.236	300.623	206.893	436.817
Desviación muestral (d_{lnxm}, d_{lnym})	0.50350	0.37365	---	---	---
Rango de var. (X_p-d_{xm}, Y_p-d_{ym})	895.554	157.307	173.055	119.098	251.455
Rango de var. (X_p+d_{xm}, Y_p+d_{ym})	2451.493	332.126	301.903	207.774	438.677
No. de datos (muestra)	16	16			
$r = 0.88692$					
$b = 1.000178029$					
$a = 209.3364173$					
Mínimo	1215	256	259.882	237.296	284.617
Máximo	2986	356	356.199	325.243	390.101
Rango (R) = Máx. - Mín.	1771	100			
Media del rango (X_r, Y_r) = Min. + R/2	2100.5	306	304.253	277.811	333.211
Mediana (X_m, Y_m)	1905.5	288.5	293.872	268.333	321.843
Promedio (X_p, Y_p)	1929.5	295.131	295.131	269.482	323.221
Desviación poblacional (d_{xp}, d_{lny})	438.594	0.08802	---	---	---
Rango de var. pob. (X_p-d_{xp}, Y_p-d_{yp})	1490.906	270.261	272.965	249.242	298.945
Rango de var. pob. (X_p+d_{xp}, Y_p+d_{yp})	2368.094	322.289	319.097	291.365	349.468
Desviación muestral (d_{xpm}, d_{lnym})	452.978	0.09091	---	---	---
Rango de var. (X_p-d_{xpm}, Y_p-d_{ym})	1476.521	269.482	272.267	248.605	298.180
Rango de var. (X_p+d_{xpm}, Y_p+d_{ym})	2382.478	323.221	319.915	292.112	350.364
(*) Temperatura y profundidad obtenidas por antilogaritmos					

El comportamiento de la temperatura y profundidad de registro en los dos casos es proporcional aunque los métodos de ajuste son diferentes, es decir, a mayor profundidad se registra una temperatura alta, a menor profundidad se registra una temperatura alta. El valor de dicha proporción está ligado por las constantes a y b empleadas en los métodos citados. Las causas del comportamiento pueden deberse a los factores siguientes.



- A la composición química de las aguas a la profundidad que se tomo el registro.
- A las condiciones de agujero, fluidos de perforación y espesor de capa.
- A las condiciones de muestreo de las aguas superficiales (presión, temperatura, composición química).
- A las condiciones geológicas del yacimiento (litológica, estructural, geohidrológica, etc.).
- A la presencia de fluidos de alta temperatura a profundidades someras.

V.3 RESULTADOS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE LOS POZOS.

La información que se analiza en este aspecto, es la presión y el gasto másico que se tiene en la cabeza del pozo cuando se produce el vapor, agua y mezcla total. El gas no se considera en este análisis por no contar con suficiente información. El análisis de comportamiento se efectúa mediante la técnica de correlación estadística de variables, como se utilizo en el caso registro de temperatura y tiempo de construcción del pozo.

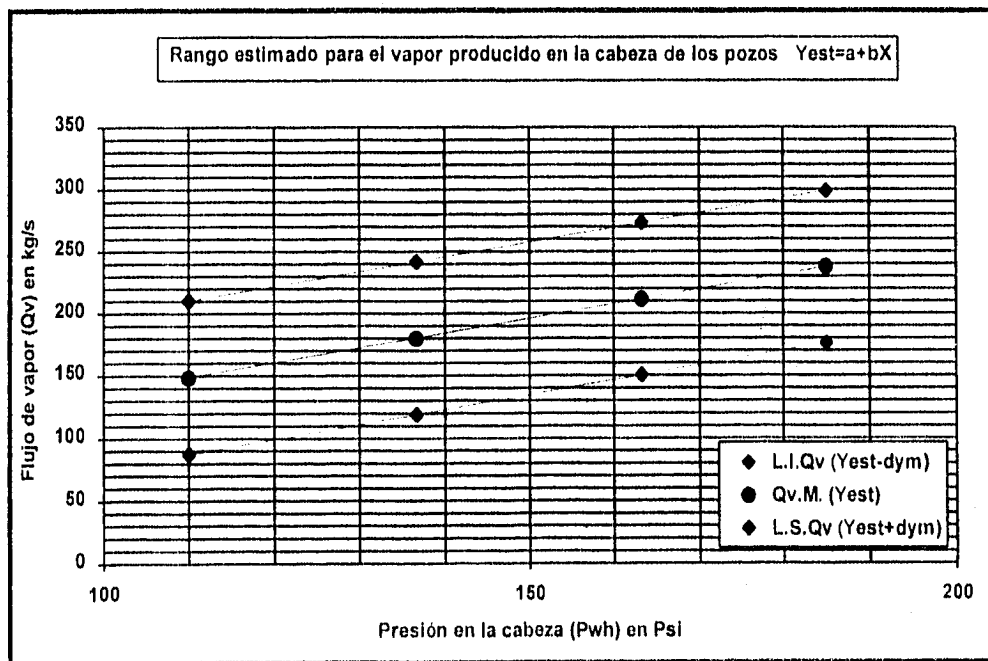
Los datos y la aplicación de esta correlación, se hizo para 9 registros de las variables de presión (P_{wh}) con respecto al flujo másico de agua, vapor y mezcla total (Q_w , Q_v y Q_t) que se produjo en la cabeza de los pozos PR-1, PR-8 y PR-9, que se encuentra en las Tablas IV.4a, IV.4b y IV.4c. De aquí los siguientes resultados.

Comportamiento del flujo de vapor (P_{wh} y Q_v). El ajuste representativo para la producción de vapor, resulto ser el ajuste por mínimo cuadrados de la forma $Y = a + bX$, cuyo coeficiente de correlación (r) fue de +0.51295, donde el signo positivo indica que las variables son proporcionales, es decir, a mayor presión en la cabeza del pozo se espera tener un mayor gasto de vapor producido. El valor de las constantes a (ordenada al origen) y b (pendiente), son indicativas respectivamente de la producción inicial y del gradiente de producción de vapor.

Los valores de las constantes, desviaciones muestrales y rangos de variación sobre los promedios para las variables de presión y flujo másico de vapor, se muestran en la Tabla V.5.

Tabla V.5 Medidas de Centralización y Rangos de Variación para los Registros de Presión y Flujo de Vapor en los Pozos Geotérmicos del Campo La Primavera, Jal.

Ajuste por Mínimos Cuadrados $Y = a + bX$	Presión Psi	Flujo de Vapor Kg/s	$Y_{est} = a + bX$ Kg/s	$Y_{est} + d_{ym}$ Kg/s	$Y_{est} - d_{ym}$ Kg/s
No. de datos (muestra)	9	9			
$r = 0.51295$					
$b = 18.5431652$					
$a = 1.184125763$					
Mínimo	110	106.200	148.796	87.427	210.166
Máximo	185	285.480	237.606	176.236	298.976
Rango (R) = Máx. - Mín.	75	179.280			
Media del rango (X_r, Y_r) = Min. + R/2	147.500	195.840	193.201	131.831	254.571
Mediana (X_m, Y_m)	141.100	174.240	185.623	124.253	246.993
Promedio (X_p, Y_p)	136.688	180.400	180.4	119.030	241.769
Desviación poblacional (d_{xp}, d_{yp})	25.064	57.860	---	---	---
Rango de var. pob. ($X_p - d_{xp}, Y_p - d_{yp}$)	111.624	122.539	150.720	89.350	212.090
Rango de var. pob. ($X_p + d_{xp}, Y_p + d_{yp}$)	161.753	238.260	210.079	148.709	271.449
Desviación muestral (d_{xm}, d_{ym})	26.585	61.369	---	---	---
Rango de var. ($X_p - d_{xm}, Y_p - d_{ym}$)	110.103	119.030	148.919	87.550	210.289
Rango de var. ($X_p + d_{xm}, Y_p + d_{ym}$)	163.273	241.769	211.880	150.510	273.249



El gradiente de vapor producido por cada 10 Psi de presión en la cabeza del pozo es de 11.841 (kg/s), mientras que la producción inicial sería de 18.543 kg/s. Los límites de la región para el flujo de vapor (L.I.Qv, L.S.Qv y Qv.M.) están entre los 87.427 y 298.976 kg/s, a una presión en la cabeza del pozo que va desde 110 a 185 Psi.

Los datos para el flujo de vapor presentan una confiabilidad de 77.77 %, es decir, 8 de 9 datos registrados se encuentran dentro de un intervalo de confianza comprendido entre los 87.550 y 273.249 kg/s de vapor producido, a presiones en la cabeza del pozo que van desde 110.103 hasta 163.273 Psi.

Comportamiento del flujo de agua (Pwh y Qw). El ajuste más representativo para la producción de agua, resultó ser el ajuste exponencial de la forma $Y = ab^X$, cuyo coeficiente de correlación (r) fue de -0.37486, donde el signo negativo indica que las variables son inversamente proporcionales, es decir, a mayor presión en la cabeza del pozo se espera tener un menor gasto de agua producido. El valor de las constantes **a** y **b** son indicativas del comportamiento del flujo másico de agua que se produce en función de la presión que existe en la cabeza del pozo.

Los valores de las constantes, desviaciones muestrales y rangos de variación sobre los promedios para las variables de presión y flujo másico de vapor, se muestran en la Tabla V.6.

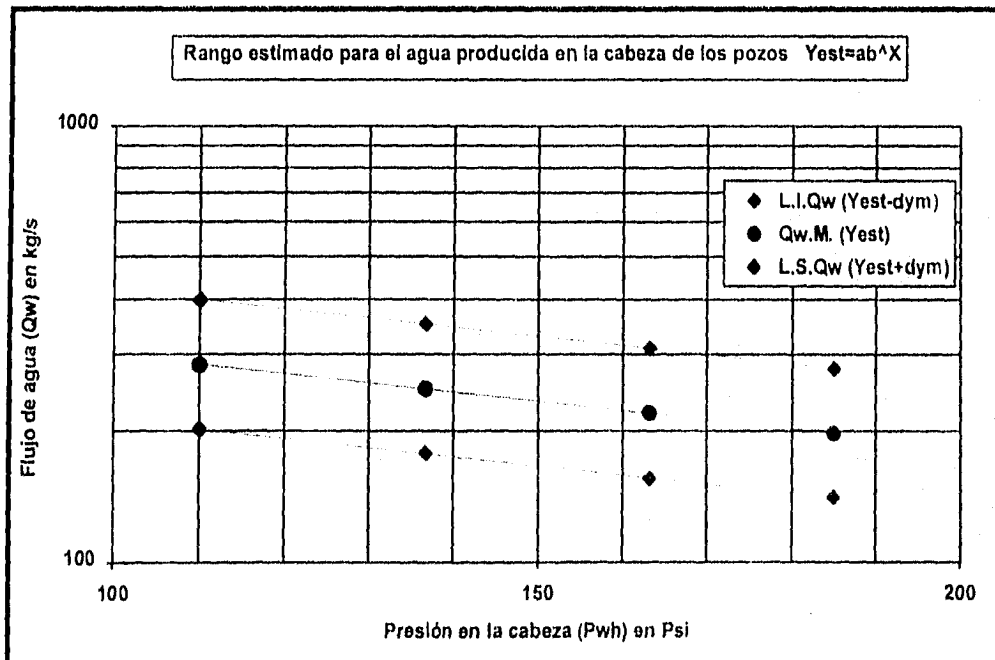
Los límites de la región para el flujo de agua (L.I.Qw, L.S.Qw y Qw.M.) se encuentran entre los 140.521 y 400.212 kg/s, a una presión en la cabeza del pozo que van desde 110 a 185 Psi.

Los datos para el flujo de agua presentan una confiabilidad de 55.55 %, es decir, 5 de 9 datos registrados se encuentran dentro de un intervalo de confianza comprendido entre los 156.057 y 400.011 kg/s de agua producido, a presiones en la cabeza del pozo que van desde 110.103 hasta 163.273 Psi.

Tabla V.6 Medidas de Centralización y Rangos de Variación para los Registros de Presión y Flujo de Agua en los Pozos Geotérmicos del Campo La Primavera, Jal.

	9	9			
No. de datos (muestra)	9	9			
$r = -0.37486$					
$b = 0.995184793$					
$a = 483.2989312$					
Mínimo	110	149.76	284.201	201.819	400.212
Máximo	185	423	197.881	140.521	278.656
Rango (R) = Máx. - Mín.	75	273.240			
Media del rango (X_r, Y_r) = Min. + R/2	147.500	286.380	237.146	168.403	333.948
Mediana (X_m, Y_m)	141.100	230.760	244.586	173.687	344.426
Promedio (X_p, Y_p)	136.688	249.849	249.849	177.425	351.838
Desviación poblacional (d_{xp}, d_{lnyp})	25.064	0.32273	---	---	---
Rango de var. pob. ($X_p-d_{xp}, Y_p-d_{yp}^*$)	111.624	180.932	281.981	200.243	397.086
Rango de var. pob. ($X_p+d_{xp}, Y_p+d_{yp}^*$)	161.753	345.017	221.379	157.207	311.745
Desviación muestral (d_{xm}, d_{lnym})	26.585	0.34231	---	---	---
Rango de var. ($X_p-d_{xm}, Y_p-d_{ym}^*$)	110.103	177.425	284.058	201.718	400.011
Rango de var. ($X_p+d_{xm}, Y_p+d_{ym}^*$)	163.273	351.838	219.760	156.057	309.466

(*) Flujo de agua obtenidas por antilogaritmos



Comportamiento del flujo total de la mezcla (Pwh y Qt). El ajuste más representativo para la producción total de la mezcla (agua y vapor), resulto ser el ajuste logarítmico de la forma $Y = a + b \ln X$, cuyo coeficiente de correlación (r) fue de +0.10041, donde el signo positivo indica que las variables son proporcionales, es decir, a mayor presión en la cabeza del pozo se espera tener un mayor gasto total de mezcla producida. El valor de las constantes **a** (ordenada al origen) y **b** (pendiente) son indicativas respectivamente de la producción inicial y del gradiente de variación de la producción total de la mezcla.

Los valores de las constantes, desviaciones muestrales y rangos de variación sobre los promedios para las variables de presión y flujo másico total de la mezcla agua y vapor, se muestran en la Tabla V.7.

Los límites de la región para el flujo total de la mezcla (L.I.Qt, L.S.Qt y Qt.M.) se encuentran entre los 307.198 y 588.838 kg/s, a una presión en la cabeza del pozo que va desde 110 a 185 Psi.

Los datos para el flujo total de la mezcla presentan una confiabilidad de 33.33 %, es decir, 3 de 9 datos registrados se encuentran dentro de un intervalo de confianza comprendido entre los 307.904 y 580.415 kg/s de agua producido, a presiones en la cabeza del pozo que van desde 111.192 hasta 162.641 Psi.

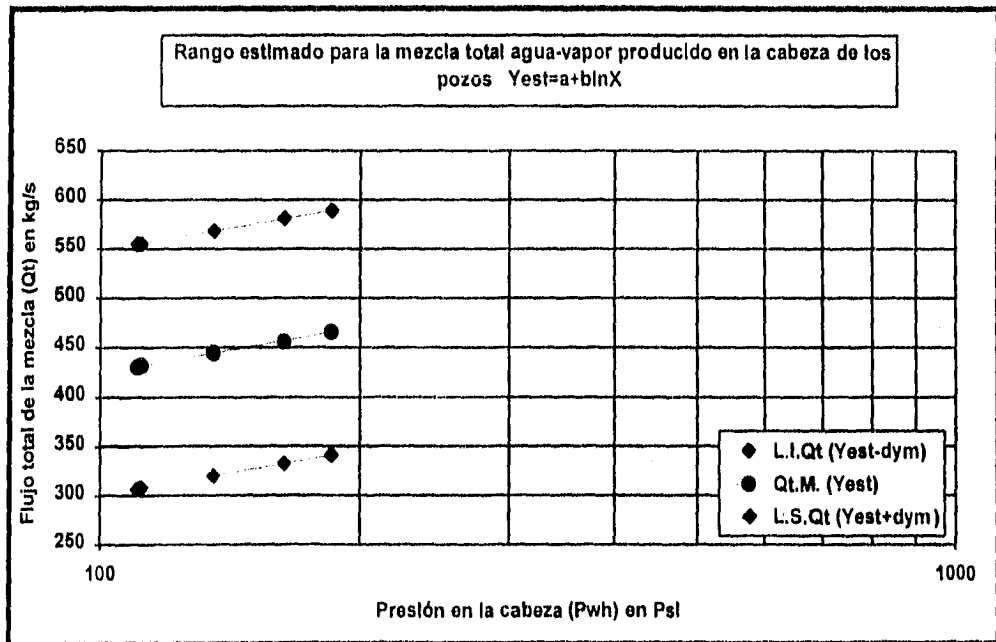
La entalpia de los fluidos producidos en la cabeza de los pozos según lo visto en la Tabla IV.4 dio un promedio de 1571 Kj/Kg, dentro de un rango que va de 1306.671 a 1835.328 Kj/Kg. La desviación es de 264.328 Kj/Kg.

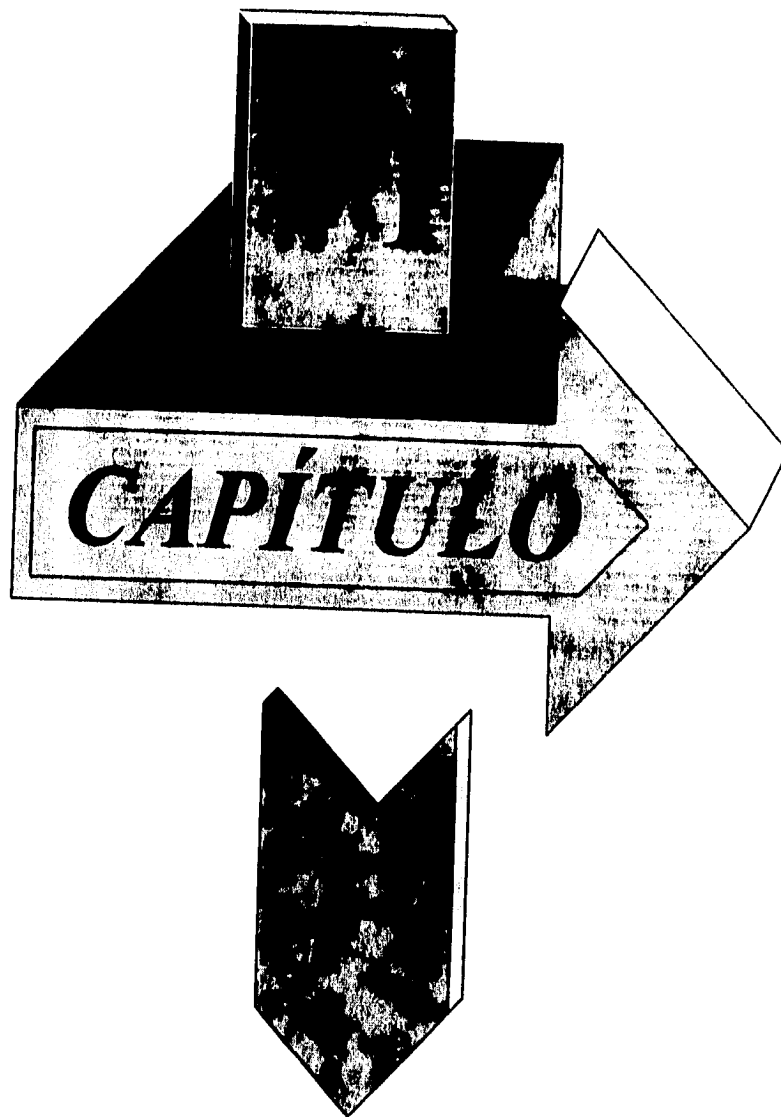
Formaciones Productoras. La litología productora en la mayoría de los pozos del campo geotérmico en estudio, según lo presentado en las Tablas II.6 y II.7 junto con la litología completa del pozo PR-9 (Fig. II.10), fueron andesitas (porfídicas y microlíticas) y riolitas microcristalinas de grandes espesores, con intercalaciones de estratos tobaceos. Las profundidades donde puede encontrarse este tipo de rocas van desde los 1050 a 2750 m.

Tabla V.7 Medidas de Centralización y Rangos de Variación para los Registros de Presión y Flujo Total de la Mezcla en los Pozos Geotérmicos del Campo La Primavera, Jal.

	9	9			
No. de datos (muestra)	9	9			
$r = 0.10041$					
$b = 65.38917724$					
$a = 123.6611302$					
Mínimo	110	336.96	431.021	307.198	554.844
Máximo	185	641.52	465.015	341.193	588.838
Rango (R) = Máx. - Min.	75	304.56			
Media del rango (X_r, Y_r) = Min. + R/2	147.500	489.24	450.203	326.380	574.026
Mediana (X_m, Y_m)	141.100	435.24	447.302	323.480	571.125
Promedio (X_p, Y_p)	134.478	444.160	444.160	320.337	567.982
Desviación poblacional (d_{lnxp}, d_{yp})	0.17926	116.741	—	—	—
Rango de var. pob. ($X_p-d_{xp}^*, Y_p-d_{yp}$)	112.408	327.418	432.437	308.615	556.260
Rango de var. pob. ($X_p+d_{xp}^*, Y_p+d_{yp}$)	160.882	560.901	455.882	332.059	579.704
Desviación muestral (d_{lnxm}, d_{ym})	0.19014	123.661	—	—	—
Rango de var. ($X_p-d_{xm}^*, Y_p-d_{ym}$)	111.192	320.337	431.726	307.904	555.549
Rango de var. ($X_p+d_{xm}^*, Y_p+d_{ym}$)	162.641	567.982	456.593	332.770	580.415

(*) Presión en la cabeza del pozo obtenidas por antilogaritmos





CONCLUSIONES.

Conclusiones y comentarios finales sobre el campo geotérmico LA Primavera, y la base de datos propuesta.

1. La perforación de los pozos se inicio desde enero de 1980 y culminó a finales de 1988, durante este periodo se perforaron un total de 12 pozos, de los cuales PR-1, PR-8, PR-9, PR-11, PR-12 y PR-13 resultaron productores, los pozos PI y PR-2 fueron inyectores, el pozo PR-4 fue abandonado, los pozos PR-5 y PR-10 son de exploración y no han sido terminados, el pozo PR-7 fue suspendido. Las profundidades totales de los pozos varían desde los 668 a 2986 m.
2. Se ha estimado que el yacimiento tiene la capacidad para alimentar una planta de generación de 30 MW, considerando que el campo geotérmico tiene un potencial total (probable y probado) de 110 MW, donde la producción de los 6 pozos tienen la capacidad para generar por lo menos 20 MW, permitiendo así la instalación de plantas de 5 MW cada una (Alonso, 1987), (Razo, 1987) y (Villa, Chacón y Medina, 1988).
3. De acuerdo a la estadística de la Tabla IV.2 tenemos que la cantidad de tubería utilizada en la perforación de 11 pozos es de 17460.5 m, de los cuales 71, 1046, 3321.3, 7181.6, 5360 y 480 metros de tubería corresponden a los diámetros de 30, 20 13 3/8, 9 5/8, 7 y 4 1/2 pg respectivamente, Mientras que la cantidad total de metros perforados, considerando 13 pozos según (Hiriart, 1990), es de 23 017 m. Estos datos, junto con los rangos de clase y mediana de profundidades estimados en las Tablas IV.2a y IV.2b, además de los costos actualizados permitirán hacer una proyección para futuras inversiones en este campo.
4. Los métodos estadísticos de dispersión y correlación, para las variables analizadas en los Capítulos IV y V, son una vía alternativa para ordenar, seleccionar, clasificar y determinar el análisis de comportamiento de datos. El grado de relación de las variables para estos datos dependerá básicamente del valor que presente el coeficiente de correlación (r), que también es un indicador de la tendencia y margen de error que existe entre los datos reales y los datos de ajuste. Su aplicación se observa en las Tablas V.3 a la V.7.

5. El tiempo de construcción promedio de los pozos es de 273.428 días, a una profundidad total del pozo promedio de 1746.714 m., mientras el rango es de 192.561 a 388.255 días, a profundidades que van desde 971.536 hasta 2521.892 m (considerando una desviación típica de tiempo y profundidad de 80.867 días y 775.178 m, respectivamente, según lo efectuado en la Tabla V.3).
6. La temperatura promedio que registraron los pozos fue de 295.131 °C a una profundidad promedio de 1929.5 m, donde el rango de temperatura fue de 269.482 a 323.221 °C a profundidades que van de 1476.521 a 2382.478 m. (considerando la desviación típica de temperatura y profundidad de 25.649 °C y 452.978 m, respectivamente, según la Tabla V.4).
7. Con respecto a la producción, tenemos que la presión de flujo alcanzada en la cabeza de los pozos fue de un promedio de 136.688 Psi dentro de un rango de 110.103 a 163.273 Psi (tomando una desviación de 26.585 Psi). El flujo másico correspondiente a estas presiones, considerando que el fluido geotérmico deseado es el vapor de agua, dio un promedio de 180.4 Kg/s, mientras que el rango es de 119.030 a 241.769 Kg/s. La desviación típica es de 61.369 Kg/s, cómo se indica en la Tabla V.5.
8. El programa WELLCAM versión 1.0 fue creado específicamente para editar, guardar e imprimir una base de datos, que permite la construcción de un esquema sencillo del estado mecánico del pozo, ya que uno de los propósitos es el desarrollo de tecnología propia y adecuada a las necesidades de los usuarios en cualquier rama de la ingeniería. Como es de esperarse, el programa puede tener defectos, de modo que esta versión puede ser mejorada si se continúa desarrollando y ampliando el campo de trabajo y aplicaciones del mismo. La base de datos para los esquemas de los pozos PR-1, PR-2, PR-4, PR-5, PR-8, PR-9, PR-10, PR-12 y PR-13 ya se encuentran editados y guardados por este programa, de manera que puede imprimirse cuando así lo disponga el usuario. Las ventajas y desventajas de este programa son :

Ventajas :

- Para imprimir la tablas de información y el esquema del pozo antes de cargar WELLCAM.EXE se debe activar el archivo GRAPHICS.COM del sistema operativo MS-DOS; la impresión sólo se hace por pantalla, por lo que no requiere de una configuración de impresoras específica.
- El menú del programa es fácil de manejar y solo requiere de utilizar las teclas de dirección para seleccionar la opción deseada y luego presionar la tecla ENTER para entrar a la sección de captura y edición.
- Los registros de la información de los pozos están en español; sólo la barra de menú principal tiene títulos en inglés. Puede guiarse por los diagramas de flujo contenidos en el Capítulo III.
- El volumen de información accesada por el programa no es muy grande, por lo que puede instalarse en cualquier máquina de PC, se recomienda tener sistema operativo MS-DOS, versión 5.0 o superior.
- Los archivos de datos con extensión DTB o DBN pueden ser abiertos por otros programas de base de datos comerciales, con el inconveniente de que al ser abiertos por estos programas, los datos pierden el orden secuencial.

Desventajas :

- Si por accidente el programa presenta alguna falla, este se sale del sistema por el programa BRUN45.EXE, para volver a entrar a él, reinicie el sistema apagando su computadora y vuelva activar GRAPHICS.COM y luego WELLCAM.EXE para continuar con la sesión.
- El programa puede ser utilizado sólo después de haberse instalado en su máquina, ya que de lo contrario una incorrecta instalación ocasionaría fallas durante la sesión de trabajo, después de activar WELLCAM. Si esto ocurre, sustituya el AUTOEXEC.BAT de su computadora por El AUTOEXEC.BAK, cambiándole a este último la extensión BAK por la extensión BAT; borre los archivos contenidos en el subdirectorío WC de la raíz C:\; reinicie su computadora, luego coloque el disco de instalación en el drive A; teclee instalar para cargar los archivos de WELLCAM versión 1.0 en la dirección C:\WC, y vuelva reiniciar su computadora

BIBLIOGRAFÍA (REFERENCIAS).

1. Adam T. Bourgoine Jr., Keith K. Milheim, Martin E. Cheneveret and F.S. Young Jr. "Applied Drilling Engineering". SPE Textbook Series, Vol. 2. Second Edition. Society of Petroleum Engineers. Richardson, Tx. 1991. pp 300-350.
2. Adams Neal. "Drilling Engineering. A Complete Well Panning Aproach". Pennwell Publishing Co., First Edition. Tulsa, Oklahoma. 1985. Ch. 6 "Introduction to Well Planning". pp. 139-151. Reference : Greenip, John. "Care and Handling of Oilfield Tubulars". Oil & Gas Journal Series.
3. Alonso Cárdenas Ignacio. "Apuntes de Terminación de Pozos". D.I.C.T., FI, UNAM, México D.F., abril de 1983. pp. 3-120.
4. Alonso Espinosa Héctor. "Geotermia : Una Fuente Alternativa de Energía para la Producción de Electricidad". Ingeniería. Facultad de Ingeniería, UNAM. Vol. LIV, No. 3, 1984.
5. Alonso Espinosa Héctor. "Estado Actual de la Geotermia en México". CFE, 5-9 de octubre, 1987, Morelia Mich. pp. 9-16.
6. API Bulletin on Performance Properties of Casing and Tubing. American Petroleum Institute. New York, N.Y. API Bul. SC2, Tenth Edition, April 1968, Appendix B, pp. 1-22.
7. Barroso Anaya Guillermo H. "Influencia del Costo por Construcción de los Pozos Geotérmicos Sobre la Generación de Energía Geotermoeléctrica". Cursos Sobre Lodos y Cementos. OLADE-UNAM-CFE-IIE. Capítulo 1. Cuernavaca, Mor. Nov. de 1985. Informe IIE/10/11/1984//P.
8. Barroso Anaya Guillermo H., Arellano J. M., Santoyo Gutiérrez Socrates, Morales Rosas José Manuel y Baca A. "Diseño de Lechadas Específicas para el Campo Geotérmico La Primavera, Jal.", Fase II Elaboración de Normas, IIE, Cuernavaca, Reporte: IIE/11/2005/I 04/F, 1986.
9. Benítez Hernández Miguel A. "Tecnología de la Perforación 1ra. Parte". D.I.C.T., FI, UNAM, México D.F., Abril de 1982. pp. 17-23.
10. Benítez Hernández Miguel A., Garaicochea Petrirena Francisco y Reyes Alvarez Ciro. "Apuntes de Fluidos de Perforación" D.I.C.T., FI, UNAM, México D.F., abril de 1982. pp. 1-51.
11. Bulletin on Performance Properties of Casing, Tubing and Drill Pipe. Bul. SC2, 18 th., API, Dallas, March, 1982.
12. Carson C. C. and Lin T. Y. "Geothermal Well Cost and Their Sensitives to Changes Drilling and Completion Operations". Inter. Conference on Geothermal Drilling and Completion Technology. Sandia National Laboratory. Jan., 1981 Albuquerque NM, USA.
13. Carson C. C. and Lin T. Y. "The Impact of Common Problems in Geothermal and Completion Wells". Geothermal Resources Council Transactions, Vol. 6, pp 195-198, 1982.
14. Casing Minimum Performance Properties, Dimension. Lone Star Steel Company, September, 1, 1975. Appendix C, pp. 1-17.

15. González Oropeza Rogelio y Nuñez Orosco Félix. "Prácticas de Termodinámica". D.C.B., DEPI, UNAM, México, D.F., Septiembre de 1986. Apéndice B "Tratamiento Estadístico de Datos Experimentales", pp. 82-112.
16. González Salazar Arturo y Casarrubias U. Zenón. "Recursos Geotérmicos de Latino América". Geotermia, Revista Mexicana de Geoenergía, Vol. 2, No. 2. pp. 153-178, Agosto de 1986. Morelia Mich.
17. Greenip John F. Jr. "Desing and Running Pipe". Oil and Gas Journal, October 9,16,30 and November 13 and 27, 1978.
18. Gutiérrez Negrín Luis C. A. "Litología y Mineralogía Secundaria del Pozo PR-2 de La Primavera, Jal. Informe", 19-81, CFE, Inédito, 1981.
19. Gutiérrez Negrín Luis. C. A., López Martínez A. y Balcazar García M. "Application of Dating for Searching Geothermic Sources". Nuclear Tracks and Radiation Measurements, Vol. 8, Núms. 1-4, pp. 380-385, 1984.
20. Henley R. W. and Ellis A. J. "Geothermal System Ancient and Modern, a Geochemical Review". Earth Sci. Rev., 19, pp. 1-50, 1983.
21. Hiriart Le-Bert Geraldo. "Economics of Wellhead vs Central Power Plants"; Development in Geothermal Energy in México, Part 3. J. Heat Recovery Systems, Vol. 6, pp.191-200. England 1986.
22. Hiriart Le-Bert Geraldo. "Status of Geothermal Resources in México". Council Transactions, Vol. 14, Part 1, August 1990. pp. 195-202.
23. IIE/CCE. "Simposio Internacional Sobre Desarrollo y Explotación de Recursos Geotérmicos : Memorias", Cuernavaca, Morelos, México, 5-9 de octubre, 1987, pp. 1-448.
24. Jaime M. E. y Vaca Serrano. "Tecnología de la Perforación de Pozos en México". CFE, Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, Depto. de Perforación, Morelia, Mich., 5-9 de octubre, 1987, pp. 339-345.
25. Joyanes Aguilar Luis y Villar Pizarro A. "Quick Basic Avanzado Versión 4.5 y Qbasic". Serie McGraw-Hill de Informática. Tercera edición, 1991. pp. 23-25, 45-47 y 183-195.
26. Kruger P. Aragón A., Maciel F.C.D. Lucio R. y Villa Merlo Sergio Javier. "Simulación de la Declinación Térmica de la Producción de Unidades de 5 MWe en el Campo Geotérmico de La Primavera, Jalisco". Geotermia, Rev. Mex. Geoenergía, Vol. 4, No. 3, Sep-Dic., 1988. pp. 195-210.
27. Manual de Propietario. Computadora Personal FX-850/880 P, Scientific Library 116. Casio Computer Co. Ltd., 1991. pp. 304-319.
28. Méndez Agustín. "Diccionario Básico de la Industria Petrolera". Paraninfo S.A. Madrid, España, 1980.
29. Mercado González Sergio. "Exploración Geotermoquímica Preliminar de La Primavera. Jalisco". Congreso Mexicano de Química Pura y Aplicada, 1970.
30. Mercado González Sergio. "Aportes del IIE en el Campo de la Geotermia". Ciencia y Desarrollo, Año IX, No. 51. Julio-Agosto 1983. pp. 9-15.

31. Morales Rosas J. Manuel, Santoyo Gutiérrez Sócrates, Baca Arenas Arturo y Barroso Anaya Guillermo H. "Selección de Materiales Cementantes para Pozos Geotérmicos". IIE, Depto. Geotermia, Cuernavaca, Mor., 5-9 de octubre, 1987, pp. 355 a 365.
32. Morales Rosas José Manuel y Santoyo Gutiérrez Sócrates. "Análisis de Costos en la Construcción de Pozos Geotérmicos". Parte 1 : Influencia en la Generación de Electricidad. IIE, Cuernavaca Mor. pp. 1-8. Para la II Reunión Nacional de Ingeniería en Energía y Recursos Energéticos. San Luis Potosí, S.L.P., del 13 - 15 de marzo de 1991.
33. Morales Rosas José Manuel. "Campos Geotérmicos de México". IIE, Depto. de Geotermia, Cuernavaca, Mor. pp. 1-8. Para la Semana de Ingeniería, Universidad Veracruzana, Veracruz, Ver. Abril, 1993.
34. Morales Rosas José Manuel. "Costos de Perforación en Pozos Geotérmicos". Reporte Interno IIE-JMMR 86/15. Junio de 1985.
35. Murray R. Spiegel. "Estadística : Teoría y 875 Problemas Resueltos". Serie Schaum, McGraw-Hill. Capítulos 1, 2, 3, 4, 13 y 14. pp. 1-262 Febrero, 1984.
36. OLADE. "Potencial Geotérmico en América Latina". Boletín Energético, No 22, pp. 27-35, 1981.
37. Razo Montiel Antonio. "Desarrollo de la Exploración Geotérmica en México". CFE, Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, Morelia, Mich., octubre, 1987, pp. 43-49.
38. Razo Montiel Antonio. "Actividades de la Exploración Geotérmica en México". CFE, G.P.G., Depto. de Exploración, [Inédito], 1985.
39. Rentería Torres David. "Comunicación Personal", Abril 1993.
40. Sánchez R. S. "Informe Geológico del Pozo Primavera No. 8, Reporte", RPG 1-85, CFE, Inédito, 1985.
41. Santoyo Gutiérrez Sócrates, Morales Rosas José Manuel y Barroso Anaya Guillermo H. "Control de las Propiedades del Fluido de Perforación Durante la Construcción de los Pozos Geotérmicos". IIE, Depto. de Geotermia, Cuernavaca, Mor., 5-9 de octubre, 1987, pp. 346-354.
42. Santoyo Gutiérrez Sócrates., Barroso Anaya Guillermo. H., Mercado González Sergio., Sánchez A., Morales Rosas José Manuel, García E. y Castillo J. "Pruebas de Fluidos de Perforación". IIE, Cuernavaca, Reporte : IIE/11/3296/1 07/F/V5, 1982.
43. Templos M. L. A. "Geoquímica Preliminar del Campo Geotérmico de La Primavera, Jalisco". Superintendencia Ingeniería y Química, CFE. Reporte Interno, 1980.
44. Truesdell A. H. and Mahood G. A. "Preliminary Geochemical Assesment of the Geothermal Systems of Primavera, Jalisco, Mexico". U.S.G.S. Report, 1978.
45. Venegas, S. "Geología de la Sierra de La Primavera, Estado de Jalisco, Informe". pp. 52-81, CFE, Inédito, 1981.
46. Villa Merlo Sergio Javier, Chacón Franco Miguel y Medina Orozco Guillermo. " Utilización de la Relación Atómica Na+/K+ Para Identificar Zonas de Mayor Actividad Hidrotermal en el Campo Geotérmico de La Primavera, Jalisco". Geotermia, Rev. Mex. Geoenergía, Vol. 3, No. 3, Sep-Dic., 1987. pp. 241-254.