

28
2ej.



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

Técnicas para el control de las pérdidas de
circulación en la formación toba tala en el
campo geotérmico de la Primavera, Jalisco.

T E S I S

Que para obtener el Título de
INGENIERO PETROLERO
p r e s e n t a

JOSE ARTURO ROSAS MARQUEZ

Director de Tesis:
QUIM. ROSA DE JESUS HERNANDEZ A.

México, D. F.

1992



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

	PAG
<i>Introduccion.</i>	1
<i>Generalidades.</i>	2

CAPITULO I

<i>Causas que originan la pérdida de circulación</i>	5
1.1 <i>Presiones excesivas en el agujero</i>	6
1.2 <i>Formación no consolidada</i>	14
1.3 <i>Fracturas naturales</i>	16

CAPITULO II

<i>Problemas colaterales que provoca la pérdida de circulación</i>	19
2.1 <i>Atrapamientos de herramientas de trabajo</i>	20
2.2 <i>Operaciones de obturación con mayor frecuencia.</i>	22

2.3	<i>Pescados</i>	24
2.4	<i>Diámetros inadecuados de tuberías de revestimiento.</i>	25
2.5	<i>Cementación de ademes defectuosos</i>	26
2.6	<i>Abandono de pozos</i>	28

CAPITULO III

	<i>Métodos de detección de las zonas de pérdida de circulación.</i>	30
--	---	----

3.1	<i>Detección de las zonas de pérdida de circulación.</i>	31
3.2	<i>Registro de temperatura.</i>	31
3.3	<i>Molinete hidráulico.</i>	32
3.4	<i>Registro de alambre caliente.</i>	32
3.5	<i>Llenado de pozo.</i>	33
3.6	<i>Cambio brusco de la velocidad de perforación</i>	34
3.7	<i>Correlación de fracturas.</i>	34
3.8	<i>Método de ensaye y error.</i>	35

CAPITULO IV

	<i>Técnicas y métodos de laboratorio empleados para el control de las pérdidas de circulación</i>	37
--	---	----

4.1 Técnicas.	39
4.2 Método complementario de laboratorio.	70
Conclusiones	78
Recomendaciones	80
Bibliografía	82

INTRODUCCION.

Una pérdida de circulación está definida como la pérdida de una parte o todo el volúmen del fluido de perforación cuando se está perforando en formaciones como la Toba Tala, la cual se caracteriza por fracturas naturales e inducidas y no consolidada; se presenta la pérdida de circulación en forma paulatina, incrementándose a medida que se avanza en la perforación dentro de la zona, o bien se presenta la pérdida total en forma repentina, originándose frecuentes cambios en los programas de lodos de perforación y en la profundidad de asentamiento de los ademes (20 y 13 3/8 pulg. de diámetro).

Este problema es uno de los más graves que se presentan en la perforación de pozos de vapor en el campo geotérmico La Primavera, originando considerables retrasos en los trabajos desarrollados e incrementando el costo por tiempo de equipo y materiales químicos utilizados; tan severas han sido las pérdidas de circulación, que el costo para obturarlas representa el 50 % o más del costo total del pozo y en ocasiones han provocado la pérdida del mismo.

El presente trabajo muestra un compendio de las técnicas y materiales que se aplican para prevenir y controlar las pérdidas de circulación, proporcionando datos reales con el fin de visualizar de una manera mejor su aplicación en la perforación geotérmica.

GENERALIDADES

El desarrollo mundial de la geotermia, se inició en la década de los cuarentas, en aquellos países que en alguna medida están localizados en la vecindad de las zonas de debilidad cortical terrestre y con transferencia de calor bastante productiva para tal fin, como por ejemplo: Italia, México, Estados Unidos, Japón, Nueva Zelanda, URSS, Indonesia, Filipinas, Turquía, Guatemala, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica, Panamá y Chile. En algunos de ellos los resultados han satisfactorios, justificando plenamente las inversiones sin embargo se considera que el desarrollo geotérmico hasta la fecha es moderado. Actualmente se han generado 4,762 Mw. con 186 unidades a nivel mundial, siendo 17 países los que utilizan la energía geotérmica para la generación de electricidad (Fig. I.1).

En México, la geotermia ha tenido su desarrollo desde 1959 en Pathé, Hgo., donde fué instalada la primera planta geotermoeléctrica de América con una capacidad de 600 Kw., siendo abandonada por insuficiente potencial geotérmico.

Sin embargo, al mismo tiempo se continuaron los estudios geológicos y geofísicos que generaron los campos geotérmicos como el de Cerro Prieto, Azufres, Humeros y La Primavera.

El campo geotérmico de Cerro Prieto se localiza sobre la planicie del valle de Mexicali, Estado de Baja California.

La perforación en este campo se inició a principios de los

**CAPACIDAD INSTALADA CON GEOTERMIA
(1985)**

PAIS	NUMERO DE UNIDADES	CAPACIDAD INSTALADA
ESTADOS UNIDOS	56	2 022 MW
FILIPINAS	21	894 "
MEXICO	14	665 "
ITALIA	43	519 "
JAPON	9	215 "
NUEVA ZELANDA	10	167 "
EL SALVADOR	3	95 "
KENYA	3	45 "
ISLANDIA	5	39 "
NICARAGUA	1	35 "
INDONESIA	3	32 "
TURQUIA	2	20 "
CHINA	12	14 "
UNION SOVIETICA	1	11 "
FRANCIA (ISLAS GUADALUPE)	1	4 "
PORTUGAL (ISLAS AZORES)	1	3 "
GRECIA (MILOS)	1	2 "
	<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> 186	<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> 4782 MW

FIG. I-1.- CAPACIDAD INSTALADA A NIVEL MUNDIAL.

sesentas y para 1964 se había definido un yacimiento de aguas geotérmicas en rocas ígneas y sedimentarias a una profundidad de 2,700 a 3,000 m.

Hasta la fecha se han perforado 171 pozos, que se encuentran conectados a las plantas generadoras produciendo 620 Mw y se estima que su potencial puede llegar hasta 850 Mw. El campo Geotérmico de Azufres se localiza a 200 Km al NW de la Ciudad de México en el Edo. de Michoacán, en este campo en el año de 1975 se iniciaron los trabajos de exploración y hasta la fecha se han perforado 58 pozos confirmandose un yacimiento de líquido dominante en rocas volcánicas, con alguno domos de vapor. En agosto de 1982 se instalaron 6 unidades de 5 Mw cada una a boca de pozo con las que se inició la producción de 25 a 30 Mw y actualmente está en operación la planta de 50 Mw desde marzo de 1989 con el 60 % de su capacidad operativa.

El campo de Humeros se localiza en la caldera volcánica situada en la porción oriental del Eje Neovolcánico Mexicano, próximo a la Ciudad de Perote, Ver.. La exploración en este campo se inició en 1972 y a la fecha se han perforado 22 pozos exploratorios confirmando a corto plazo la instalación de 4 unidades de 5 Mw cada una a boca de pozo.

El cuarto campo geotérmico descubierto es el de La Primavera en el Estado de Jalisco, localizado a 30 Km al oeste de la Ciudad de Guadalajara (Fig. I.2) en la sierra denominada la Primavera; de ahí el nombre del campo. Este campo geotérmico se encuentra formado por una estructura de tipo caldera en

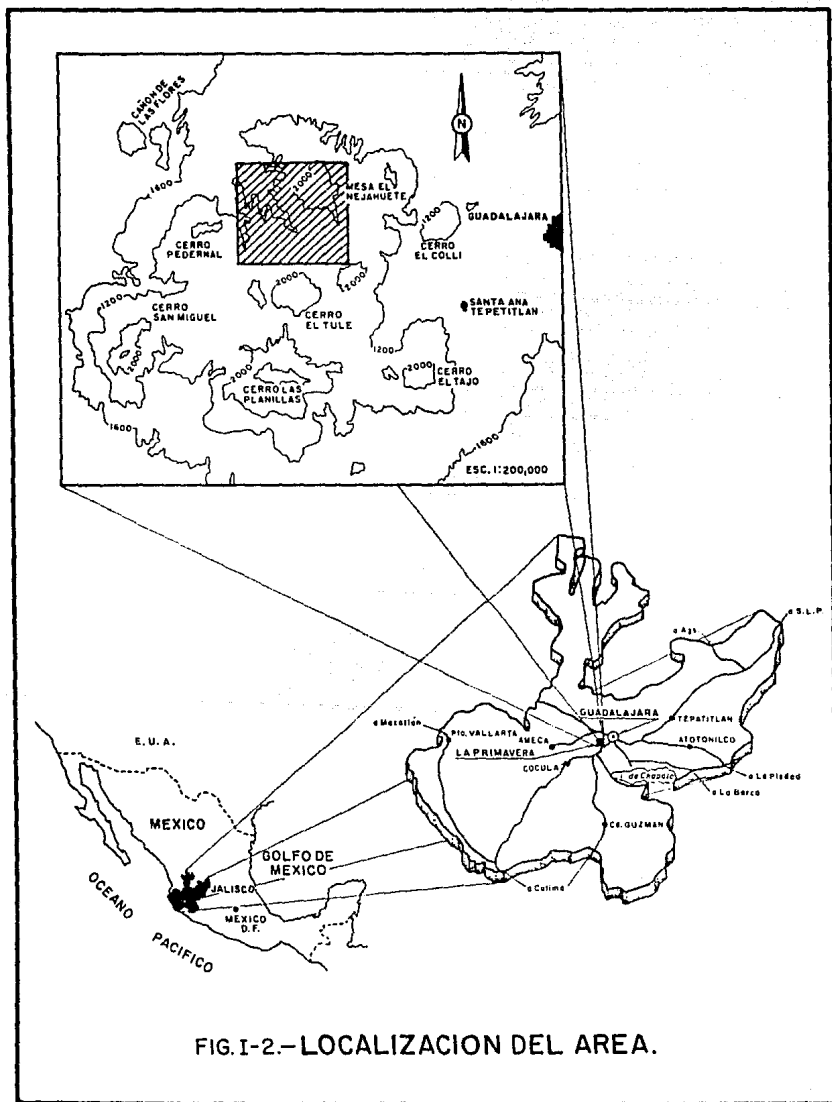


FIG. I-2.-LOCALIZACION DEL AREA.

cuyo subsuelo se dedujo la existencia de una importante anomalía térmica, según estudios de geología y geofísica realizados y actualmente se han perforado 11 pozos

exploratorios y 1 pozo inyector los cuales no se han conectado a los turbogeneradores por encontrarse el campo cerrado por aspectos ecológicos.

C A P I T U L O I

CAUSAS QUE ORIGINAN LAS PERDIDAS DE CIRCULACION

La causa principal que da lugar a las pérdidas de circulación en la formación de Toba Tala es el alto grado de fracturamiento y la característica vugular, y se define como roca piroclástica cuyos componentes son a base de cristales de cuarzo y feldespato alcalino (sanidino y albita), en una matriz vitrificada con fragmentos de rocas secundarias.

Los espesores son de 20 a 800 m detectados en la perforación, disminuyendo hacia la zona sur del campo Primavera; este comportamiento se observa en los taludes del lecho del arroyo El Caracol donde se tiene que las fracturas afloran con una separación de pared a pared de 0.50 m (Figs. I.3 y I.4).

Otras de las causas que originan las pérdidas de circulación en Toba Tala, son las inducidas que son provocadas por: presiones excesivas en el agujero y asentamiento de la tubería de revestimiento (20 y 13 3/8 pulgadas de diámetro) a profundidades inadecuadas.

PRESIONES EXCESIVAS EN EL AGUJERO.

Las presiones excesivas en el fondo del agujero provienen principalmente por la presión hidrostática, la cual es la suficiente para fracturar la formación Toba Tala, esta aunada a otras causas que también intervienen como son:

1. Alta gelatinosidad del lodo.
2. Acumulación de recortes en el agujero.
3. Velocidad de circulación alta.



FIG. I. 4

FOTOGRAFIA No. 3.

FRACTURAMIENTO DE LA TOBA TALA
EN EL LECHO DEL ARROYO RIO CALIENTE
AL NW DE LA ZONA DONDE SE PERFORA Y
A 7 KM. DE DISTANCIA APROXIMADAMENTE.
AGUAS ABAJO.

FOTOGRAFIA No. 2.

FRACTURAMIENTO DE LA TOBA TALA
EN EL LECHO DEL ARROYO RIO CALIENTE
200 M. APROXIMADAMENTE DE
DESNIVEL ENTRE LA ZONA DONDE SE
PERFORA Y ESTE SITIO.

FIG. I. 3



4. Sacar o Introducir rápidamente la tubería de perforación u otras herramientas
5. Alta densidad del fluido de perforación.
6. Alta viscosidad del fluido de perforación.

ALTA GELATINOSIDAD DEL LODO. -

La resistencia del gel se usa para definir la gelatinosidad del lodo que ha sido dejado en reposo por un periodo de tiempo. La función de la gelatinosidad es evitar que los recortes se asienten en el fondo del pozo cuando por alguna razón se detienen la perforación y la circulación del fluido de perforación, manteniéndolas en suspensión. Al aumentar la gelatinosidad se corre el riesgo de fracturar la formación por pistoneo al bajar la tubería de perforación o por el aumento de la presión de bombeo en el intento de romper circulación; este parámetro se suma a la presión ejercida por la columna hidrostática del fluido de perforación. También se ocasionan derrumbes de las paredes del pozo al sacar la sarta de perforación por efectos de succión.

ACUMULACION DE RECORTES EN EL AGUJERO. -

Una de las funciones más importantes de los fluidos de perforación es la de llevar los recortes del fondo del agujero hasta la superficie. El fluido al salir a través de las toberas de la barrena ejerce una acción de chorro que mantiene limpios de recortes el fondo del agujero y los

dientes de la barrena ,en tanto que la circulación del fluido eleva a los recortes desde el fondo hasta la superficie.

Por efecto de la gravedad, los recortes tienden a sumergirse (velocidad de asentamiento de los recortes) a través del fluido ascendente; sin embargo, la circulación de un volumen suficiente de fluido con las propiedades reológicas adecuadas para vencer esta fuerza, llevará los recortes a la superficie.

Cuando la limpieza del agujero no es suficiente debido a que el fluido de perforación no tiene las características reológicas y velocidad anular apropiadas, ocasiona mayores caídas de presión en el sistema circulatorio, alcanzando presiones de bombeo altas e incrementándose la presión sobre la pared del pozo (densidad equivalente de circulación); provocando con esto la ruptura de la formación, lo cual resulta en una pérdida de circulación.

En la formación Toba Tala la acumulación de los recortes ocurre mayormente por la falta de compactación, trayendo consigo caídos de formación de tamaño grandes por la vibración de la sarta al estar perforando y al haber un acumulamiento de material en el espacio anular, se incrementa la presión de bombeo resultando en fracturas de la formación que provocan la pérdida de fluido.

VELOCIDAD DE CIRCULACION ALTA

Durante la perforación la velocidad del fluido de circulación nos ayuda a levantar los recortes del fondo del agujero y así poder limpiar el mismo, por lo que al trabajar con un gasto alto tendremos mayores pérdidas por fricción incrementándose considerablemente la densidad equivalente de circulación, generando con ello la inducción de fracturas sobre la formación.

Este problema se ha presentado con frecuencia, al estar trabajando en diámetros de agujero de 17 1/2 y 26 pulgadas de diámetro, por requerirse mayor velocidad de circulación en el espacio anular para poder levantar los recortes hacia la superficie, provocando con esto el rompimiento de la formación y la presencia de pérdidas de volumen considerables.

SACAR O INTRODUCIR RAPIDAMENTE LA TUBERIA DE PERFORACION U OTRAS HERRAMIENTAS. -

Debido a la tixotropía del lodo y a su casi nulo coeficiente de compresibilidad, cada vez que se introduce una lingada se incrementa la presión ejercida por la columna del fluido de perforación contra las paredes del pozo; el incremento es mayor a medida que aumenta la velocidad con que sea bajada la tubería y herramienta (efecto de pistón), también aumenta en función de la profundidad del pozo o con la reducción del

diámetro del agujero.

Todos estos efectos sumados a la presión hidrostática causan las fracturas inducidas perdiéndose el fluido de perforación, presentándose la pérdida en forma total ó parcial según la severidad del caso.

ALTA DENSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACION. -

Cuando el valor de la densidad es muy alto, la presión hidrostática del fluido de control sobre la formación provoca la fractura inducida perdiéndose la circulación parcial o total, con el peligro de un reventón por la baja presión hidrostática al perderse el lodo, así como el derrumbe de la pared del pozo.

En Toba Tala se trabaja con densidades del fluido de perforación del orden de 1.05 a 1.15 gr/c.c. con el fin de evitar el inducir fracturas en la zona. Teóricamente el lodo debe tener una densidad como la del agua para alcanzar velocidades de penetración óptimas y evitar las pérdidas de circulación; sin embargo, en la realidad este parámetro se incrementa por la contaminación con cemento al estar rebajando los tapones del mismo con el objeto de obturar las zonas de fracturas en la Toba Tala.

ALTA VISCOSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACION. -

La viscosidad se define como la medida de la resistencia interna de los líquidos o de los gases al flujo. La viscosidad puede expresarse en medidas relativas o absolutas; las relativas son la viscosidad del embudo marsh o viscosidad aparente, las absolutas son valores de las características no Newtonianas como la viscosidad plástica, el punto de cedencia y esfuerzo cortante.

La viscosidad de los lodos disminuye al aumentar la temperatura; un aumento en la presión produce un incremento en la viscosidad, aunque este efecto es más notable a presiones altas; para operar en forma efectiva, el fluido de perforación debe tener suficiente viscosidad efectiva en el espacio anular para mantener el agujero limpio, debe tener baja viscosidad efectiva para separar los recortes del lodo en la superficie, y tener suficiente gelatinosidad para mantener los recortes en suspensión cuando el fluido no esté en movimiento.

El efecto de la viscosidad en Toba Tala generalmente ocurre con la temperatura existente en ella (150 oC)(Fig.I.5), repercutiendo sobre la velocidad de perforación de la siguiente manera:

1. Al aumentar la viscosidad disminuye la eficiencia hidráulica de las bombas de lodo.
2. Al aumentar la viscosidad se incrementan las pérdidas

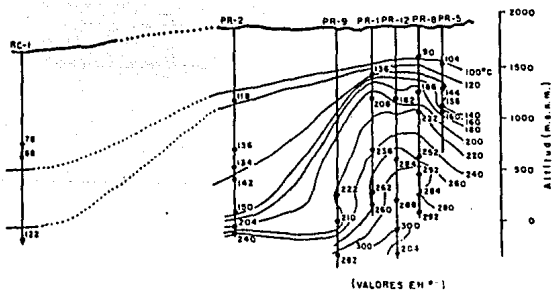
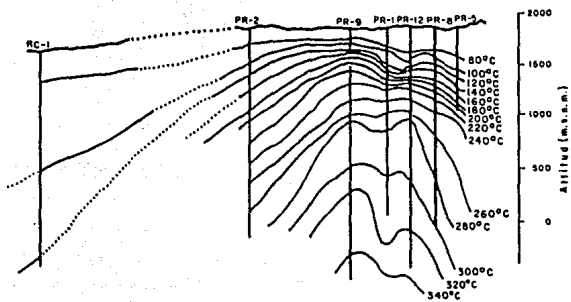


FIG.1.5 - PERFIL DE TEMPERATURA EN SECCION TRANSVERSAL.

de presión por fricción en el sistema circulatorio, lo que redundaría en una inadecuada limpieza del fondo del agujero.

3. La alta viscosidad proporciona un colchón viscoso que disminuye la fuerza de impacto de los dientes de la barrena sobre la formación.

Todo lo anterior trae como consecuencia un aumento en la presión sobre la formación expuesta, la cual se fractura causando la pérdida de circulación.

ASENTAMIENTO DE LA TUBERIA DE REVESTIMIENTO A PROFUNDIDAD INADECUADA.

Las tuberías de revestimiento para pozo geotérmico las podemos clasificar, de acuerdo a su colocación, como:

Tubería Conductora.- De 20 pulgadas de diámetro, su función es conducir el lodo de perforación a las presas de asentamiento y succión, estableciendo un sistema circulatorio que transporte los recortes de la formación hacia la superficie.

Tubería Superficial.- De 13 3/8 pulgadas de diámetro. Sirve de base para los primeros preventores y de anclaje mediante cuñas colgadoras a las subsecuentes tuberías de revestimiento que se utilizan en el pozo; aislar el primero y segundo paquete de la formación Toba Tala y acuíferos

superficiales.

Tubería Intermedia.- De 9 5/8 pulgadas de diámetro. Sus funciones son las de aislar zonas fracturadas, aportación de fluidos de baja temperatura (menores a los 250 °C), permitir elevar la densidad del fluido de control, en caso de problemas; conducir los fluidos de alta temperatura (300 °C ó más) hacia la superficie con seguridad.

Tubería de Explotación.- De 7 pulgadas de diámetro. Se ancla en el interior de la tubería de 9 5/8 pulgadas de diámetro mediante colgadores de cuña invertida, por lo regular 60 m arriba de la zapata de esta última tubería, y de ahí hasta el fondo del pozo. Permitiendo el paso libre de los fluidos de alta temperatura hacia la superficie, aislar las paredes del agujero y evitar el paso de los recortes o rocas de tamaño irregular a través del ranurado de la tubería (1/8 x 2 pulgadas), permitiendo así únicamente el flujo libre de vapor sin ningún problema por dentro del pozo.

El intervalo donde se tiene un cambio gradual de presión es llamado zona de transición. Si la tubería de revestimiento no cubre esta zona es seguro que se presenten las pérdidas de circulación al salir de la zapata, siendo este el caso que se presenta muy comúnmente en la Toba Tala al estar trabajando a lo largo de esta formación mediante el taponamiento de cemento ya que al rebajar éstos, se van dejando dientes de sierra en las paredes del pozo los que

ocasionan en la mayoría de los casos que no bajen las tuberías a las profundidades programadas. Por lo regular la tubería de 20 pulgadas de diámetro se cementa a los 100 m y la de 13 3/8 a los 300 m.

El que no bajen las primeras dos tuberías a la profundidad programada, con el fin de aislar la Toba Tala, ha ocasionado problemas de pérdidas de circulación durante los trabajos en agujeros de 12 1/4 pulgadas de diámetro, repercutiendo en cementaciones defectuosas del ademe de 9 5/8., por no obturarse perfectamente la zona altamente fracturable.

Las causas naturales que originan las pérdidas de circulación en Toba Tala, se presentan por tener una formación no consolidada y una formación con fracturas naturales.

FORMACION NO CONSOLIDADA

Por ser una formación no consolidada la Toba Tala sufre constantemente problemas de caídos de formación sobre la barrena, provocando con esto acumulamiento de recortes en el espacio anular y aumentando la presión de circulación del fluido al estar trabajando en esta zona, causando la inducción de fracturas en la misma formación y presentándose en consecuencia inmediatamente las pérdidas de circulación que por lo común son totales al ocurrir este tipo de problemas. Las alternativas que se han empleado para

atravesar esta zona (20 a los 300 m) han sido mediante la aplicación de la perforación a fondo perdido (no hay retorno del fluido de perforación a la superficie) y el uso de fluidos con valores de densidad al mínimo posible. Estas alternativas han permitido abatir los tiempos de construcción de los pozos en este intervalo, ya que se tenía una duración en los trabajos de 4 meses y la reducción se efectuó a 20 días como máximo.

También se ha trabajado con aire y espuma como fluidos de circulación, teniendo buenos resultados de penetración en los avances pero en cuanto apareció la invasión de agua se abandonó ésta técnica por observarse el crecimiento de la columna de agua, incrementando el volumen del espumante hasta el triple del usado normalmente, llegó el momento que el compresor ya no pudo desalojar la columna de agua teniendo que suspender la perforación mediante esta técnica.

Debido a lo deleznable de la formación, la espuma al ser aplicada durante la perforación en la Toba Tala, provoca ablandamientos generando derrumbes en las paredes del agujero. Como ejemplo se tiene el caso del pozo PR-4 en el que se utilizó el aire en combinación con espuma, lo que provocó una inducción de fracturas en la formación y creo una mayor comunicación entre ellas, lo que trajo como resultado problemas al momento de obturar esta zona sin lograr el éxito adecuado ya que se tuvo que abandonar este pozo por haber intentado pasar esta zona y no poder avanzar más allá de los

668 m, de profundidad alcanzada hasta el momento del abandono (Fig.I.6).

FRACTURAS NATURALES.

Debido a la génesis y diagénesis de la roca se encuentran en Toba Tala fracturas naturales intercomunicadas que al estar trabajando en esta zona basta únicamente la acción de la presión hidrostática del fluido de circulación para que ocurra el fracturamiento en su interior; presentándose inmediatamente la pérdida parcial y al continuar perforando quedan expuestas un mayor número de fracturas por lo tanto la pérdida llega a ser total (Fig. I.7).

El fluido de perforación penetra estas fracturas permitiendo que la presión actúe en direcciones perpendiculares a sus planos, aumentándolas de tamaño.

Aún cuando se ha mantenido al mínimo posible la densidad del lodo, para evitar crear presiones de surgencia con el fin de prevenir las pérdidas de circulación en las fracturas naturales, éstas han ocurrido y para tratar de remediarlas se han utilizado obturantes del tipo granular, con el fin de sellarlas momentáneamente tratando de saturar éstas junto con el recorte de la formación y así poder descubrir un mayor intervalo problemático mediante la técnica de perforación a fondo perdido y lograr la obturación con tapones de cemento.

POZO PRIMAVERA No. 4.

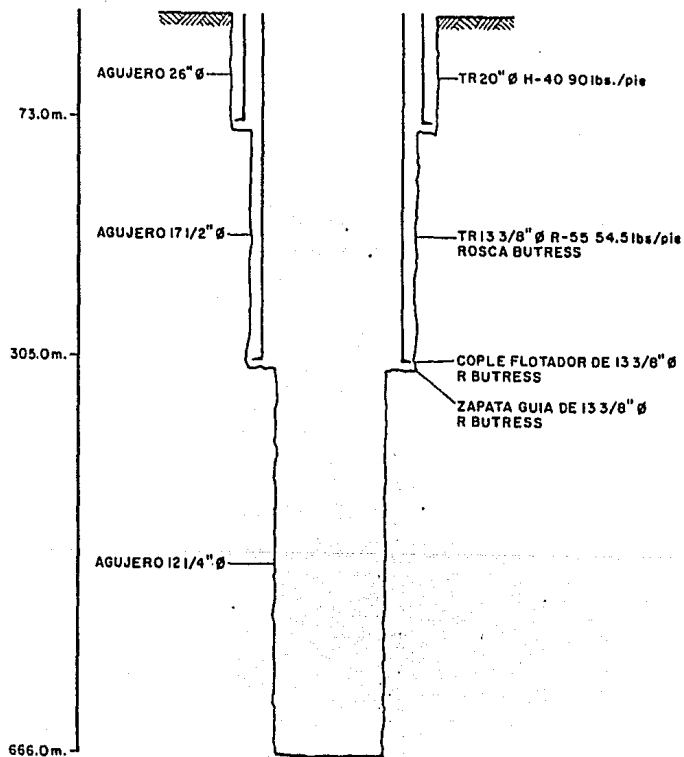


FIG. I-6 - ESTADO MECANICO DEL POZO PR-4.

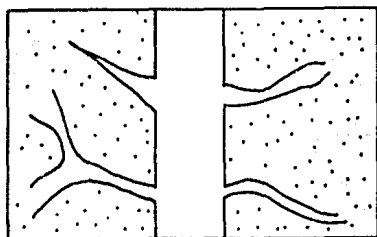


FIG. I. 7
FRACTURAS NATURALES

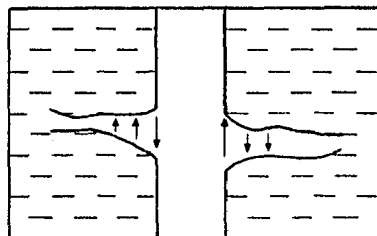


FIG. I. 7
FORMACIONES FACILMENTE FRACTURABLES

Se han observado casos en donde la mayor cantidad de lodo perdido regresa después de suspender el bombeo; tales retornos de flujo pueden conducir a una mala interpretación de este comportamiento, debido a que son característica de un brote, y si no se está preparado para controlarlo éste puede generar en un problema todavía mayor.

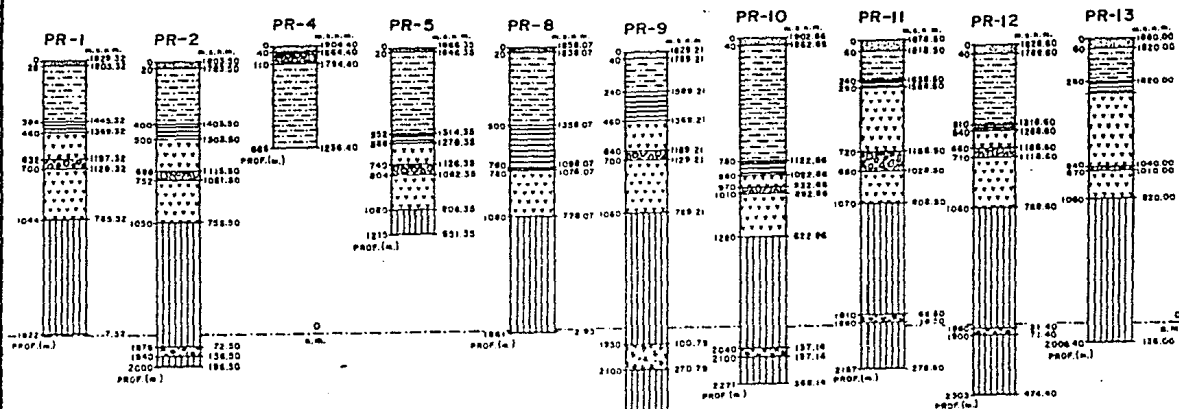
En sí, Toba Tala está compuesta por tres unidades de pómez a lo largo de 20 a 800 m. La primera unidad se muestra como un flujo grueso intra-caldera rodeado de flujos laminares aflorando en los escarpes de la falla denominada geologicamente como Río Caliente; la segunda unidad se caracteriza por ser una pómez más fina con fenocristales aislados de cuarzo y sanidino variando de un color oscuro a blanco; por último, la tercera se caracteriza por fragmentos de cuarzo y sanidino en forma dispersa.

Los mayores problemas en la perforación de la Toba Tala se presentan en la primera unidad de la misma cuyo espesor aproximado es de 400 m, aún cuando para el caso del pozo PR-9, se tuvo una disminución de hasta 200 m.

Al observar la situación litológica de los pozos Primavera 1,2,4,5,8,10, en ellos se puede apreciar que el paquete de la Toba Tala fue de mayor espesor, variando de 300 hasta los 780 m; por consiguiente en estos pozos cabe mencionar que se presentaron más problemas para poder obturarlos con cemento, reflejandose en costo y tiempo de terminación.

El intervalo de la Toba Tala fué menor para los pozos Primavera 9,11,13 y 7, teniendo un tiempo de avance mucho más rápido en su construcción por lo reducido del paquete y más aún por haber logrado asimilar las experiencias de los anteriores pozos y se vió que funcionaron mejor las técnicas de obturación y de perforación las cuales se mencionan en el capítulo IV de este trabajo.

No podemos hablar de una presión de fracturamiento en la Toba Tala debido a su composición de la misma ya que no permite normar un criterio que defina dicha presión a medida que se va avanzando en el agujero, sino que este fracturamiento ocurre por igual a todo lo largo de la Toba desde los 20 m hasta los 800 m del paquete, que se presenta más potente en la zona norte del campo Primavera, donde están localizados los pozos PR-4,PR-10,PR-12,PR-5 y disminuyendo hacia la parte sur, como se comprobó en los pozos PR-11,PR-7,PR-1 y PR-2 (Fig. I.8) durante la perforación.



EXPLICACION



0 — NIVEL DEL MAR
 m.s.n.m.
 m.s.n.m. METROS SOBRE EL
 NIVEL DEL MAR



FIG. I. 8 - SITUACION LITOLÓGICA DEL CAMPO.

C A P I T U L O I I

PROBLEMAS COLATERALES QUE PROVOCAN LAS PERDIDAS DE CIRCULACION

Las pérdidas de circulación provocan problemas colaterales al ocurrir estas cuando se está perforando en la formación Toba Tala, y se reflejan en los trabajos posteriores al control, obturación y aseguramiento de la zona altamente permeable y en ocasiones provocan el abandono de los pozos por no lograr controlar la fuga de fluidos en la perforación.

Por lo consiguiente este tipo de problemas van de la mano con las pérdidas de circulación en Toba Tala y se describen como siguen:

1. Atrapamientos de herramientas de trabajo
2. Riesgos altos de pegadura de Tuberías de Perforación con cemento.
3. Operaciones de Obturación con mayor frecuencia.
4. Agujeros desviados
5. Pescados
6. Diámetros inadecuados de Tuberías de Revestimiento
7. Cementación de ademes defectuosos
8. Abandono de pozos

ATRAPAMIENTOS DE HERRAMIENTAS DE TRABAJO

Es muy frecuente que cuando ocurre el no retorno a la superficie del fluido de perforación, ocurrirá que los recortes que se están cortando, éstos caen sobre la barrena y herramientas quedando atrapada la misma al momento de ocurrir las pérdidas de circulación.

Este tipo de problemas se complica todavía más, si al ocurrir la pérdida de circulación se derrumban las paredes del agujero, que es lo que normalmente viene asociado a este problema; por ser Toba Tala totalmente deleznable.

Para poder recuperar la herramienta atrapada por el acumulamiento de material de la formación en el espacio anular; la operación se dificulta por existir una zona de permeabilidad alta, ya que cualquier fluido bombeado al pozo este se perderá en las fracturas de la formación, por ello el problema se ha solucionado mediante la aplicación de un fluido que ayude a remover la floculación del lodo (por la temperatura) en combinación con un dispersante y diesel; se bombea el bache de este fluido (8m cúbicos) y se balancea por dentro y por fuera de la tubería de perforación y se trabaja la sarta, hacia arriba y hacia abajo tratando de aflojar el acumulamiento de recortes y hacer trabajar el fluido despegador, para mediante tensión y resorteo se libere la tubería y si el problema es mayor se desconecta la tubería en un punto libre y se utiliza otra herramienta especializada denominada Martillo que junto con un pescante (over shot) nos permitirá conectarnos y a la vez se martillará la tubería y mediante la transmisión de la percusión se trata de que repercuta hasta la barrena para lograr liberarla.

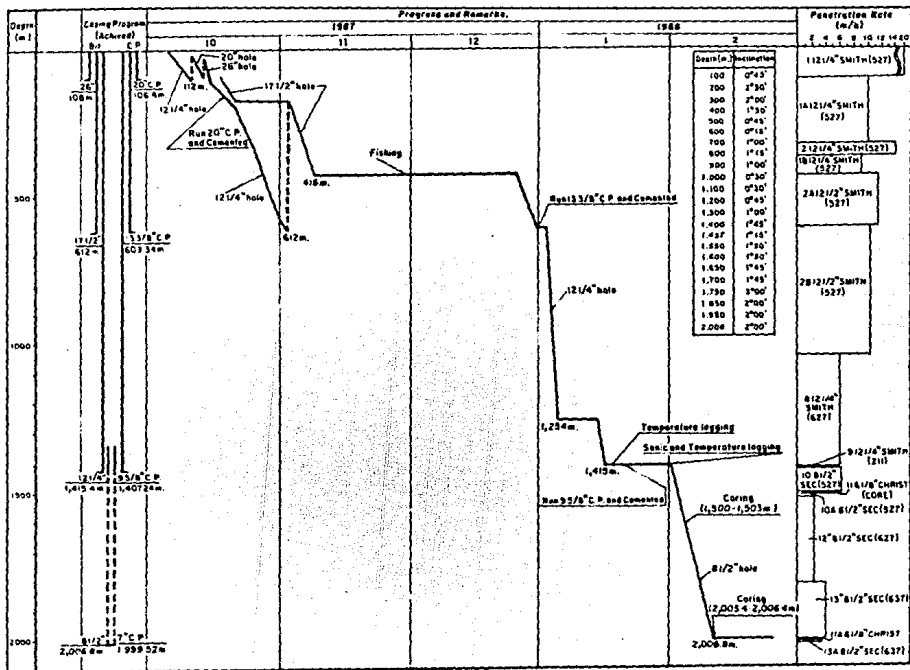
Este tipo de problemas se presenta con frecuencia en la Toba Tala al estar trabajando en esta zona y más si estamos aplicando la técnica de perforación a fondo perdido,

existiendo la posibilidad de un atrapamiento hasta del 50 % . Se ha logrado resolver mediante el cuidado de la torsión al momento de estar trabajando y bombeando baches de lodos viscosos y a la vez tratados con aditivos (cromolignitos) para contra restar el efecto de la temperatura existente(150 oC).

Dependiendo de la complicación de pegadura de herramientas, esta se ha solucionado muy rápido en ocasiones ocupando de 1 a 3 días, solo para el caso crítico se han ocupado hasta 30 días; como fué el caso del atrapamiento de un ampliador de 17 1/2 pulgadas de diámetro; ocurrido en el pozo PR-13 (Fig.II.1); aquí se tuvo que desconectar la tubería en el punto libre, se armó tubería lavadora y con ella se logró limpiar de recorte el espacio anular hasta los hombros de la barrena y con lodos tratados con cromolignito, se contrarresto el efecto de la temperatura existente en la zona de Toba Tala (Fig.II.2) y mediante el accionar del martillo y el pescante over shot se liberó y recuperó ésta con éxito aún cuando se empleo bastante tiempo para esto.

OPERACIONES DE OBTURACION CON MAYOR FRECUENCIA.

La formación Toba Tala representa un reto para el avance de los trabajos de perforación que se lleven a cabo, (Fig. II.3) obligando a operaciones de obturación con cemento (colocación de tapones) con demasiada frecuencia, debido a las pérdidas de circulación que se presentan y por esto se obliga a tratar



**FIG. II. 1.-HISTORIA DE LA PERFORACION DEL POZO
PRIMAVERA No. 13.**

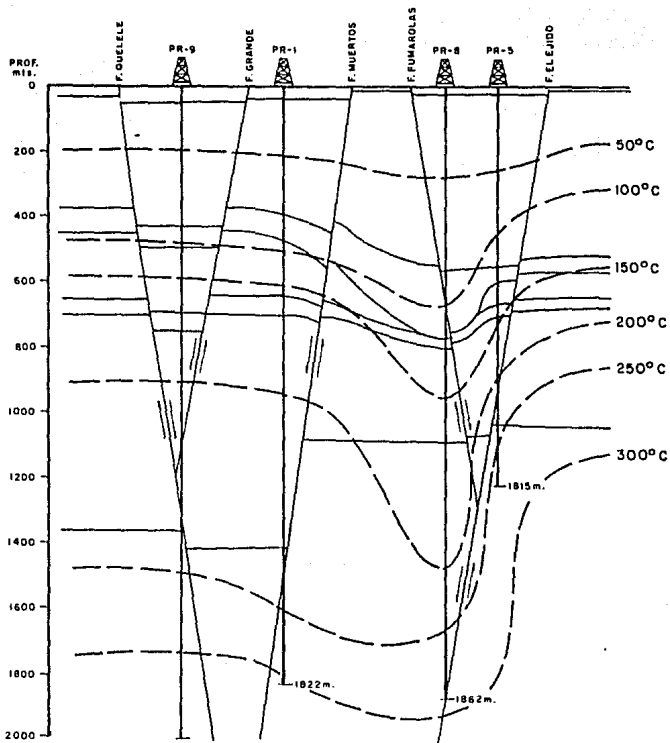


FIG. II-2.—PLANO DE ISOTERMAS DETERMINADAS DURANTE LA CONSTRUCCION DEL POZO PR-8.

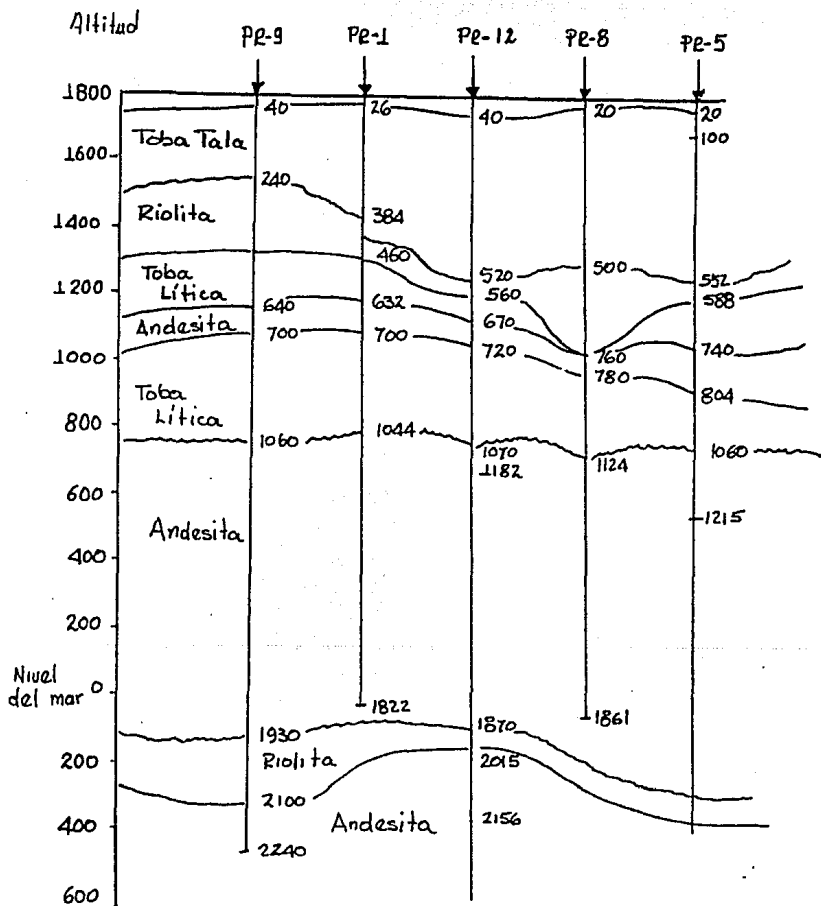


FIG. II-3.- LITOLOGIA DE POZOS PRODUCTORES

de asegurar toda la zona con cemento (20 a 800 m); con el fin de continuar perforando hasta la profundidad programada de los pozos geotérmicos en el campo La Primavera.

De esta frecuencia de operaciones se desprende como ejemplo la empleada en el pozo PR-8, consistiendo en la colocación de 120 tapones de cemento; para asegurar la zona deleznable y se empleo en tiempo de control de pérdidas de circulación, hasta un 50 % de la construcción total del pozo (9 meses).

Para llevar a cabo las operaciones de obturación con cemento; se hizo necesario contar con abastecimientos de material a boca de pozo muy altos, por el número de operaciones que se realizaron a diario. Se colocaban de 3 a 2 tapones de cemento al día conllevando por lo consiguiente a preparar el lodo en las presas del equipo en cada pérdida total, para lograr trabajar durante el desplazamiento de los tapones y su rebajado así como el llenado del pozo para continuar la perforación.

Además del cemento se requiere de suficiente bentonita y aditivos químicos para la preparación de los fluidos de perforación. Como ejemplo del consumo alto podemos citar la Tabla adjunta (Fig II.4); en ella se muestran los consumos del pozo PR-13 que en si fué uno de los pozos que más rápidamente se perforó y menos consumo de material se utilizó a pesar del problema del pescado que se presento en los primeros 100 m y él mismo se recuperó al 100%.

Por tal motivo los trabajos de taponamiento se modificaron hasta llegar a ser más funcionales, aplicando cementos de fraguado rápido empleando para esto cloruro de calcio, yeso y sal, con la finalidad de que fraguará el cemento al entrar en contacto con las fracturas en su interior, sirviendo como frente para parar la fuga de los fluidos a través de ellas y para el caso crítico se conjugo la técnica de perforación a fondo perdido, para posteriormente obturar las zonas deleznales, una vez descubierta una mayor longitud de las fracturas.

PESCADOS.

Cuando se está perforando en zonas como la Toba Tala, ésta es altamente porosa y permeable y poco compacta, trae consigo problemas en cuanto a la desconexión de alguna tubería o herramienta, degollamiento de alguna conexión en la sarta de perforación, por las condiciones bajo las cuales se esta trabajando con la técnica de fondo perdido, creando con ello problemas de pérdida de alguna herramienta e incluso la barrena misma al momento de estar perforando; denominándose a este tipo de problemas pescado. Es común este problema ya sea en agujero de 12 1/4 ó en ampliaciones de agujero de 17 1/2 ó 26 pulgadas de diámetro, debido a que las herramientas sufren un desgaste excesivo en el área de contacto con las paredes del agujero por ser Toba Tala muy abrasiva.

La pérdida de herramientas (pescados) han generado tiempos de

espera de equipo de perforación considerables, como fué el caso de pescados ocurridos en los pozos PR-8, PR-10, PR-13; en el primero se tuvo un pescado de tubería cementada durante la colocación de un tapón de cemento, lo mismo sucedió para el segundo pozo citado y para el tercero se perdió un ampliador de 17 1/2 durante la ampliación de agujero en este diámetro, aún cuando se recuperaron al 100% estos pescados, se llevo el resolverlos hasta un mes cada uno de ellos.

Por lo tanto cada uno de los aspectos que intervienen en el control de las pérdidas de circulación, deberán ser considerados por los ingenieros de campo y los técnicos de fluidos de perforación, para evitar que ocurran problemas de pérdida de herramientas y se tenga que retrasar aún más los programas de perforación (Fig. II.5)

DIAMETROS INADECUADOS DE TUBERIAS DE REVESTIMIENTO.

Por las pérdidas de circulación ocurridas a lo largo de la Toba Tala (0 a 800 m), es necesario revizar los programas de tuberías de revestimiento establecidos para aislar este tipo de formación; como se mencionó en el punto de asentamiento de tuberías a profundidades inadecuadas, en el se citó los problemas que se tienen para poder aislar completamente la zona altamente permeable, por dejarse al descubierto un intervalo considerable que va de los 300 a los 800 m, después de cementada la tubería de 13 3/8 pulgadas de diámetro a los 300 m. Debido a ésta zona descubierta, se provocan los

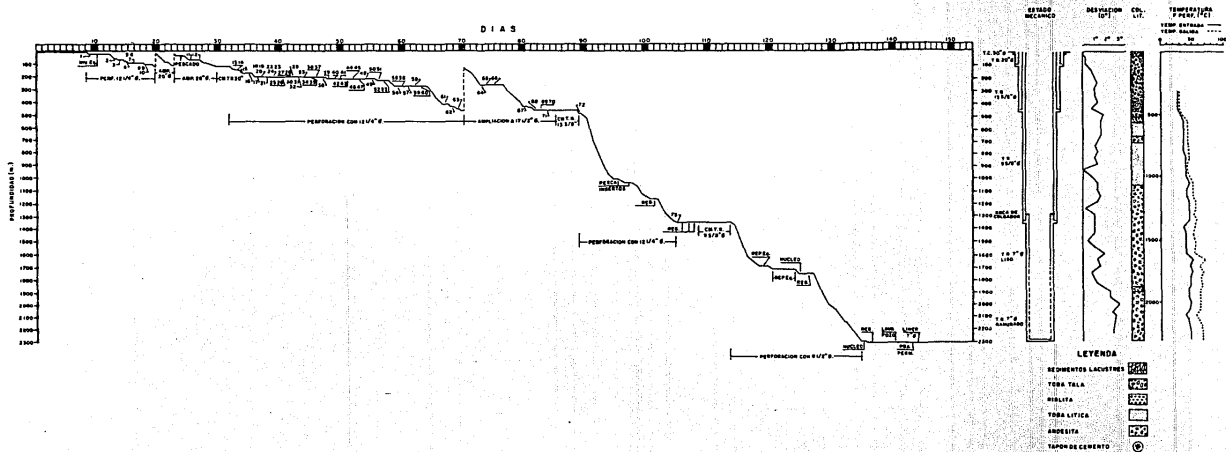


FIG.II-5.-GRAFICA DE PERFORABILIDAD DEL POZO PR-12.

abatimientos de nivel en cuanto a la cementación de la tubería de revestimiento intermedia de 9 5/8 pulgadas de diámetro, esta baja de nivel de cemento por el espacio anular ocasiona que haya anillos de agua entre un cemento y otro al ser recementado dicho espacio entre tuberías de revestimiento (9 5/8 y 13 3/8 pulgadas de diámetro); estos anillos al entrar en producción el pozo provocan expansiones térmicas, que generan en problemas de colapsos en los ademes de acero e incluso disminuyen la vida útil del pozo por tener que repararse completamente estos colapsos, teniendo que aplicar las técnicas de reparación mayor para estos casos, como sería el de cementar otra tubería de revestimiento de diámetro menor (4 1/2 pulgadas de diámetro), dentro de la tubería de 7 pulgadas de diámetro obligando a producir en un diámetro mucho menor que incluso repercutiría en la producción de vapor. En sí deberá analizarse el cambio de diámetros de estas tuberías de revestimiento, para así poder aislar completamente la Toba Tala; por ejemplo se podría utilizar una tubería de revestimiento de 11 3/4 pulgadas de diámetro entre las tuberías de 13 3/8 y la de 9 5/8. U otra solución sería bajar una tubería entre la de 20 y la de 13 3/8 pulgadas de diámetro, para asegurar el revestimiento completo de la Toba en cuestión.

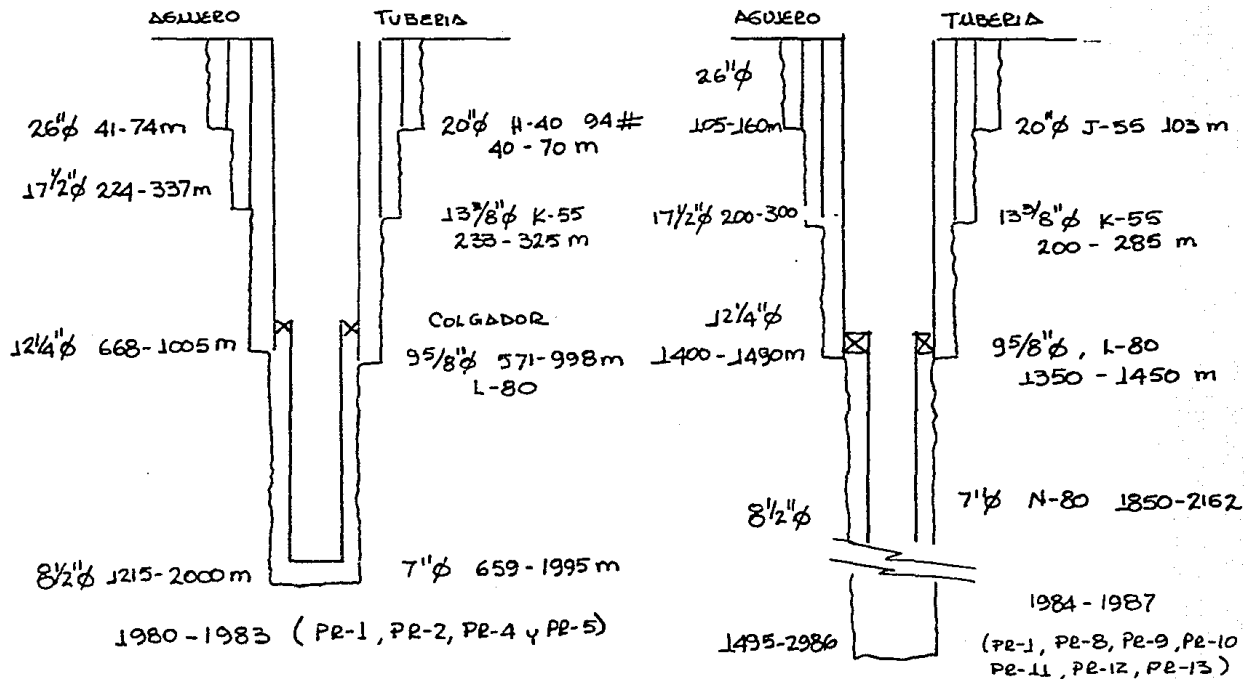
CEMENTACION DE ADEMES DEFECTUOSOS

La cementación de los ademes de 20 y 13 3/8 pulgadas de diámetro que se asientan en la formación Toba Tala, por lo

general tienen problemas de abatimiento de nivel de cemento, en el espacio anular durante la operación de cementación de las tuberías de revestimiento programadas en esta Toba.

La canalización de las cementaciones de los ademes en la Toba Tala trae como consecuencia el peligro de un pozo mal terminado, reduciendo su vida útil y más aún pone en peligro el descontrol del pozo mismo al estar perforando y en ocasiones ocurre el abandono de este por no poderse controlar debido a la fuga de los fluidos por fuera del pozo. Si persistiera la canalización de los ademes de 20 y 13 3/8 pulgadas de diámetro, se corre el riesgo de que la siguiente tubería quede mal cementada, debido a la fuga de los fluidos en el espacio anular poniendo una bomba de tiempo en superficie con las temperaturas y presiones que se tienen cuando se esta entrando en las zonas de producción de fluidos de temperaturas del orden de 350 oC y presiones del orden de 1400 psi (Fig. II.6). Estos abatimientos de nivel en las cementaciones generan anillos de agua al termino de los fraguados del cemento y si a esto se le agrega una operación mala de recementación al cubrir este espacio vacío, lo único que se esta generando ahí es un atrapamiento de esta agua en el espacio entre tuberías de revestimiento, el cual al poner a producir el pozo entrará en expansión térmica, ocasionando con esto el colapso de las tuberías de acero, permitiendo un obstáculo al paso de los fluidos a través del interior del pozo hacia la superficie.

FIG. II. 6.- CEMENTACION DE ADEMES EN EL CAMPO PRIMAVERA



Es importante mencionar que las operaciones de obturación que se realicen en la formación de la Toba Tala, deberán de garantizar el sellado de la formación a todo lo largo de ésta para evitar los problemas descritos anteriormente.

Hasta el momento se ha logrado evitar este tipo de problemas efectuando las cementaciones de los ademes mediante dos operaciones de cementación; la primaria al momento de cementar y la secundaria al término de la operación, se trata de detectar el nivel del cemento por el espacio anular y al mismo tiempo se efectúa una operación de recementación por el espacio anular, a través de la salida de llenar por el cabezal con unidad de alta presión, hasta lograr saturar dicho espacio con cemento totalmente hasta que este aflora a la superficie.

ABANDONO DE POZOS

Dentro de los problemas del campo Primavera, hasta el momento hemos citado las causas y los problemas colaterales y en algunos de ellos se ha mencionado las soluciones que se han aplicado para resolver estos problemas. Por lo que con respecto al abandono de los pozos propiciados por los problemas de pérdidas de circulación, al no poderse parar la fuga de los fluidos através de las fracturas existentes, éstos se han tenido, como fué el caso del pozo Primavera número 4, el cuál no se pudo controlar con estos problemas y empeoró más con la aplicación de la perforación con aire y espuma para tratar de perforar el intervalo total de la Toba Tala.

FIG. II. 4 CONSUMO DE MATERIALES DEL POZO PRIMAVERA NO. 19

BENTONITA 50KG/SC	1039 SC	19984 SC	5345 SC	26368
LIGNITO 25	0 SC	44 SC	361 SC	405
SUPERCALTEX 25	0 SC	55 SC	375 SC	400
BICROMATO 50	0 SC	0 SC	29 SC	29
SOSA CAUSTICA	0 SC	20 KG	1300 KG	1320
BICARBONATO 40	19 SC	102 SC	84 SC	205
SELLO AUT. 10	0 SC	8 SC	0 SC	8
G. FINO 25	23 SC	58 SC	0 SC	81
G. MEDIO 25	38 SC	87 SC	204 SC	329
CEMENTO 50	1245 SC	5759 SC	1225 SC	8229
SiO2 40	50 SC	1560 SC	542 SC	2152
NaCl	23 SC	107 SC	17 SC	147
FREE WELL	0	755 LT	580 LT	1335
DIESEL	0	64 LT	71 LT	133

C A P I T U L O I I I

METODOS DE DETECCION DE LAS ZONAS DE PERDIDAS DE CIRCULACION

Cuando ocurre una pérdida de circulación en cualquier formación que se este perforando, se debe determinar la zona o intervalo en donde esta ocurriendo este tipo de problemas, -- por tal motivo se hace necesario definir con precisión esta zona, utilizando para tal efecto las diferentes herramientas de diagnóstico de que se dispone en el campo, tales como: Registros de temperatura, molinete hidráulico, registro de alambre caliente, llenado de pozo, quiebre de la velocidad de perforación, correlación de fracturas, ensaye y error.

REGISTRO DE TEMPERATURA.

El registro de temperatura a sido de gran ayuda en la detección de las fracturas y zonas permeables por donde se fugan los fluidos durante la perforación. Este registro se corre con tubería franca estacionada frente al punto en donde ocurrió la pérdida al momento de estar perforando, se corre con 6, 12, 18 y 24 horas de reposo el pozo, para detectar el comportamiento de deflexión, que sufrirá dicha curva al ser registrada la variación de temperatura existente en la formación. Cuando esta serie de registros no es tan representativa del problema, lo que procede en ese momento es el bombear al pozo, de 30 a 50 m cúbicos de lodo frío y se corre una segunda serie de registros de igual manera como el primer intento, con el fin de definir mejor la variación de temperatura existente en la zona problemática.

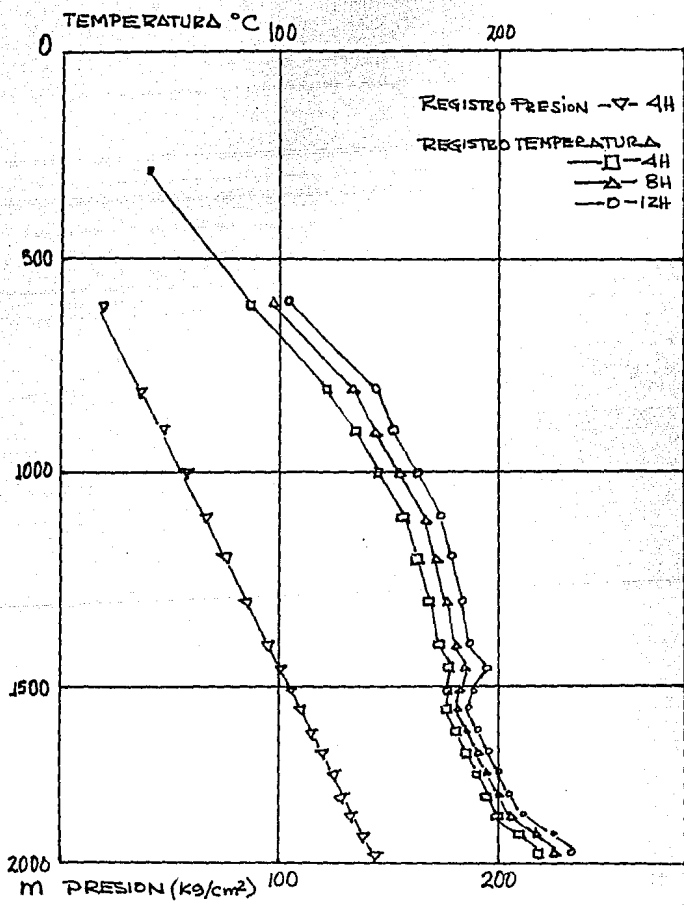


FIG. III-1 REGISTRO DE PRESION Y TEMPERATURA PR-13

MOLINETE HIDRAULICO.

Bajo ciertas condiciones, esta herramienta facilita la localización de las zonas de pérdida, pero se requiere que el fluido de perforación sea de baja densidad, viscosidad y además no contenga restos de material obturante que impida el libre funcionamiento de la hélice de la herramienta. Por lo general cuando se está trabajando con este elemento se bombean lodos con densidades de 1.05 gr/c.c y viscosidad de 30 a 40 segundos marsh.

El funcionamiento de la herramienta consiste en registrar en superficie una señal eléctrica que se genera en una bobina por efecto de la rotación de una hélice colocada en el elemento que se interna en el pozo. Para llevar a cabo el registro se bombea una buena cantidad de fluido a un gasto constante, por lo que al momento de la rotación de la hélice generará una señal eléctrica en la bobina que se transmitirá al equipo de superficie y quedará registrada. El número de señales eléctricas que se producen por unidad de tiempo será proporcional al gasto y se expresa en barriles o metros cúbicos por unidad de tiempo.

REGISTRO DE ALAMBRE CALIENTE.

Un registro que contiene un alambre cuya resistencia varía con la temperatura, es colocado en el agujero y la

resistencia es medida. El lodo es bombeado dentro del pozo, si la herramienta está abajo de la zona de pérdida la resistencia no cambia. Si la herramienta está arriba de la zona de pérdida, el alambre se enfría y la resistencia cambia. Un volumen grande de lodo puede ser bombeado para obtener una mejor determinación de la profundidad de la zona de pérdida por este método.

LLENADO DE POZO.

Este método se ha implementado en la práctica con el fin de reducir los tiempos de espera, durante el control de las pérdidas de circulación y nos ha permitido normar las operaciones de taponamiento con cemento en la fracturas de la Toba Tala, este método consiste; en checar el nivel del fluido dentro del pozo, al aparecer la pérdida de circulación se suspende la perforación y se saca la barrena a la superficie se elimina ésta y desde la mesa rotaria se arroja una bola de bentonita por dentro del pozo y se toma el tiempo de caída de la misma al chocar con el nivel del fluido, y mediante fórmulas de caída libre se determina la profundidad a la cual se encuentra el nivel del acuífero; detectado este, se decidía el comenzar la obturación con cemento del fondo de la perforación hasta el nivel; esto para el caso de las Tobas. En la mayoría de los casos, este nivel se logró detectar por abajo de la zapata del último ademe situado en la zona de la Toba Tala y en ocasiones cerca de 20 o 30m

aproximadamente del ademe hacia abajo tomando como referencia la zapata de la tubería de revestimiento más próxima.

CAMBIO BRUSCO DE LA VELOCIDAD DE PERFORACION.

A pesar de lo deleznable de la formación Toba Tala, esta tiene cierto comportamiento a un peso sobre barrena y velocidad de rotación y a un gasto mínimo de bombeo constante por lo que al momento de atravesar una zona de alto fracturamiento, inmediatamente las condiciones de perforación varían en cuanto a los tiempos de penetración y a medida que se empieza a perder el fluido a través de las fracturas, la torsión se empieza a reflejar en el torquímetro acusando un aumento de este esfuerzo por la caída de los recortes sobre la barrena y la herramienta. Aún cuando en ocasiones persiste la pérdida, se trata de seguir perforando con el fin de descubrir más la zona de fracturas, para obtener un óptimo en la obturación con cemento de estas zonas.

CORRELACION DE FRACTURAS.

La correlación de zonas problemáticas dentro de la zona de fracturas de la Toba Tala, nos ha permitido adecuar mejor este comportamiento al momento de ocurrir las pérdidas de circulación en las fracturas. Esta correlación se basa en el registro continuo de información de la perforación que se lleva metro a metro, anotando las características de la perforación y su comportamiento de la Toba Tala

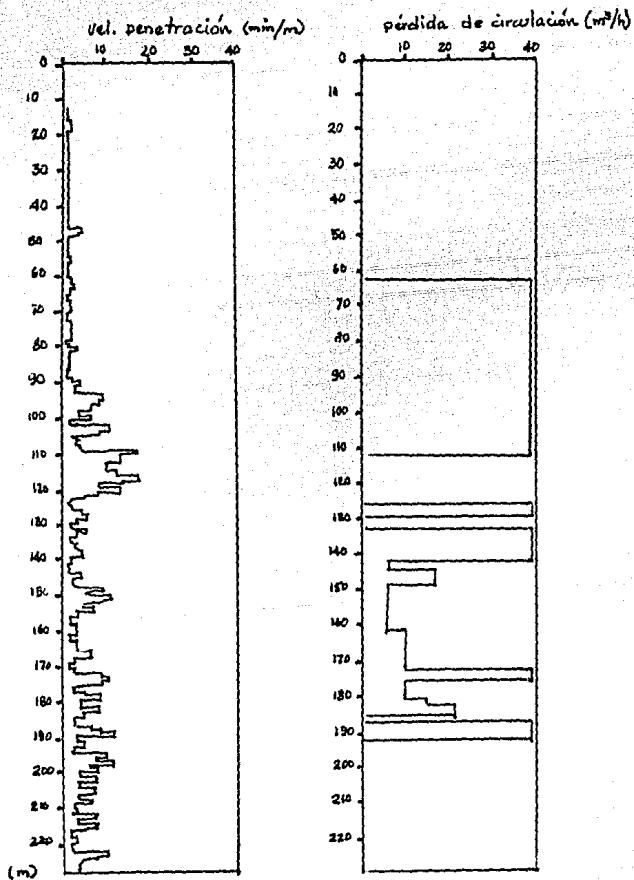


FIG. III.- 2 VELOCIDAD DE PENETRACION
 PERDIDA DE CIRCULACION

geológicamente, para poder definir más a fondo los problemas de las pérdidas, la recuperación de los núcleos en esta zona nos permitió evaluar mejor este comportamiento y gracias a él se adecuó los criterios de obturación más apegados a la problemática de la zona en cuestión. Logrando con esto último ser más efectivos en los controles de las pérdidas de fluidos y más aún nos permitió abatir los tiempos de construcción en la Toba, lograndolos reducir de 3 meses a un mes; trayendo muy buenos resultados en los avances.

METODO DE ENSAYE Y ERROR.

Este método ha consistido en observar el comportamiento del pozo durante la colocación de tapones de cemento, al estar trabajando las fracturas en la Toba Tala; funcionando de la siguiente manera. Se coloca el primer tapón de cemento en el intervalo donde apareció la pérdida, y después se trata de llenar el pozo, si este no se llena y todavía succiona el fluido que se bombea por el espacio anular, se sigue el criterio de colocar un segundo tapón de cemento, arriba de la cima teórica del primero, aproximadamente a 10 m uno del otro procediendo de igual manera que en el primero; sólo que al termino de la operación, se levanta la tubería dos lingadas arriba de la última cima teórica y se espera el fraguado del cemento a preventor cerrado, con el fin de evitar que el pozo regrese el cemento durante el equilibrio de presiones dentro del agujero en las fracturas. Este método a dado muy buenos resultados hasta del orden del 65%, y se ha utilizado con más

frecuencia en toda la toba tala. En sí este método es el que mayormente se ha aplicado en campo por lo reducido de los tiempos efectivos de operación.

CAPITULO IV

TECNICAS Y METODOS DE LABORATORIO EMPLEADOS PARA EL CONTROL DE LAS PERDIDAS DE CIRCULACION

Para el control de las pérdidas de circulación en la Toba Tala se aplicaron técnicas que resolvieron el problema momentáneamente; las cuales consistieron desde saturación de las fracturas con materiales obturantes y colocación de los tapones de cemento de fraguado rápido con la adhesión de otros aditivos químicos que permitiesen el tratar de abatir la pérdida de fluidos en la formación en cuestión. Estas técnicas se definen como siguen:

Colocación de un tapón empleando materiales obturantes.

Inyección de un tapón asbesto sal y obturantes.

Colocación de un tapón de cemento con cloruro de sodio y barita.

Colocación de un tapón de cemento con yeso y desplazado con lodo pesado.

Colocación de un tapón de cemento con obturantes y lodo pesado.

Inyección de lechadas de cemento - diesel - bentonita.

Colocación de un tapón con silicato de sodio y cloruro de calcio - cemento.

Colocación de tapón flo - chek - cemento.

Colocación del tapón diesel bentonita.

Aplicación de fluidos de baja densidad aire lodo aereado y espuma.

Perforación con espuma

Método complementario de laboratorio.

TECNICAS Y METODOS COMPLEMENTARIOS DE LABORATORIO APLICADOS
EN EL CAMPO DE LA PRIMAVERA CON EL FIN DE CONTROLAR LAS
PERDIDAS DE CIRCULACION

TECNICA NO. 1

Colocacion de un tapón empleando materiales obturantes para abatir la pérdida de fluidos de circulación creando frentes de sello.

PROCEDIMIENTO:

Debido al comportamiento de la pérdida de volumen de lodo en la Toba Tala, se tratará de abatir la misma, creando frentes de sello en las fracturas a través del empleo de obturantes.

1. Se determina el punto donde se tuvo la pérdida de circulación y se checan las muestras de canal y se analizan al microscopio para checar el comportamiento de la formación en cuanto a su fracturamiento.

2. Se saca la barrena a superficie, se elimina la misma y se baja tubería franca para lograr bombear el material.

3. Se prepararán 120 m³ cúbicos de lodo bentonítico con obturantes granulares fino, mediano, grueso y fibroso en la

presa de succión y en la de tratamiento, con una viscosidad de 50 a 60 segundos marsh y se mezclan con los obturantes señalados anteriormente.

Se le agrega a este lodo, carbonato de sodio en una concentración de 1.5 kg/m cúbico y sosa caústica 0.7 - 0.9 kg/m cúbico para eliminar los iones de calcio y magnesio.

Se trabaja la concentración de material fibroso medio y grueso (madera y bagazo de tequila) 15 kg/ m cúbico y 15 kg/m cúbico de obturante sello automático (recorte de papel celofán); solo se disminuye el filtrado del tapón para evitar algún derrumbe en el agujero.

El bombeo se efectúa a un gasto mínimo hasta tratar de lograr la circulación, en caso de no lograrse esto último, se vuelve a repetir la operación hasta abatir la pérdida total hasta hacerla parcial, con el fin de colocar un tapón de cemento posteriormente para asegurar la zona (ver técnica 3). En caso de llenarse el pozo se procede a cerrar el mismo y se trata de inyectar la mezcla de lodo - obturantes hacia las fracturas, por el espacio anular procurando manejar sólo la presión de bombeo, se observarán las presiones por el espacio anular instalando un manómetro en la línea de llenar para el mejor control de ésta durante la operación.

TECNICA NO. 2

Inyección de un tapón asbesto sal conocido como drill sal y obturantes granulares.

Este tipo de tapón se coloca en zonas de la Toba Tala, cuya profundidad varía entre los 50 a 100 m de agujero descubierto con el fin de aprovechar el avance en la perforación. Este tipo de tapón es utilizado previamente como frente al momento de obturar con cemento, para saturar las fracturas y evitar que se fuge el cemento y viaje por entre ellas sin fraguar.

PROCEDIMIENTO:

1. Con tubería franca frente a la zona a obturar se operará con unidad de alta presión, con el fin de tener el bombeo y mezclado adecuado para llevar a cabo la operación.

2. Se mezclarán en el embudo de la unidad, material fibroso y obturantes granulares fino y mediano para posteriormente ser bombeado hacia el interior del pozo.

3. El nivel estático en el pozo nos dará idea del comportamiento de las pérdidas, ya que en base a este se determinará la zona a obturar y se tratará de bombear continuamente, cuidando la presión de bombeo y que esta no sea mayor a la de circulación (200 a 300 psi), posteriormente

se cerrará el preventor para tratar de inyectar la mezcla hacia la formación para saturarla, manejando la misma presión durante la operación.

El mezclado consiste en 5 sacos de asbesto sal con 10 sacos de obturante granular fino y 10 de obturante granular mediano en agua para obtener una densidad de 1.50 gr/c.c.

Se deberá tener el debido cuidado del mezclado ya que puede ocurrir que se taponen las líneas durante el bombeo hacia el pozo.

Preparada la mezcla, ésta se bombea a través de la tubería franca situada frente a la zona de pérdida.

Se bombea un colchón de agua de 5 bls. por delante.

Se desplaza con lodo la mezcla.

Se levanta la tubería 2 lingadas arriba de la zona en cuestión.

Se procede a llenar el pozo.

Se cierra el preventor .

Se inyecta con lodo y se observa la presión en el manómetro no rebasando las 300 psi.

Se inyecta a un gasto de 1 a 2 bls/min. Si no se tiene éxito al llenado del pozo, se procedera a repetir toda la operación.

Si se logra llenar el pozo y aún no se ha resuelto el problema; se procederá a abrir más el intervalo y se obturará éste aplicando la técnica No.3.

Si se ha restablecido la circulación y el lodo empleado contiene pocos sólidos, se tratará de llegar a la profundidad programada del próximo ademe para acondicionar el agujero y cementar el mismo para aislar la Toba Tala.

TECNICA NO. 3

Colocación de un tapón de cemento con cloruro de sodio y trabajado con barita.

Esta técnica se emplea para tratar de que frague el cemento en las fracturas y mediante la inyección a través de ellas con la anexión de un bache de lodo - barita (mezcla pesada) con una densidad de 1.22 gr/c.c.; este procedimiento ha funcionado en la zona de los 20 m a 80 m con un resultado de un 50 % .

PROCEDIMIENTO Y APLICACION.

1. Se determina el punto donde se está perdiendo el fluido, mediante la correlación de fracturas, contactos entre una y otra formación y además considerando el quiebre de la velocidad de perforación, la altura de la columna del lodo en el pozo y el volumen perdido.

2. Se saca la barrena a la superficie y con t.p. franca se sitúa 5 metros arriba de la zona por obturar.

3. Se prepara el cemento acelerado con sal con el 1% en volumen de peso de cemento y se preparán 5 m cúbicos de lodo con un peso de 1.22 gr/c.c. y viscosidad de 60 seg., marsh.

Se mezcla el cemento con sal en porcentaje que va del 1 al 3% en peso, rango dentro del cual se ha estado trabajando en una presa de capacidad de 10 m cúbicos conectada a las bombas del equipo.

Se prepara en la presa de bacheo un volumen de 5 m cúbicos de lodo densificado con barita al 1.22 gr/c.c. y 60 seg., marsh.

4. Se coloca el tapón y se desplaza con fluido hasta balancear las columnas por dentro y por fuera de la t.p.

5. Se desconecta la t.p. y se saca a la superficie.

6. Se bombea por línea de llenar, el lodo - barita en su totalidad y al término de la bombeada se deja el pozo cerrado para que frague el tapón.

7. Se esperan 4 horas de fraguado, si se logra llenar el agujero se completa el tiempo de espera del mismo hasta las 8 horas y posteriormente se procederá a rebajar el tapón, en caso de no aparecer ninguna pérdida de fluido; en caso de ser

negativo se repite la operación completamente.

TECNICA NO. 4

Colocación de un tapón de cemento con yeso y desplazado con lodo pesado.

Esta técnica ha funcionado en las fracturas de mayor espaciamento con la finalidad de crear frentes de obturación por dentro de ellas, para posteriormente colocar cementos de alta resistencia a la compresión para obturar completamente las fugas en la Toba Tala.

La dosificación que se ha adoptado es; 100% de cemento con un 20% de yeso y 2 % de bentonita con agua. Estas lechadas previamente se probaron en el laboratorio y se encontró que tienen la característica de formar una gelatinosidad al suspenderse la agitación, y se observo que a las 24 horas presentaron valores altos de resistencia a la compresión (Fig IV.1 y 2), por lo que se adoptaron en las operaciones de taponamiento, para obturar las fracturas en la zona de la Toba Tala teniendo buenos resultados de los 100 a los 500 m de profundidad.

PROCEDIMIENTO Y APLICACION.

1. Se mezclan 100 sacos de cemento con el 20% de yeso y el 2% de bentonita y se bombean con la unidad de alta presión

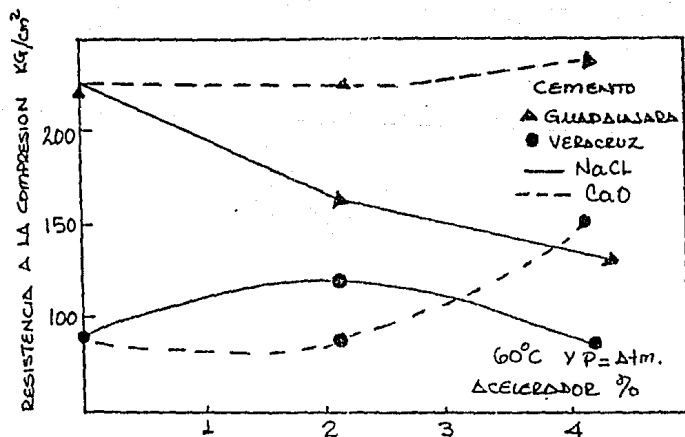
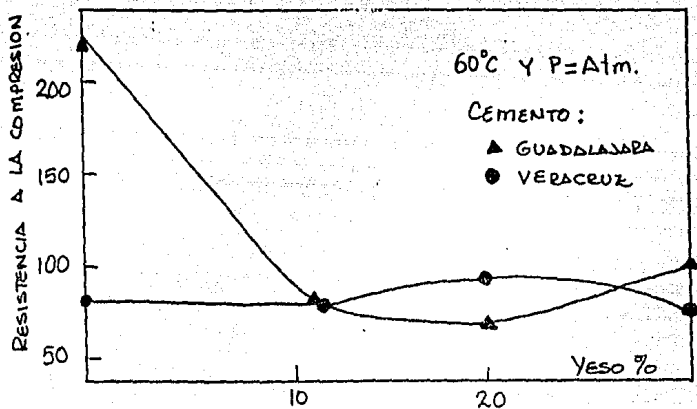


FIG. IV. 1 y 2.- RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LOS CEMENTOS.

2. Con la t.p. franca a 9 m de la zona de pérdida se bombea la lechada inmediatamente y se desplaza balanceando las columnas.

3. Se desconecta y se levanta la t.p. a superficie y se inicia el bombeo de 8 m³ cúbicos de lodo de 60 seg., de viscosidad con un peso de 1.22 gr/c.c., por la línea de llenar.

4. El tiempo de operación de bombeabilidad del cemento es de 15 min., por lo que se recomienda el bombear a un gasto de 7 bls/min., y trabajar con lingadas completas para liberarse del tapón lo más rápido posible y no quedarse atrapado con cemento.

5. Se esperan 1.30 hrs., de graguado y se trata de llenar el pozo, si esto ocurre se esperaran 4 hrs., de fraguado más y se baja a checar cima con la barrena.

6. Se prueba el tapón con un peso de 5 ton de peso sobre barrena y se circula para comprobar que no haya pérdida.

7. En caso contrario se vuelve a aplicar la técnica pero intercalando un segundo tapón, al termino de la primera operación 1 lingada arriba de la cima teórica y se procede como se indica en el punto 2 al 6.

TECNICA NO. 5

Colocación de un tapón de cemento con frentes de obturantes y lodo pesado.

PROCEDIMIENTO.

1. Se preparan 6 m cúbicos de lodo densificado con barita de 1.20 gr/c.c., se le agregara 10 sacos de granular fino y 10 sacos de granular mediano en la presa de bacheo.

2. Se preparará la lechada de cemento con el 2 % de bentonita y el 2 % de cloruro de sodio, en la presa de obturación.

3. Se coloca la t.p. franca en la zona por obturar, arriba de ella unos 6 m.

4. Se bombea primero el bache de lodo densificado con obturantes; a preventor cerrado para saturar las fracturas y evitar el viaje del cemento a través de ellas sin obturarlas completamente.

5. Se bombea un bache de 5 m cúbicos de agua.

6. Se bombea la lechada de cemento inyectandolo desde el principio a una presión máxima de 200 psi.

7. Se abre el preventor, se levanta la tubería y se elimina en superficie.

8. Se bombean 5 m cúbicos de lodo con viscosidad de 60 segundos Marsh tratando de levantar columna hidrostática arriba del tapón, y se procede a esperar 8 horas de fraguado para reanudar la operación.

9. Si al tratar de llenar el pozo, esto último no se logra, se procede a la aplicación del procedimiento de la técnica No.4.

TECNICA NO. 6

Inyección de lechadas de cemento - diesel - bentonita.

Esta técnica se utiliza en las zonas de los 100 m a los 600 m de profundidad, debido a lo severo de la zona de la Toba Tala en cuanto a la falta de consolidación y derrumbes muy frecuentes.

PROCEDIMIENTO.

1. Abrir más el intervalo en donde apareció la pérdida de circulación, para aprovechar más el tapón por colocar, y se logre con esto una obturación de fracturas de mayor longitud. Este procedimiento consiste en la aplicación de la técnica de perforación a fondo perdido, cuidando de no

pegarse al tratar de avanzar, siendo necesario el vigilar el fluido de circulación y los parámetros de perforación para evitar atraparse por los caídos de la formación.

2. Eliminar la barrena y bajar t.p. franca a 9 m arriba de la zona de pérdida de circulación y se trabajara el bombeo con una presión no mayor a 300 psi.

3. Bombear 2 m cúbicos de diesel adelante de la lechada.

4. Mezclar 80 sacos de cemento con 80 sacos de bentonita en 8 m cúbicos de diesel. Para preparar más de 8 m cúbicos, mezclar 2 sacos de cemento y 2 sacos de bentonita por cada barril de diesel. Para fracturas grandes o cavernas se mezclaran 300 sacos de cada material.

Para preparar grandes volúmenes, utilizar una unidad cementadora y mezclar continuamente los materiales secos con diesel; para mezclas pequeñas se utiliza una presa de bacheo o la presa de obturación con capacidad de 8 m cúbicos. La mezcla tiene un rendimiento de 1.4 bl de lechada por cada barril de diesel, obteniendo con esto una densidad de 1.38 gr/c.c..

5. Se bombea la lechada por el interior de la t.p. y se desplaza, posteriormente se bombean 5 barriles de diesel.

6. Se inicia el bombeo de lodo por el espacio anular y cuando el volumen de 10 barriles de diesel llegue a la punta de la tubería, se cierra el preventor, se controla la presión de bombeo, se mantiene una relación entre el volumen del lodo y el de la lechada de 2 a 1.

7. Se inyecta la mitad de la lechada en la formación, a la velocidad de bombeo recomendada en el punto anterior. Ocasionalmente la t.p. debe estarse moviendo hacia arriba y hacia abajo lentamente para comprobar que no hay síntomas de pegadura por fraguado del cemento; en caso de observar incremento de peso en el indicador del mismo, se levanta la tubería hasta que se encuentre libre, y a continuación bajará para seguir desplazando. No le afecta a la lechada si se interrumpe momentáneamente la operación por intervalos cortos de tiempo.

8. Se inyecta la otra mitad de la lechada al mismo régimen (2 bl/min. en la tubería y 1 bl/min. en el espacio anular).

9. Desplazar la última parte de la lechada, a una velocidad de 1 bl/min. en la tubería y .5 bl/ min. en el espacio anular. Si el agujero se llena, manifestándose por medio de la presión en el espacio anular (o se supone que la inyección no se efectúa normalmente), se intentará incrementar la presión bombeando a un ritmo de 2 bl/min. y a

1 bl/min. en el espacio anular. Si se incrementa la presión al terminar de inyectar, dejar 1 barril de lechada dentro de la t.p. Si la presión no aumenta, proceder a equilibrar las columnas. No se deberá efectuar la circulación inversa, porque el lodo se mezclará con la lechada dentro de la tubería aumentando su gelatinosidad.

10. Después de terminar de inyectar, se sacará la tubería y se esperará el tiempo de fraguado del cemento mínimo 8 horas, antes de reanudar la perforación. Si no se tiene éxito en el primer intento, se deberá repetir el procedimiento.

TECNICA NO. 7

Colocación de un tapón con silicato de sodio y cloruro de calcio con cemento.

Esta mezcla es utilizada para saturar la comunicación entre las fracturas y poros de la Toba Tala, pero principalmente en las de mayor espaciamento.

PROCEDIMIENTO.

1. Se preparan 4 m cúbicos de silicato de sodio en la unidad de alta y 4 m cúbicos de calcio en la presa de bacheo del equipo.

2. Se baja t.p. franca y se sitúa frente a la zona de pérdida.

3. Se bombea la capacidad de la t.p. con silicato disuelto y se cierra el preventor, se abre la válvula de 2 pulgadas de la llenadera.

4. Se inyecta la solución de silicato con la unidad de alta presión a un gasto de 6 bls/min., con una presión de 200 psi y por el espacio anular se bombea el cloruro de calcio con un gasto de 60 emboladas por minuto.

5. Como nota se bombea un colchón de 2 m cúbicos de agua por la llenadera antes de bombear el cloruro de calcio y luego la solución para que ambas se encuentren en la fractura y así puedan formar un frente de retención con material fibroso al entrar en contacto una solución con otra.

6. Una vez terminado de bombear ambas soluciones, se limpia la tubería por dentro con agua moviendo la tubería hacia arriba y hacia abajo para comprobar que este libre.

7. Posteriormente se inyecta la lechada de cemento en la tubería en movimiento para obturar la zona.

8. Se inyecta la lechada hasta la punta y se desfoga en la unidad de alta presión .

9. Se abre el preventor y si no succiona el pozo, se llena y se cierra el preventor y se esperan 8 horas de fraguado.

TECNICA NO. 8

Colocación de tapón flo - check y cemento

Este tapón se utiliza dentro del nivel de salmuera en el pozo y se realiza en dos etapas. La primera se lleva a cabo mediante el bombeo de la lechada con la unidad de alta presión y la t.p. franca frente a la zona de pérdida, al entrar en contacto con la salmuera de la formación al salir de la tubería, se forma una gelatina en la formación dentro de las fracturas creando con ello un frente; e inmediatamente después se bombea la lechada de cemento acelerado aplicando la técnica No.3 y/o 4, se cierra el preventor durante la inyección, se lava con agua la tubería se saca y elimina la misma en superficie se deja pozo cerrado en espera de fraguado de 6 a 8 horas. El flo - check se utiliza también en combinación con obturantes granulares y finos en una relación 1 a 1 ambos en peso de 1.5 kg/lt y en ocasiones se agrega arena malla 4 - 8, para obtener efecto de sello al entrar en las fracturas. Mediante la aplicación de esta técnica se ha logrado un éxito del 60 al 65 % en operación.

TECNICA NO. 9

Colocación del tapón diesel - bentonita.

PROCEDIMIENTO.

1. Se perfora a fondo perdido tomando en cuenta la capacidad de las presas, y una vez que empieza a perderse el volumen de fluido se perfora bombeando baches de lodo viscoso (60 seg), en cada conexión o en cuanto se incremente la torsión, por lo común se trabaja dentro de 50 a 150 unidades (observadas en el torquímetro), durante la perforación a fondo perdido.

2. Se saca y elimina la barrena en superficie, se baja t.p. franca y se sitúa a 9 m de la zona por obturar, una vez localizada esta.

3. Se inicia la operación bombeando 10 bl. de diesel por delante.

4. Se preparan 200 sacos de bentonita con 50 bl. de diesel en base a la relación 4 a 1.

5. Se emplea la unidad de alta presión para el logro de una operación continua, el resultado de esta mezcla nos da un rendimiento de 1.39 bl. de lechada por cada barril de diesel.

6. Se desplaza la lechada por el interior de la t.p., a continuación 5 bl.de diesel y cuando el primer bache de 10 bl. de diesel llega al final de la t.p., se comienza a bombear lodo por el espacio anular a un ritmo de 4 bl/min. y se cierra el preventor.

7. Se mantiene la velocidad de bombeo mediante la relación 1 a 1, en agujeros de 12 1/4 pulgadas de diámetro se emplea un régimen de 4 bl/min. tanto por el espacio anular como por el interior de la tubería.

8. Se desplaza el 50 % del volumen total a la formación hasta que la presión comience a incrementarse en el espacio anular. Si esta presión aumenta, se baja el gasto en ambos lados sin exceder la presión de 250 a 300 psi.

9. Se desplaza el siguiente cuarto de la lechada, con un gasto de 2 bl/min.

10. Se termina la inyección de la lechada a un ritmo de 1 bl/min. con aplicaciones de inyección y suspensión de la misma, es decir intermitentemente.

Se recomienda no circular inverso para evitar la contaminación de la lechada y esta aumentara la presión por dentro de la t.p. debido a la gelatinosidad formada.

11. Después de terminar la operación de inyección, se saca la tubería y se baja con barrena para seguir perforando. Si no se tiene éxito se repite el procedimiento y/o se coloca después un tapón con cemento considerando la técnica 4 ó 5.

TECNICA NO. 10

Aplicación de fluidos de baja densidad lodo aireado, espuma y aire.

Si se espera atravesar zonas de alta pérdida de circulación, es recomendable perforar con fluidos de baja densidad (lodo aireado, espuma o aire). A continuación se resumirá la técnica desarrollada para el caso de zonas de alta pérdida de circulación, como el caso de la Toba Tala y cuales son las ventajas y desventajas en la aplicación de esta zona problemática.

Perforación con lodo aireado.

El término lodo aireado se refiere a cualquier sistema de perforación, en el que se inyecta a una presión un cierto tipo de gas al lodo normal de circulación, la inyección ocurre entre la bomba y el tubo vertical a través de una tubería parásita, secundaria o mediante una sarta de tubería concéntrica. Se elegirá el método más apropiado de acuerdo a las condiciones del pozo.

Una de las aplicaciones de este tipo de fluidos es para disminuir las pérdidas de circulación cuando éstas son muy severas. El aire inyectado a la columna de lodo logra que la presión ejercida por la columna del fluido sea menor que la zona de pérdida.

Se considera lodo aerado aquél que posee una densidad igual o menor a 0.90 gr/c.c., se debe tratar de que la mezcla lodo aire se logre en forma estable y homogénea para que no se rompa ni se separe dentro del pozo sino hasta su retorno a la superficie.

Para la aplicación de este sistema cuando han ocurrido pérdidas de circulación, es necesario considerar los siguientes puntos:

- 1.- Debe conocerse la densidad del lodo de perforación para efectos del cálculo de gasto de aire requerido.

- 2.- Es conveniente considerar la profundidad a la que esta colocada la última T.R., para evitar problemas de derrumbes, pegaduras de tubería o entradas de agua.

3. El nivel estático del fluido en el espacio anular se debe conocer para efectos del control del pozo.

Método y equipo utilizado en la aplicación de lodo aerado en la perforación.

Para la operación de este sistema se emplearán principalmente 3 métodos básicos para la aireación del lodo y son:

- a).- Método de aireación en la superficie.
- b).- Método de tubería concéntrica.
- c).- Método de tubería parásita.

METODO DE AERACION EN LA SUPERFICIE.

Para la aplicación de este sistema se requiere agregar cierto equipo auxiliar al normalmente utilizado. Este equipo adicional es necesario para el equipo, para proteger el pozo de un posible descontrol, para inyectar aire comprimido a la corriente de lodo y para desgasificar el lodo de perforación en su retorno a la superficie. La Fig. IV.3 muestra un diagrama de la distribución del equipo superficial en el que una mezcla de lodo y gas natural sustituye al lodo convencional, el lodo se saca de la presa con la bomba centrífuga y en punto determinado se mezcla con gas proveniente del compresor a una presión ligeramente mayor. Posteriormente se dirige al pozo y retorna a la superficie.

La introducción de aire y lodo dentro de la sarta de perforación requiere de equipo por separado para cada fase. El líquido para la fase líquida es el mismo que para la

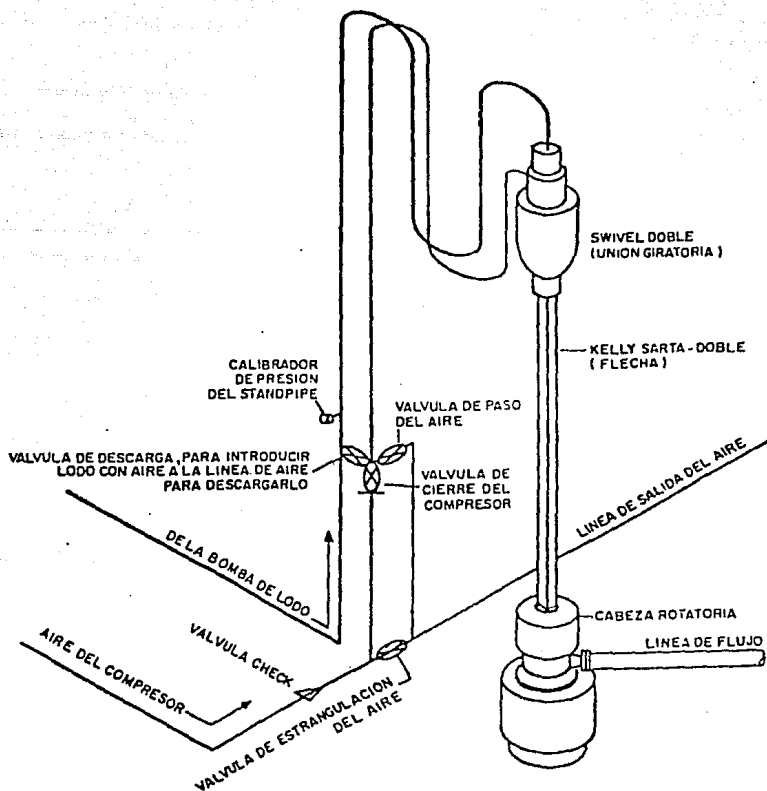


FIGURA IV 3

perforación convencional. Para su fase gaseosa y además para un buen funcionamiento del sistema el equipo requerido es el siguiente:

- Un compresor de 3 ó 4 etapas. 220 hp y presión máxima de trabajo de 100 kg/cm cuadrado.
- Dos válvulas de retención.
- Cabezal rotatorio.
- Tubería de descarga.
- Desgasificador.

METODO DE TUBERIA CONCENTRICA

La introducción de sartas de perforación y de uniones giratorias dobles, han hecho posible un método de aereación, conveniente para la perforación de zonas con pérdidas de circulación. El sistema es simple, de fácil análisis, aplicación y recibe el nombre de tubería concéntrica.

Este método es similar al sistema de inyección simple utilizado en las instalaciones de bombeo neumático para pozos en producción. El aire comprimido se inyecta por el interior del espacio anular comprendido entre las dos tuberías concéntricas y se mezcla a cierta profundidad con la corriente de lodo proveniente del fondo del pozo. De tal manera, puede notarse que la mezcla lodo-aire existe sólo en el espacio anular arriba del punto de inyección.

En la Fig. IV.3 se muestra el equipo superficial que debe adicionarse al convencional y la Fig IV. 4 muestra las conexiones en la sarta doble. El equipo que usualmente se adiciona es el siguiente:

- Un compresor de aire, con un rango de potencia de 100 a 200 hp y capaz de descargar a una presión de 100 kg/cm cuadrado.

- Equipo de sarta doble que incluye: tubería doble, unión giratoria doble y flecha de perforación doble.

- Conexiones y válvulas adicionales que se muestran en la Fig.IV. 4 .

La figura IV. 5 muestra cómo se inyecta el aire por dentro de la tubería de menor diámetro o por el espacio anular existente entre las dos tuberías de sarta doble. En cada caso, debe colocarse una válvula de retención en la tubería que conduzca el aire. Cuando el aire se introduce a través de la tubería interior, debe colocarse un tapón recuperable abajo de los equipos de inyección.

METODO DE TUBERIA PARASITA.

Un tercer método que proporciona resultados satisfactorios es el de utilizar una tubería parásita (Fig. IV. 6 y Fig IV. 7) con la que se logra una disminución en la presión

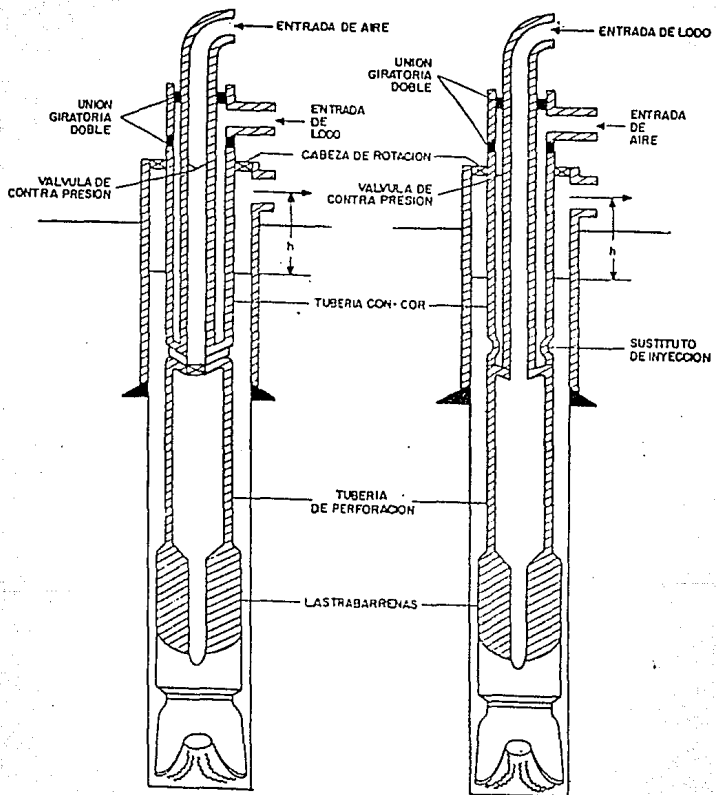


FIG. IV. - 4 y 5 METODO DE LAS TUBERIAS CONCENTRICAS.

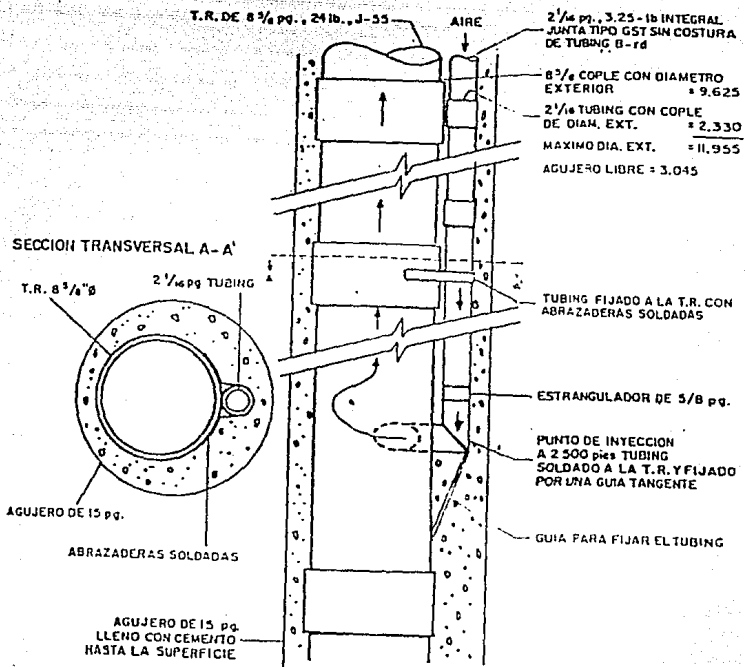


FIG. IV.-6

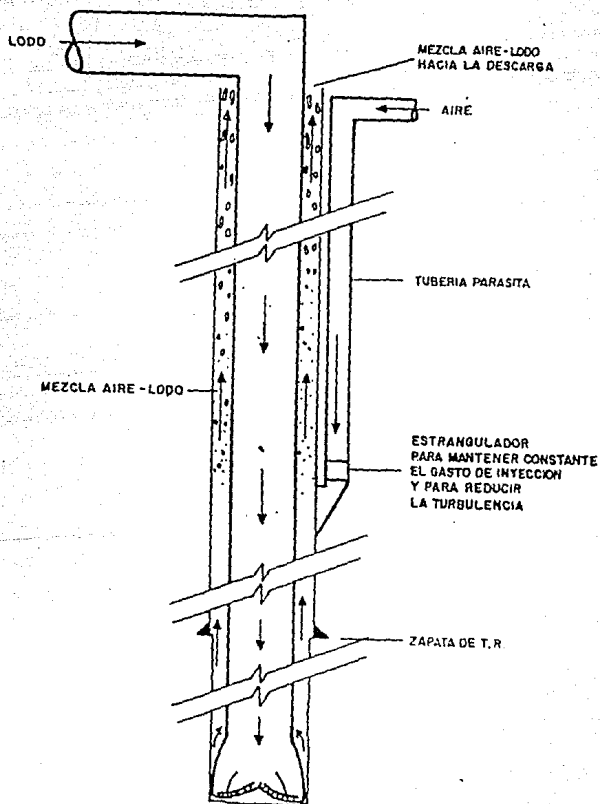


FIG. IV.-7 METODO DE TUBERIA PARASITA.

hidrostática de la columna de lodo, evitando o disminuyendo pérdidas de circulación.

La operación consiste en adherir una tubería de diámetro pequeño (2 a 3 pg.) a una de las tuberías de revestimiento intermedias por medio de abrazaderas prefabricadas. Se inyecta el aire por medio de la tubería pequeña al espacio anular existente entre las tuberías de revestimiento y de perforación. la profundidad del punto de inyección de la tubería parásita, está determinada por la máxima reducción en la presión para disminuir las pérdidas de circulación.

La reducción usada es una función de la profundidad de la tubería parásita, de la relación de los gastos aire-lodo y de la densidad del lodo.

El equipo adicional es el siguiente:

- Un compresor.
- Tubería parásita adherida a la de revestimiento.
- Un estrangulador colocado en la tubería parásita, cerca del punto de inyección para evitar excesiva turbulencia.
- Cabezal rotatorio.
- Desgasificador.
- Tubería de descarga.

PERFORACIÓN CON ESPUMA.

Entre los fluidos para perforar en formaciones poco

consolidadas, formaciones permeables y de baja presión, se encuentra la espuma estable, la cual es de baja densidad y alta viscosidad; con estas características, se reducen las pérdidas de circulación y se dispone de buena capacidad de acarreo de las partículas, sin erosionar el agujero.

La espuma estable es un fluido de muy baja densidad (0.25 a 0.75 gr/c.c.), alta viscosidad (0.6 a 0.9 cp) y gran capacidad de acarreo de recortes, por lo que es de gran utilidad para la perforación como fluido de control. Este fluido se prepara en la superficie y consiste en una mezcla de agua dulce, un agente tensoactivo, aditivos apropiados como son: estabilizadores de espumas, materiales que forman enjarre residual, reductores de fricción, inhibidores de corrosión, entre otros y un gas comprimido. Para la fase gaseosa se utiliza preferentemente aire, gas natural y nitrógeno.

De ellos se prefiere el gas natural para la formación de la espuma, pero debido a la dificultad de no disponer de este gas en el pozo, se utiliza generalmente aire para la generación del fluido. El nitrógeno debido a su mayor costo y disponibilidad se utiliza sólo en contadas ocasiones.

Las presiones logradas en el fondo del pozo con este tipo de fluido pueden variar de 1 a 4 kg/cm cuadrado para profundidades de 300 a 1000 m. Estas bajas presiones de

circulación disminuyen o eliminan en el mejor de los casos, los daños a la formación y las pérdidas de circulación.

Por otra parte los requerimientos de aire son muy bajos, esto se debe a que la espuma es capaz de levantar los recortes a bajas velocidades en el espacio anular (30 a 90 m/min), por lo que se requiere menor capacidad de compresión y por lo tanto, de menores gastos de inyección de aire.

El sistema de circulación, cuando se utiliza esta clase de fluido es de tipo abierto, por lo que la espuma que sale del pozo no puede volver a circularse y se desecha en una presa de desperdicio.

La utilización de la espuma estable como fluido de perforación en el sistema rotatorio, ha tenido aplicación y éxito limitado. Primero por la insuficiente experiencia en la perforación con ayuda de dicho fluido, lo que trae como consecuencia que no haya podido establecer una teoría pertinente para determinar con exactitud las características del flujo de la espuma.

Ventajas que ofrece el uso de la espuma como fluido de perforación en la Toba Tala.

- Ejerce una reducida carga hidrostática, debido a su baja densidad.

- Reduce las pérdidas de circulación.
- Lubricación y enfriamiento de la barrena
- Requiere bajas presiones para establecer la circulación,
- Evitando con esto inducir las pérdidas de circulación.

Desventajas del uso de la espuma como fluido de perforación en la Toba Tala.

- La eficiencia de la espuma se ve disminuida con el flujo de agua que existe en la Toba Tala.

- Provoca derrumbes en las paredes del agujero por el ablandamiento de la formación.

- Debido a la invasión de agua que se tiene en la Toba Tala, se pierde el control del manejo de la espuma al entrar en contacto con la misma, provocando aumento de volumen en el fluido original utilizado.

- No permite el correr registros de temperatura para poder determinar las zonas de permeabilidad alta dentro de la Toba Tala ya que se requiere normalmente el lodo como fluido de circulación.

- Además se tiene muy poca experiencia en el manejo adecuado de la perforación con espuma.

Equipo empleado para la perforación con espuma.

Para poder efectuar la perforación haciendo uso de la espuma estable como fluido de circulación, es necesario agregar al

equipo convencional los siguientes elementos (Fig. IV. 8).

- 1.- Compresores para el suministro de aire.
- 2.- Tanques para mezclar y preparar la solución jabonosa.
- 3.- Bombas para la dosificación del agente espumante y los aditivos.
- 4.- Medidas de gasto para la mezcla de espuma y aire (o gas).
- 5.- Bomba de desplazamiento para inyectar la mezcla espumante.
- 6.- Generador de espumas para combinar aire con solución jabonosa y formar la turbulencia y de esta manera generar espuma.
- 7.- Válvulas de contrapresión para mantener la energía dentro de la tubería de perforación. Se colocan con el fin de evitar el depresionamiento del fluido dentro del pozo durante cada conexión de tuberías.
- 8.- Mangueras de hule de alta presión para conectar el múltiple de válvulas con la sarta de perforación y la cabeza del pozo.

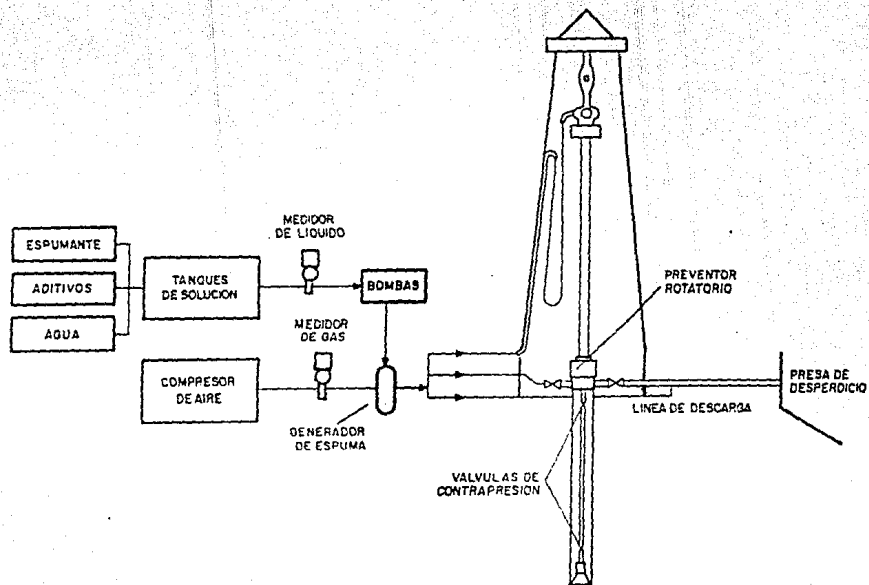


FIG.IV.8 EQUIPO NECESARIO PARA PERFORAR CON ESPUMA

9.- Cabezal de seguridad para sellar la parte superior del espacio anular y desviar los recortes a la presa de desperdicio. El cabezal consta de una conexión para bombear por el espacio anular en caso de ser necesario, y también de válvulas para cerrar o restringir el retorno.

10.- Presa de desperdicio. El ciclo de bombeo de la espuma es un ciclo abierto, por lo tanto, la espuma que retorna no puede usarse nuevamente.

Como nota se observo mayores problemas de atrapamientos de tuberías de perforación por los constantes derrumbes de las paredes de la Toba Tala, al estar usando la espuma como fluido de perforación, todo esto compaginado a la invasión de agua que se tiene en esta toba, propicio que en varias ocasiones aumentara el volumen de espuma hasta tres veces más del volumen original, propiciando con ello que el rendimiento de esta espuma bajara constantemente y provocaba los problemas antes citados.

PERFORACION CON AIRE.

La utilización del aire como fluido de perforación es actualmente una práctica común en las perforaciones de zonas fracturadas o zonas con pérdidas de circulación severas. Para llevar a cabo un óptimo programa de perforación con aire, se deberá contar con una amplia información del área

donde se va a operar. Dicha información debe ser del tipo geológico y de datos obtenidos de pozos vecinos; para correlacionar mejor todos y cada uno de los datos de la perforación en cada uno de los pozos; clarificando la zona de mayores fracturamientos, zona de mayor permeabilidad, zonas de aumento de torsión al estar perforando, zona de contacto de agua, características litológicas a detalle de la formación Toba Tala para su mejor aplicación del aire como fluido de circulación.

Ventajas de la perforación con aire.

- Mayor velocidad de penetración.
- Control de las zonas fracturables y de alta permeabilidad.
- Menor costo en fluido de perforación.
- Funciona muy bien en zonas donde no se tiene invasión de agua.

Desventajas de la perforación con aire en la Toba Tala.

- Si no se tiene un debido control de los volúmenes de aire a manejar en la perforación, estos provocan problemas de aplicación en las zonas de fracturas.
- Si se tiene mal cementado el primer ademe (20 pulgadas de diámetro) ocasiona que exista canalización de la cementación con las paredes del agujero, provocando gran erosión entre uno y otro poniendo en peligro el pozo mismo.

- Durante su uso en la Toba Tala se observó que no resultó muy exitoso dentro de la zona de invasión de agua; ya que provocó mayor comunicación dentro de las fracturas ya existentes en la formación, trayendo con esto mayores problemas para las operaciones de obturación con cemento, como fue el caso del pozo primavera No. 4, que se tuvo que abandonar a los 668 m por no poder controlar las pérdidas de circulación después de la aplicación del aire como fluido de perforación.

Cabe mencionar que faltó mayor experiencia en el manejo de la perforación con aire, quizás fué este uno de los motivos que precipió el abandono de este pozo antes mencionado.

Volviendo al manejo del método de perforación con aire el equipo empleado para ello es el siguiente:

1.-Preventor rotatorio.- Cuya función será la de evitar que los cortes hechos por la barrena pasen al piso del equipo perjudicando al personal. Se instala entre la mesa rotaria y los preventores. Consiste esencialmente de un cuerpo de hule y de un elemento rotatorio; el primero realiza un sello perfecto alrededor de cualquier forma geométrica y el segundo le permitirá girar conjuntamente con la sarta de perforación. Para evitar futuros problemas de desviación del agujero, se deberá verificar que el preventor esté correctamente alineado, Fig. IV. 9.

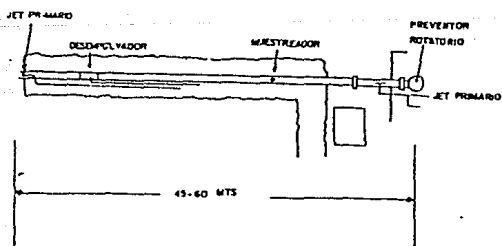
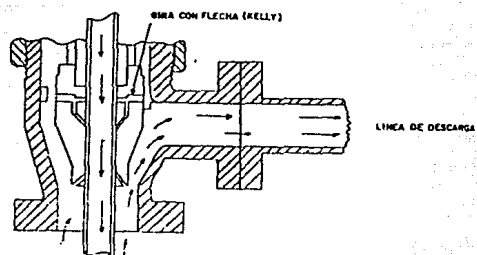


FIG. IV.- 9y 10 PREVENTOR ROTATORIO
Y LINEA DE DESCARGA.

2. Línea de descarga .- Cuya función será de llevar lejos del equipo los recortes. Accesorios complementarios: Boquilla primaria y secundaria, muestreador, humedecedor, (Fig. IV.10 Y 11).

3.- Compresores.- El número de compresores dependerá de -- volúmenes y presiones de aire que se circularán en el pozo, Fig. IV.12.

4.- Medidor de flujo.- El cual consiste en una placa de orificio la cual se colocará a una distancia de la descarga de los compresores.

5.- Alarma de presión.- La cual se colocará en el piso de trabajo. Esta alarma deberá de indicar cualquier incremento en la presión de inyección (dicho incremento debe ser aproximadamente de 5 kg/cm cuadrado) pues es una indicación de la posible presencia de un problema.

6.- Una bomba inyectora de espumas, con sus respectivos tanques medidores.

Los problemas que con mayor frecuencia se presentan en la perforación con aire para la limpieza del pozo son:

Agrandamiento del agujero.

Desviación del pozo.

Entrada de agua.

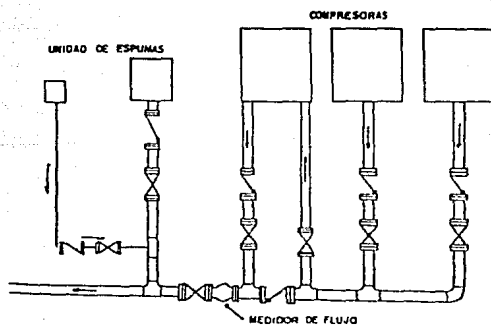
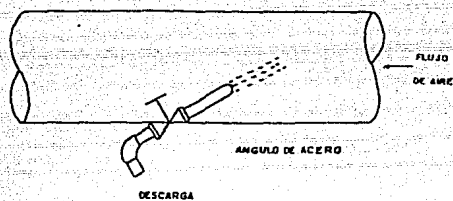


FIG. IV.- II y 12 MUESTREADOR Y COMPRESORES.

Daños a la tubería de perforación.

Pegadura de tubería.

Aun cuando no se aplico el método de perforación con lodo aereado dentro de la formación de la Toba Tala; este deberá de considerarse como uno de los métodos más aplicables dadas las condiciones de la técnica que se mencionan anteriormente, por ello se recomienda su uso en la perforación, por ser un fluido menos erosivo y dadas las características de la Toba en cuestión.

METODO COMPLEMENTARIO DE LABORATORIO

PRUEBA ESTATICA EN LECHO DE BALINES PARA LA SELECCION DE MATERIAL OBTURANTE.

Se llevo a cabo esta prueba mediante la evaluación de obturantes a base de materiales de cáscaras de nuez (tamaño mediano y fino) y una mezcla comercial de fibras, celofán, borra y hojuelas , conocida como sello automático. Primero se probó a cada uno de los materiales sin combinarlos, determinando que los de tipo granular (cáscara de nuez) no ofrecían propiedades de sellamiento, mientras que la mezcla comercial de materiales de sello automático, formó un sellamiento con ciertas limitaciones pues se pierde un 60% del volumen total de lodo.

Los sistemas de obturantes con relaciones 1 a 1 (AO-1:AO-2), entre los granulados mediano y fino y sello automático, fueron los únicos que desarrollaron sellos con capacidades de hasta 1000 psi; perdiendo como máximo un 6% y 7% del volumen total del lodo, respectivamente.

El sistema de obturante con relación 1 a 1 (AO-1:AO-2) demostró ser el mejor, pues además de resistir 1000 psi emplea concentraciones más bajas de estos materiales en el lodo.

Con el fin de apoyar el programa de perforación para atravesar las zonas de pérdidas de circulación en la Toba Tala, se aplicó este método para la selección de los obturantes.

Para la realización de la prueba, se obtuvieron muestras de tres distintos materiales, los cuales para facilitar e identificar rápidamente a los sistemas desarrollados se denominaron:

AO-1: Obturante granular mediano (cáscara de nuez).

AO-2: Obturante granular fino (cáscara de nuez).

AO-3: Obturante sello automático (fibras, cáscaras y borra, celofán, hojuelas y granos).

Se estableció un programa de pruebas constituido en cuatro etapas, cada una de las cuales utilizó diferentes

formulaciones hechas con los materiales arriba listados; dichas etapas consistieron en lo siguiente:

PRIMERA ETAPA

Comprendio la caracterización completa de cada uno de los materiales variando su concentración en el lodo base agua con bentonita denominada Baramin con el 8.5% en peso.

Obteniendo los siguientes resultados:

MATERIAL	FORMULACION CONC.g/lto.											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
AO-1	25	30	50	-	-	-	-	-	-	-	25	33
AO-2	-	-	-	25	30	-	50	-	-	-	25	17
AO-3	-	-	-	-	-	-	-	15	25	35	50	-

Tabla I.- Formulaciones para la primera etapa de pruebas.

SEGUNDA ETAPA

Se evaluo el comportamiento de la combinación de los materiales AO-1 y AO-2, empleando lodo base bentonita, Baramin al 8.5% en peso.

MATERIAL	FORMULACION CONC. g/lto.											
	I	II	III	IV	V	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
AO-I	7.5	5	10	12.5	8	17	17.5	12	23	25	17	33

AO-3 7.5 10 5 12.5 17 8 17.5 23 12 25 33 17

Tabla 2.- Formulaciones empleadas en la segunda etapa de pruebas.

TERCERA ETAPA

El objetivo principal es evaluar la combinación de AO-1 y AO-3, utilizando lodo con base agua y bentonita Baramin al 8.5% en peso.

MATERIAL	FORMULACION CONC. g/lto.								
	I	II	III	IV	V	VII	VIII	IV	IX
AO-I	7.5	5	10	7.5	12	23	25	17	33
AO-3	7.5	10	5	17.5	23	12	25	33	17

Tabla 3.- Formulaciones empleadas en la tercera etapa de pruebas.

CUARTA ETAPA

Tuvo como objetivo básico evaluar el comportamiento de la combinación AO-2 y AO-3, empleando como lodo base agua con bentonita Baramin al 8.5% en peso.

MATERIAL	FORMULACION CONC. g/lto.								
	I	II	III	IV	V	VII	VIII	IV	IX
AO-2	7.5	5	10	17.5	12	23	25	17	33
AO-3	7.5	10	5	17.5	23	12	25	33	17

Tabla 4.- Formulaciones empleadas en la cuarta etapa de pruebas.

PROCEDIMIENTO:

Para la evaluación de los materiales obturantes se seleccionó la prueba estática en lecho de balines, con el objeto de simular la formación Toba Tala del campo primavera.

El equipo y material empleado para realizar esta prueba se menciona a continuación:

Celda de prueba

Manga de acrílico (73 mm de diámetro y 57 mm de altura)

Balines (95, de 14.3 mm de diámetro)

Recipiente graduado con capacidad de 4000 c.c.

Cilindro de N₂ como fuente de presión (0-2200 psi)

Dispersor de lodos Multimixer

Bentonita Baramin (CFE - Guadalajara).

El procedimiento de prueba (establecido en la norma API RP3b SEC.15) se describe brevemente a continuación.

Se prepara el lodo base consistente en bentonita al 8.5% en peso, este se deja en añejamiento durante 18 horas.

Se toman 3500 c.c. de lodo base y se le agrega una cantidad determinada del material obturante a evaluar. Después, se construye el lecho de balines vaciando éstos en la manga de acrílico obteniéndose un espesor de 57 mm. colocando éste lecho en el interior de la celda.

Con la válvula de la celda abierta y el recipiente graduado abajo de la descarga se procede a vaciar el fluido de prueba en el interior de la celda, registrándose el volumen que atravieza el lecho por la sola carga hidrostática del fluido.

Se coloca el pistón en la parte superior del fluido después la tapa de la celda, iniciando la aplicación de presión (2 psi/seg) hasta alcanzar 100 psi, se anota el volumen descargado de lodo. Nuevamente, se incrementa la presión (10 psi/seg) hasta alcanzar 1000 psi o detectar la falla de sello (anotando la presión máxima y el volumen de lodo desalojado). Si el sello soporta la presión por un espacio de 10 minutos, entonces se finaliza la prueba, anotando el volumen total de lodo desalojado y la presión final.

Al termino de la prueba se descarga la presión de la celda y se retira la manga de acrílico para examinar la apariencia y penetración del sello realizado por el material obturante.

RESULTADOS.

PRIMERA ETAPA

De los tres primeros materiales AO-1, AO-2 Y AO-3 y de los dos primeros evaluados a una presión de 0.15 psi, se descartó el continuar probando el AO-1 y AO-2 debido a que no desarrollaron un sello adecuado que soportara la mínima presión de la columna de lodo de casi 0.15 psi. De aquí que se optará por formular dos combinaciones de éstos y se evaluarán como única concentración 50 g/lto., estas produjeron sellos tan resistentes que se optó por formular una serie de combinaciones de estos materiales y evaluarlos por separado en las siguientes etapas de prueba.

Por otro lado, el material AO-3 desarrolló sellos con resistencias muy adecuadas para la diferentes presiones de prueba; 0.15, 100 y 1000 psi, estos controlaron la pérdida de lodo desde un 4% hasta un 60% de su volumen, respectivamente; y de acuerdo al incremento de la concentración del material en el lodo, lo cual es indicativo de que a medida que la presión aumenta, la distribución del material en el sello formado tiende a ser más homogénea proporcionándole así una mayor resistencia.

SEGUNDA ETAPA

El comportamiento de las formulaciones a base de AO-1 y AO-2, sometidas a la presión generada por el peso de la propia columna de lodo (0.15 psi), Fig IV.13 mostró características muy aceptables, pues redujo la pérdida de lodo notablemente hasta un 6% del volumen total del mismo. El comportamiento que se observó a 100 y 1000 psi, fue de que la pérdida de lodo disminuye al incrementar la relación de AO-2 en las formulaciones de prueba, siendo las mejores relaciones de 1 a 1 (AO-1:AO-2) y 1:2 (AO-1:AO-2), Fig. IV.14 y 15.

TERCERA ETAPA

La prueba y evaluación de las combinaciones a base de AO-1 y AO-3, mostro un excelente control de la pérdida de volumen de lodo (5%) al ser sometido sólo a 0.15 psi, notándose un mejor desempeño al emplear una relación 1:2 (AO-1:AO-3). Al incrementar la presión a 100 psi se observo el aumento de pérdida de volumen de lodo en un rango del 22% al 71%, de acuerdo con la concentración del material, aquí se evidenció que el sello se debilita hasta llegar a romperse para todas las relaciones. Excepto para la 1:2 (AO-1:AO-3). Al aplicar una presión de 1000 psi, se perdió entre el 55% y 94% del volumen de lodo debido al aumento de la relación del AO-1.

VOLUMEN INICIAL DE LODO DESALOJADO (ml. x 100)

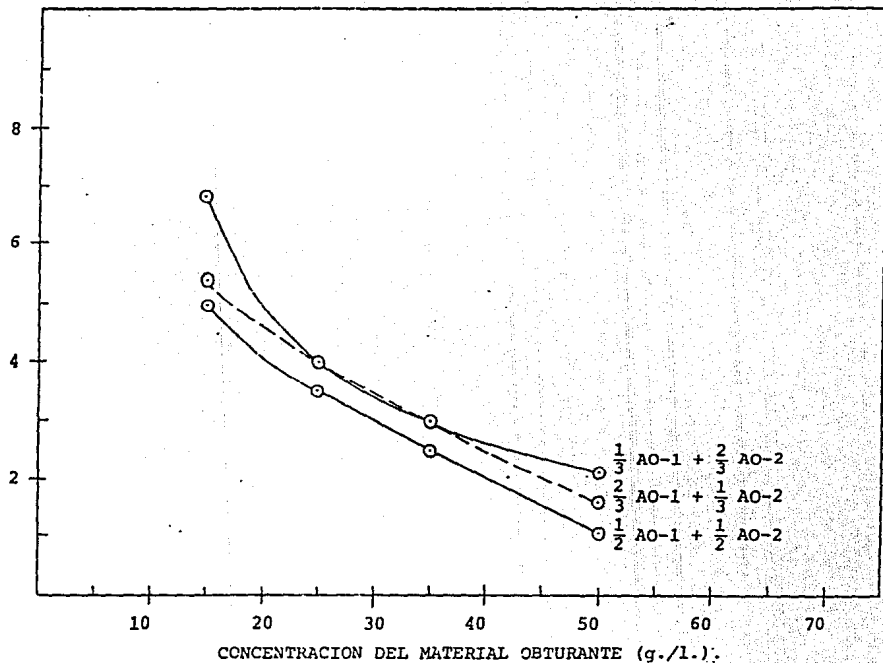


FIG. IV. 13 VARIACION DEL VOLUMEN INICIAL DE LODO DESALOJADO (por el peso del mismo) CON RESPECTO A LA CONCENTRACION DEL MATERIAL OBTURANTE: 2ª ETAPA. (PRUEBA ESTATICA CON LECHO DE BALINES).

VOLUMEN DE LODO DESALOJADO A 100 PSIG (ML. x 100)

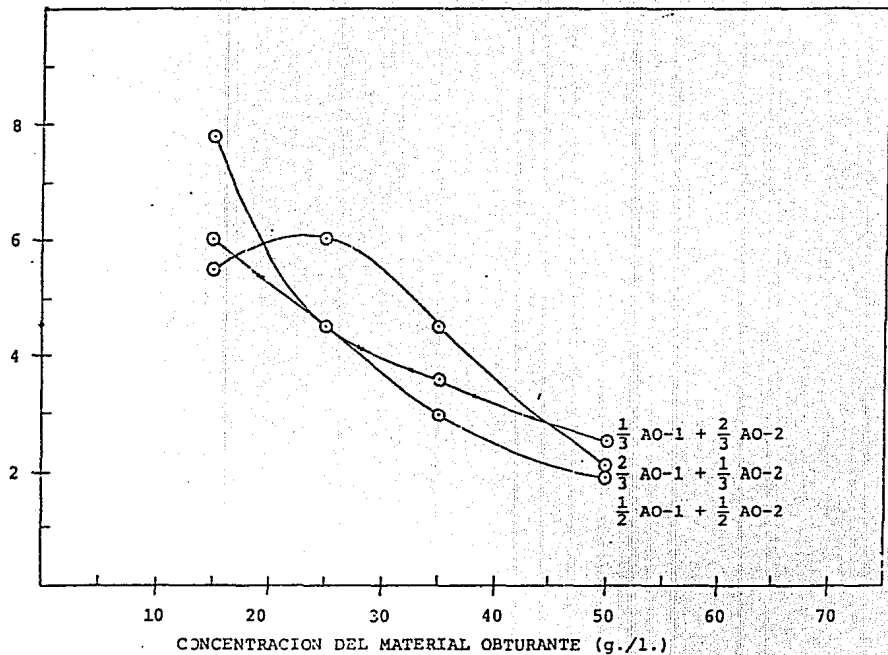


FIG. IV. 14

VARIACION DEL VOLUMEN DE LODO DESALOJADO (A 100 PSIG)
CON RESPECTO A LA CONCENTRACION DEL MATERIAL OBTURANTE:
2^a ETAPA.
(PRUEBA ESTÁTICA EN LECHO DE BALINES).

VOLUMEN FINAL DE LODO DESALOJADO A 1,000 PSIG.
(ml. x 100).

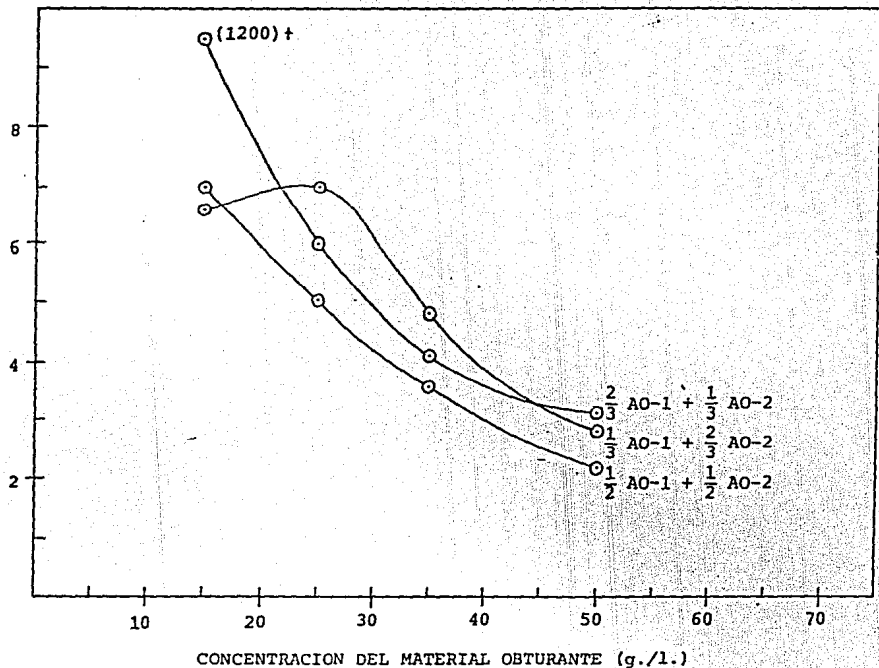


FIG. IV.15 VARIACION DEL VOLUMEN FINAL DE LODO DESALOJADO
(A 1,000 PSIG) CON RESPECTO A LA CONCENTRACION
DEL MATERIAL OBTURANTE: 2ª ETAPA.
(PRUEBA ESTATICA EN LECHO DE BĂLINES)

CUARTA ETAPA

El comportamiento observado por las formulaciones que emplearon AO-2 y AO-3 se consideró aceptable con respecto al evidenciado por las formulaciones empleadas en la tercera etapa.

CONCLUSIONES

Las pérdidas de circulación y la alta temperatura existente en la formación Toba Tala tiene una problemática tan severa que impiden los avances de perforación e incrementa notablemente los costos.

El tipo de fracturas aunado a la comunicación que existe entre ellas en la Toba Tala, provocan que cualquier técnica o método aplicable para solucionar este problema falle a menudo por no contar con los fluidos propios, por utilizar únicamente lodos bentoníticos, los cuales se gelatinizan e impiden la toma de registros eléctricos los cuales determinarían el comportamiento de la formación.

Para identificar mejor el comportamiento de esta formación es recomendable correr registros de inducción, rayos gamma, densidad, neutrón compensado y porosidad, para aplicar la técnica adecuada para resolver este problema.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Los lodos densificados con barita dieron resultados momentáneos para la obturación y al ser complementados con obturantes granulares, fibrosos y laminares crearon frentes en la formación para abatir las pérdidas de circulación.

Los cementos acelerados con yeso al 100%, sal al 2% y 3% con cloruro de calcio al 1 y 2%, resolvieron el problema en parte en fracturas con separación de 0.20 m, enviando como frentes materiales sólidos.

Se elaboró un programa detallado de pérdida de circulación en la perforación para mejorar y reducir los problemas relacionados con sus propiedades fisicoquímicas el cual se implemento con buenos resultados.

Mediante la prueba estática de balines realizada en laboratorio, esta arrojó buenos resultados, creando con ello la técnica de frentes de materiales obturante en las fracturas, para posteriormente aplicar las técnicas de taponamiento con diferentes composiciones de cemento.

Mediante la técnica de perforación a fondo perdido, se logro que los tiempos de construcción por pozo se realizaran de 9 meses de operación a 3 meses y medio.

La construcción de carcamos de almacenamiento con capacidad de 350 m cúbicos, resolvió el problema de escases de agua en el área.

La perforación con aire no funcionó adecuadamente en el área ya que provocó la creación de cavernas y más comunicación en las fracturas ya existentes, más aun creo más problemas en la zona de invasión de agua a los 250 m, teniendo que abandonar el pozo primavera No. 4.

RECOMENDACIONES

Emplear fluidos con propiedades cementantes en la Toba Tala y no únicamente el uso de lodos del tipo bentonítico, que en lugar de ayudar durante la perforación crean problemas de desestabilización en los poros de la formación en cuestión.

El empleo de ceniza volcánica del área mezclada con salmuera como fluido de perforación deberá ser estudiada para su aplicación en la formación Toba Tala.

Es conveniente la perforación con lodos aereados o espumas, los cuales deben de investigarse más a fondo para su aplicación en esta área.

Es recomendable la toma de registros eléctricos como el de inducción, rayos gamma, densidad, neutrón compensado y porosidad; estos se pueden llevar a cabo enfriando previamente el pozo, agregando hielo al fluido en las presas

y bombeando este al pozo antes de correr los registros citados para poder correrlos dentro de la Toba Tala.

Se deberán aplicar cementos de fraguado rápido en la Toba Tala y por ello se deberá investigar en laboratorio las dosificaciones que ayuden a obturar las fracturas tomando en cuenta la temperatura de 150 oC., existente en esta formación.

Se deberán correlacionar las técnicas aplicadas de cada uno de los pozos construidos para la aplicación de los métodos de obturación.

Los pozos inyectores deberán construirse y terminarse a 500 m más abajo de la terminación de la Toba Tala para evitar la contaminación de los acuíferos en la zona.

Se recomienda obturar perfectamente la zona de Toba Tala con cemento; durante el ademado de 20 pulgadas de diámetro y el de 13 3/8; con el fin de evitar una canalización de los fluidos de producción por fuera del pozo.

Se recomienda efectuar inyecciones de cementos especiales en la plataforma, alrededor del pozo, mediante la utilización de equipos pequeños; con el fin de reforzar la formación y evitar fugas de vapor por fuera del pozo. Estas inyecciones deberán estudiarse y aplicarse entre los 100 m, 50 m y 25 m.

Para evitar los daños al ecosistema deberán efectuarse programas de aplicación de impacto ambiental durante y después de la construcción de los pozos.

Se deberán establecer programas a detalle para la aplicación de las técnicas de obturación.

Se recomienda instalar otro diámetro de tuberías entre la de 20 pulgadas de diámetro y la de 13 3/8; con el fin de alcanzar a bajar más la tubería intermedia, para lograr cubrir totalmente la zona de Toba Tala, ya que de lo contrario se está dejando al descubierto aproximadamente 300 m con los programas mencionados en los primeros capítulos, creando problemas de comunicación entre las tuberías intermedia y la de explotación, que redundan en malas cementaciones y abandono de pozos por la canalización de los ademes, además de los colapsos que se propician por este mismo problema.

BIBLIOGRAFIA

Comisión Federal de Electricidad. "1a. Reunión Interdisciplinaria de actividades sobre el campo de los Azufres, Mich.

"How to Combat Circulation Loss". Oil and Gas Journal

"Lost Circulation can be Avoided or Minimized". World Oil - Mayo 1953.

New Methods Control Lost Circulation. Oil and Gas Journal.

Aguayo A. A. Cementos empleados en los pozos del campo Geotérmico de Azufres, Mich., C.F.E. Noviembre 1983.

G. Barroso A.S. Santoyo G., V. M. Arellano G. Evaluación de obturantes nacionales para el campo Geotérmico La Primavera, Jalisco, Informe I.I.E./11/1901/108/P, Enero 1985.

L. L. Carney, Robert L. Meyer. " Un nuevo concepto de fluidos de perforación para altas temperaturas". XV Congreso Nacional Tampico 1977.

Dominguez Aguirre B. Conferencia " La Geotermia un recurso disponible " Educon U.A.G. Febrero 1988.

Guillermo Medina O. " Evaluación Geoquímica preliminar de la zona geotérmica de la Primavera, Jalisco, México, Informe AVR10/86.

Malcom A. Goodman (1981) Lost Circulation Experience in Geothermal Wells. Proceedings of the International Conference on Geothermal Drilling and Completion Technology. Jan21-23. 23:1-18.

"La Primavera" Geothermal Development Project in United Mexican States, Report. Japan International Cooperation Agency. Feb. 1989.

Barroso G. H. Arellano. Santoyo S. Morales J. M. Baca A. " Estudio del diseño de lechadas específicas para el campo geotérmico La Primavera, Jal. Informe IIE/11/2005/1 04/F, Ene. 1986.

Billinston, S.A. " Practical Approach to Lost Circulation Problems ".

Howard, G.C. and Scott P.P. " An Analysis of Hydraulic fracturing " Petroleum Transaction AIME, 1957.

Dominguez Aguirre B. Conferencia " La Geotermia un recurso disponible " Educon U.A.G. Febrero 1988.

Guillermo Medina O. " Evaluación Geoquímica preliminar de la zona geotérmica de la Primavera, Jalisco, México, Informe AVR10/86.

Malcom A. Goodman (1981) Lost Circulation Experience in Geothermal Wells. Proceedings of the International Conference on Geothermal Drilling and Completion Technology. Jan21-23. 23:1-18.

"La Primavera" Geothermal Development Project in United Mexican States, Report. Japan International Cooperation Agency. Feb. 1989.

Barroso G. H. Arellano. Santoyo S. Morales J. M. Baca A. " Estudio del diseño de lechadas específicas para el campo geotérmico La Primavera, Jal. Informe IIE/11/2005/1 04/F, Ene. 1986.

Billinston, S.A. " Practical Approach to Lost Circulation Problems ".

Howard, G.C. and Scott P.P. " An Analysis of Hydraulic fracturing " Petroleum Transaction AIME, 1957.

Magcohar Operations Oilfield Products Division, " Drilling Fluid Engineering Manual ". Enero, 1972.

Rosas Márquez, J. A. " Memorias Técnicas de la Residencia de Perforación Guadalajara " C.F.E. 1986.

Pérez Mejía, G. " Curso de Herramientas Especiales de Terminación de Pozos ". Pemex - Zona Marina, Noviembre 1984.

Saúl Salgado, " Memorias Geológicas del campo La Primavera " C.F.E. 1987

Mc Cray and Cole F:W: " Oil Well Drilling Technology ", University of Oklahoma Press. Norman, Okla. 1958.

Halliburton Company. " Cementación Halliburton de pozos de petróleo mundialmente ", Petróleo Internacional, Julio 1980.