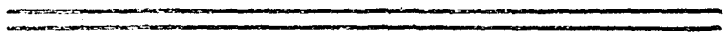


24.6

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO



FACULTAD DE INGENIERIA



TECNICAS PARA EL CONTROL DE  
PERDIDAS DE CIRCULACION

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO PETROLERO  
P R E S E N T A N:  
CORNEJO CASTRO SERGIO  
MORALES ROJAS JOAQUIN AURELIANO

MEXICO, D. F.

1987



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## C O N T E N I D O

	PAG.
Introducción.	
I.- Causas y efectos de las pérdidas de circulación . . . . .	1
II.- Tipos de formaciones en las que frecuentemente ocurren pérdidas. . . . .	42
III.- Métodos de detección de las zonas de pérdidas de circulación . . . . .	54
IV.- Técnicas y equipo para combatir las pérdidas de circulación . . . . .	61
V.- Materiales para combatir las pérdidas de circulación . . . . .	127
VI.- Selección de la técnica más adecuada a emplearse. . . . .	148
VII.- Ejemplos de aplicación . . . . .	164
Conclusiones . . . . .	204
Recomendaciones. . . . .	206
Referencias. . . . .	208

## INTRODUCCION.

La pérdida de circulación está definida como la pérdida de una parte o todo el volumen del fluido de perforación cuando se están perforando formaciones cavernosas, formaciones con fracturas naturales, formaciones con fracturas inducidas y formaciones no consolidadas; se presenta en forma paulatina, incrementándose a medida que se avanza en la perforación de la zona, o bien se presenta la pérdida total en forma repentina, y que frecuentemente origina cambios de programas de lodos de perforación, algunas veces de ademes.

Este problema es uno de los más graves que se presentan en la industria de la perforación; origina considerables retrasos e incrementa el costo por tiempo de equipo y de materiales obturantes, 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 más recientes de que se dispone para prevenir y controlar las pérdidas de circulación; proporcionando ejemplos reales con la finalidad de visualizar de una manera mejor su aplicación en la perforación petrolera y geotérmica.

## CAPITULO I

CAUSAS Y EFECTOS QUE ORIGINAN LA PERDIDA DE CIRCULACION.

## CAUSAS Y EFECTOS QUE ORIGINAN LA PERDIDA DE CIRCULACION

Las causas que originan una pérdida de circulación pueden presentarse de dos maneras: naturales o inducidas. Las naturales se presentan en formaciones con fracturas o cavernas inherentes a ellas, y las inducidas son aquellas que son provocadas por: presiones excesivas en el agujero y asentamiento de la tubería de revestimiento a profundidades inadecuadas.

### PRESIONES EXCESIVAS EN EL AGUJERO.

Las presiones excesivas en el fondo del pozo pueden provenir de diferentes fuentes, pero quizá la más importante es la presión hidrostática.

La presión hidrostática necesaria para contrarrestar la presión de los fluidos de la formación, puede ser su suficiente para fracturar formaciones superiores al fondo, es to da como resultado la pérdida de circulación y la presencia de un brote del pozo.

Causas por las cuales la presión de fondo puede incrementarse:

1. Alta gelatinosidad del lodo.
2. Acumulación de recortes en el agujero.

3. Excesiva velocidad de circulación.
4. Enjarre excesivo.
5. Restricción del espacio anular.
6. Sacar o introducir rápidamente la sarta de perforación u otras herramientas.
7. Empleo de lastrabarrenas de sobremedida.
8. Alta densidad del fluido de perforación.
9. Alta viscosidad del fluido de perforación.

#### ALTA GELATINOSIDAD.

La resistencia del gel es usado para describir la gelatinosidad del lodo que ha sido dejado reposar por un pe ríodo de tiempo. Las funciones de la gelatinosidad son: evi tar que los recortes se asienten en el fondo del pozo cuando por alguna razón se detiene la perforación y la circulación del fluido de perforación, manteniéndolas en suspen sión. La gelatinosidad puede ser frágil o progresiva, la frágil tiene valores iniciales medios y sufre pequeños in crementos en su determinación final, mientras que la progre siva reporta valores iniciales bajos y valores finales ele vados, corriéndose riesgos de fracturar la formación por pistonco al bajar la tubería de perforación o alcanzar pre siones de bombeo muy elevadas en el intento de romper circ

lación, incrementándose la presión sobre las paredes del pozo, este parámetro se suma a la presión ejercida por la columna hidrostática del fluidos de perforación; también se pueden ocasionar derrumbes de las paredes del pozo al sacar tubería por efectos de succión.

#### ACUMULACION DE RECORTES EN EL AGUJERO.

El llevar los recortes del fondo del agujero hasta la superficie, es una de las funciones más importantes de los fluidos de perforación. El fluido cuando sale 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.

La eficiencia de la remoción de los recortes es una función directa de la capacidad de acarreo del fluido de perforación, la cual depende de los siguientes factores:



- a) Densidad del fluido de perforación.
- b) Viscosidad del fluido de perforación.
- c) Tipo de flujo (laminar o turbulento).
- d) Tamaño y forma de las partículas.
- e) Rotación de la tubería de perforación.
- f) Relación de densidad de los sólidos entre la densidad del fluido de control.
- g) Punto de cedencia.

Algunos investigadores han concluido que la limpieza del fondo del pozo se maximiza, al maximizar la fuerza de impacto hidráulico del chorro contra el fondo del agujero.

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 por fricción en el sistema circulatorio, alcanzando presiones de bombeo mucho más altas e incrementando la presión sobre la pared del pozo (densidad equivalente de circulación); lo cual puede provocar la ruptura de la formación resultando esto en una pérdida de circulación.

### EXCESIVA VELOCIDAD DE CIRCULACION.

Antes de que se introdujeran las barrenas de chorro, las bombas se operaban usualmente al gasto correspondiente a la mínima velocidad anular requerida para levantar los recortes; actualmente esta práctica continúa hasta cierto punto.

Si las toberas se calculan de tal forma que la presión superficial (con el gasto mínimo óptimo) sea igual a la presión superficial máxima permisible, entonces la velocidad en las toberas será la máxima que pueda alcanzarse y aún levantar los recortes.

Por lo tanto, si tenemos una velocidad excesiva tendremos mayores pérdidas por fricción incrementándose considerablemente la densidad equivalente de circulación, la cual trae como consecuencia un aumento sobre la formación expuesta, con el riesgo de romper la misma.

### ENJARRE EXCESIVO.

Los fluidos de perforación tienen la cualidad de sellar las formaciones permeables expuestas por la barrena, - debido a la formación de una delgada película de lodo en la pared del pozo llamada enjarre, esta película se va formando a medida que la perforación avanza; este revestimiento -

de lodo, arcilla y coloide se forma por el efecto de filtración originado por la presión de la columna hidrostática -- del lodo de perforación, separando algo del agua que se filtra a la formación. La película del lodo que enjarra la pared del pozo y retiene partículas sueltas de materiales, - protege la pared del agujero de la erosión ocasionada por - el flujo del lodo de perforación y ayuda a sellar y reducir la pérdida de filtrado en las formaciones permeables. Se requiere una baja permeabilidad del filtrado en el enjarre para no dañar la formación en el caso de ser productora.

Para la formación del enjarre es esencial que el lodo contenga partículas sólidas en suspensión para obturar - los poros de la formación, estos sólidos hacen un puente hacia la formación ya que son entrapados en la superficie de los poros expuestos, los sólidos más finos son los primeros en llegar al fondo de la formación; la zona taponada en la superficie de los poros comienza a detener sucesivamente -- partículas sólidas y en seguida sólo líquidos invaden la - formación.

La alta temperatura reduce la viscosidad del componente líquido por lo que aumenta la pérdida de agua e incrementa la formación del enjarre.

La permeabilidad del enjarre depende del tamaño de las partículas sólidas distribuidas en el lodo y de sus con

diciones electroquímicas; en forma general, entre mayor sea el número de sólidos con propiedades coloidales en el fluido, la permeabilidad del enjarre disminuye. La presencia de sales solubles en el lodo incrementa rápidamente la permeabilidad del enjarre, pero los coloides orgánicos disminuyen la permeabilidad del enjarre frente a soluciones saturadas de sal, aunque la permeabilidad del enjarre decrece muy poco, ya que al disminuir el tamaño de las partículas se dispersan los agregados de las arcillas. Cuando se perforan formaciones con poros demasiado pequeños para permitir el paso de los sólidos del fluido, la parte líquida del fluido (filtrado) penetra a la formación y los sólidos del fluido (enjarre) se depositan sobre la pared del pozo (Fig. I.1).

Un enjarre demasiado grueso provoca fricciones al sacar tubería del pozo, asimismo al meter la barrena u otra herramienta, se encuentran resistencias provocando cambios bruscos de presión; el efecto de "succión" puede provocar un reventón y los efectos de "pistoneo" originan pérdidas de circulación.

Además de todo lo anterior, un volumen grande de filtrado daña a la formación cuando la parte líquida no es compatible con la zona productora o también puede formar cavernas.

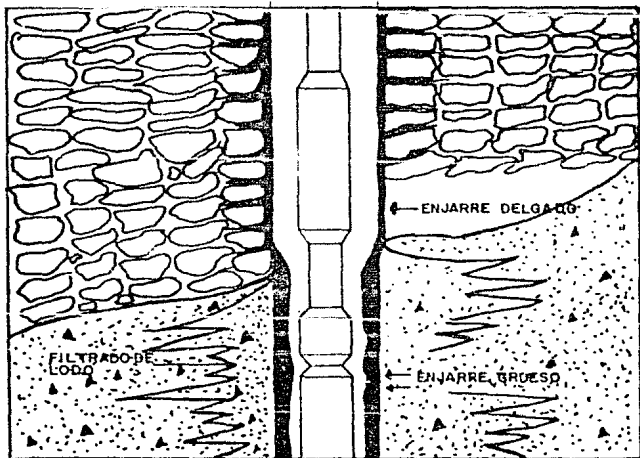


FIGURA - I - I

#### RESTRICCIONES DEL ESPACIO ANULAR.

Los hules protectores en la tubería de perforación para evitar el desgaste de las tuberías de revestimiento al estar rotando la tubería de perforación, en ocasiones se abusa de ellos colocando demasiados hules sobre todo en pozos direccionales por lo que se reduce el espacio anular, con el consecuente incremento de la caída de presión en cada restricción del espacio anular, y esto trae como consecuencia incrementar la presión de bombeo para obtener el eficiente acarreo de los recortes.

#### 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 herramientas (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 pueden causar una fractura inducida perdiendo el fluido de perforación; la pérdida puede presentarse en forma parcial o total, según la severidad del caso.

#### EMPLEO DE LASTRABARRENAS DE SOBREMEDIDA.

Al reducir el espacio anular entre la pared del agujero y los lastrabarrenas, las caídas de presión por fricción se incrementan afectando directamente la presión de descarga de la bomba de lodos, alcanzando una presión de bombeo mayor, la cual puede alcanzar valores mayores de la presión de la presión de fractura de la formación.

#### ALTA DENSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACION.

Una de las funciones del fluido de control es contrarrestar las presiones subsuperficiales y la densidad es el medio por el cual se logra obtener la presión requerida para mantener controladas dichas presiones subsuperficiales. La densidad está expresada en términos de masa por unidad de volumen, 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 son necesarias densidades más altas que la del agua para controlar las presiones subsuperficiales en el fondo del agujero.

Cuando el valor de la densidad es muy alto, la presión hidrostática del fluido de control sobre la formación puede provocar una 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.

#### 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 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 sobre la velocidad de perforación se debe a varias causas:

1. Al aumentar la viscosidad disminuye la eficiencia hidráulica de las bombas de lodo.



2. Al aumentar la viscosidad se incrementan las - pérdidas de presión por fricción en el sistema circulatorio, lo cual significa inadecuada limpieza del fondo del agujero.
3. La alta viscosidad proporciona un colchón visco- so 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 puede fracturar causando la pérdida de circulación.

#### ASENTAMIENTO DE LA TUBERIA DE REVESTIMIENTO A PROFUNDIDADES INADECUADAS.

Las tuberías de revestimiento las podemos clasifi-- car de acuerdo a su colocación:

- Tubería conductora.- Su función es conducir o - transportar el lodo de perforación a las presas de asenta-- miento y succión, básicamente es para establecer un sistema circulatorio que esté transportando los recortes de la for-- mación hacia la superficie. No se tienen instalaciones de control (preventores) por no ser necesarios.

- Tubería superficial.- Sirve de base para los pri-- meros preventores y continuar la perforación; sostener me--

diante cuñas las subsecuentes tuberías de revestimiento que se utilizarán en el pozo; aislar formaciones deléznables y acuíferos superficiales.

- Tubería intermedia.- Sus objetivos son los de -- aislar la formación perforada; permitir elevar la densidad del fluido de control en caso de ser necesario; proteger la tubería de perforación en caso de problemas; permitir anclar la siguiente tubería de revestimiento que se introduzca al pozo.

- Tubería de explotación.- Sus funciones son: tener control del yacimiento por explotar; explotar el yacimiento; anclar herramientas.

- Tubería corta.- Evitar problemas en la perforación del pozo como evitar pérdidas de lodo, pegaduras; permitir incrementar el valor de la densidad del lodo en zonas altamente geopresionadas o disminuirla en zonas bajamente geopresionadas; revestir agujeros que se perforaron con menor diámetro, por falta de capacidad del equipo o por la necesidad de profundizar el pozo.

En la mayoría de los casos las pérdidas de circulación en fracturas inducidas ocurren debido a que la tubería de revestimiento fue colocada demasiado arriba, dejando al descubierto una formación de baja presión, la cual se puede

fracturar cuando la densidad se incrementa al valor requerido para continuar la perforación de la siguiente etapa.

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 casi seguro que se presenten pérdidas al salir de la zapata.

### DETERMINACION DEL GRADIENTE DE FRACTURA.

Calculando los gradientes de presión de poro y de -- fractura, se pueden graficar estos dos valores en el eje de -- las abscisas contra la profundidad en el eje de las ordenadas, y de esta manera se determina, tanto la densidad más adecuada del fluido de perforación como el asentamiento de las tube -- rías de revestimiento. El valor de la densidad del lodo será de tal magnitud que controle el gradiente de presión de forma -- ción, pero que no rebase el gradiente de presión de fractura -- esto último con objeto de no inducir una pérdida de circula -- ción.

### CONCEPTOS.

**PRESION HIDROSTATICA.-** Esta presión es generada por una columna vertical de un fluido sobre una unidad de área.

**PRESION DE SOBRECARGA.-** Esta presión es generada por el peso acumulado de las formaciones por encima de la profundidad vertical considerada por unidad de área.

**PRESION DE FORMACION.-** Es aquella a la cual se en -- cuentra confinados los fluidos dentro de la formación, llama -- da también presión de poro y presión normal de formación o -- presión anormal de formación (geopresión).

**PRESION NORMAL DE FORMACION.-** Es la que genera una -- columna de agua con densidad entre 1.07 a 1.077 gr/cc. para -- áreas de la costa y costa afuera del Golfo de México, para -- áreas continentales oscila entre 1.0 a 1.05 gr/cc.

**PRESION ANORMAL DE FORMACION (GEOPRESION).**- Se define como el sistema roca-fluido localizado bajo la superficie terrestre, en el cual la presión del fluido contenido en la roca es mayor que la presión hidrostática ejercida por una columna de agua de formación.

**PRESION DE FRACTURA.**- Es aquella a la cual la roca cede al menor esfuerzo encontrado en el subsuelo.

#### METODOS PARA DETERMINAR LA PRESION DE FRACTURA.

**METODO DE HUBBERT Y WILLIS.**- Estos autores dicen que el gradiente de fractura es una función del gradiente del esfuerzo de sobrecarga, presión de formación y una relación entre el esfuerzo horizontal y vertical. Consideran que la relación de esfuerzos para encontrarse, está en el rango de 1/3 a 1/2 de la sobrecarga total.

La determinación del gradiente de fractura según Hubbert y Willis se puede realizar con las siguientes ecuaciones:

$$\frac{P}{D} \text{ (mín.)} = \frac{1}{3} \left( \frac{Sz}{Z} + \frac{2p}{Z} \right) \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{P}{D} \text{ (máx.)} = \frac{1}{2} \left( \frac{Sz}{Z} + \frac{2p}{Z} \right) \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

$\frac{P}{D}$  Gradiente de presión de fractura, (lb/pg<sup>2</sup>).

P Presión de fractura, (lb/pg<sup>2</sup>).

$Z$  Profundidad, (pies).

$S_z$  Sobrecarga a la profundidad  $Z$ , ( $\text{lb/pg}^2$ ).

$p$  Presión de poro, ( $\text{lb/pg}^2$ ).

Si se supone un gradiente de esfuerzo de sobrecarga ( $S_z$ ) de --  
1  $\text{lb/pg}^2/\text{pie}$ , entonces, las ecuaciones (1) y (2) se reducen a:

$$\frac{P}{D} = \frac{1}{3} \left( 1 + \frac{2p}{Z} \right) \quad (\text{Mín.}) \dots \dots \dots (3)$$

$$\frac{P}{D} = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2p}{Z} \right) \quad (\text{Máx.}) \dots \dots \dots (4)$$

Hubbert y Willis hicieron la suposición en estas ecuaciones, que la relación de esfuerzos y el gradiente de sobrecarga son constantes para toda la profundidad.

METODO DE MATTHEWS Y KELLY.- Dicen que la cohesión de la matriz de la roca, puede ser relacionada al esfuerzo de la matriz y que varía solamente con el grado de compactación. Matthews y Kelly desarrollaron la siguiente ecuación, para calcular el gradiente de fractura en formación sedimentaria.

$$F = \frac{p}{D} + \frac{K_i \sigma}{D} \quad \dots \dots \dots (5)$$

Donde;  $p$  Presión de formación en el punto de interés, ( $\text{lb/pg}^2$ ).

$D$  Profundidad en el punto de interés, (pies).

$\sigma$  Esfuerzo de la matriz en el punto de interés, ( $\text{lb/pg}^2$ ).

$K_i$  Coeficiente del esfuerzo de matriz para la profundidad, en la cual el valor de  $\sigma$  sería el esfuerzo

de la matriz normal, adimensional.

F Gradiente de fractura en el punto de interés, (lb/pg<sup>2</sup>/pie)

El coeficiente de esfuerzo de la matriz relaciona el esfuerzo de la matriz a las condiciones actuales de la formación a las condiciones de esfuerzo de matriz si la formación estuviera normalmente compactada.

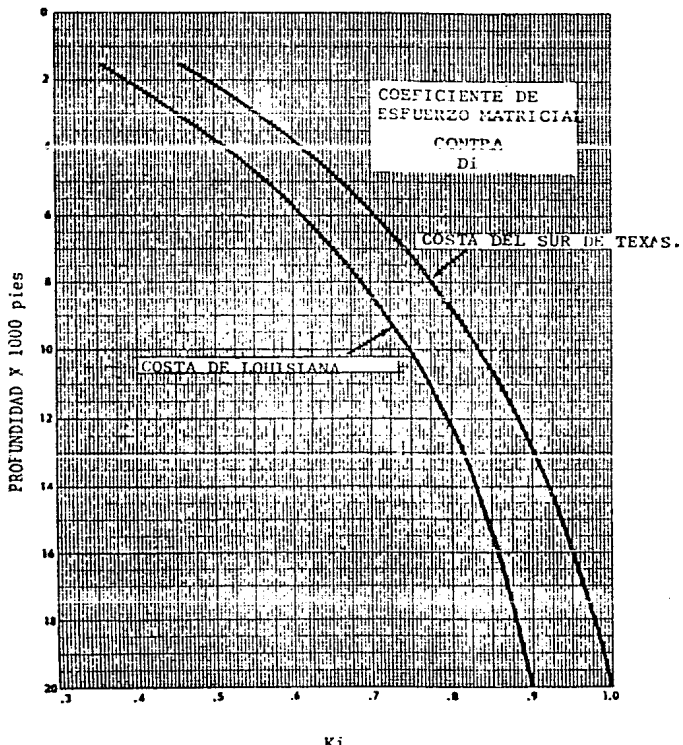
Los autores piensan que las condiciones necesarias para fracturar la formación le serían similares a las de la formación que está normalmente compactada.

La gráfica del coeficiente de esfuerzo de la matriz contra la profundidad es presentada en la figura I.2, como -- puede observarse en esta gráfica, los autores piensan que el coeficiente varía con las diferentes condiciones geológicas. Los valores mostrados fueron obtenidos por la substitución de los datos de campo actuales de la presión de rompimiento en la ecuación (5) y resolviendo para  $K_i$ .

El procedimiento para calcular el gradiente de fractura, usando la técnica de Matthews y Kelly es el siguiente:

1.- Obtener la presión del fluido de formación (p), - esto puede ser por medio de cualquier método adecuado.

2.- Obtener el esfuerzo de la matriz usando la ecuación (5), y suponiendo un gradiente de sobrecarga de 1 lb/pg<sup>2</sup>/pie.





$$\sigma = S - p \quad \dots\dots\dots (6)$$

3.- Determinar la profundidad  $D_i$ , para la cual el esfuerzo de la matriz  $\sigma$  sería el valor normal. Hacer uso de la suposición de la presión de sobrecarga de 1 lb/pg<sup>2</sup>/pie, de to do esto queda que:

$$0.535 D_i = \sigma \quad \dots\dots\dots (7)$$

De la cual el valor de  $D_i$  puede ser encontrado.

4.- Usar el valor de  $D_i$ , aplicarlo a la figura I.2 - para obtener el correspondiente valor de  $K_i$ .

5.- Aplicar los valores de  $D$ ,  $\sigma$ ,  $p$  y  $K$  ya obtenidos, proceder a calcular el valor de el gradiente de fractura  $F$ .

METODO DE EATON.- Los conceptos de Matthews y Kelly fueron ampliados por Eaton, para introducir la relación de -- Poisson dentro de la expresión para calcular el gradiente de presión de fractura.

$$F = \frac{P}{D} + \left( \frac{S}{D} - \frac{P}{D} \right) \left( \frac{\sqrt{1-\nu}}{1-\nu} \right) \quad \dots\dots\dots (8)$$

Donde;

$\frac{P}{D}$  Gradiente de presión de formación, (lb/pg<sup>2</sup>/pie).

$\frac{S}{D}$  Gradiente de presión de sobrecarga, (lb/pg<sup>2</sup>/pie).

$\nu$  Relación de Poisson, Adimensional.

$\frac{P_f}{D}$  Gradiente de presión de fractura, (lb/pg<sup>2</sup>/pie).

Eaton supone que el esfuerzo de sobrecarga y la relación de Poisson varían con la profundidad.

Para determinar la sobrecarga, se puede utilizar los datos disponibles del área que indican la densidad global de la formación o bien se usa la densidad global de la formación leída del registro de densidad compensado.

Para áreas continentales se puede calcular por medio de la ecuación:

$$\frac{S}{D} = 0.1 \sum_{i=1}^n \rho_n \quad \dots\dots\dots(9)$$

Para campos en áreas marinas la ecuación sería:

$$\frac{S}{D} = \frac{0.1}{H} \left[ \rho_w H_w + \left( \frac{\sum \rho_n}{n} \right) H' \right] \quad \dots\dots\dots(10)$$

Donde:  $H = H_w + H'$

H Profundidad vertical a partir del nivel del mar, (m)

H<sub>w</sub> Tirante de agua medido desde el nivel del mar hasta el lecho marino, (m).

H' Profundidad vertical a partir del lecho marino, (m).

$\rho_n$  Densidad global de la formación (gr/cc).

$\frac{S}{D}$  = Gradiente de presión de sobrecarga.

$\rho_w$  Densidad del agua marina (gr/cc).

### DETERMINACION DEL GRADIENTE DE FORMACION.

La presión de formación la podemos determinar :

ANTES DE LA PERFORACION.- Del análisis de datos sísmicos y referencias de pozos.

DURANTE LA PERFORACION.- Interpretando el registro - de los parámetros de perforación.

a).- Exponente "dc".

b).- Sigmalog.

DESPUES DE LA PERFORACION.- De la evaluación de los registros tomados al final de cierta fase de perforación.

En este trabajo estudiaremos los métodos más usados en la Industria Petrolera Mexicana como son: la determinación del exponente "dc" y la evaluación de los registros geofísicos.

La ecuación utilizada para el cálculo del exponente "dc", cuando se dispone de datos de perforación, tales como: diámetro de la barrena, velocidad de penetración, densidad -- equivalente de presión en el fondo del agujero, peso sobre la barrena y revoluciones por unidad de tiempo, es la siguiente:

$$dco = \frac{\log \left( \frac{R}{60 N} \right)}{\log \left( \frac{12 W}{10^6 Db} \right)} \frac{f_{ne}}{e} \dots\dots\dots (11)$$

Donde:

dc Exponente de perforabilidad corregido por densidad equivalente del lodo, (adimensional).

R Velocidad de penetración, (pie/hr).

N Velocidad de rotaria, (rpm).

W Peso sobre la barrena, (lb).

Db Diámetro de la barrena, (pg).

$\rho_{ne}$  Gradiente de presión normal de formación, expresado en densidad equivalente, (gr/cc).

$\rho_e$  Densidad equivalente del fluido de perforación - en el fondo del pozo al estar perforando, (gr/cc).

$$\rho_e = \rho_1 + 10 \Delta P_f / hm$$

hm Profundidad vertical, (m).

$\Delta P_f$  Caída de presión por fricción, con circulación -- normal en el espacio anular, desde el punto de interés hasta la superficie, (kg/cm<sup>2</sup>).

$\rho_1$  Densidad del lodo, (gr/cc).

1.- Una vez obtenidos varios valores del exponente -- "dc", en zonas lutíticas y a diferentes profundidades, se grafican éstos contra la profundidad en una hoja semilogarítmica; en el eje de las ordenadas la profundidad y en el eje de las abscisas (escala logarítmica) los valores del exponente "dc".

2.- Trazar la tendencia normal de compactación de las lutitas para el área en estudio. La tendencia normal de compactación es que los valores del exponente "dc" aumenten con

la profundidad en zonas lutificas de presión normal.

3.- Localizar las zonas anormalmente presionadas, -- observando la divergencia en la gráfica de los valores calculados del exponente "dcn", respecto a los puntos de la tendencia normal que generalmente se comporta como una línea recta.

4.- Utilizar la ecuación propuesta por Eaton:

$$\frac{P}{D} = \frac{S}{D} - \left[ \frac{S}{D} - \left( \frac{P}{D} \right)_N \right] \left( \frac{dcn}{dcn} \right)^\alpha \dots \dots \dots (12)$$

Donde:

$\left( \frac{P}{D} \right)_N$  Gradiente de presión de formación normal, (lb/pg<sup>2</sup>/pie).

dcn Exponente de perforabilidad leído en la tendencia normal de compactación, (adimensional).

$\alpha$  Parámetro de ajuste dependiendo del área en estudio y puede determinarse, haciendo mediciones directas de la presión de formación a diferentes intervalos, o prueba de presión de fractura (geot), también a diferentes profundidades. Se ha tomado 1.2, como lo determinó Eaton para E.U.

DETERMINACION DE LA PRESION DE FORMACION, POR MEDIO DE LA EVALUACION DE LOS REGISTROS GEOFISICOS Y UTILIZANDO EL METODO DE EATON.

Los registros geofisicos usados, son los que se toman

después de haber perforado un intervalo o parte del pozo. Es tos registros pueden ser el sónico de porosidad o inducción, que generan valores de tiempo de tránsito o resistividades -- (conductividad) según sea el caso.

REGISTRO SONICO DE POROSIDAD.- Se requieren lecturas del tiempo de tránsito en zonas lutificas lo más puras posibles. El tiempo de tránsito está en función de la compactación de las formaciones y depende por lo tanto, de la velocidad de propagación de las ondas sonoras. En consecuencia, el tiempo de tránsito en una zona normalmente presionada, donde la compactación aumenta con la profundidad, significa que dicho tiempo disminuirá con la profundidad, debido a que hay -- más compactación y la velocidad de propagación del sonido es mucho más rápida. Esto quiere decir que la tendencia normal de compactación para el tiempo de tránsito es de mayor a menor con la profundidad

Pasos a seguir cuando se dispone del registro Sónico de porosidad:

1.- Leer los valores de tiempo de tránsito en zonas lutificas, del registro Sónico de Porosidad.

2.- Graficar estos dos valores en escala logarítmica en el eje de las abscisas contra la profundidad en el eje de las ordenadas en coordenadas cartesianas.

3.- Trazar la tendencia normal de compactación de las

lutitas para el área en estudio. Para este caso, los valores del tiempo de tránsito en zona de presión normal, disminuyen con la profundidad.

4.- Localizar las zonas anormalmente presionadas don de los valores leídos del registro, diverjan hacia la derecha de la tendencia normal de compactación.

$$\frac{P}{D} = \frac{S}{D} - \left[ \frac{S}{D} - \left( \frac{P}{D} \right)_N \right] \left[ \frac{\Delta t_n}{\Delta t_0} \right]^\alpha \dots\dots\dots (13)$$

Generalmente  $\alpha = 3.0$  ó muy cercano y depende del área en estudio.

Donde:

- $\Delta t_n$  Tiempo de tránsito que tendrá la lutita en una -- área determinada si tuviera presión normal, leído de la tendencia normal de compactación, ( $\mu\text{seg.}$ ).
- $\Delta t_0$  Tiempo de tránsito de la lutita, leído del registro sónico de porosidad, ( $\mu\text{seg.}$ ).

REGISTRO DE INDUCCION.- Se requieren lecturas de las resistividades o conductividades en zonas lutíticas. Para -- una zona normalmente compactada con presión normal, la resistividad en las lutitas aumenta con la profundidad y respecto a conductividad en la tendencia normal de compactación disminuye con la profundidad y en consecuencia, dependiendo del registro de que se trate, habrá una inversión de tendencias.

Los pasos a seguir para determinar las presiones de

de formación y fractura, son similares a la del registro Sónico de Porosidad.

Cuando se grafican conductividades de lutitas, puesto que su tendencia normal disminuye con la profundidad, la zona de alta presión se detectará donde los puntos comienzan a diverger hacia la derecha de dicha tendencia. Cuando se grafican resistividades su tendencia normal se incrementa con la profundidad, y la zona de alta presión se detectará cuando los valores graficados empiecen a abrirse hacia la izquierda de la tendencia normal de compactación.

Cuando se grafica conductividad en el eje logarítmico de la abscisas contra la profundidad en el eje de las ordenadas en coordenadas isométricas, la ecuación que rige el cálculo de presión de formación utilizando el método de Eaton, es la siguiente:

$$\frac{P}{D} = \frac{S}{D} - \left[ \frac{S}{D} - \left( \frac{P}{D} \right)_N \right] \left[ \frac{C_n}{C_0} \right]^\alpha \dots\dots\dots (14)$$

Ahora bien, si lo que se está graficando es resistividades de las lutitas en el eje logarítmico de las abscisas contra profundidad en el eje de las ordenadas y en coordenadas isométricas, la ecuación para calcular la presión de formación es la siguiente:

$$\frac{P}{D} = \frac{S}{D} - \left[ \frac{S}{D} - \left( \frac{P}{D} \right)_N \right] \left[ \frac{Rho}{Rhn} \right]^\alpha \dots\dots\dots (15)$$



También en las ecuaciones (14) y (15) generalmente  $\alpha = 1.2$  ó muy cercano, pero dependerá prácticamente del -- área en estudio.

#### GRADIENTE DE PRESION DE FRACTURA.

Una vez calculados los gradientes de presión de sobrecarga y de poro, contando con datos disponibles de la relación de Poisson, está todo listo para calcular la presión de fractura con la siguiente ecuación:

$$\frac{Pf}{D} = \left[ \frac{S}{D} - \frac{P}{D} \right] \frac{\sqrt{V}}{1 - \sqrt{V}} + \frac{P}{D} \quad \dots\dots\dots (16)$$

Sin embargo, es muy común que no se conozca la relación de Poisson a cada una de las profundidades de interés dependiendo del tipo de formación, entonces lo más exacto sería realizar pruebas en el laboratorio de esas rocas simulando las condiciones tanto de esfuerzos como de temperatura a la que está sometida dicha roca. Esas condiciones no es sencillo llevarlas a cabo, por tal motivo hacer este tipo de pruebas no resulta nada sencillo cuando no se tiene el equipo necesario.

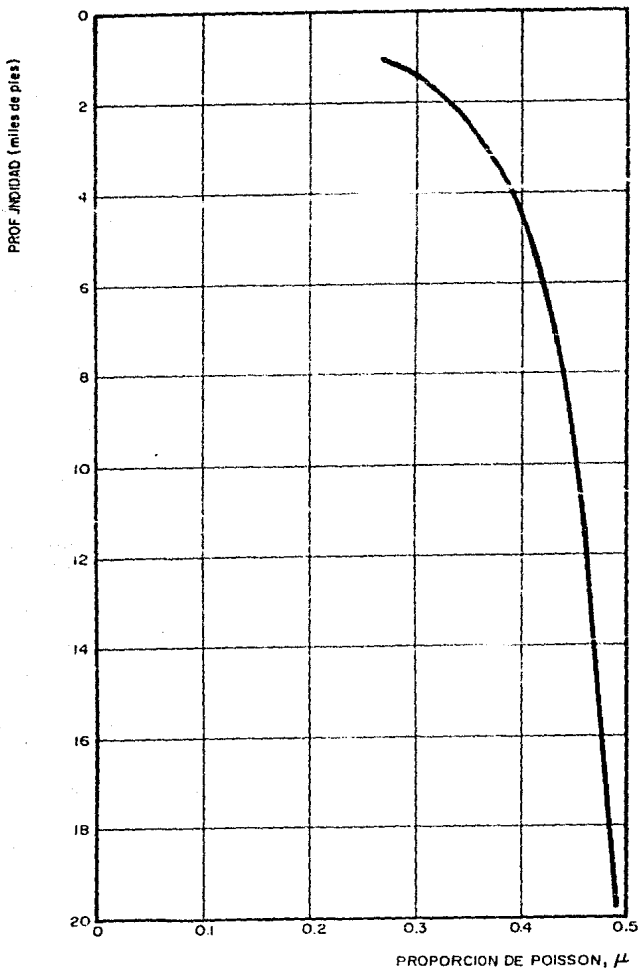
Otra forma de conocer la relación de Poisson de un área determinada, es realizar varias pruebas de admisión a diferentes profundidades, despejando de la ecuación (16) la relación de Poisson  $\sqrt{V}$ , se podrá conocer sus valores a las condiciones a que está sometida la roca y la exactitud del valor de  $\sqrt{V}$ , dependerá de la veracidad de S/D, P/D Y PF/D. Si

no es posible obtener  $\sqrt{\nu}$  de esta forma, entonces se puede realizar de la siguiente manera:

Para solucionar la ecuación (16) sólo resta conocer la relación de Poisson  $\sqrt{\nu}$ . Eaton, en su artículo "Predicción del gradiente de fractura y su aplicación en operaciones de campo", utilizando el segundo método propuesto aquí anteriormente para el cálculo de  $\sqrt{\nu}$ , obtuvo para la Costa del Golfo, una gráfica de la relación de Poisson en el eje de las abscisas contra la profundidad en el eje de las ordenadas, figura I.3. En esta figura están graficadas dos curvas: la de la izquierda, al sustituir valores en la ecuación (16) se supone un valor del gradiente de sobrecarga,  $S/D = 1 \text{ lb/pg}^2/\text{pie}$  para calcular y graficar  $\sqrt{\nu}$ . En la curva del lado derecho se toma un gradiente de sobrecarga variable con la profundidad para sustituirlo en la ecuación (16), y así calcular y graficar  $\sqrt{\nu}$ ; esta segunda curva es una media de diferentes gradientes de sobrecarga de varios pozos analizados en la Costa del Golfo.

Es importante observar que el valor máximo que podrá adquirir la relación de Poisson  $\sqrt{\nu}$ , es de 0.5 (figura I.3), - puesto que con este valor se ha llegado al límite máximo de compresibilidad.

Cuando se dispone de valores reales del gradiente de sobrecarga para un área en estudio, la curva que deberá uti-



**FIG. I-3 VARIACION DE LA RELACION POISSON CON LA PROFUNDIDAD**

lizarse al calcular  $\sqrt{\quad}$ , será la del lado derecho de la figura I.3 o la ecuación que la representa:

$$\sqrt{\quad} = 0.126 \text{ (hm)}^{0.158}$$

Cuando se supone el gradiente de sobrecarga constante e igual a  $1 \text{ lb/pg}^2/\text{pie}$ , el error que se cometerá es mínimo; la curva del lado izquierdo está representada por la siguiente ecuación:

$$\sqrt{\quad} = 0.0623 \text{ (hm)}^{0.2352}$$

Entonces, se puede calcular el gradiente de fractura, sustituyendo los valores del gradiente de sobrecarga obtenido con la ecuación 9 ó 10; el gradiente de presión de formación que se obtuvo de las ecuaciones 12, 13, 14 ó 15; la relación de Poisson calculada de la ecuación (17), si la sobrecarga es variable, o la ecuación (18) si la sobrecarga es constante e igual a  $1 \text{ lb/pg}^2/\text{pie}$ .

### PRUEBA DE GOTEO.

#### PROCEDIMIENTO.

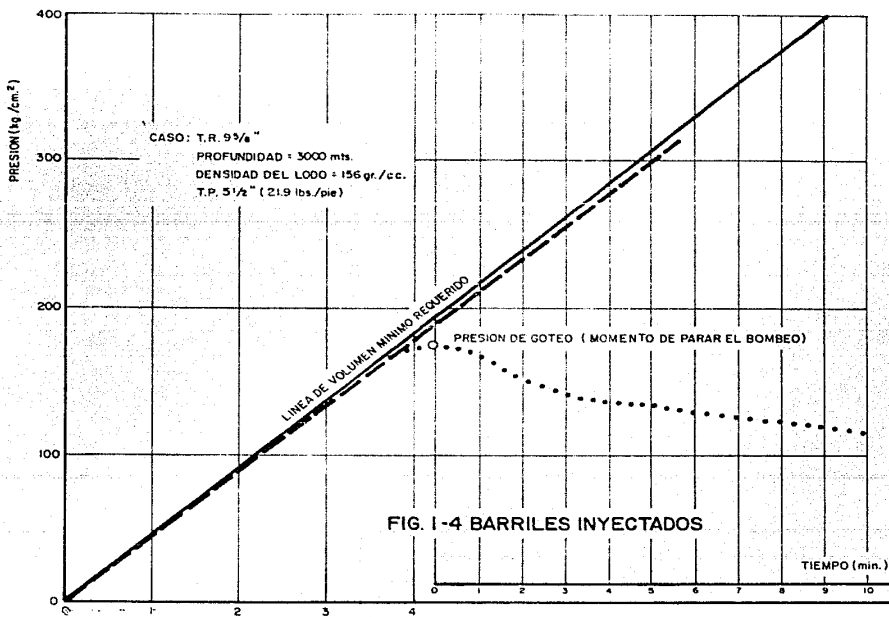
La prueba de presión en un pozo, se realiza bajando la barrena hasta la zapata de la última tubería de revestimiento, acondicionar el lodo, cerrar preventores, y bombear lentamente por T.P. o por espacio anular, hasta que la presión alcance un valor máximo anticipado o la presión de goteo anticipada para agujeros no ademados.

La presión de goteo es aquella a la cual, la formación expuesta o la columna de cemento, inician su fracturamiento, - como puede observarse en el gráfico de presión vs. volumen por el cambio de pendiente producido.

En la figura I.4 se muestra la gráfica de una típica - prueba de goteo, en un pozo con una corta sección de agujero - descubierto; como puede verse, hay un constante incremento de presión, por cada barril de lodo bombeado, de modo que todos - los puntos caen sobre una línea relativamente recta.

Esta línea debe seguir paralela o desviarse ligeramente de una línea llamada de "volumen mínimo", calculada o medida para el lodo que está dentro del pozo.

La tendencia lineal continúa hasta un punto A, a partir del cual los puntos comienzan a inclinarse a la derecha.



Brl.

En este punto A, la formación ha comenzado a admitir lodo, ya que para un mismo volumen de lodo bombeado, se nota un aumento menor en la presión.

El punto A se denomina presión de goteo y representa el punto en el que empiezan a separarse unos de otros los granos que integran la formación. Esta presión de goteo se corrige por efectos de gelatinosidad del lodo, para usarla en la determinación de presiones de fracturamiento y densidades equivalentes de lodo.

Se observa en la figura I.4, que es necesario graficar varios puntos más, a medida que la curva se inclina, para asegurarse el haber alcanzado el límite de fracturamiento. Al llegar al punto B el bombeo debe suspenderse, la presión de cierre instantánea debe registrar (punto B), y el pozo se debe dejar cerrado para observar el ritmo de declinación de la presión.

Esta declinación de la presión es indicativa del ritmo de filtración, el cual constituye información muy útil para evaluar la calidad de la prueba.

Una vez determinada la presión de goteo, se puede calcular la presión de fracturamiento de la formación, restando a dicha presión de goteo, la presión de gelatinización del lodo, y sumarle la presión hidrostática (ecuación 19).

$$P_{ff} = P_{lo} - P_g + (\text{DEN} \times D)/10 \quad \dots\dots\dots(19)$$

Donde: Pff Presión de fracturamiento, (kg/cm<sup>2</sup>).

Plo Presión de goteo, (kg/cm<sup>2</sup>).

Pg Presión de gelatinización del lodo, (kg/cm<sup>2</sup>).

DEN Densidad del lodo, (gr/cc).

D Profundidad vertical verdadera de la formación de interés, (m).

En términos de densidad equivalente de lodo quedaría de la siguiente manera:

$$DENE = 10 Pff/D \quad \dots\dots\dots(20)$$

Donde: DENE Densidad equivalente de lodo, al ocurrir la fractura, (gr/cc).

#### CALCULO DE LA PRESION DE GELATINOSIDAD DEL LODO.

La ecuación (21) se emplea para calcular la presión de gelatinización del lodo, cuando se realiza la prueba de goteo bombeando por el interior de la T.P.

$$Pgtp = L \sqrt{\gamma/1300 d} \quad \dots\dots\dots(21)$$

Donde:

Pgtp Presión de gelatinización dentro de la T.P., (kg/cm<sup>2</sup>)

L Longitud de tubería de perforación, (m).

d Diámetro interior de T.P., (pg).

$\gamma$  Gelatinosidad del lodo, lb/100 pies<sup>2</sup>.

#### MEDICION DE LA GELATINOSIDAD EN EL POZO.

El valor más sujeto a duda en las ecuaciones (21) y (22) es la gelatinosidad del lodo. Normalmente en la prácti-



ca, ésta se mide con un viscosímetro rotacional, después de haber dejado reposar el lodo durante 10 min.

Este método se ha criticado debido a que la medición no se lleva a cabo a las temperaturas y presiones de fondo, y a que no refleja las propiedades de algún volumen de lodo contaminado que pueda estar presente en el espacio anular. Una forma de tomar en consideración estos factores consiste en determinar la gelatinosidad, empleando datos de circulación del pozo y no un viscosímetro de campo.

Una vez terminada la prueba de goteo, esperar 5 ó 10 min. y luego reiniciar el bombeo con los preventores abiertos. Medir la presión requerida para romper la circulación (Pbc), mientras se circula a un gasto igual al empleado durante la prueba. La presión registrada es usada para calcular la gelatinosidad efectiva del lodo  $\gamma_e$ , con la ecuación:

$$\gamma_e = 1300 Pbc (d_a - d_t) d / L (d + d_a - d_t) \dots\dots(22)$$

$$\gamma_e \text{ lb/100 pies}^2.$$

#### GRAFICA DE LA PRUEBA.

Antes de iniciar la prueba, es necesario preparar una gráfica que contenga: una línea de presión de goteo anticipada, así como una línea de volumen mínimo. Estas serán empleadas como guías durante la realización de la prueba.

#### PRESION DE GOTEO ANTICIPADA.

Esta línea representa la presión esperada y permite evaluar la prueba, cuando la curva empieza a declinar hacia la derecha.

La presión de goteo que se obtiene al correr la prueba en agujero descubierto, debe ser cuando menos tan alta como la presión de fracturamiento estimada para esa área. Este valor estimado se obtiene a partir de datos de pozos vecinos y por métodos como el de Eaton, Matthews y Kelly, el de Hubbard y Willis, etc.

#### LINEA DE VOLUMEN MINIMO.

Esta línea sirve de guía para decidir si el ritmo de bombeo es lo suficientemente rápido, al probar en agujero descubierto. El bombeo debe mantenerse igual o ligeramente por debajo de esta línea, la cual representa la presión que se requiere para comprimir el lodo, hasta que ocurra la fisura. Puede calcularse con la ecuación (23).

$$V_i = C_m V_w P_i \dots\dots\dots(23)$$

Donde:  $V_i$  Volumen del lodo inyectado, (bl).

$C_m$  Compresibilidad del lodo,  $(\text{kg}/\text{cm}^2)^{-1}$ .

$V_w$  Volumen del pozo, (bl).

$P_i$  Presión de inyección,  $(\text{kg}/\text{cm}^2)$ .

La compresibilidad del lodo puede calcularse con la ecuación (24).

$$C_m = C_w \times \% \text{ agua} + C_s \times \% \text{ s\u00f3lidos}, (\text{kg}/\text{cm}^2)^{-1} \dots (24)$$

Donde:  $C_w$  Compresibilidad del agua ( $4.27 \times 10^{-5}$ ) ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )<sup>-1</sup>  
 $C_s$  Compresibilidad de los s\u00f3lidos ( $2.84 \times 10^{-6}$ ) ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )<sup>-1</sup>.

La ecuaci\u00f3n (24) est\u00e1 graficada en la figura I.5.

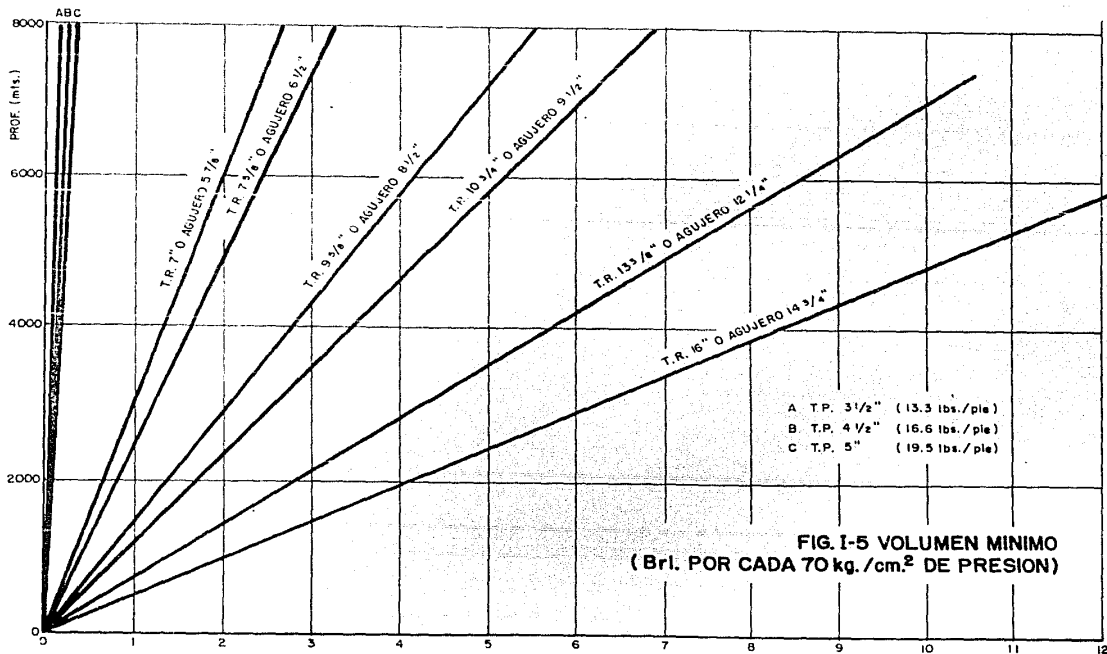
Esta figura muestra el volumen de fluido ( $V_i$ ) requerido para represar varios tama\u00f1os de T.R. y agujeros descubiertos, conteniendo agua por cada  $50 \text{ kg}/\text{cm}^2$  de presi\u00f3n de inyecci\u00f3n.

Tambi\u00e9n en la figura I.5, las curvas A y B representan la correcci\u00f3n por volumen, que se le debe restar a cada curva, cuando hay T.P. dentro del pozo. La curva A es para T.P. de 4" y la curva B para T.P. de 5 1/2".

En caso de que en el pozo se tenga lodo pesado, debe realizarse tambi\u00e9n una correcci\u00f3n. La figura I.6 muestra la correcci\u00f3n en porcentaje en volumen, como una funci\u00f3n de la densidad del lodo.

Por ejemplo: Seg\u00fan la fig. I.5 se requieren 2.25 bl de agua para represar 3000 m. de T.R. de 9 5/8", a  $70 \text{ kg}/\text{cm}^2$ . Si dentro del pozo hay T.P. 5 1/2", a los 2.25 bl se les debe restar 0.25 bl, quedando finalmente 2 bl por cada  $70 \text{ kg}/\text{cm}^2$ .

Si dentro del pozo hay lodo de 1.56 gr/cc, seg\u00fan la figura I.6 s\u00f3lo se requiere 85% de este volumen, o sea :



**FIG. I-5 VOLUMEN MINIMO  
(Brl. POR CADA 70 kg./cm.<sup>2</sup> DE PRESION)**

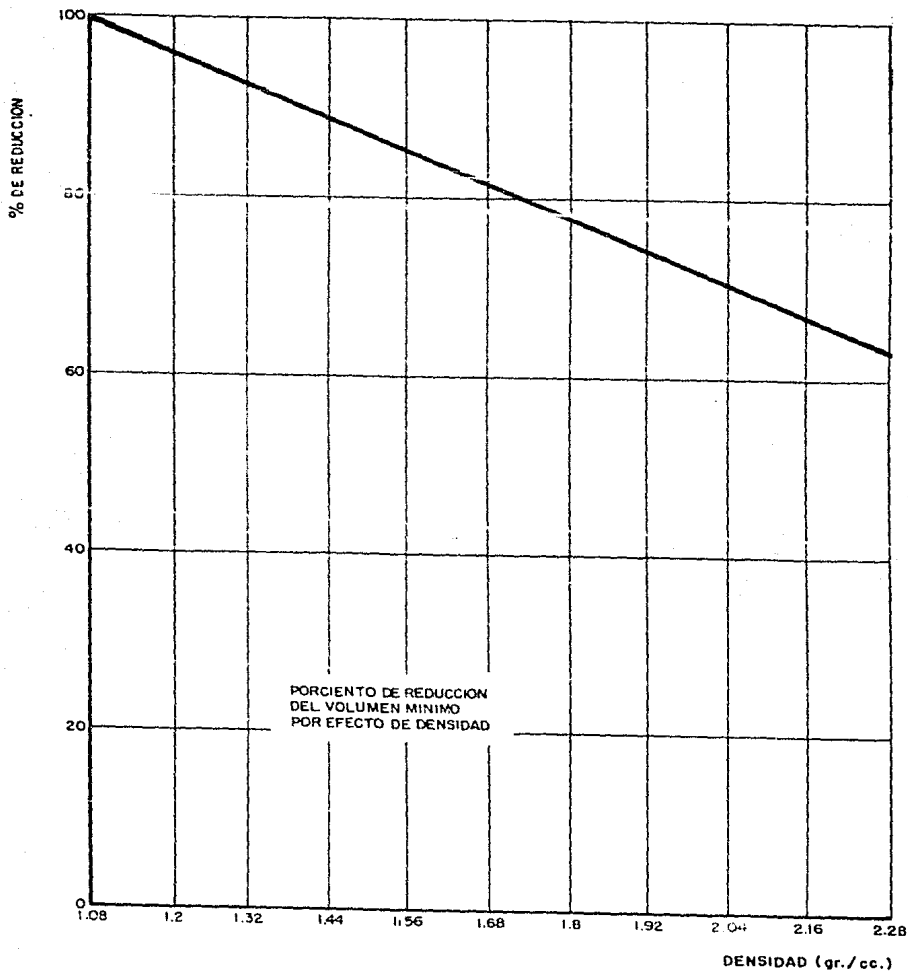


FIG. 1-6 DENSIDAD DEL LODO (gr./cc.)

$$2 \text{ bl/70 kg/cm}^2 \times 0.85 = 1.7 \text{ bl/70 kg/cm}^2.$$

Este valor fue usado en la construcción de la línea de volumen mínimo de la figura I.4.

#### PROCEDIMIENTO PARA EFECTUAR UNA PRUEBA DE GOTEO.

1.- Construir una gráfica similar a la fig. I.4. -- Las líneas punteadas representan las correspondientes al volumen mínimo y a la presión de goteo anticipada.

2.- Levantar la barrena del fondo y colocarla arriba de la zapata.

Si el lodo no tiene una densidad uniforme o no se conoce, circular para acondicionar el lodo; dos causas comunes para no tener una densidad uniforme son: baches de barita dentro de la T.P. y presencia de recorte de la formación en el espacio anular.

3.- Cerrar el preventor anular.

4.- Iniciar el bombeo de lodo por el interior de la T.P., a un ritmo constante de 0.25 a 1.5 bl/min.; el gasto depende de las condiciones de la prueba. En agujeros descu**biertos**, usar de 0.75-1.5 bl/min., dependiendo de la cantidad de agujero descubierto. Los datos que se obtengan estarán muy cerca (a más o menos de 0.5 bl) de la línea de volumen mínimo, en el punto de goteo.

5.- Registrar la presión en la gráfica por cada incremento de 0.25 ó 0.5 bl de lodo bombeado.

6.- Continuar bombeando hasta que la curva se incline a la derecha, o hasta rebasar la línea correspondiente a la línea de presión de goteo anticipada. El rebasar esta línea significa comúnmente que sólo hay lutita expuesta en el agujero.

7.- Suspender el bombeo, mantener el pozo cerrado y registrar una presión instantánea; registrar la presión a cada minuto durante unos 10 min. Estos valores también deben aparecer en la gráfica como en la fig. I.4.

8.- Desfogar la presión y registrar el volumen de lodo recuperado.

9.- Comparar la gráfica obtenida, con otras gráficas típicas, para asegurarse de la calidad de la prueba.

Una vez realizada la prueba, elegir en la gráfica la presión de goteo, como aquel punto en el que la curva empieza a inclinarse a la derecha.

A continuación, con las ecuaciones (19) y (20), hacer la corrección por gelatinosidad del lodo y calcular la densidad equivalente del lodo, que la zapata puede soportar.

**CAPITULO II.**

**TIPOS DE FORMACIONES EN LAS QUE FRECUENTEMENTE OCURREN PERDIDAS.**



TIPOS DE FORMACIONES EN LAS QUE  
FRECUENTEMENTE OCURREN PERDIDAS

Los tipos de formación por los cuales parte o todo el lodo puede ser perdido, las podemos clasificar en:

- a) Formaciones cavernosas.
- b) Formaciones no consolidadas o de alta permeabilidad.
- c) Formaciones con fracturas naturales.
- d) Formaciones fácilmente fracturables.

**FORMACIONES CAVERNOSAS.**

Están asociadas con calizas arrecifales y dolomías y son probablemente un fenómeno de disolución. Los estratos que contienen cavernas son a menudo identificados geológicamente y la profundidad a la cual se encuentra son hasta cierto punto predecibles en un área donde ya se hayan perforado varios pozos. Las cavernas pueden variar en magnitud desde el tamaño de unos cuantos milímetros hasta metros (Fig. II.1). En estas formaciones la barrena normalmente puede caer desde varios centímetros hasta algunos metros cuando penetra uno de estos huecos, entonces, la pérdida puede ser repentina y severa a tal grado que el nivel de la columna del lodo en el pozo disminuye bastantes metros,

desbalanceando la columna y con esto se puede provocar un -  
brote en zonas donde la presión de formación sea mayor que  
la hidrostática que resulte debido a la disminución del ni-  
vel. La pérdida puede presentarse cuando la presión hidros-  
tática es ligeramente mayor que la presión de fractura de -  
la formación.

El sellamiento de una formación cavernosa depende -  
en gran parte del tamaño de los huecos y de la dureza de la  
matriz de la roca. Las alternativas para penetrar la zona  
cavernosa son perforar: en ciego (no hay retorno del fluido  
de perforación a la superficie), o trabajar con aire y espu-  
ma que han sido satisfactoriamente aplicados en estos casos  
extremos. Después de haber pasado la formación cavernosa -  
se puede cementar una tubería de revestimiento para aislar  
las cavernas y poder seguir perforando.

#### FORMACIONES NO CONSOLIDADAS.

Un ejemplo de este tipo de formación son las gravas  
sueltas, algunos tipos de caliza y arenas comunicadas que se  
encuentran a profundidades someras (ver Fig. II.2) y los --  
fluidos que contienen son difícilmente encontrados a una -  
presión anormal. En la mayoría de los casos, el problema -  
se puede solucionar disminuyendo la densidad del fluido de  
perforación al mínimo posible.

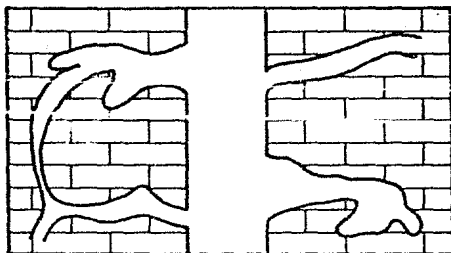


FIG. II 1  
FORMACIONES CAVERNOSAS

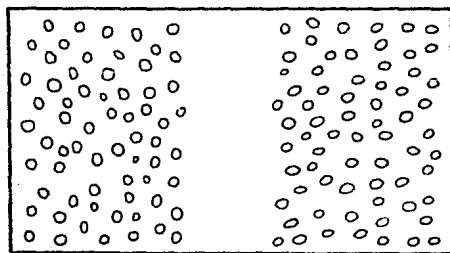


FIG. II 2  
FORMACIONES NO CONSOLIDADAS

## FORMACIONES CON FRACTURAS NATURALES.

Son fracturas inherentes a la formación y se pueden encontrar en cualquier tipo de roca, esta fractura natural se puede definir como la interfase entre dos planos de roca los cuales tienen poco vínculo químico entre sí. Cuando -- los planos son horizontales, están unidos por la sobrecarga; cuando la interfase es aproximadamente vertical, las fuer-- zas con las cuales los planos se mantienen unidos pueden -- ser considerablemente menores y mayores que la de la sobrecarga, esto depende de los esfuerzos tectónicos de la localidad. Cuando las presiones críticas son alcanzadas tales fracturas pueden ceder y admitir lodo; una fractura que ha comenzado a admitir lodo, puede ampliarse y admitir más lodo a más baja presión (ver Fig. II.3).

En este tipo de fractura, basta solamente con que -- la presión hidrostática sea ligeramente mayor que la de la formación fracturada para presentarse la pérdida, la cual -- es por lo regular lenta y parcial; de continuar perforando al quedar expuestas un mayor número de fracturas, la pérdi-- da puede llegar a ser total. El fluido de perforación pe-- netra estas fracturas permitiendo que la presión actúe en -- direcciones perpendiculares a sus planos, aumentándolas de tamaño.

La manera más efectiva para prevenir las pérdidas de circulación en fracturas naturales, es mantener al mínimo posible la densidad del lodo y evitar crear presiones de surgencia. Los materiales utilizados para remediar pérdidas de circulación pueden ayudar a prevenir la pérdida en un lodo de baja densidad y de bajo contenido de sólidos.

#### FORMACIONES CON FRACTURAS INDUCIDAS.

Son debidas a una excesiva presión del fluido de perforación sobre la formación (ver Fig. II.4), es por esto que la principal recomendación para evitar este tipo de problemas, es mantener esta presión al mínimo y para lograrlo es conveniente:

- Mantener el peso del lodo lo más bajo posible.
- Conservar lo menos viscoso el fluido de perforación.
- Bajar o subir la tubería de perforación a la velocidad adecuada.
- Iniciar suavemente el bombeo del fluido de perforación.

Las fracturas inducidas pueden algunas veces sellar con el tiempo, en un período de espera de 6 a 12 horas, después de haber perdido la circulación; se puede circular lo-

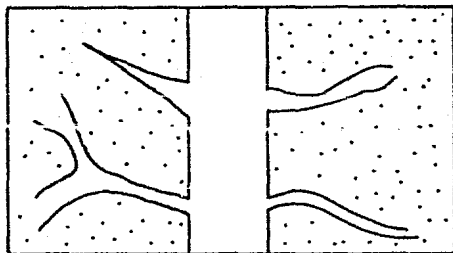


FIG. II 3  
FRACTURAS NATURALES

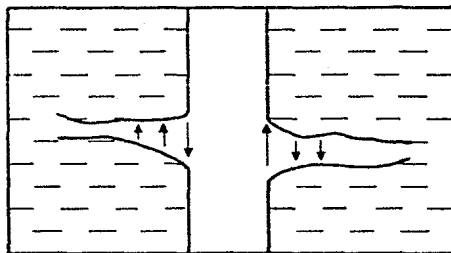


FIG. II 4  
FORMACIONES FACILMENTE FRACTURABLES

do de la misma densidad controlando cuidadosamente las propiedades del flujo y el manejo de las herramientas de perforación.

Se han observado varios casos en donde la mayor cantidad de lodo perdido regresa después de suspender el bombeo; tales retornos del flujo pueden conducir a una mala interpretación en ese flujo de lodo con la bomba parada, porque también es característica de un brote.

Todo pozo en perforación, cualquiera que sea su profundidad, si el fluido no está circulando en el fondo, se ejerce una presión hidrostática que depende exclusivamente de la profundidad vertical del pozo y de la densidad del fluido.

Al iniciarse la circulación, se presentan dos presiones: la hidrostática, más la presión necesaria para hacer circular el lodo por el espacio anular hacia la superficie. La suma de estas dos presiones representa el valor de la presión de circulación de fondo; entonces:

$$\begin{aligned} & \text{PRESION HIDROSTATICA} + \text{CAIDA DE PRESION EN EL} \\ & \text{ESPACIO ANULAR} = \text{PRESION DE CIRCULACION EN} \\ & \text{EL FONDO} \end{aligned}$$

Por lo tanto (en el fondo del pozo), estas dos presiones vienen a modificar aparentemente la densidad del --

fluido y a esta densidad resultante siempre superior a la original, se le llama DENSIDAD EQUIVALENTE DE CIRCULACION.

Las propiedades reológicas del fluido de perforación que afectan a la densidad equivalente de circulación, son: El punto de cedencia ( $Y_p$ ) y la viscosidad plástica ( $V_p$ ).

Mientras mayor sea la densidad equivalente de circulación, habrá un consumo excesivo de potencia de la bomba para circular el lodo, y sobre todo, será más factible inducir pérdidas del mismo a la formación, principalmente en zonas de fácil fracturamiento.

A la presión de circulación en el fondo de los pozos se atribuyen muchos de los problemas de pérdida de circulación por inducción.

El punto de cedencia  $Y_p$  (resistencia al flujo que mide las fuerzas de atracción electroquímicas), es el factor que más influye en el aumento de la densidad equivalente de circulación.

Al disminuir el valor del punto de cedencia  $Y_p$  (si es el caso), puede aumentarse la velocidad de la bomba, incrementando la velocidad de "chorro" en las toberas de la barrena.



Cuando el valor del punto de cedencia es excesivo, una gran parte de la potencia de la bomba se desperdicia para hacer circular el lodo por el espacio anular.

Para calcular la densidad equivalente de circulación en forma sencilla y efectiva, es necesario contar con los siguientes datos:

L	Profundidad vertical en metros
de	Densidad del fluido en g/cc
Yp	Punto de cedencia en lb/100 pie <sup>2</sup>
Vp	Viscosidad plástica en cps
D	Diámetro de la barrena en pulgadas
d	Diámetro de la tubería de perforación en pulgadas
G	Gasto de la bomba en litros/minuto
V	Velocidad anular en m/seg

En este tipo de formación la pérdida es casi siempre instantánea y total, se localizan normalmente al salir de la zapata en virtud de que es el punto donde se tiene el menor valor de gradiente de fractura en todo el agujero descubierto que se tenga en ese momento. Los factores que -- identifican a una zona de pérdida de circulación se describen en la Tabla No. II.1.

**TABLA No.II.1.- CARACTERISTICAS PARA IDENTIFICAR LAS ZONAS DE PERDIDA DE CIRCULACION.**

- |  |  |
|--|--|
| <p>FORMACIONES<br/>NO<br/>CONSOLIDADAS</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Disminución gradual del nivel del lodo en las presas.</li> <li>- La pérdida se puede convertir en total si se continúa la perforación.</li> <li>- Es conocido que la permeabilidad de la roca - debe exceder a 10 darcys antes de que el lodo pueda penetrar y que la permeabilidad de la - arena con aceite o gas raramente excede de -- 3.5 darcys. No es probable que las arenas -- sueltas sean la causa de la pérdida de lodo - en las arenas que contengan aceite o gas, a - menos que la pérdida pueda ser atribuida a la facilidad con la cual este tipo de formación se fractura.</li> </ul> |
| <p>FRACTURAS<br/>NATURALES</p>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pueden ocurrir en cualquier tipo de roca.</li> <li>- La pérdida es observada por una disminución - gradual del nivel de lodo en las presas. Si se exponen más fracturas, se puede presentar una pérdida total del fluido.</li> </ul>  |
| <p>FRACTURAS<br/>INDUCIDAS</p>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pueden ocurrir en cualquier tipo de roca, pe- ro podrían ser esperadas en formaciones con - características de planos débiles.</li> <li>- La pérdida usualmente es súbita y acompañada de una pérdida total del fluido. Una de las condiciones que nos conducen a la formación - de fracturas inducidas es cuando el peso del lodo excede a la densidad equivalente de frac- tura de las formaciones expuestas.</li> </ul>  |

.....Continuación de la Tabla II.1

- La pérdida puede continuar después de una repentina presión de surgencia, (repentino incremento de la presión hidrostática por efecto de pistoneo al introducir la barrena).
- Cuando ocurre la pérdida de circulación y los pozos vecinos no experimentaron pérdidas de circulación, se debe pensar en una fractura inducida.

ZONAS - Normalmente confinadas a calizas.

- CAVERNOSAS
- La pérdida del fluido puede ser súbita y total.
  - La barrena puede caer desde unos centímetros hasta varios metros, justo antes de la pérdida.
  - La perforación puede tornarse "aspera" antes de la pérdida.

## SEVERIDADES DE LA PERDIDA DE CIRCULACION.

1.- Pérdidas por filtrado (1 a 10 bl/hr).- ocurren en cualquier tipo de formación, cuando los materiales obturantes en el fluido de perforación no son lo suficientemente finos para formar un sello y evitar que el agua del flujo de perforación penetre en la formación.

2.- Pérdida parcial (10 a 500 bl/hr).- ocurren en formaciones constituidas por gravas, en formaciones con pequeñas fracturas naturales y en formaciones con fracturas inducidas muy pequeñas.

3.- Pérdida total (60 a 150 m. el nivel estático). Se presentan en grandes intervalos de fracturas naturales pequeñas, en extensas fracturas naturales e inducidas, así como a lo largo de secciones de grava.

4.- Pérdida total severa.- Disminución del nivel de la columna del lodo (150 a 300 m.), se presentan en formaciones cavernosas y en extensas fracturas naturales e inducidas.

**CAPITULO III.**

**METODOS DE DETECCION DE LAS ZONAS DE PERDIDA DE CIRCULACION**

## DETECCION DE LAS ZONAS DE PERDIDA DE CIRCULACION.

En la mayoría de los casos en que las pérdidas de circulación se manifiestan, es conveniente definir con precisión esta zona, utilizando para tal efecto las diferentes herramientas de diagnóstico de que se dispone en el campo, tales como: Registros geofísicos. registro de temperatura, molinete hidráulico, trazadores radioactivos en combinación con registros radioactivo, registro de alambre caliente y transductor.

### REGISTRO DE TEMPERATURA

Este registro permite detectar la zona de pérdida bajo circunstancias favorables. La información que se obtiene es buena aunque cuando el lodo sea muy viscoso o contenga restos de materiales obturantes en suspensión.

El principio de operación de la herramienta es muy simple: si no hay pérdida de circulación, la herramienta registra un incremento constante en la temperatura del pozo en función de la profundidad y de acuerdo con el gradiente geotérmico de la región.

En el caso de pérdida de circulación, la zona admittira un cierto volumen de fluido de perforación cuya temperatura será diferente y menor que la de la formación.

Existen técnicas especiales de registro para obtener un mayor contraste en las temperaturas e incluso se sugiere el bombeo de lodo enfriado precisamente hacia la zona de pérdida.

#### 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. Los molinetes están diseñados para medir la velocidad del fluido - que se desplaza hacia el yacimiento.

El principio de operación de la herramienta consiste en: se registra en la superficie una señal eléctrica - que se genera en una bobina por efecto de la rotación de - una hélice instalada en la sonda que se introduce al pozo.

La energía cinética del fluido se transfiere a la hélice del molinete, cuya flecha está acoplada al imán de una bobina. La rotación de la hélice genera pulsos eléctricos en la bobina que son transmitidos al equipo de control y registro en la superficie. El número de pulsos que se producen por unidad de tiempo es proporcional al gasto y se puede expresar como un porcentaje del flujo total o -

directamente en barriles o metros cúbicos por unidad de tiempo. La velocidad de rotación de la hélice depende de la velocidad del fluido, así como del tamaño y forma de sus aspas.

#### TRAZADORES RADIOACTIVOS.

Las zonas de pérdida se pueden detectar fácil y rápidamente si se emplea una técnica combinada de radiotrazador y dos o más corridas del registro rayos gamma.

La primera corrida muestra la radioactividad natural de la formación atravesada por el pozo, la cual se toma como referencia.

La técnica consiste en marcar un cierto volumen de fluido de perforación con un trazador radioactivo, que sea emisor de radiación gamma de alta energía y sea soluble en el fluido de perforación. El Yodo 131 en forma de Yoduro de sodio es el trazador que resulta apropiado en la mayoría de los casos.

La tubería de perforación franca se deberá de colocar en el fondo del pozo para bombear el fluido radioactivo en forma tal que siga el curso del fluido de perforación en operación normal, a continuación el trazador se desplaza en una o varias etapas, desde el fondo y por el espacio



anular hasta la zapata de la última tubería de revestimiento cementada, dependiendo de la longitud y del diámetro -- del agujero descubierto, así como de la localización de la zona de pérdida

Después de cada etapa de desplazamiento de los fluidos, se corre un registro de rayos gamma de preferencia - con la herramienta de 1 11/16" para que no haya necesidad de mover la tubería de perforación franca del fondo del pozo. Comparando los registros de rayos gamma de referencia con los que se corran después de bombear el fluido marcado, se localizan las zonas de pérdida (ver ejemplos del Capítulo VII).

La información que se obtiene permite colocar en - el lugar apropiado los materiales obturantes selectivos para cada zona de pérdida y restablecer la circulación a corto plazo. Si se corren otros registros se dispone de la - información suficiente para elaborar los futuros programas de perforación en el área.

#### 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.

#### TRANSDUCTOR.

Es un cilindro de 5" de diámetro exterior, que se opera con un cable del registro eléctrico y tiene en la -- parte superior una entrada de lodo con una área mayor que la salida en la parte inferior, lo que crea un pequeño aumento de presión en el interior del cilindro en comparación con la presión del lodo en el exterior; esta diferencia de presiones se registra por medio de diafragmas, en diferencia de potencial que se grafica en la superficie. Cuando la sonda se encuentra abajo de la pérdida, no genera señales.

#### PROGRAMA INTEGRAL DE REGISTROS PARA DETECTAR ZONAS DE PERDIDA.

Cuando se presenta una pérdida de circulación y se decide emplear algunas técnicas para restaurarla, resulta conveniente y a veces indispensable determinar con precisión la zona de pérdida, para que al aplicar alguna de las medidas correctivas se tenga una alta probabilidad de éxi-

to, por lo tanto es conveniente disponer de la mayor cantidad de información que sea posible obtener a corto plazo, y a un costo razonable puesto que no se puede garantizar - que se restablecerán las condiciones normales de perforación. Una vez asegurada la información, incluyendo la localización de las zonas de pérdida, se procederá a aplicar las medidas correctivas.

La información comprende la corrida de los registros programados para el área en perforación con fines litológicos o de análisis de fluidos y además los de temperatura, molinete (en caso de ser aplicable) y de rayos gamma, éste último antes y después de bombear el radiotrazador.

La experiencia ha demostrado que de la correlación de las curvas de resistividad, rayos gamma, velocidad del sonido, densidad y neutrón de un pozo en perforación con las de otro pozo vecino ya perforado, se pueden sugerir zonas probables de pérdida de circulación.

Se puede mencionar el caso de la sonda de Campeche en donde se tiene la zona de pérdida en la formación llamada Brecha del paleoceno, ésta se encuentra ubicada inmediatamente después de salir de la zona de presión anormalmente alta y se puede predecir la profundidad aproximada a la cual se puede encontrar, correlacionando la curva de rayos gamma y de inducción principalmente, con las de uno o va--

rios pozos vecinos perforados, también se ha podido predecir zonas de pérdida de circulación en eventos regionales como es el caso de la brecha del Eoceno inferior en el campo Cantarell y la brecha del Eoceno medio en el campo Ku.

Una vez que se ha correlacionado y determinado más o menos la profundidad de la brecha y antes de llegar a -- ella se corre y se cementa la T.R. 9 5/8" con la finalidad de poder disminuir la densidad, cambiar el tipo de lodo de perforación y atravesar la formación con menos problemas -- que los que ocasionaría perforar con lodo de alta densidad de emulsión inversa.

Si las condiciones son favorables, un registro de temperatura o uno de molinete hidráulico confirmarán las -- sugerencias de los registros convencionales y en caso de -- duda, el trazador radioactivo resolverá definitivamente el problema.

**CAPITULO IV.**

**TECNICAS Y EQUIPO PARA COMBATIR LAS PERDIDAS DE CIRCULACION.**

## TECNICA No. 1.

Esta técnica es denominada "SACAR Y ESPERAR". Consiste en levantar la sarta de perforación hasta la zapata; manteniéndola ahí durante un determinado período de tiempo. Se aplica cuando se presentan pérdidas parciales en fracturas inducidas.

La sarta de perforación se levantará y se mantendrá ahí durante un período de 4 a 8 hr. sin efectuar alguna intervención en el pozo. Durante el período de espera puede prepararse una mezcla de 100 bls. de lodo con material obturante, o una lechada de alta pérdida de agua; después de dicho período de espera, puede bajarse la sarta lentamente para evitar la ruptura de la formación.

En calizas y en algunas rocas volcánicas (pozos -- geotérmicos) donde existen grandes fracturas o cavernas la pérdida de circulación es súbita y total, por tal razón deberá suspenderse la perforación y la circulación.

Esta técnica regularmente se aplica en fracturas -- inducidas profundas.

## TECNICA No. 2.

Colocación de un tapón de materiales obturantes.

Esta técnica se aplica cuando se presentan pérdidas

parciales y muy pocas veces en pérdidas totales. A continuación se explica como se prepara y coloca el tapón de materiales obturantes.

1.- Determinar: El punto aproximado por donde se esta perdiendo el lodo, el tipo de densidad (determinando lo por las muestras de canal o por registros eléctricos), la altura de la columna del lodo en el agujero (nivel estático) y la severidad de la pérdida. Si se sospecha de una fractura en la formación debido a la presión de surgencia al observar variaciones en la presión de bombeo, lo más probable es que el punto de pérdida se encuentre abajo de la zapata de la última tubería de revestimiento.

2.- Si las condiciones de las formaciones perforadas permiten colocar el tapón, sacar la sarta de perforación eliminando las toberas de la barrena o dejar la T.P. franca, de acuerdo con el tamaño del material obturante, para evitar el taponamiento de la misma.

3.- Mezclar de 100 a 500 bls. de lodo con material obturante granular, fibroso y laminar (gruesos, medios y finos), ver tabla VI.2.

#### PROCEDIMIENTO:

Agregar de 29 a 57  $\text{kg/m}^3$  (10-20 lb/bl) de bentonita a 80 bl. de agua, la cual ha sido preparada con 1.5  $\text{kg/m}^3$

(0.5 lb/bl) de carbonato de sodio y  $0.7 \text{ kg/m}^3$  (0.25 lb/bl) de sosa caústica para eliminar los iones de calcio y magnesio.

Mezclar bien la bentonita para obtener un mejor -- rendimiento. Agregar  $1.5 \text{ kg/m}^3$  (0.5 lb/bl) de hidróxido -- de calcio.

Agregar  $43 \text{ kg/m}^3$  (15 lb/bl) de cáscaras de nuez o una mezcla de corteza de nogal con cáscara de nuez; estos materiales pueden substituirse por otros granulares gruesos.

Añadir  $14 \text{ kg/m}^3$  (5 lb/bl) de una mezcla de material fibroso medio y grueso (madera o caña de azúcar),  $14 \text{ kg/m}^3$  (5 lb/bl) de una mezcla de material fibroso fino y medio -- (madera, caña de azúcar, fibras) y  $14 \text{ kg/m}^3$  de recortes de papel celofán.

El tamaño de los obturantes, está en función de la severidad de la pérdida. Se disminuirá el filtrado del ta pón únicamente para evitar algún derrumbe en el agujero. --

La densidad del lodo de perforación deberá increm-- tarse frente a determinadas formaciones, para controlar la presión de las mismas. Los materiales obturantes pueden -- agregarse a lodos base agua de acuerdo con el tipo de la -- pérdida de circulación.

4.- Colocar el tapón utilizando la T.P. franca, --



frente a la zona de pérdida. Bombear a un gasto de 1 bl/min. hasta que se elimine la pérdida. Si no se tiene éxito, repetir una vez más el procedimiento; si después del segundo intento no se logra controlar la pérdida, aplicar la técnica - No. 3. Si se llegará a llenar el agujero, no quiere decir que se ha resuelto el problema; en tal caso, cerrar el preventor e inyectar por el espacio anular con una presión de 3.5 kg/cm<sup>2</sup> (50 psi) durante 30 min. Medir la presión del espacio anular, por medio de un manómetro de 0 a 21 kg/cm<sup>2</sup> (0-300 psi).

5.- Si se restablece la circulación y el lodo empleado contiene pocos sólidos, proceder a eliminar el material obturante.

### TECNICA No. 3.

Inyección de una lechada de alta pérdida de agua (cementaciones forzadas).

Esta técnica se emplea cuando se presentan pérdidas parciales y muy pocas veces contra pérdidas totales.

La preparación y aplicación de la lechada de alta pérdida de agua, varía de acuerdo con el tipo de pérdida. - La diferencia principal entre las lechadas, es el tamaño de los materiales obturantes, el cual está en función del tipo

de formación.

Se determinará la severidad de la pérdida, tomando en cuenta el nivel estático del lodo en el agujero y la intensidad de la misma, a continuación se determinará la localización aproximada de la zona y el tipo de formación. Si la presión de bombeo varía continuamente es probable que se trate de una fractura en la formación, situada inmediatamente abajo de la zapata.

#### PERDIDA PARCIAL.

1.- Preparar 100 bls de lechada.

A 80 bls. de agua, agregar de 29 a 43  $\text{kg/m}^3$  (10-15 lb/bl) de atapulguita o sepiolita. Si no se dispone de este tipo de arcillas, entonces preparar el agua de la siguiente manera.

Agregar 1.5  $\text{kg/m}^3$  (0.5 lb/bl) de hidróxido de calcio, 143  $\text{kg/m}^3$  (50 lb/bl) de tierra diatomea o caliza molida. -- Utilizar barita si la densidad del lodo debe ser de 1.4 gr/cc en adelante.

Agregar 23  $\text{kg/m}^3$  (8 lb/bl) de material obturante granular (cáscara de nuez o de almendra), 11.4  $\text{kg/m}^3$  (4 lb/bl) de material fibroso medio (caña de azúcar o madera), 3  $\text{kg/m}^3$  de material fibroso fino (caña de azúcar, papel periódico o fibras), 9  $\text{kg/m}^3$  (3 lb/bl) de celofán.

2.- Colocar la tubería de perforación franca en la parte superior o frente a la zona de pérdida.

3.- Desplazar 25 bl. de lechada en la zona de pérdida a razón de 2 a 4 bl/min.

4.- Interrumpir la operación durante 20 ó 30 min.

5.- Desplazar otros 25 bl. de lechada a un gasto de 2 a 4 bl/min.

6.- Continuar con el procedimiento alternadamente esperando y desplazando, hasta llenar el pozo. Algunas veces será necesario preparar 2 lechadas de 100 bl. cada una, durante estas operaciones, la tubería de perforación deberá moverse hacia arriba y hacia abajo para evitar una pegadura.

7.- Al llenar el agujero cerrar el preventor y desplazar la lechada lentamente a razón de 1 bl/min. hasta alcanzar una presión. Una vez alcanzada la presión, mantenerla durante 30 ó 60 min.

8.- Sacar la tubería, conectar la barrena y bajar -- para continuar perforando. Sino se tiene éxito utilizar -- otra técnica.

#### PERDIDAS TOTALES.

Se aplica el procedimiento de las pérdidas parciales. Excepto la composición de la lechada.

1.- Agregar  $23 \text{ kg/m}^3$  (8 lb/bl) de material obturante granular (cáscara de nuez o de almendra de  $\frac{1}{4}$  a  $\frac{1}{2}$ "),  $9 \text{ kg/m}^3$  (3 lb/bl) de material fibroso medio y grueso (madera o caña de azúcar),  $9 \text{ kg/m}^3$  (3 lb/bl) de una mezcla de material fibroso fino y medio (madera, caña de azúcar, fibras, ect.), y  $9 \text{ kg/m}^3$  (3 lb/bl) de celofán.

Los siguientes pasos son similares a los de las pérdidas parciales.

#### TECNICA No. 4.

Cemento solo, con bentonita, con gilsonita o con -- otros aditivos. Utilizar esta técnica cuando se presenten -- pérdidas totales.

La composición de la lechada y la técnica de aplicación empleada para combatir la pérdida de circulación, puede dar buen resultado si la operación se efectúa correctamente.

#### COMPOSICION DE LA LECHADA DE CEMENTO.

Cemento y bentonita es un material importante para -- atacar los problemas de circulación, debido a que existen zo nas de pérdida en las cuales su aplicación es efectiva. Ade más en un pozo siempre existe cemento y bentonita o pueden -- adquirirse fácilmente, otra ventaja es su costo relativamente bajo, si se utilizan correctamente para resolver los pro-

blemas de pérdida, pueden obtenerse buenos resultados.

Para la lechada de cemento existen diferentes aditivos para hacerla más fluida o más viscosa, para retardar o acelerar su fraguado, para bajar su pérdida de filtrado, para estimular sus propiedades obturantes y para aumentar o disminuir su gelatinosidad. Existen otros tipos de cemento tales como el cemento-gilsonita, cemento-yeso, cemento con puzolana, cemento-spherelite, cemento tixotrópico.

Cualquiera de los tipos de cemento antes mencionados, así como las mezclas con aditivos, pueden emplearse para combatir las pérdidas de circulación.

Se recomienda 3 tipos de lechadas: Cemento puro, Cemento con bentonita y cemento con gilsonita; la razón por la cual se escogieron estos tipos de cemento, se debe a que al utilizarlos puede obtenerse una gran variedad de propiedades, además de su disponibilidad.

En el capítulo V se describen la forma de preparación y propiedades de estas tres lechadas.

#### TECNICA PARA LA APLICACION DEL CEMENTO.

Las lechadas de cemento se emplearán para combatir las pérdidas de circulación en fracturas naturales de 1/3 a 1 pg. de diámetro o en formaciones constituidas por cantos rodados.

Muchas veces la cementación en las zonas de pérdida resulta defectuosa, debido a que el lodo se canaliza a través de la lechada, que aun no fragua. Con el método de columnas balanceadas se obtiene un buen resultado, si se calcula cuidadosamente la densidad de las columnas. A continuación se describe el procedimiento para la aplicación de esta técnica.

#### METODO DE COLUMNAS BALANCEADAS.

a).- Si es posible, perforar sin circulación toda la zona de pérdida.

b).- Sacar la tubería, determinar el nivel estático del lodo, bajando un trozo de madera de 4"x4"x4', o bien con un detector eléctrico.

Colocar un sustituto de cementación de 0.61 m. (2 - pies) de longitud de tubería del diámetro adecuado (fig. IV.1) con una tapa soldada en su extremo inferior y 4 aberturas de 0.0254 m. (1") de ancho por 0.0762 m. (3") de altura, perforadas inmediatamente arriba de la tapa y alrededor del tubo.

c).- Seleccionar la lechada de cemento. Mezclar de 100 a 300 sc. de cemento, de acuerdo a la severidad de la pérdida.

d).- Si es posible, localizar la zona de pérdida, -- por medio de cualquiera de los métodos estudiados en el capítulo III, (el más adecuado).

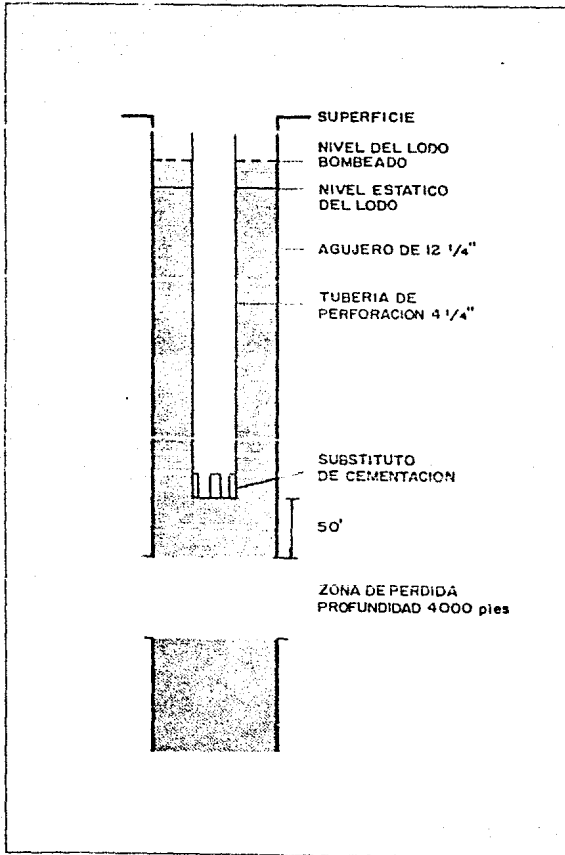


FIGURA IV I

e).- Introducir la tubería con el sustituto de cementación o T.P. franca más allá de la zona de pérdida, para asegurarse de que está libre la zona. Limpiar el agujero -- circulando por lo menos el tiempo de atraso. Colocar el -- sustituto de cementación o la T.P. franca 15 m. arriba de -- la zona de pérdida, (fig. IV.1).

f).- Mezclar lo suficiente la lechada de cemento para balancear hidrostáticamente la columna de lodo en el espacio anular. Desplazar la lechada de cemento a un ritmo de 10 bl/min., dejando 2 bl. dentro de la tubería de perforación, con el objeto de que el cemento ocupe el lugar vacío que deja la T.P. cuando se levanta. Esto ocasionará que el nivel del lodo en el espacio anular se abata, provocando un desequilibrio entre la presión de formación y la presión hidrostática, por lo cual el lodo o los fluidos de la formación pueden canalizarse a través de la lechada. Para evitar esto, se llena lentamente el espacio anular por la línea llanadera.

El bombeo de bastante lodo por el espacio anular, da lugar a que éste penetre a la formación a través de la lechada de cemento antes de efectuarse el fraguado. La cantidad de lodo puede ser igual al volumen desplazado por la tubería. Si se realiza sin cuidado puede ocasionarse más daño que beneficio.

TECNICA No. 5.

Inyección de lechadas de Cemento-Diesel-Bentonita.



Utilizar esta técnica cuando se presentan pérdidas totales y totales severas.

PROCEDIMIENTO:

1.- Si es posible, perforar toda la zona de pérdida - sin circulación.

2.- Sacar a la superficie la sarta de perforación. - Colocar el sustituto de cementación.

3.- Localizar la zona de pérdida, con el método más - adecuado.

4.- Colocar el extremo inferior del sustituto de cementación o la T.P. franca (en caso de utilizarla) 15 m. arriba de la zona de pérdida. Fijar una presión máxima de inyección.

5.- Bombear un colchón de diesel adelante de la lechada.

6.- Mezclar 100 sc. de cemento con 100 sc. de bentonita en 50 bl. de diesel. Para preparar más de 50 bl., mezclar 2 sc. de cemento y 2 sc. de bentonita por cada barril de diesel. Para fracturas grandes o cavernas se mezclarán 300 sc. de cada material.

Para preparar grandes volúmenes, utilizar una unidad cementadora y mezclar continuamente los materiales secos con

diesel; para baches pequeños usar un tanque adecuado. La mezcla tiene un rendimiento de 1.4 bl. de lechada por cada barril de diesel, y tendrá una densidad de 1.38 gr/cc.

7.- Desplazar la lechada por la T.P., y a continuación 5 bl. de diesel.

8.- Iniciar el bombeo del lodo por el espacio anular cuando el volumen de 10 bl. de diesel llegue al substituto de cementación. Cerrar el preventor, controlar la velocidad de bombeo, mantener una relación entre el volumen del lodo y el de la lechada de 2 a 1. En pozos de 7 7/8" de diámetro o mayores y T.P. de 4½", se recomiendan velocidades de bombeo de 4 bl/min. en la tubería, y de 2 bl/min. en el espacio anular.

9.- Desplazar la mitad del volumen de la lechada en la formación, a la velocidad de bombeo recomendada en el punto anterior. Ocasionalmente la T.P. debe moverse de arriba hacia abajo lentamente para darse cuenta de que la lechada está en movimiento en el espacio anular. Si se observa incremento en el indicador de peso, levantar la T.P. hasta que se encuentre libre, y a continuación bajar para continuar desplazando. No le afecta a la lechada si se interrumpe la operación durante pequeños intervalos de tiempo.

10.- Desplazar la siguiente parte del volumen total de la lechada y del lodo a una velocidad equivalente a la mi-

tad de la recomendada en el punto No. 8, (2 bl/min en la tubería y 1 bl/min. en el espacio anular).

11.- Desplazar la última parte de la lechada, a una velocidad de 1 bl/min. en la tubería, y 0.5 bl/min. en el espacio anular. Si el agujero se llena lo cual se manifiesta por medio de la presión en el espacio anular (o supone que la inyección no se efectúa normalmente), intentar incrementar la presión, bombeando a un ritmo de 2 bl/min. en la tubería, y a un 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 intentar efectuar la circulación inversa, porque el lodo se mezclará con la lechada dentro de la tubería, aumentando su gelatinosidad.

12.- Después de terminar de inyectar, sacar la tubería y esperar el tiempo de fraguado del cemento (mínimo 8 hr), antes de reanudar la perforación. Si no se tiene éxito en el primer intento, repetir el procedimiento.

#### TECNICA No.6.

Aplicación de tapones suaves mezclados en la superficie. Utilizar esta técnica cuando se presenten pérdidas parciales y totales en fracturas inducidas.

Los tapones suaves se mezclan en la superficie, se diferencian de los tapones que se mezclan en el agujero, por su

efectividad. Por ejemplo, el tapón FormAplug (mezclado en la superficie) es más efectivo que el tapón Diesel-Bentonita (--mezclado en el agujero); sin embargo, el tapón Diesel-Bentonita bien mezclado, tendrá mejores resultados. Es difícil mezclar perfectamente dos materiales en el agujero en el cual se está perdiendo la circulación. El tapón Diesel-Bentonita fallará, si es altamente viscoso, porque obturará el agujero antes de llegar a la zona de pérdida, y en el caso de que sea muy fluido no obturará la zona.

#### COMO PREPARAR Y COLOCAR EL TAPON FORMAPLUG.

1.- Si es posible, perforar sin circulación la zona de pérdida.

2.- Sacar la sarta de perforación. Conectar el substituto de cementación.

3.- Localizar la zona de pérdida, con el método más adecuado.

4.- Bajar el substituto de cementación o la T.P. franca hasta 15 ó 60 m. arriba de la zona de pérdida, si la tubería de revestimiento cementada es de 7 pg. o de un diámetro menor y la zapata está dentro de la zona de pérdida, colocar el substituto inmediatamente arriba de la zapata. Fijar una presión máxima de inyección, de acuerdo con la densidad de lodo programada para el pozo.

5.- La cantidad necesaria de lechada FormAplug para -  
obturar una determinada zona, variará de acuerdo con la tempe-  
ratura de la formación, profundidad y diámetro del agujero, -  
así como de la longitud de la zona de pérdida (espesor). El  
tapón FormAplug puede penetrar lo suficiente en la zona de --  
pérdida, para ofrecer resistencia al flujo después de haber -  
desarrollado su gelatinosidad. Para pozos someros y de baja  
temperatura, se requieren menores volúmenes de lechada y de -  
densidad más baja.

Por medio de la tabla IV.2 se puede seleccionar la den-  
sidad de la lechada y el volumen del tapón FormAplug que se -  
utilizará. El método de aplicación es semejante al de una --  
operación de cementación. Puede mezclarse con agua dulce, --  
utilizando el embudo mezclador de las presas de lodo o el --  
equipo de cementación. Después de haber efectuado la mezcla,  
se bombeará directamente por la tubería de perforación.

6.- Desplazar la lechada con lodo, a un gasto de 7 a  
10 bl/min. hasta que una tercera parte de la misma se encuentre  
fuera de la tubería. Disminuir el gasto a 2 ó 5 bl/min.  
y comenzar a bombear lentamente lodo o agua por el espacio --  
anular a través de la línea llenadera, para evitar que grandes  
cantidades de lechada asciendan por el espacio anular. Confir-  
mar si el agujero se está llenando. Si se observa que el agu-  
jero no tiende a llenarse, interrumpir el bombeo en el espa-  
cio anular. Desplazar las dos terceras partes restantes de -

TABLA IV. 2

PROFUNDIDAD DE LA ZONA DE PERDIDA (M)	DIAMETRO DE TUBERIA DE PERFORACION (PG)	TEMPERATURA DE LA ZONA DE PERDIDA (°C)	CANTIDAD DE LECHADA DE FORMAPLUG (BLS)	DENSIDAD DE LA LECHADA (GR/CC)
0 - 900	4½	20 - 50	50 - 500	1.42 - 1.46
900 - 2400	4½	40 - 90	30 - 150	1.34 - 1.39
900 - 2400	3½	40 - 90	20 - 100	1.32 - 1.37
2400 - 4600	4½	80 - 150	20 - 80	1.28 - 1.36
2400 - 4600	3½	80 - 150	10 - 50	1.28 - 1.33

la lechada, dejando dos barriles dentro de la T.P. En caso de que se establezca la circulación, cerrar el preventor, intentar inyectar, bombeando lentamente por el espacio anular. Instalar un manómetro de 0 a 21 kg/cm<sup>2</sup> (0-300 psi) para leer fácilmente las pequeñas variaciones de la presión en el espacio anular.

El lodo se bombeará por la tubería de perforación si la zona de pérdida se encuentra por arriba de la parte final de la tubería, o si se establece la circulación antes de terminar el desplazamiento.

Inyectar con una presión de 14 a 105 kg/cm<sup>2</sup> (200-1500 psi) de acuerdo con la profundidad y a la zona (la presión necesaria para vencer la suma de las siguientes presiones: la requerida para elevar el lodo del nivel estático a la línea de flotación, la presión para balancear o compensar cualquier incremento de la densidad del lodo sobre la presión de circulación normal) para sobreponerse a las altas presiones de grandes profundidades. Cerrar el pozo y mantener la presión de inyección durante 8 hr.

8.- Descargar la presión; sacar la tubería para conectar la barrena, llenando con lodo cada dos lingadas. Bajar con la barrena y rebajar el tapón para continuar perforando. Si no se obtuvo presión de inyección, repetir el procedimiento utilizando un tapón de mayor volumen.

## COMO PREPARAR Y COLOCAR EL TAPON INSTANTANEO SERIE 300.

El tapón instantáneo serie 300, consta de 11 partes: tres de retardador tipo "A", cinco de tipo "B" y tres de tipo "C". La mezcla de todos estos dan un volumen de 10 bls de lechada, los materiales deberán ser adquiridos en cantidades para 10 bls. La lechada puede ser densificada con barita.

La cantidad de retardador tipo "A" controla el tiempo de bombeo y el tiempo de fraguado de la lechada, éste se acondicionará de acuerdo con la temperatura de la zona de pérdida que se vaya a obturar.

La cantidad de lechada que se utilizará (10 a 20 bls) dependerá de la severidad de la pérdida. Aunque en una aplicación simple no se ha llegado a desplazar más de 20 bls, en algunas operaciones en las que no se tiene éxito en el primer intento, se han desplazado varias lechadas de 20 bls cada una, sucesivamente.

Este tipo de lechada, debido a que no tiene partículas sólidas antes de fraguar, puede penetrar fácilmente en aquellas zonas en las cuales, el lodo de perforación no puede hacerlo.

A continuación se describe el procedimiento para preparar y colocar una lechada de 10 bls.

1.- Si es posible, perforar sin circulación la zona -



2.- Sacar la sarta de perforación, conectar el substituto de cementación.

3.- Localizar la zona de pérdida, con el método más adecuado.

4.- Colocar el sustituto o T.P. franca de 30 a 60 m. arriba de la zona de pérdida. Si la última tubería de revestimiento cementada es de 7" o de diámetro menor y la zapata se encuentra dentro de la zona de pérdida, colocar la T.P. -- franca o el sustituto inmediatamente arriba de la zapata.

5.- Vaciar 8 bls. de agua en el tanque mezclador.

6.- Acondicionar el PH del agua, hasta un valor aproximado de 8.

7.- Calcular la cantidad de material retardador tipo "A" necesario, y mezclarlo perfectamente con el agua.

8.- Al mezclar los materiales tipo "B" y "C", agregar agua hasta obtener un volumen de 10 bls., a continuación colocar la lechada tan pronto como sea posible, porque ésta comenzará a fraguar.

9.- Bombear un volumen pequeño de lechada más viscosa o de 2 a 5 bls. de agua.

10.- bombear el resto de la lechada por la T.P. y a continuación un volumen pequeño de lechada más viscosa o de 2

a 5 bls. de agua.

11.- Desplazar la lechada fuera de la T.P. hacia el espacio anular y proceder a inyectarla, cerrando el preventor y bombeando lentamente (1 bl/min.), tanto por la tubería como por el espacio anular. Establecer una presión máxima de inyección entre 7 y 35 kg/cm<sup>2</sup> (100 a 500 psi).

Si se obtiene una presión de inyección satisfactoria, intentar readular la perforación; si no se obtuvo una presión de inyección, repetir el procedimiento.

#### TECNICA No. 7.

Tapones suaves mezclados en el agujero (Diesel-Bentonita, Bengum, Mil Squeez, IMP-OP-301, Zonelock, Tapón Polímero y Flo-Check). Se emplea esta técnica cuando se presentan pérdidas de circulación en fracturas inducidas y para mantener la lechada de cemento en o cerca del agujero, hasta que se efectúe el fraguado.

El éxito de los tapones suaves mezclados dentro del agujero, depende de las cantidades de los materiales componentes y de la eficiencia del mezclado cerca de la zona de pérdida. Si se tiene el suficiente cuidado al efectuar la operación, puede obtenerse resultados satisfactorios.

Por ejemplo: Cuando se emplea el tapón Diesel-Bentonita, el lodo puede bombearse por el espacio anular, para establecer ahí la velocidad óptima constante del flujo del lodo,

antes de que la lechada Diesel-Bentonita se desplace hacia el espacio anular.

**TAPON DIESEL-BENTONITA.**

1.- Si es posible, perforar sin circulación la zona de pérdida.

2.- Sacar la sarta de perforación, conectar el substituto de cementación o usar la T.P. franca.

3.- Localizar la zona de pérdida, con el método más adecuado.

4.- Después de localizar el intervalo de pérdida, bajar el substituto o la T.P. franca más allá de la zona de pérdida, para asegurarse de su exposición, a continuación colocarse 15 m. arriba de la zona de pérdida. Fijar una presión máxima de inyección.

5.- Bombear 10 bls. de diesel adelante de la lechada.

6.- Mezclar 200 sc. de bentonita con 50 bls. de diesel para obtener volúmenes mayores, mezclar 4 sc. de bentonita por cada barril de diesel. Para preparar la lechada en forma continua, puede usarse la unidad de cementación. La mezcla antes mencionada tiene un rendimiento de 1.39 bls. de lechada por cada barril de diesel. Para algunas zonas de pérdida muy severas, se emplean 600 sc. de bentonita y 150 bls. de diesel,

mezclándose continuamente.

7.- Desplazar la lechada por la T.P., a continuación 5 bls. de diesel, cuando el primer bache de 10 bls de diesel llegue al final de la tubería, comenzar a bombear lodo por el espacio anular a razón de 4 bl/min. Cerrar el preventor.

8.- Controlar la velocidad de bombeo de tal manera - que la relación de volumen de lechada a volumen de lodo sea de 1:1, para agujeros de 7 7/8" o de diámetros mayores con -- T.P. de 4 1/2", se recomienda una velocidad de bombeo de 4 bl/-- min., tanto por la tubería como por el espacio anular.

9.- El desplazar el 50% del volumen de la lechada a - la formación, a una velocidad rápida de bombeo, hasta que la presión comience a incrementarse en el espacio anular. Si al estar desplazando, la presión aumenta, disminuir el gasto de bombeo, tanto en la tubería como en el espacio anular, para - lograr que la lechada entre en la zona de pérdida, sin exce-- der la presión máxima de inyección fijada.

La T.P. puede moverse ocasionalmente hacia arriba y - hacia abajo para obtener alguna indicación de que la lechada se esta moviendo en el espacio anular; si en el indicador de peso se observa cualquier incremento, desconectar y levantar la tubería hasta un lugar seguro (en la zapata); posteriormente conectar para seguir desplazando. Debido a que el tiempo de bombeo dentro de la tubería no tiene limite, las interrup-

ciones pequeñas no afectarán la operación.

10.- Desplazar por la tubería el siguiente cuarto de la lechada, a un gasto de 2 bl/min., (la mitad del gasto usado en el paso 8).

11.- Desplazar el resto de la lechada a una velocidad de 1 bl/min., dejando un barril dentro de la tubería. Intentar por hesitación (aplicaciones sucesivas de inyección y -- suspensión de la misma) incrementar la presión en el espacio anular, (en el caso de que no se efectúe la inyección). No intentar circular inverso, porque el lodo contaminará la lechada incrementándole la gelatinosidad dentro de la T.P.

12.- Después de efectuar la inyección, sacar la T.P. y bajar con barrena para continuar perforando. Si no se tiene éxito, repetir el procedimiento.

#### TAPON BENGUM.

El tapón Bengum, es una goma preparada especialmente, conteniendo un material preservativo, un agente complejo y - un no rompedor de gelatina.

La composición Bengum es la siguiente:

COMPONENTE.	POR CIENTO EN PESO.
Bengum No. 1	10
Bentonita	90
Diesel	49 a 57 lts. por cada 45.5 kg. de material sólido

La lechada Bengum se prepara, agregando 45.5 kg. de - la mezcla de bentonita-Bengum en 49 ó 57 lts. de diesel. De bido a su contenido de materiales orgánicos, la resistencia a la compresión de este tapón es mayor que la obtenida con - la lechada Diesel-Bentonita. Principalmente cuando se mezcla con lodos base agua salada; pero menor que la obtenida con - la lechada Diesel-Bentonita-Cemento. Sin embargo, el valor de la resistencia a la compresión del tapón Bengum se encuen tra más cercano al obtenido con la lechada Diesel-Bentonita.

La lechada Bengum se emplea:

a).- Cuando se necesita un tapón con mayor resistencia a la compresión que la que puede obtenerse con la lechada Die sel-Bentonita.

b).- Cuando la contaminación de agua salada disminuye considerablemente la resistencia del tapón obtenido con la - lechada Diesel-Bentonita.

El procedimiento para colocar este tapón, es el mismo que se aplica para colocar el tapón Diesel-Bentonita. La re lación recomendada entre la velocidad de bombeo de la lecha- da Bengum y el lodo, varía de 1:1 a 4:1, de acuerdo con la - resistencia a la compresión que se requiera.

Para mejores resultados se sugiere que el Bengum y la bentonita sean premezclados a granel, antes de agregarlos al

diesel. Las siguientes proporciones pueden ser utilizadas - como una gufa para preparar lechadas Bengum:

BENGUM (kg)	BENTONITA (kg)	DIESEL (lt)	DENSIDAD DE LECHADA (gr/cc)	VOLUMEN DE LECHADA (lt)
4.54	41	42.2	1.20	70.3
4.54	41	53.0	1.22	74.6
4.54	41	56.8	1.19	78.3

Las lechadas Bengum son más caras que las de Diesel--Bentonita, por lo que se consideran materiales especiales.

Las pruebas indican que las lechadas son estables has ta 120 °C.

Los materiales de pérdida de circulación sólidos, tales como: celofán, gilsonita, cáscara de nuez y otros, pueden ser agregados a la lechada Bengum si así se desea.

#### TAPON MIL SQUEEZ.

El tapón Mil squeeze está constituido por un sistema - de dos componentes: una mezcla de copolímeros y 15% en volumen de acelerador; éste es colocado en la T.P., seguido de - la lechada (copolímero); el acelerador es separado del lodo y de la lechada por un bache de diesel. Cuando los materiales se desplazan de la tubería de perforación hacia el espacio anular, se mezclan frente a la zona de pérdida formando

una masa de alta gelatinosidad.

Si se van a desplazar grandes cantidades de lechada, - se recomienda efectuar el desplazamiento por etapas: de 10 a 20 barriles de lechada, y de 1.5 a 3 bls. de acelerador. En las operaciones de campo se han obtenido resultados satisfactorios, desplazando de 20 a 30 bls. de lechada.

Las lechadas de 30 bls. se emplean :

a).- Cuando se conoce la localización de la zona de - pérdida.

b).- Cuando se desconoce la localización de la zona - de pérdida y el volumen del agujero es menor de 100 bls.

c).- Para obturar fisuras que se presentan en las tuberías de revestimiento.

En operaciones de producción se emplean lechadas de - 10 bls.

#### PROCEDIMIENTO PARA PREPARAR Y COLOCAR EL TAPON MIL SQUEEZ.

Prepararlo y colocarlo en dos etapas de 15 bls., se - describe a continuación:

1.- Si es posible, perforar sin circulación la zona - de pérdida.

2.- Sacar la barrena, conectar el substituto de cemento



tación.

3.- Localizar la zona de pérdida, con el método más adecuado.

4.- Dajar el substituto o la T.P. franca (en caso de utilizarla), y anclarla 15 m. arriba de la zona de pérdida. Fijar una presión máxima para forzar el tapón.

5.- Vaciar 24 bls. de agua en una presa limpia. Agre-  
gar de 0.3 a 0.8 kg/m<sup>3</sup> (0.1-0.3 lb/bl) de pirofosfato ácido de sodio. Ajustar el PH cerca de 7 con sosa cáustica.

6.- Añadir 90 kg de Mil Squeeze por barril de agua -- (usar 79 kg. si se agrega un obturante granular en una con--  
centración de 71 a 143 kg/m<sup>3</sup> (25 a 50 lb/bl).

7.- Bombear por la T.P. 114 lts.(30 gal) de diesel co-  
mo colchón espaciador.

8.- Bombear por T.P. 170 lts (45 gal) de acelerador -  
Mil Squeeze.

9.- En seguida bombear por T.P. 114 lts (30 gal) de -  
diesel y hasta entonces, bombear 15 bls de lechada Mil Squeeze.

10.- Bombear 114 lt (30 gal) de diesel como colchón -  
espaciador.

11.- Bombear 114 lts (30 gal) de acelerador Mil Squeeze  
y en seguida 114 lts (30 gal) de diesel.

12.- Bombear 15 bls de lechada Mil Squeez.

13.- Bombear 114 lts (30 gal) de diesel, 114 lts (30 gal) de acelerador, 114 lts (30 gal) de diesel (ver figura. - IV.2).

Desplazar la lechada con lodo, fuera de la T.P. a un gasto de 2 bl/min., forzar en la zona de pérdida a un ritmo de 1bl/min. Si el viaje del tapón limpiador es de más de -- 1800 m., entonces el tapón deberá ser colocado como se muestra en la figura IV.2.

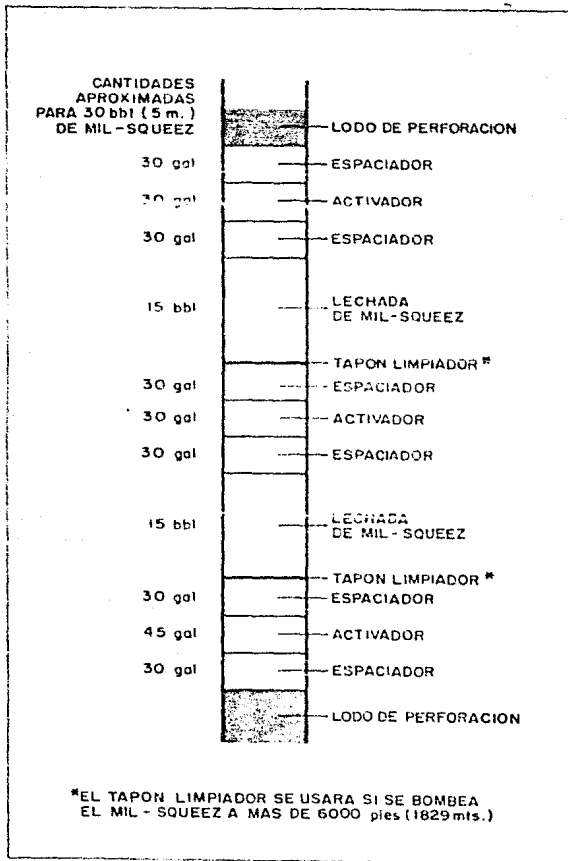
Si se restablece la circulación, cerrar el preventor, bombear lentamente a un gasto de 1 bl/min. y hasta alcanzar la presión máxima fijada de inyección.

Si la circulación no fue restablecida, sacar la T.P. a la zapata y probar si el agujero se llena, si esto ocurre forzar hasta con  $7 \text{ kg/cm}^2$  (100 psi).

Si el agujero no se llena, intentar realizar otra inyección. Si la presión de inyección se sostiene durante una hora, entonces, proceder a rebajar el tapón y reanudar la perforación.

#### TAPON ZONELOCK.

Está compuesto por dos soluciones que son bombeadas - separadamente, y al encontrarse en la formación reaccionan -



**FIG. IV 2 SISTEMA DE ETAPAS SUGERIDO PARA COLOCAR EL MIL - SQUEEZ**

de inmediato, formando un frente que va obturando de tal forma, que comienza a incrementar la presión en superficie como respuesta al fraguado de las soluciones.

En el caso de que la severidad de la pérdida sea muy grande, es conveniente mandar al frente un tapón Diesel-Bentonita antes de bombear el Zonelock. Para hacer más fuerte la estructura del tapón, se agrega un polímero con el propósito de que comience a reaccionar dentro de la formación.

Así se permite que el zonelock sostenga altura sobre el nivel de interés para la reacción de las soluciones. Este sistema tapón polímero (polimer-plug), debe bombearse adelante del zonelock.

Para el caso del área de la zona marina de Cd de Carmen, Camp. donde la zona de pérdida se tiene en la brecha del Paleoceno; se recomienda utilizar volúmenes de 20 a 30 m<sup>3</sup> de solución obturante. La severidad de la pérdida exige que la operación se efectúe de una manera continua, tanques de capacidad suficiente que permitan este procedimiento, deben tenerse en la localidad.

Es recomendable intentar llenar el pozo con lodo de baja densidad de 0.92 a 0.95 gr/cc. con el fin de poder tener un control de fluidos en superficie, que permite observar el desarrollo de la operación. El bombeo continuo de las soluciones y la determinación del gasto de desplazamiento (a ba-

jos gastos se obtienen mejores resultados, debido a que el frente inicial del tapón diesel-bentonita es muy débil y tendería a perderse), así como la profundidad a la cual se debe colocar la T.P., son fundamentales para obtener resultados satisfactorios en estos tratamientos. Se ha observado mejores resultados, colocando la tubería sobre la cima de la Brecha del Paleoceno (zona de pérdida).

#### APLICACIONES.

Algunos de los primeros pozos perforados en el campo Cantarell, fueron producidos en agujero descubierto, hasta que se hizo evidente una fuerte invasión de gas. En los pozos Cantarell 1-A, 3, 11 y 74 con el propósito de cambiar esta creciente relación de gas-aceite, se planeó cementar la zona, pero por las condiciones que presenta la brecha del paleoceno era factible perder todo el cemento en la misma.

Se utilizó la técnica Zonelock para el taponamiento de estos pozos. A continuación se detalla el procedimiento básico efectuado:

- 1.- Bombeó agua salada para "matar" el pozo.
- 2.- Bombeó bache separador de diesel.
- 3.- Bombeó el tapón Diesel-Bentonita (para formar primer frente).
- 4.- Bombeó bache separador de diesel.

- 5.- Bombeó bache separador de agua.
- 6.- Mezcló y bombeó solución obturante (zonelock).
- 7.- Bombeó bache separador de agua.
- 8.- Bombeó lechada de cemento.
- 9.- Despiazo.

Los valores de presión en superficie esperados eran - bajos, debido a la fragilidad de la formación. Sin embargo, al término de estas operaciones se obtuvo una presión promedio entre 35 y 70 kg/cm<sup>2</sup> (500 a 1000 psi). Lo que demostró el éxito de las operaciones en las cuales se abandonaron dichos pozos.

#### GELATINA IMP - OP - 301.

La gelatina es un obturante químico permanente que en su etapa inicial, es una solución acuosa de monómeros.

Esta solución puede ser inyectada en las zonas con -- pérdida de circulación, dentro de las cuales se convierte, - en función de tiempo y temperatura, en un gel polimérico base agua. Esto permite obtener una penetración más profunda que la obtenida con otro tipo de agentes obturantes usados. Este material sellante es de utilización muy versátil dado - que su tiempo de gelificación puede controlarse con bastante

exactitud; además tiene la propiedad de permanecer como una solución con viscosidad controlada hasta poco antes de su -- conversión a gel. Este obturante en solución, fluye prefe-- rentemente a través de las zonas de más alta permeabilidad - (zona de pérdida de circulación), propiciando así un obtura-- miento selectivo de penetración profunda.

La técnica de aplicación sugerida, consiste en esti-- mar la temperatura de la zona, conocer los volúmenes de obtu-- rantes convencionales previamente utilizados, y el tiempo de desplazamiento desde la superficie hasta la zona de pérdida. Con estos datos se puede seleccionar el volumen adecuado de obturante, así como las concentraciones de retardador que -- permita colocarlo exactamente en la zona problema al tiempo de la gelificación.

También se aplica en problemas de la perforación con aire, uno de los más serios es la entrada de grandes volúme-- nes de agua de formaciones perforadas. Un método efectivo - para eliminar la invasión de fluido al pozo puede ser el em-- pleo de esta gelatina proporcionando un sello en las zonas - de aportación.

Otras aplicaciones han sido en problemas de canaliza-- ción de agua.

En yacimientos sometidos a procesos de inyección de - agua, los estratos o zonas más permeables son barridas. En

estos, el aceite recuperado se produce con grandes volúmenes de agua, la cual circula sin desplazar aceite por las zonas invadidas de agua, dando por resultado bajas eficiencias de barrido reduciendo el rendimiento económico de dichos proyectos.

En base a las propiedades de éste obturante, es posible efectuar un obturamiento selectivo de las zonas "ladronas", no sólo en la venciencia del pozo, sino con un radio de penetración considerable, originando un cambio total en el patrón de flujo del sistema.

Entrada prematura de agua o gas en pozos productores.

La conificación de agua en pozos productores, tanto en recuperación primaria como secundaria, crea muchos problemas. La técnica más común para dichos problemas ha sido la cementación forzada, sin embargo, no es posible hacer penetrar la lechada en la matriz de la formación.

A base de este producto es posible inyectar pequeños o grandes volúmenes dentro de la formación, formando un gel "in situ" que aísla en forma efectiva la venciencia del pozo y más allá de la misma.

Reducción de la producción de agua en pozos productores.

Recientemente se ha comprobado la efectividad de los



polímeros en la reducción de la producción de agua en pozos productores. En algunos casos no sólo se ha disminuído subtancialmente el agua, sino que se ha incrementado la produ-  
cción de aceite.

Por su polaridad y viscosidad inicial, la gelatina -- presenta alta afinidad química al agua y no al aceite, y una movilidad prácticamente igual a la del agua. Por lo tanto, el obturamiento tendrá lugar en la zona productora de agua.

#### MECANISMO DE ACCION.

El obturante IMP-OP-301 disuelto en agua puede ser inyectado en las zonas permeables de la formación, dentro de - las cuales, en función de tiempo y temperatura, se convierte en un gel polimérico estable aún a temperaturas de 110 °C. - La polaridad del producto en solución hace que ésta fluya -- preferencialmente por las zonas de mayor contenido de agua.

#### CARACTERISTICAS.

Está compuesto de dos monómeros A y B, con las siguientes propiedades físicas:

A: Apariencia: Material cristalino blanco.

Punto de fusión: 84 °C

Densidad aparente (gr/cc): 1.122 a 30 °C.

Solubilidad en agua (gr/100 ml): 204 a 25 °C.

B: Apariencia: polvo blanco cristalino.

Punto de fusión: 185 °C (con descomposición).

Densidad aparente (gr/cc): 1.235 a 30 °C.

Solubilidad en agua (gr/100 ml): 3.0 a 25 °C.

La formulación contiene otros aditivos, los cuales variando sus concentraciones, permiten la aplicación del producto a temperaturas de 20 a 100 °C, y con tiempos de gelificación de 10 min. hasta 6 hr.

La resistencia mecánica del gel puede incrementarse - añadiendo a la solución de obturante, material fino e inerte. El producto polimerizado es un gel semirígido, traslúcido, impermeable al agua, gas y aceite, resistente al ataque del -- ácido (Clorhídrico al 28%) y del ataque alcalino, estable en presencia de aceite, salmuera, agua dulce, y a temperaturas hasta de 110 °C durante tiempo indefinido.

El gel tiene baja adhesión en superficies lisas o poco rugosas, por lo que puede ser forzado a través de tubería, sin peligro de obstrucción permanente de los aparejos de perforación.

El control de una pérdida de circulación puede llevarse a cabo sin necesidad de cambiar la tubería de perforación, dado que el producto se maneja en solución de viscosidad controlada. Además, la solución de obturante al llegar a la zona de pérdida; penetrará en la vecindad del agujero y gelificará instantáneamente.

La preparación del obturante no presenta problemas debido a su alta solubilidad ya sea en agua dulce o en salmuera. En caso de que el agua contenga en solución cantidades apreciables de fierro, se recomienda el uso de un agente sequestrante y así evitar posibles interacciones de dicho ion con el producto.

Generalmente la concentración de la gelatina es entre 8 y 10% en peso en agua dulce o salmuera. La mezcla así preparada no gelificará hasta que alcance la temperatura para la cual se diseñó.

En esta forma se corren riesgos de gelificación prematura en caso de presentarse problemas de tipo mecánico en cada aplicación de campo. En el laboratorio se determinó que la solución obturante permaneció en estado líquido durante ocho días, sin perder sus propiedades gelificantes.

La disolución del obturante puede efectuarse en carro tanques, tanques cerrados (bien limpios) o en presas para lodo.

El equipo de inyección puede ser una unidad móvil o las bombas para lodo ya instaladas.

El producto IMP-OP-301 se presenta como polvo en bolsas de polietileno de 25 kg.

**TAPON POLIMERO DOWELL.**

Suspensión de bentonita en diesel activada por un polímero (S-120), fraguando instantáneamente en contacto con el agua.

**APLICACION:**

Restablecer la circulación durante la perforación de pozos.

**VENTAJAS:**

- Tapón permanente.
- Mezcla sencilla.
- Productos fácilmente disponibles en cualquier localización.
- Aplicación rápida evitando tiempos de espera de -- equipo.
- Fraguado instantáneo.

El tapón polímero es una mezcla de bentonita y un polímero sintético. Es usado para restaurar circulación durante la perforación de pozos. La mezcla es preparada con un petróleo liviano tal como diesel. La lechada es bombeada a través de la tubería de perforación y desplazada entre las zonas de pérdida de circulación.

El contacto con agua o con un fluido de perforación base agua, hidratará la mezcla para formar un material apun-

talante teniendo una consistencia similar a una goma.

El tapón es prácticamente permanente. Pueden ser utilizados agentes apuntalantes en el tapón polímero si se desea.

La lechada es colocada justo arriba de la zona de pérdida a través de la T.P. Posteriormente la lechada es desplazada a la zona de pérdida.

El contacto con un fluido de perforación base agua hidratará la mezcla polímero-bentonita y activará la acción -- apuntalante.

Donde se disponga de una conexión al espacio anular es recomendable bombear fluido de perforación a través de ésta, a un gasto bajo. Esta práctica asegura una inmediata gelificación y previene que el tapón polímero inadvertidamente circule hacia el espacio anular. La consistencia de goma que resulta, resistirá una considerable fuerza de desplazamiento -- aún en una zona con cavernas.

El uso de agentes apuntalantes incrementará en gran medida la resistencia al flujo y puede mejorar la acción apuntalante; particularmente en zonas de calizas.

La vida del tapón es indefinida y aproximada a un material permanente.

Cuando se utilizan materiales apuntalantes en la lechada, es necesario remover las toberas de la barrena para evi--

tar su taponamiento.

**CONCENTRACION:**

La lechada del tapón polímero es preparada con una mezcla de 90% bentonita + 10% en petróleo liviano tal como combustible diesel.

Por conveniencia en la mezcla y razones de seguridad ésta debe ser preparada en la planta de cemento. Agentes obturantes como Kolite, gilsonita o cualquier otro, sea en escamas o materiales fibrosos pueden ser agregados a la mezcla.

La concentración de la mezcla en la lechada puede ser variada hasta un máximo de 234.8 kg/bl. La densidad de la lechada recomendada es de 1.26 gr/cc. La siguiente tabla nos muestra el rendimiento obtenido para el rango de concentraciones usado.

KG. DE MEZCLA POR BARRIL DE DIESEL.	DENSIDAD.		RENDIMIENTO.	
	lb/gal	gr/cc	bl.	lt.
45.45	8.3	1.0	1.11	176.5
90.90	9.5	1.14	1.22	193.9
136.36	10.5	1.26	1.33	211.4
181.82	11.3	1.35	1.44	229.0
227.27	12.1	1.45	1.55	246.4
234.81	12.3	1.47	1.56	248.0

**PROCEDIMIENTO:**

La aplicación del tapón polímero Dowell es muy simple y cualquier procedimiento usado para colocarlo en la zona de pérdida, donde reaccionará con agua, debe formar un tapón satisfactorio.

El procedimiento sugerido es el siguiente:

- El extremo inferior de la tubería de perforación es colocado arriba de la supuesta zona de pérdida.

- Deberá existir suficiente volumen de agujero descubierto para contener el volumen del tapón a bombear.

- La lechada es separada del fluido de perforación, bombeando de 5 a 10 bl. de espaciador antes y después de la misma.

- Volúmenes típicos de tratamiento varían en un rango de 20 a 50 bl. de lechada del tapón polímero.

Si se perdió completamente la circulación, un volumen razonable de lodo deberá bombearse para establecer una columna máxima de fluido en el espacio anular; si se obtiene un retorno parcial, cerrar los preventores y bombear el tapón polímero a través de la tubería de perforación, conforme la lechada sale de la T.P. es recomendable bombear lodo lentamente a través del espacio anular, esto produce un gel instantáneo en el fondo de la tubería y previene el efecto de tubería en "U".

La presión máxima no deberá de exceder la presión de fractura de la formación, y será establecida con el operador antes de efectuar la operación.

Una vez que la lechada ha sido desplazada, abrir los preventores y comenzar a circular con la bomba del equipo de perforación. Si la circulación no es restablecida, etapas - adicionales de tapón polímero serán aplicadas.

Cuando la circulación es restablecida, la tubería de perforación será bajada lentamente mientras se circula a un gasto bajo de bombeo.

Porciones de tapón polímero gelificado pueden ser es perados en la descarga.

Cuando el retorno del lodo esté limpio de residuos - de gel, se puede reanudar la perforación.

Se puede usar crudo ligero en vez de diesel en la -- preparación del tapón. Por limitaciones de seguridad sólo - se usarán crudos de menos de 50 °API en mezcladores a la --- atmósfera.

TAPON FLO-CHEK.

La operación consta de dos etapas. La inicial o lechada delantera, formando un gel muy resistente cuando entra



en contacto con la salmuera sintética o con la de la forma  
ción; este material gelatinizado funciona como un obturante en la zona de pérdida. La lechada posterior es una lechada de cemento acelerada, la cual es utilizada para terminar el proceso de forzada formando un sello permanente.

En condiciones de fondo de pozo más severas deberán ser necesarias varias forzadas.

En formaciones que contengan agua dulce o con baja concentración de salmuera, antes deberán bombearse un colchón de salmuera para que la lechada inicial gelatinice de  
bidamente y funcione adecuadamente.

El Flo-Chek componente A es un líquido sin color, utilizado para preparar la lechada inicial. Puede ser diseñado para acarrear arena en concentraciones hasta de 1.2 kg/lt; la arena puede ser malla 4-8. Bajo algunas condiciones para obtener efecto de sello puede ser necesario -- utilizar una combinación de arenas de diferente medida. - Las pruebas también han indicado que puede ser mejorado, - agregando gilsonita, Tuf-Plug al componente A; este componente A es el que gelatiniza en presencia de salmuera y -- forma el sello inicial en las cavernas, canales o fractu--  
ras.

Algunas de las ventajas del proceso Flo-Chek son -  
las siguientes:

- Volúmenes mínimos y tiempo de equipo reducido.

- Debido a la naturaleza de la lechada inicial, frac  
turas relativamente grandes con flujo de agua o salmueras --  
pueden ser selladas.

- Las lechadas pueden ser diseñadas para cubrir un -  
amplio rango de densidades. Las lechadas delanteras pueden  
variar de 1.8 a 1.38 gr/cc. La densidad de la lechada de ce  
mento puede variar de 1.5 a 2.16 gr/cc.

- Los materiales utilizados en el proceso flo-chek -  
son compatibles con la mayoría de las formaciones.

- Puede ser utilizado en un rango de temperatura de  
15.6 a 93 °C.

#### TECNICA No. 8.

Si se espere atravesar zonas de alta pérdida de cir-  
culación, es recomendable perforar con fluidos de baja densi-  
dad (lodo aerado, espuma o aire).

#### PERFORACION CON LODO AERADO.

El término lodo aerado se refiere a cualquier siste-  
ma de perforación en el que se inyecta a una presión un cier  
to tipo de gas al lodo normal de circulación, la inyección -  
ocurre entre la bomba y el tubo vertical a través de una tu-  
bería 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/cc., 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 está colocada la última T.R. para evitar problemas de de rumbes, 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.

METODO Y EQUIPO UTILIZADO EN LA APLICACION  
DE LODO AERADO EN LA PERFORACION.

Para la operación de este sistema se emplearán prin-

principalmente 3 métodos básicos para la aereación del lodo y --  
son:

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

#### METODO DE AEREACION 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 sarta de perforación requiere de equipo por separado para cada fase. El líquido para la fase líquida es el mismo que para la 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

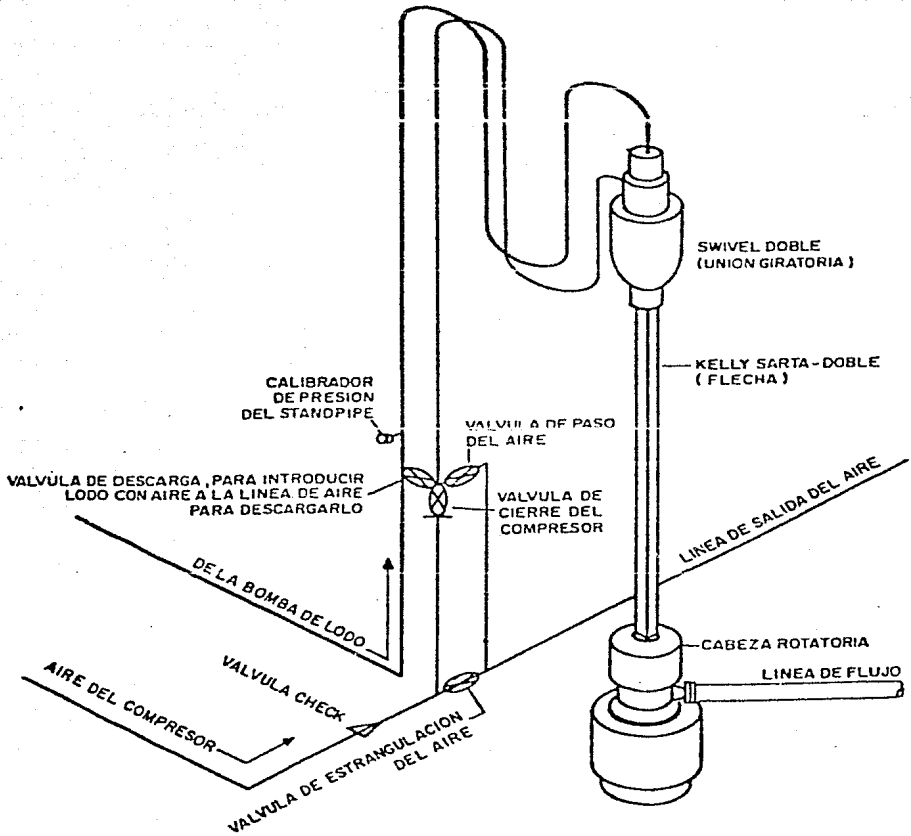


FIGURA IV 3

ma de trabajo de  $100 \text{ kg/cm}^2$ .

- 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 figura IV.4 se muestra el equipo superficial que debe adicionarse al convencional y la figura IV.5 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<sup>2</sup>.

- 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 figura IV.4.

La fig. 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 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 revesti-

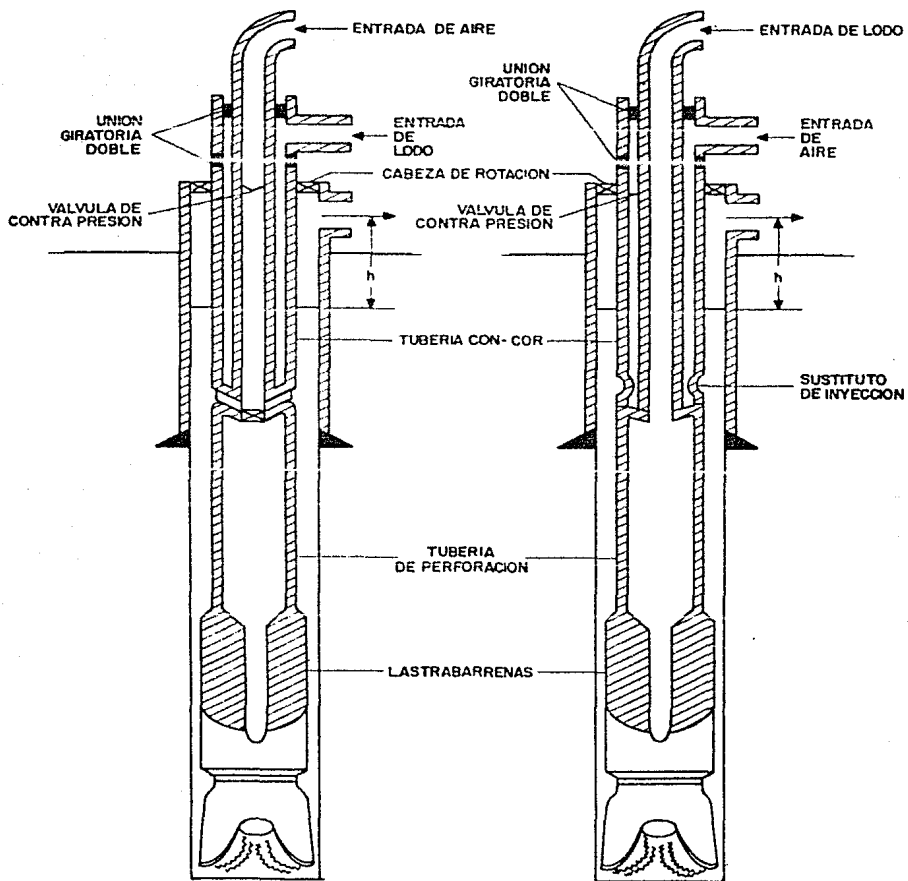


FIG. IV 4

FIG. IV 5

### METODO DE LAS TUBERIAS CONCENTRICAS



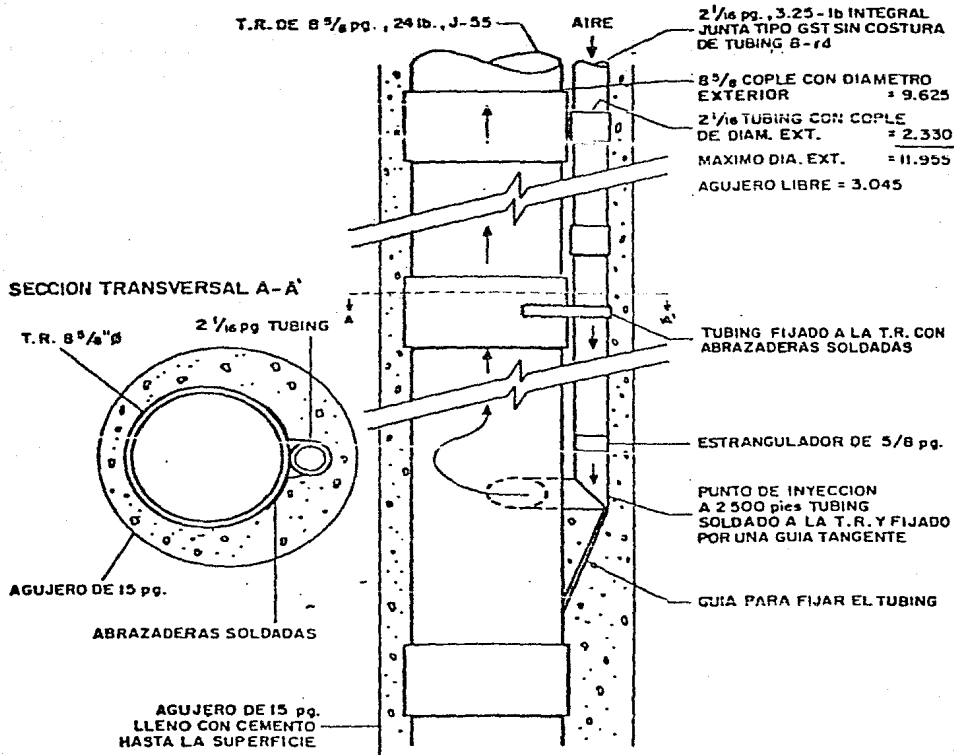


FIGURA: IV. 6

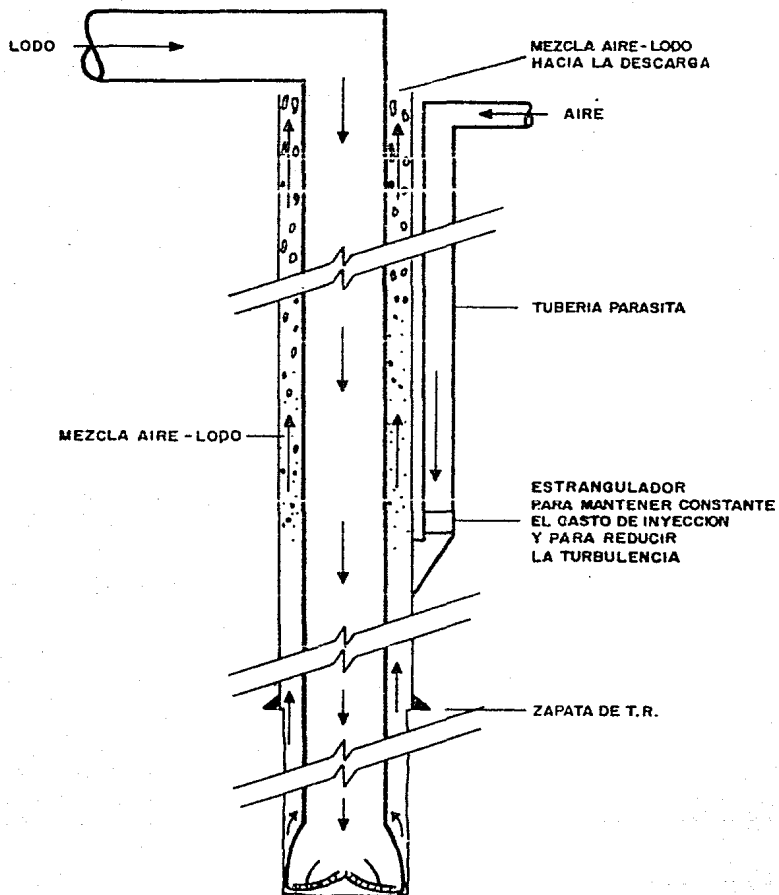


FIG. IV 7 METODO DE TUBERIA PARASITA

miento 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.

#### PERFORACION CON ESPUMA.

Entre los fluidos empleados 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 re

ducen las pérdidas de circulación y se dispone de buena capacidad de acarreo de las partículas, sin corrosionar el agujero.

La espuma estable es un fluido de muy baja densidad (0.25 a 0.75 gr/cc), 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 enjambre 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 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<sup>2</sup> 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 se 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 PERFORACION.

- a).- Ejerce una reducida carga hidrostática, debido a su baja densidad.
- b).- Reduce las pérdidas de circulación.
- c).- Lubrica y enfría la barrena.
- d).- Dispone de adecuada capacidad de levantamiento para remover los recortes y acarrearlos a la superficie.
- e).- Disminuye los riesgos de incendio, cuando se perforan formaciones con hidrocarburos.

f).- Cubre la pared del pozo con una película que evita los derrumbes, y que se mantiene hasta que se mete y cementa la T.R.

g).- Requiere bajas presiones para establecer la circulación, evitando con esto inducir las pérdidas de circulación.

h).- Utiliza baja energía de compresión y su eficiencia no es afectada por acuíferos de mínima aportación.

i).- Facilita la identificación de los fluidos de la formación a la salida del pozo.

#### LIMITACIONES:

a).- Debido a la baja presión hidrostática que ejerce la espuma, no se puede usar en áreas donde se desconozcan las presiones de formación, ya que existe el riesgo de descontrol del pozo en caso de perforar una zona de presión mayor que la ejercida por la columna de espuma.

b).- La eficiencia de la espuma puede verse disminuida con el flujo de agua salada o de hidrocarburos ya que se reduce la efectividad de la substancia tensoactiva.

c).- La inversión inicial del equipo adicional es alta.

d).- No es posible realizar registros que se requiere

ren que el pozo se encuentre lleno de lodo.

EQUIPO EMPLEADO PARA LA PERFORACION  
CON ESPUMA ESTABLE.

Para poder efectuar la perforación haciendo uso de la espuma estable como fluido de circulación, es necesario - agregar al equipo convencional los siguientes elementos (mos-  
trado en la fig. IV.8).

- 1.- Compresoras para el suministro de aire o gas.
- 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

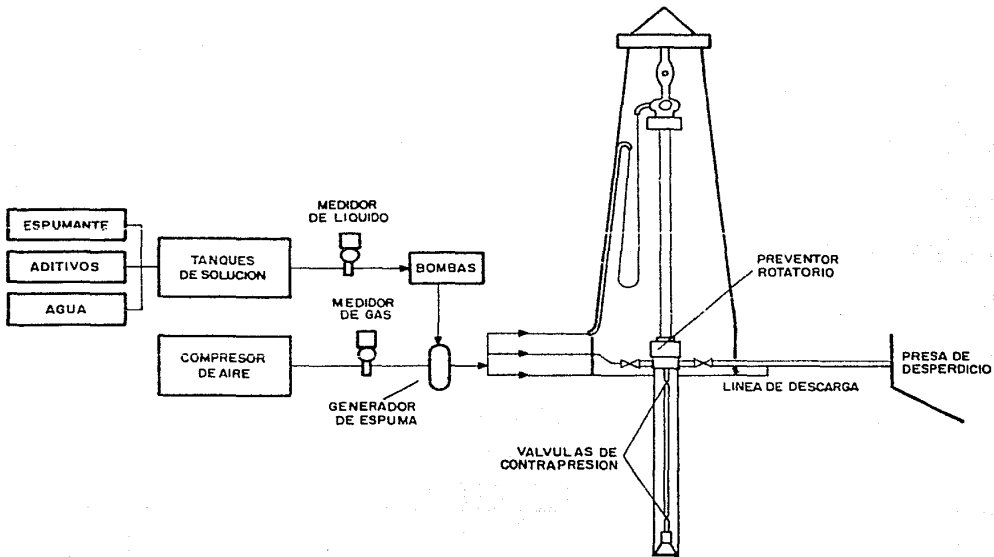


FIG. IV 8 EQUIPO NECESARIO PARA PERFORAR CON ESPUMA



durante la 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.

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

#### 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 de tipo geológico y de datos obtenidos de pozos vecinos; se trata de un pozo exploratorio, la información geológica debe

ser lo más confiable posible.

Los principales puntos con los que debe contar la información son:

- Características litológicas de las formaciones por -  
atravesar.

- Zonas con derrumbes.
- Zonas con pérdida de circulación.
- Zonas de baja presión.
- Zonas con flujo de agua.
- Correlación con pozos vecinos.

Los derrumbes, las zonas con flujo de agua y las formaciones blandas y delezna**bles** constituyen los principales problemas en este tipo de perforación, reduciendo así mismo la eficiencia de este método, razón por la cual en el programa de perforación se debe prever las medidas adecuadas para enfrentar estos problemas.

#### VENTAJAS DE LA PERFORACION CON AIRE.

El ejemplo de este sistema en forma adecuada proporciona las siguientes ventajas:

- Mayor velocidad de perforación.
- Control de las zonas de pérdida

- Daño mínimo a las formaciones.
- Detección continua de hidrocarburos.
- Menor costo en fluido de perforación.

Cuando se ha llegado a la profundidad a partir de la cual se iniciará a perforar con aire, será necesario cambiar el fluido de perforación; para esto, existe una técnica de campo que consiste esencialmente en ir aereando progresivamente la columna de lodo.

El gasto de lodo se mantendrá constante, comenzándose a inyectar aire con una sola compresora, conforme la columna del fluido sea aligerada, el gasto de aire se irá aumentando hasta que el lodo sea desplazado en su totalidad. Cuando se tenga establecida la circulación de aire, se circulará de 15 a 20 min. con el objeto de limpiar y secar el agujero.

#### EQUIPO EMPLEADO EN LA PERFORACION CON AIRE.

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.

2.- Línea de descarga.- Cuya función será llevar lejos del equipo los recortes. Accesorios complementarios: Boquilla primaria y secundaria, muestreador, humedecedor, detector de gas y quemador, fig. IV.10 y 11.

3.- Compresores.- El número de compresores dependerá de los 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  $5 \text{ kg/cm}^2$  ) pues es una indicación de la posible presencia de un problema.

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

PROBLEMAS QUE SE PRESENTAN DURANTE LA PERFORACION CON AIRE.

La perforación con aire como cualquier otro tipo de perforación requiere de una continua y adecuada supervisión

para prevenir cualquier tipo de problema. El prevenir o detectar a tiempo los problemas que pueden presentarse durante la perforación es un significativo ahorro en tiempo y equipo se refiere.

A continuación se mencionan algunos de los problemas que con mayor frecuencia se presentan en la perforación con aire.

- Insuficiente volumen de aire para la limpieza del pozo.

- Agrandamiento del agujero.

- Desviación del pozo.

- Entraña de agua.

- Daños a la tubería de perforación.

- Pegadura de tubería.

- Fuegos y explosiones dentro del pozo.

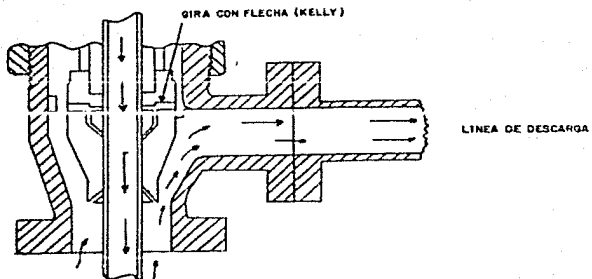


FIG. IV.9

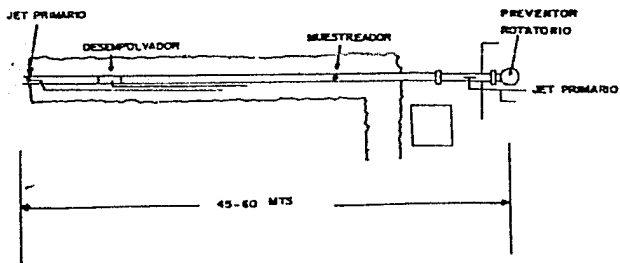


FIG. IV.10

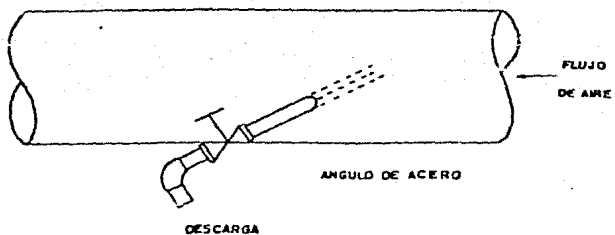


FIG. IV. 11

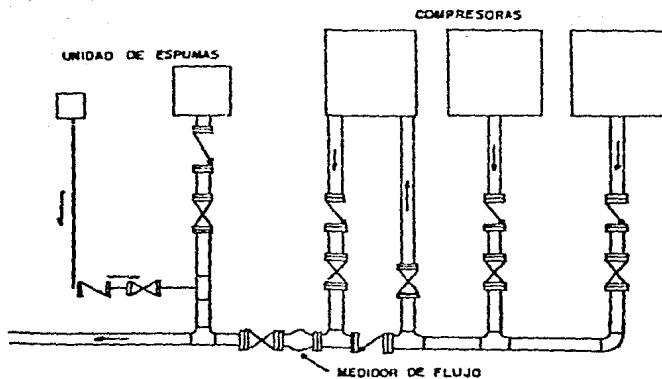


FIG. IV. 12

**CAPITULO V.**

**MATERIALES PARA COMBATIR LAS PERDIDAS DE CIRCULACION.**



## MATERIALES PARA COMBATIR LAS PERDIDAS DE CIRCULACION.

### FUNCION DE LOS OBTURANTES:

Uno de los métodos empleados para controlar la pérdida de circulación del fluido de perforación, consiste en agregar materiales obturantes al fluido y circularlos a través de la zona de pérdida, con el fin de introducirlos a los poros o fracturas, por donde se está perdiendo el fluido, -- formandose con esto un sello por medio de dichos materiales.

Por lo tanto, los materiales obturantes son aditivos del fluido de perforación empleados para evitar la pérdida del fluido hacia la formación perforada.

1.- MATERIALES FIBROSOS.- Los obturantes fibrosos -- son principalmente fibras de plantas, aún cuando se tienen también fibras de animales y minerales, así como fibras sintéticas como vidrio, rayón y asbesto. El tamaño máximo de la partícula y su graduación de tamaños máximos de la partícula, es de mayor importancia en su uso y provecho que el material de que está compuesto.

La naturaleza física y química del material, presentan ciertas limitaciones, tanto como la graduación de tamaño y la resistencia a su desintegración y degradación cuando se circula en el sistema de lodo.

El tamaño máximo de las fibras de asbesto es por -- ejemplo más pequeño que el obtenido con bagazo o fi ---

bras de corteza; el bagazo y el algodón en rama exhiben mayor resistencia a la desintegración que algunos materiales, como el musgo.

El más efectivo de los obturantes fibrosos sella arenas y gravas, hasta aberturas de 1" de grueso o espesor; la efectividad sobre grietas y fracturas parece limitarse a aberturas menores de 0.125 pg de ancho para los materiales más finos.

PAJA.- Son fibras de  $\frac{1}{4}$  a  $\frac{3}{8}$ " de tamaño, su concentración recomendada es de 29 a 34 kg/m<sup>3</sup> (10 a 12 lb/bl) para fracturas hasta de 0.1 pg.

ASERRIN.- Son partículas de 1/16 a  $\frac{1}{4}$ ", su concentración es de 29 kg/m<sup>3</sup> (10 lb/bl) para fracturas hasta de 0.1 pg, en tamaños de 1/16" su concentración es de 57 kg/m<sup>3</sup> (20 lb/bl).

CORTEZA DE SEMILLA DE ALGODON.- Son fibras de  $\frac{3}{8}$ " de tamaño, se usa con una concentración de 29 kg/m<sup>3</sup> para -- fracturas de 0.07 pg.

MADERA DESMENUZADA.- Son fibras de  $\frac{1}{4}$ " de tamaño, su concentración es de 23 kg/m<sup>3</sup> (8 lb/bl), para fracturas de - 0.03 pg.

DRIL SAL.- Material fibroso a base de asbesto, usado principalmente como obturante en agua salada, mezclado

con el drilcon su concentración es de  $15 \text{ kg/m}^3$  de agua salada.

Es un bache de carbonato de calcio-polímero-dril sal, tiene la característica de ser soluble en ácido. Lo anterior es una ventaja, puesto que en algunas intervenciones a los pozos para su reparación se presentan pérdidas en las formaciones productoras. Estas formaciones están fracturadas, depresionadas y acidificadas, la función del carbonato de calcio y del dril sal es obturar la zona de fractura.

## 2.- MATERIALES GRANULARES.

Los obturantes más usados incluyen Perlita, cáscara de nuez, hule molido, plástico molido, bentonita gruesa y asfalto quemado, gilsonita, ladrillo y carbonatos. Los obturantes granulares usados en grados de tamaño apropiado -- son efectivos en gravas de 1", aun cuando la perlita no sella gravas de 3/8 a 1/2 pg.

Sobre las fracturas, la perlita es efectiva en las de 0.1 pg., la cáscara de nuez de tamaño normal (malla 10 ó más fina) es efectiva en las de 0.125 pg. de tamaño máximo, y el plástico molido es efectivo en las de 0.25 pg. o cerca del doble del tamaño de la grieta que puede ser sellada con obturante fibroso o laminar. No existen datos disponibles acerca del asfalto quemado, pero la mezcla fina sería similar a la perlita y la gruesa al hule molido. El carbonato

de calcio deberá tener una granulometría variada, el carbonato de calcio se utiliza en reparación de pozos, para ob-  
turar formaciones fracturadas y acidificadas, su granulome-  
tría varía de 0.01 a 3/8 pg.

CASCARA DE NUEZ.- Cáscara de nuez triturada y gra-  
duada en forma granular está disponible en tres tamaños: --  
gruesa, mediana y fina. Las fracturas anchas frecuentemen-  
te se taponan y su gran fuerza mecánica permite que altas -  
columnas de cemento detrás de la tubería, resistan mediante  
el sello de la cáscara de nuez. Las cáscaras de nuez de --  
grano medio a grueso se usan en concentraciones de 1 a 5 lb.  
por cada saco de cemento en tareas de cementación de T.R. o  
en cementaciones forzadas. Con cáscara de nuez y cemento  
se recomienda un mínimo de 4% de gel bentonítico para faci-  
litar el bombeo de la lechada. El gel bentonítico tiene la  
ventaja de aligerar el peso de la columna de cemento. A di-  
ferencia de la gilsonita, la cáscara de nuez puede ser uti-  
lizada a altas temperaturas; sin embargo, el efecto de obtu-  
rante es muy similar en zonas de pérdida de circulación.

Es químicamente inerte, su densidad es de 1.28 gr/cc  
no requiere de agua.

Algunos de sus nombres comerciales son: Tuf-Plug, -  
Imco-Plug, Wallnut, Mil-Plug.

GILSONITA.- Mineralógicamente la gilsonita está cla

sificada como un hidrocarburo natural en forma de gránulos, usado para preparar lechadas de cemento de baja densidad y características superiores de control de pérdidas de circulación. Su densidad es de 1.07 gr/cc., su requerimiento de agua es de 0.333 lt/kg. aumenta el volumen de la lechada de cemento, pero no incrementa el peso de la misma.

Se muele y se clasifica para que tenga el tamaño de partículas adecuado a los cementos para pozo petrolero. No absorbe agua de la lechada de cemento cuando se somete a -- presión.

No acelera ni retarda los tiempos de fraguado. Su principal efecto es reducir la densidad de la lechada y sus efectos menores son: la de incrementar el agua para mezclar, reduce la resistencia inicial y final. No tiene efecto alguno sobre la viscosidad, tiempo de bombeo y filtrado.

De 6 a 14 kg. por saco de cemento es generalmente - la cantidad adecuada para controlar casi cualquier zona de pérdida de circulación, con excepción de las más graves en formaciones débiles. Permite el uso de lechadas de 1.5 a - 1.6 gr/cc. con excelentes resultados de cementación.

La característica de obturante granular es lo suficientemente fuerte para soportar presiones de inyección moderada y lo bastante blanda para permitir la deformación ba jo presión, proporcionando un sello efectivo contra la pér-

didada de circulación. Algunos de sus nombres comerciales:  
D-24, D-7, Gilsonite.

PERLITA EXPANDIDA.- Es una roca volcánica (mineral de perlita), la cual es tratada con calor para formar un material granular, con huecos o estructuras celulares.

Se utiliza como obturante en formaciones porosas y fracturadas. Reducir la densidad de la lechada de cemento e incrementar el volumen de agua para la mezcla son sus efectos principales; sus efectos menores son reducir la resistencia inicial y final a la compresión del cemento.

No produce efecto alguno sobre la viscosidad, tiempo de bombeabilidad y filtrado.

Para evitar que la perlita flote mientras se esté mezclando, deberá usarse de 2 a 6% de bentonita para incrementar la viscosidad.

Gravedad específica	2.2 gr/cc.
Requerimiento de agua	4.19 lt/kg.
Volumen absoluto	0.4545 lt/kg @ 211 kg/cm <sup>2</sup>
Temperatura de trabajo	15.6 a 127 °C

Comúnmente se usa en una concentración de 14 a 50 lt/m<sup>3</sup> de cemento.

El peso de la lechada disminuido y el efecto granular.

de obturante hacen a este tipo de lechada apropiado para ce  
mentar zonas de pérdida de circulación.

PERLITA SEIS.- Es una mezcla de perlita expandi  
da y Pozmix A, se usa como agente obturante en formaciones  
porosas y fracturadas.

Su peso específico es de:

Perlita 2.2 gr/cc.

Pozmix A 2.46 gr/cc.

Su requerimiento de agua es de 1.27 lt/kg.

Rango de temperatura de trabajo: 16 a 127 °C.

Se usa en concentraciones de 14.7 a 58 lt/sc.

Sus dos efectos principales son: reducir la den  
sidad de lechada e incrementar el agua para la mezcla. sus  
efectos menores son: incrementar el tiempo de bombeo, redu-  
ce la resistencia inicial y final de la lechada y no tiene  
efecto alguno sobre la viscosidad y filtrado.

PEDACERIA DE LADRILLO.- En pozos geotérmicos es  
muy común usar pedacería de ladrillo para combatir pérdidas  
de circulación.

Cuando se está perforando y se observa una pérdi  
da total de circulación, se debe tener la seguridad de que la  
pérdida es en el fondo del agujero, continuar perforando con

pérdida total de circulación de 10 a 15 m. Arrojar por gravedad un volumen de pedacería de ladrillo equivalente al volumen del agujero, medido desde la profundidad en que aparece la pérdida total hasta el fondo o sea de 10 a 15 m. de longitud por el área del agujero. Bajar con barrena a la cima del tabique, aplicar peso hasta que la pedacería quede a la mitad de la zona de pérdida, intentar circular con el gasto mínimo que pueda proporcionar la bomba del equipo; en el caso de obtener circulación continuar aplicando peso y un poco de rotaria hasta llegar al fondo; si no se restauró la circulación, formar bolas con bentonita, aserrín y un poco de agua, arrojarlas por gravedad y enseguida otro volumen de pedacería de ladrillo, bajar con barrena y aplicar peso hasta compactar el segundo volumen de ladrillo, circular para verificar el retorno del fluido de control, si existe circulación rebajar el ladrillo y continuar perforando, en caso de rebajar y persistir la pérdida, intentar repetir la operación.

**BENTONITA DE ALTO RENDIMIENTO.**- Esta arcilla, debido a sus propiedades coloidales, absorbe y mantiene varias veces su peso en agua, proporcionando así un gel-cemento de la más alta calidad. Algunas de sus ventajas son: aumentar el volumen real de la lechada, este mayor volumen se debe a las propiedades de absorción de agua de la arcilla coloidal, la cual requiere un volumen mayor de agua de mezcla para --



mantener una lechada bombeable.

El peso de la columna de cemento se reduce, cuanto mayor sea el porcentaje de esta bentonita, mayores serán -- los requerimientos de agua y menor el peso de la lechada. Este factor es útil en áreas donde las formaciones no resisten presión hidrostática alta y donde se requiere la circulación de la lechada de cemento hasta la superficie.

La bentonita en lechadas de cemento mejora las características de suspensión para mantener mejor distribución -- de otros aditivos como el flocele, las perlititas, etc. La sedimentación de las partículas de cemento o la separación -- del agua de la lechada también se reduce al mínimo y disminuye así la causa principal de la formación de bolsas de -- agua en la columna de cemento fraguada detrás de T.R.

Algunos de sus nombres comerciales son: Gel Halli--burton, Bentonite (D20), B J Gel, Bentoment.

CIRCOTEX (OBTURANTE GRANULAR).- Es una mezcla de diferentes tamaños de carbonatos. De peso específico igual a 2.76 gr/cc.

Está diseñada para sellar los poros de la formación y permitir que el material para filtrado construya un buen enjarre.

Puede ser usado en agua dulce, agua de mar, salmueras deshidratadoras, salmueras de cloruro de sodio o calcio.

Puede ser agregado directamente a cualquier sistema para mezclado. Es efectivo en situaciones difíciles de pérdidas, donde características de sello superior son requeridas. Bajo estas condiciones, de 29 a 143 kg/m<sup>3</sup> de circotex deberán ser agregados a una lechada compuesta por lignosulfonato, polímeros sintéticos y partículas de diferentes tamaños de carbonatos.

### 3.- MATERIALES LAMINARES.

Estos materiales son efectivos para sellar pequeñas fracturas y como aditivo para controlar pérdida de filtrado.

Los obturantes laminares más comunes son: el celofán, la mica y la cáscara de semilla de algodón, ésta última se considera como obturante laminar; aun cuando dichas cáscaras contienen siempre algo de fibras y gránulos, son predominantemente pequeñas laminas de las cáscaras. Tanto el celofán como la mica se encuentran disponibles en tamaños grueso y fino. El tamaño grueso es efectivo en gravas gruesas y sobre fracturas hasta de 0.1 pg.; el tamaño fino es efectivo en gravas de grado medio y fracturas hasta de 0.06 pg.; los tamaños más finos de la mica pasarán a través de malla 12, permitiendo la eliminación de algunos recortes mientras se circula con material obturante en el lodo. Algunos de los nombres comerciales de la mica fina y gruesa son: Imco myca, Micatex, MagcoMica, Milmica.

ESCAMAS DE CELULOSA (CELOFAN).- Se usa con cemento para evitar ó minimizar las pérdidas en formaciones permeables durante la cementación de T.R. y se usa también como aditivo contra pérdidas de circulación en fluidos de perforación.

Es químicamente inerte, no afecta a la fuerza de -- compresión del cemento, se mezcla y se maneja fácilmente en bombas; para utilizar en cemento, se recomienda las escamas de 3/8 pg.

La masa de la escama por unidad de peso es grande y los compuestos de cementación de  $\frac{1}{4}$  a 1 por ciento en peso -- previenen la pérdida de cemento o fluido de perforación en muchas formaciones permeables. Para condiciones extremas -- se usan mayores porcentajes.

Las escamas de celulosa pueden suministrarse como -- aditivo o premezclado con cemento a granel para trabajos de cementación. Algunos de los nombres comerciales son: Floce le, Imco Flakes, Jek Flake, Kwik-Seal, D-29, Cello-flake, -- Cello-Seal.

#### 4.- LECHADAS DE FRAGUADO RAPIDO.

Son lechadas ligeras o fluidos que forman materiales semisólidos cuando se mezclan con agua o fluidos de perforación que son base agua. Normalmente la mezcla se lleva a -- cabo dentro del pozo, ya sea en la vecindad del agujero o --

dentro de la zona de pérdida.

Estos tipos de lechada se mencionan en el capítulo IV, técnica No 4.

#### 5.- CEMENTOS ESPECIALES.

Estos materiales son lechadas de cemento con tiempo de fraguado corto, estando todavía delgada la lechada o no muy viscosa, se bombean en la vecindad de la zona de pérdida de circulación.

Estas lechadas pueden fraguar durante el desplazamiento o inmediatamente después de entrar en la zona de pérdida.

También pueden ser lechadas de cemento formuladas especialmente para tener una viscosidad baja cuando se están mezclando y desplazando; sin embargo, la viscosidad se incrementa rápidamente cuando la lechada se deja sin movimiento.

Otro tipo de lechadas de cemento son las de baja densidad para disminuir la presión hidrostática en el pozo, esto se logra utilizando aditivos ligeros. La disminución de la densidad es generalmente por el requerimiento de agua, baja densidad del aditivo o una combinación de estas dos propiedades de los aditivos ligeros.

**CAL-SEAL.-** Es un cemento de yeso de gran fuerza, -- normalmente se endurece de 50 a 60 min. después de la mezcla y se utiliza para temperaturas hasta de 60 °C., con un producto de alta temperatura fragua hasta con 77 °C.

Su colocación justo cuando alcanza la etapa viscosa ayuda a eliminar la pérdida de circulación. El material -- fragua incluso mientras está en movimiento.

**CARACTERISTICAS Y VENTAJAS.-** Se endurece con rapidez y mientras circula. Por eso, puede usarse para bloquear la mayoría de aberturas y canales mientras fluye a través de ellos.

- Expansión lineal de 0.3 por ciento al asentarse. se expande y forma un sello hermético.

- Fuerza compresiva de 176 kg/cm<sup>2</sup> que se obtiene en el plazo de una hora después de que comenzó el fraguado.

- El fraguado puede acelerarse o retardarse.

- Bombeable durante el 80% del tiempo de fraguado.

- Perforable en poco tiempo.

- Baja permeabilidad.

Mezclado con cemento portland, el Cal-Seal fragua - en 20 min. más o menos, lo que es más rápido que el cemento puro o el Cal-Seal solo. Por eso se modifica para sellar - zonas de pérdida de circulación a las temperaturas más bajas que se tienen a pocas profundidades.

Ayuda a sellar formaciones porosas rápida y económicamente. Al forzarse dentro de la zona de pérdida a medida que fragua, se expande para proporcionar una mejor adherencia.

CEMENTO CON PUZOLANA.- Cuando el cemento portland se hidrata, se libera hidróxido de calcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) el cual por si mismo no contribuye a la resistencia y puede ser removido; sin embargo, cuando está presente la puzolana se combina con ésta contribuyendo así a la resistencia y a la deshidratación del cemento.

La puzolana es un material silíceo (natural o artificial) que en presencia del hidróxido de calcio y agua desarrolla propiedades cementantes.

De las puzolanas evaluadas para utilizarse con el cemento para trabajos en pozos petroleros, se han seleccionado dos: Pozmix A (artificial) y Pozmix S (natural).

Cuando la puzolana se mezcla con cemento portland se origina el "cemento Pozmix" y cuando se mezcla con cal hidratada resulta el "Pozmix 140"; estos cementos tienen las siguientes ventajas:

- Resultan lechadas ligeras, con lo cual se reduce el filtrado a través de la formación.
- No se necesita incrementar la relación agua-cemento.

- Tienen baja permeabilidad.
- Disminuye la tixotropía de la lechada.
- Tiene características expansivas.

No se recomienda usar Pozmix con cementos retardados como el tipo D, E ó F, cuando la temperatura de fondo es alta pues en este caso el Pozmix actúa como acelerador.

Comunmente el cemento Pozmix lleva la siguiente relación:

Pozmix A ó S	50%	+	2% Bentonita
Cemento Portland	50%		

Algunos de los nombres comerciales de la puzolana natural son: Diamix A, Litepoz 7 (D61), Pozmix D.

Nombres de la puzolana artificial son: Diamix F, -- Litepoz 6 (D48), Litepoz 3 (D35), Pozment A.

CEMENTO-BENTONITA o CEMENTO GELATINOSO.- La lechada cemento-bentonita, se forma al agregar cemento al agua que contiene bentonita prehidratada, y proporciona óptimas propiedades.

La lechada formada tendrá: baja densidad, alta gelatinosidad y una mayor resistencia al fraguar, en comparación con las propiedades obtenidas por una lechada formada al agregar agua a una mezcla seca de bentonita y cemento.

El agua que se empleará para la lechada, deberá tratarse con  $0.7 \text{ kg/m}^3$  ( $\frac{1}{4}$  lb/bl) de carbonato de sodio y  $0.7 \text{ kg/m}^3$  ( $\frac{1}{4}$  lb/bl) de sosa cáustica, para remover los iones de calcio y magnesio. Agregar  $29 \text{ kg/m}^3$  (10 lb/bl) de bentonita, la cual tendrá un buen rendimiento debido al tratamiento anterior. Usar esta lechada de bentonita para mezclarla con la lechada de cemento, obteniéndose una densidad de 1.74 a 1.80 gr/cc (14.5 a 15 lb/bl). Usar 100 sc. de cemento para agujeros grandes.

**CEMENTO PORTLAND-GILSONITA.**- La gilsonita puede ser agregada a las lechadas de cemento, las cuales son usadas para establecer la circulación.

La gilsonita es una sustancia no celular, con peso específico de 1.07 gr/cc. Se muele y se clasifica para que tenga el tamaño de las partículas adecuado a los cementos para pozo petrolero. El requerimiento de agua es bajo, 23 kg. de gilsonita requieren 7.6 lt de agua. No absorbe agua de la lechada de cemento, cuando se somete a presión. La gilsonita disminuye la densidad y actúa como un agente obturante; ambas funciones ayudan a mantener la lechada en la vecindad del agujero. Esta lechada deberá ser colocada exactamente como la de cemento-bentonita y se inyectará, si el pozo se llena durante su colocación.

La característica de obturante granular es lo suficientemente fuerte para soportar presiones de inyección mode-



radas y lo bastante elástica para permitir la deformación bajo presión, proporcionando un sello efectivo contra la pérdida de circulación.

La composición y propiedades de las mezclas de cemento Portland y Gilsonita son mostradas en la tabla V.1.

Entre 6 y 14 kg. (12.5 a 30 lb) de gilsonita por saco de cemento es lo recomendable.

#### VENTAJAS:

1.- Estas lechadas tienen baja densidad, manteniendo esfuerzos a la compresión mayores que las lechadas con misma densidad sin gilsonita.

2.- La gilsonita es químicamente inerte con el cemento y algunos aditivos.

3.- Debido a su estructura no porosa, se alcanza una protección extra contra la deshidratación prematura de la lechada.

4.- La gilsonita es químicamente resistente, tanto a fluidos ácidos como a alcalinos.

5.- Las lechadas de gilsonita mantienen excelente control de las zonas de pérdidas de circulación, porque incorporan un efecto de obturante granular ante éstas.

La gilsonita no debe ser utilizada cuando la tempera

TABLA V I

GILSONITA (kg/scs. de cemento)	CONTENIDO DE AGUA DE LA LECHADA (Vol. %)	AGUA DE MEZCLA		VOLUMEN DE LA LECHADA (l/scs. de cemento)	DENSIDAD DE LA LECHADA (g/cc)	FUERZA COMPRESORA (kg/cm <sup>2</sup> ) en 24 horas a 100°F
		(% en peso)	(l/scs. de cemento)			
0	59.2	46.1	20	33.4	1.87	181
23	43.2	61.8	26	61.4	1.50	82
45	37.8	79.7	34	90.0	1.38	43
91	33.3	115.0	49	147.8	1.24	20

tura de fondo exceda de 148 °C, debido al efecto de reblandecimiento.

**CEMENTO PORTLAND PURO.**- Mezcla de 1.87 gr/cc (15.6 - lb/bl) de densidad usando 40% de agua en relación con el peso del cemento. Esta lechada es densa, fluida y desarrolla alta fuerza a la compresión cuando fragua.

Estas tres últimas lechadas son recomendables, porque proporcionan lechadas delgadas a densas, las cuales fraguan con una dureza, de rígida a más ligerá. Las lechadas espesas o densas tienen propiedades de obturante. Están disponibles en cualquier equipo de perforación, pero esto no quiere decir que deban excluirse todas las otras formulaciones de cemento.

**CEMENTO SPHERELITE.**- Es un cemento de baja densidad, proporciona una lechada de cementación liviana que en tiempo mínimo desarrollan resistencia adecuada a la compresión, incluso a bajas temperaturas de fraguado.

El aditivo Spherelite, combinado con el tipo adecuado de cemento, resultan lechadas de 1.08 a 1.44 gr/cc (9 a 12 lb/bl) que en 24 hr. desarrollan resistencias a la compresión de 7 a 49 kg/cm<sup>2</sup> (100 a 700 lb/pg<sup>2</sup>) a temperatura hasta de -- 77 °C. Específicamente, una lechada de baja densidad con Spherelite de 1.37 gr/cc (11.5 lb/bl), desarrolla aproximadamente 28 kg/cm<sup>2</sup> (400 psi) de resistencia a la compresión en -

20 hr., a la temperatura de 27 °C; en tanto que una lechada - corriente con un aditivo de silicato, desarrolla sólo 4.5 kg/cm<sup>2</sup> (63 psi). Una lechada de cemento-spherelite de 1.2 gr/cc (10 lb/gal) desarrolla 9 kg/cm<sup>2</sup> (130 psi) en las mismas condi ciones.

Además de proporcionar una lechada de alta resistencia y poca densidad, es efectivo para combatir problemas de - pérdida de circulación, pues al deshidratarse forma una cos-- tra gruesa e inmóvil; tiene además buenas propiedades de ais-- lamiento térmico, lo que las hace la mejor selección posible para la cementación de pozos geotérmicos.

El aditivo Spherelite puede combinarse con gran va-- riedad de cementos para lograr la resistencia adecuada a la - compresión, inclusive con cementos clase II y cementos refrac-- tarios.

CEMENTO TIXOTROPICO.- Una lechada se define como ti-- xotropica cuando exhibe una baja viscosidad durante el bombeo, pero desarrolla una alta viscosidad cuando el bombeo se detie-- ne; si se reanuda el bombeo, la lechada regresa a su viscosi-- dad inicial baja, esta característica de viscosidad baja-alta baja se puede repetir varias veces hasta que el cemento comien-- za a fraguar.

El cemento tixotrópico se diseña para que gelatinice cuando se le impongan condiciones estáticas por un período mi

nimo de 5 min. El gel puede ser roto si la lechada es puesta en movimiento. Esta operación de bombeo parando y reanudando puede ser repétida hasta que el cemento empiece a fraguar; -- mientras más estática se mantenga la lechada mayor será el -- efecto de desplazamiento.

Las propiedades tixotrópicas de un cemento hacen particularmente aplicable para combatir problemas de pérdida de circulación durante la perforación. El cemento tixotrópico - puede colocarse a lo largo de una zona de pérdida. Mientras la carga hidrostática se balancea con la presión de formación, el cemento comienza a gelatinizarse pasando a un estado rígido que resistirá movimiento de fluido adicional hacia la zona de pérdida. Después de que se desarrolla cierta resistencia, el pozo puede ser llenado con fluido de perforación y reanudar la perforación.

#### VENTAJAS:

- 1.- Los aditivos son mezclados en seco con el cemento a granel.
- 2.- Puede ser acelerado o retardado.
- 3.- La resistencia a la compresión es lo suficientemente alta como para poder ser utilizada en una cementación - primaria.
- 4.- El cemento es compatible con aditivos tales como: el cloruro de calcio, harina sílica, celofán y la sal.

El cemento tixotrópico también ha sido diseñado para

obtener buenos trabajos de cementación primària en pozos que tengan formaciones cavernosas, vugulares, fracturadas, altamente permeables o no consolidadas. De hecho, el cemento tixotròpico mejora el llenado, reduciendo substancialmente la pèrdida de la lechada hacia la formaciòn.

Sus nombres comerciales son: Thixomix, Tix set, Thixoment, Thixolite, Surefill, Thixofill.

**CAPITULO VI.**

**SELECCION DE LA TECNICA MAS ADECUADA A EMPLEARSE.**

### SELECCION DE LA TECNICA MAS ADECUADA.

Las pérdidas de lodo varían en tipo, severidad y ubicación en el agujero; aún con antecedentes de experiencia en un área, es difícil hacer recomendaciones generales. Pero -- existe un enfoque sistemático para controlar la pérdida de -- circulación que permite el uso del método más efectivo y económico conocido.

Este enfoque incluye tanto medidas preventivas como correctivas. Se ocupa particularmente del uso correcto de materiales de pérdida de circulación, tales como bentonita, -- aceite diesel y cemento, los cuales deben ser almacenados en cada localización.

Mientras que las pérdidas de lodo en zonas cavernosas son las más difíciles de vencer, pero no son las más prevalentes; las cavernas se presentan en las rocas calizas. Las pérdidas de lodo en fracturas inducidas son probablemente las más difíciles, ya que pueden ocurrir esencialmente en cualquier formación.

Las fracturas inducidas difieren de las fracturas naturales en que la pérdida de lodo en la fractura inducida requiere suficiente presión para romper o dividir la formación, mientras que la pérdida de lodo en fracturas naturales requiere sólo de presión suficiente para que exceda la del fluido dentro de la formación.



Las fracturas naturales pueden ser ampliadas por una excesiva presión; entonces se comportarán como fracturas inducidas. Es más difícil prevenir pérdidas de lodo por fracturas inducidas, porque además de separar la formación se destruye el sello.

#### EVALUACION DE LA ZONA DE PERDIDA.

Localizar la zona, determinar el tipo de formación, y evaluar la severidad de la pérdida de circulación.

1.- Si la zona de pérdida no está en el fondo o cerca de la zapata de la última tubería de revestimiento, entonces debe ser localizada por medio de registros de temperatura, registro de rayos gamma con material radioactivo, registro de alambre caliente y transductor.

2.- El tipo de zona de pérdida se determina mejor con base en la litología o por medio de registros eléctricos.

3.- La severidad se determina mejor por la cantidad de lodo perdido y el nivel de la columna hidrostática del lodo. El nivel estático de la columna de lodo puede ser determinado con una pieza de madera (4"X4"X4') en una línea de alambre o también con un detector eléctrico.

#### CORRELACION DE LA TECNICA CON LA SEVERIDAD.

Las zonas de pérdida pueden ser clasificadas como:

- a).- Pérdidas por filtrado.
- b).- Pérdidas parciales.

c).- Pérdidas totales.

d).- Pérdidas totales severas.

Las zonas de pérdida del fluido de perforación han sido clasificadas de acuerdo con la capacidad que poseen para admitir volúmenes de fluido de perforación, además de considerar lo observado en la superficie. Las clasificaciones anteriores pueden ser relacionadas a los cuatro tipos de formación en las que las que pueden ocurrir las pérdidas de lodo. Formaciones no consolidadas o altamente permeables, formaciones con fracturas naturales, formaciones cavernosas y formaciones con fracturas inducidas.

En la tabla VI.1 se da una correlación de la técnica que tendrá éxito en forma más económica con los diferentes tipos y severidad de la zona de pérdida.

Cuando los agentes obturantes tienen aplicación, una mezcla efectiva debe contener cuando menos dos componentes, - ejemplo: agentes obturantes granulares y fibrosos. Una mezcla útil es de 3 a 6 partes de material granular, 2 partes de material fibroso y una parte de material laminar.

Los tamaños del agente obturante deben adaptarse a la severidad de la pérdida. No se logra ninguna ventaja si la concentración de los materiales de pérdida de circulación en el sistema de lodo o en la lechada de pérdida de alto filtrado excede de  $43$  a  $57 \text{ kg/m}^3$  (15 a 20 lb/bl) fig. VI.1; las con

TABLA VI.1.- CORRELACION DE LAS TECNICAS CON LA SEVERIDAD DE LA PERDIDA DE CIRCULACION.

PERDIDA DE CIRCULACION DE 1 a 10 BL/HR.	Sacar la tubería de perforación y esperar de 4 a 8 hr. (técnica No. 1), preparar una lechada de alta pérdida de filtrado conteniendo mica fina, cáscara de nuez o de almendra, celofán y fibras (técnicas No. 2 y 3).
PERDIDAS PARCIALES DE 10 a 500 BL/HR.	Levantar la sarta hasta la zapata y esperar de 4 a 8 hr. (técnica No. 1), inyectar lodo o alguna lechada de alta pérdida de filtrado, conteniendo material obturante granular de tamaño regular (aserrín, cáscara de nuez o almendra), celofán y fibras (técnicas No. 2 y 3).
PERDIDA TOTAL CON EL NIVEL ESTATICO DE LODO DE 60 a 150 m.	Inyectar una lechada de alta pérdida de filtrado conteniendo material obturante granular (de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ pg. en tamaño), celofán y fibras (técnicas No. 2 y 3). Usar cemento solo o con bentonita o gilsonita (técnica No. 4), o usar lechadas de Diesel-Bentonita-Cemento (técnica No.5).
PERDIDAS PARCIALES O TOTALES PARA FRACTURAS INDUCIDAS.	Aplicar un tapón plástico e inyectarlo (técnica No. 6 y 7).

## .....Continuación TABLA.VI.1

PERDIDAS TOTALES SEVERAS CON NIVEL DE LODO DE 150 m. ó más.	Para largos intervalos de pérdida en fracturas o cavernas; inyectar cualquier lechada que tenga alta pérdida de filtrado y que contenga material obturante granular medio a grueso, cemento y material fibroso (técnica No. 3), o una lechada con grandes cantidades de diesel-bentonita-cemento (técnica No. 5). o bien perforar en "ciego", con aire, con lodo aerado o con espuma (técnica No. 8).
---	---

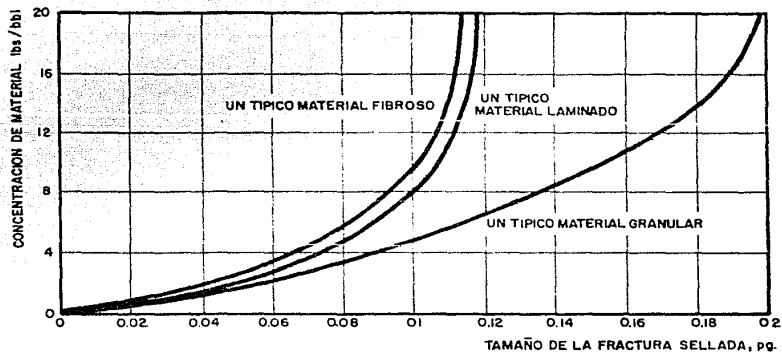
centraciones más altas pueden dar como resultado dificultades con las bombas y condiciones pobres del lodo.

Si se van a usar agentes obturantes en un bache de lodo, entonces las concentraciones hasta de  $86 \text{ kg/m}^3$  (30 lb/bl) pueden ser más efectivas (ver tabla VI.2). Es importante aumentar el tamaño y la cantidad del agente obturante granular si los materiales con tamaños convencionales no son efectivos.

La efectividad de los agentes obturantes granulares, - fibrosos y en hojuelas para taponar una fractura simulada se muestra en las figuras VI.1 y 2.

Las pérdidas de lodo, que van desde una pérdida por filtrado hasta pérdidas totales en fracturas naturales e inducidas de  $1/8$  a  $1/4$  de pg., se pueden remediar usando agentes obturantes. Para que el agente funcione, parte de él debe ser aproximadamente del tamaño de la abertura que va a taponar. - De acuerdo con eso, el material granular fino (cáscara de nuez, mica, cáscara de almendra), fibra fina (asbesto, caña) y celofán de  $1/4$  a 1 pg. de tamaño, deberán ser usados en contra de pérdidas por filtrado.

El material granular grueso (cáscara de nuez de  $1/4$  a  $1/2$  pg), fibra gruesa (madera), fibra media (bagazo de caña), fibra fina (asbesto, caña) y celofán de 1", pueden ser utilizados en pérdidas totales. Se puede observar que, conforme la severidad aumenta, sólo se ha incrementado el tamaño del agente obturante y no la concentración.



**FIG. VI | EFECTO DE LA CONCENTRACION DE MATERIALES PARA PERDIDAS DE CIRCULACION EN EL SELLADO DE FRACTURAS**

CONCENTRACION	ABERTURA DE LA RANURA SELLADA	PRUEBA DE DESCARGA ESTATICA VOLUMEN FINAL A 1000 Psi	PRUEBA ESTATICA DE CAMA DE BALINES VOLUMEN FINAL A 1000 Psi		PRUEBA DE SHOT BED VOLUMEN FINAL A 1000 Psi.	
			ml.	SELLA	ml.	SELLA
10	0.10	500	TOTAL	NO	1700	SI
20	0.13	250	1900	SI	2050	SI
30	0.16	400	1700	SI	800	SI
40	0.20	300	1700	SI	1800	SI

TABLA VI 2 FUNCIONAMIENTO DE LAS CONCENTRACIONES DE VARIAS MEZCLAS  
DE MATERIALES OBTURANTES EN EL LODO

MATERIAL	TIPO	DESCRIPCION	CONCENTRACION lbz/bbl	TAMANO DE FRACTURA SELLADA				
				1/8"	1/4"	3/8"	1/2"	3/4"
Cáscara de nuez . . . . .	Granular	Mallas 50%-3/16"+10 Mallas 50%-10+100	20	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Plástico . . . . .	Granular	Mallas 50%-3/16"+10 Mallas 50%-10+100	20	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Caliza . . . . .	Granular	Mallas 50%-3/16"+10 Mallas 50%-10+100	40	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Azuire . . . . .	Granular	Mallas 50%-3/16"+10 Mallas 50%-10+100	120	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Cáscara de nuez . . . . .	Granular	Mallas 50%-10+6 Mallas 50%-10+100	20	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Perlita expandida . . . . .	Granular	Mallas 50%-3/16"+10 Mallas 50%-10+100	60	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Celofán . . . . .	Laminar	Escamas de 3/4"	8	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Serrín . . . . .	Fibroso	Partículas de 1/4"	10	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Paja . . . . .	Fibroso	Fibras de 1/2"	10	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Corteza semilla de algodón . . . . .	Fibroso	Fibras de 3/8"	10	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Cáscaras . . . . .	Granular	Finas	10	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Paja . . . . .	Fibroso	Partículas de 3/8"	12	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Celofán . . . . .	Laminar	Escamas de 1/2"	8	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Madera desmenuzada . . . . .	Fibroso	Fibras de 1/4"	8	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Serrín . . . . .	Fibroso	Partículas de 1/16"	20	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████

FIG. VI 2 PRUEBAS TOTALES DEL MATERIAL EVALUADO



Con los agentes obturantes disponibles en la actualidad que pueden ser aplicados a través de las bombas de lodo, las pérdidas de lodo en fracturas naturales o inducidas hasta de  $\frac{1}{4}$  de pg. de ancho pueden ser taponadas. En pozos geotérmicos es muy común usar pedazos de ladrillo para combatir las pérdidas .

Cuando el ancho de una fractura natural o caverna excede a este tamaño ( $\frac{1}{4}$ "), entonces, se deben usar las técnicas de colocación de tapones de cemento. Si es aplicado correctamente, el cemento deberá taponar las fracturas naturales y cavernas de  $\frac{1}{4}$  a 1". Las cavernas más grandes deberán ser perforadas aplicando la técnica No. 8 ó perforar en ciego, después de haber atravesado esta zona se puede cementar la T.R.

Los cementos de fraguado rápido no son efectivos en -- contra de fracturas inducidas; los cementos plásticos o suaves tales como: Diesel-Bentonita, Bengum, Mil Squeeze, Zonelock IMP-OP-301, Tapón Polímero y Flo-check, sí son efectivos. La razón es que el alto esfuerzo de la gelatinosidad del cemento plástico ofrece resistencia al flujo dentro de la fractura, -- esto evita que la presión llegue al final de la fractura y se ramifique.

Debido a que el cemento plástico nunca se endurece, -- puede deformarse nuevamente (por acomodamiento) en caso de -- que la fractura se abra ligeramente. Cuando se aplica un cemento plástico, la presión de inyección además de obturar, --

forza al cemento dentro de las fracturas de menor capacidad.

Los cementos comerciales no poseen resistencia debido a la gel, por lo tanto, durante la operación el cemento no se inyecta en las fracturas de menor capacidad.

#### CAUSAS POR LAS CUALES FALLA EL CONTROL DE LA PERDIDA DE CIRCULACION.

Algunas de las causas más usuales por las cuales directa o indirectamente falla el control de la pérdida son:

1.- La localización de la zona de pérdida; muchas veces no es establecida exitosamente, y los intentos de obturación se realizan en lugares erróneos. Las zonas de pérdida de circulación usualmente no están el fondo, sino que se encuentran cerca de la zapata de la última T.R. o cerca del último sitio de pérdida.

2.- Los materiales obturantes no se aplican de acuerdo con el tipo de pérdida, ni capacidad de la zona por la cual se está perdiendo el lodo.

3.- Algunas veces no se procede a usar la técnica requerida para adaptarse a la severidad de la pérdida.

4.- No se tienen registros adecuados en los que se describen los tipos de pérdida. Los materiales y las técnicas empleadas no son correctamente aplicadas.

5.- Durante la colocación de tapones de cemento, las

columnas no están equilibradas y el lodo de perforación produce canalizaciones a través del tapón antes de fraguar. -- Además, cuando la tubería es sacada del pozo, después de haber colocado la lechada, el nivel del lodo en el espacio anular disminuye y el fluido de la formación puede canalizarse a través de la lechada recientemente colocada. Se recomienda usar la técnica de columnas balanceadas.

Para incrementar la eficiencia, las técnicas y los materiales de pérdida de circulación deben estar funcionalmente relacionados con la zona que obturan. Por ejemplo, -- cuando una concentración razonable ( $43$  a  $57 \text{ kg/m}^3$ ) de un material obturante que no ha funcionado en lechadas de alta -- pérdida de filtrado, es inútil usar una concentración mayor del mismo material o uno similar, el siguiente paso es aumentar el tamaño del material.

Es indispensable que las técnicas para pérdidas, deban ser correspondientes a la severidad de la pérdida.

#### MEDIDAS PREVENTIVAS PARA CONTROLAR PERDIDAS DE CIRCULACION.

Dado que las pérdidas de circulación ocasionan cuantiosos gastos por material, tiempo de equipo perdido en obturar las zonas y pozos perdidos, lo más conveniente es tomar medidas preventivas para evitar provocarlas, tales como:

- Evitar presiones excesivas en el pozo.

- Fijar correctamente la T.R. en la profundidad más conveniente.

#### COMO EVITAR PRESIONES EXCESIVAS EN EL POZO.

- Utilizar la densidad adecuada del lodo de perforación; esto quiere decir que el valor de la densidad del lodo será de tal magnitud que controle el gradiente de presión de formación, pero que no rebase el gradiente de fractura, con el objeto de no inducir una pérdida de lodo. La figura VI.3 nos muestra los rangos de densidades que se pueden manejar con los diferentes fluidos de perforación.

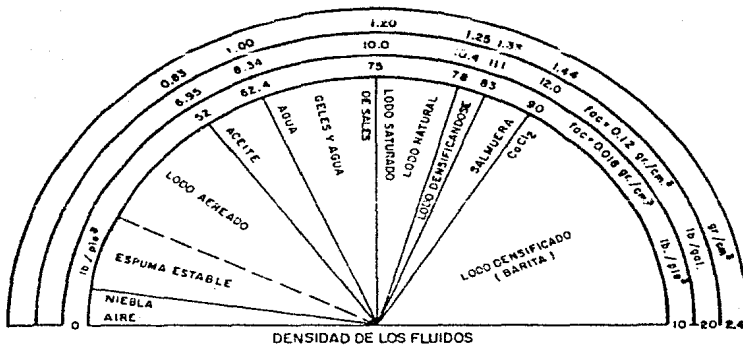
- Sacar o introducir la sarta de perforación o alguna herramienta a una velocidad de 45 a 60 segundos por lingada.

- Optimizar la hidráulica del pozo para evitar presiones de bombeo inadecuadas, así como para obtener una buena limpieza en el fondo del agujero.

- Ajustar las propiedades del lodo, como la densidad viscosidad plástica, punto de cedencia y gelatinosidad dentro de los límites estudiados para la hidráulica del pozo.

- Disminuir la velocidad de las bombas en el caso de ser excesiva.

- Bajar a lo máximo el porcentaje de sólidos por dilución o centrifugación.



\* fac = factor

MULTIPLICAR 0.12 POR EL VALOR EN lbs./gal. Y OBTENEMOS gr./cm.<sup>3</sup>

MULTIPLICAR 0.016 POR EL VALOR EN lbs./pie<sup>3</sup> Y OBTENEMOS gr./cm.<sup>3</sup>

FIG. VI 3 RANGOS DE DENSIDADES DE LOS DIFERENTES FLUIDOS DE PERFORACION

- Usar los lastrabarreras y herramientas correctas.

#### COLOCACION CORRECTA DE LA TUBERIA INTERMEDIA.

Lo ideal es colocar la tubería de revestimiento dentro de la zona de transición, sin penetrar a la zona de presión anormal, ya que el perforar la zona geopresionada con todo de propiedades inadecuadas, provoca atrapamiento de la sarta, debido a derrumbes y reducción del diámetro del agujero a causa de las lutitas hidrófilas.

Se ha comprendido totalmente el significado de "zona de transición", y los medios efectivos para identificarla plenamente están siendo desarrollados por la gente de operación. Esto involucra medios indirectos y directos como los siguientes:

Los gradientes de presión de poro y de fractura pueden ser estimados indirectamente usando:

- 1.- Datos de registros (resistividad, densidad, sónico de porosidad).
- 2.- Densidad de los recortes.
- 3.- Equipos de contrapresión.
- 4.- Densidades por datos sísmicos.

La zona de transición puede establecerse directamen

te por:

- Cambios en las velocidades de penetración.
- Empacamiento del agujero.
- Tendencia a pegarse la tubería de perforación.

Estos parámetros determinan el lugar en que debe ser colocada la tubería de revestimiento.

También se debe tomar en cuenta para seleccionar la mejor técnica, la disponibilidad de materiales y economía de los mismos; es decir, intentar utilizar productos nacionales y como consecuencia reducir costos, adaptándose a la severidad del problema, así mismo disponer de lo que se tenga en el equipo en el momento de presentarse la pérdida de circulación.

En la actualidad, lo más común es usar agentes obturantes en el lodo de perforación cuando la pérdida es parcial y no muy severa, para casos muy delicados, se han utilizado otros tapones más sofisticados como son el Bengum, Zone lock, IMP-OP-301, Tapón Polímero, etc. y que por su alto costo no se usan con regularidad, trabajándose muy bien con los tapones Diesel-Bentonita-Cemento, Diesel-Bentonita, Cemento solo y modificado.

**CAPITULO VII.**

**EJEMPLOS DE APLICACION**



## EJEMPLO No. 1

POZO: IXIM No. 1.

Con T.R. 13 3/8 pg. cementada a la profundidad de -- 705 m. figura VII.1, reanudó la perforación hasta 765 m. don de suspendió la operación por pérdida total de circulación.

Controlando la pérdida con 3 tapones Diesel-Bentoni ta- Cemento, en una relación de 250 sc. de bentonita, 250 sc. de cemento y 20833 lt. de diesel.

Continuó perforando hasta 960 m. sin circulación, -- con agua salada y con baches de lodo de  $8 \text{ m}^3$  en cada cone -- xión.

Se tomaron los registros de Inducción, Rayos Gamma y Densidad Compensado en el intervalo 952-704 m. con el objeto de conocer el tipo de formación que se perforó.

Observando en el registro de Inducción y Densidad, un cuerpo calcáreo desde los 705 m. hasta el fondo, figuras VII. 2 y 3, confirmando esta información el corte de un nú- cleo.

Continuó perforando hasta 1109 m. con frecuente em- pacamiento y repasando sin circulación, con agua salada y - bombeando baches de lodo de  $8 \text{ m}^3$  en cada conexión.

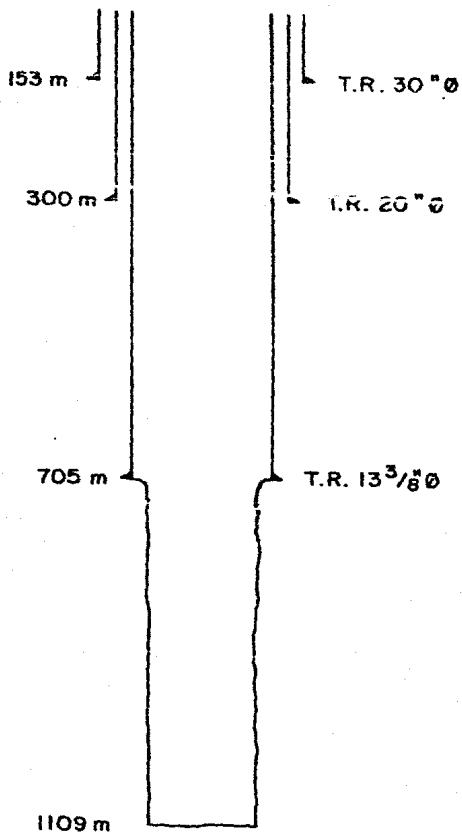
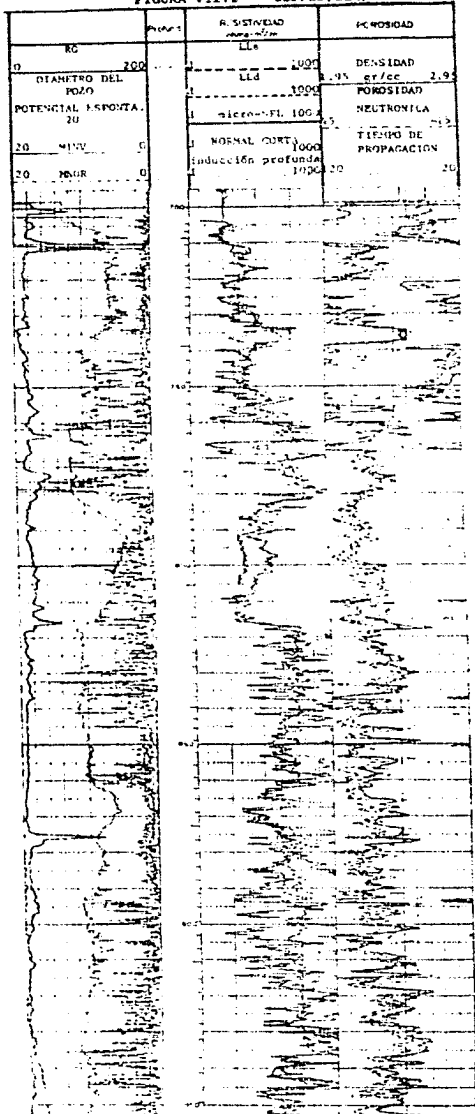
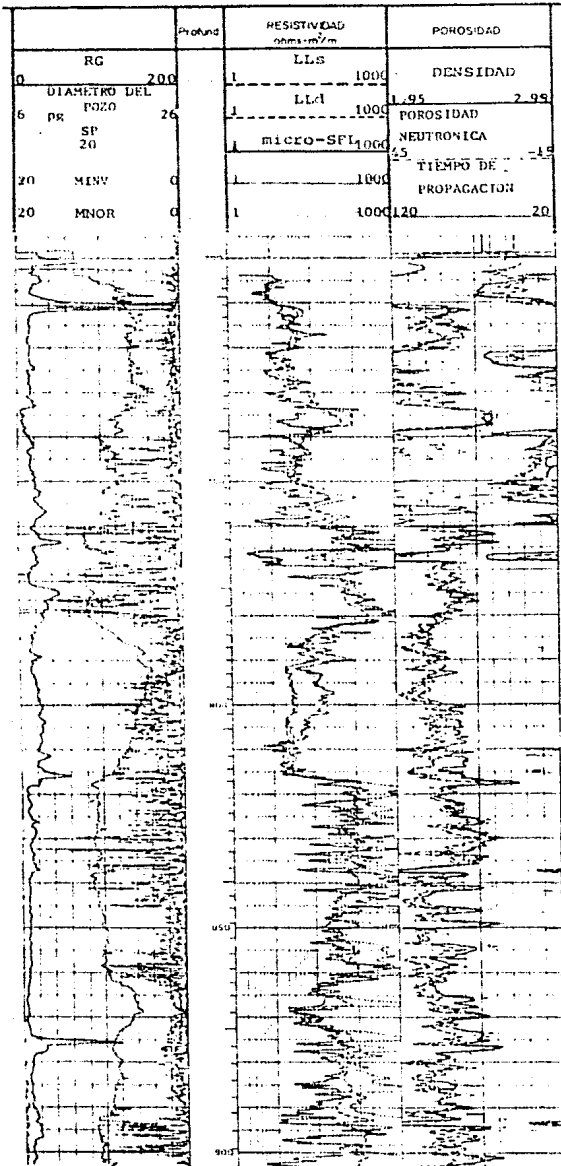


FIGURA VII.1

FIGURA VII.2 ISF/SP/DLL/RG





Se procedió a controlar la pérdida total de circulación con 3 tapones Diesel-Bentonita-Cemento, en una relación de 12.5 ton. de bentonita, 12.5 ton. de cemento y 15 m<sup>3</sup> de diesel. También se colocaron 3 tapones de cemento en una cantidad de 7.5 a 8 ton de cemento; se agregó al lodo de perforación el obturante sello automático. A pesar de aplicar todas estas técnicas, se continuó observando pérdidas totales de circulación. Por lo que, se decidió detectar la profundidad de la zona de pérdida de circulación, con la ayuda de un trazador radioactivo (Yoduro de sodio) y con una serie de registros rayos gamma.

#### OPERACION PARA DETECTAR LA ZONA DE PERDIDA.

- Efectuó registro base rayos gamma-neutrón de 911 m. a 704 m., figura VII.4.

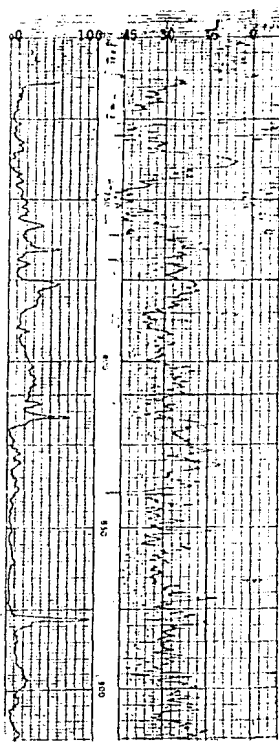
- Con tubería de perforación franca a 905 m. colocó 60 bls de lodo con trazador radioactivo (Yoduro de sodio), y desplazó al fondo de la T.P. con 53 bl. de lodo, figura VII.5 donde se observa la cima del bache radioactivo a los 750 m.

- Bombeó 50 bl. de lodo, desplazando el bache radioactivo a lo largo del espacio anular.

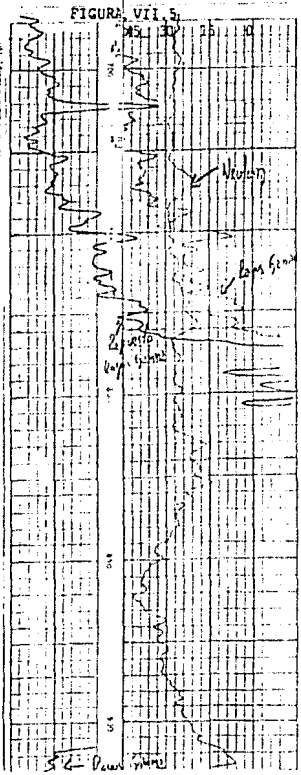
- Corrió registro rayos gamma-neutrón de 914 a 704 m. y bombeó 50 bl. de lodo; detectandose la zona de pérdida, -- desde 725 hasta 850 m. figura VII.6.

Colocó tapones IMP-LR-104 de 117 sc., SEAL SAFE X de 17 sc. con 32 sc. de W-G-8 y 25 m<sup>3</sup> de ácido acético al 2% de

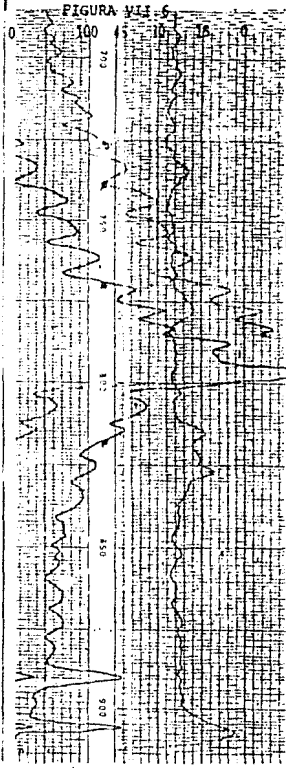
POZO IXIM No. 1  
REG. GAMMA-NEUTRON  
FIGURA VII.4



POZO IXIM No. 1  
REG. GAMMA-NEUTRON



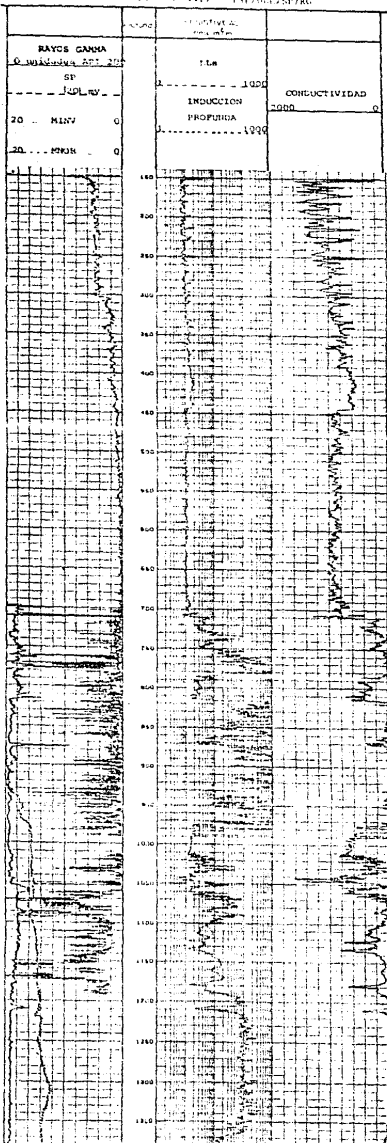
POZO IXIM No. 1  
REG. GAMMA-NEUTRON  
FIGURA VII.6



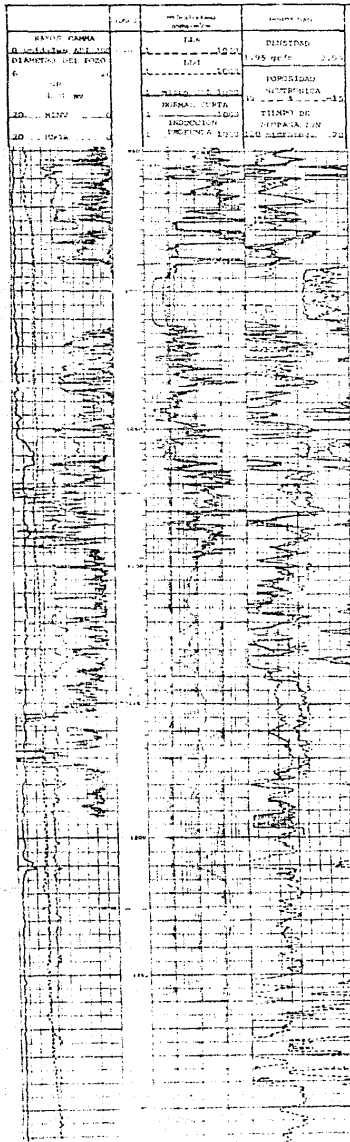
de PH= 3.5; Tapón Diesel-Bentonita-Cemento de 250 sc. de ben  
tonita, 250 sc de cemento y 20 m<sup>3</sup> de diésel. Llenó pozo y -  
rebajó tapones y repasó el agujero con agua salada y sin circu  
lación.

Tomó registros Doble laterolog, rayos gamma, densi--  
dad compensado, neutrón compensado de 1101 a 701 m. los cua-  
les se muestran en las figuras VII.7 y 8, observando en los  
registros la prolongación de los carbonatos desde los 705 m.  
hasta el fondo.

Por lo que se decidió, que era mejor seguir perforando  
en ciego, con agua salada y con baches de lodo en cada co  
nexión hasta los 1339 m.







## EJEMPLO No. 2.

## POZO: KAMBUL No. 1.

El estado mecánico del pozo al manifestarse las pérdidas de circulación, se muestra en la figura VII.21.

Después de haber cementado la T.R. de 9 5/8 pg a la profundidad de 2025 m., se perforó hasta 2119 m. con continuos quiebres en la velocidad de penetración y con pérdida de circulación, se colocaron 5 tapones Diesel-Bentonita a las profundidades de 2050 y 1900 m. en una dosificación de 150 sc de bentonita por 7.5 m<sup>3</sup> de diesel, bombeado entre colchones de 5 bl. de diesel, desplazando la lechada al fondo de la T.P. y cerrando el preventor e inyectando el tapón con 58 bl. de lodo por T.P. y 30 bl. de lodo por T.R. a una presión final de 42 kg/cm<sup>2</sup> por T.P. y T.R., al desplazar observó 60% de la circulación.

También se colocaron 3 tapones de cemento tipo G a la profundidad de 2055 m. con 100 sc de cemento, desplazó la lechada hasta el fondo de T.P. observando circulación durante la operación, levanto la T.P. a 1873 m. e inyectó 19 bl. a una presión de inyección de 18 kg/cm<sup>2</sup>, alcanzando una presión final de 42 kg/cm<sup>2</sup>.

Continuó perforando con barrena de 8½" hasta 2200 m. con agua salada y sin circulación, colocando baches de lodo

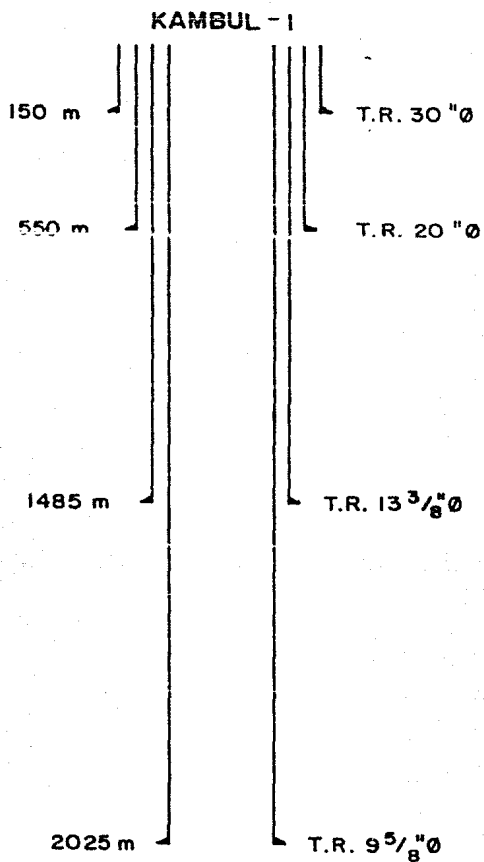


FIGURA VII.21

de 8 m<sup>3</sup> en cada conexión, suspendió la operación por incrementarse el torque de 200 a 300 amperes y por tenderse a pegar - la sarta.

Corrió registros de inducción, rayos gamma, densidad compensado y netrón compensado. Las curvas de resistividad, conductividad y rayos gamma (figura VII.22) muestran en el - intervalo 2000-2100 m. un cuerpo cálcareo sucio de arcilla; de 2100-2150 m. se observa la continuación del mismo cuerpo pero más limpio; de 2150 m. hasta el fondo (2200 m.) se observa una disminución de resistividad como consecuencia un - incremento de la conductividad y la curva de rayos gamma tiene una pequeña tendencia a incrementarse, lo que nos indica la posibilidad de la presencia de un cuerpo arcilloso, lo -- cual no da una explicación acerca del incremento del torque y la tendencia a pegarse la sarta en los últimos metros per forados.

#### COLOCACION DEL TAPON ZONELOCK.

- Bajó tubería de perforación franca con válvula de contrapresión a 1978 m. y colgó la sarta en cabezal de 18 3/4 de pg. para colocar el tapón zonelock.

- Con preventor cerrado bombeó 10 bl. de diesel a una presión de 35 kg/cm<sup>2</sup>.

- Inmediatamente después bombeó una lechada de 100 - sc de bentonita con 35 bl. de diesel, con una densidad de --



1.19 gr/cc. y una presión de 28 kg/cm<sup>2</sup>.

- Bombeó 7 bl. de diesel con 11 kg/cm<sup>2</sup>.
- Bombeó 5 bl. de espaciador J-S59 (0.98 gr/cc a una presión de 7 kg/cm<sup>2</sup>.
- Bombeó 37 bl. de solución A (1.06 gr/cc) a una presión de 7 kg/cm<sup>2</sup>.
- Bombeó 5 bl. de gelificante J-133 (0.98 gr/cc) a una presión de 7 kg/cm<sup>2</sup>.
- Bombeó 54 bl de solución B (1.11 gr/cc) a una presión de 7 kg/cm<sup>2</sup>.
- Bombeó 5 bl. de gelificante J-133 (0.98 gr/cc) a una presión de 7 kg/cm<sup>2</sup>.
- Bombeo 5 bl. de agua a una presión de 7 kg/cm<sup>2</sup>.
- Bombeó 72 bl de lechada de cemento tipo G, con una densidad de 1.85 gr/cc, y a una presión de 3.5 kg/cm<sup>2</sup>.
- Bombeó 5 bl de agua, a un gasto de 3 bl/min.
- Bombeó 38 bl. de lodo de 1.02 gr/cc a una presión de inyección de 7 kg/cm<sup>2</sup>, a un gasto de 4 bl/min.
- Bombeó 71 bl de lodo de 1.02 gr/cc, con un gasto de 2 bl/min.
- Bombeó 12 bl. de lodo de 1.02 gr/cc, con un gasto de 1 bl/min.

Reanudó la perforación con barrena 8½" hasta 2205 m. con pérdida total de circulación.

Con T.F. franca a 1957 y con preventor cerrado, colocó tapón de cemento modificado con bentonita, 17 ton. de ce-

mento, 12% de bentonita, 0.3% de HR-4, 5 kg/m<sup>3</sup> de obturante granular medio, 0.2% HR-4, alcanzando la lechada una densidad de 1,87 gr/cc, desplazó con 18 m<sup>3</sup> de lodo de 1.01 gr/cc alcanzando presión máxima de 10 kg/cm<sup>2</sup>, a un gasto de 1 bl/min.

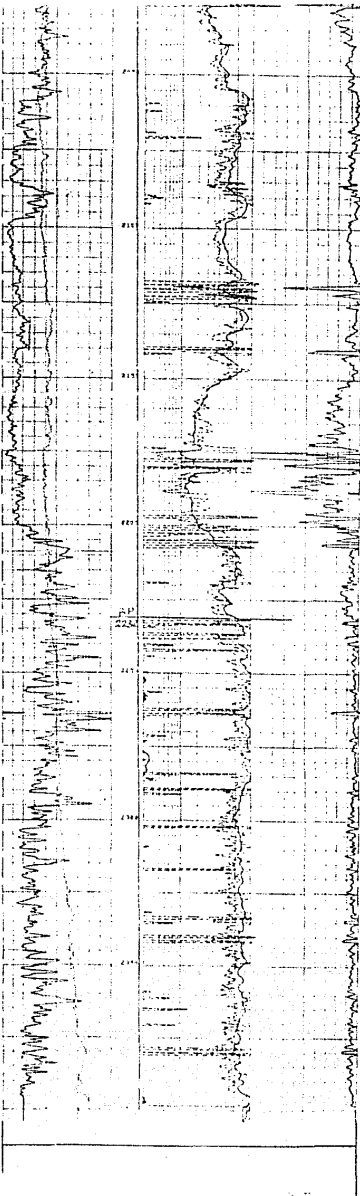
Continuó perforando sin circulación, con agua de mar y baches de lodo de 5 m<sup>3</sup> en cada conexión hasta 2400 m. acondicionando el pozo para correr registros eléctricos.

Tomó registros de Inducción, Rayos gamma, Densidad - Compensado, Neutrón Compensado de 2400 a 2025 m..

Analizando el registro de Inducción, se observa con mayor claridad el cuello arcilloso del que se habló en el registro anterior, en la figura VII.23 se observa claramente de 2150 a 2205 la formación arcillosa; a partir de los 2205 m. hasta el fondo (2400 m.) se observa una formación compuesta por carbonatos.

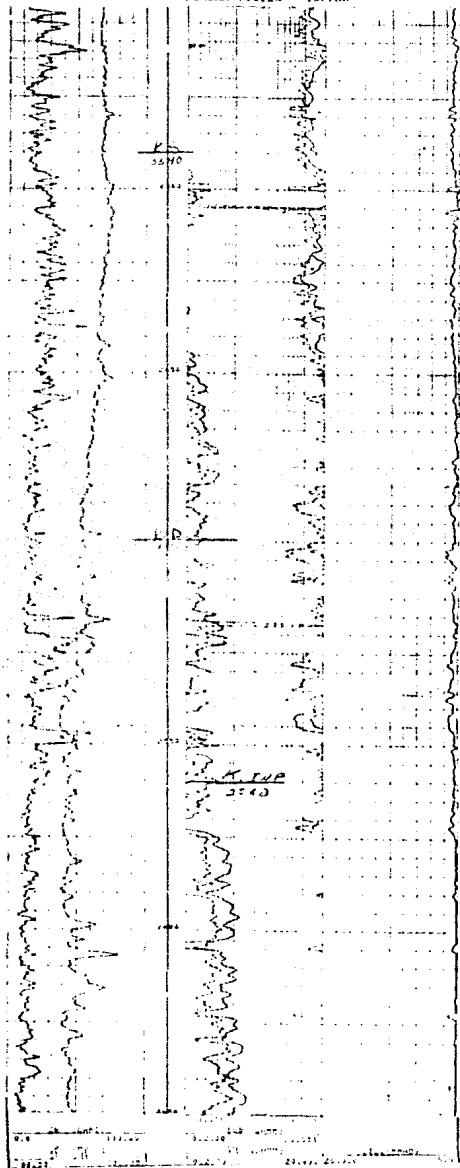
Reanudó la perforación de 2400 hasta 2648 m. sin circulación, agua de mar y baches de 5 m<sup>3</sup> en cada conexión, -- acondicionando el pozo para efectuar registros.

Corrió registro de inducción, rayos gamma, litodensidad, neutrón compensado de 2671- 2350 m., en la figura VII.-24. se observa que los valores de resistividad obtenidos de la sonda normal SN son mayores que los valores de la sonda - de rango de investigación más profundo ILD, esto puede indi-





POZO KAMBUI No 1  
FIGURA VII.24 ISF/RL



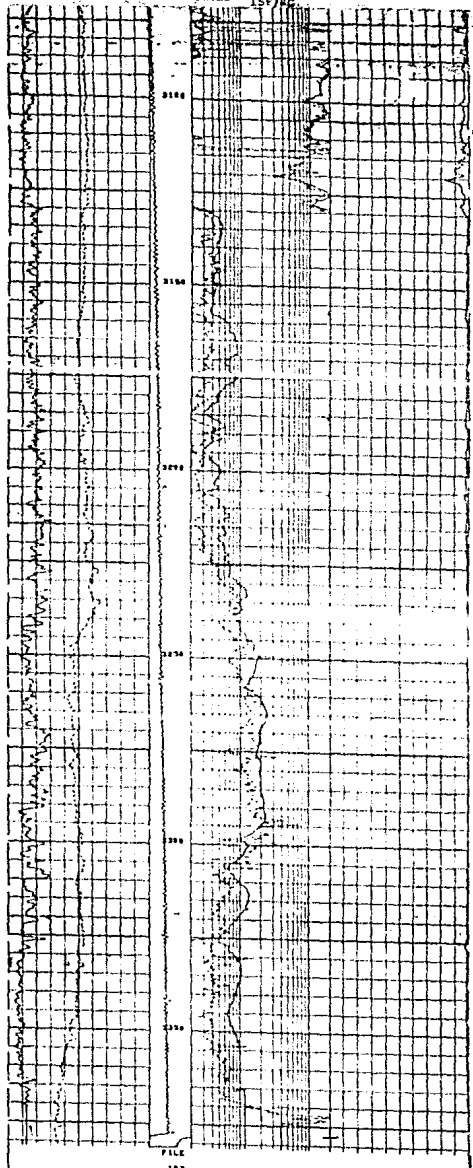
car que la formación está invadida de agua.

Perforó con agua de mar, sin circulación, bombeando baches de lodo de  $5 \text{ m}^3$  en cada tramo hasta 3378 m. acondicionando el agujero para tomar registros.

Corrió registros de inducción, rayos gamma de 3378 a 3050 m., en la figura VII.25 se visualiza la prolongación de los carbonatos con lecturas de resistividad muy bajas como - para encontrar hidrocarburos, ningún cuerpo con resistividad importante.

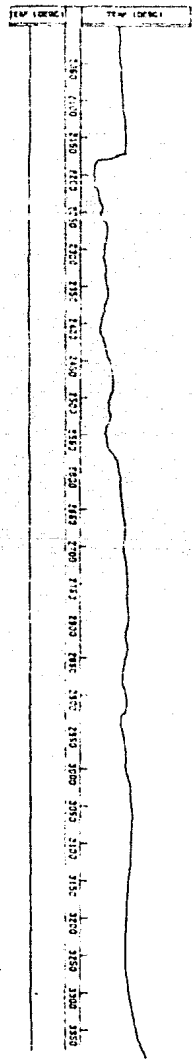
Corrió registro de Temperatura de 2025 a 3378 m. observando que la zona de pérdida comienza desde 2170-2600 m., 2850-3020 m. y 3170-3300 m. como se puede ver en la figura - VII.26 del registro de temperatura. La curva de la izquierda también es de temperatura, pero en una escala más grande.

Por ser muy grandes las zonas de pérdida, ya no se - intentó obturarla, reanudando la perforación con agua de mar, sin circulación y bombeando baches de lodo en cada conexión.



100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250	255	260	265	270	275	280	285	290	295	300	305	310	315	320	325	330	335	340	345	350	355	360	365	370	375	380	385	390	395	400	405	410	415	420	425	430	435	440	445	450	455	460	465	470	475	480	485	490	495	500	505	510	515	520	525	530	535	540	545	550	555	560	565	570	575	580	585	590	595	600	605	610	615	620	625	630	635	640	645	650	655	660	665	670	675	680	685	690	695	700	705	710	715	720	725	730	735	740	745	750	755	760	765	770	775	780	785	790	795	800	805	810	815	820	825	830	835	840	845	850	855	860	865	870	875	880	885	890	895	900	905	910	915	920	925	930	935	940	945	950	955	960	965	970	975	980	985	990	995	1000
100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250	255	260	265	270	275	280	285	290	295	300	305	310	315	320	325	330	335	340	345	350	355	360	365	370	375	380	385	390	395	400	405	410	415	420	425	430	435	440	445	450	455	460	465	470	475	480	485	490	495	500	505	510	515	520	525	530	535	540	545	550	555	560	565	570	575	580	585	590	595	600	605	610	615	620	625	630	635	640	645	650	655	660	665	670	675	680	685	690	695	700	705	710	715	720	725	730	735	740	745	750	755	760	765	770	775	780	785	790	795	800	805	810	815	820	825	830	835	840	845	850	855	860	865	870	875	880	885	890	895	900	905	910	915	920	925	930	935	940	945	950	955	960	965	970	975	980	985	990	995	1000

FIGURA VII.26  
TEMPERATURA  
KABUL 1



## EJEMPLO No. 3.

## POZO: CANTARELL No. 217-A.

Con zapata de T.R. de 20 pg. a 370 m. se reanudó la perforación con lodo de 1.03 gr/cc a 418 m. con pérdida de circulación, por lo que se colocó un tapón de cemento y se controló la pérdida; se reanudó la perforación observando nuevamente la pérdida de circulación a 423 m., la cual se controló después de haber colocado un tapón de cemento por circulación.

Se continuó perforando utilizando agua de mar, a las profundidades de 460 y 528 m. se observaron pérdidas parciales de circulación, y que se controlaron en el primer intento con un tapón de cemento tipo H y la segunda con cemento - THIX SET con 10% de gilsonita y cemento fibroso.

Perforó a 650 m. observando en cada conexión, abatir se el nivel de agua salada.

Corrió registro de inducción de 654- 378 m., en la figura VII.31 se observa una secuencia de arenas y lutitas correspondientes al reciente pleistoceno, los cuerpos arenosos probablemente sean las zonas de pérdida. Controló la pérdida parcial con tapón de cemento tipo H.

Perforó a 700 m. con agua de mar y pérdida de 1 m<sup>3</sup> - cada 2 minutos, para controlar la pérdida se colocaron 4 tapones de cemento tipo H y tapón Diesel-Bentonita, en una re-

lación de 200 sc. de bentonita y 8 m<sup>3</sup> de diésel.

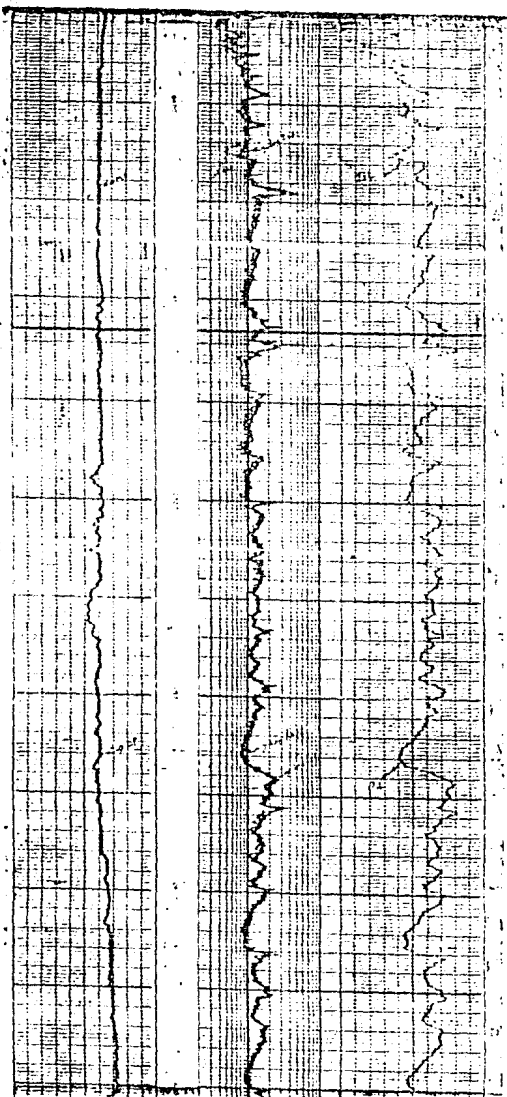
Perforó a 800 m. y tomó registro de inducción de -- 799.5 a 370 m., el cual nos sigue mostrando las intercalaciones de arenas y lutitas como se observa en la figura VII.32 y parte de la figura VII.31, por lo que el programa a seguir fue perforar hasta encontrar un cuerpo más consistente donde se pudiera cementar la tubería de revestimiento de 13 3/8".

Se continuó perforando hasta 900 m. y se intentó ampliar el agujero de 12¼ a 18¼" sin conseguirlo por abatimiento continuo del espejo de agua.

Se programó la colocación de un volumen de solución obturante IMP-OP-301, suficiente para cubrir el intervalo de 370 a 550 m. en agujero de 12¼" . La tubería de perforación de 4½" con válvula de contrapresión en su extremo se colocó a 363 m. En varias ocasiones se trató de llenar el pozo con agua de mar y con lodo de 0.98 gr/cc, observandose abatimiento del nivel de fluido de control en el pozo.

Se prepararon 20 m<sup>3</sup> de solución de obturante IMP-OP-301, base agua de mar; se bombearon 17 bl de gelatina, cerró preventor y se bombearon 100 bl. adicionales de obturante - desplazando con 4 bl. de diesel y 13 bl. de lodo de 0.98 gr/cc, la presión de desplazamiento fue de 10.5 kg/cm<sup>2</sup>, la de inyección de 21 kg/cm<sup>2</sup> y la final de 10.5 kg/cm<sup>2</sup>; se levantó la tubería de perforación a 306 m. y esperó 24 hr de fraguado con pozo cerrado.

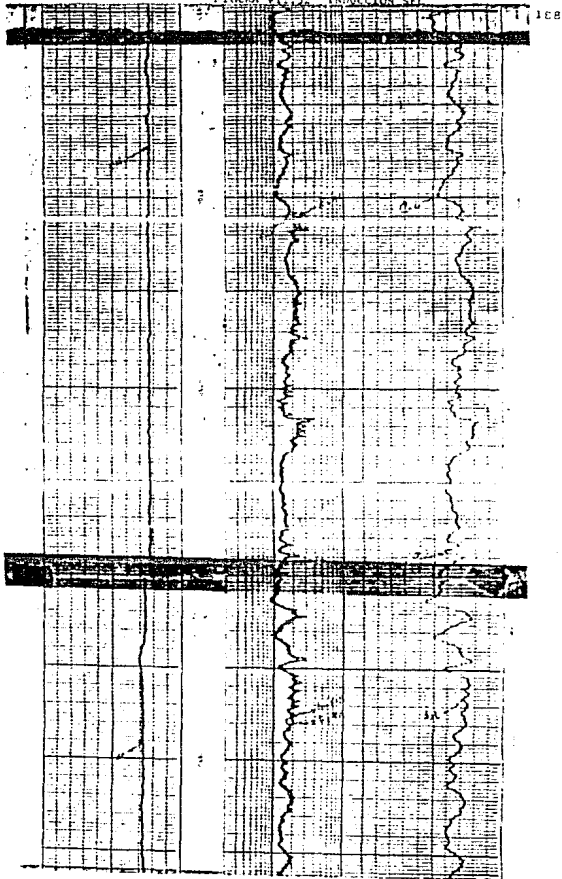
Se abrió el pozo, se llenó el espacio anular con -  
3 m<sup>3</sup> de lodo y se circuló directo con lodo de 1.11 gr/cc; -  
después de circular durante 20 min. sin pérdida, se desalo-  
jó fragmentos de gelatina, sacó la T.P. franca a superficie,  
bajó ampliador de 18½" con barrena guía de 12½" y rebajó ta-  
pón OP-301 de 363 a 460 m., se emparejaron columnas a 1.15  
gr/cc y continuó ampliando hasta el fondo (800 m.) sin ob--  
servar pérdida de lodo.





POZO CANTARELL 217-A

FIGURA VII. 32. INDUCCIONES SEI



## EJEMPLO No. 4.

POZO: YUM No. 1

El estado mecánico del pozo cuando se observó la pérdida del fluido de control, se muestra en la figura VII.41.

Perforó hasta 1430 m. efectuando la prueba de goteo, alcanzando una presión máxima de  $25 \text{ kg/cm}^2$  correspondiendole una densidad equivalente de  $2.12 \text{ gr/cc}$ .

Perforó hasta 1659 m. observando pérdida parcial y manifestación de gas, por lo que se incrementó la densidad del lodo de  $1.88$  a  $1.96 \text{ gr/cc}$ .

Continuó perforando hasta 1858 m. observando pérdidas parciales y derrumbes, tendiendo a empacarse la sarta; - se disminuyeron las condiciones del bombeo y reanudó la perforación hasta 1886 m. observando pérdida parcial de circulación.

Tomó registros de inducción y rayos gamma de 1886 a 1400 m. Los registros mostraron algunos cuerpos arenosos intercalados en potentes lutitas, dichos cuerpos arenosos podrían ser las probables zonas de pérdida (figura VII.42).

Se disminuyó un poco la densidad del lodo de  $1.96$  a  $1.94 \text{ gr/cc}$  y perforó hasta 2516 m. observando manifestación de gas, abundante derrumbe y lodo floculado.

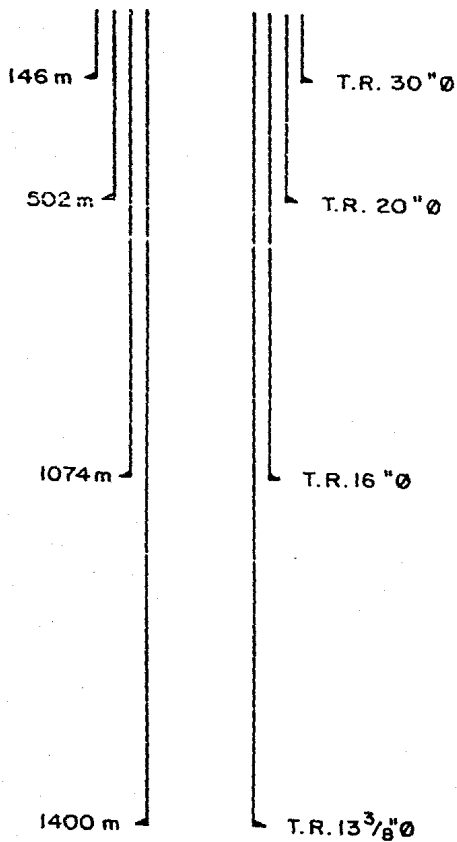


FIGURA VII.41



Se decidió detectar la zona de pérdida con un trazador radio activo (Yoduro de sodio) y 4 corridas del registro de Tiempo de degradación termal (T.D.T.).

OPERACION PARA DETECTAR LA ZONA DE PERDIDA DE CIRCULACION.

- Tomó registro T.D.T. (corrida base), de 1900-1400 m. figura VII.43.

- Preparó bache de trazador radioactivo  $1.5 \text{ m}^3$ , con salmuera de cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) y 5 ml. de Yoduro de sodio.

- Con tubería de perforación de 5", estacionada a 1918 m. desplazó el bache de radioactivo fuera de la tubería con 119 bl., a un gasto de 2 bl/min., presión de bombeo de 550 psi, sin observar circulación durante el desplazamiento.

- Tomó registro T.D.T. (2a. corrida), de 1900-1400 m. observando el trazador radioactivo en el espacio anular, en el intervalo 1900-1700 m. como se observa en la figura VII.44 y comparándola con la figura VII.43, se visualiza perfectamente en donde se encuentra localizado el radioactivo.

- Se desplazó el trazador por el espacio anular con 80 bl. de lodo a un gasto de 2.5 bl/min., presión de bombeo de  $35 \text{ kg/cm}^2$ , sin observar circulación.

- Corrió tercer registro T.D.T. de 1900-1400 m. detectando la zona de pérdida de 1524 a 1692 m. como se puede

ver en la figura VII.45 y comparándola con la figura VII.43.

Corrió 4o. registro T.D.T. de 1900-1400 m. confirmando la zona de pérdida que se detectó en el anterior registro ( figura VII.46).

Procedió a colocar 6 tapones de cemento tipo H a -- 1526 y 1360 m. Al rebajar cemento se observó pérdidas parciales y resistencias francas. Continuó colocando tapones de cemento y gelatinas observando pérdidas parciales y totales, presentando resistencias hasta de 15 ton.

Y U M I

RO (OAP1)	UNIT (CPB)
NO ( )	TRU (US)
FSTO(CPB)	UFLT (CPB)

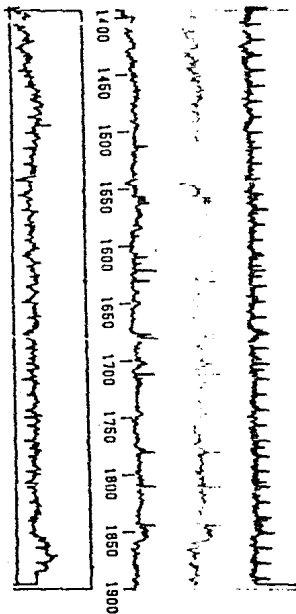


FIGURA VII.43

T.D.T.

Y U M I

RO (OAP1)	UNIT (CPB)
NO ( )	TRU (US)
FSTO(CPB)	SIG ( )
	UFLT (CPB)

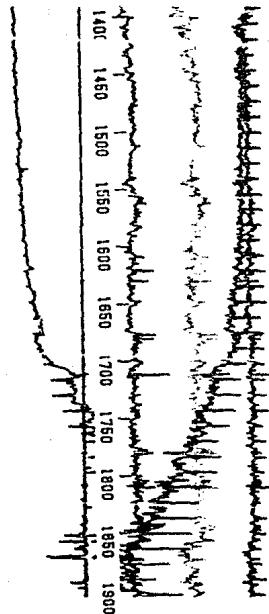


FIGURA VII.44

T.D.T.

Y U H I

NO (ORPI)	UNIT (CPS)
NO ( )	TRU (US )
FSTD(CPS)	UFIT (CPS)

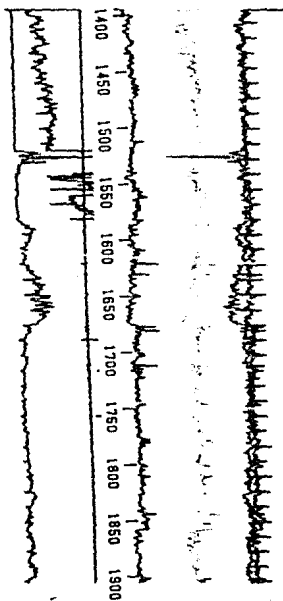


FIGURA VII.45

T.D.T.

Y U H I

NO (ORPI)	UNIT (CPS)
NO ( )	TRU (US )
FSTD(CPS)	UFIT (CPS)

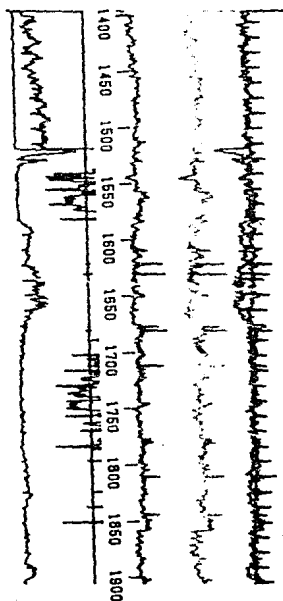


FIGURA VII.46

T.D.T.



## EJEMPLO No. 5

Algunos de los primeros pozos perforados en Cantarell (Sonda de Campeche) fueron terminados en agujero descubierto, hasta que se hizo evidente una fuerte invasión de gas. En el pozo Cantarell 1-A, con el propósito de cambiar esta creciente relación gas-aceite, se planeo cementar la zona, pero la formación llamada Brecha del Paleoceno presenta un fracturamiento intenso y/o dolomitización, y es donde se presentan las pérdidas de circulación. Por lo tanto, era factible perder todo el cemento en dicha formación.

## POZO: CANTARELL 1-A.

Condiciones mecánicas del pozo:

Zapata de T.R. 9 5/8 pg. a 1229 m.

Boca del liner de 7 pg. a 1124 m.

Cima de la brecha del paleoceno a 1200 m.

Secuencia de la operación:

- Efectuó prueba de las líneas de alta presión por T.P. y T.R., con  $352 \text{ kg/cm}^2$  (5000 psi).

- Llenó por espacio anular y represionó el mismo con  $49 \text{ kg/cm}^2$  (700 psi).

- Se abrió la válvula de tormenta y se procedió a bombear bache de agua salada, 40 bl., a un gasto de 1 bl/min. Usando la técnica de hesitación.

- Bombeó bache de 2.5 bl. de diesel a un gasto de 0.5 bl/min. y a una presión de 84 kg/cm<sup>2</sup>.
- Bombeó 20 bl. de solución Diesel-Bentonita de 1.27 gr/cc. con hesitación.
- Bombeó bache de 2.5 bl de diesel a razón de 1 bl/min. y presión de 67 kg/cm<sup>2</sup>.
- Preparó y bombeó 15 m<sup>3</sup> de solución A Zonelock con hesitación.
- Bombeó 5 bl de agua como espaciador a 2 bl/min. y - 46 kg/cm<sup>2</sup>.
- Bombeó bache de 15 m<sup>3</sup> de solución B Zonelock con hesitación.
- Bombeó bache de 5 bl de agua como separador a 1.5 - bl/min. y 20 kg/cm<sup>2</sup>.
- Mezcló y bombeó 29.5 ton. de cemento tipo G + 0.3% de retardador, densidad de la lechada igual a 1.90 gr/cc -- (15.9 lb/gal), con hesitación.
- Desplazó con 23 bl. de agua, con hesitación.
- Se descargó presión en T.R., regresando 0.5 bl., de jando represionada la T.P. con 13 kg/cm<sup>2</sup> durante 24 hr.
- Se abrió el pozo por T.P. desalojando aire y agua, hasta quedar sin presión.
- Cerró el pozo para verificar, si acumulaba presión - durante 24 hr.
- Se abrió el pozo sin haber acumulado presión en T.P. probó efectividad del tapón con 140 kg/cm<sup>2</sup>, satisfactoriamente.

## POZO CANTARELL No. 1015.

Condiciones mecánicas del pozo:

Zapata de T.R. 9 5/8 pg. a 2426 m.

Boca del liner de 7 pg. a 2230 m.

Cima de la brecha del paleoceno a 2500 m.

Para recementar la boca del liner en el pozo Cantarell 1015, por falla del emparador externo, se habían efectuado varios intentos con tapones Diesel-Bentonita sin éxito alguno. Previo al tratamiento de Zonelock, se bombeó un tapón diesel-bentonita como primer frente, debido a la severidad de la pérdida, el cual se desplazó hasta la brecha sin manifestar incremento alguno, con excepción de un pequeño brinco de presión, el cual se rompió instantáneamente. Utilizó la técnica Zonelock, siguiendo un procedimiento similar al caso anterior, -- con excepción de volúmenes y gastos. Al inyectar el cemento se registró un paulatino incremento de presión en superficie debido a la reacción anticipada de las soluciones correspondientes del zonelock. Detalles, como el control de fluidos, posición de la tubería, etc. hicieron que la operación fuese bien diseñada logrando que ésta terminara satisfactoriamente. Se controló la pérdida arriba de la zona de interés.

## EJEMPLO No. 6

## POZOS GEOTERMICOS.

Un ejemplo de pérdidas de circulación muy severo en un campo geotérmico, es el que se presenta en el campo de la Primavera, Jal. situado a 15 km. al poniente de la Ciudad de Guadalajara.

Durante la perforación, el principal problema es el de las pérdidas de circulación, lo cual ocasiona considerables retrasos; se estima que el costo de tiempo de equipo y materiales utilizados en resolver el problema, representa el 50% o más del costo total de cada pozo.

Las pérdidas de circulación han llevado a estudiar y probar diversos materiales obturantes y procedimientos de solución.

Las pérdidas se han relacionado con la formación denominada TOBA TALA, la cual es de tipo vugular; se ha encontrado desde los 20 hasta los 800 m. de profundidad, son formadas probablemente por el enfriamiento del magma que atrapó ceniza volátil, y que por la acción hidrotermal del medio -- fue disuelta parcial o totalmente. Esta formación se caracteriza por ser extraordinariamente permeable, tener un gradiente de fractura muy bajo, además de estar saturada de -- agua.

De los materiales obturantes que se han estado usando

en esta zona son: papel celofán, borra, asbêsto, aserrín, fibras de maguey y caña, cascarillas de coco, obturante granular grueso, medio y fino, sello automático, algunas combinaciones de estos últimos, tapones de cemento solo y modificado, tapones Diesel-Bentonita-Cemento, Drilsal. Todos estos materiales han funcionado en algunos pozos y en algunos otros no se han tenido buenos resultados; el de mejor funcionamiento ha sido el cemento solo o modificado. También se ha utilizado como solución la espuma, utilizada como fluido de perforación en lugar del lodo convencional.

La espuma tuvo buenos resultados hasta que apareció un acuífero muy grande, el cual ocasionó el crecimiento de la columna de agua, incrementando el volumen del espumante - hasta el triple del usado normalmente, llegó el momento en que el compresor ya no pudo desalojar la columna de agua. Se intentó taponar el acuífero, con obturantes y tapones de cemento sin ningún éxito; durante el intento de obturación se observó que al rebajar el cemento usando espuma, ésta se degrada y no se restablece la circulación, por lo que la operación se tornaba peligrosa a medida que se rebajaba el cemento. Con este sistema se tuvieron problemas en la ampliación del agujero de 12½ a 26 pg., como son atrapamientos de la tubería de perforación debido a lo deleznable de la formación, ya que la humedad de la espuma provocaba ablandamientos, generando los derrumbes.

Otro tipo de problema se presentó al estar desalojando la columna de agua del pozo, a la profundidad de 487 m.; el pozo comenzó a aportar agua y vapor, se suspendió la inyección de aire y bombeó agua para controlar el pozo.

Otra forma de solucionar las pérdidas de circulación, es la de saturar con obturante sello automático las zonas de pérdida, mediante la preparación de 2 presas de lodo con obturante sello automático y granular medio, pasando el fluido de perforación por abajo de la temblorina, trabajando como trampa la presa de asentamiento y volviendo a la presa No. 3 a través del canal; esto ha dado buenos resultados, tanto que se ha logrado perforar hasta 100 m. de intervalo sin pérdida, pero presenta un problema de poca adherencia al momento de obturar con cemento cada una de las zonas permeables.

Cuando se coloca el tapón de cemento y se forza, al bajar a detectar la cima de cemento y romper circulación para comprobar la pérdida, se observó que en varias ocasiones la formación no admite cemento; y en el caso de admitir, lo hace en poco volumen. Al rebajar el cemento se ha observado una obturación en falso dentro de la formación, la cual no tiene firmeza entre el cemento y la formación, debido a que la película de celofán del sello automático queda en medio, no permitiendo el sellado para lograr una buena solidificación de las paredes del agujero. Esto se ha tratado de solucionar con baches de agua de 5 a 10 m<sup>3</sup> adelante de la lecha-

da de cemento para remover el enjarre del célofán.

En los tapones se ha utilizado un cemento modificado con harina sílica y cloruro de sodio para acelerarlo, en ocasiones se ha substituído este último con cloruro de calcio. La técnica para colocar los tapones es la siguiente: bombear el bache de agua de 5 a 10 m<sup>3</sup>, bombear la lechada de cemento, desplazar la lechada con lodo y levantar la T.P. 2 ó 3 lingudas, bombear un bache de lodo viscoso, levantar la tuberfa - arriba del bache viscoso, llenar por el espacio anular, cerrar preventores y forzar sin rebasar las presiones de bombeo durante la perforación; el objeto del bache viscoso y pesado, es el ayudar a forzar el tapón y que penetre teóricamente en forma radial al pozo, buscando formar un cilindro sólido alrededor del agujero, para evitar cualquier pérdida y asegurar las operaciones de cementación de la tuberfa de revestimiento.

Cabe mencionar los buenos resultados del cemento de construcción tipo II, para solucionar las pérdidas de circulación en la formación llamada TOBA TALA. Este cemento trabaja sin ningún problema mientras no exista alta temperatura, ya que ésta lo degrada; se ha trabajado con sal para acelerar el fraguado, con harina sílica para darle consistencia y cloruro de calcio en lugar de sal, se ha observado un disparo en la viscosidad de la lechada debido al control de calidad en los cementos, hasta dentro de un mismo lote varían en

demasia, creando problemas durante el bombeo por la línea de succión de la presa de mezclado a la bomba triplex, resolviendo en parte el problema de succión, levantando la presa arriba del nivel de la bomba, con el fin de que por gravedad se alimente la triplex.



### CONCLUSIONES.

Es indudable que para combatir las pérdidas de circulación, la localización de la zona y el tipo de formación -- son dos factores muy importantes para el éxito de la técnica aplicada. Sin embargo, en pozos exploratorios, de desarrollo y marinos que se encuentran muy alejados, es muy difícil tener en el equipo los elementos necesarios para detectar la zona de pérdida en el momento en que se presenta el problema.

En los ejemplos presentados se observa que antes de utilizar alguno de los métodos para detectar la zona de pérdida, ya se habían aplicado algunas de las técnicas mencionadas en el capítulo IV sin lograr el éxito deseado, de las -- cuales las más comunes son: la aplicación de materiales obturantes granulares, fibrosos y laminares en el lodo de perforación, tapones de cemento solo o modificado, tapones Diesel Bentonita y Diesel-Bentonita-Cemento. La colocación se efectúa con la ayuda del registro de pérdidas.

Si se perfora con pérdida total y no se obtienen las muestras de canal, la determinación del tipo de formación se puede hacer por medio de los registros de Inducción, Rayos - Gamma, Densidad Compensado, Neutrón Compensado y Sónico de - porosidad, o bien por medio de núcleos para el caso de pozos exploratorios.

Los tapones más complejos (IMP-OP-301, Seal Safe X,

Mil Squeeze, etc.), descritos en este trabajo, tienen un aceptable éxito, pero tienen la limitante de la temperatura; para pozos muy profundos o pozos geotérmicos no funcionan, debido a que se degradan con las altas temperaturas existentes.

La perforación con aire o espuma como fluido de perforación, ha sido en muchas ocasiones la solución más efectiva y económica para perforar las zonas con problemas de pérdidas de circulación, independientemente de solucionar el problema, genera un incremento en la velocidad de penetración, lo cual reduce bastante el costo del pozo.

La prueba de goteo y la correlación de registros eléctricos de pozos vecinos con el que se está perforando, son -- dos herramientas muy útiles para evitar fracturar la formación y cementar las tuberías de revestimiento en la profundidad apropiada.

En el caso de los pozos Ixim No. 1, Kambul No. 1 y -- Yum No. 1 ejemplificados en este trabajo, se observa que en -- ocasiones a pesar de intentar controlar la pérdida de circulación por medio de diferentes técnicas, ésta se sigue presentando conforme avanza la perforación, por lo que en casos así, cuando ninguna de las medidas experimentadas logra controlar la pérdida y restablecer la circulación, es preferible tomar la decisión de continuar perforando en "ciego" (con pérdida -- total de circulación), para estos casos usando agua de mar y bombeando baches de lodo en cada conexión, con el objeto de --

evitar un embolamiento de la barrena y hasta un posible atrapamiento de la sarta de perforación. También en otros casos que han sido muy severos se ha llegado a la decisión de cementar un ademe que cubra la zona de pérdida, y hasta se han tomado medidas tan drásticas como el abandonar la localización; otra determinación a la que puede llevar la pérdida de circulación, sería mover el equipo lo suficiente para perforar con seguridad un nuevo pozo, cambiando el diseño de asentamiento de las tuberías de revestimiento. En el caso de existir intervalos productores, se ha llegado a la decisión de poner a producir el pozo en alguno de esos intervalos.

#### RECOMENDACIONES.

1.- Evitar inducir fracturas a la formación que se es ta perforando, adoptando las medidas preventivas del capítulo VI.

2.- Perforar con aire o espuma las formaciones con -- gradiente de fractura bajo, pero que no exista en dicha forma ción un acuífero muy potente.

3.- Para tener mayor probabilidad de éxito en el obtu ramiento de una zona de pérdida de circulación, se debe localizar la profundidad a la cual se encuentra, determinar el ti po de formación ya sea por métodos directos o indirectos, así como evaluar la severidad de la pérdida.

4.- Detectar la zona de pérdida con la técnica que me

por se adapte al problema en cuestión.

5.- Seleccionar la técnica de obturamiento, siguiendo el procedimiento del capítulo "Selección de la técnica más -- adecuada a emplearse".

6.- Al forzar un tapón, la presión de inyección no de be ser mayor a la presión de fracturamiento.

7.- Aplicar correctamente la técnica seleccionada.

## BIBLIOGRAFIA.

Angel, R.R. "Volume For Air and Gas Drilling", Phillips Company, Houston, Tex. 1958.

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

Calwell, R.L. "Tracers in Oil Wells Nucleonics" Feb. 1951.

Cunningham R.A. and Murray, A. "Effects of Mud Column Pressure on Drilling Rates" Hughes Tool Company.

Cunningham R.A. and Eenick S.G. "Laboratory Study of Effect of Overburden, Formation and Mud Column Pressures on Drilling Rate of Permeable Formations". Hughes Tool Company.

Chenevert, M.E. and Carlton L.A. "A New Approach to Preventing Lost Returns". Exxon Production Research Co., Members SPE-AIME 1974.

Cooper, W.L., Hook, A.R. and Payne, B.R. "Air Drilling Techniques" AIME, Artículo SPE 6345.

Chenevert, M.E., McClure L. "How to Run Casing Open Hole Pressure Tests", Oil and Gas Journal, Marzo 1978.

Dpto Técnico Dowell-Schlumberger de México, "Seminario Técnico de Cementación en Cd. del Carmen, Camp." Octubre, 1984.

Dpto Técnico de VMX, "Seminario técnico de Cementación en Cd. del Carmen, Camp.", Agosto, 1982.

Eaton, B.A. "Fracture Gradient Prediction and Its Application in Oilfield Operations". Trans. Vol. 246 (1969).

Eaton, B.A. "The Equation for Geopressure Prediction from Well Log" SPE 5544 (1975).

Edison, J.E. "Radioactive Tracer Used to Locate Lost Circulation". World Oil, Junio 1954.

Facultad de Ingeniería, UNAM. "Apuntes de Fluidos de Perforación".

Gore, G.L. "Radioactive Tracer Techniques", Journal of Petr.-Tech. Septiembre 1956.

Green, B.O. "Eight Steps to Stop Lost Circulation".

Halliburton Company. "Cementación Halliburton de Pozos de Petróleo Mundialmente", Petróleo Internacional, Julio 1980.

Howard, G.C. and Scott P.P. "An Analysis and Control of Lost Circulation".

Hubbert, M.K. and Willis, D. "Mechanics of Hydraulic fracturing" Petroleum Transaction AIME, 1957.

Lummus J.L. "New Meterial Proves Successful to Stop Lost Circulation Under varios Conditions".

Matthews, W.R. and Kelly "How to Predict formation Pressure - and Fracture Gradient", Oil Gas Journal. Febrero 1967.

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

Messenger, J.U. "Lost Circulation" Penwell Publishing Co., Tulsa, Okl. 1981.

Messenger, J.U. "How to Remedy Lost Circulation", Field Research Department; Movil Research & Development Corp. Dallas.

Messenger, J.U. "How to Combat Lost Circulation", Field Research Department; Movil Research & Development Corp. Dallas.

Moore, L.P. "Drilling Practices Manual" The Petroleum Publishing Co. Tulsa, 1974.

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

Milchem Trade "Mil Squeeze" Bulletin 1967.

Instituto Mexicano del Petróleo, "IMP-OP-301" Boletín.

Neal Adams "Well Control Problems and Solution" Petroleum Publishing Company.

Palómo, R. y Aguilar, F. "Cementación de tuberías Cortas en Zonas Altamente Fracturadas" Pemex-Zona Marina y Dowell-Schlumberger.

Rosas Márquez, 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..

Prieto de la Rocha, E."Desarrollo de Campos".Manuscrito Inédito. Pemex-Zona Marina.

Ramos Rodriguez, H."Desarrollo de Campos" Manuscrito inédito. Pemex-Zona Marina.