

3/1/11

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



APLICACION TECNICA PARA EL CONTROL DE BROTES EN LA REPARACION DE UN POZO PETROLERO

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO PETROLERO
P R E S E N T A
JOSE LUIS LUNA MARTINEZ
MEXICO, D. F. 1981



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

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



Universidad Nacional
Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-121

Al Pasante señor LUNA MARTINEZ JOSE LUIS
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Prof. Ing. Miguel Angel Benítez Hernández, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de INGENIERO PETROLERO.

"APLICACION TECNICA PARA EL CONTROL DE BROTES EN LA REPARACION DE UN POZO PETROLERO"

- Generalidades**
- I.- Detección de presiones anormales
 - II.- Detección de indicios de un brote
 - III.- Procedimientos para cerrar pozos con flujo y su control.
 - IV.- Presiones entrampadas en tuberías de revestimiento y de producción.
 - V.- Técnicas aplicadas en el control de pozos.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 10 de junio de 1981
EL DIRECTOR

Ing. Javier Jiménez Espartero

JJE' MRV' mdb.

INDICE .

	PAGINA .
GENERALIDADES .	1
1. PRESION HIDROSTATICA.....	1
2. PRESION DE FORMACION.....	3
3. PRESION DE FRACTURA	3
4. PRESION DE SOBRE CARGA.....	5
5. PRESION NORMAL DE FORMACION.....	7
6. PRESIONES ANORMALES.....	8
I. DETECCION DE PRESIONES ANORMALES .	17
I.1 METODO DE DETECCION POR VELOCIDAD DE PENETRACION..	17
I.2 METODO DE DETECCION POR EXPONENTE d y dc	22
II. DETECCION DE INDICIOS DE UN BROTE .	32
II.1 AUMENTO DE NIVEL DEL LODO EN LOS TANQUES	33
II.2 BROTES DE GAS	35
II.3 DISMINUCION DE LA PRESION DE CIRCULACION	37
II.4 LODO CORTADO CON GAS	38
II.5 TRAZAS DE GAS, ACEITE O AGUA SALADA	42
II.6 LODO QUE FLUYE DEL POZO	43

PAGINA

CAUSAS DE LOS BROTES .	45
1. DENSIDAD DE CONTROL INADECUADO	45
2. LLENADO IMPROPIO DEL POZO DURANTE LOS VIAJES	46
3. EFECTO DE SONDEO Y DE PISTON	48
4. PERDIDAS DE CIRCULACION	52
III. PROCEDIMIENTOS PARA CERRAR UN POZO CON FLUJO.	56
III.1 CIERRE EN POZOS TERRESTRES Y MARINOS	56
III.2 CON LA FLECHA DENTRO DEL AGUJERO	57
III.3 DURANTE UN VIAJE ..	59
IV. PRESIONES ENTRAMPADAS EN TUBERIAS DE REVESTIMIENTO Y PRODUCCION.	63
IV.1 CONCEPTOS GENERALES	63
IV.2 GUIA PARA DESCARGARLAS	64
IV.3 COMPORTAMIENTO DEL FLUJO EN EL CONTROL DEL POZO	66
V. PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE POZOS.	69
V.1 GENERALIDADES	69
V.2 DENSIDAD REQUERIDA PARA CONTROLAR UN POZO	74

V.3	PRESION DE CIRCULACION CON VELOCIDAD DE BOMBA REDUCIDA	75
V.4	BALANCE DE PRESIONES DE FONDO	85
V.5	REGRESAR FLUIDOS A LA FORMACION	88
V.6	METODO ALTERNATIVO DE DESCARGA Y LLENADO DEL POZO	89
V.7	PERFORACION DE TUBERIAS DE TRABAJO	93
V.8	SACAR LA TUBERIA DEL EMPACADOS	93
V.9	CONTROL DE POZOS CON TUBERIAS ROTAS	94
V.10	PROCEDIMIENTO DE CIRCULACION POR ESPACIO ANULAR ..	96
VI.	METODOS Y SU APLICACION PARA EL CONTROL DE POZOS .	99
VI.1	METODO DE DOS CIRCULACIONES	99
VI.2	METODO DE UNA CIRCULACION	105
VI.3	DESCRIPCION DEL METODO DE UNA CIRCULACION	108
VI.4	METODOLOGIA DE CONTROL DE UN POZO	112
VI.5	PROGRAMA DE CONTROL DE POZOS PARA CALCULADORA	
1.	DIAGRAMA DE FLUJO	120
2.	EJEMPLO	121
	CONCLUSIONES	124

GENERALIDADES.

Para intervenir un pozo en reparación mayor o menor si las condiciones del mismo lo amerita, es necesario emplear un fluido de control que equilibre las presiones existentes en las formaciones expuestas, de tal modo que los fluidos contenidos en ellas, no penetren al pozo, ni el fluido de control se pierda en el yacimiento. Las anteriores fronteras, nos proporcionan un rango dentro del cual debemos trabajar.

El equipo de fluido de control que se debe emplear es necesario seleccionarlo de acuerdo con las características de la región y las condiciones del pozo, tanto de presión como de los fluidos contenidos en los yacimientos, y el grado de protección que se desea. Estas condiciones son diversas debido a que las intervenciones de reparación a pozos petroleros se efectúan en lugares muy variados tales como barcazas, plataformas, en zonas rurales aisladas, agrestes. Las presiones de los pozos petroleros pueden ser altas, bajas, extremas y los fluidos contenidos en los yacimientos inflamables, tóxicos abrasivos, con altas temperaturas, etc.

CONCEPTOS DE PRESION.

1. PRESION HIDROSTATICA.

Es la presión ejercida por una columna de fluido y depende de la densidad y de la profundidad o altura de la columna del mis-

no. La habilidad del fluido en un pozo para controlar la presión de formación depende de la presión hidrostática, ésta es llamada también carga hidrostática y es igual al producto de la densidad del fluido, la altura de la columna y las fuerzas de gravedad actuando sobre la misma; para fines prácticos de ingeniería, la gravedad se considera constante a lo largo de toda la columna y en consecuencia la representación matemática se expresa de la siguiente manera:

$$Ph = d \times \frac{h}{10} \quad Ph = d \times h$$

En donde:

Ph = Presión hidrostática (kg/cm²)

d = Densidad del fluido (gr/cm³)

h = Profundidad (m)

10 = Factor de conversión

PRESION DE FLUIDOS DE DIFERENTES DENSIDADES.

<u>POZO</u>	<u>PROFUNDIDAD MEDIDA</u>	<u>DENSIDAD</u>	<u>PRESION H.</u>
A	1000 mts	1.08 gr/cm ³	108 kg/cm ²
B	1500 mts	1.20 gr/cm ³	180 kg/cm ²
C	3000 mts	1.20 gr/cm ³	360 kg/cm ²
D	4500 mts	1.40 gr/cm ³	630 kg/cm ²

GRADIENTE DE PRESION.

Gradiente de presión es la presión por unidad de longitud y muestra de variación de la presión hidrostática con la profundidad para cualquier peso del fluido. La presión hidrostática dividida por la profundidad vertical, es igual al gradiente de presión.

GRADIENTE DE PRESION DE FLUIDOS DE DIFERENTES DENSIDADES.

Tipo de fluido	D E N S I D A D		GRADIENTE DE PRESION	
	lbs/gal	gr/cm ³	psi/ft	kg/cm ² /mt
Agua dulce	8.33	1.00	0.433	0.1
Agua salobre	8.9 - 9.0	1.02 - 1.08	0.465	0.105
Aceite	5.0 - 2.85	0.6 - 0.34	0.204	0.047
Gas	0.96- 2.85	0.04 - 0.34	0.099	0.019

2. PRESION DE FORMACION.

Todas las formaciones penetradas al perforar un pozo, son porosas en cierto grado, y los espacios porosos pueden contener fluidos tales como: gas, aceite, agua o una mezcla de ellos. Estos fluidos ejercen una presión igual en todas las direcciones al quedar atrapados en una formación, la cual se conoce como presión de formación o de poro. La presión de formación es menor que la presión de sobrecarga, de lo contrario fracturaría las formaciones superiores y escaparía.

3. PRESION DE FRACTURA.

Es el grado de resistencia que ofrece una formación a su fractu

ramiento o ruptura, depende de la solidez de la roca y de los esfuerzos de compresión a los que está sometida, a medida que aumenta la profundidad se añade a la resistencia originada por los sólidos de la roca, los esfuerzos de sobrecarga actúan tanto en sentido vertical como horizontal, las fracturas inducidas en una formación se inician y se extienden en un plano normal y perpendicular a la dirección del mínimo esfuerzo y pueden ser horizontales, verticales e inclinadas. Los esfuerzos de sobrecarga en los tres ejes principales, dos ejes axiales u horizontales y uno vertical y/o tangencial, varía de acuerdo con la tectónica de la región y la profundidad.

En las formaciones con fallas normales las fracturas son verticales.

En las formaciones plegadas o con fallas inversas, las fracturas serán horizontales.

Para calcular la presión de fractura en forma práctica se emplean las siguientes ecuaciones.

$$\text{Gradiente de fractura} = \frac{PH + P_{man} - \text{Perd. Fric.}}{\text{Prof.}}$$

$$\text{Gradiente de fractura} = \frac{P_{ci} + P_h}{\text{Prof.}}$$

P_h = Presión hidrostática (kg/cm^2)

P_{man} = Presión manométrica en la superficie (kg/cm^2)

Pérd. Fric. = Pérdidas de presión por fricción (kg/cm^2)

P_{ci} = Presión de cierre instantáneo (kg/cm^2)

Prof. = Profundidad (m)

En la gráfica No. 1 se muestran las relaciones entre las diferentes presiones en la costa del Golfo de México.

4. PRESION DE SOBRECARGA.

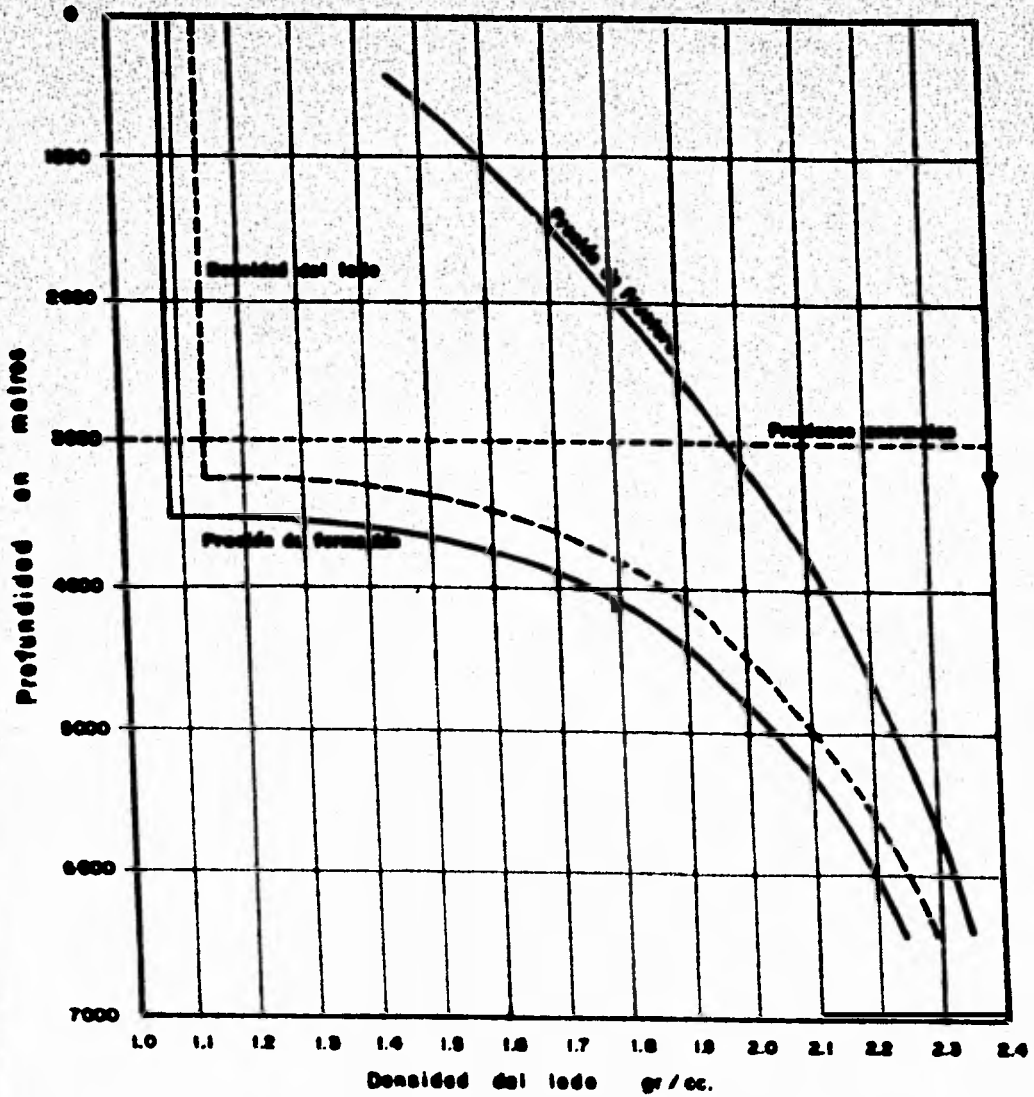
Es la presión ejercida por las capas sobreyacentes en un punto a una determinada profundidad y se expresa como el producto de su densidad promedio por la altura.

Ya que las capas sobreyacentes están constituidas por diferentes minerales y por fluidos de diferente densidad, el promedio de la densidad de estas formaciones dependerá de los siguientes factores:

- a) Densidad promedio de la masa rocosa.
- b) Porosidad de la masa rocosa.
- c) Densidad promedio del fluido contenido en los espacios porosos.

Es práctica común suponer que los principales materiales constituyentes de la roca, son cuarzo con densidad de 2.65 gr/cm^3 , barros y calcita con 2.7 gr/cm^3 , que la porosidad de las formacio-

PRESIONES DE FORMACION Y DE FRACTURA



GRAFICA Nº 1

nes oscila entre 20 y 100 y que los fluidos contenidos son: agua salada con una densidad promedio de 1.07 gr/cm^3 , con estas suposiciones se puede expresar la presión de sobrecarga como sigue:

$$P_s = (1 - F) (\rho_M) h = F (\rho_a) h$$

Donde:

P_s = Presión de sobrecarga gr/cm^2

F = Porosidad

ρ_M = Densidad promedio de los minerales en gr/cm^3

ρ_a = Densidad promedio del agua salada en gr/cm^3

h = Altura o profundidad en cm

GRADIENTE DE SOBRECARGA.

Es la relación de la presión ejercida por las capas sobre yacentes con la profundidad. Comúnmente se encuentra en la literatura referente a este gradiente un valor de $0.231 \text{ kg/cm}^2/\text{m}$ ó $1.0 \text{ lb/pg}^2/\text{pie}$.

5. PRESION NORMAL DE FORMACION.

Es igual a la presión hidrostática ejercida por una columna de agua salada con 80 000 p.p.m. de cloruros o de una densidad de 1.074 gr/cm^3 a la profundidad de interés.

El gradiente normal de formación en la relación de presión a la profundidad, un valor de este gradiente que se considera normal $0.1076 \text{ kg/cm}^2/\text{m}$ ó $0.465 \text{ lb/pg}^2/\text{pie}$.

Para el Golfo de México, esta densidad promedio varía de 1.02 a 1.08 gr/cm³.

6. PRESIONES ANORMALES.

Debido a lo complejo de la formación de columnas sedimentarias geológicas y al intenso movimiento tectónico a que son sometidas, existen muchos factores que pueden causar presiones de formación diferentes a la presión de formación normal o hidrostática. En algunas áreas geológicas una combinación de estos diferentes factores prevalecen para establecer la posible causa del origen de la presión de formación anormal.

Con el objeto de comprender como se generan las presiones anormales es importante considerar y visualizar la relación de los parámetros petrofísicos y geoquímicos, principalmente, con la estratigrafía, estructura e historia tectónica de una área o cuenca dada.

Generalmente se tienen dos casos de presión anormal en columnas geológicas que deben considerarse, siendo estas:

- a) Presión de formación anormalmente baja.
- b) Presión de formación anormalmente alta.

a) Presión subnormal o menor que la presión normal de formación es la que tiene un gradiente menor que el gradiente normal de formación. Formaciones con baja presión, pueden ocurrir por la

GRADIENTE DE SOBRECARGA EN
 $kg/cm^2/m.$

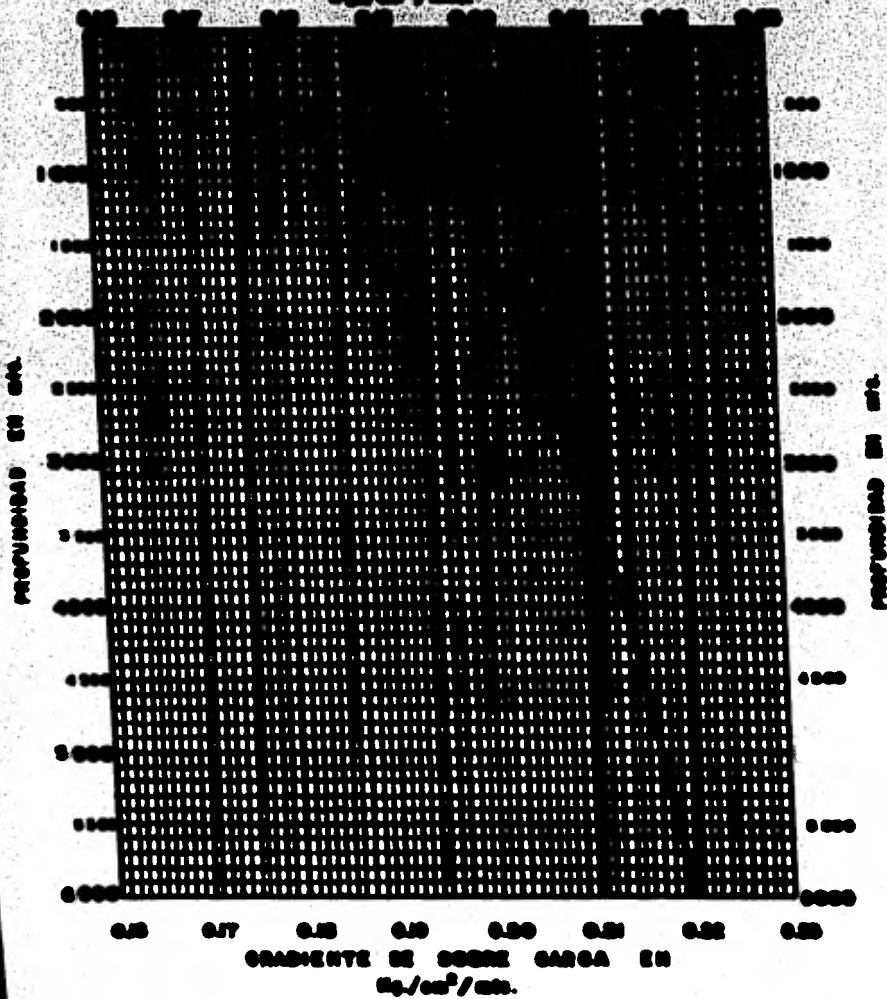


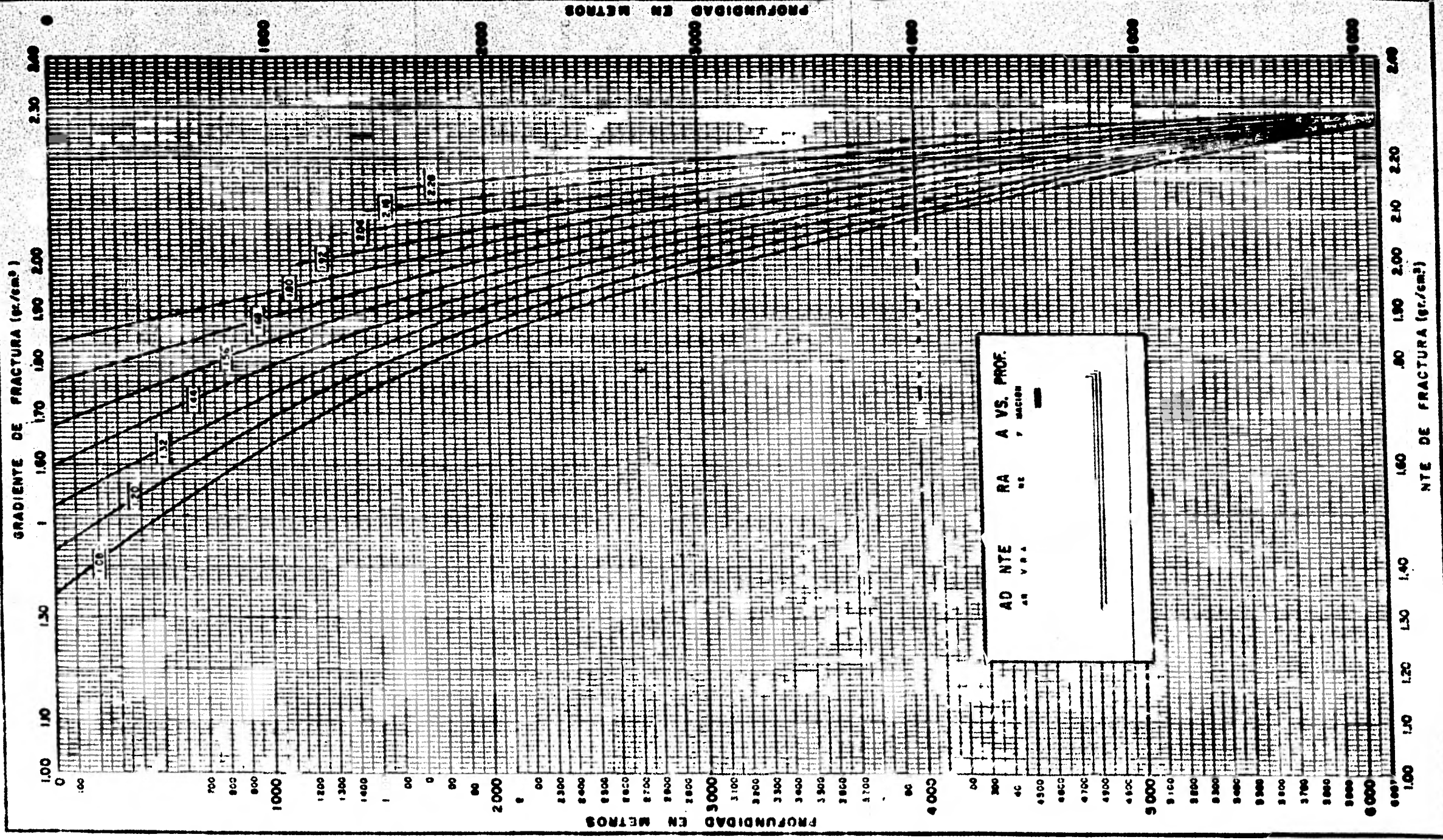
FIGURA 2

producción excesiva de aceite, gas y agua de la formación permeable productora del subsuelo, si no existe empuje hidráulico fuerte que compense esta producción. Ocasionalmente en yacimientos de aceite, estas reducciones de presión de formación se manifiestan por la subsidencia de la superficie del terreno.

Muchos campos de gas en yacimientos predominantemente de arenas lenticulares con presión baja son debido generalmente a que están aislados y asociados con lutitas sobreyacentes en áreas que han sufrido erosión.

También se presentan formaciones con baja presión cuando por movimientos tectónicos se presenta la compresión horizontal de algunas capas geológicas y alguna de ellas que se encuentra entre dos capas de permeabilidad muy baja o casi nula tiende a expandirse y ocasionar una subpresión.

Una de las teorías, que parece ser la más cercana con la generación de formaciones con presión baja, se tiene cuando una cierta capa litológica, por movimientos tectónicos, pasa de una posición más alta a una más baja y además existe una erosión de los estratos superyacentes, entonces, el estrato de interés se ve liberado en parte del esfuerzo de compresión. Al suceder esto la roca se expande aumentando sus espacios porosos y por consiguiente un vacío parcial al aumentar su volumen ocasionando una presión subnormal.



PROFUNDIDAD EN METROS

GRADIENTE DE FRACTURA (gr/cm²)

GRADIENTE DE FRACTURA (gr/cm²)

PROFUNDIDAD EN METROS

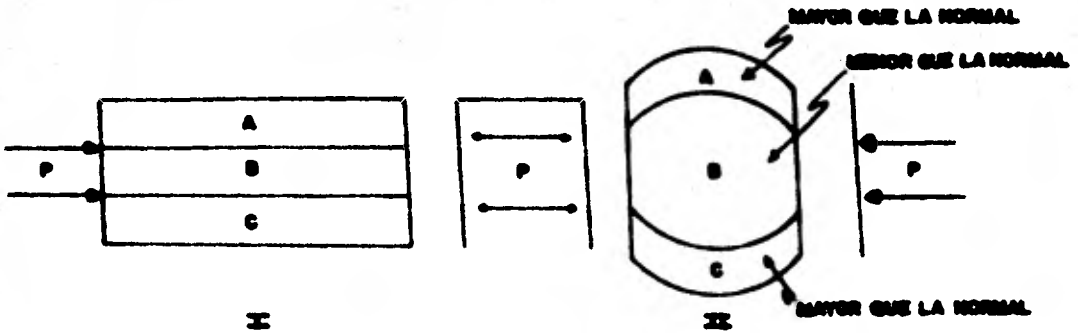
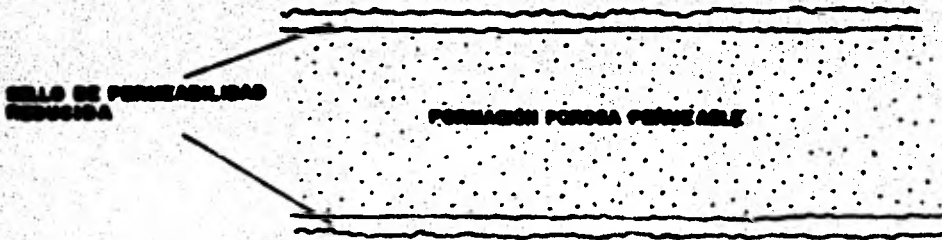
Este tipo de formaciones con presión baja raramente se presenta en la realidad por lo que no se les dará mucha importancia en este trabajo.

b) Presión de formación anormalmente alta. Formaciones o zonas con alta presión o sobrepresión son aquellas con presión mayor que la ejercida por una columna de agua de una salinidad y densidad media existente en el área de interés.

Las secuencias geológicas con presión normal pueden visualizarse como "sistemas abiertos" hidráulicamente, es decir formaciones permeables que permitan la comunicación de fluidos que estabilicen y/o restablezcan las condiciones hidrostáticas. Inversamente, formaciones con presión alta son esencialmente "sistemas cerrados", que impiden o por lo menos restringen en gran escala la migración del fluido. Como se indicó anteriormente, este movimiento del fluido es originado por los efectos de sobrecarga.

Las presiones de formación normal y anormal coexisten únicamente si son separadas por una barrera de permeabilidad que simultáneamente actúe como una barrera de presión o formación sello. La restricción de migración del fluido dentro del espacio poroso es principalmente debido a la generación de formaciones sello debido a fenómenos físicos, químicos o una combinación de ambos, ver fig. No. 4 (origen de las presiones anormales).

FORMACION DE UN SELLO



ORIGEN TESTANDO (COMPRESION HORIZONTAL)

FIGURA Nº 4. ORIGEN DE LAS PRESIONES ANORMALES

Sello físico. Este tipo de sello puede ser formado debido a la depositación de materiales de grano muy fino, carbonatos, sal y otros materiales no porosos, que sometidos con el tiempo a temperaturas elevadas, se cristalizan formando sellos impermeables.

Sello químico. Este sello se origina cuando durante la depositación ocurre una reacción entre los materiales depositados, lo que da origen a compuestos que reducen sustancialmente su permeabilidad.

Sello fisicoquímico. Estos sellos son una combinación de los dos anteriores, ya sea que la reacción química de origen a la acción física y viceversa, un ejemplo es la deshidratación de la anhidrita, que origina una reducción en su volumen de un 30% a un 40% reduciendo en esta forma su permeabilidad.

JUSTIFICANDO LOS CONCEPTOS ANTERIORES.

En la ilustración de la derecha
 cual es el gradiente de fractu-
 ra efectivo a la profundidad -
 donde se cementó la tubería de
 revestimiento (prof. de la sapa
 ta).

A. Convertir el tirante de agua
 a su equivalente de formación.

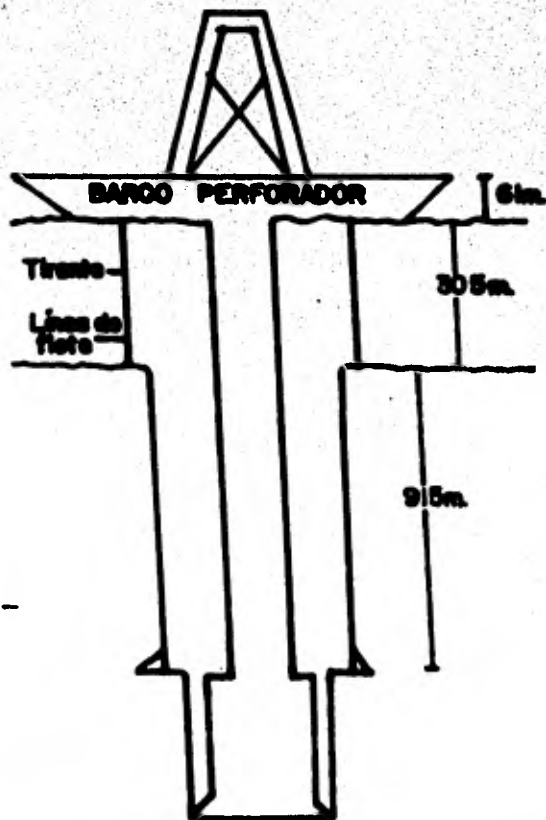
$$\frac{305 \text{ mts.} \times 1.08}{10} = 32.94 \text{ kg/cm}^2$$

$$305 \text{ mts.} + 915 \text{ m} = 1220 \text{ m.}$$

De la gráfica No. 2. el gradien-
 te de sobrecarga con la profun-
 didad de 1220 m nos da 0.199 -
 $\text{kg/cm}^2 / \text{mts}$ dividiendo la pre-
 sión ejercida por la columna de
 agua entre el gradiente de sobre-
 carga.

Nos da el tirante equivalente -
 de formación con respecto al -
 del agua.

$$\frac{32.94}{0.199} = 165.52 =$$



B. Calcular y convertir el gradiente de fractura aparente al -
 gradiente de fractura actual. $165.52 \text{ m} + 915 \text{ m} = 1080.52 \text{ mts}$ -
 profundidad equivalente.

De la gráfica No. 3 el gradiente de fractura con la densidad de
 formación y la profundidad equivalente se obtiene:

1.66 gr/cm^3 presión de fractura a: 1080.52 m .

$$Pf = \frac{d \times h}{10} \quad Pf = \frac{1.66 \times 1080.52}{10}$$

$$Pf = 179.36 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto el gradiente de fractura real entre la cubierta -
 del barco perforador y la zapata donde se ancló la tubería de -
 revestimiento en:

$$d = \frac{Pf \times 10}{h}$$

$$df = \frac{179.36 \times 10}{61 + 305 + 915} = 1.40 \text{ gr/cm}^3$$

CAPITULO I.

DETECCION DE PRESIONES ANORMALES.

Las presiones anormales que contienen las rocas tienen una capa sello, generalmente constituida por lutita impermeable de gran espesor y esta roca sello, es una zona de transición que cambia rápidamente o gradualmente dependiendo de la localidad. trans--formándose en rocas que tienen mayor porosidad, temperatura y presión de poro, así como una menor salinidad.

Existen varios métodos para detectar las presiones anormales. - El análisis de estos métodos se divide en dos partes, la primera se basa en cubrir la base teórica y la segunda en las prácti--cas de colección de datos, análisis de los mismos y en hacer - las gráficas correspondientes.

Procedimientos utilizando información de perforación.

I.1. Método de detección por velocidad de penetración.

Este procedimiento se basa en la variación de la velocidad de - penetración obtenida por la barrena, decrece cuando se incremen--ta la profundidad debido a lo siguiente :

1. A que con la profundidad las rocas se consolidan más debido al peso propio de los materiales sobre las formaciones más profundas (gradiente de sobrecarga) y con el incremento de la tem-

peratura que favorece el proceso de cementación de las rocas, - estos factores hacen que las rocas sean más duras de perforar.

2. La presión diferencial, entre la presión de formación y la presión hidrostática ejercida por el fluido de perforación, se incrementa con la profundidad, si la densidad del lodo y el gradiente de formación permanecen constantes, ver fig. 5.

Suponiendo que se está perforando una formación de presión normal, es decir, con un gradiente de formación $0.107 \text{ kg/cm}^2/\text{m}$ le corresponde una densidad de fluido de control 1.07 gr/cm^3 .

La presión de la formación a diferentes profundidades es.

1000 mts - 107 kg/cm^2

2000 mts - 214 kg/cm^2

3000 mts - 321 kg/cm^2

Si la densidad del lodo de perforación se mantiene constante durante la perforación del pozo, la presión ejercida por la columna hidrostática debida a un lodo de una densidad de 1.20 gr/cm^3 , será a diferentes profundidades.

1000 mts - 120 kg/cm^2

2000 mts - 240 kg/cm^2

3000 mts - 360 kg/cm^2

La presión diferencial, entre la presión de formación y la presión ejercida por la columna hidrostática, es uno de los facto-

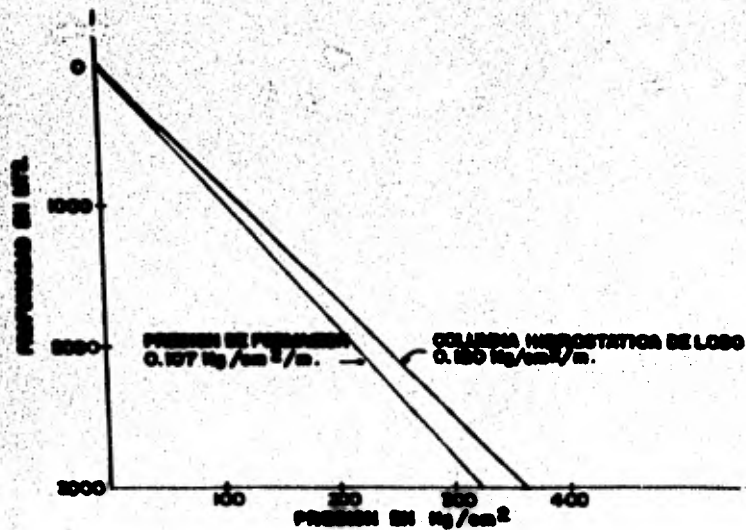


FIGURA 5

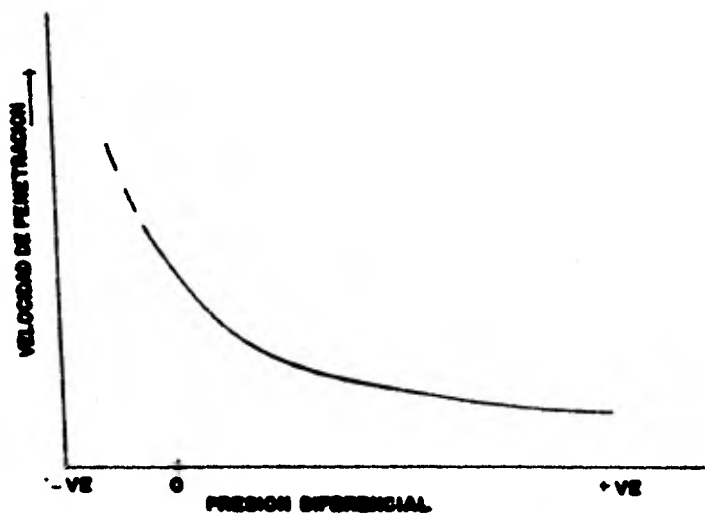


FIGURA 6

res más importantes en la velocidad de penetración, en la perforación, cuando esta presión diferencial se incrementa, la velocidad de penetración en la perforación se reduce. Este efecto se presenta en la fig. 6.

Cuando la presión de formación se incrementa arriba de la presión normal de perforación y la densidad del fluido de perforación permanece constante, la presión diferencial decrece, por lo tanto la velocidad de penetración se incrementa.

Si graficamos la velocidad de penetración de la formación, contra la profundidad, esta gráfica tiende a variar en forma uniforme con algunas variantes por cambio en la litología. Cuando se tiene un cambio notable en la velocidad de perforación, esta tendencia cambia, también, indicando con ello, una zona de presión anormal. Ver. fig. 7.

Una de las desventajas en el empleo de la velocidad de penetración para detectar presiones anormales, es el considerable número de variables que lo afectan, tales como el incremento del peso sobre la barrena y la velocidad de rotaría.

Las barrenas más pequeñas perforan más aprisa que las grandes, en la misma formación y bajo las mismas condiciones.

Con el incremento de la densidad del lodo decrece la velocidad de penetración.

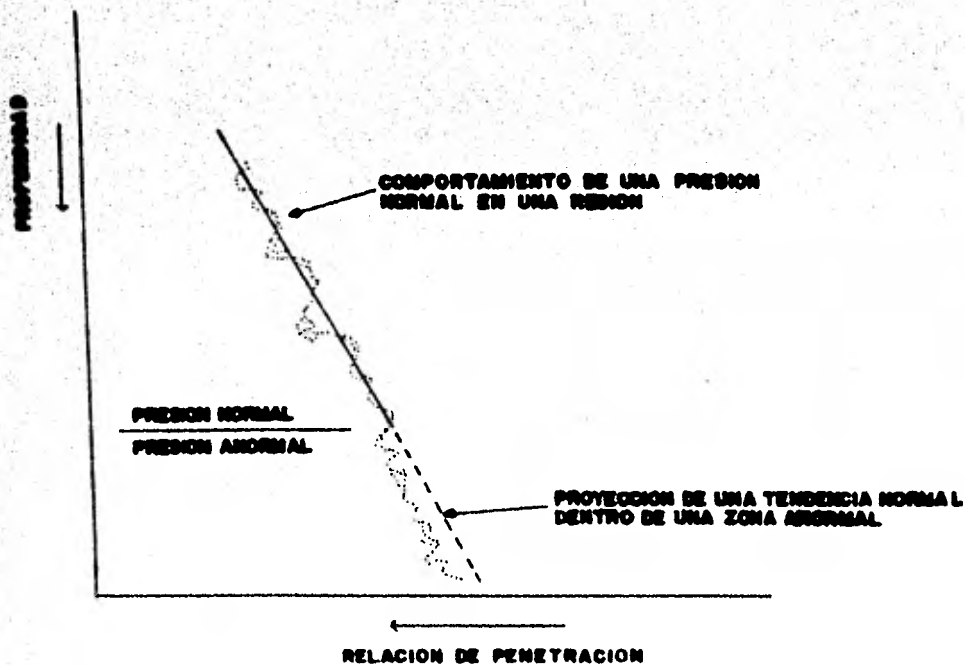


FIGURA N° 7

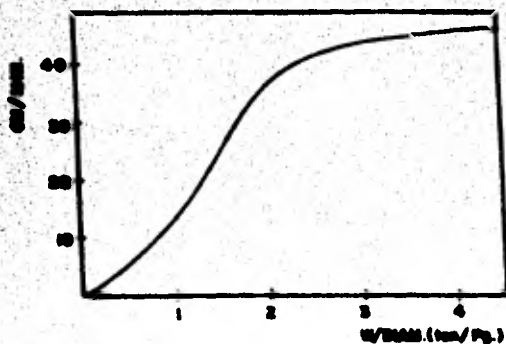
El desgaste de los dientes de la barrena ocasiona que el avance de la perforación disminuya, esto ocasiona que la velocidad de penetración sea variable y la interpretación poco confiable, pero si se mantienen razonablemente constantes por medio de un control estricto, se pueden obtener datos aceptables. Ver. fig. 8.

Cuando se espera una zona de presión anormal y de pronto se aumenta la velocidad de penetración, debe prestarse especial atención, porque las condiciones de la barrena y otras variables pueden enmascarar el peso por la zona de transición, pero una vez que la zona permeable se penetra, la velocidad de penetración de la barrena se incrementa aún más, por lo que la flecha deberá levantarse, parar las bombas y observar, si se observa flujo el pozo debe cerrarse y emplearse un método de control de pozos.

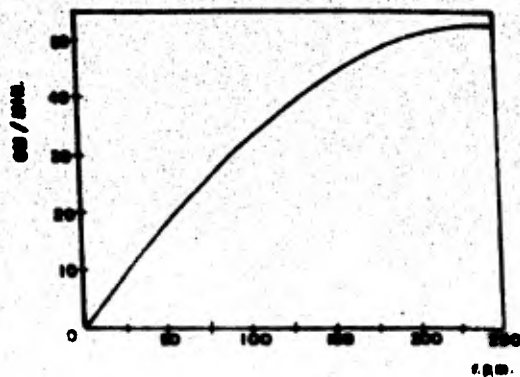
Si se está iniciando a penetrar una secuencia de lutitas y arenas, y las capas de lutitas se tornan más delgadas y no se tienen indicaciones de una presión anormal, no significa que porque se tenga un aumento de velocidad de penetración, necesariamente se tenga una presión anormal, pero es una buena práctica comprobar si existe flujo del pozo.

1.2. Método de detección por exponente d y dc .

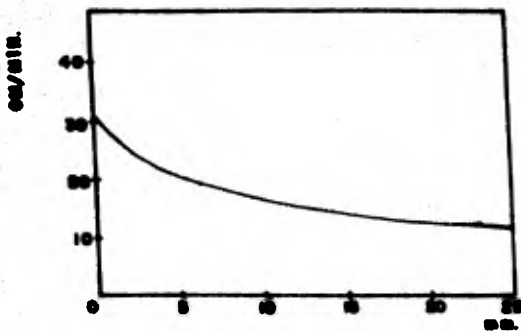
El método desarrollado por Jordan y Shirley, que examina los



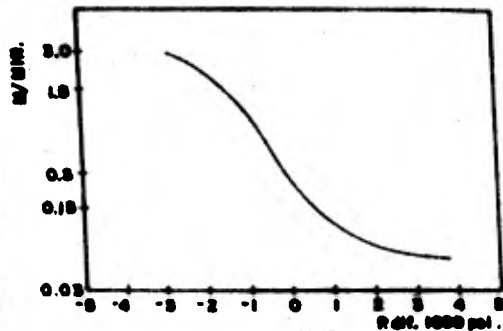
PESO SOBRE BARRERA



VELOCIDAD DE ROTATORIA



DEBASTE DE DIENTES



PRESION DIFERENCIAL

"EFECTO SOBRE LA RELACION DE PENETRACION" FIG. N° 8

efectos de la presión sobre la velocidad de penetración, se considera como otra buena herramienta en el auxilio de la predicción de zonas anormales. Este método es bien conocido como el método del exponente "d" ya que su fundamento teórico lo tiene en el modelo empírico representado por la siguiente expresión.

$$R = kN \left(\frac{w}{D}\right)^d$$

Donde:

- R = Velocidad de penetración, pie/hr
- k = Constante de proporcionalidad o perforabilidad de la formación
- w = Peso sobre la barrena, libras
- D = Diámetro de la barrena, pulgadas
- N = Velocidad de rotación, en r.p.m.
- d = Exponente, adimensional

En este método se observa que la velocidad de perforación es directamente proporcional a la velocidad de rotación, esto sólo es cierto en formaciones suaves, pero no en formaciones duras. De la expresión anterior, se observa que si todas las condiciones permanecen constantes, el exponente "d" es el que tendrá que variar y será el parámetro de indicación para cualquier cambio en la velocidad de penetración ocasionado por alguna variación en la diferencial de presión.

$$d = \frac{\text{Log } \frac{R}{50H}}{\text{Log } \frac{12 w}{10^6 D}}$$

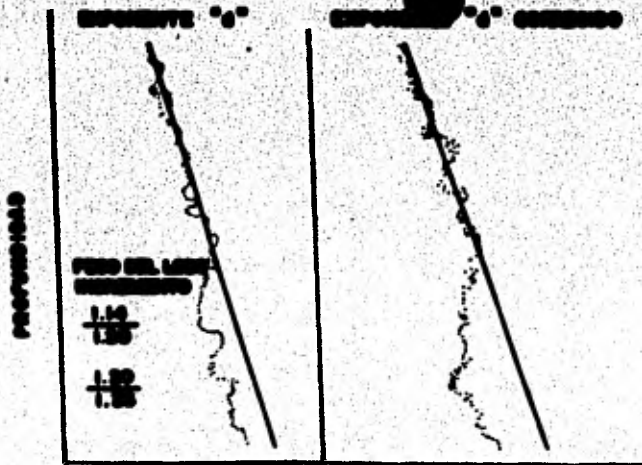
Por medio de este método, se pueden graficar los valores del exponente "d" para cada profundidad en un papel semilogarítmico, obteniéndose con esto la tendencia normal y cuantificar las desviaciones de la tendencia mencionada. Ver fig. 9.

Algunas compañías y organizaciones, han seguido desarrollando este método obteniendo buenos resultados. Uno de éstos, es la corrección al exponente, al que ahora se llama "dc" o exponente "d" corregido. Este al igual que algunos otros métodos depende de correlaciones empíricas. Los procedimientos más comunes son:

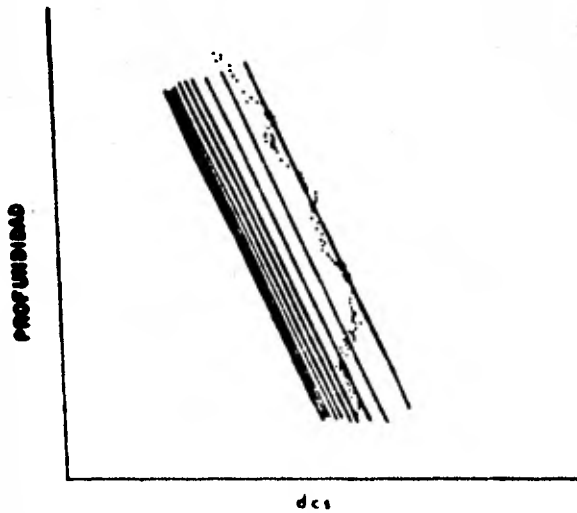
Establecer una tendencia normal de la velocidad de penetración y, ya establecida, determinar la presión de formación a partir de los "quiebres" de esta velocidad con respecto a la tendencia normal. Este método del "dc" consiste en corregir el exponente "d" por medio de los valores de los gradientes normales de formación y de lodo empleado en ese intervalo para perforar.

$$"dc" = dx \left(\frac{\text{gradiente normal del peso de lodo para el área}}{\text{Gradiente del lodo empleado}} \right)$$

Este gradiente normal comunmente se emplea del orden de 9 libras/galón, para la Costa del Golfo. Para obtener estos valores.



COMPARACION ENTRE EL EXPONENTE $^{\circ}$ CORREGIDO Y SIN CORREGIR



FIGURAS Nº 9 y 10

ya sea el exponente "d" o el "dc", se puede auxiliar del nomograma, que se muestra a continuación. (Fig. 11).

Los valores del exponente "d" y "dc", se grafican en un papel semilogarítmico, en donde se tiene en el eje vertical la profundidad y en el horizontal el exponente. En esta gráfica se obtiene la tendencia normal y se emplea una regilla de densidades equivalentes, para obtener por conversión la presión de formación en la profundidad de interés. Ver fig. 10.

Con estos valores se está en posición de construir un perfil de presiones probables para un siguiente pozo próximo a la localización de donde se obtuvieron los datos.

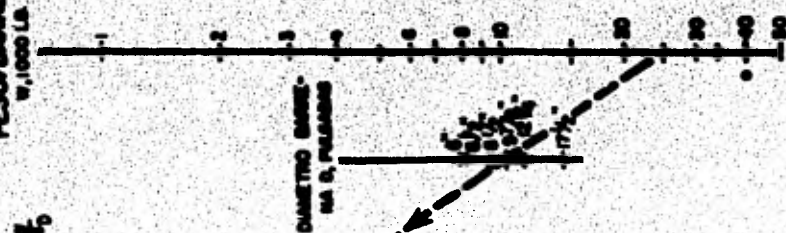
Este método, es un buen auxilio principalmente donde no se cuenta con los registros sónicos de porosidad e inducción y además se tiene la ventaja de que es rápido de aplicar, aunque es menos exacto que el método de predicción de presiones por medio de registros sónicos, tiene buena aproximación.

Es muy recomendable que este método se aplique conjuntamente en el de registros sónicos de porosidad e inducción, si es posible, puesto que con todos ellos se tendrán predicciones más ciertas.

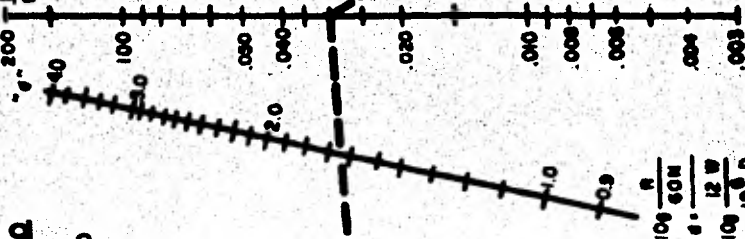
INTERPRETACION.

En la parte superior del agujero donde los sedimentos son blan-

PESO/BARRERA
W, 1000 LB.



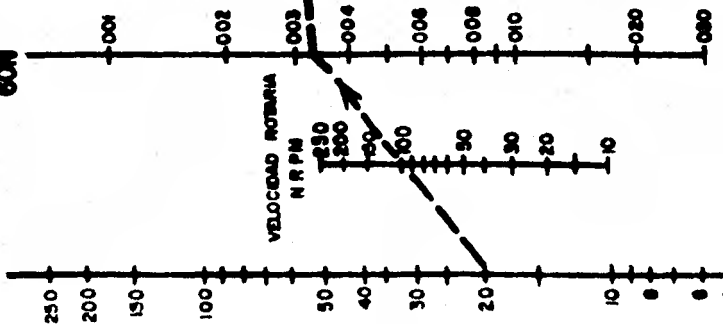
127
10%



EJEMPLO
R: 50
N: 100
W: 25,000
D: 9 1/8
d: 1.04

R
GON

VELOCIDAD DE PENETRACION
R PES/IN

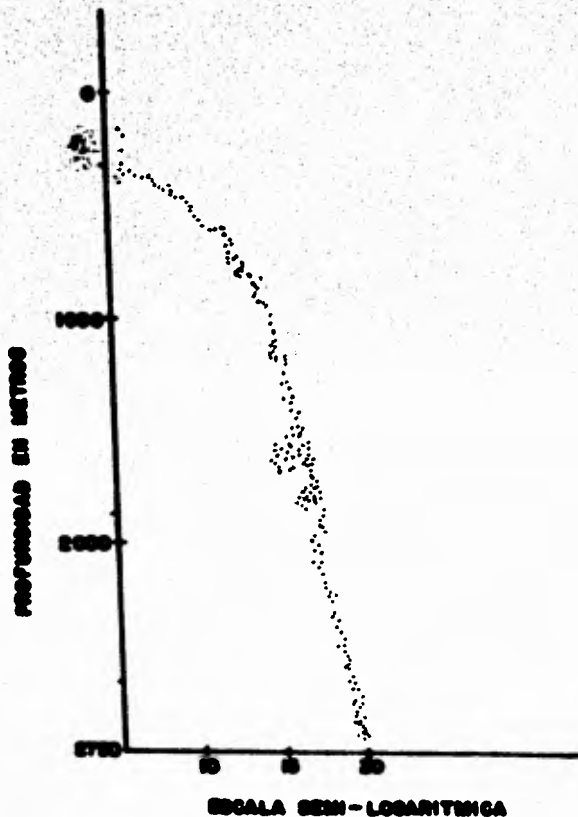


NOMOGRAMA PARA DETERMINAR EL EXPONENTE "D"

FIGURA Nº 11

dos, el valor del exponente "dc" es bajo y su incremento no es una línea recta hasta que se encuentra con sedimentos más compactos. (Fig. 11-A).

En las formaciones suaves, los recortes se pegan alrededor de la barrena impidiendo el avance a una velocidad normal, cuando se tiene formaciones más compactas, el porcentaje de penetración decrece, incrementando el valor del exponente "dc" y tiende a ser una línea, y así hasta que se estabiliza, no obstante en todo caso, se debe identificar la tendencia lineal en algunos lugares, esto ocurre a los 1200 mts pero varía de región a región dependiendo de la edad y compactación de las formaciones, ver fig. Las rocas arcillosas en formaciones potentes que tienen grandes cantidades de arcilla mineral generan y mantienen presiones arriba de lo normal, así estas arcillas, lutitas o lutitas arcillosas pueden ser de un tipo de roca significativa, en las cuales la velocidad de penetración es más lenta que en las arenas, entre la cual se encuentra en capas. El exponente "dc" debe ser mucho mayor que para las arenas y nos dará una tendencia lineal cuando se grafique, las arenas nos mostrarán un cambio a la izquierda. Cuando se encuentra una formación de secuencia de lutitas arcillosas el exponente dc debe decrecer, puesto que las presiones anormales son generadas en las rocas arcillosas, el efecto del decremento inicial debe afectar a las lutitas. La tendencia lineal del exponente "dc" bajará si la ve-



EXONENTE "d" CORREGIDO des.

FIGURA 11-A

lidad de penetración se incrementa.

En la figura, la densidad del lodo se incrementó a la profundidad de 1768 mts porque se contaminó el lodo con gas de los cuerpos arenosos entre 1463 mts a 1768 mts este incremento de la densidad del lodo tal vez no era necesario, no obstante como se incrementó los efectos son obvios, desde los 1768 mts en adelante el valor del exponente "d" tiende a ser paralelo a la tendencia normal de la sección superior, lo que podrá interpretarse como una presión anormal de formación, con lo que se ve que la diferencial entre la presión de formación y la presión ejercida por la columna del lodo no sólo afecta a el avance de la perforación, sino que también afecta a la interpretación del exponente "d", tal vez una de las más graves deficiencias de la interpretación del exponente "dc", es el desgaste de la barrena, por lo que es importante anotar los cambios de la barrena. También afecta a la tendencia lineal del exponente "d" las desviaciones de la vertical.

C A P I T U L O II.

DETECCION DE INDICIOS DE UN BROTE.

Un brote es una entrada indeseable de fluidos de la formación a la tubería de revestimiento y/o tubería de trabajo, en cantidad tal, que se requiera cerrar el pozo. Esta intrusión de fluidos se produce cuando la presión hidrostática del lodo no es suficiente para contrarrestar la presión de formación.

La mayoría de los reventones se han verificado en localidades con presiones de formación normales, a pesar de que las formaciones de presión anormal son un verdadero peligro en la perforación. La mayor parte de ellos ocurren durante maniobras de tubería.

Cuando se sacan los primeros tramos de tubería, se verifica una reducción en la presión del fondo a consecuencia de la parada de la circulación y se crea un fenómeno de succión. Se puede verificar una infiltración en el orificio de fluidos provenientes de una formación, una atenta observación del lodo de retorno permitirá darse cuenta de tal eventual infiltración. En este caso se deberá aumentar la densidad del lodo antes de seguir extrayendo tubería.

A veces, los primeros indicios de una situación de cabeceo son

difíciles de observar, como por ejemplo un aumento del contenido de cloruro en el lodo. Otras veces los indicios son muy evidentes, como el aumento de velocidad de perforación acompañado del aumento de nivel de fluido en los tanques.

Ciertos indicios pueden producirse al mismo tiempo - con un quiebre en la perforación, pérdidas de lodo, aumento de nivel en los tanques, y trazas de gas, aceite o agua en los tanques - antes que el pozo empiece realmente a fluir.

Cuando se está perforando con lodo pesado y la sarta de perforación es bajada demasiado aprisa causando una pérdida de circulación, se puede observar un cabeceo a consecuencia de la baja de nivel del lodo en el pozo. En este caso no se notará ninguno de los indicios citados; la erupción empezará en el momento mismo que el fluido alcanza la superficie.

II.1. Aumento de nivel del lodo en los tanques.

Un aumento de nivel del fluido en los tanques de lodo - a menos que sea debido a un cambio mecánico en los mismos tanques - es el indicio principal que se está formando un brote.

Todas las instalaciones de reparación y perforación deben estar provistas de aparatos indicadores del nivel en los tanques, aptos a indicar rápidamente cualquier aumento o disminución del volumen del lodo. En pozos en los cuales pueden esperarse forma

ciones de alta presión, se debe disponer de un instrumento que controle e indique el nivel de los tanques.

Un aumento de nivel es prueba cierta de que el fluido en el hoyo va siendo desplazado por fluidos de las formaciones. Cuando ocurre un cabeceo, la presión de superficie para contrarrestarlo dependerá, en gran parte, de la rapidez en la maniobra de cerrar el pozo y retener la máxima cantidad posible de lodo dentro del hoyo. Cuanto más lodo sea descargado y más alto se mantenga al lodo arriba del nivel normal en los tanques, tanto más alta resultará la contrapresión que se utilizará en la superficie para contener la presión de formación por medio de la columna de fluido reducida que ha quedado en el pozo.

Cuando el lodo no está en circulación en un pozo, los niveles en cada tanque del sistema de lodo serán los mismos. Cuando se entra a circular, el nivel en los diferentes tanques del sistema bajará. Esto requiere ajustes de los aparatos indicadores de nivel. Un cambio en la velocidad de bombeo producirá algunos de los mismos efectos y puede también requerir ajuste de los marcadores de nivel. Por estas razones los registradores de nivel deben estar calibrados en forma tal que se anote la variación de cada tanque, y los datos deben promediarse y registrarse como variación total promedio. Un aumento es la señal de que el pozo debe cerrarse inmediatamente; una pérdida de volumen puede ser

el indicio preliminar de que una situación de reventón se está formando.

II.2. Brotos de gas.

Las entradas de gas en un pozo ocasionan generalmente graves problemas. El gas se expande mientras sube a la superficie y desplaza una gran cantidad de lodo cuando sale del pozo. Este hecho debe tenerse bien en cuenta cuando se controla un brote de gas.

La figura 12 ilustra la variación de la presión cuando un gas con alta presión penetra en el lodo y la burbuja de gas sube hacia la superficie o es bombeada hacia ella sin permitir que ésta se expanda. La presión en superficie aumenta a medida que el gas, el cual mantiene siempre su presión de fondo, va subiendo. Presiones tan elevadas pueden reventar la tubería o el equipo preventor y provocar total pérdida de control.

La presión máxima que puede desarrollarse en el cabezal del pozo es aproximadamente la misma de la de formación. Se notará -- que la presión de fondo aumenta cuando aumenta la presión de superficie. La presión ejercida por la columna de fluido y de gas podrá igualar la suma de la presión hidrostática y de la presión de formación ejercida por el gas, con el efecto de duplicar la presión de fondo original.. Presiones de esta magnitud tienen casi seguramente por resultado la fracturación de la for

POZO CERRADO

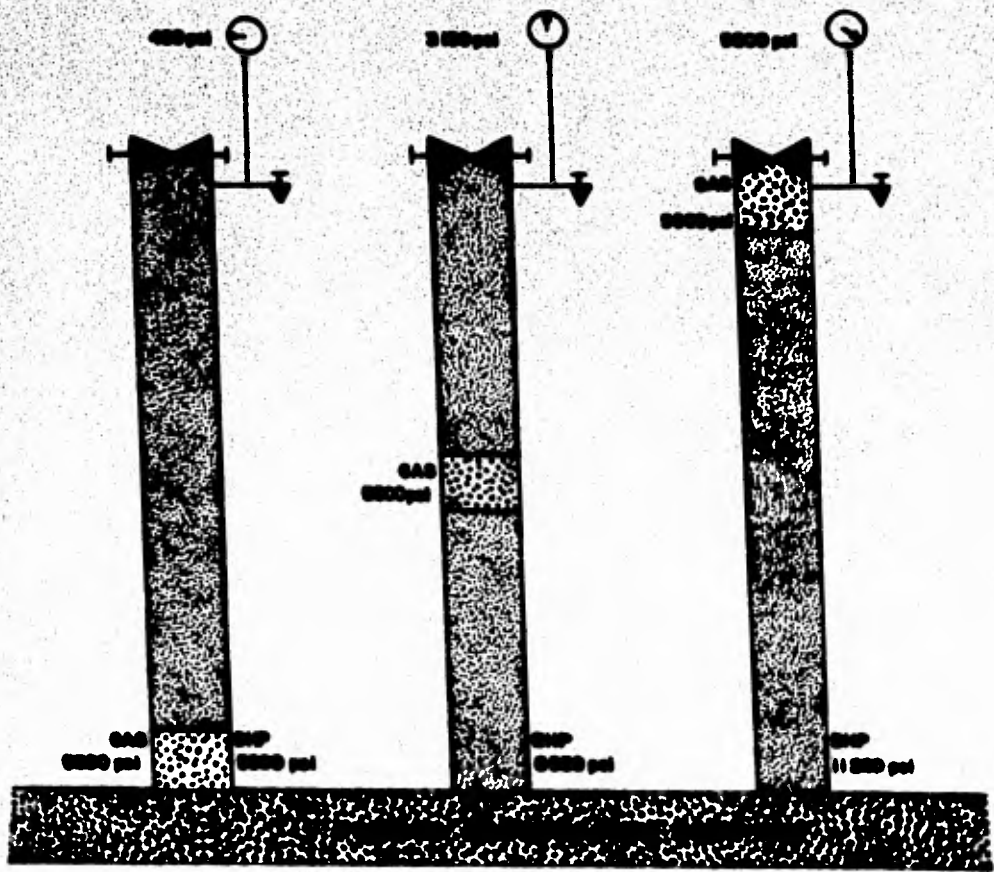


FIGURA Nº 12 EL FORMARÁN PRESIONES CRESCIDAS, A MENOS QUE EL GAS SE EXPANDA MIENTRAS SUBE EN EL POZO.

nación y causarán pérdidas de circulación, posiblemente mucho - antes que la presión máxima sea alcanzada en superficie. Reventones subterráneos resultan de la excesiva presión en la superficie.

Si se circula gas desde el fondo del hoyo, se debe permitir - que se expanda, si se quiere evitar presiones excesivas. Para - dejar que el gas se expanda en el espacio anular mientras se va bombeando arriba por el hoyo, se debe permitir un cierto aumento de volumen de lodo en los tanques.

II.3. Disminución de la presión de circulación.

Como ya es sabido, la presión de circulación se debe a las pérdidas de presión por fricción del fluido en la sarta, a través de la toberas de la barrena y en el espacio anular entre la sarta y el hoyo. Si al perforar se encuentra gas, éste subirá y se expandirá en el espacio anular, y de esta forma se establecerá una columna más liviana. Si el preventor está abierto, se creará un desequilibrio entre el fluido en la sarta y la columna de lodo y gas en el espacio anular. La presión necesaria para la - circulación disminuirá. Si la cantidad de gas aumenta, el flujo dese el pozo aumentará, se verificará un aumento de nivel en - los tanques de lodo, y faltando el cierre de los obturantes se formará un reventón. Cerrando el preventor, se desarrollará presión que aparecerá en el espacio anular en superficie. Si la -

presión hidrostática del fluido contenido en la sarta no es suficiente para equilibrar la presión de formación, se verificará una presión en el tubo vertical. La presión en el cabezal de sarta representa siempre la información fundamental necesaria para matar al pozo.

Cuando la disminución de la presión de la bomba se advierte, se debe parar la bomba y cerrar el pozo. Observando los manómetros de la tubería de perforación y del espacio anular. Si no hay presión, entonces la disminución de presión de la bomba puede atribuirse a un agujero en la tubería de perforación, una unión de tubería con filtración entre roscas o a un pistón de la bomba cortado.

II.4. Lodo cortado con gas.

El lodo cortado con gas circulado de un pozo no necesariamente significa que un pozo esté a punto de reventar, sino que se ha atravesado una formación que contiene gas, puede estar ahí el potencial de un brote.

Cantidades limitadas de gas mezcladas a la columna de lodo de un pozo no desplazan una cantidad apreciable de fluido, y por lo tanto la presión hidrostática no viene reducida considerablemente. Pero el gas se expande muy rápidamente cuando se acerca a la superficie, donde alcanza el máximo de su expansión. Por

esta razón, un poco de gas en el fluido de perforación en circulación en un pozo puede dar la impresión de una enorme disminución en la densidad del lodo. Por lo tanto una cantidad limitada de gas al fondo de una columna de lodo habrá aumentado considerablemente de volumen cuando aparezca en superficie. La fig. 13 indica que el gas se expande muy rápidamente acercándose a la superficie.

El lodo con burbujas de gas, a menos que esté acompañado de un aumento o una disminución de volumen en los tanques del sistema, no provoca de por sí una disminución considerable de la presión hidrostática de fondo.

Efectos que sufre la densidad del fluido de control por contaminación del gas en la columna hidrostática.

Profundidad Reducción de presión
en metros Densidad del fluido de control

	1.20 gr/cm ³	a 0.6 gr/cm ³	2.14 gr/cm ³	a 1.43 gr/cm ³
300	51 psi	3.6 kg/cm ²	31 psi	2.1 kg/cm ²
1500	72 psi	5.0 kg/cm ²	41 psi	2.9 kg/cm ²
3000	86 psi	6.0 kg/cm ²	48 psi	3.4 kg/cm ²
6000	97 psi	6.8 kg/cm ²	51 psi	3.6 kg/cm ²

	2.14 gr/cm ³	a 1.08 gr/cm ³
300	60 psi	4.2 kg/cm ²
1500	82 psi	5.7 kg/cm ²
3000	95 psi	6.7 kg/cm ²
6000	105 psi	7.4 kg/cm ²

Se debe desgasificar el lodo antes de decidir si aumentar su peso, salvo que se verifique aumento de nivel en los tanques, la

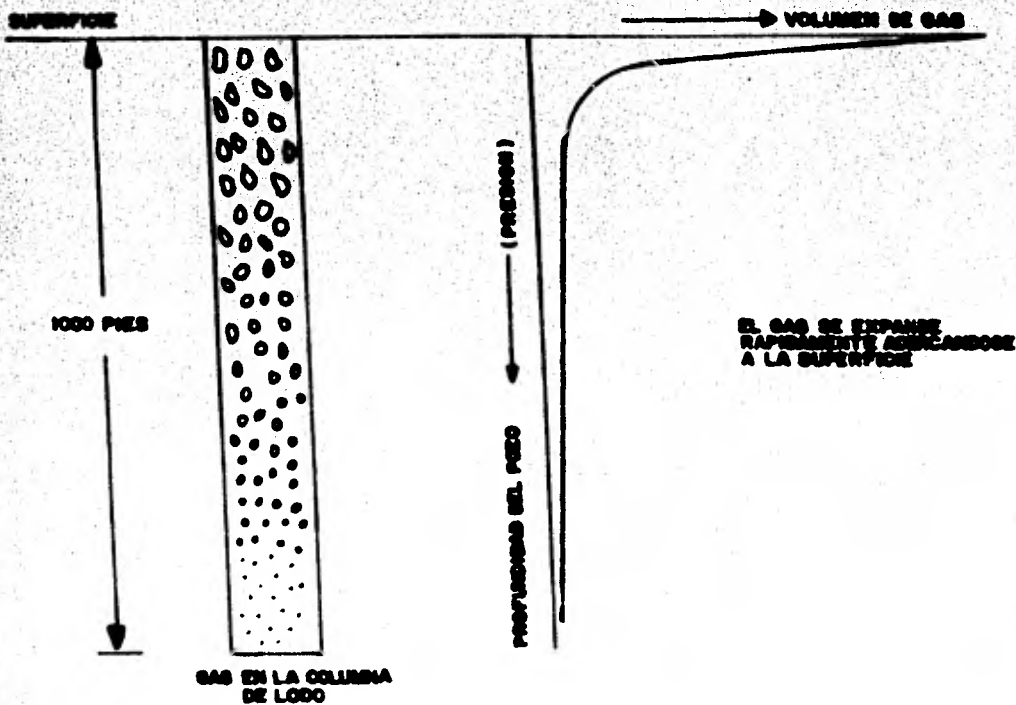


FIGURA Nº 13 EL GAS SE EXPANDE RAPIDAMENTE ACERCANDOSE A LA SUPERFICIE

presencia de burbujas de gas no es un indicio definitivo para tal decisión. La reinyección de lodo con gas en el pozo durante la circulación de un cabeceo causa una disminución en el rendimiento volumétrico de la bomba; por lo tanto, elimina la posibilidad de contar las emboladas como medio de control del procedimiento.

El gas puede eventualmente separarse del fluido en los mismos tanques del sistema, pero este proceso puede acelerarse haciendo pasar el fluido a través de una unidad desgasificadora.

La infiltración de gas en el pozo desde puntos de reducida permeabilidad es generalmente más evidente después de un viaje, pues solamente una pequeña cantidad de gas se hace presente, y la presión de circulación del lodo puede resultar suficiente para retenerlo. Cuando se circula un pozo, el gas es desplazado hacia arriba hasta una cierta profundidad, cerca de la superficie, donde empieza la expansión.

Se reconoce generalmente estos tipos de cabeceos por el hecho de que se forman después de un viaje, y el aumento de nivel en los tanques del sistema no es tan rápido como en el caso de gas proveniente de zonas de alta permeabilidad. Si la entrada de gas empieza en una zona de baja permeabilidad, el gas será eliminado del lodo al cabo de un ciclo de circulación.

Después de cada viaje, el lodo aparece burbujenado, y las burbujas aumentarán a medida que aumente el tiempo que la sarta permanezca fuera del pozo. Si el peso del lodo se aumenta suficien

temente para controlar al burbujeo, puede que se verifique una pérdida de circulación. Los mejores métodos para contrarrestar este fenómeno son los siguientes:

1. Quedarse en el hoyo lo más posible.
2. Emplear un desgasificador; o
3. Usar lodo de baja viscosidad y bajo gel para reducir el efecto de succión y permitir una rápida separación en la superficie.

II.5. Trasas de gas, aceite o agua salada.

Estas apariciones o brotes pueden distinguirse entre brotes de succión y brotes durante sacada de sarta. Su ocurrencia puede notarse, a veces, fácilmente como cuando se encuentra un tapón de aceite negro, o burbujas de gas espumosas en el lodo. A veces son menos visibles, como un liviano aumento de salinidad en el lodo. Como regla general debe tenerse presente que no se puede identificar a simple vista. Aunque el operador tenga experiencia, es necesario disponer de aparatos de control, especialmente en el caso de cantidades limitadas de gas.

Brotos de limitadas cantidades de agua salada no se pueden identificar con la simple observación visual, pero si el brote es de varias decenas de barriles y circula en superficie, se notará con mayor facilidad, ya sea por el cambio de aspecto físico del lodo, o bien por medio de su análisis químico.

Brotos de aceite, y de agua salada pueden no afectar tanto el lodo, ya que lo aligeran menos.

Un brote de succión se origina por un fluido o gas aspirado en el hoyo por la depresión causada por el movimiento demasiado rápido de la sarta. Es un indicio importante, pues el brote revela escasez del exceso de contrapresión con respecto a la presión de formación y la excesiva velocidad de la maniobra de la sarta. Los brotes de succión pueden identificarse midiendo los fluidos necesarios para rellenar el pozo durante la sacada de sarta.

Un brote de gas durante una carrera es similar al brote por succión, en el sentido de que éste también es una advertencia a la prudencia durante la sacada de la sarta. A veces puede soportarse deliberadamente, si se está bien seguro que la entrada de fluido no puede limitarse de manera efectiva aumentando el peso del lodo.

Los brotes de agua salada, de aceite o de gas no van acompañados ordinariamente por flujo de lodo desde el pozo. A menos que haya flujo desde el pozo cuando la bomba se para, no hay necesidad de cerrar los preventores.

11.6. Lodo que fluye del pozo.

Ante cualquier indicio de flujo se debe parar la bomba, y obser

var el retorno del lodo. Si el pozo descarga (fluye) mientras - la bomba está parada, pero el nivel de los tanques del sistema no aumenta una vez puesta en marcha la bomba, deberán cerrarse los preventores para verificar la presión.

Si el pozo fluye con la bomba parada, pero no se forma sino presión limitada, o ninguna, en el cabezal del pozo cerrado, se debe aumentar la densidad del lodo en algunos puntos para conseguir un exceso de la presión de fondo sobre la presión de formación.

Si al momento de cerrar el pozo se presenta una presión en el cabezal de la sarta y en espacio anular, se deberá iniciar los procedimientos de control de un brote.

Cuando la presión de formación es ligeramente superior a la presión de la columna de lodo, el flujo de lodo desde el pozo puede ser muy lento al principio, aumentando gradualmente de nivel en los tanques; este aumento se hará más apreciable cuando el gas esté cerca de la superficie. Cuando la expansión del gas - cerca de la superficie se acentúa, el flujo del lodo aumenta rápidamente, la presión de fondo disminuye, y el flujo desde la formación se vuelve más rápido.

A veces es necesario un desplazamiento casi completo desde el fondo hasta la superficie antes de que se note un aumento de ni

vel en los tanques; se verificará entonces un aumento rapidísimo de volumen en los tanques si no se cierra inmediatamente el pozo. El uso inmediato de los preventores en este momento minimizará la entrada de fluido o gas desde la formación y simplificará el procedimiento necesario para restablecer el control del pozo.

CAUSAS DE LOS BROTES.

En los trabajos de perforación y reparación de pozos, se mantiene la presión hidrostática ejercida por el lodo ligeramente mayor que la presión de formación, pero en ocasiones la presión de la formación excede a la ejercida por la columna hidrostática, las causas son las siguientes:

1. Densidad de control inadecuada.

Esta es una de las causas más importantes en el origen de los arrancones. Se debe al desconocimiento de la verdadera presión de fondo ya sea por formaciones bloqueadas, tapones de arena o chatarra dentro de las tuberías.

Un peso de lodo insuficiente significa que la columna de lodo no es lo bastante pesada para mantener las presiones de formación en su lugar aún cuando el agujero esté lleno. En la mayoría de los casos, la perforación se hace con un fluido de perforación tan ligero como sea posible con objeto de obtener relaciones máximas de penetración, sin embargo, debe señalarse que

el lodo de densidad más baja también permite una diferencial de presión más baja entre la presión del lodo y la de formación.

2. Llenado impropio del pozo durante los viajes.

La medición del volumen del lodo que se emplea para rellenar el hoyo cuando se saca la barrena es muy importante, especialmente cuando hay solamente un pequeño exceso sobre la presión de formación. Cuando se saca la tubería del pozo, el nivel del fluido dentro de él, baja por el desplazamiento del acero de la tubería que se sacó del pozo y como consecuencia la presión de la columna hidrostática ejercida por el fluido de control decrece, por lo que debe llenarse con un volumen de fluido igual al desplazamiento de la tubería.

Las mediciones de los barriles usados efectivamente para rellenar el hoyo se pueden hacer usando (1) tanques calibrado, (2) emboladas de bomba, y (3) cambios de nivel en los tanques de lodo. El método del tanque calibrado es el más exacto, pues se puede observar la cantidad exacta de lodo necesario para rellenar el hoyo después que ha sido sacado un número determinado de paradas de tubería. Contando con el número de emboladas de bomba para rellenar el hoyo después de sacado un determinado número de paradas puede también resultar efectivo, pero es una función de la eficiencia de la bomba. Los cambios de nivel en pulgadas a barriles por cada tramo o parada y múltiples relativos, deberían estar colocados visiblemente en la obra para que todos

los interesados puedan consultarlos rápidamente mientras se efectúa un viaje.

Un tanque calibrador efectivo es un recipiente estrecho y profundo que tenga varias pulgadas de cambio de nivel por cada barril de fluido. Usando un tanque conectado por gravedad, el hoyo quedará relleno automáticamente por el fluido de lodo proveniente del tanque mientras la barrena va siendo sacada del pozo. A su vez el tanque calibrado es relleno desde los tanques --- principales del sistema de circulación. Mientras se saca cada parada o serie de trozos el nivel del lodo en el tanque disminuirá del número de barriles equivalente a la tubería sacada. Así la cantidad exacta de lodo necesario para rellenar el hoyo puede calcularse y compararse con aquella requerida teóricamente.

El número de emboladas puede usarse también para medir el volumen del lodo, pues una bomba de pistón bien manejada corresponde a un medidor positivo de desplazamiento. Dependiendo del tamaño y de la carrera de los pistones, se necesitará un determinado número de emboladas para bombear un barril desde el tanque hasta dentro del pozo. Si se ha verificado succión o pérdida de circulación, se necesitan menos o más emboladas para rellenar el hoyo, una vez sacado un trozo o una serie de trozos, que lo requerido anteriormente. Pero cuando se emplean bombas centrifu

gas para supercargas la succión como generalmente pasa en el caso de bombas triplex - la cuenta de las emboladas puede resultar engañosa - porque la bomba centrífuga puede bombear a través de la bomba principal a baja presión.

Los cambios de nivel de los tanques de lodo pueden reflejar en forma exacta los aumentos o pérdidas de fluido durante la sacada de la tubería, pero en sistemas de mayor volumen el nivel no cambiará en forma apreciable hasta que una considerable cantidad de fluido sea removido o agregado.

El mantener el hoyo lleno de fluido es especialmente importante en el momento que las barras alcanzan la superficie, pues ellas desplazan un volumen mayor que la tubería. El nivel del lodo en el hoyo bajará de cuatro a cinco veces más rápidamente que cuando se saca tubería. En consecuencia se deberá rellenar el hoyo cuatro o cinco veces más que antes. Esta condición es especialmente peligrosa cuando hay arenas con gas expuestas a baja profundidad en el pozo pues, debido a la baja profundidad, el exceso de la presión hidrostática sobre la presión de formación es mínimo.

3. Efecto de sondeo y de pistón.

Para determinar la densidad adecuada para trabajar un pozo petrolero, se parte del dato más reciente de la presión de fondo

estática del yacimiento, lo que nos fija la carga hidrostática que equilibra la presión del yacimiento.

Presiones adicionales se desarrollan contra la pared del pozo - por causa de los movimientos de la tubería de perforación, especialmente cuando tales movimientos son rápidos, cuando el lodo tiene viscosidad y un gel elevados, y cuando se están empleando tuberías muy largas. En función de todos estos factores, mientras mayor sea el movimiento relativo del lodo respecto a los tubos - y viceversa - más grande será la tendencia del lodo a adherirse a la tubería y a las paredes del hoyo. Si la tubería es maniobrada hacia abajo al mismo tiempo que se hace circular el lodo, el efecto será acentuado, ya que los dos efectos deben sumarse y produce una acción de pistón que puede fracturar la formación ocasionando que el fluido de control se pierda.

Cuando la tubería sube demasiado rápido se produce una succión; si el lodo no baja en el hoyo con la misma rapidez con que se saca la tubería entonces se crea una disminución de presión. Cuando la presión hidrostática del lodo es solamente poco superior a la presión de formación, la reducción de presión por succión favorecerá la entrada de fluidos de formación en el pozo. Esto puede ser el principio de un brote. Este fenómeno puede acentuarse si la acción de la barrena está anulada por una bola de barro. El peligro de este efecto de succión es mayor cuando

la tubería se encuentra cerca del fondo, y es este el momento en que se necesita la mayor precaución. Deberá medirse el volumen de lodo necesario para mantener relleno al pozo mientras se va sacando la tubería. Si resulta menor del volumen equivalente a la tubería sacada, se debe deducir que están infiltrándose - fluidos en el pozo. Si se constata succión debe bajarse la tubería al fondo, el lodo contaminado debe eliminarse, y se debe aumentar el peso del lodo antes de volver a hacer una carrera.

Para estar seguros de que no existe entrada de fluidos de formación, se debe determinar el volumen necesario para compensar la tubería sacada y confrontarlo con una tabla que indique los volúmenes requeridos de acuerdo con el tamaño de la tubería y el número de tubos sacados del pozo.

El efecto de sondeo y pistoneo depende de la velocidad del movimiento de tuberías, de la viscosidad del fluido de control, de los diámetros de las tuberías y accesorios de los aparejos. Con la gráfica No. 15 se calcula el aumento de la presión derivada de introducir la tubería o la succión derivada de extraer la tubería de un pozo.

Al establecer la circulación para controlar un pozo o para efectuar cualquier operación que la intervención así lo requiera, - se ejerce una presión sobre el yacimiento mayor que la presión ejercida por la columna hidrostática necesaria para equilibrar

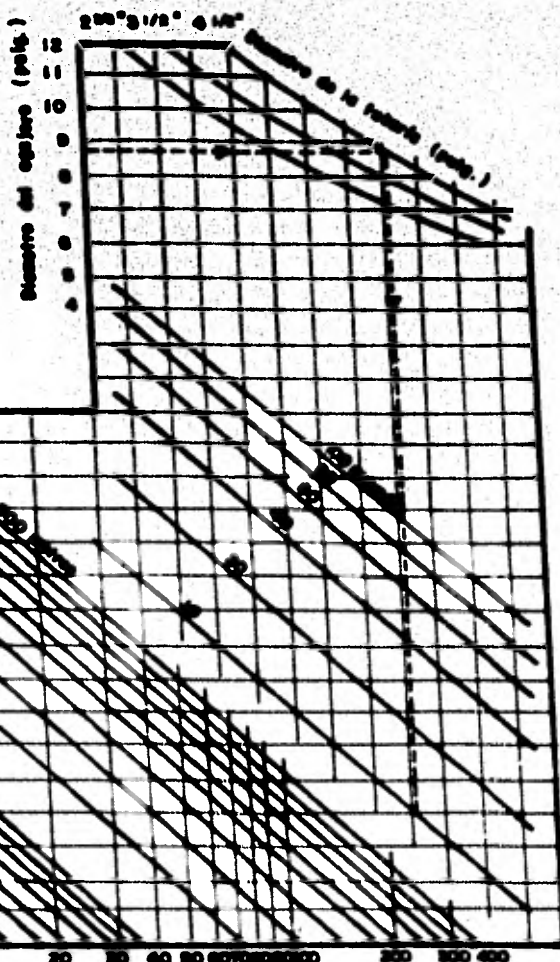
GRAFICA PARA ESTIMAR EL CAMBIO DE LA PRESION SERVADA DE INTRODUCIR LA TUBERIA O LA SUCCION SERVADA DE EXTRAER LA TUBERIA DE UN POZO

EJEMPLO:

Diámetro del agujero _____ 2 3/4"
 Diámetro de la tubería _____ 4 1/2"
 Tiempo de introducción
 (ó de extracción) de
 una longitud de 27 m. _____ 10 seg.
 Longitud de la tubería _____ 4000 m.
 Resaca: 65 Kg/cm²

RES.

Esta es el cambio de presión en el agujero ABAJO DE LA TUBERIA.
 El cambio de presión a lo largo del agujero es PRO-
 PORCIONAL a la profundidad.



VARIACION DE PRESION Kg/cm²

FIGURA Nº 18

la presión del yacimiento. Esto es igual a las pérdidas de presión ejercidas en el espacio anular cuando el sentido de la circulación es directa, lo que puede originar pérdida de fluido de control, por lo que se tiene que considerar en el cálculo la densidad aparente ocasionada por este fenómeno denominado densidad equivalente de circulación, cuando se para la circulación, el margen agregado desaparece. La eliminación de este margen y la pérdida de presión hidrostática por la falta de rellenar el hoyo o la presencia de succión pueden ser la causa de que la presión de formación llegue a superar la presión hidrostática de la columna del fluido.

Si el peso del lodo que se está empleando es apenas equivalente a la presión de formación, se debe agregar material pesado al lodo para contrarrestar el posible efecto de succión y compensar la pérdida de densidad circulatoria. La llamada densidad equivalente de circulación puede calcularse usando las propiedades del lodo, la velocidad anular, la profundidad del hoyo, etc., frecuentemente se estima agregando un factor de seguridad al lodo.

PERDIDAS DE CIRCULACION.

Uno de los más serios problemas que pueden ocurrir en la perforación de un pozo es la pérdida de circulación.

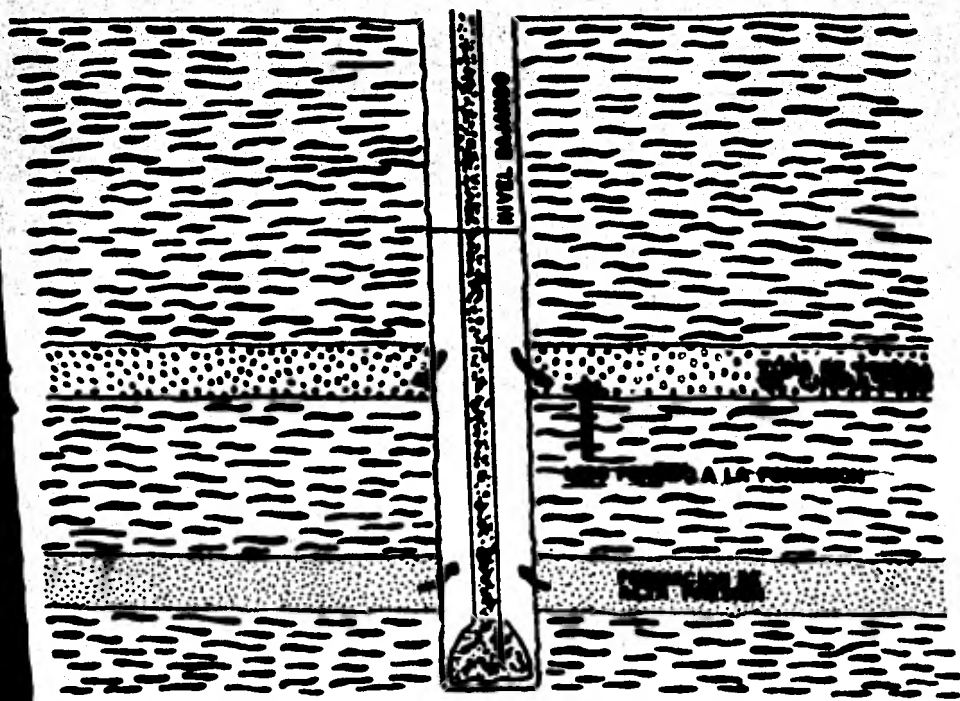


FIGURA Nº 16

Las formaciones en las cuales el lodo se puede perder son:

1. Rocas cavernosas y rocas con fracturas abiertas;
2. Formaciones permeables, a poca profundidad, como arenas y gravilla; y
3. Formaciones fracturadas o fácilmente fracturables.

Para que se verifique pérdida de circulación deben existir aper-turas en la roca que reciban el fluido y suficiente exceso de presión que provoque la infiltración en la formación. Defectos de cementación de la tubería de revestimiento son causa frecuente de pérdida de circulación, y volver a cementar la tubería es el único remedio casi siempre.

Si se verifican pérdidas de circulación mientras se controla un reventón y los obturadores están bajo presión, se crea entonces el peligro de perder todo control y de enfrentarse a graves problemas. La única verdadera protección contra la pérdida de circulación es el tener bastante tubería de revestimiento det-ro del pozo, de modo que se pueda emplear todo el peso de lodo necesario para conseguir control. También es posible colocar una columna de lodo pesado debajo de la zona de pérdida y sucesivamente rellenar el hoyo hasta la superficie con fluido de menor densidad. La presión hidrostática de los dos fluidos combinados puede resultar suficiente para equilibrar la presión de formación, que de otra manera podría causar un brote.

El riesgo de pérdida de circulación debe tenerse en cuenta siempre y particularmente si se exponen formaciones de alta presión en el pozo. Si sucede que se pierda el retorno, parte de la presión hidrostática se perderá en la parte inferior de agujero debido a la reducción de peso de la columna de fluido a medida que el nivel baja. (Como se muestra en la figura No. 16).

Si una formación que contiene alta presión - como se ve aquí - está abierta al agujero del pozo, entonces es muy posible que gas o fluido de la formación de alta presión entren al pozo.

C A P I T U L O III.

PROCEDIMIENTOS PARA CERRAR UN POZO CON FLUJO.

Cuando se observan señales de arrancón de un pozo, deben darse los pasos necesarios para cerrarlo.

No debe hacerse diferencia entre un flujo pequeño o un flujo grande porque en ambos casos puede tenerse un reventón.

III.1. Cierre en pozos terrestres y marinos.

Existen discusiones de que si el preventor se debe cerrar inmediatamente después de parar la bomba o se debe abrir primero el estrangulador, los argumentos que se ofrecen a favor del segundo, de abrir primero el estrangulador es:

1. Evitar el golpe de ariete al parar bruscamente el flujo.
2. Evitar que la presión en la tubería de revestimiento sea excesiva, lo que nos proporciona un medio para emplear el método de control de baja presión de estrangulación, cuando las presiones en la T. R. sean excesivas.

Se ha comprobado que lo de evitar el golpe de ariete no es substancial y que aún cuando el aumento de presión puede ser demasiado alto para mantener los preventores cerrados, esto no se puede saber si antes no se han cerrado, por lo menos temporal -

mente, además desde antes de iniciar los trabajos se debe haber determinado las presiones límites de la tubería y del equipo de cabesal del pozo. Estas presiones deben tenerse en cuenta durante todo el tiempo de eliminación de un cabeceo. Por estas razones, solamente trataremos el procedimiento de cierre sin abrir el estrangulador previamente.

III.2. Con la flecha dentro del agujero.

Procedimiento de cierre.

1. Cuando se observan las primeras señales de un arrancón, si se tiene la flecha adentro, hay que levantarla hasta que una junta quede arriba de la rotaria.
2. Parar la bomba.
3. Cerrar el preventor anular.
4. Leer y registrar las presiones en tubería de trabajo o en su caso tubería de producción y espacio anular, así como el volumen ganado en presas.

El elevar la flecha, es una de las actividades más importantes que deben hacerse, la razón es que se puede cerrar la válvula inferior de la flecha si es necesario, además el preventor anular ofrece más seguridad de sello que en la flecha. Existen algunas diferencias en los procedimientos de cierre de pozos cuan

do se trata de barcos perforadores o equipos que tienen movimiento debido a que tienden a facilitar el movimiento de la sarta de trabajo y además que el conjunto de preventores se encuentra en el fondo del mar.

Para resolver el problema de que el barco se mueva, y con ello se mueva la sarta de trabajo y se desgasten los preventores, se debe bajar una junta, cerrar los preventores y ésta debe tocar los arietes.

El principal problema que se tiene, considerando el tirante entre el piso del barco y el lugar donde están los preventores, es localizar el punto en donde la junta no interfiera el cierre de los preventores, antes de que ocurra un "arrancón" debe bajarse la tubería lentamente sin cerrar los preventores, hasta que la junta esté cerca de los arietes, cerrar y poner en contacto ésta con los arietes y registrar la medida tomando en consideración la flecha.

PROCEDIMIENTO DE CIERRE.

1. Cuando se observen las primeras señales de un arrancón inmediatamente coloque la flecha al nivel previamente señalado en el procedimiento anterior.
2. Pare la bomba.
3. Cierre el preventor anular.

4. Cierre el yugo de arietes anulares superiores.
5. Reduzca la presión de cierre del preventor anular.
6. Baje la tubería de trabajo, hasta que el peso de la sarta se soporte completamente en los arietes anulares.
7. Lea y registre la presión de cierre en la tubería de trabajo y en el espacio anular, así como el volumen de lodo ganado en presas.

III.3. Durante un viaje.

Un porcentaje muy alto de los arrancones, ocurre cuando se está empezando a efectuar un viaje, la razón es, porque no se observa debidamente los procedimientos para mantener controlado el pozo, la viscosidad alta del lodo, densidad inapropiada, descuido al llenar, son algunas de las causas principales.

PROCEDIMIENTO DE CIERRE.

1. Cuando se observan las primeras señales de un arrancón, inmediatamente se debe sentar la tubería en las cuñas, dejando el cople a la altura adecuada.
2. Instalar una válvula de seguridad abierta de un diámetro interior igual al de la tubería que se está manejando, adecuada la presión máxima esperada en el área.
3. Cerrar la válvula y el preventor anular.

4. Hacer las conexiones necesarias para poder circular, es recomendable instalar la flecha.

5. Abrir la válvula de seguridad.

6. Leer y registrar la presión de cierre de la tubería de trabajo y la presión en el espacio anular, así como el volumen ganado en presas.

Se prefiere la instalación de válvula de agujero vertical amplio, porque presenta más facilidades para su conexión cuando el pozo se encuentra fluyendo, además si es necesario efectuar operaciones de línea como son perforación de tubería de trabajo o registros tales como los de temperatura, se pueden efectuar a través de ella, también puede considerarse la posibilidad de instalar sobre la válvula de agujero vertical amplio, una válvula check para permitir bajar la tubería hasta el fondo con preventores anulares esféricos.

Cuando el pozo está fluyendo, deberá cerrarse para reducir al mínimo la entrada de fluido al agujero del pozo, haciendo así más fácil el control del brote. Después de cerrar el pozo, se deberá esperar unos cuantos minutos para permitir que las presiones en la tubería de ademe y de perforación se estabilicen razonablemente. La presión de cierre de la tubería de ademe será la contrapresión inicial que habrá que mantener en el es-

trangulador cuando se inicie la circulación para matar el pozo.

La presión de cierre de la sarta de trabajo es muy importante. Sin ella no podemos calcular fácilmente el incremento del peso del lodo necesario para matar el pozo. El lodo en el interior de la sarta no está contaminado por el fluido de la formación. Es por esto que la presión en el cabezal de la sarta puede usarse para calcular la presión de fondo, que será evidentemente igual a la presión de formación, pues las dos están equilibradas. La presión en el cabezal de la tubería de revestimiento no puede utilizarse para este cálculo debido a que no se conoce el nivel del gas, aceite o del agua en el espacio anular. La presión en el cabezal de la tubería de revestimiento varía según la naturaleza del fluido que ha entrado en el orificio y el nivel de tal fluido en el espacio anular. Debido a la presencia de fluido libiano o de gas en el espacio anular, se pueden encontrar presiones diferentes en la sarta y en la tubería de revestimiento. Una ligera diferencia de presión indicará una infiltración de agua si hay solamente un aumento pequeño de nivel en los tanques, una gran diferencia entre las dos presiones indicadas revela entrada de gas en el pozo. Con frecuencia el gas y el aceite entran conjuntamente, lo que complica mucho el análisis.

Cuando se cierra el preventor, la presión de fondo aumenta has-

ta ser equilibrada por la suma de la presión en el cabezal de -
la sarta y de la presión hidrostática del lodo en el interior -
de la sarta.

La presión de cierre en la sarta permite calcular directamente
el aumento de densidad del lodo necesario para balancear la pre-
sión de formación.

C A P I T U L O IV.**PRESIONES ENTRAMPADAS EN TUBERIAS DE REVESTIMIENTO Y PRODUCCION.****IV. 1. Conceptos generales.**

Una presión entrampada, se puede definir como cualquier presión registrada en la tubería de producción o tubería de revestimiento, mayor que la presión que balancea la presión de fondo. Las presiones entrampadas o casquetes gaseosos pueden causar errores en la interpretación de las lecturas de las presiones de cierre.

Las presiones se pueden entrampar por varias razones, las más comunes son las siguientes:

1. En su emigración ascendente, el gas tiende a expandirse.
2. Cuando se cierra el pozo, antes de que el lodo quede sin movimiento, es obvio que las lecturas que se registren en estas condiciones contengan alguna cantidad de presión entrampada y por lo tanto, los cálculos que se efectúen con estos datos serán erróneos.

Existen varios lineamientos que hay que seguir para descargar estas presiones, que de no seguirse será más difícil controlar el pozo.

Este procedimiento es una manera de descargar las presiones evi

tando que el pozo aporte.

IV.2. Guía para descargarlas.

1. Cuando se piensa que existe una presión entrampada, se descarga solamente la tubería de revestimiento, por las razones siguientes:

a. El estrangulador está colocado generalmente en el lado de la tubería de revestimiento.

b. Evita la contaminación de lodo en la sarta de trabajo.

c. Evita la posibilidad del taponamiento de los "jets" de la barrera o camisa deslizante.

2. Se emplean las lecturas en la tubería de trabajo como indicadores de la presión de fondo.

3. Se descargan pequeñas cantidades de fluido de la tubería de revestimiento, de 1/4 a 1/2 barril de lodo cada vez, se cierra el estrangulador y se observa la presión de la sarta de trabajo.

4. Se continúa con esta secuencia mientras la presión registrada en la sarta de trabajo continúa decreciendo. Cuando la presión se estabilice, se deja de descargar y se registra la verdadera presión de cierre.

5. Si la presión en la tubería de trabajo nos registra cero, durante este procedimiento, se continúa descargando y registrando la presión de la tubería de revestimiento, mientras la presión continúa decreciendo.

IV.2.1. Cuando se tiene una válvula de contrapresión en la tubería se debe emplear el siguiente procedimiento:

1. Se registra la presión de cierre, se obtiene el gasto y presión de bomba necesaria para circular, o bien de datos que se tengan anteriormente de presión y gasto registrados durante el trabajo normal.

2. Establecer circulación con los datos anteriores obtenidos, regulando la bomba a las condiciones descritas y se registran las presiones mientras se bombea, manteniendo la presión que se observó cuando el pozo estaba cerrado en la tubería de revestimiento.

3. Se para la bomba y se cierra el estrangulador.

La presión total en el cabezal de la sarta durante la circulación de un brote será igual a la suma de:

1. La presión de circulación a la velocidad de bombeo escogida;
2. La presión de cierre observada en el cabezal de la sarta que representa la diferencia entre presión de formación y presión hidrostática; y

3. La presión adicional causada por el estrangulador.

Cualquier presión ejercida por el lado de la sarta no será necesariamente ejercida al fondo ni transmitida al espacio anular. - Pero la presión ejercida por intermedio del estrangulador se -- transmitirá a través de todo el circuito hasta el cabezal de sarta en forma retardada. Este retardo durará aproximadamente un segundo por cada 1,000 pies de columna de lodo, variando en razón de la densidad del lodo y la cantidad de gas presente, antes - que los cambios de presión causados por el estrangulador aparezcan en el manómetro del cabezal de sarta.

IV.3. Comportamiento del flujo en el control del pozo.

Si deseamos controlar un pozo, en que la presión de los fluidos del yacimiento dentro de las tuberías, está arriba de la presión de saturación durante la operación de control (fig. No.17), se tiene un flujo vertical ascendente de una sola fase (fase líquida), es decir, no hay gas libre.

Si en alguna parte de las tuberías el fluido del yacimiento alcanza su presión de saturación a causa del decremento de presión, se inicia la formación de pequeñas burbujas de gas dispersas en un medio continuo. Al continuar ascendiendo los fluidos la presión sigue decreciendo, lo que trae consigo la formación de burbujas mayores, las cuales viajan a velocidad superior -

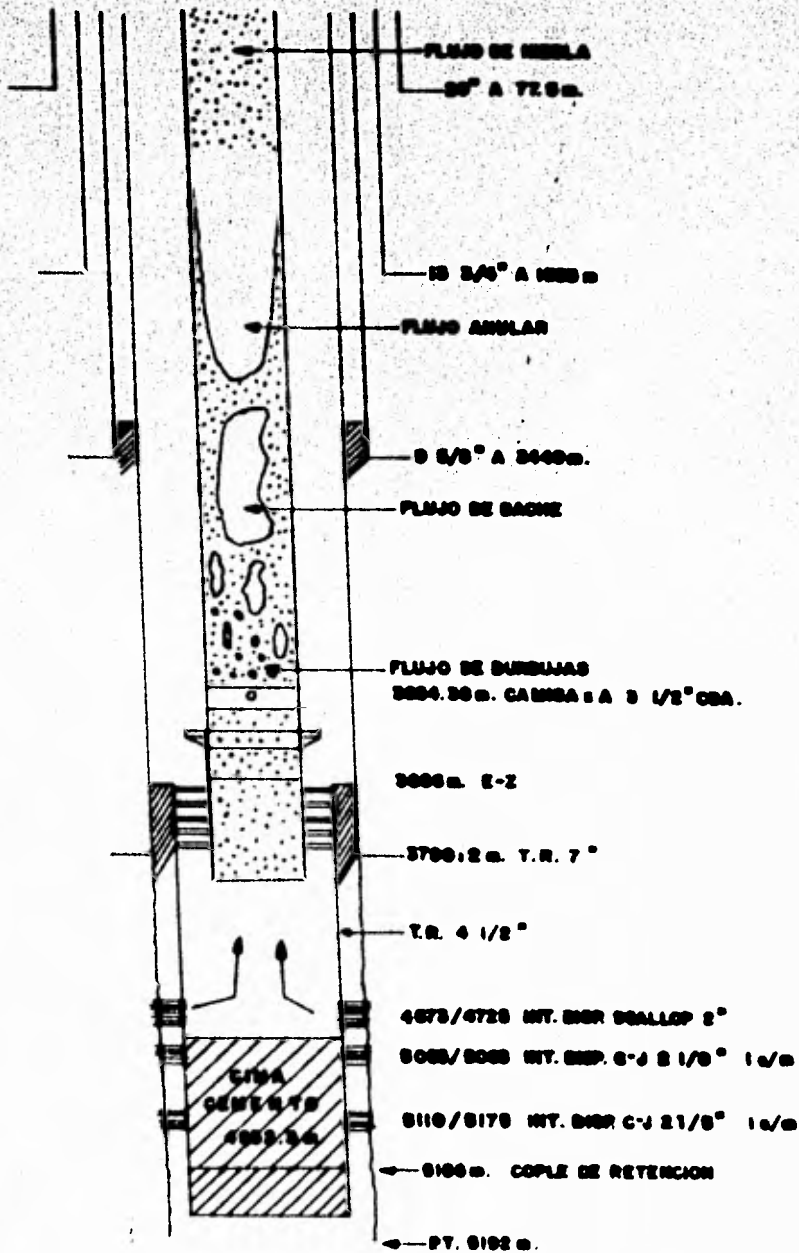


FIGURA Nº 17

que las burbujas pequeñas que se incorporan, formando cada vez más burbujas de tamaño considerable, hasta que ocupan toda la sección transversal de la tubería formando una fase continua de gas, seguida de una fase continua de aceite con pequeñas burbujas en su seno. El flujo al continuar ascendiendo y expandiéndose el gas, atraviesa al aceite que los separa formando una fase continua de gas central y el aceite escurre por las paredes de las tuberías. Esta película de aceite se va adelgazando hasta que desaparece, arrastrando el gas al aceite en forma de pequeñas gotas.

Si penetra gas del yacimiento al pozo, éste irá elevándose a la superficie y si no se le permite que se expanda, conservará la presión del yacimiento y puede romper la tubería de revestimiento en algún punto si las condiciones de la misma no son satisfactorias, o se fractura la formación debido a la presión excesiva ejercida sobre el yacimiento causando daños a la permeabilidad de la formación.

CAPITULO V.

PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE POZOS.

V.1. Generalidades.

Antes de iniciar el control de un pozo se debe analizar las condiciones generales del mismo como son: el estado mecánico del equipo superficial y subsuperficial, condiciones de flujo y presión, condiciones de permeabilidad, presión de fractura, presión estática, etc., del yacimiento. Estos factores combinados, nos determinan una serie de acciones que deben de efectuarse con el fin de poder llevar el control del pozo a buen término.

Para iniciar el control de un pozo, fig. 18, es necesario poder establecer circulación entre la tubería de producción y la tubería de revestimiento con el fin de desalojar los fluidos del pozo y sustituirlos por un fluido que controle la presión del yacimiento; para ello, en los pozos que se tienen aparejos de producción, se abre una válvula de circulación. El desalojo de los fluidos del pozo se efectúa generalmente bombeando el fluido de control en forma directa por la tubería de producción, permitiendo que los fluidos del pozo escurran por el espacio anular entre la tubería de producción y tubería de revestimiento a una línea que se conecta al ensamble de estrangulación. Para evitar que el flujo del pozo arrastre el fluido de control y lo desaloje por la línea que va del ensamble de estrangulación a una pre

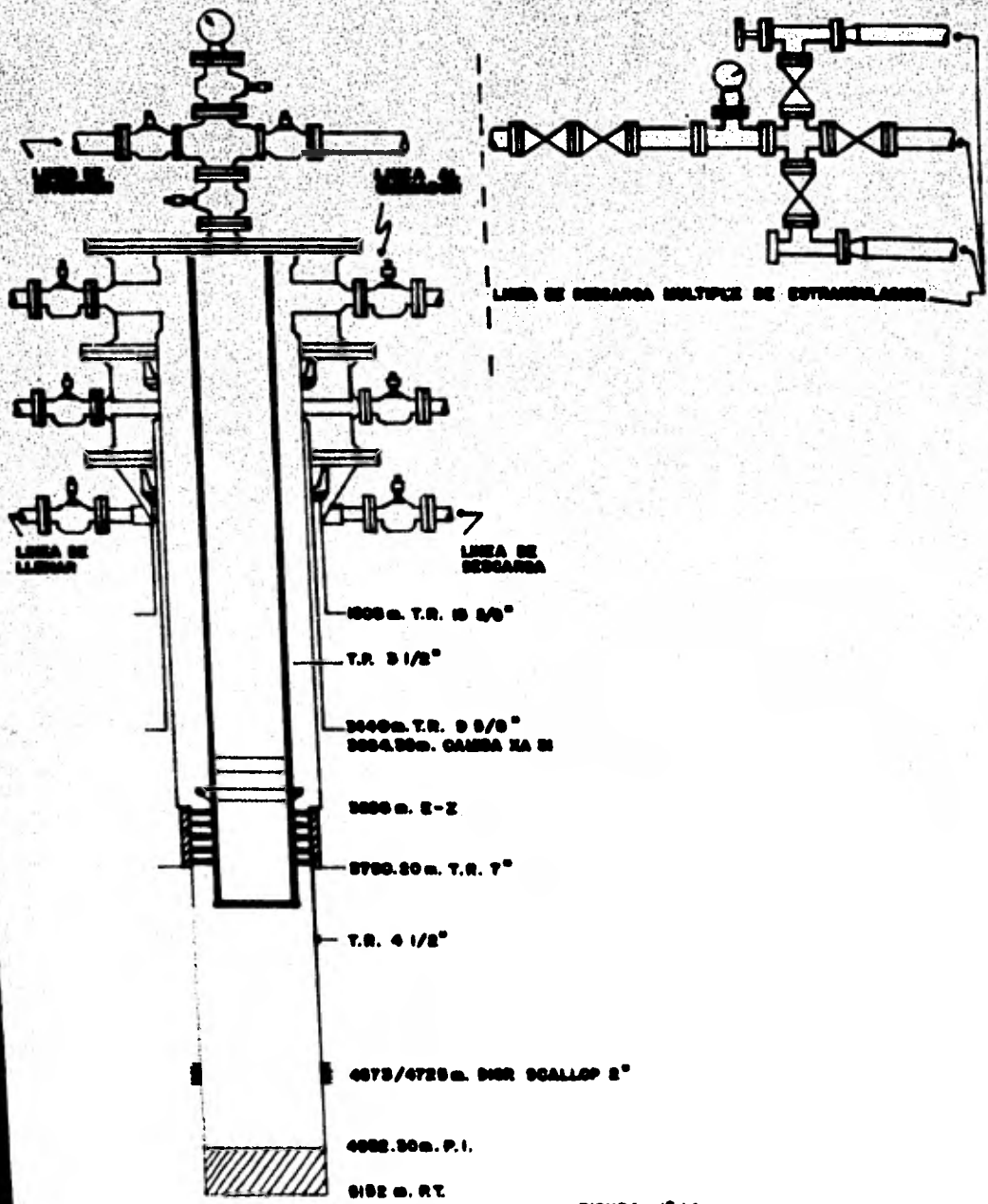


FIGURA Nº 10

en o línea de escurrimiento, se debe estrangular el flujo de --
 descarga y observar que la presión que se ejerce sobre el yaci-
 miento está arriba de la presión estática y abajo de la presión
 de ruptura del yacimiento, cuidando que la presión ejercida en
 el espacio anular no sobrepase del 50% de la resistencia a las
 presiones internas de las tuberías de revestimiento superficia-
 les y cortas, y el 80% para tuberías de explotación (dependien-
 do del diseño, cementación y desgaste de las tuberías).

Deben tomarse en cuenta muchas consideraciones para controlar -
 un pozo entre ellas tenemos las siguientes:

- a. Tipo de fluido del pozo.
- b. Características de la formación.
- c. Perforaciones en las tuberías.
- d. Condiciones del fluido en el espacio anular.
- e. Equipo disponible.

Dada las condiciones del pozo, existen muchos procedimientos pa-
 ra controlarlo, como ejemplo, si la tubería está rota, si no se
 puede perforar la tubería de producción o la tubería de revesti-
 miento está rota, presiones anormales, etc.

En muchos de los trabajos de reparación de pozos no se puede -

perforar la tubería de producción o abrir la camisa, en tal situación entre otros procedimientos se pueden emplear los métodos siguientes: regresar fluidos a la formación, meter tubería flexible, tubería a presión con equipo especial o sacar la tubería del espacador cuando éste tiene válvula de contrapresión.

En el equipo superficial no debe rebasarse la presión de trabajo y menos si las condiciones del mismo no son satisfactorias. El gasto de la bomba debe ser aproximadamente igual al flujo de salojado, por lo que debe calcularse el estrangulador que se requiera con las condiciones de operación antes expuestas para fluidos de yacimiento y para fluidos de control.

Los estranguladores basan su importancia en su característica fundamental, que es la de generar una presión adicional al sistema, al permitir el flujo restringido a través de ellos.

Tomando en cuenta que las presiones superficiales tienen orígenes diferentes (una por bombeo y otra por contrapresión) pero están íntimamente relacionadas, el estrangulador juega un papel decisivo en ambas, puesto que a una la genera la contrapresión, afectando directamente a la otra, motivo por el cual recae sobre éste la responsabilidad mayor del control del brote.

Los estranguladores no son otra cosa que orificios, y como tales, generan una caída de presión en sentido contrario al flujo

(llamada contrapresión), ocasionada por una disminución en el área de dicho flujo, que se adiciona al sistema y cuya magnitud depende de las variables que intervienen en el fenómeno, como son: el gasto, el área de flujo y las propiedades del fluido entre otras. Esto se expresa matemáticamente como:

$$\Delta P = \left(\frac{3.18}{D_e}\right)^4 \rho_F Q^2 \quad (1)$$

En donde:

- ΔP - Caída de presión a través del estrangulador (kg/cm^2).
- D_e - Diámetro del estrangulador ($1/64$ pg).
- ρ_F - Densidad del fluido (gr/cc).
- Q - Gasto (Lt/min).

En la ecuación se observa que el manejo de la contrapresión puede realizarse a través del gasto y/o el área de flujo. La presión inicial en el estrangulador durante el control de un brote, deberá ser la presión inicial registrada en T. R. al cerrar el pozo en el momento de detectarlo.

Una vez definida la presión necesaria en el estrangulador el tamaño del estrangulador se puede calcular con la siguiente fórmula, despejada de la ecuación (1).

$$D_e = 3.18 \times \left\{ \frac{\rho_F \times Q^2}{\Delta P \text{ est.}} \right\}^{1/4} \quad (2)$$

Si se utilizan unidades del sistema inglés:

$$D_e = 7.06 \left(\frac{\rho_F \times Q^2}{\Delta P_{est.}} \right)^{1/4}$$

D_e - Diámetro del estrangulador ($1/64$ pg).

ρ_F - Densidad del fluido (lb/gal).

Q - Gasto (gal/min).

ΔP - Caída de presión a través del estrangulador (lbs/pg²).

V.2. Densidad requerida para controlar un pozo.

Siempre deben efectuarse los cálculos necesarios para controlar un pozo petrolero, la presión hidrostática ejercida por el flujo de control debe ser igual a la presión de formación.

La ecuación con la cual se calcula la densidad del fluido de control es la siguiente:

$$d = \frac{(\text{Presión de cierre} + \text{presión hidrostática}) \times 10}{\text{Profundidad vertical del pozo}} = \frac{10 (P_c + P_h)}{h}$$

(3)

d - Densidad de control - gr/cm³.

P_c - Presión de cierre - kg/cm².

P_h - Presión hidrostática - kg/cm².

h - Profundidad vertical - m.

Aunque la presión de cierre en la tubería de revestimiento no es

importante para el método de control, debe anotarse y cuidarse - no exceda de la resistencia a la presión interna de la tubería. También se puede emplear la fórmula siguiente:

$$d = \frac{\text{Presión en T.P.} \times 0.704}{\text{Prof. vertical del pozo}} + \text{Dens. original}$$

d - Densidad de control - gr/cm³.

Presión en T.P. - lb/pg².

Profundidad vertical - mts.

d - Densidad original gr/cm³.

Después de que se efectúa el control del pozo, debe aumentarse la densidad del fluido de control para compensar los efectos de bombeo y vaciado del pozo, al sacar tubería, con lo que se evita la posibilidad de fracturar la formación, también se puede emplear la siguiente fórmula si se conoce la presión de formación (en el fondo).

$$d = \frac{10 \times PF}{h}$$

d - Densidad de control (gr/cm³).

PF - Presión de formación (kg/cm²).

h - Profundidad vertical (metros).

Presión de circulación con velocidad de bomba reducida.

Método recomendable para tratar un brote es emplear una ve

lidad de bombeo reducida, velocidad que debe seleccionarse y hacerse conocer cuando hay perspectivas de brote. Este régimen reducido se consigue haciendo marchar la bomba a la mitad - (más o menos), de la velocidad normal y se anota cuidadosamente para uso posterior, la presión del lodo y las caboladas por minuto. Las principales razones por las cuales deberá utilizarse una velocidad de bombeo baja para controlar un brote son las siguientes:

1. Al reducir la velocidad de bombeo a la mitad, la presión de circulación se disminuye a la cuarta parte. En estas condiciones se consume un cuarto de la potencia, aliviando con esto el esfuerzo mecánico sobre el equipo.
2. Se tiene bastante presión de reserva para la presión inicial de circulación.
3. A baja velocidad de bombeo se mejora el control de la densidad del lodo en las presas y a la entrada.
4. Permite mayor tiempo de reacción a los cambios de presión en el estrangulador, o cuando se obtura el mismo.

Basado en el comportamiento que las pérdidas de presión por fricción presentan, se puede establecer la siguiente ecuación que representa el fenómeno.:

$$P = K Q^n$$

(4)

Considerando que sería la expresión general del comportamiento al sólo variar el gasto manteniendo los otros factores constantes (propiedades del fluido y geometría del sistema).

En base a lo anterior, los valores necesarios de las pérdidas de presión por fricción a los gastos dados, pueden ser obtenidos con sólo conocer un valor, pudiendo expresar la ecuación anterior como sigue:

donde n en forma práctica es considerado con un valor de 1.86.

$$P_b = K Q^{1.86}$$

Despejando,

$$K = \frac{P_b}{Q_1^{1.86}}$$

además si,

$$\Delta P_{\text{sist.}} = K Q_2^{1.86}$$

sustituyendo K en esta última tenemos,

$$\Delta P_{\text{sist.}} = P_b \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)^{1.86} \quad (5)$$

Establecido lo anterior estamos ya en condiciones de determinar la presión inicial de circulación:

$$P_{ic} = \Delta P_{\text{sist.}} + P_{cTP} \quad (6)$$

En donde:

P_{ic} - Presión inicial de circulación (kg/cm^2).

ΔP_{sist} - Caída de presión en el sistema (kg/cm^2).

P_{cTP} - Presión de cierre en la T.P. (kg/cm^2).

Si se utiliza durante el control un medio del gasto normal, la caída de presión en el sistema se puede calcular en forma bastante aproximada, así:

$$\text{Como } Q_2 = \frac{1}{2} Q_1$$

$$\Delta P_{sist.} = P_b \times \left(\frac{1}{2}\right)^{1.86}$$

$$\Delta P_{sist.} = 0.27547 \times P_b \quad (7)$$

siendo:

P_b - Presión de bombeo (kg/cm^2).

Q_1 - Gasto de circulación momentos antes del descontrol.

Cuando el gasto reducido se toma igual a 1/3, el factor para multiplicar a P_b deberá sustituirse por este valor 0.129584, si el gasto reducido se toma igual a 2/3 el factor será 0.4704.

Ahora aplicando la ecuación (6) se calcula el valor de P_{ic} .

$$P_{ic} = 0.27547 \times P_b + P_{cTP} \quad (8)$$

La presión de circulación deberá ir disminuyendo a medida que el lodo de densidad aumentada vaya llenando la sarta, de tal manera que después de llegar al final de la tubería, esta presión sea únicamente la necesaria para vencer la fricciones en el sistema, es decir, la caída de presión del sistema ($\Delta P_{sist.}$), ya que la presión del yacimiento queda balanceada por la presión hidrostática del lodo dentro de T.P. Esto da lugar a la presión final de circulación (PFC) la cual se calcula ajustando la caída de presión en el sistema $\Delta P_{sist.}$ por el cambio de densidad del lodo. La ecuación es:

$$PFC. = \Delta P_{sist} \times \frac{df}{di} \quad (9)$$

donde:

PFC - Presión final de circulación (kg/cm^2).

ΔP_{sist} - Presión reducida de circulación (kg/cm^2).

df - Densidad de control (kg/cm^3).

di - Densidad original del fluido (kg/cm^3).

La capacidad interior en lts/m de las tuberías se puede calcular con la fórmula:

$$Cap. \text{ int.} = 0.5067 \times (\varnothing \text{ int})^2 \quad (10)$$

donde:

$\varnothing \text{ int}$ - diámetro interior de la tubería en pgs.

Así entonces:

$$\text{Vol. int T.P.} = 0.5067 \times (\# \text{ T.P. int.})^2 \times \text{LTP} \quad (11)$$

LTP - Longitud de la tubería de producción (m).

Vol. int. T. P. (lts).

$$\text{Número de emboladas} = \frac{\text{Vol.int. T.P.}}{g} \quad (12)$$

g - gasto por embolada en litros.

El tiempo aproximado para llenar la tubería en (min.).

$$\text{Tiempo} = \frac{\text{No.emb.}}{\text{e.p.m.}}$$

Tiempo - (minutos).

e.p.m. - Emboladas por minuto.

Volumen anular entre T.P. y agujero:

$$\text{VaTp} = \text{CATp} \times \text{D} \quad (13)$$

VATp - Volumen anular T.P. - T.R. (lts).

CATp - Capacidad anular T.P. - T.R. (lts/m).

D - Profundidad del pozo (m).

El volumen por embolada de cada bomba se obtiene sustituyendo - los valores respectivos de cada bomba en la ecuación siguiente:

$$g = 6.8 \times 10^{-3} \times L \times (2 (\# p)^2 - (\# v)^2) \quad (14)$$

TABLA I

81.

RENDIMIENTO DE BOMBEOBOMBAS DUPLEX DOBLE ACCION

<u>Longitud Embolo (pulg.)</u>	<u>Diámetro Camisa (pulg.)</u>	<u>Diámetro Vástago (pulg.)</u>	<u>Eficiencia 100%</u>	
			<u>Barril/Embolada</u>	<u>Embolada/Barril</u>
6	4.0	1.5	.0289	34.6
8	4.0	1.5	.0385	25.9
8	4.5	1.5	.0495	20.2
8	5.0	1.5	.0618	16.1
10	4.0	1.5	.0482	20.7
10	4.5	1.5	.0619	16.1
10	5.0	2.0	.0745	13.4
12	4.0	1.5	.0578	17.3
12	4.5	1.5	.0743	13.4
12	5.0	2.0	.0894	11.2
12	5.5	2.0	.1098	9.1
14	4.5	1.5	.0867	11.5
14	5.0	2.0	.1043	9.6
14	5.5	2.0	.1281	7.8
14	6.0	2.0	.1541	6.5
14	6.25	2.0	.1680	5.9
14	6.5	2.0	.1825	5.5
14	6.75	2.0	.1975	5.1

T A B L A I

<u>Longitud Embolo (pulg.)</u>	<u>Diámetro Camisa (pulg.)</u>	<u>Diámetro Vástago (pulg.)</u>	<u>Eficiencia 1000</u>	
			<u>Barril/Embolada</u>	<u>Embolada/Barril</u>
14	7.0	2.0	.2131	4.7
14	7.25	2.5	.2241	4.5
14	7.5	2.5	.2408	4.2
14	7.75	2.5	.2581	3.8
18	5.0	2.5	.1275	7.8
18	5.5	2.5	.1581	6.3
18	6.0	2.5	.1916	5.2
18	6.25	2.5	.2095	4.7
18	6.5	2.5	.2280	4.4
18	6.75	2.5	.2473	4.0
18	7.0	2.5	.2674	3.7
18	7.25	2.5	.2881	3.5
18	7.50	2.5	.3096	3.2
18	7.75	2.5	.3319	3.0
20	6.5	2.5	.2534	3.9
20	6.75	2.5	.2748	3.6
20	7.0	2.5	.2971	3.4
20	7.25	2.5	.3202	3.1
20	7.50	2.5	.3440	2.9
20	7.75	2.5	.3687	2.7
20	8.0	2.5	.3942	2.5

T A B L A 2RENDIMIENTO DE BOMBEOBOMBAS TRIPLEX DE SIMPLE ACCION

<u>Longitud Embolo (pulq.)</u>	<u>Diámetro Camisa (pulq.)</u>	<u>Eficiencia 100%</u>	
		<u>Barril/Embolada</u>	<u>Embolada/Barril</u>
4	3	.0087	114.9
4	3 1/4	.0103	97.1
4	3 1/2	.0119	84.0
4	3 3/4	.0137	72.9
4	4	.0155	64.5
4	4 1/2	.0197	50.7
4	5	.0243	41.1
4	6	.0350	28.6
4	8	.0622	16.1
6	3	.0131	76.3
6	3 1/4	.0155	64.5
6	3 1/2	.0179	55.8
6	3 3/4	.0206	48.5
6	4	.0233	42.9
6	4 1/2	.0296	33.8
6	5	.0365	27.4
6	6	.0525	19.1
6	8	.0933	10.7
8	3	.0174	57.5
8	3 1/4	.0206	48.5

T A B L A 2

<u>Longitud Embolo (pulg.)</u>	<u>Diámetro Camisa (pulg.)</u>	<u>Barril/Embolada</u>	<u>Embolada/Barril</u>
8	3 1/2	.0238	42.0
8	3 3/4	.0274	36.5
8	4	.0310	32.2
8	4 1/2	.0394	25.3
8	5	.0486	20.6
8	6	.0700	14.2
8	8	.1244	8.0
10	3	.0218	45.9
10	3 1/4	.0258	38.8
10	3 1/2	.0298	33.6
10	3 3/4	.0343	29.1
10	4	.0388	25.8
10	4 1/2	.0493	20.3
10	5	.0608	16.4
10	6	.0875	11.4
10	8	.1555	6.4

En donde:

g - Eficiencia de la bomba (gal/emb).

L - Longitud del émbolo (pulg).

ϕ_p - Diámetro camisa (pulg).

ϕ_v - Diámetro vástago (pulg).

Para bombas triplex de simple acción se aplica la fórmula:

$$g = 1.02 \times 10^{-2} \times L \times \phi_p^2 \quad (15)$$

g - Eficiencia de la bomba (gal/emb.).

L - Longitud del émbolo (pulg).

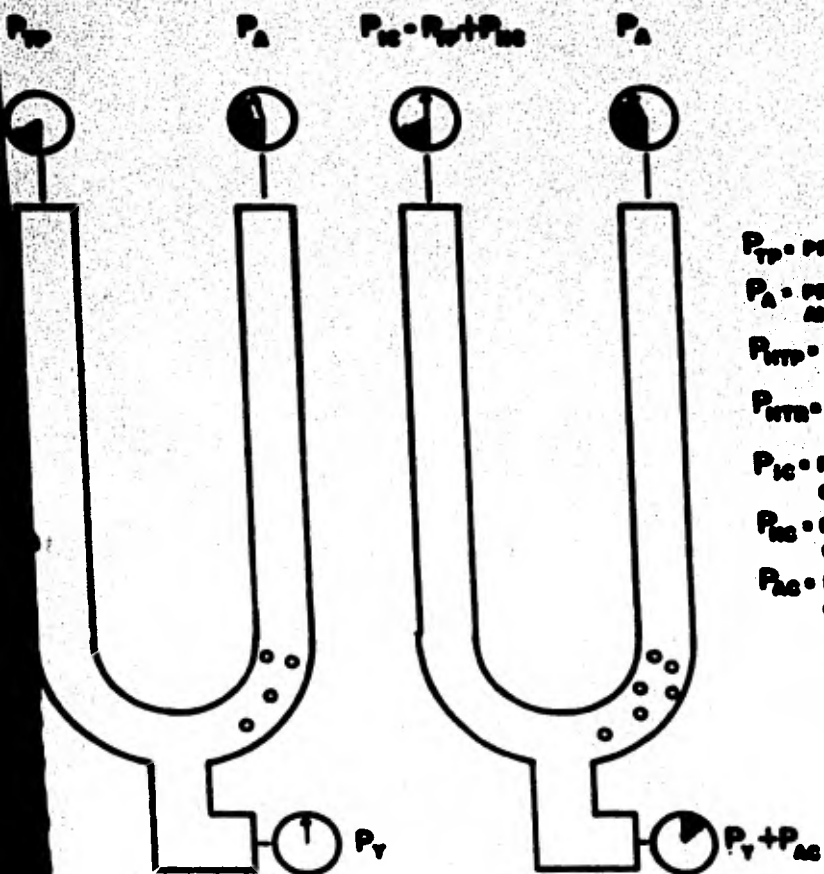
ϕ_p - Diámetro de la camisa (pulg).

V.4. Balance de presiones de fondo.

Existen muchos métodos y técnicas desarrolladas para el control de brotes, pero todos tienen como objetivo común y fundamental el tratar de mantener la presión de fondo constante, manejando adecuadamente las presiones que se manifiestan en el pozo, lo cual sólo puede llevarse a cabo a través de las superficiales, siendo éstas denominadas como de control.

La importancia de las presiones superficiales en el control de brotes, recae en el hecho de que es la única forma de adicionar presión a la aplicada por la columna hidrostática en el fondo,

BALANCE DE PRESIONES



P_{TP} = PRESION EN LA T. P.

P_A = PRESION EN EL ESPACIO ANULAR

P_{HTP} = PRESION HIDROSTATICA EN T. P.

P_{HTR} = PRESION HIDROSTATICA EN T. R.

P_{IC} = PRESION INICIAL DE CIRCULACION

P_{NC} = PRESION NORMAL DE CIRCULACION

P_{AC} = PRESION ANULAR DE CIRCULACION

POZO CERRADO

CIRCULANDO ESTRANGULADO

$$+ P_{HTP} = P_Y = P_A + P_{HTR}$$

$$P_{TP} + P_{HTP} = P_Y + P_{AC} = P_A + P_{HTR}$$

FIGURA 10

dando como resultado un pequeño sobre balance en el sistema pozo-formación, durante el período de tiempo necesario para acondicionar las características del lodo contenido en el pozo, para que éste por sí sólo cumpla con dicho cometido.

La relación existente entre las presiones superficiales y la del fondo, puede fácilmente establecerse considerando la analogía que presenta el pozo con un tubo en "U", en la figura 19, - se observan del lado izquierdo un pozo que está cerrado, la presión de formación, la presión de cierre en la tubería de trabajo y la presión del espacio anular se encuentran en equilibrio es decir están balanceadas.

Cuando se está circulando, también deben mantenerse balanceadas las presiones ejercidas en la tubería de trabajo y espacio anular y deben ser iguales o un poco mayor a la presión de formación durante el bombeo.

Así, para tratar de mantener una presión de fondo constante, es necesario manejar las presiones superficiales para absorber los cambios en la presión ejercida por los fluidos y las pérdidas de presión por fricción.

La mayor dificultad que se presenta en el manejo de las presiones de control es que se desconoce, en la T.R., la magnitud necesaria de éstas, para mantener la presión de fondo constante, -

ya que se tiene el efecto del fluido invasor que en la mayoría de los casos es complejo e impredecible. Esto no sucede en T.P., pero no por ello se está en la posición de decir que el obstáculo ha sido vencido totalmente, dado que ambas presiones pertenecen al mismo sistema y por ende están íntimamente relacionadas, debido al balance que se genera entre ellas.

Todos los métodos de control tienen como eje central de su proceso, el tratar de mantener la presión en T.P. dentro de los valores previstos para lograr la de fondo constante, mediante el ajuste de la presión en T.P., a través del uso de estranguladores.

V.5. Regresar fluidos a la formación.

Este procedimiento se emplea para controlar la presión de formación, bombeando un fluido que su presión hidrostática iguale a la presión del yacimiento y que no dañe la permeabilidad de la formación.

Las presiones con que se fractura la formación, nos indica los límites entre los cuales podemos trabajar al regresar fluidos a la formación por efectos de las pérdidas de presión por fricción ocasionadas por el desplazamiento de los fluidos, esto cambia si dentro de la tubería de producción se tiene gas debido a la compresibilidad del mismo.

Cuando se regresan fluidos a la formación, la emigración de gas en su movimiento ascendente causa varios problemas en los trabajos de reparación de pozos por las siguientes causas:

1. Afecta las densidades y viscosidades.
2. Se mezcla con el fluido.

En algunos casos, cuando se requiere regresar fluidos a la formación, es necesario represionar la tubería de revestimiento para prevenir daños en las tuberías, principalmente si hay corrosión o erosión en ellas.

El tipo de fluido que se bombea a la formación debe ser adecuado, ya que dependiendo de esto, serán mayor o menor las presiones alcanzadas.

V.6. Método alternativo de descarga y llenado del pozo.

Ocasionalmente en los trabajos de reparación de pozos, es necesario bombear alternativamente y descargar el gas atrapado, o simplemente eliminar el gas de la tubería de producción en pozos donde se tienen altas presiones y no se puede efectuar perforaciones a las tuberías.

El método consiste en descargar un poco de gas por el estrangulador e inmediatamente, esperar que se forme otra cabeza de gas y descargarla también, procurando que la presión ejercida en el

fondo por la columna hidrostática siempre sea mayor que la presión de formación fig. No. 20.

Ejemplo: se requiere controlar un pozo de alta presión, en donde la presión de cierre es casi la presión de trabajo del equipo superficial. No desprecie el hecho de que el equipo superficial falle por lo tanto debe emplearse el método alternativo de descarga y llenado, ya no es posible regresar fluidos a la formación.

Datos.

1. Presión máxima permitida en conexiones superficiales 5000 - psi (350 kg/cm²).
2. Presión de cierre 4800 psi (336 kg/cm²).
3. Profundidad de los disparos 4202 mts.
4. Densidad del agua salada 1.08 gr/cm³.
5. Tubería de 3 1/2" 8h c-75 9.3 lb/pie.

Solución:

1. Calcular la densidad de lodo necesario para el control.

$$PH = \frac{.6 \times 4202}{10} = 252 \text{ kg/cm}^2$$

$$D = \frac{(252 + 336) \times 10}{4202} = 1.39 \text{ gr/cc.}$$

2. Calcular la reducción de presión por barril bombeado.

cap. T.P. = .0285 Bls/mts.

Tirante por Bl = $1 + .0285 = 35$ mts.

Gradiente de presión hidrostática = $.139 \text{ kg/cm}^2/\text{mts}$ (del lodo).

Gradiente de presión hidrostática del aceite = $.06 \text{ kg/cm}^2/\text{mts}$.

$.139 - .06 = .079 \times 35 = 2.7 \text{ kg/cm}^2$.

Reducción de presión por Bl bombeado $2.7 \text{ kg/cm}^2/\text{Bl}$.

3. Revise todas las conexiones superficiales así como la línea de estrangulación y quema.
4. Abra el estrangulador para permitir que escape la mayor parte de gas, abatiendo momentáneamente la presión del pozo.
5. Cierre el estrangulador y bomee agua salada de 1.08 gr/cm^3 - hasta que la presión de la bomba alcance (336 kg/cm^2) 4800 psi.
6. Espere un período de tiempo para que el gas suba a la cabeza del pozo, este período varía de un cuarto a una hora, dependiendo de la densidad del gas, presión y medida de la tubería de producción.
7. Abra de nueva cuenta el extrangulador y permita que el gas escape hasta que el agua salada de 1.08 gr/cm^3 empiece a escapar.
8. Cierre nuevamente el extrangulador y bombee agua salada de 1.08 gr/cm^3 .

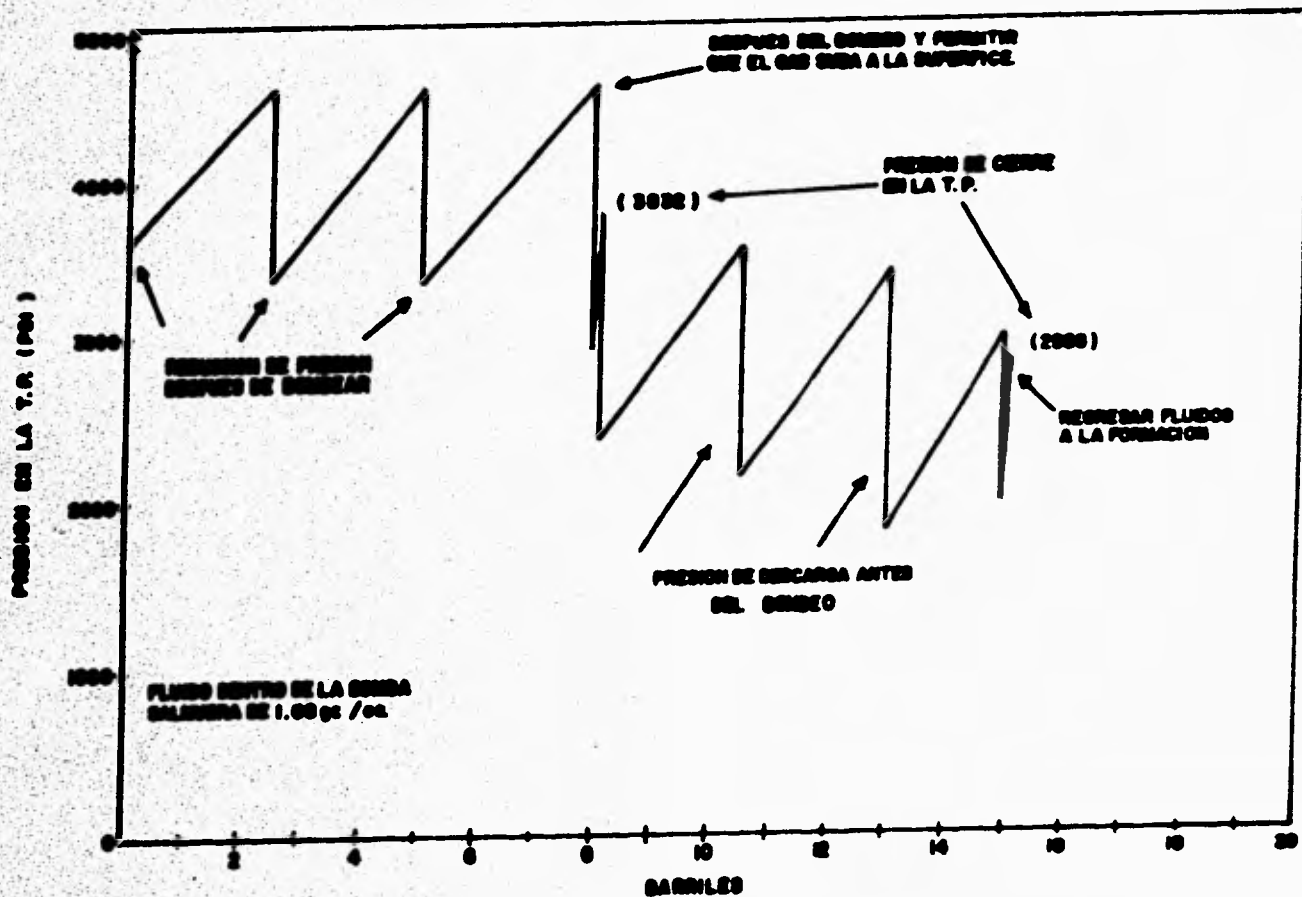


FIGURA Nº 20 METODO ALTERNATIVO BOMBEO-DESCARGA

9. Continúe este proceso hasta que baje la presión a condiciones de seguridad para regresar fluidos a la formación y abatir la presión a cero.

Se requiere cierto tiempo para que se pueda controlar un pozo con este sistema, el gas a través del agua viaja aproximadamente de 5 a 10 metros por minuto.

En la figura 20 se ilustra este ejemplo.

V.7. Perforación de tuberías de trabajo.

Esta práctica es muy generalizada para obtener un medio de circulación, cuando no se tiene una camisa o no se puede abrir la misma.

Se debe tener cuidado con el tipo de carga que se introduzca - pues puede ser que se perfora la tubería de revestimiento.

V.8. Sacar la tubería fuera del empacador.

Levantar la tubería para que los sellos del multi-"V" salgan del empacador.

Esta práctica nos ofrece un medio de establecer circulación, para controlar los pozos, pero tiene el inconveniente que la carrera del sello necesaria para empacadores con presiones altas es grande y para poderlas sacar del empacador hay que sacar una longitud mayor, que el tubo que va abajo de la bola colgadora,

con lo cual ésta dejaría de empacar, además la superficie del tubo debe estar bien pulida y lubricada para no dañar los sellos de la bola colgadora y como la tubería se tensiona con el medio árbol, representa desde luego, desventajas.

V.9. Control de pozos con tuberías rotas.

En muchas ocasiones cuando se va a controlar un pozo, se tienen fugas, el primer paso que se tiene que hacer es determinar la profundidad de la rotura, además de ver que efectos nos hace la presión de formación en la tubería de revestimiento expuesta, así como dado el caso, hacer el procedimiento adecuado para su control.

Para localizar la fuga se puede hacer bombeando fluido con un colorante hasta que éste salga por la línea de estrangulación, desde luego cuando se tiene gas en el pozo el procedimiento no es muy confiable. También existe la toma de registro de temperatura que se emplea con este fin.

Ejemplo:

Se va a reparar un pozo en el que la tubería tiene una fuga, al bombearse 38 bls de agua salada, salió por la línea de estrangulación.

Empleando los datos que se dan a continuación cual es la profundidad de la rotura en la tubería.

Datos:

Tubería de producción 2 3/8" 8h. 4.7 lb/pie 1.995 D.I.

Tubería de revestimiento 7" 23 lb/pie 6.366" D.I.

Capacidad de la tubería de producción.

$$\text{Cap. int.} = 0.5067 (\# \text{ int.})^2.$$

$$\text{Cap. int.} = 0.5067 (1.995 \text{ pg})^2 = 2.0166 (\text{lbs/mt}).$$

$$2.0166 (\text{lbs/mt}) \left(\frac{1 \text{ br}}{159 \text{ lbs}} \right) = 0.01268 \left(\frac{\text{br}}{\text{mt}} \right)$$

Capacidad de la tubería de revestimiento.

$$\text{Cap. int.} = 0.5067 (\# \text{ int.})^2$$

$$\text{Cap. int.} = 0.5067 (6.366 \text{ pg})^2 = 20.5345 (\text{lbs/mt}).$$

$$20.5345 (\text{lbs/mt}) \left(\frac{1 \text{ br}}{159 \text{ lbs}} \right) = 0.1291 \left(\frac{\text{br}}{\text{mt}} \right)$$

Empleando la fórmula que se da a continuación se calcula la profundidad del rotura en el T.P.

$$\text{Prof. del rotura (m)} = \frac{\text{Vol. bombeado (Brl)}}{(\text{Cap. T.P.} + \text{cap. T.R.}) (\text{Brl/m})}$$

$$\text{Prof. del rotura (m)} = \frac{38 (\text{brl})}{(0.01268 + 0.1291) \left(\frac{\text{br}}{\text{mt}} \right)}$$

$$\text{Prof. del rotura} = 268 \text{ mts.}$$

Conocer la profundidad de la rotura, nos permite controlar un pozo en forma normal al adecuar la densidad y si el pozo lo permite regresar fluidos a la formación, en caso contrario que no se

pueda efectuar lo anteriormente descrito, puede emplearse la tubería flexible. Para este tipo de trabajo se tienen limitaciones por la resistencia de la tubería flexible por profundidad o en pozos que tengan alta presión de gas.

V.10. Procedimiento de circulación por espacio anular.

Prácticamente existen dos formas de circulación, el bombeo directo de tubería de producción a espacio anular y el de espacio anular a tubería de producción.

El método normal de control consiste en bombear en forma directa y descargar por el espacio anular mientras se circula, como ya se explicó anteriormente, presenta la ventaja de represionar menos el espacio anular y la formación en un pozo de reparación, esto es muy importante debido a que ya se han extraído fluidos del yacimiento y efectuando tratamientos de fractura de la formación, lo que origina pérdidas de circulación.

Cuando no se tiene completa la tubería de producción o se tienen fugas en la misma, se pueden tener altas presiones en la T.R., los procedimientos para controlar la tubería, como el ejemplo de tubería flexible, no quiere decir que se controle el espacio anular para ello es necesario establecer otros procedimientos, como circulación inversa para controlar el pozo, por este medio se ejercen presiones mayores a la tubería de revestimiento y a

la formación, por lo que sólo es aplicable a pozos especiales.

El exceso de presión sobre el espacio anular para forzar al fluido a subir por la sarta puede causar una fractura de la formación y pérdida de circulación. La presión necesaria para circular a través de la sarta es generalmente más alta de la presión para circular el fluido en el anular.

Lutitas y ripios pueden muy posiblemente obturar las toberas de la barrena y bloquear la circulación, con posibilidad de fractura de la formación.

En el procedimiento de control de un arrancón en las operaciones de reparación de pozos, requiere que se valuen las siguientes circunstancias:

1. Longitud de la tubería en el pozo sin fuga o si está desprendida.
2. Restricciones en la tubería por parafinamiento, carbonatos y orificios registrados por cualquier cosa.
3. Características de la formación o agujero que puedan afectar la circulación y considerar medios alternativos de control como regresar fluidos a la formación, bombeo alternativo de lodo y descarga de gas, aunque si bien en los métodos generales de con

En los pozos, se incluye la circulación de fluidos, se debe considerar el procedimiento de sacar o meter tubería sin circulación previa con equipo especial.

Si se está eliminando gas, el equipo de superficie puede enfrentarse a presiones muy altas. La circulación invertida no puede tomarse en cuenta si antes no se han hecho los arreglos necesarios para un flujo con alta presión y se emplean válvulas de superficie con conexiones para ventilar el gas convenientemente.

La circulación invertida es el procedimiento normal para sacar un pozo en producción. Estos pozos tienen instalada la tubería de producción, y las uniones del cabesal de tubería incluyendo las válvulas, pueden utilizarse para controlar la presión en su superficie.

La circulación invertida es mucho más rápida que la directa, pues generalmente hay mucho más fluido dentro del anular que en el interior del tren de tubería, que puede ser tanto tubería de producción, como sarta de perforación.

Un ciclo completo de circulación se puede realizar por circulación invertida en la tercera parte de tiempo necesario para realizar la circulación directa.

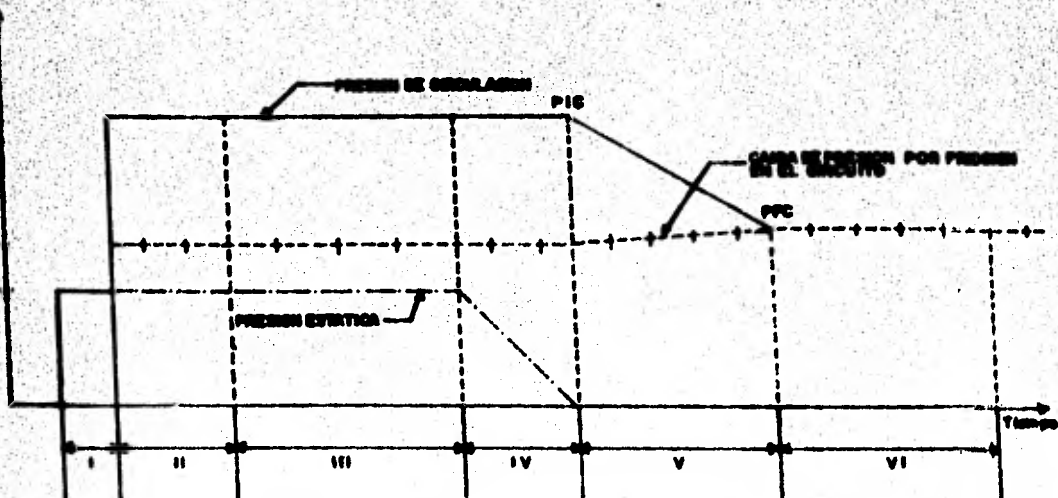
C A P I T U L O VI.**MÉTODOS Y SU APLICACION PARA EL CONTROL DE POZOS.****VI.1. Método de dos circulaciones.**

Este método consiste en después de cerrar el pozo y registrar las presiones, continuar bombeando con la densidad original del lodo y después, calcular la densidad necesaria, aumentar esta - en caso necesario y continuar circulando. Este método consta de dos ciclos de circulación.

1. Se circula el pozo para eliminar el fluido o gas infiltrado en el agujero. Se mantiene una presión constante sobre el fondo, para evitar la entrada eventual de más fluido de formación durante la circulación. Se controla el estrangulador de manera - que se mantenga constante la presión del cabezal de la sarta durante la operación, y se mantiene constante la velocidad de bombeo. Para esta operación, se emplea el lodo en circulación en el momento que se verificó el brote del cabeceo.

2. El segundo ciclo consiste en reemplazar este lodo con el lodo de densidad aumentada correspondiente al equilibrio de la presión de formación. Ajustando el estrangulador, se varía la presión en el cabezal de la sarta para mantener una presión constante sobre el fondo.

Se empieza el primer ciclo abriendo el estrangulador y poniendo



METODO DE DOS CERRAJONES. PERFIL DE LA PRESION EN LA TUBERIA DE PERFORACION DURANTE EL CONTROL DE UN BROTE.

- I :** INICIO DEL BROTE, POZO CERRADO REGISTRANDO PRESION INICIAL EN T.R (T.P.I)
- II :** INICIO DEL BOMBEO, DESPLAZANDO EL BASTIDO HACIA LA SUPERFICIE CON LODO DE SENSIDAD INICIAL (d1)
- III :** LLEGADA DEL BASTIDO CONTAMINANTE A LA SUPERFICIE
- IV :** DESALAMANDO LOS FLUIDOS DEL YACIMIENTO FUERA DEL ESPACIO ANULAR POZO LLENO CON LODO DE DENSIDAD (d1)
- V :** RENICIO DEL BOMBEO CON LODO DE SENSIDAD NECESARIA PARA EL CONTROL (d1) LLENANDO LA T.P.
- VI :** T.P. LLENA CON LODO DE SENSIDAD (d1), LLENANDO EL ESPACIO ANULAR Y FINALMENTE POZO CONTROLADO

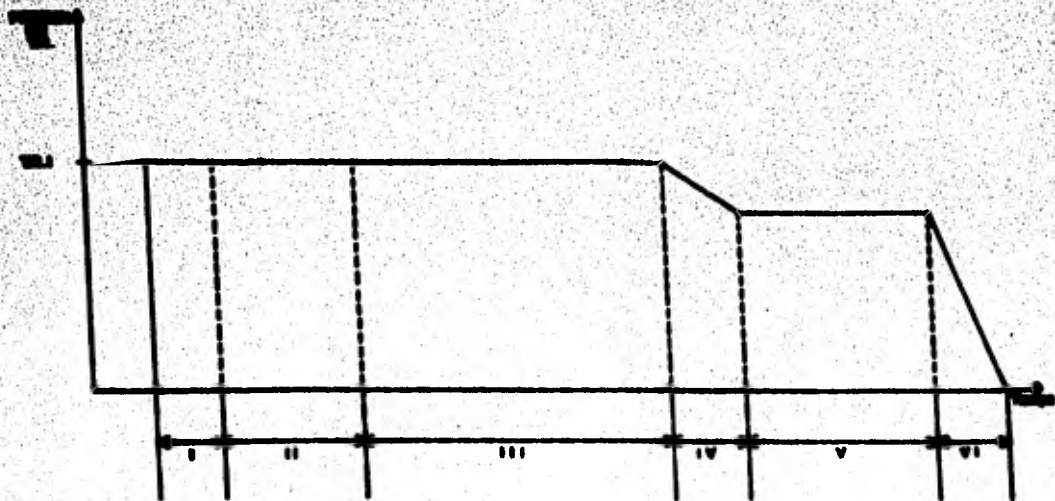
FIGURA N° 81

simultáneamente la bomba a la velocidad reducida establecida. - La presión en el cabezal de sarta se mantiene constantemente - igual regulando la válvula estranguladora a la suma de la presión de circulación preseleccionada y de la presión del cabezal de la sarta a pozo cerrado al momento del brote.

Se deberá tener presente que hay un lapso de tiempo entre la acción sobre la válvula estranguladora y los cambios de presión - observados en la columna montante. Este retardo será de un segundo por cada 1,000 pies de longitud total de la columna de lodo, en el ánulo y en la sarta.

La velocidad de bombeo debe mantenerse constante, pero se puede parar la bomba y cerrar el pozo si se quiere hacerlo sin ningún riesgo. Esto permitirá nuevas observaciones de presiones en los cabezales de la sarta y de la tubería de revestimiento. Cuando el fluido infiltrado ha sido evacuado del pozo, el lodo sin contaminar aparecerá en la boca de descarga de los tanques y se puede interrumpir la circulación y cerrar los preventores. Una vez hecho esto, las presiones registradas en cabezales de sarta y de tubería deben resultar iguales.

Desde el momento que el lodo pesado está listo, se empieza el - segundo ciclo de circulación, con la misma velocidad de circulación de antes. Mientras se rellena la sarta con lodo pesado, la



METODO DE DOS OPERACIONES. PUNTO DE LA FRESEDA EN T.R. AL CONTROLAR EN ESTE SE FLUIDO "TEMPERADO"

- I : MEDIO DEL MOLDE, PUNTO CONTROLADO MANTENIENDO FRESEDA NORMAL EN T.R.
- II : TIENE EL MOLDE, DESPLAZANDO EL MOLDE HACIA LA SUPERFICIE CON LLENADO DE FRESEDA NORMAL (G1)
- III : LLENADO DEL MOLDE CONTINUAMENTE A LA SUPERFICIE
- IV : DESPLAZANDO LOS FLUIDOS DEL MOLDE PARA EL ESPACIO ANGULAR POR LLENADO CON LLENADO DE FRESEDA (G1)
- V : CONTROLAR EL MOLDE CON LLENADO DE FRESEDA NORMATIVA PARA EL CONTROL (G1) MANTENIENDO LA T.R.
- VI : T.R. LLENADO CON LLENADO DE FRESEDA (G1), LLENADO DEL ESPACIO ANGULAR Y FINALMENTE PUNTO CONTROLADO

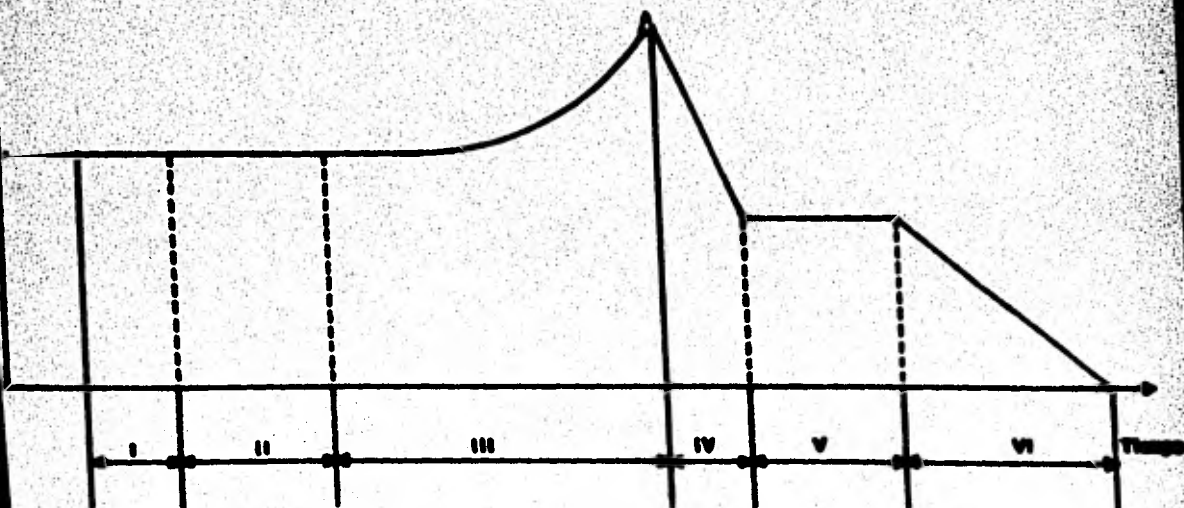
FIGURA Nº 22

presión de tubería debe mantenerse constante e igual al valor - observado anteriormente, hasta que el lodo pesado haya llegado al fondo. Se deberá seguidamente volver al control de presión - en el cabezal de la sarta, manteniéndola constante hasta que se rellene el espacio anular con lodo pesado.

Se puede entonces parar la circulación y constatar que la presión sea cero en los cabezales de la sarta y de la tubería. Si esta presión no fuese cero, se deberá calcular nuevamente la - densidad del lodo requerida para matar al pozo, aumentar el peso del lodo, y repetir una segunda operación.

En este método es importante usar una hoja de cálculo, para - efectuar las operaciones correctamente, con confianza, y para - tener seguridad que las varias operaciones se realizan en el orden correcto.

La simplicidad de este método elimina operaciones tales como el cálculo de la densidad del fluido contaminador, la estimación - de la presión máxima en el estrangulador en el momento de la - evacuación del brote, o la determinación de los tiempos de llegada a la superficie del lodo limpio y del lodo recargado. Se - pueden calcular estos valores, pero no son absolutamente necesarios para el procedimiento de control.



MUESTRA EL PERFIL DE LA PRESION EN LA T.R. DURANTE EL CONTROL DE UN BROTE DE GAS (FLUIDO COMPRESIBLE). METODO DE DOS CERRAJES.

- I :** SICO DEL BROTE, POCO CERRADO MANTENIENDO PRESION SIGUAL EN T.R. (TR.1)
- II :** SICO DEL BROTE, DESPLAZANDO EL BARRIL Hacia LA SUPERFICIE CON LODO DE SENSIBILIDAD (G1)
- III :** LLEGADA DEL BARRIL CONTINUANTE A LA SUPERFICIE
- IV :** RECONOCIENDO LOS FLUIDOS DEL TACOMETRO FUERA DEL ESPACIO ANGULAR POCO LLENO CON LODO DE SENSIBILIDAD (G1)
- V :** REMOVIENDO EL BARRIL CON LODO DE SENSIBILIDAD MENOR PARA EL CONTROL (G2) LLEGANDO LA T.R.
- VI :** T.R. LLENA CON LODO DE SENSIBILIDAD (G1), LLENANDO EL ESPACIO ANGULAR Y FINALMENTE POCO CONTROLADO

FIGURA Nº 23

VI.2. Método de una circulación.

Este método está basado en el presupuesto que se puede preparar el nuevo fluido de densidad requerida en un tiempo razonable--- mente corto, mientras se mantiene al pozo en estado de cierre. En otras palabras se debe esperar antes de circular al pozo hasta que se alcance el peso deseado de lodo en los tanques. La circulación para evacuar el gas, aceite, o agua salada e introducir el lodo de mayor densidad se efectuará al mismo tiempo en lugar de realizarla en dos ciclos. En ambos casos se deberá mantener una presión de fondo constante. El método de una circulación producirá una presión de fondo sobre la zapata de la tubería menor de la que se consigue con el método de dos circulaciones.

La Fig. 24 es una hoja de trabajo para el método de una circulación.

En la primer etapa, la caída de presión del sistema se determina accionando la bomba a la velocidad reducida indicada en los datos en emboladas por minuto, lo que produce en tal momento una presión correspondiente. Reduciendo la velocidad aproximadamente a la mitad se conseguirá presión suficiente para balancear la caída de presión del sistema y la presión de formación.

Se puede calcular el tiempo de circulación entre la superficie

DATOS PREVIOS

CONTENIDO CORRIENTE DEL FLUJO () g/m³
PRESIONES CORRIENTE DEL FLUJO () cm.
VALORES DE DENSIDAD DE CASCARILLAS () g/m³
VALORES DEL GRADO ANGULAR () DEG.
DENSIDAD CORRIENTE DE LA DENSIDAD () g/cm.
VALORES DEL GRADO ANGULAR () DEG.
VALORES DE LA TENDENCIA () DEG.
VALORES DE LA TENDENCIA () DEG.

DATOS

PRESIONES DE LA V1 () cm.
PRESIONES DE LA V2 () cm.
VALORES CORRIENTE DEL FLUJO () g/m³
PRESIONES CORRIENTE DEL FLUJO () cm.

DATOS DEL FLUJO DE CONTROL

PRESIONES DE CONTROL () cm.
PRESIONES DE CONTROL () cm.

PRESIONES CORRIENTE

PRESIONES DE CONTROL () cm.
PRESIONES DE CONTROL () cm.
PRESIONES DE CONTROL () cm.

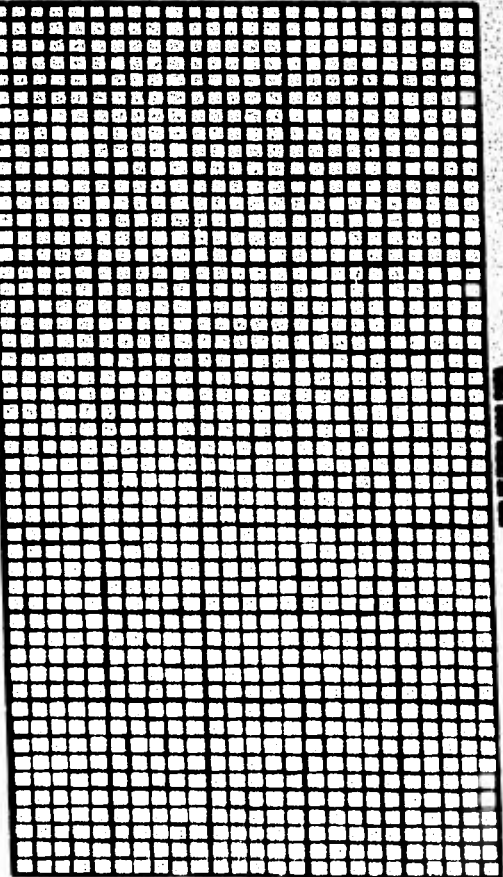


FIGURA 24

y la parte inferior de la sarta por medio de la velocidad específica de bombeo, diámetro de la camisa y longitud de la carrera del émbolo, por el total de sarta en el pozo.

Es muy importante cerrar el pozo lo más pronto posible para -
trancar el flujo de fluido y determinar el aumento necesario de
presión en superficie para superar la presión de formación, así
como el aumento del peso del lodo necesario para controlar la -
presión de pozo.

La caída de presión del sistema más la presión de cierre en la
sarta será la presión de circulación inicial necesaria al stand
pipe cuando se inicie el procedimiento de dominar al pozo como
ya se explicó anteriormente. Esta presión cambiará mientras el
lodo más liviano va siendo desplazado dentro de la sarta, la -
presión en la tubería de revestimiento se mantendrá constante
a la presión de cierre de tubería registrada, hasta que la sar-
ta esté rellena de fluido más pesado.

Si por alguna razón se desea circular al pozo a una velocidad -
de bombeo superior o inferior a la velocidad preregistrada en -
la primer etapa, entonces se accionará la bomba a la velocidad
deseada, manteniendo la presión de tubería de revestimiento in-
dicada en la válvula. La presión del tubo vertical observada en
tal momento será la presión de circulación inicial para la velo

idad específica de bombeo que se emplee.

La presión final de circulación aparece en el standpipe cuando la sarta de trabajo está llena de lodo de mayor peso mientras se mantiene el bombeo a la velocidad registrada en la primera etapa.

El método de una circulación se basa en la premisa que el lodo con peso final suficiente para controlar la presión del pozo se rá mezclado en el tanque de succión antes que empiece la circulación. Este peso de lodo se debe mantener al valor requerido - mientras se circula lodo en el pozo. La presión del tubo vertical durante la circulación se mantendrá al valor requerido regulando la válvula del estrangulador.

La presión de tubería de revestimiento aumentará hasta que el gas infiltrado alcance la superficie y después bajará hasta 0 - Psi cuando el espacio anular esté relleno con el nuevo fluido de mayor peso. Cualquier presión adicional deseada como factor de seguridad puede mantenerse en la tubería de revestimiento regulando la válvula estranguladora. Esto tendrá como efecto una más alta presión de circulación en el standpipe.

DESCRIPCION DEL METODO DE UNA CIRCULACION.

La figura No. 25 nos auxilia en la descripción del método.

PRESION DE CORTE EN LA T.P. = 500 PSI
CARGO ENTRO DE LA BARRA Y PERNAS,
DE PRESION = 1000 POL. A 30 GPM.

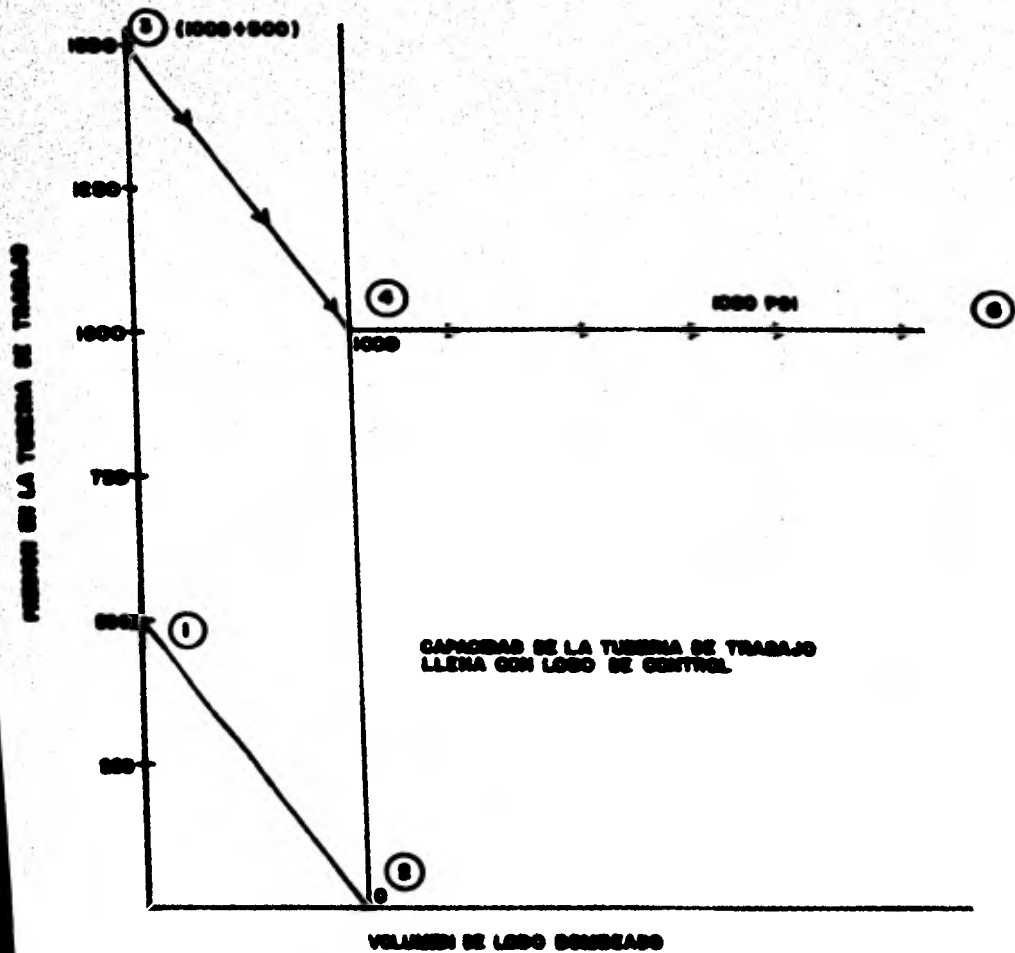


FIGURA Nº 25

En el punto marcado con el número 1 deberá emplearse la presión de cierre en la tubería de trabajo, para calcular la densidad de control del pozo, después de lo cual el lodo debe prepararse y mezclarse en cantidad suficiente.

Cuando se inicia el bombeo a través de la tubería de trabajo, sistemáticamente la presión de bombeo debe decrecer por efecto de la densidad hasta el punto 2, la presión en la tubería de trabajo debe ser cero si la densidad del fluido de control es apropiada.

El punto 3 indica la presión inicial de bombeo en la tubería de trabajo, que es igual a la presión de cierre del pozo en la tubería de trabajo, más las pérdidas de presión por fricción del sistema, al estar bombeando el gasto elegido.

Mientras se está bombeando en la tubería, la presión de circulación debe decrecer por medio de la operación del estrangulador, de tal manera que la presión en la bomba sea igual a la marcada con la línea 3 a 4 solamente deberá quedar la presión originada por las pérdidas de presión por fricción.

Desde que se inicia el bombeo, cuando el lodo llega a la barrena y a la línea de flote o de quemar, deberá mantenerse la presión de la bomba por medio del estrangulador de acuerdo con la receta 3, 4 y 6, y no variar el gasto de la bomba.

COMPORTAMIENTO DE LA PRESION EN TUBERIA DE REVESTIMIENTO

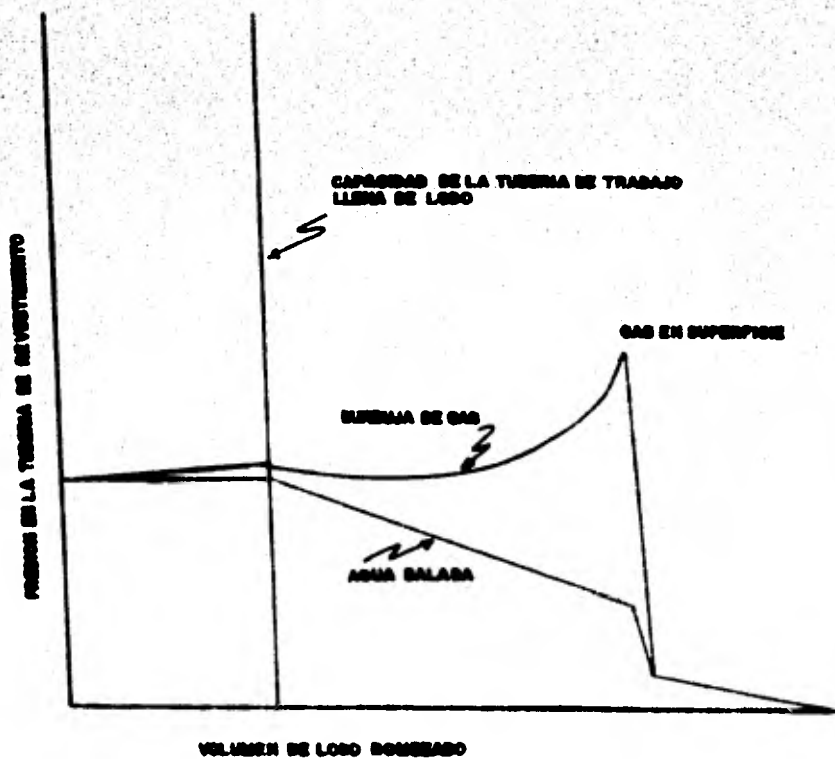
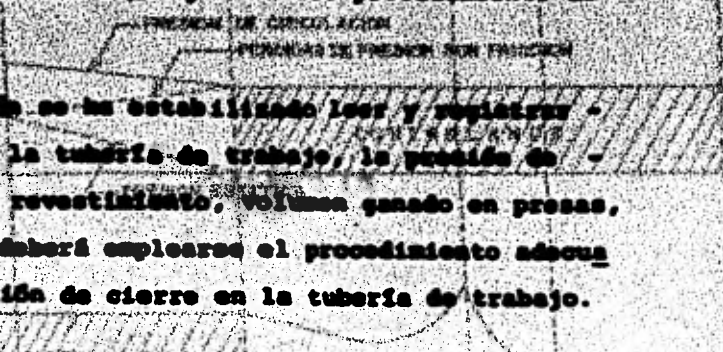


FIGURA 26

La Figura 23 nos muestra las posiciones separadas durante el control del pozo, es decir, que debe tenerse mucha cuidado con las presiones en la tubería de revestimiento, ya que el dato que se puede obtener es grave.

PROCEDIMIENTO DE CIERRE DE UN POZO.

1. Cierre el pozo inmediatamente, empleando el procedimiento de cierre adecuado.
2. Después que la presión se ha estabilizado leer y registrar la presión de cierre en la tubería de trabajo, la presión de cierre en la tubería de revestimiento, volumen ganado en presas, si tiene válvula check deberá emplearse el procedimiento adecuado para obtener la presión de cierre en la tubería de trabajo.
3. Compruebe si existen presiones atrapadas y aplique su técnica.
4. Calcule la densidad adecuada para controlar el pozo.
5. Prepare el fluido de control con la densidad y cantidad necesaria para controlar el pozo.
6. Mientras el fluido de control se mezcla, llene su hoja de control, fig. 24.
7. Después de que el fluido de control ha sido mezclado, inicie



la circulación ajustando el estrangulador a una presión fija - mientras se arranca la bomba.

8. Tan pronto como se inicie el bombeo, ajuste la bomba a un - gasto constante, el gasto con el cual se calcularon las pérdi-- das de fricción del sistema o presión y gasto registrados en - operaciones normales y empleando el estrangulador, ajuste y man- tenga la presión calculada en su hoja de control.

9. Cuando el fluido de la tubería de trabajo se desplace por el fluido de control, pare las bombas, cierre el pozo y registre - la presión en la tubería de trabajo, la que debería ser igual a - cero, si no es igual a cero, ejecute los pasos siguientes:

1. Emplee el procedimiento para comprobar si existen presiones - atrapadas.

2. Si la presión no se estabiliza en cero, entonces bombee de - 10 a 20 barriles más, para comprobar que el fluido de control - haya llegado a la barrena.

3. Si todavía existe presión en la T. P., recalculé la densidad - del fluido para controlar y regrese al paso (5).

4. Si al llegar al punto anterior la presión es cero en la tu- - bería de trabajo, al parar las bombas y cerrar el pozo, se pro- - cedrá a desplazar el espacio anular con el fluido de control -

adecuado, con la presión y el gasto constantes empleando para ello el estrangulador ajustable cuantas veces sea necesario.

11. Si la presión en la tubería de trabajo y en el espacio anular son ambas cero, entonces abra los preventores anulares y continúe circulando el fluido de control hasta homogenizar columnas, ajuste su densidad a la densidad de trabajo y efectúe un viaje corto y observe.

Ejemplo.

Se llenó la hoja de control pasando lista a cada uno de los puntos que marcan los reglamentos de seguridad.

1. Comprobó el suministro de barita y aseguró que hubiera en suficiente cantidad para el caso de un descontrol.

2. Registró en el libro de reportes que la velocidad de bombeo era de 21 e.p.m. con una presión de bomba de 800 psi.

3. Se calculó la capacidad de la tubería de trabajo con los datos siguientes:

Tubería de perforación 4 1/2 a 4268.29 mts y Drill Collars a 4573.17 mts.

PROCEDIMIENTO DE CIERRE.

Cuando se observó un quiebre en la formación, y se comprobó que había flujo con las bombas sin operar, los pasos que se dic

on fueron los siguientes:

1. Levantó la flecha hasta tener una junta cerca del piso.
2. Se pararon las bombas.
3. El preventor anular se cerró inmediatamente.

Se registraron las siguientes lecturas.

Presión de cierre en la T.P. 240 psi.

Presión de cierre en la T.R. 375 psi.

Después de comprobar que no existían presiones entrampadas, se presentó la información en la hoja de control y calculó la densidad que debía de tener el fluido de control.

Densidad original 1.57 gr/cm^3 .

Densidad de control 1.60 gr/cm^3 .

Se ordenó ir a la caseta de barita y subir la densidad del lodo a 1.60 gr/cm^3 y preparar más volumen de lodo.

Leyó del reporte que el desplazamiento de la bomba eran 5.2 emboladas por barril con la bomba duplex 6" x 18" que con 21 emboladas por minuto tenía 0.1916 bls/embolada lo que daba un gas de cuatro barriles por minuto y que lo recomendado era de 1.3 barriles/min. Ajusto su gasto con la gráfica de la figura -

AJUSTE DE LA PRESION NORMAL DE CIRCULACION

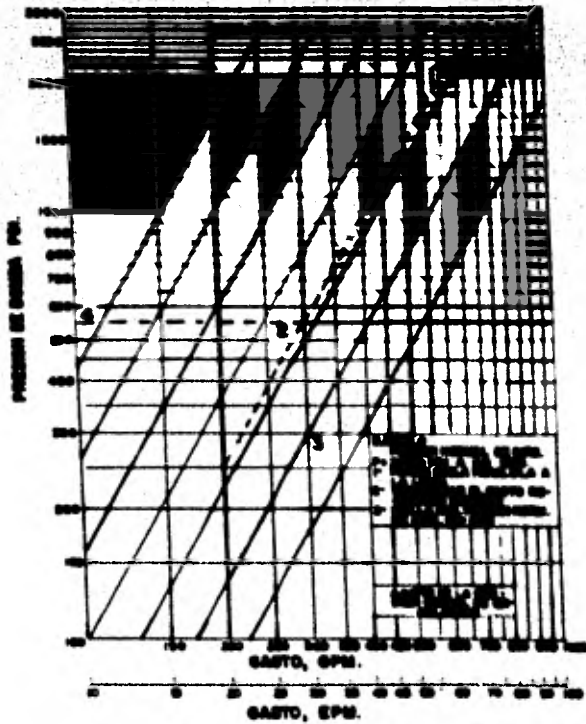


FIGURA NO 27

5. Preparación de la hoja de control.

El siguiente paso que se dió, fue llenar su hoja de control.

6. Mientras se incrementaba la densidad del fluido de control - y la hoja de control era llenada, se recibió instrucciones para mover la tubería cada 10 minutos y que no pasaran los coples a través del preventor anular, dando rotación lenta periódicamente.

7. Después de que se incrementó la densidad del fluido de control, se dió la orden de desplazar el volumen de lodo de la tubería de trabajo con lodo nuevo de 1.60 gr/cm^3 y que arrancaran - las máquinas a 21 emboladas por minuto, se abrió lentamente el estrangulador y descargó lodo de tal manera que el manómetro indicara 375 psi, hasta que logró ajustar el bombeo a 21 e.p.m., se ajustó el estrangulador, entonces de tal manera que el manómetro de la bomba se comportara de acuerdo con la tabla siguiente:

<u>No. de Emboladas</u>	<u>Presión Psi</u>
200	1000
400	955
600	915
800	870
1000	830
1055	820

do desplazó el volumen de la tubería de trabajo, paró la -
a, cerro el estrangulador y observó lo siguiente:

ión de cierre T.P. 0 psi

ión de la T.R. 350 psi

lo que se dió cuenta que la densidad del fluido de control
ha sido suficiente para controlar el pozo.

Desplazamiento del fluido del espacio anular.

observó en la hoja de control, cuentas emboladas eran neces^a
para desplazar el espacio anular e inició el bombeo ajus--
lo su estrangulador para mantener 350 psi en la tubería de
estimiento, mientras que se ajustaba el bombeo a 21 e.p.m.,
ajustado el estrangulador para mantener una presión de bom-
constante de 820 psi, hasta que se descargó lodo de 160 -
m³ y homogenizó las columnas.

Después de que se había controlado el brote, se ordenó hacer
laje corto para comprobar si no se tenían manifestaciones,
ó su equipo de control y solicitó el suministro de barita
cional.

EJEMPLO DE CONTROL DE POZOS

D A T O S

ρ _o	=	0.97	G/cc
Prc	=	2023.	Psi
DB	=	0.0315	BRL/EMB
PCTP	=	800.	Psi
CEA	=	0.0938	BRL/M
Prof	=	3250	M
CTP	=	0.0127	BRL/M
Q	=	3.	BRL/MIN.

RESULTADOS

VTP	=	41.28	BRL
No.EMB	=	1310.	
ρ _c	=	1.14	GR/cc
Plb	=	2823.	Psi
Pfc	=	2384.	Psi

CEDULA DE BOMBEO

	0.	EMB.
	2823.	Psi

CEDULA DE BOMBEO

100.	EMB
2790.	Psi
200.	EMB
2756.	Psi
300.	EMB
2723.	Psi
400.	EMB
2689	Psi
500.	EMB
2656.	Psi
600.	EMB
2622.	Psi
700.	EMB
2589.	Psi
800.	EMB
2555.	Psi
900.	EMB
2522.	Psi
1000.	EMB
2488.	Psi
1100.	EMB
2455.	Psi
1200.	EMB

CEDULA DE BOMBEO

	2421.	Psi
	1300.	EMB
	2388.	Psi
	1400.	EMB
	2354.	Psi
No. Emb.	1310.	
Pfc	= 2384.	Psi
Vol. EA	= 304.85	BRL
^T DEA	= 101.62	MIN.
^T DTP	= 13.76	MIN.

C O N C L U S I O N E S

1. Dada la importancia de tener un control completo de las operaciones de perforación o reparación de pozos, es necesario - - adoptar secuencias de ejecución de estas operaciones que garanticen la seguridad del pozo. Estas secuencias se verán concretadas en procedimientos específicos que señalen los puntos críticos que deberán vigilarse para evitar un descontrol.

2. El equipo de control superficial, estará acorde con las necesidades de cada área en lo que respecta a presiones de trabajo, arreglos de flujo, capacidad de bombeo, etc. para así asegurar contar con equipo adecuado en caso de operaciones de control. Es importante mencionar el equipo de registro continuo de las variables de perforación ya que así se estará en condiciones de detectar cualquier variación que indique la proximidad de una zona de presiones anormales.

El control primario proporcionado por el fluido de control tomará en cuenta la información de los intervalos por atravesar los datos de áreas cercanas en caso de ser localización exploratoria y las características propias del pozo en cuestión - no exceder valores que puedan provocar daños a las formaciones, pérdidas que puedan ser causas de descontrol.

Para las operaciones de control de pozos, se recomienda el uso de presión de fondo constante, desarrollado de tal manera mediante cálculos y formatos previamente diseñados que faciliten el control de las operaciones.

Con objeto de que en la ejecución de operaciones se hagan movimientos precisos y no haya desconcierto ni pérdida de tiempo, es necesario que cada uno de los miembros de la tripulación, sepa qué papel desempeñar en caso de un descontrol, por lo que una capacitación bien orientada deberá incluirse, y así poder detectar los signos de un brote, dominar los procedimientos de cierre en diversas situaciones, conocer los esfuerzos a que se someten las tuberías y las formaciones, etc. Estos criterios para cada una de las categorías, serán la base de una representación futura que asegurará el control con el personal debidamente apto.

REFERENCIAS.

- 1) Control de Pozos productores en reparación y terminación de -
Pozos.

Ing. Carlos Hernández Valero

Villahermosa, Tab., septiembre, 1980.

- 2) Prevención de Réventones.

Universidad de Texas en Austin, 1975.

- 3) Procedimiento detallado para el Control de Brotes.

Ing. Caudillo M. Pedro

Tamaulipas, mayo 1977.

- 4) Procedimiento generalizado para circular un Brate.

Ing. Mario Zamora Imco Service, Houston, Texas

Ing. E. Alfredo Cortés Ponce de León.

I.M.P. Marzo, 1978.

- 5) Fundamentals of Pressure Control.

By H.A. Kendall,

AMCO International Oil Co., Chicago, Ill.

- 6) Variable Rate Control Method Kills Deepwater Kicks R.R. Angel.
The Oil and Gas Journal August 7, 1978.

- 7) Pump. Rate and Choke Opening are varied together. R.R. Angel.
The Oil and Gas Journal August 14, 1970.

