

21
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

USOS DE ESPUMAS DURANTE LA REPARACION
DE POZOS EN EL DISTRITO DE POZA RICA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO PETROLERO

P R E S E N T A N I

JUAN LANDAZURI ORTIZ

ORLANDO ESPAÑA CUAMATZI

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

1989



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

	<u>Página</u>
I.- INTRODUCCION	1
II.- <u>ESPUMAS :</u>	
A) Componentes	3
B) Formación de la Espuma	4
C) Características de la Espuma	5
D) Usos de la Espuma	7
E) Ventajas de la Espuma	13
III.- <u>FACTORES QUE AFECTAN LA CIRCULACION DE ESPUMAS:</u>	
A) Comportamiento de Flujo de la Espuma	17
B) Presión de Inyección	23
C) Presión de Fondo	23
D) Tiempos de Circulación	29
E) Capacidad de Arrastre	33
F) Contrapresión de la Descarga	33
G) Consideraciones	33
IV.- <u>UNIDADES UTILIZADAS EN LA APLICACION DE ESPUMAS:</u>	
A) Unidad Generadora de Espuma	36
B) Unidad de Tubería Flexible	47
V.- <u>PROCEDIMIENTO GRAFICO PARA DETERMINAR LAS ETAPAS DE CIRCULACION:</u>	
A) Antecedentes	51
B) Pasos del Procedimiento Práctico	52
C) Diseño de una limpieza por Etapas	70
VI.- <u>APLICACIONES PRACTICAS EN EL DISTRITO POZA RICA:</u>	
A) Limpieza a Pozos	76
B) Cambio de Fluidos	79
C) Aspecto Económico	81
VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
BIBLIOGRAFIA	88

I.- INTRODUCCION:

En la reparación de pozos, se han empleado las espumas estables desde hace algún tiempo con buen éxito, en operaciones tales como:

- Limpieza a pozos.
- Cambio de fluidos.
- Desarenamientos.
- Y circulación de fluidos con equipos especiales.

La espuma resulta el fluido ideal de circulación en pozos depresionados, donde el fluido de control puede originar pérdidas de circulación con el consecuente daño a la formación.

Debido a sus propiedades reológicas, tenemos un fluido - con inmejorable poder de arrastre, un alto grado de suspensión y mínimas pérdidas de circulación, esto permite lograr una operación más eficiente y rápida, además reduce las necesidades de energía con las bombas.

En pozos que operan con sistemas artificiales de producción, y donde los aparejos fallan frecuentemente por el calentamiento y obstrucción de válvulas, bombas y accesorios, con el uso de la espuma estable, se ha logrado alargar la vida de los aparejos.

Una vez formada la espuma, resulta un fluido seguro en su manejo, no contamina al medio ambiente, no es inflamable y no ocasiona daño al equipo ni a la formación.

Con el fin de que los trabajos de limpieza de pozos con espuma tengan éxito, es necesario planear la intervención, elaborando el programa previo de trabajo, determinando la profundidad de circulación de cada etapa, el tiempo de circulación, los gastos de gas y líquido y la contrapresión necesaria en la descarga.

II.- E S P U M A S :

A) COMPONENTES:

La espuma es un fluido compuesto por dos fases: La fase continua es líquido y la dispersa gas. El líquido que se usa generalmente para la formación de la espuma es agua dulce o salmuera y un agente espumante. Este es un surfactante similar a los detergentes, que tienen la propiedad de modificar la tensión interfacial.

Los gases que se usan para producir espuma son: Aire, gas natural, nitrógeno y bióxido de carbono; su elección para realizar la operación, dependerá de su disponibilidad en el área de trabajo, el costo, limitaciones técnicas, etc..

El aire sería el fluido ideal para preparar espuma, pero su gran limitación es que puede formar mezclas explosivas con los hidrocarburos a presiones mayores de 24 Kg/cm².; esto lo limita a pozos someros.

El gas natural empleado en bombeo neumático, se puede usar para preparar espuma siempre que sea posible, con ello se tendría un abatimiento en los costos de la operación.

El líquido que se usa generalmente para preparar la espuma en operaciones de reparación, es el agua dulce. El surfactante o agente espumante llamado IMP-EP-302 elaborado por el Instituto Mexicano del Petróleo, es un líquido color ámbar, su densidad a 20°C, es de 1.04 gr/cm³. y su punto de inflamación es de 25°C, es biodegradable y se mez

cla en una proporción que puede variar de 0.1 % a 1.0 % en volumen.

Existen aditivos que se pueden usar con la solución líquida espumante, como son los polímeros, controladores de pH (NH_4OH , Na OH , KCl), (hidróxido de amonio, hidróxido de sodio, cloruro de potasio), inhibidores de corrosión, bactericidas y reductores de pérdidas por fricción.

Cualquiera de los polímeros convencionales como el hidroxietil celulosa (HEC), goma guar o hidroxipropil guar (HGP), mezclado en una porción de 40 Lb/1000 galones de solución, aumenta la estabilidad de la espuma de 6 a 10 veces.

Un nuevo sistema estabilizador, aumenta desde 100 a 1000 veces la estabilidad de la espuma. Este es un sistema multicomponente formado por surfactantes, polímeros estabilizadores, estabilizadores de arcillas y bactericida.

El uso de estos aditivos modifica la reología de la espuma favorablemente, aumentando la viscosidad y disminuyendo las pérdidas de fluido. Las ventajas anteriores hacen el uso de espuma para limpieza, más eficiente a profundidades mayores o en pozos con alta temperatura.

B) FORMACION DE LA ESPUMA:

Para la formación de la espuma se requiere un fluido base; agua natural o salmuera sódica, un agente espumante y algún gas (nitrógeno, CO_2 o gas natural), un equipo generador de espuma como el mostrado en la figura número 5 del Capítulo IV.

La espuma debe estar formada antes de meterse al pozo, ya que la presencia de contaminantes puede inhibir el fenómeno. Una vez formada es resistente a los contaminantes.

La solución líquida espumante es preparada en los tanques mezcladores, agregando el agente espumante a la fase líquida en formación del 1 %; se homogeniza la mezcla mediante agitación con auxilio de la bomba centrífuga. Después de que la solución líquida es succionada del tanque y enviada al cilindro generador de espuma con la bomba reciprocante; simultáneamente entra gas a presión. Al pasar las dos corrientes a través de él, se forma la espuma, conduciéndose por medio de líneas al ensamble de la unidad generadora y de ahí al pozo.

C) CARACTERISTICAS DE LA ESPUMA:

Los parámetros que se usan para evaluar la espuma, son: La calidad y la textura.

La calidad se define mediante la siguiente igualdad:

$$\text{CALIDAD} = \left[\frac{\text{volumen de gas}}{\text{volumen de gas} + \text{volumen de líquido}} \right] \times 100$$

La calidad en teoría puede variar de 0 a 100 %, correspondiendo al cero a total de líquido y el 100 % a total de gas.

En un pozo varía la calidad de la espuma a través de la T.P., aún manteniendo los gastos de líquido y gas constante durante la operación. Lo anterior ocurre porque el gas se va comprimiendo con la presión que ejerce la columna de espuma al aumentar la profundidad. Por lo tanto, la

calidad de la espuma en condiciones normales disminuirá al aumentar la profundidad.

La calidad de la espuma en el fondo del pozo no debe ser menor de 55 %, porque en estas condiciones, la capacidad de arrastre es mínima. La calidad de la espuma no debe ser mayor de 96 %, ya que la espuma se rompe y el flujo se vuelve niebla; esta condición se puede presentar en la descarga del pozo.

El otro parámetro que se usa para evaluar la espuma, es la textura; la cual está estrechamente relacionada con el tamaño y distribución de las burbujas. Estos parámetros tienen influencia sobre la estabilidad y la reología de la espuma.

La estabilidad de la espuma es una característica que mide su duración en tiempo, al término del cual la espuma se vuelve inestable; se mide por su "vida media". La vida media es el tiempo requerido para drenar la mitad de la fase líquida de una columna de espuma estática.

La velocidad de drene se puede disminuir aumentando la viscosidad de la fase líquida, añadiendo agentes gelatinizantes. El tamaño de la burbuja también influye en la velocidad de drene; entre mayor es la burbuja, el espesor de la película que la rodea aumenta y con ello la velocidad.

La distribución de las burbujas es otro factor que influye en la estabilidad y la reología de la espuma. Se ha observado que la espuma entre una calidad de 55 y 75 %, tiene burbujas de diferentes diámetros, existiendo una re-

lación de 10:1 entre las burbujas grandes y las pequeñas, - esto ocasiona que las burbujas pequeñas se acomoden en los espacios dejados por las más grandes, reduciendo el área - de flujo.

D) USO DE LA ESPUMA:

El uso de la espuma es relativamente reciente, se ha usado en los pozos con objetivo de limpieza, mostrando ven tajas sobre fluidos convencionales; con el mejor conoci- - miento reológico, producto de las investigaciones que se - están llevando a cabo, se espera a que se perfeccionen sus aplicaciones actuales y aumente su desarrollo en los próxi mos años.

Operaciones de Limpieza:

En pozos depresionados, el uso de la espuma para efec- - tuar limpieza y acarreo de sedimentos que obturan el inter valo productivo, se lleva a cabo con la unidad generadora - de espuma, unidad de nitrógeno y en ocasiones con unidad - de tubería flexible.

Las operaciones de limpieza en que se usa la espuma - más frecuentemente son:

- Eliminación de arena o sedimento acumulado en el fondo - del pozo, obstruyendo los disparos de producción y en - ocasiones la T.P..
- Eliminación de óxidos de fierro y/o chatarra.
- Eliminación de solventes cáusticos y productos de reac- - ción del ácido.

- Eliminación de sulfuros que obturan los orificios de las válvulas de bombeo neumático.
- Eliminación de columnas de agua y/o condensado en pozos productores de gas.
- Cambio de fluidos de control por espuma para efectuar - disparos de producción en pozos con instalaciones superficiales definitivas.

Otros Usos de la Espuma:

1.- La espuma ha sido usada durante el corte de núcleos:

En el corte de núcleos al atravesar la zona de interés, muchas veces la columna hidrostática obtenida - con fluidos convencionales, excede la presión de fondo sin poder lograr un equilibrio de las presiones en el fondo, ocasionando la invasión del filtrado de lodo y el desplazamiento de los fluidos contenidos "In Situ", lo que causa una pobre evaluación de la formación. Para solucionar el problema, se está usando espuma, lo que permitirá, a diferencia del otro sistema, controlar con rapidez las propiedades físicas y la presión - necesaria para balancear la presión de fondo, además - de aprovechar la resistencia que tiene la espuma al - flujo en medios porosos cuando existe una diferencial de presión.

Lo anterior permite un mejor conocimiento de la - distribución y saturación de hidrocarburos y consecuen- temente, una buena evaluación y planeación de los sis- temas de recuperación secundaria.

2.- La espuma en la estimulación de pozos:

La espuma también se ha usado con éxito en operaciones de estimulación, usando como fase continua, - - agua, ácido o hidrocarburos. Con agua ha sido usada - durante fracturamientos, inyectando volúmenes de espuma de hasta 590 000 galones con 503 487 Kgs. de arena, lo que demuestra que es un excelente fluido sustentante, debido principalmente a su viscosidad y estructura. La propiedad de filtrado mínimo favorece una mayor longitud de fractura y conductividad que los fluidos convencionales. El nitrógeno que forma la espuma es inerte y poco soluble en el fluido de la formación, por lo que no forma precipitados o emulsiones que causen daño.

En estimulación de pozos con ácido espumado, la velocidad de contraflujo en el pozo, al descargar los productos de reacción, es alta y arrastra los finos insolubles que causan disminución en la conductividad de la fractura.

También los hidrocarburos espumados se han usado en operaciones de fracturamiento con apuntalante. El condensado, kerosina o xileno, son los hidrocarburos - usados como fluido base de la fase continua para preparar espuma.

Además de las ventajas señaladas con la espuma - acuosa, la preparada con hidrocarburos, tiene las siguientes:

- Compatibilidad con los fluidos de formación.
- En formaciones arcillosas hinchables con agua, no - ocasiona daño a la formación.

- Menor carga hidrostática y mayor velocidad de recuperación del fluido inyectado.
- A diferencia de los hidrocarburos no espumados que se gelifican para fracturar y que usan aditivos de pérdida de fluidos, reductores de fricción y otros aditivos, la espuma tiene propiedades naturales que suplen su uso.

3.- En la perforación y profundización de pozos:

La espuma también se usa en la perforación y profundización de pozos de baja presión, principalmente en agujeros de diámetro grande, formaciones cavernosas y de bajo gradiente de fractura.

4.- Con vapor en la estimulación de pozos con aceite viscoso y eliminación de parafina en los aparejos:

La espuma también se ha usado en las estimulaciones con vapor en pozos de aceite viscoso. Inyectando vapor junto con la espuma, se logran mayores temperaturas en el fondo por su propiedad aislante.

La espuma también se usa en limpiar la tubería de producción de la incrustación de parafina que reduce el área de flujo y la producción.

La eliminación de parafinas se logra más fácilmente, inyectando vapor y espuma.

5.- En la recuperación de cedazos y tuberías cortas:

La espuma también se ha usado en un método térmico para recuperar tuberías cortas o cedazos engravados que se encuentran en malas condiciones, con objeto de cambiarlos o profundizar el pozo.

El método consiste en limpiar primeramente con es puma el pozo, bajando barrena y escariador al fondo, - posteriormente se baja un aparejo compuesto de extensión de T.P. de longitud aproximada a la tubería corta o cedazo, martillo mecánico subgolpeador, lastrabarrenas y tubería de trabajo. En la superficie la sarta - estará conectada simultáneamente a una fuente de vapor y espuma.

En caso de que no se libere en el primer intento, se eliminará la tensión y se desplazará fluido relativamente frío y se volverá a aplicar la tensión. Se re petirá el ciclo varias veces si es necesario.

El objeto de bombear alternativamente fluidos - - fríos y calientes, es el de aprovechar las propiedades dilatantes de la tubería al someterse a cambios de tem peratura. La dilatación longitudinal genera en la tubería fuerzas que rompen la adherencia entre la tube- ría y el cemento.

6.- En operaciones de pesca:

En operaciones de pesca, se ha usado la espuma en remover el material depositado alrededor del pescado.- Cuando se está usando tubería lavadora, se baja tube- ría Macaroni, y se circula espuma en el fondo, elimin do el uso de fluidos convencionales que pueden ocasionar un daño permanente, otra ventaja es la de lubricar la zapata lavadora permitiendo mayor duración de ésta.

7.- En operaciones de pozos costa afuera:

En operaciones de pozos costa afuera, la espuma - estable se ha usado con el equipo de control de pre- -

sión (Snubbin) y tuberías concéntricas, para limpiar - la arena o sedimento depositado en el fondo, así como en operaciones de pesca o molienda.

La espuma se ha usado a profundidades de 3,500 me - tros en tuberías concéntricas con espacios entre ellas de hasta 0.051 pulgadas a ambos lados. En espacios - anulares, las caídas de presión usando espumas, son me - nores a las proporcionadas por fluidos convencionales, resultando menores los requerimientos de potencia, re - duciendo considerablemente el costo de la intervención.

Otras ventajas del uso de espuma en pozos costa - afuera, son las siguientes:

- Los residuos líquidos obtenidos en la descarga son - biodegradables no ocasionando daño ecológico.
- Los volúmenes de líquido usados en operaciones norma - les son menores a los fluidos convencionales, varian - do de 5 % a 45 % del volumen total según la calidad de espuma requerida, por lo que pueden ser más mane - jables.
- En caso de aportación de hidrocarburos durante la - circulación, es posible meterlo a la batería de sepa - ración.

8.- Empacamientos de cedazos con grava:

La espuma estable también se ha usado con éxito - en el empacamiento con grava de cedazos en formaciones no consolidadas, con las siguientes ventajas:

- La espuma ha transportado grava en concentraciones - de 15 lbs/gal..

- Conserva mejor la grava durante su colocación, lo que mejora su porosidad, permeabilidad y capacidad de contención.
- El empacamiento fué completo y uniforme.
- Resultó más económico que el uso de polímeros.

E) VENTAJAS DE LA ESPUMA:

1.- Peso de la columna hidrostática menor que la proporciónada por fluidos convencionales:

Con el uso de la espuma, se puede obtener gradientes hidrostáticos de hasta $0.32 \text{ Kg/cm}^2./100 \text{ m.}$, lo que evita las pérdidas de circulación que se tendrían con fluidos convencionales en pozos depresionados. Asimismo, es posible obtener gradientes hidrostáticos similares a los proporcionados por fluidos convencionales, aplicando contrapresión en la descarga y relaciones gas-líquido bajas.

2.- Alta capacidad de acarreo y suspensión:

La capacidad de acarreo es directamente proporcional a la velocidad anular y a la calidad. La espuma también se ha usado como fluido fracturante de la arena, que se usa como apuntalante durante los fracturamientos de pozos, ya que sus propiedades reológicas le permiten tener capacidad de acarreo y suspensión para transportar concentraciones altas de arena o de otro apuntalante.

La espuma tiene mayor capacidad de transporte que fluidos tales como el agua, diesel, aceite estabilizado, etc.. En el siguiente ejemplo, se ilustra la in--

fluencia del tipo de fluido, así como de la velocidad.

Se hicieron pruebas usando agua y espuma como - - fluido de circulación para limpiar un pozo arenado con los siguientes resultados: Para una velocidad de 150 - pies³/min., se midió el contenido de arena desalojada en la descarga; para agua llevaba en suspensión 15.8 - Lb/barril y con espuma 42.1 Lb/Bl.. Al aumentar la ve- locidad a 300 pies³/min., el acarreo de arena con agua fué de 39.2 Lb/Bl. y con espuma de 328 Lb/Bl..

3.- Mínima pérdida de fluidos y filtrado en medios porosos:

La espuma presenta gran resistencia al flujo en - medios porosos debido a su estructura.

Esta característica de la espuma en operaciones - de limpieza, previene la pérdida de fluido y el daño a la formación, que pudiera ocasionarse cuando la carga de la columna hidrostática es mayor a la de fondo del pozo.

En operaciones de estimulación con ácido espumado esta característica dirige la acción del ácido hacia - la matriz y a las caras de la fractura, lográndose lon- gitudes de fractura mayores y mejor conductividad. En operaciones de fracturamiento con apuntalante, esta - propiedad de la espuma elimina la adición de aditivos de pérdida de fluido que pueden afectar la conductivi- dad de la fractura por el taponamiento de los finos.

Esta propiedad de la espuma se ha aprovechado tam- bién en procesos de recuperación secundaria y en se- llar fugas de yacimientos almacenadores de gas natural.

4.- Requerimiento de menor potencia para la realización de trabajos:

Las pérdidas de presión por fricción, la presión de inyección y la de fondo, durante las operaciones de limpieza, son menores a las que se presentan con flujos convencionales; consecuentemente se necesitará, menor presión en la superficie, teniéndose un ahorro en potencia requerida.

5.- Mayor estabilidad en presencia de contaminantes:

La espuma una vez formada, es resistente y estable a los contaminantes encontrados en las operaciones de limpieza, tal como óxidos, cemento, herrumbre, ácido clorhídrico y fluorhídrico, sulfuros, agua salada, etc..

6.- En la limpieza de pozos arenosos se tienen grandes beneficios:

Con el uso de espumas en pozos que producen arena se logra definir la intervención y aumentar la producción. Durante las operaciones de limpieza con espuma en pozos que aportan arena de la formación, la diferencial de presión a favor del yacimiento, produce un incremento en el gasto de producción mayor de lo normal, arrastrando la arena alrededor de los disparos y la remoción de los finos obteniéndose una buena limpieza. - El pozo al estar produciendo a un ritmo normal, tardará más tiempo en arenarse y se incrementará la producción.

Se ha demostrado que el uso de espuma durante la reparación de pozos, puede incrementar la rentabilidad

de las operaciones hasta en un 50 % comparativamente - con otros métodos; esto se debe principalmente al abatimiento en los costos directos (materias primas), incremento en la producción y retraso de la intervención futura.

7.- En pozos que producen gas tóxico elimina riesgos:

El riesgo que algunos gases aportados por las formaciones dañen a las personas o instalaciones, puede ser evitado, agregando a la espuma neutralizantes químicos o mediante su incorporación dentro de la burbuja de espuma. Por ejemplo el ácido sulfhídrico puede ser neutralizado, agregando a la espuma un metal básico como el hidróxido de amonio (NH_4OH).

En caso de que no pueda ser neutralizado el gas, su atrapamiento en la burbuja y su transporte por una línea de descarga lejos del área de trabajo, evitará el daño al personal.

8.- Disminuye el tiempo de circulación:

El uso de espuma reduce el tiempo de circulación con respecto al uso de fluidos convencionales debido a su mayor eficiencia de arrastre.

9.- Menores pérdidas de presión en geometrías reducidas:

En espacios anulares o de T.P. reducidos, las caídas de presión por fricción son inferiores a las proporcionadas por fluidos convencionales.

III.- FACTORES QUE AFECTAN LA CIRCULACION DE ESPUMAS:

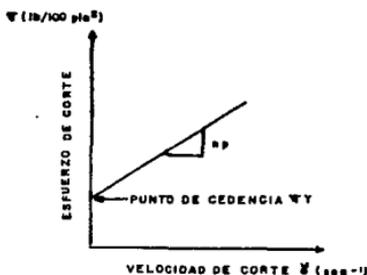
A) COMPORTAMIENTO DE FLUJO DE LA ESPUMA:

El comportamiento reológico de la espuma es complejo, sin embargo, el desarrollo de modelos matemáticos pueden llegar a predecir éste con bastante exactitud, encontrándose se que el flujo de espuma se comporta como un fluido plástico de Bingham.

Modelo Reológico Plástico de Bingham:

Los fluidos plásticos de Bingham presentan una proporción directa entre el esfuerzo y la velocidad de corte una vez que un esfuerzo inicial finito se ha logrado, y resulta suficiente para iniciar el movimiento.

Este esfuerzo inicial se denomina "punto de cedencia" (σ), en tanto que la pendiente de la proporción lineal del reograma es conocida como "viscosidad plástica" (η_p).



$$n = gc \frac{\sigma}{\delta}$$

La determinación de la viscosidad plástica (η_p) y el punto de cedencia (σ_y) se basa en las lecturas en el reómetro a 600 y 300 RPM.

De la ecuación de Bingham y con las lecturas del viscosímetro Fann tenemos que:

$$\sigma = \frac{\eta_p}{gc} \delta + \sigma_y$$

$$\sigma_{600} = \frac{\eta_p (\delta_{600})}{gc} + \sigma_y \dots \dots \dots (1)$$

$$\sigma_{300} = \frac{\eta_p (\delta_{300})}{gc} + \sigma_y \dots \dots \dots (2)$$

Resolviendo ecuaciones (1) y (2):

$$\eta_p = gc \left[\frac{\sigma_{600} - \sigma_{300}}{\delta_{600} - \delta_{300}} \right]$$

δ en unidades de campo:

$$\eta_p = \theta_{600} - \theta_{300}$$

El punto de cedencia se obtiene evaluando el modelo a 300 rpm.

$$\sigma_{300} = \frac{\eta_p (\delta_{300})}{gc} + \sigma_y$$

Sustituyendo ηp :

$$\sigma_y = \sigma_{300} - \frac{f_c (\sigma_{600} - \sigma_{300}) \delta_{300}}{f_c (\delta_{600} - \delta_{300})} = \sigma_{300} - \frac{(\sigma_{600} - \sigma_{300})}{\sigma_{300}} \sigma_{300}$$

$$\sigma_y = \sigma_{300} - (\sigma_{600} - \sigma_{300})$$

Suponiendo que $\sigma = 0$ tenemos:

$$\sigma_y = 0_{300} - (0_{600} - 0_{300})$$

$$0_{600} - 0_{300} = \eta p$$

$$\therefore \boxed{\sigma_y = 0_{300} - \eta p}$$

Conociendo los valores de viscosidad plástica (ηp) y punto de cedencia (σ_y), para calcular las caídas de presión en el sistema, se procede de la siguiente forma:

a) Cálculo de la velocidad de flujo en T.P..

$$u_p = \frac{24.51 \times Q}{d^2}$$

Donde:

$$u_p = (\text{pie/min.})$$

$$d = (\text{Pg.}) (\text{diámetro interior T.P.})$$

$$Q = (\text{Gal/min.})$$

b) Cálculo de la velocidad crítica:

$$v_c = \frac{64.57 u_p + 64.57 \sqrt{u_p^2 + 9.9 \rho d_i \sigma_y}}{\rho d_i}$$

Donde:

$$\begin{aligned}V_c &= (\text{pie/min.}) \\ \mu_p &= (\text{cp.}) \\ d &= (\text{Pg.}) \\ \rho &= (\text{Lb/gal.}) \\ \sigma_y &= (\text{Lb/100 pie}^2)\end{aligned}$$

c) Donde $V_c > V_p$, sf flujo laminar:

$$\Delta p_f = \left(\frac{\sigma_y}{281 d^3} + \frac{\mu_p V_p}{90000 d^3} \right) L$$

Donde:

$$\begin{aligned}\Delta p_f &= (\text{Lb/Pg}^2.) \\ L &= (\text{pies})\end{aligned}$$

No; flujo turbulento:

$$Re = \frac{49.56 V_p d \rho}{\mu_p} \quad \text{y} \quad F = \frac{A}{R_e^B}$$

Donde:

$$\begin{aligned}V_p &= (\text{pie/min.}) \\ d &= (\text{Pg.}) \\ \rho &= (\text{Lb/gal}) \\ \mu_p &= (\text{cp.})\end{aligned}$$

$$A = \frac{\log(N) + 3.93}{50} \quad \text{y} \quad B = \frac{1.75 - \log(N)}{7}$$

$$N = 3.32 \log \left(\frac{0.600}{0.300} \right)$$

Entonces:

$$\Delta p_f = \frac{F \rho V_p^2 L}{93000 d}$$

d) Cálculo de la velocidad en el espacio anular:

$$V_p = \frac{24.51 \times Q}{(D^2 - d^2)}$$

Donde:

D = Diámetro interior T.R. (Pg.)

d = Diámetro exterior T.P. (Pg.)

Q = (Gal/min.)

e) Cálculo de la velocidad crítica:

$$V_c = \frac{64.57 \mu_p + 64.57 \sqrt{\mu_p^2 + 9.9 \rho (D-d)^2 \sigma_y}}{\rho (D-d)}$$

Condición $V_c > V_p$, sí; flujo laminar

$$\Delta p_f = \left(\frac{\sigma_y}{282 (D-d)} + \frac{\mu_p V_p}{90000 (D-d)^2} \right) L$$

No; flujo turbulento:

$$Re = \frac{49.56 V_p \rho (D-d)}{\mu_p} \quad \text{y} \quad F = \frac{A}{R_e}$$

Finalmente:

$$\Delta p_f = \frac{F \rho V_p^2 L}{93000 (D-d)}$$

En diversos experimentos hechos por el I.M.P. para de terminar las variables independientes que afectan el comportamiento de flujo de las espumas y su capacidad de - - arrastre, se encontró que dichas variables son la calidad y la velocidad.

El uso de las gráficas nos permite mostrar la relación que existe entre los factores de control como son el gasto de líquido, gasto de gas, la contrapresión y la profundidad, contra los factores de diseño como la presión de inyección, la presión de fondo, el tiempo de circulación y la capacidad de arrastre; y de esta manera encontrar los factores de diseño adecuados, para un trabajo, variando los de control.

La velocidad influye directamente en la capacidad de acarreo, tiempo de circulación y las pérdidas de presión por fricción. Lo siguiente ilustra la influencia de los factores de control en los de diseño.

Un aumento en la contrapresión, causa compresión de la espuma, disminución de la calidad y velocidad de flujo, esto trae como consecuencia, incremento en el tiempo de circulación y reducción de la viscosidad.

Una disminución en la velocidad y calidad de la espuma, disminuye la capacidad de acarreo, ocasiona mayores pérdidas de presión por fricción y aumenta el tiempo de circulación. La densidad de la espuma se incrementa al disminuir la calidad, causando un aumento en el gradiente hidrostático.

Lo anterior trae como consecuencia aumento en las presiones de inyección y de fondo.

B) PRESION DE INYECCION:

Para los gastos de líquido considerados en la gráfica 1 al aumentar el gasto de gas, se incrementa la presión de inyección, excepto en un rango de gastos pequeños de gas, - en que la presión de inyección se mantiene constante.

En la gráfica se observa que a un gasto de gas constante si se aumenta el gasto de líquido, la presión de inyección disminuye, lo contrario se observa en la gráfica 2, donde la presión de inyección aumenta en el mismo sentido que el gasto de líquido. Esto sucede en espacios anulares reducidos; entre tuberías de 2 7/8" y 1", debido a que en áreas de flujo chicas, las pérdidas de presión por fricción con líquido son muy grandes y sensibles al cambio de gasto.

Cuando se aumenta la contrapresión en la descarga, - causa un aumento en la presión de inyección como se observa en la gráfica 3.

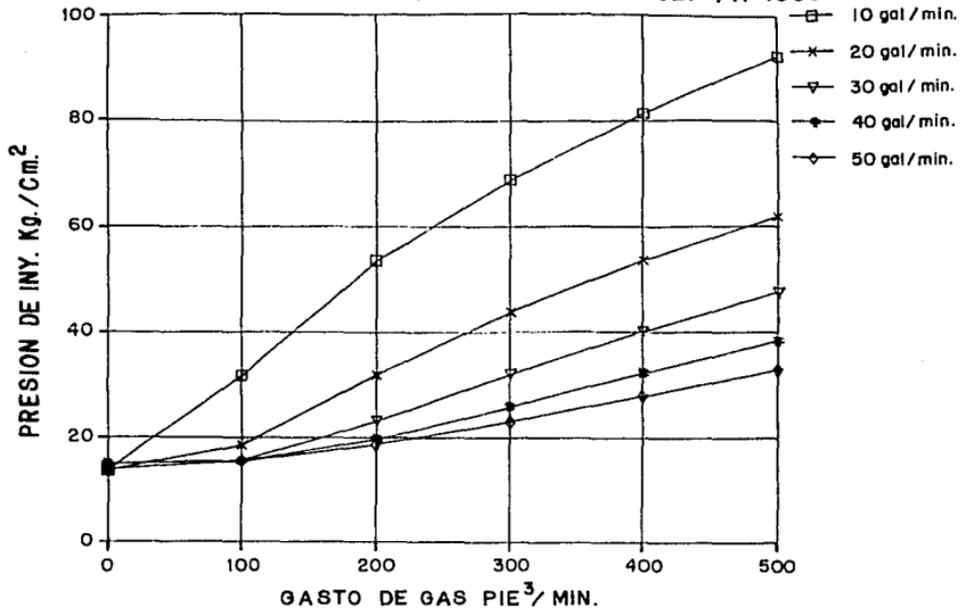
En pozos someros, al aumentar la profundidad, la presión de inyección aumenta súbitamente, volviéndose casi - constante a profundidades mayores de 1000 m. como se observa en la gráfica 4.

C) PRESION DE FONDO:

Como se observa en la gráfica 5, la presión de fondo disminuye al aumentar el gasto de gas, manteniendo el gasto de líquido constante; lo anterior se debe a que la densidad de la espuma disminuye al aumentar la relación gas--líquido, excepto para el gasto de líquido de 10 gal/min. - en que a gastos de gas mayores de 100 pies³/min., la pre--

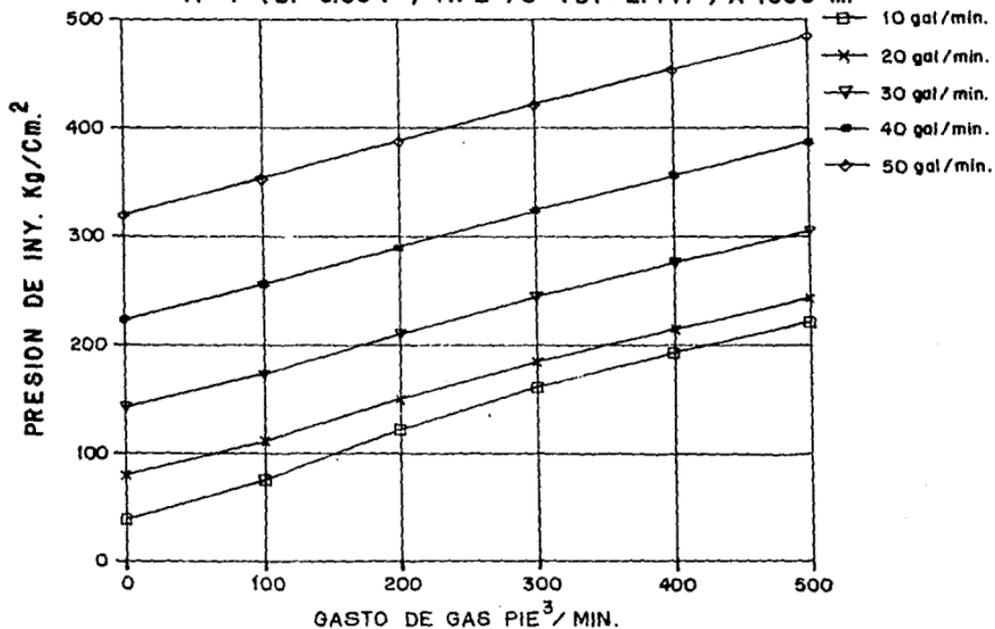
GRAFICA 1

TP 2 7/8" (DI = 2.441") TR 6 5/8" (DI = 5.921") A 1000 m.



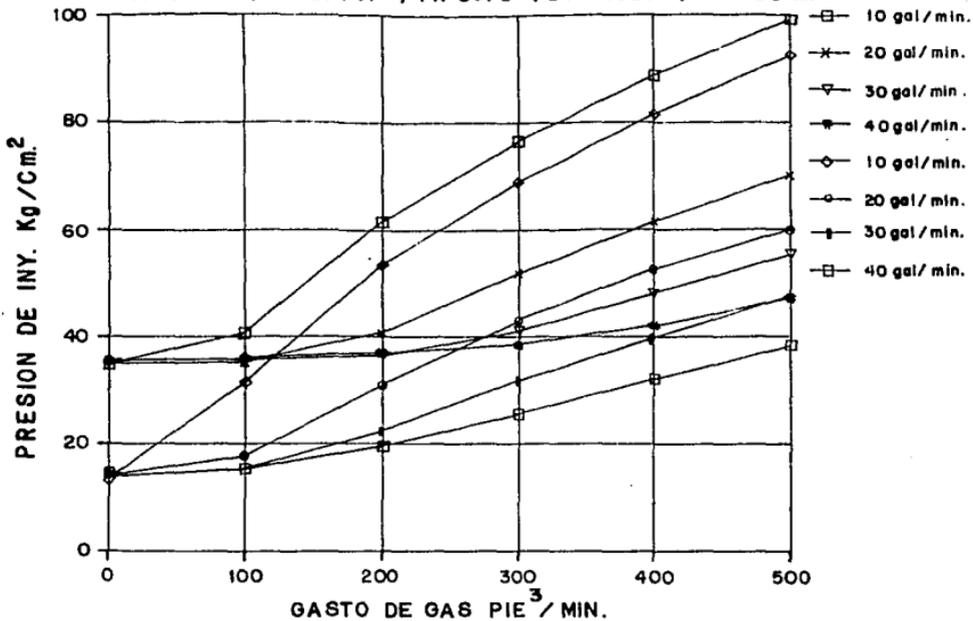
GRAFICA 2

TP 1" (DI= 0.834") TR 2 7/8" (DI= 2.441") A 1000 m.



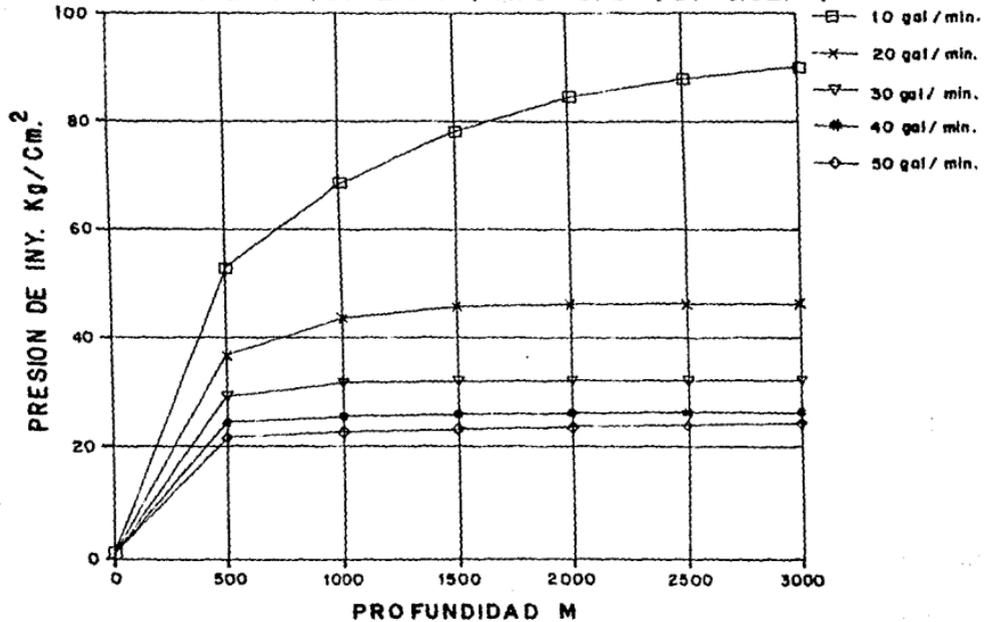
GRAFICA 3

TP 2 7/8" (DI=2.441") TR 6 5/8" (DI=5.921") A 1000 m.



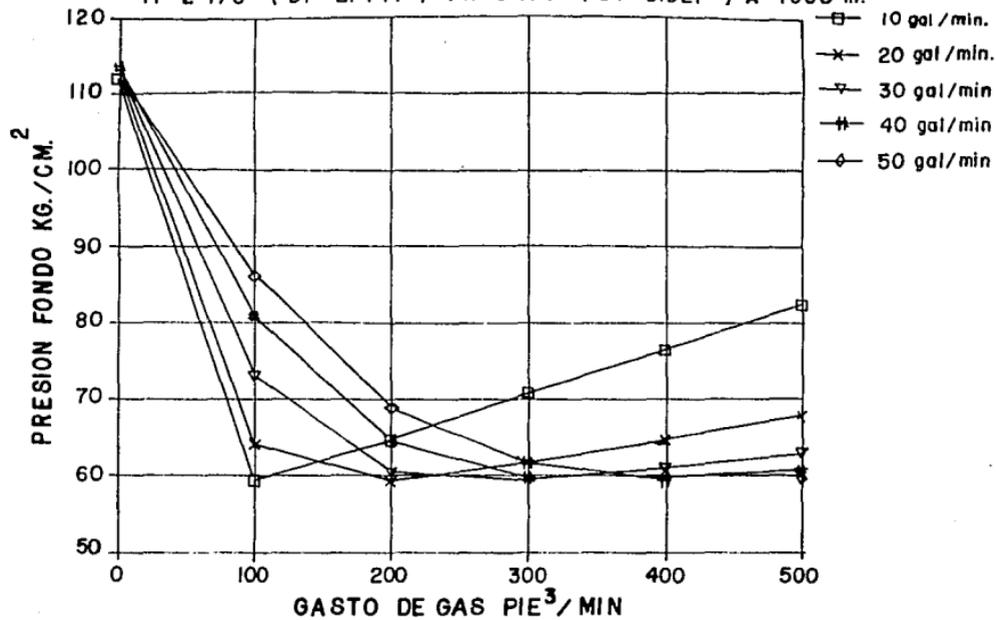
GRAFICA 4

TP 2 7/8" (DI = 2.441") TR 6 - 5/8" (DI = 5.921")



GRAFICA 5

TP 2 7/8" (DI= 2.441") TR 6 5/8" (DI= 5.921") A 1000 m.



sión aumenta debido a que las caídas de presión a altas relaciones gas-líquido ocasionan pérdidas por fricción grandes.

En la gráfica 6, se muestran las curvas de gasto de gas contra la presión de fondo, las cuatro curvas superiores corresponden a gastos de líquido de 10 a 40 gal/min. - para una contrapresión de 35 Kg/cm²., las inferiores son para los mismos gastos y una contrapresión de 14 Kg/cm²..

En la gráfica 6, se observa que la presión de fondo aumenta con la contrapresión, lo anterior es debido a la compresibilidad de la fase gaseosa, ya que la densidad de la espuma será mayor al estar más represionado el sistema. En la gráfica 7, también aumenta la presión de fondo con la profundidad debido a la columna hidrostática.

D) TIEMPOS DE CIRCULACION:

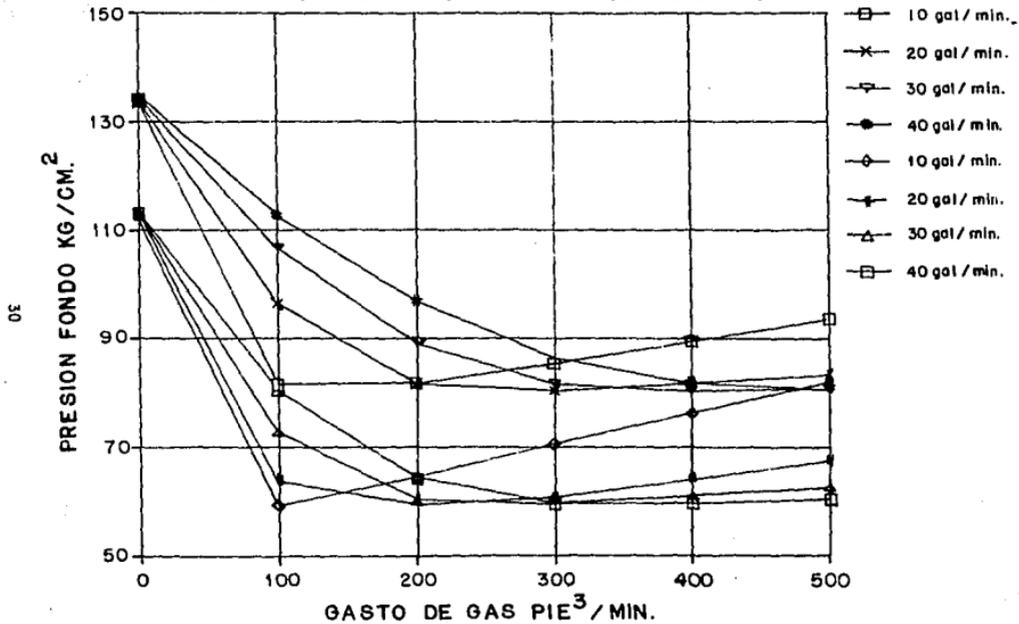
Como se observa en la gráfica 8, al aumentar el gasto de gas para un gasto de líquido constante, disminuye el tiempo de circulación, siendo más significativo en gastos de líquido menores y en el rango de gastos de gas de 0 a 100 pies³/min..

En este mismo rango si se mantiene un gasto de gas constante y aumenta el gasto de líquido, el tiempo de circulación disminuirá considerablemente.

El aumento en la contrapresión restringiendo el área de flujo en la descarga, incrementará el tiempo de circulación, debido a que reducirá el volumen de la espuma y el gasto a condiciones de flujo será menor.

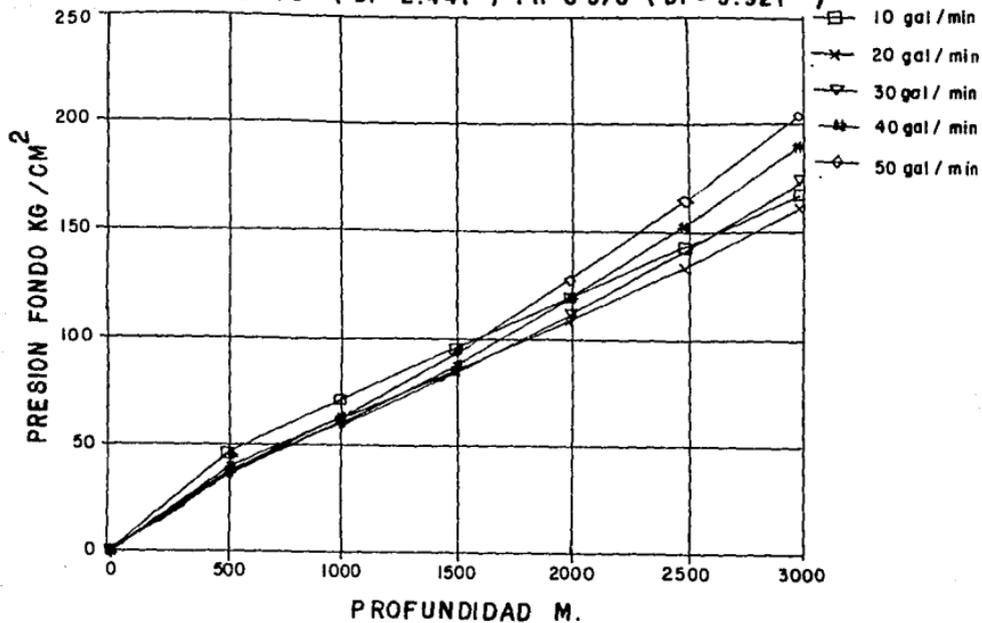
GRAFICA 6

TP 2 7/8" (DI= 2.441") TR 6 5/8" (DI= 5.921") A 1000 m.



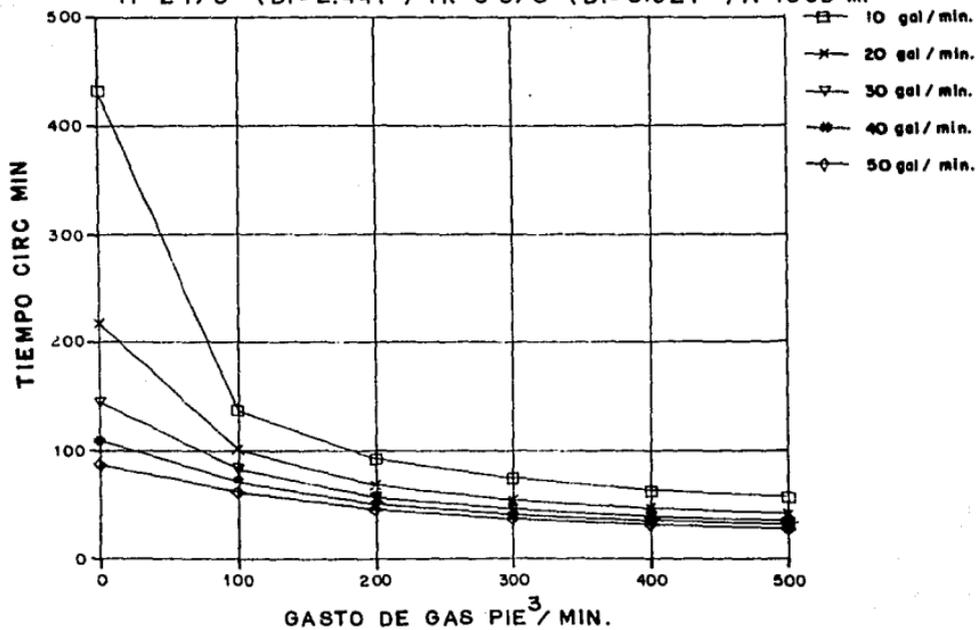
GRAFICA 7

TP 2 7/8" (DI = 2.441") TR 6 5/8" (DI = 5.921")



GRAFICA 8

TP 2 7/8" (DI=2.441") TR 6 5/8" (DI=5.921") A 1000 m.



E) CAPACIDAD DE ARRASTRE:

La capacidad de levantamiento de la espuma depende - principalmente de la velocidad de flujo y la calidad, estos parámetros a su vez varían con la profundidad y la geometría del pozo, también con la entrada de fluidos de formaciones que atraviesa.

El punto de levantamiento crítico en un pozo, es el lugar en la trayectoria de flujo donde la capacidad de levantamiento es mínima. En un pozo con diámetros de tuberías uniformes y sin entrada de fluido, el punto referido es el fondo del pozo, al variar estas condiciones el punto puede cambiar de lugar corriente arriba.

En la gráfica 9, se observa cómo aumenta la calidad - al aumentar el gasto de gas, a un gasto de líquido constante; también sucede lo mismo si se disminuye el gasto de líquido a un gasto de gas constante.

F) CONTRAPRESION EN LA DESCARGA:

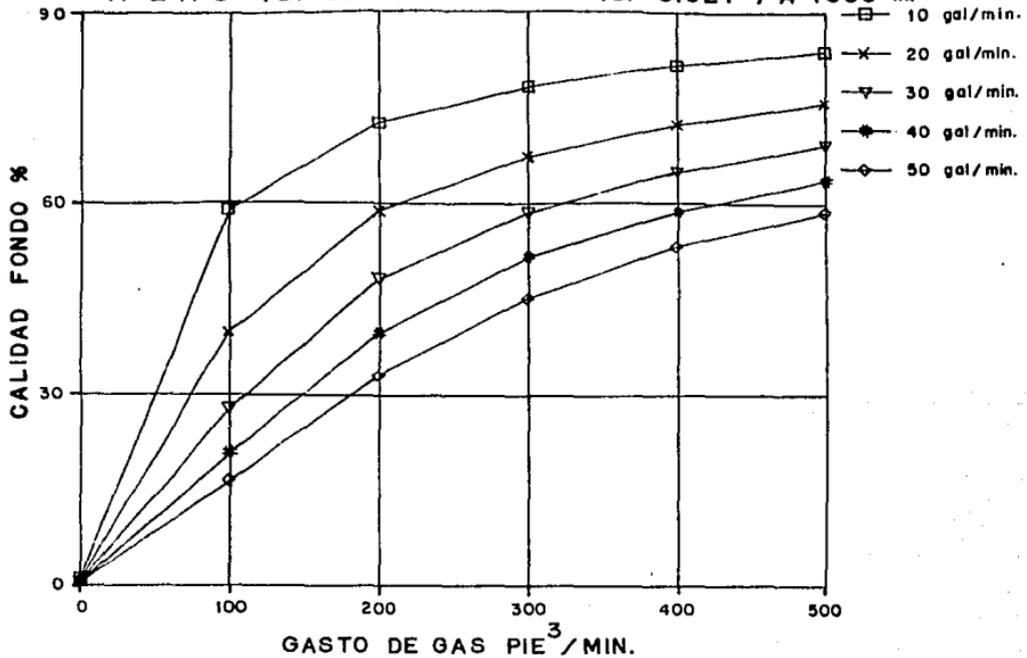
Cuando se desea incrementar la presión en el fondo, - para controlar la calidad de la espuma o mantener una presión preestablecida, de acuerdo al programa de intervención, con frecuencia se establece una contrapresión en la descarga, siempre que la capacidad de potencia de la unidad generadora de espuma lo permita.

G) CONSIDERACIONES:

En campos donde se va a efectuar por primera vez una operación con espuma, es necesario conocer algunos facto--

GRAFICA 9

TP 2 7/8" (DI=2.441") TR 6 5/8" (DI=5.921") A 1000 m.



res para efectuar el diseño, tales como la presión de fondo estático, las limitaciones del equipo generador en cuanto a los gastos de gas y líquido máximos, mínimos y sus presiones, para poder establecer la presión de inyección - máxima disponible, la requerida en el fondo, la calidad necesaria en el fondo y la contrapresión en la descarga. Estos factores se pueden obtener, variando gasto de gas, el de líquido y la contrapresión.

En campos donde ya se tiene la experiencia y la geometría de los pozos y características de los fluidos usados para producir espuma no cambian, no será necesario efectuar un nuevo diseño a menos que varíe alguno de los factores enunciados.

El éxito de las operaciones con espuma, depende de la experiencia en el área y del conocimiento de la relación entre los factores de diseño y los de control.

IV.- UNIDADES UTILIZADAS EN LA APLICACION DE ESPUMAS:

A) UNIDAD GENERADORA DE ESPUMA:

El equipo generador de espuma, está integrado en un - remolque y se encuentra distribuido como se muestra en las figuras 1 y 2.

Los principales componentes del equipo generador son los siguientes:

- 1.- Tanques de preparación para mezclar el líquido, agente espumante y aditivos.
- 2.- Bomba centrífuga para el mezclado homogéneo del líquido, surfactante y aditivo.
- 3.- Reforzador de presión.
- 4.- Medidores de gas de placa de orificio y de solución es pumante.
- 5.- Bomba recíprocante de desplazamiento positivo para la solución espumante.
- 6.- Cilindro generador de espuma.
- 7.- Tablero de control.
- 8.- Motor de combustión interna.

Además de este equipo, para efectuar las operaciones de limpieza, es necesario los siguientes accesorios:

- Prensa-estopa o Stripper.
- Válvulas de contrapresión para T.P..

FIGURA I
EQUIPO GENERADOR DE ESPUMAS
VISTA EN PLANTA DEL REMOLQUE

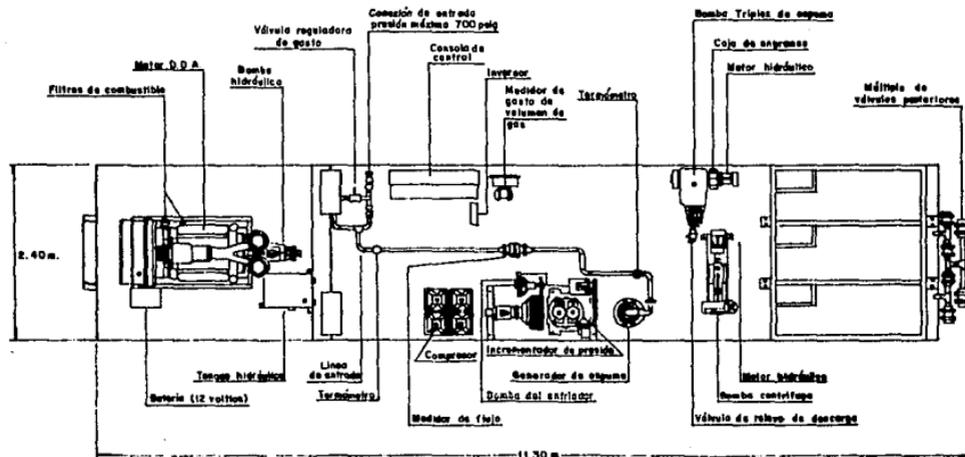
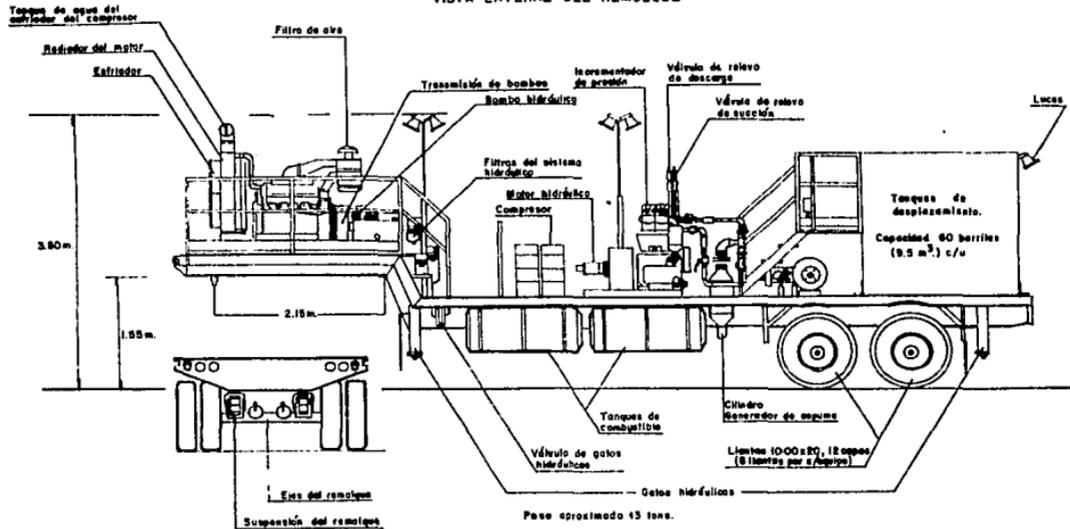


FIGURA 2
EQUIPO GENERADOR DE ESPUMAS
VISTA LATERAL DEL REMOLQUE



- Múltiple de válvulas para tener la opción de dirigir el flujo de espuma a cualquiera de las siguientes partes:
 - Tubería de producción.
 - Espacio anular.
 - Línea al quemador o presa de desperdicio.
- Mangueras de acero y tubería para conexiones superficiales.

Descripción del Equipo Generador

- 1.- Los tres tanques que están instalados en la parte posterior del remolque, son de 3,180 litros (20 barriles) cada uno; están conectados a la succión y descarga de la bomba centrífuga y también a la succión de la bomba triplex.

Los tanques sirven para almacenar y preparar la solución espumante mezclando homogéneamente el líquido, el agente espumante y los aditivos.

- 2.- Bomba centrífuga.- La función principal de esta bomba, es la de mezclar homogénamente los componentes de la fase líquida. Sus características principales son:

Marca	Mission
Modelo	2X3Y
Dimensiones	2" x 3" x 1 7/8"
Capacidad de bombeo	{ 360 Gal/min. a una - presión de 100 Lb/Pg ² .
Presión máxima de trabajo .	140 Lb/Pg ² .

- 3.- Reforzador de presión.- En pozos con columna hidrostática relativamente pesada cuando la bomba no alcanza a desarrollar la potencia necesaria para levantar dicha columna, se utiliza el reforzador de presión para incrementar la potencia.

El reforzador marca Garden Denver, tipo dos cilindros una etapa, trabaja con aceite hidráulico nacional para compresoras de gas natural (Dex-40).

Antes de alcanzar las 600 Lb/Pg². de presión en la bomba, se mete el reforzador al sistema de inyección, para lograr hasta 1500 Lb/Pg²., donde actuarán las válvulas de relevo calibradas a esa presión que es la máxima permitida que nos permite proteger las líneas de la unidad generadora.

- 4.- Bomba reciprocante.- Esta bomba tiene la función de desplazar la solución espumante al pozo, pasando previamente por el cilindro generador y sus características son:

Marca	Cat
Modelo	Triplex 6040 ó 6020
<u>Capacidad:</u>	
Modelo 6040	{ Gasto = 45 Gal/min. a una presión de 1500 Lb/Pg ² .
Modelo 6020	{ Gasto = 60 Gal/min. a una presión de 1000 Lb/Pg ² .

En algunas unidades se encuentra instalada la 6040 y en otras la 6020, es accionada por un motor hidráulico Vicker.

- 5.- Cilindro generador de espuma.- Su objetivo principal es de formar la espuma, es un cilindro metálico colocado en posición vertical, con entrada de flujo de líquido y gas por la parte superior y salida de espuma por la parte inferior, en la Figura 3 se ilustra.

El cilindro en su interior contiene esferas metálicas de diferentes diámetros separadas por placas metálicas o cedazos. En la parte superior las de mayor diámetro, variando gradualmente a las de menor diámetro en la parte inferior, este dispositivo simula un medio poroso para que exista turbulencia.

- 6.- Motor principal.- Es un motor de combustión interna que proporciona la energía a todo el equipo por medio de motores hidráulicos.
- 7.- Sistema de Medición.- El sistema de medición de fluido es muy importante y por medio de él, va a ser posible conocer los gastos de líquido y gas durante la operación y si es necesario, controlarlos para tener la regulación de la espuma de acuerdo a lo programado. La medición de fluidos se realiza básicamente midiendo los volúmenes de líquido y gas.

El líquido se mide al pasar el flujo a través de un medidor de flujo de turbina, el cual contiene en su interior un motor magnético que al girar emite pulsos magnéticos que son enviados como señales a un panel totalizador de flujos, compuesto por circuitos electrónicos. El totalizador tiene una carátula que muestra el volumen acumulativo y el gasto instantáneo en gal/min., la marca de este dispositivo en los equipos es Halliburton, su capacidad es de 60 galones por minuto.

CILINDRO GENERADOR DE ESPUMA

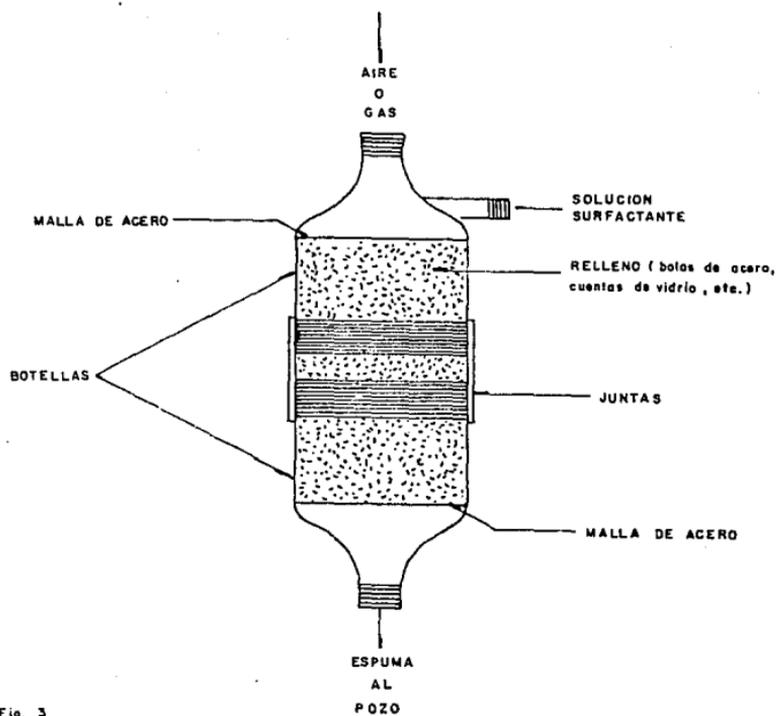


Fig. 3

Para medir el gas, se utiliza una placa de orificio de 2 pulgadas, incluyendo un registro de presión diferencial.

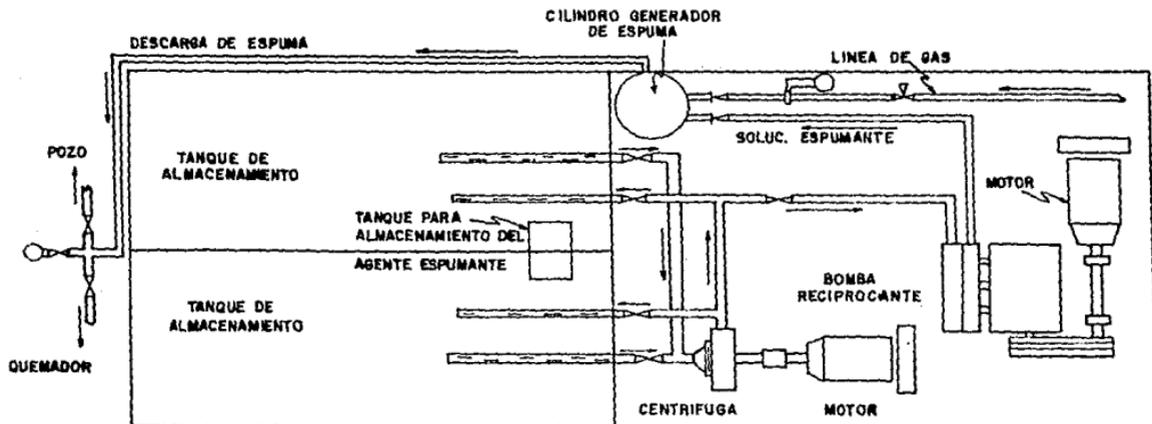
- 8.- Consola de control.- Desde esta consola, se controla la velocidad de operación de las bombas recíprocas y centrífuga, y reforzador de presión, observándose también la presión en el generador de espuma, la presión de succión del reforzador, así como también la presión hidráulica de diferentes partes del conjunto.

Desde la consola se controla el cierre y apertura de la succión de los tanques mezcladores a las bombas y la descarga de éstas. En la figura 4 se muestra su esquema de distribución.

La otra unidad generadora de espuma es la que se conoce en el medio petrolero como "Hechiza", la cual fue acondicionada totalmente en los talleres de Petróleos Mexicanos de la zona sur, por el Departamento de Reparación y Terminación de Pozos del Distrito "El Plan". Consta de los siguientes accesorios. En la Fig. 5, se muestra la unidad generadora de espumas.

- 1.- Tanque de almacenamiento con dos compartimientos intercomunicados de 5 m^3 . cada uno.
- 2.- Bomba centrífuga para mezclar la solución espumante en el tanque de almacenamiento.
- 3.- Bomba recíprocas triplex de 10 - 60 Gal/min. a 800 - 3000 Lb/Pg²., para la dosificación de la solución espumante.

FIGURA 3
UNIDAD GENERADORA DE ESPUMAS



- 4.- Cilindro generador de espuma.- Elemento que merece una especial atención, ya que sin él, no sería factible generar la espuma en condiciones estables.
- 5.- Conexiones de control para manejar gas natural de la red de inyección para bombeo neumático, consistente en:
 - Válvula de control de aguja.
 - Válvula de compuerta.
 - Y medidor de placa de orificio para regular el volumen de gas requerido.
- 6.- Motores diesel GM-371 para el funcionamiento de las bombas centrífugas y reciprocante.
- 7.- Ensamble de válvulas de control para el flujo de la espuma al pozo.
- 8.- Elementos adicionales, tales como un preventor para tubería de producción tipo "Stripper", válvulas de con-trapresión para la tubería de producción.

La solución espumante se prepara mezclando el agente espumante IMP-EP-302 al 1 % en volumen con agua natural o salmuera, agitando por medio de la bomba centrífuga hasta obtener una solución perfectamente homogénea.

Una vez preparada la solución espumante, se desplaza con la bomba reciprocante hacia el cilindro generador de espuma. Simultáneamente se dosifica el gas para la opera-ción hacia el generador; al mezclarse con la solución espumante en su interior, se produce la espuma. El cilindro -

generador se encuentra totalmente lleno de bolas de acero de diferente diámetro espaciadas con mallas metálicas, para simular un medio poroso en el cual se genera la espuma.

Tomando en cuenta las limitaciones en la capacidad de desplazamiento de la unidad generadora de espumas y para no sobrepasar la presión de fondo del pozo con la columna de espuma, en ocasiones es necesario eliminar en forma gradual el tirante de fluido de control contenido en el pozo, por medio de varias etapas de circulación con espuma hasta llegar a la profundidad total. Para evitar la desintegración de la espuma dentro del pozo entre las diferentes etapas de circulación, se debe mantener represionado, de aquí que sea necesario utilizar el preventor tipo "Stripper" y las válvulas de contrapresión para la tubería de producción.

B) UNIDAD DE TUBERIA FLEXIBLE:

El uso de la tubería flexible con espuma en espacios anulares reducidos, resulta ventajoso comparativamente con fluidos convencionales, ya que las pérdidas de presión por fricción son menores, reduciendo la presión que se ejerce en el fondo contra la formación, eliminando el peligro de su fracturamiento, otra ventaja adicional es el abatimiento de costos por el ahorro de potencia.

El uso que se le da a la tubería flexible en operaciones con espuma es el siguiente:

- 1.- Remoción de tapones de arena en T.R. y/o T.P., usando espuma y circulando.

- 2.- Desplazamiento de fluido.
- 3.- Colocación de baches de ácido espumoso frente a los disparos o su desplazamiento.
- 4.- Lavado de pescados.
- 5.- Limpieza de Sedimento o de otro material asentado en el fondo.

La unidad de tubería flexible está montada sobre una plataforma remolcable y consta de los siguientes accesos principales:

Carrete de Tubería:

En este dispositivo se encuentra enrollada la tubería flexible, existiendo carrete de diámetro de 1 pulgada, para 7000 mts. de tubería flexible, o de 1 1/4" de diámetro, para 5700 m. de tubería flexible. Además cuenta también con una guía para evitar que se traslape la tubería y un contador de profundidad, el cual indica en forma continua al operador, la profundidad del extremo de la tubería en el pozo.

La unión giratoria montada en el eje del carrete, permite la introducción del fluido espumante a la sarta de tubería.

Unidad de Potencia:

La unidad de potencia consiste de un motor GMC-6V-71 6 GMC4-71 y un sistema de bombas hidráulicas que operan a todos los elementos de la unidad.

Cuenta con válvulas y controles de emergencia para mantener presionados todos los sistemas en caso que fallara el motor.

Dentro de la caseta de control hay válvulas para pa--
rar el motor en caso que se llegara a tener presencia de -
gases combustibles, igualmente los motores cuentan con ma-
tachispas.

Cabeza Inyectora:

Es el componente más importante de la unidad, ya que
su función es de introducir y extraer la tubería flexible
del pozo. Tiene fuerza de arrastre de 14.5 toneladas, la
cual es muy superior a la máxima fuerza de tensión de la -
tubería flexible. La tubería flexible entra por una guía
de radio máximo para reducir el efecto de fatiga, después,
pasa a las cadenas en donde unas grapas cóncavas de acero,
la atrapan y le comunican por tracción el movimiento ascen-
dente o descendente, que un sistema de engranes acoplados
a dos motores hidráulicos transmite. Cuenta con varios -
pistones y válvulas para tensionar las cadenas, igual que
medidor del peso de la tubería en el pozo y la presión del
mismo.

Preventores:

El sistema de control superficial se efectúa con un -
lubricador y preventores que están acoplados a la cabeza -
inyectora. Después de verificar el sello de todas las - -
uniones y el funcionamiento de todas las partes, se proce-
de a probar tanto los preventores como el lubricador con -
350 Kg/cm². (presión de trabajo). Posteriormente se proce-
de a instalar el conjunto arriba del árbol del pozo, o de
la mesa rotaria de un equipo de reparación, conectado a -
los preventores de la unidad de tubería flexible, por me-
dio de madrinas. Los preventores cuentan con ariete, cie-
gos, cortador de tubería, ariete de la tubería y cuñas pa-
ra sostener la sarta dentro del pozo.

Pluma de Maniobras:

Tiene capacidad de 15 toneladas y se utiliza para instalación y desmantelamiento de la unidad. Al estar operando, sostiene el conjunto de la cabeza inyectora y preventores en forma vertical.

V.- PROCEDIMIENTO GRAPICO PARA DETERMINAR LAS ETAPAS DE CIRCULACION:

A) ANTECEDENTES:

Este procedimiento permite determinar en forma gráfica la profundidad de las etapas de circulación en pozos de baja presión de fondo, donde el peso de la columna de fluidos que contiene el pozo ocasiona pérdidas de fluidos en la formación o en pozos profundos, donde no es posible circular el pozo en una sola etapa por limitación de la capacidad del equipo generador de espuma.

Para usar este procedimiento se requiere un conjunto de gráficas de la hidráulica de la espuma para cada geometría y determinados fluidos espumantes. Los tres juegos de gráficas necesarias son: Gastos de gas contra presión de inyección, contra presión de fondo y contra calidad.

Para la construcción de las gráficas, se consideraron los siguientes datos:

- Diámetro exterior de T.P. = 2 7/8" (D.I. = 2.441 Pg.).
- Diámetro interior de T.R. = 6 5/8" (D.I. = 5.921 Pg.).
- Densidad relativa del gas (aire = 1.0) = 0.65 (gas natural).
- Densidad de líquido (gr/cm³) = 1.0 (agua dulce).
- Temperatura superficial = 27°C.
- Gradiente de temperatura = 2.73°C/100 m.
- Contrapresión = 14 Kg/cm².
- Rango de gasto de líquido = 10 - 50 gal/min.
- Rango de gasto de gas = 100 - 500 pie³/min.

B) PASOS DEL PROCEDIMIENTO PRACTICO:

1.- Establecer las siguientes condiciones:

- Presión máxima disponible de la fuente de gas o del equipo generador.
- Gasto de líquido máximo proporcionado por la bomba.
- Presión estática a la profundidad total de circulación.
- Nivel estático del fluido.
- Profundidad máxima de circulación.

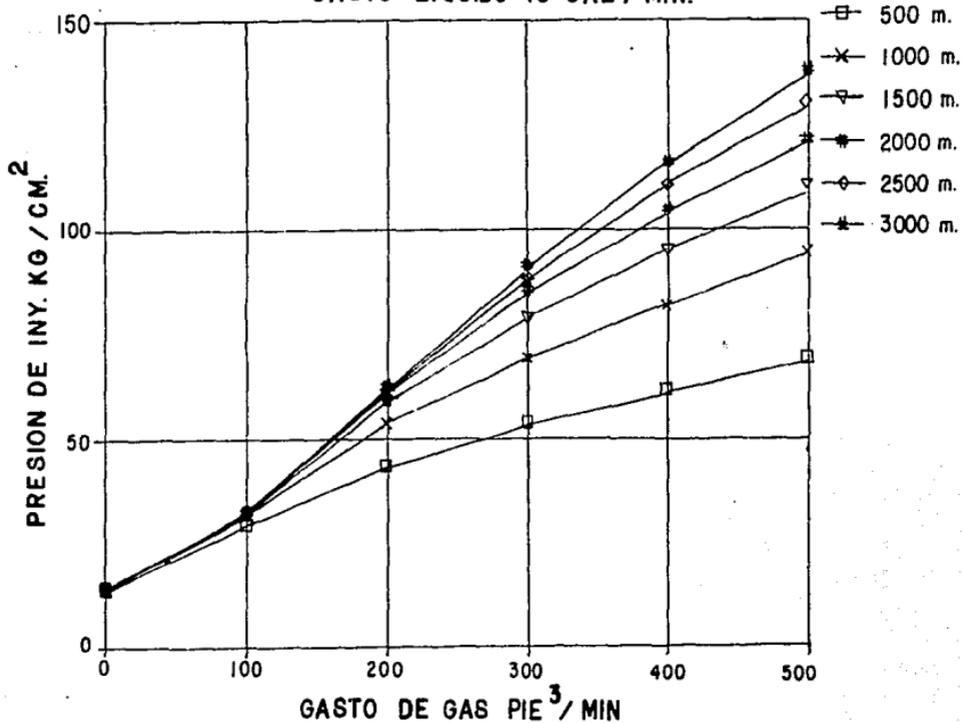
2.- Determinación del gasto de inyección:

- a) Con el gasto de líquido determinado en el paso anterior, se seleccionará la gráfica correspondiente de gasto de gas -Vs- presión de inyección, gráficas de 1 a 5.

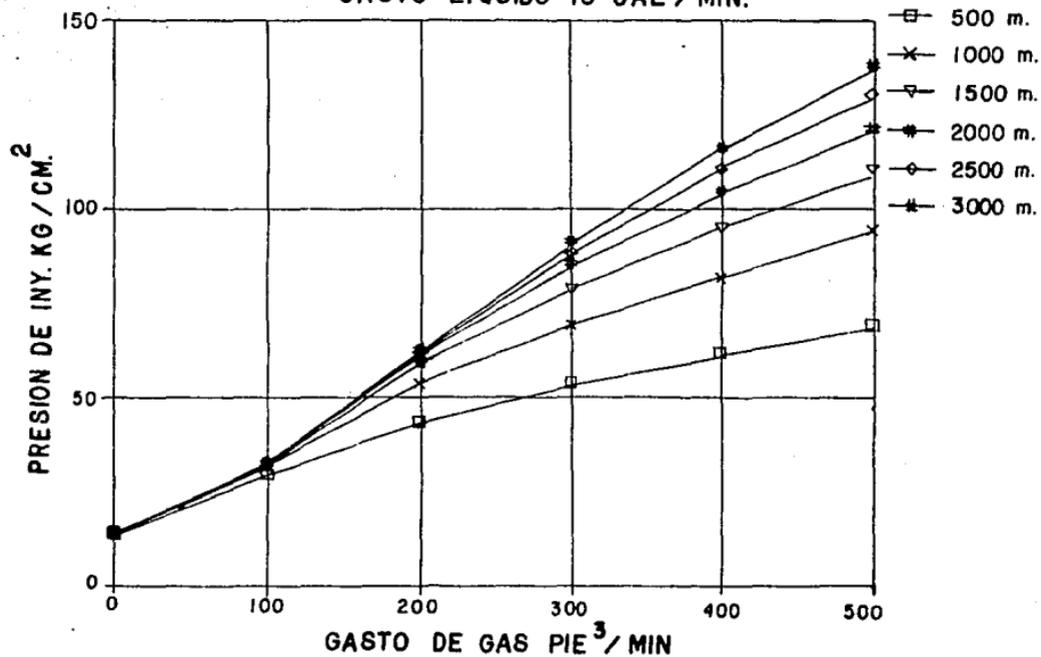
En el eje de las ordenadas, se entra en la presión de inyección máxima disponible, hasta intersectar la curva correspondiente a la profundidad total de circulación y se baja verticalmente - hasta intersectar el eje de las abscisas, donde se leerá el gasto necesario en pie³/min. Si éste resulta mayor al proporcionado por el equipo, repetir el paso anterior, hasta que esté dentro de tolerancia. Si desea optimizar la calidad de la espuma en el fondo, recurrir a la gráfica de gasto de gas -Vs- calidad correspondiente al gasto de líquido (gráficas 11 a 15), y ver si la calidad de la espuma está dentro del rango requerido; si no,-

GRAFICA 1

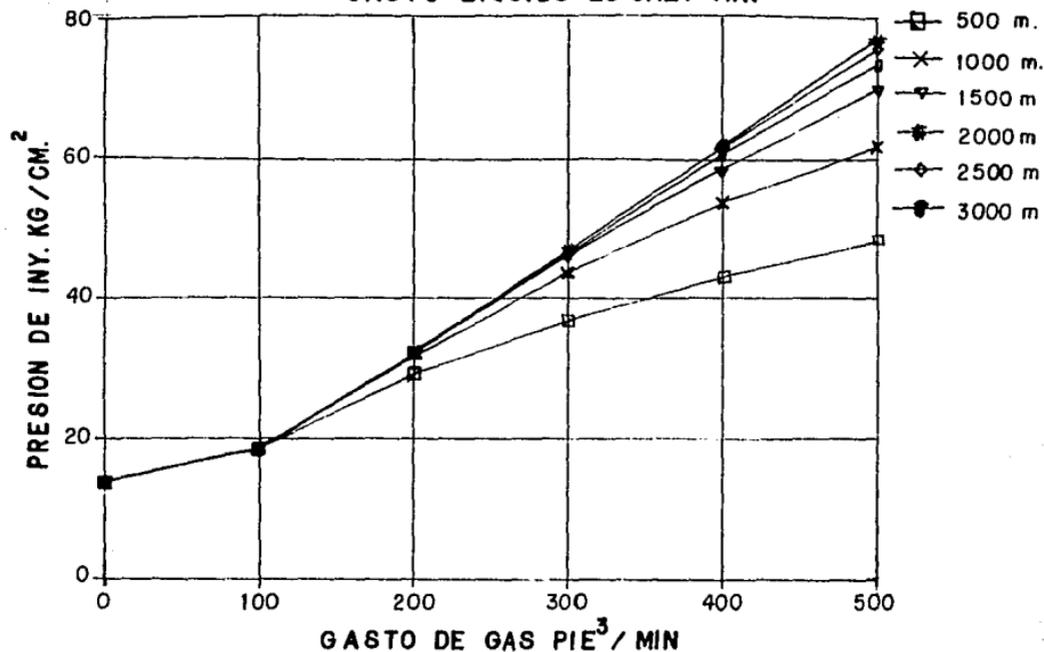
GASTO LIQUIDO 10 GAL / MIN.



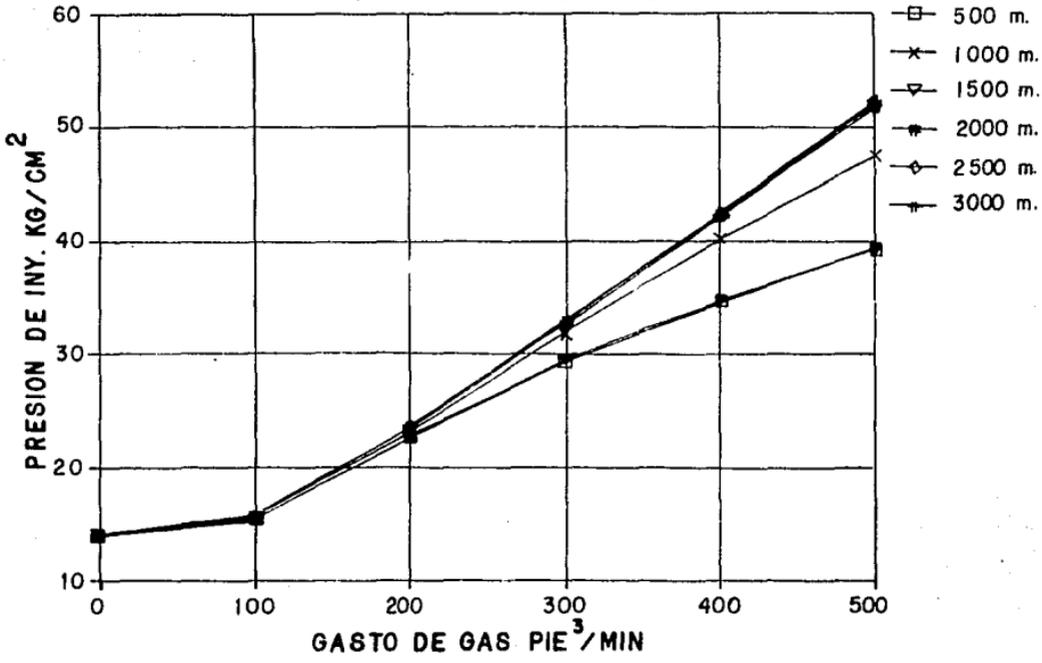
GRAFICA 1
GASTO LIQUIDO 10 GAL / MIN.



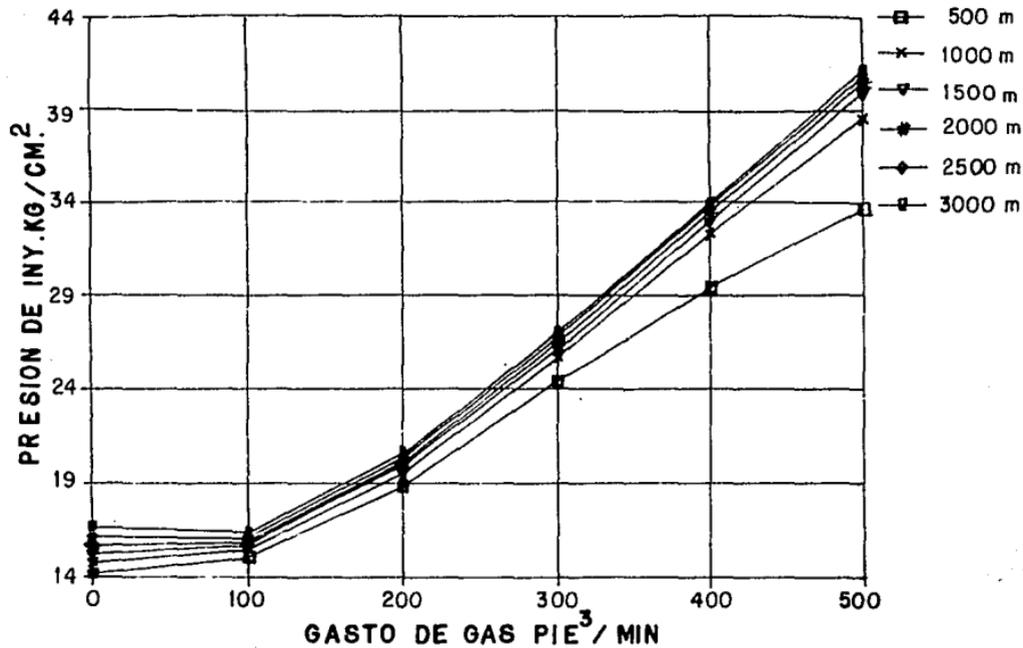
GRAFICA 2
GASTO LIQUIDO 20 GAL / MIN



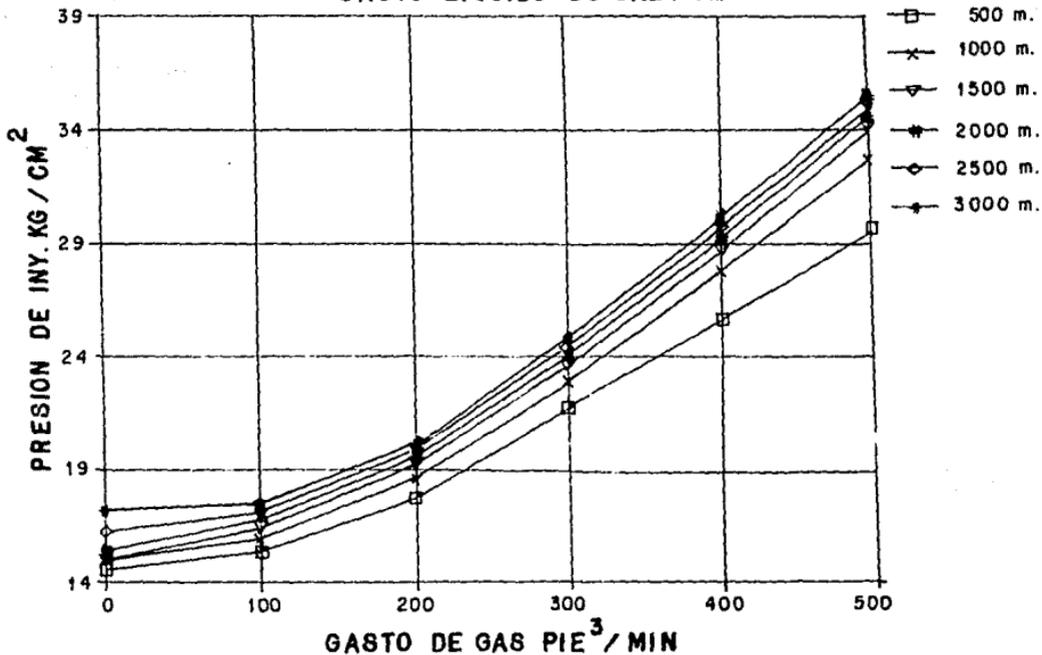
GRAFICA 3
GASTO LIQUIDO 30 GAL / MIN



GRAFICA 4
GASTO LIQUIDO 40 GAL/MIN



GRAFICA 5
GASTO LIQUIDO 50 GAL / MIN



suponer otro valor de gasto de líquido al gasto de líquido al inicio del paso 2. Si no se desea optimizar la calidad, continuar con el inciso (b).

- b) Una vez determinado el gasto de gas y líquido, escoger la gráfica de gastos de gas -Vs- presión de fondo correspondiente al gasto del líquido (gráficas 6 a 10), entrar en el eje de abscisas con el gasto de gas y subir verticalmente hasta intersectar la profundidad y luego horizontalmente a la izquierda, hasta intersectar el eje de las ordenadas donde se leerá la presión de fondo.

Si esta presión de fondo está dentro de los requerimientos, se continuará con el siguiente paso; si no, regresar al paso 2.

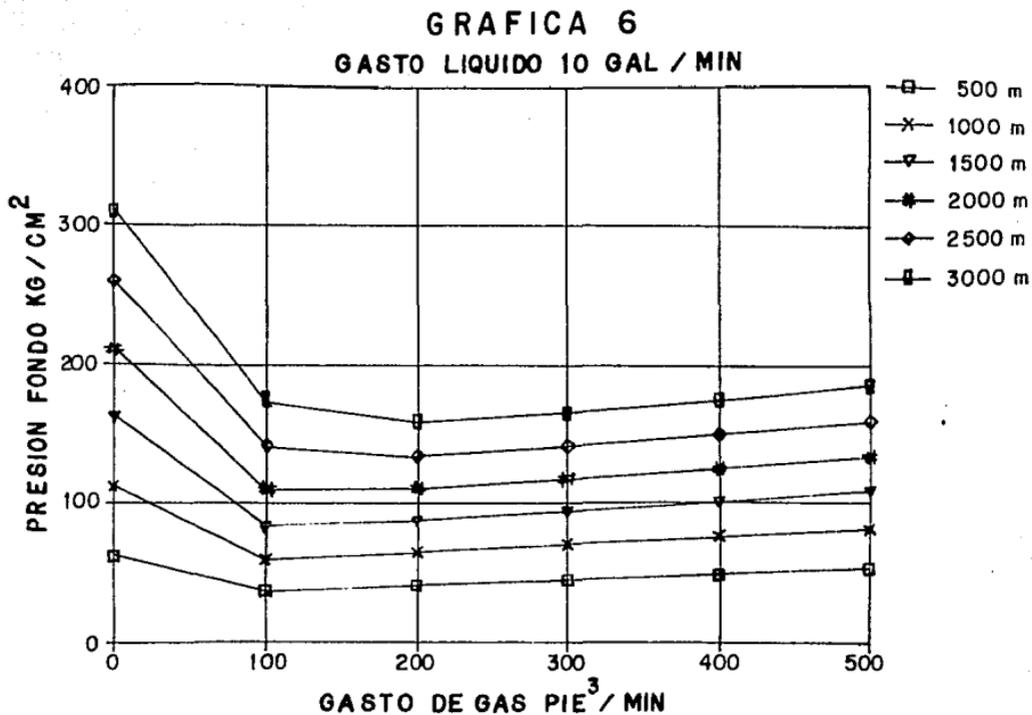
3.- Construcción gráfica del perfil de presiones:

En papel milimétrico, se traza un sistema coordenado X, Y; considerando el eje de ordenadas negativo, como el de profundidades y el eje de abscisas, como de presiones.

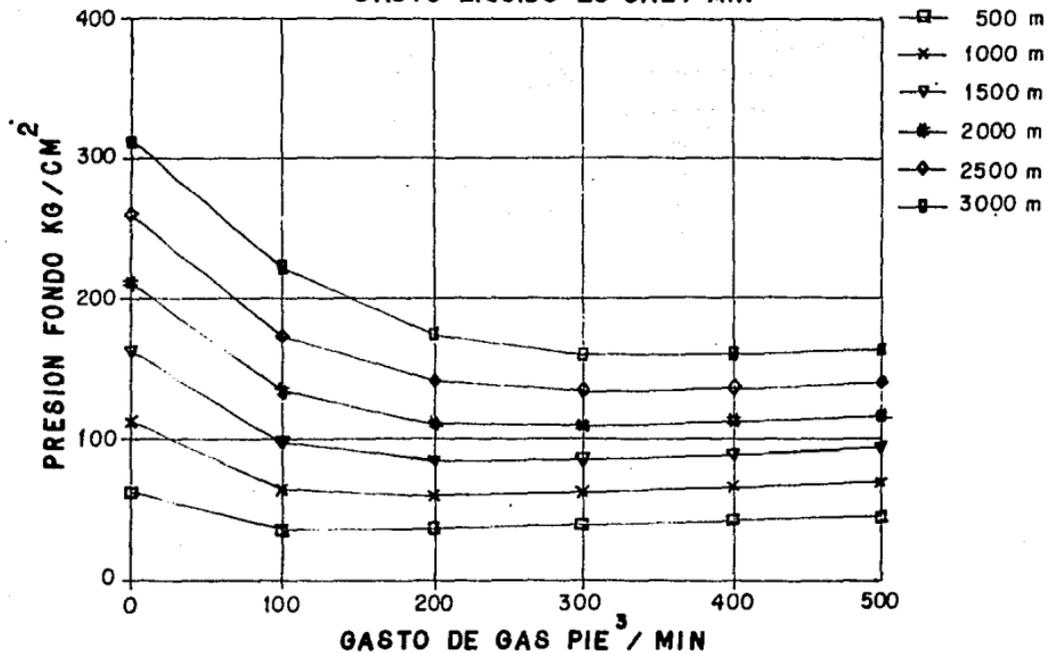
- a) Trazo de Gradiente Estático:

Se traza el punto de profundidad del nivel estático sobre el eje negativo "Y", posteriormente, también el punto correspondiente a la presión de fondo, a la profundidad total de circulación, unidos los dos puntos se tendrá el perfil estático.

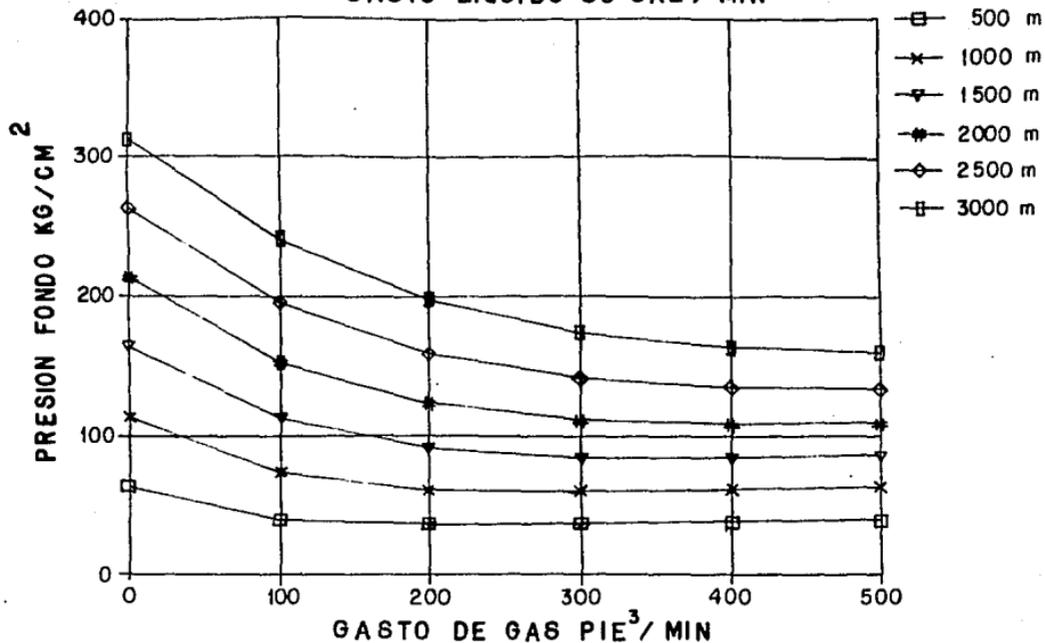
- b) Trazo del gradiente de la espuma en el espacio anular:

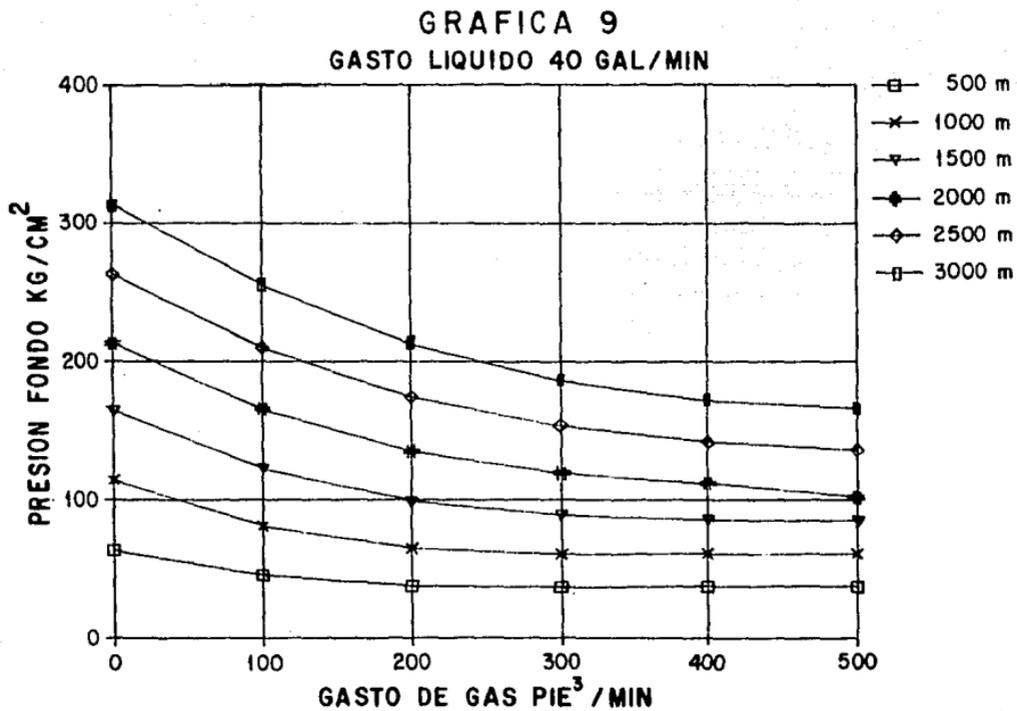


GRAFICA 7
GASTO LIQUIDO 20 GAL / MIN

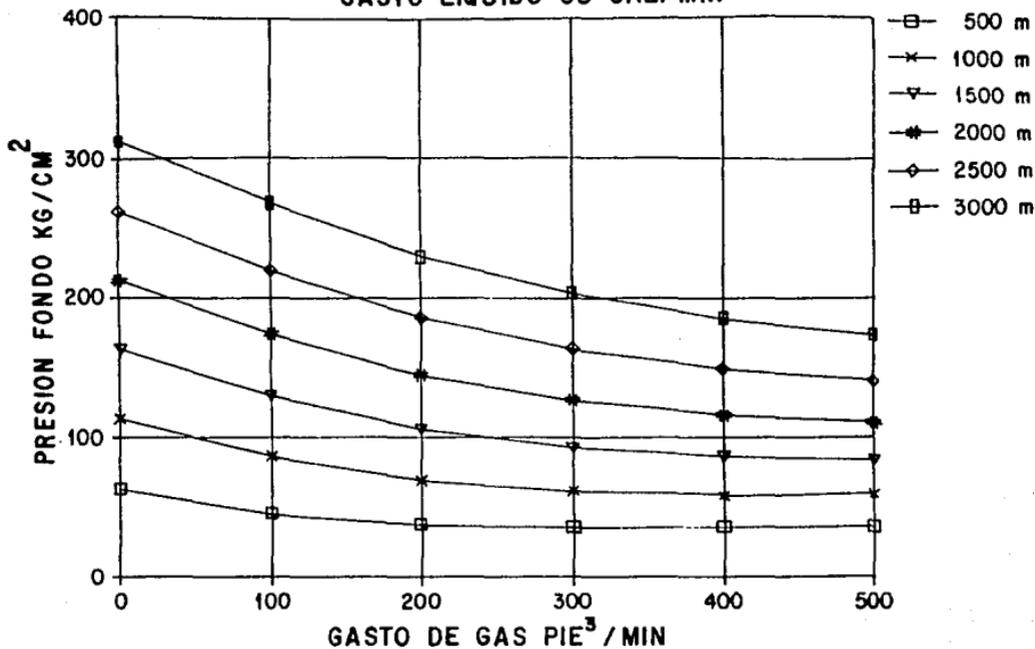


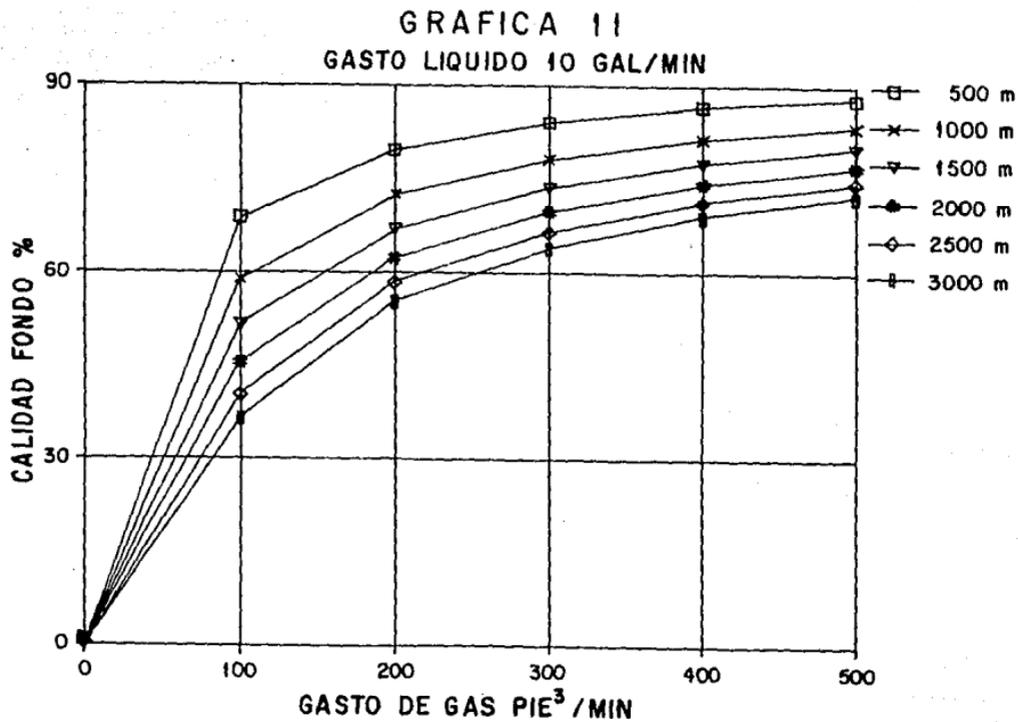
GRAFICA 8
GASTO LIQUIDO 30 GAL / MIN

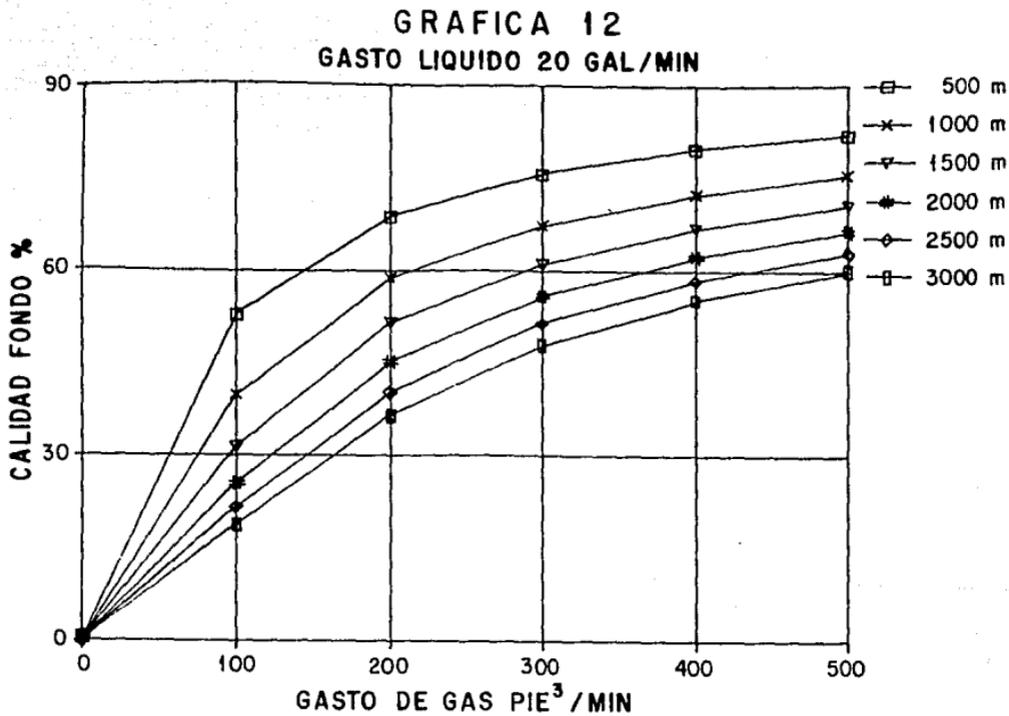




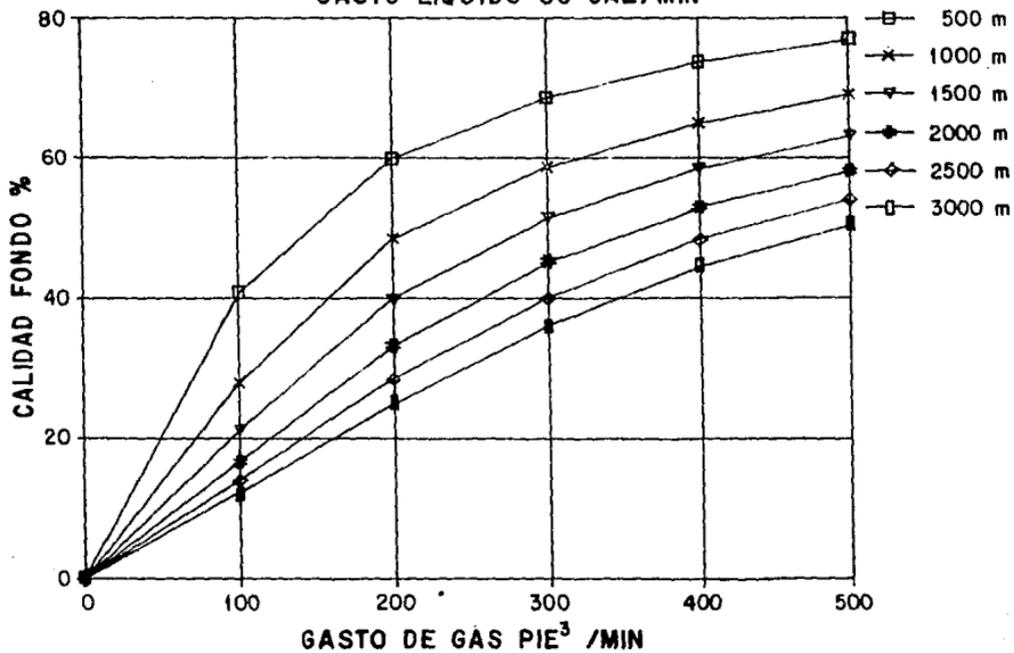
GRAFICA 10
GASTO LIQUIDO 50 GAL/MIN



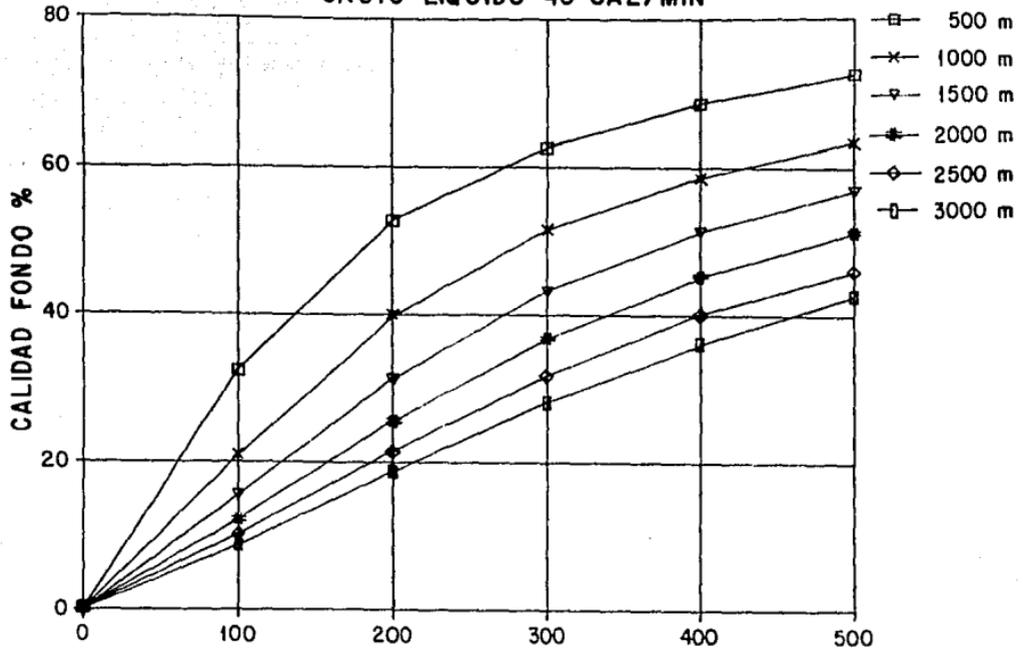


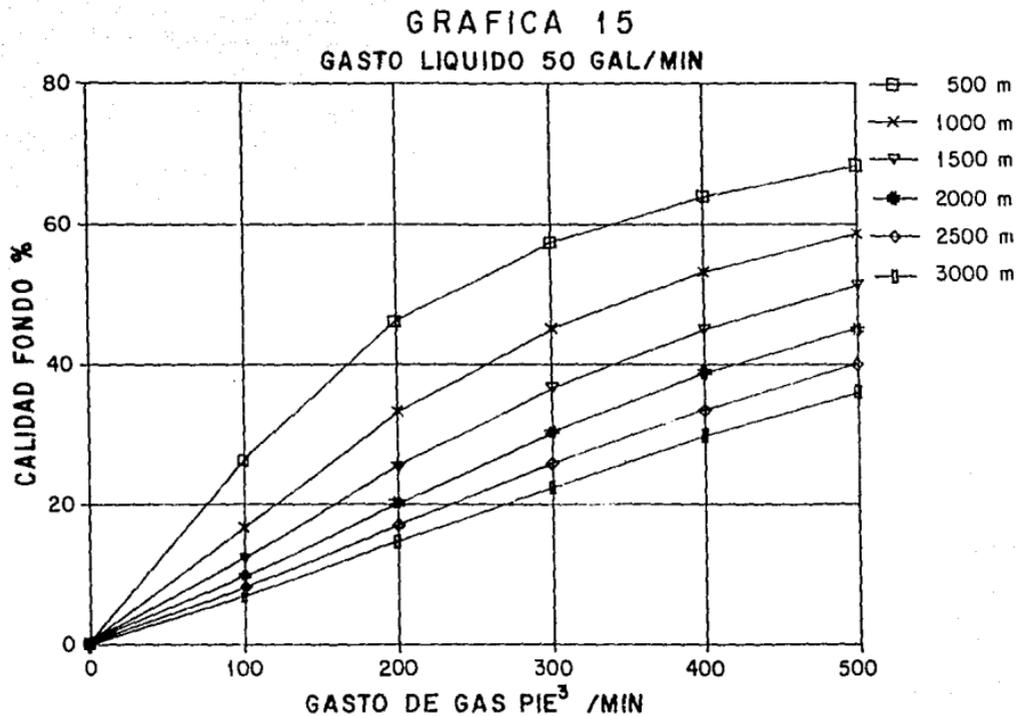


GRAFICA 13
GASTO LIQUIDO 30 GAL/MIN



GRAFICA 14
GASTO LIQUIDO 40 GAL/MIN





- Iniciando de la superficie, se traza el punto correspondiente a la descarga del pozo, considerando profundidad cero y la contrapresión en la descarga.

- Posteriormente, se trazan los puntos necesarios para definir el perfil, obteniéndolos de la gráfica de presión de fondo -Vs- gasto de gas correspondiente al gasto de líquido (gráficas 6 a 10).

4.- Determinación de las etapas de circulación:

Con la gráfica construída anteriormente, se determina la primera etapa de circulación.

- a) Se ubica la presión de inyección en el eje de abscisas y se baja verticalmente hasta intersectar el gradiente estático y luego horizontalmente, a la izquierda, hasta intersectar el eje de profundidades, en este punto estará definida la profundidad de la primera etapa de circulación.

Determinación de las etapas subsecuentes.

- b) Del punto de intersección del gradiente estático con la presión de inyección definido en el paso anterior, se traza horizontalmente, a la derecha, una recta hasta intersectar el gradiente de la espuma y posteriormente, hacia abajo hasta intersectar el gradiente estático.

Si existe un factor de corrección mayor de 0 %, se trazará hacia la izquierda de la intersección del inciso (b), el valor de presión correspondiente de multiplicar el factor de corrección en fracción por la presión de inyección. Se subirá verticalmente hasta intersectar nuevamente el gradiente estático, luego a la izquierda una recta horizontal, hasta intersectar el eje de profundidad, donde se tendrá la profundidad de la segunda etapa.

Si el factor de corrección es cero, directamente a la izquierda en el eje de ordenadas se leerá la profundidad de dicha etapa, eliminando el paso del párrafo anterior.

Las etapas subsecuentes, se determinarán repitiendo el paso anterior, tantas veces como sea necesario, hasta alcanzar la profundidad total de circulación.

Si la profundidad de la última etapa determinada es mayor que la total, se considerará ésta como la circulación.

C) DISEÑO DE UNA LIMPIEZA POR ETAPAS:

- a) Se tiene un pozo en el que se desea tener una calidad mínima en el fondo de 55 % y cuyos datos son los siguientes:

Estado Mecánico:

- T.P. 2 7/8", 6.5 Lb/pie, 1500 m. (D.I. = 2.441 Pg.)
- T.R. 6 5/8", 24 Lb/pie (D.I. = 5.921 Pg.) a 1600 m.
- Profundidad interior = 1600 m.

- Densidad de gas = 0.65 (aire = 1.0)
- Densidad de líquido = 1.0 gr/cm³.
- Temperatura superficial = 27°C.
- Gradiente de temperatura = 2.73°C/100 m.
- Presión máxima de inyección disponible = 70 Kg/cm².
- Presión de fondo = 90 Kg/cm².
- Profundidad del nivel estático = 440 m.
- Gasto máximo de líquido = 50 gal/min.
- Factor de corrección = 0 %

Considerando la recomendación que la relación gas-líquido de inyección $RGL = Q_g (\text{pie}^3/\text{min})/Q (\text{gal}/\text{min})$, debe estar entre 3 y 50 pie³/gal y si elegimos una RGL de 20 pie³/min., obtenemos un gasto de líquido de 20 gal/min., este gasto determinado corresponde a la gráfica 2; entrando con la presión de inyección de 70 Kg/cm². encontramos que el gasto necesario de gas es de 500 pie³/min..

Puesto que se desea obtener una calidad mínima en el fondo de 55 % de la gráfica 12, con los gastos obtenidos, se tiene una calidad aproximada de 70 %, valor que supera ampliamente el mínimo requerido. Posteriormente se determina la presión de fondo con la gráfica 7 y vemos que es igual a la presión estática, por lo que habrá equilibrio.

Con los datos obtenidos se traza el gradiente estático en papel milimétrico como se ve en la gráfica 16, así como el gradiente de la espuma en el espacio anular con los datos de la gráfica 7, y se determinan las etapas de circulación de acuerdo al procedimiento general descrito anteriormente, proporcionando los siguientes resultados en las etapas de circulación:

<u>Núm. de Etapa</u>	<u>Profundidad (m.)</u>	<u>Presión (Kg/cm².)</u>
1	1265	77.5
2	1355	82.5
3	1410	85.5
4	1450	88.0
5	1470	89.0
6	1500	90.0

- b) Refiriéndonos al mismo ejemplo anterior, se desea optimizar el gasto de gas con objeto de que el costo sea menor.

Considerando el mismo gasto de líquido en (a) y entrando a la gráfica 12 de calidad -Vs- gasto de gas, para una calidad mínima de 55 %, se tendrá un gasto de gas de 250 pie³/min.

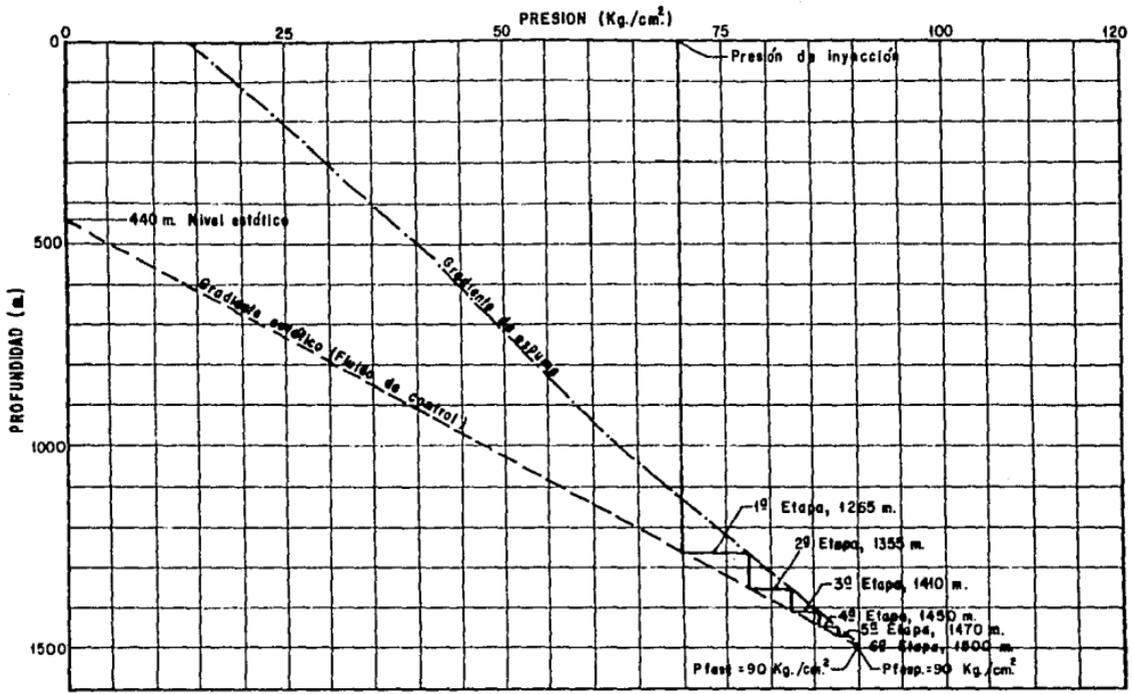
Mediante la gráfica 2 de presión de inyección - -Vs- gasto de gas, se tendrá una presión de inyección para la profundidad total de 40 Kg/cm²..

La presión de fondo, que se obtiene con los gases determinados anteriormente, es de 90 Kg/cm²., valor igual a la presión estática.

En la gráfica 17 se construyeron los perfiles de presión y se determinaron las etapas de circulación, obteniendo los siguientes resultados:

GRAFICA 16 EJEMPLO DE APLICACION

73

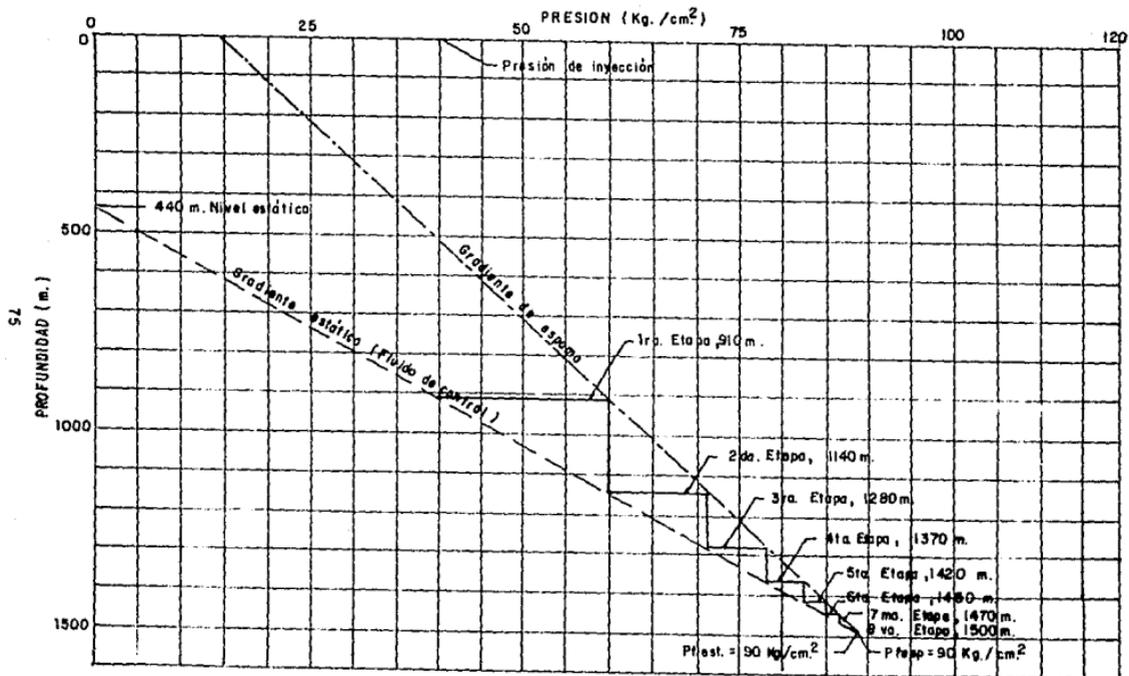


Etapas de Circulación:

<u>Núm. de Etapa</u>	<u>Profundidad (m.)</u>	<u>Presión fondo (Kg/cm².)</u>
1	910	60.0
2	1140	71.0
3	1280	79.0
4	1370	83.5
5	1420	86.0
6	1450	88.0
7	1470	89.0
8	1500	90.0

GRAFICA No. 17

EJEMPLO DE APLICACION



VI.- APLICACIONES PRACTICAS EN EL DISTRITO POZA RICA:

A) LIMPIEZA A POZOS:

Es muy frecuente que en las zonas petroleras donde - los yacimientos son explotados mediante métodos artificiales de producción, y dada la baja presión de fondo, debido a la explotación constante que han tenido durante un largo periodo de tiempo, encontrar pozos con problemas de obstrucción en su intervalo productor; por acumulación excesiva de herrumbre, asentamiento de sólidos procedentes del fluido de control que se utilizó durante la reparación del pozo, arenamientos, etc..

Para la programación de una intervención con espuma - en la limpieza de un pozo, es necesario conocer la siguiente información:

- Historia del pozo.
- Presión de fondo estática y temperatura superficial.
- Profundidad total.
- Intervalo y/o intervalos productores.
- Tuberías de revestimiento.
- Aparejo de producción.
- Sistema de producción.
- Estado actual del pozo.

Limpieza con Espuma al Pozo Mecatepec N° 78

Inicialmente este pozo se explotaba por el sistema de producción de bombeo neumático, se convirtió a sistema de bombeo mecánico, debido a que su ubicación se encuentra en zona urbana.

Después del cambio de sistema, se efectuó una intervención con equipo de reparación de pozos, debido a problemas en el aparejo subsuperficial, donde se efectuó limpieza con espuma. La producción anterior a la falla de la instalación subsuperficial era de 10 m³/día, lográndose restituir inicialmente con la intervención a 30 m³/día, para estabilizarse con 16 m³/día.

Durante el control del pozo en la intervención, se notó que el fluido acarrea partículas sólidas como: sulfuros y carbonatos, por lo que se decidió efectuar la limpieza con espuma.

Datos y Estado Mecánico del Pozo:

Profundidad total 2227 m.
Intervalo productor 2188-2195 m.
Tubería de revestimiento... 6 5/8", N-80, 28 Lbs/pie
Tubería de producción 2 7/8", J-55, 6.5 Lbs/pie
Sistema de producción Bombeo mecánico
Estado actual No fluye

- Con el equipo de reparación primeramente se recuperó el aparejo de producción, el pozo se controló con fluido de baja densidad de 0.86 gr/cm³. y no se obtuvo circulación durante el control.

- Se metió al pozo la tubería de producción llevando en el extremo inferior un niple de "aguja" (tiene un corte en la punta de 45°).
- Se instaló la unidad preformadora de espuma junto a las presas del equipo de reparación, se conectó a la línea de gas del sistema de inyección de bombeo neumático (si no existe, se utiliza una unidad de nitrógeno); a la línea de inyección al pozo y descarga a la batería.
- En las presas de la unidad preformadora de espuma con auxilio de la bomba centrífuga, se mezcló el agua y el espumante, esta mezcla pasó al generador donde con el gas se generó la espuma. Se realizaron pruebas hasta lograr la calidad de la espuma deseada.
- Se procedió a inyectar la espuma en forma directa (de T. P. a T.R.), de acuerdo al diseño de bombeo, chequeando la calidad de la espuma cada 10 minutos mediante muestras que se tomaron en una de las salidas laterales del ensamble de estrangulación de la unidad generadora.
- Una vez establecida la circulación del pozo, se desplazó el volumen del fluido de control de la T.P. y espacio anular a una presión constante. Se continuó circulando espuma hasta obtener la misma calidad de entrada y de salida, se suspendió el bombeo dejando el pozo fluyendo espuma a la batería con una presión de 20 Kg/cm²., se observó franca a la batería hasta depresionarse totalmente.
- Después de haber lavado, se controló con fluido de baja densidad (0.86 gr/cm³.), se sacó la tubería con niple de aguja y se introdujo el aparejo de producción diseñado por el Departamento de Ingeniería de Producción.

Datos de Operación:

Presión de inyección	21-49	Kg/cm ² .
Gasto de inyección	275	Lts/min.
Volumen total de agua	50	m ³ .
Volumen total de espumante	600	Lts.
Volumen total de nitrógeno	2189	m ³ .
Tiempo de operación	3:30	Hrs.

B) CAMBIO DE FLUIDOS:

En la reparación de pozos, una de las operaciones finales en la intervención al pozo, es el cambio de fluidos. Debido a que el peso de la columna hidrostática ocasionada por el fluido de control es mayor que la presión del yacimiento, para inducir el pozo después de haber introducido el aparejo de producción e instalado el árbol de válvulas, se hace necesario aligerar la columna con un fluido de baja densidad que permita la inducción y a la vez una limpieza al pozo y accesorios del aparejo de producción. Es común que en el Distrito Poza Rica, todas las reparaciones - sean mayores o menores, al inducir los pozos se utilice la espuma como un fluido que permite ofrecer al yacimiento - una presión diferencial en favor del mismo. A su vez y dadas sus características propias, resulta un fluido más confiable, seguro y económico que otros fluidos de inducción, como son: Diesel, kerosina, nitrógeno, etc..

Cambio de Fluidos al Pozo Escolín N° 223

Este pozo produce con el sistema de producción de bombeo neumático, al presentarse pase de gas a través de la válvula operante por calzamiento con partículas sólidas, se programó su intervención con equipo de reparación y terminación de pozos.

El aparejo de producción antes de la intervención, era del tipo sencillo con empacador recuperable y válvulas de gas Lift.

Datos del Pozo y Estado Mecánico:

Profundidad total	2569 m.
Intervalo	2459-2467 m.
Tubería de revestimiento	6 5/8", N-80, 28 Lbs/pie
Tubería de producción	2 7/8", J-55, 6.5 lb/pie
Válvulas Inpamex distribuidas	de 405 a 2124 m.
Camisa Otis "XD" 2 7/8" a:	2427 m.
Empacador R-3-A5 6 5/8" a:	2440 m.
Niple campana de 2 7/8" a:	2447 m.

Este pozo se intervino en mayo de 1988 para cambiar el aparejo de producción, debido a problemas en las válvulas. Se controló con salmuera sódica de 1.02 gr/cm³. y se recuperó el aparejo.

Después de haberse escariado la T.R. 6 5/8" a 2450 m., e introducido el aparejo de producción y con el árbol de válvulas colocado, se instaló la unidad generadora de espuma. Conectadas las líneas, por circulación directa (de T.P. a T.R.), se procedió a desplazar el volumen de la tu-

bería de producción a través de la camisa deslizante abierta (2427 m.) y el volumen del espacio anular, hasta que la calidad de la espuma de entrada fué la misma que la de salida. Una vez hecho el cambio de flujos, se cerró el pozo, quedando represionado, para que posteriormente la unidad de línea de acero cerrara la camisa, quedando el pozo listo para ser inducido con inyección de gas.

Datos de operación:

Presión de inyección	—————	35-45	Kg/cm ² .
Gasto de inyección	—————	256	Lts/min.
Volumen total de agua	—————	50	m ³ .
Volumen total de espumante	—————	600	Lts.
Tiempo de operación	—————	3:15	Hrs.

C) ASPECTO ECONOMICO:

Uno de los conceptos más importantes en la ingeniería petrolera, es lo referente a los costos que se realizan al intervenir los pozos para restituir y/o incrementar la producción de hidrocarburos.

Se hace una evaluación económica para una intervención con unidad generadora de espuma y otra con unidad de tubería flexible, destacándose los costos para cada una de ellas.

COSTOS COMPARATIVOS PARA UNA INTERVENCION CON GENERADOR DE ESPUMA
Y OTRA CON TUBERIA FLEXIBLE, DE UNA LIMPIEZA A POZO

<u>C O N C E P T O</u>	<u>UNIDAD GENERADORA</u>	<u>TUBERIA FLEXIBLE</u>
Transportación de unidad	\$ 300,000.00	-
Costo de equipo por día	500,000.00	-
 <u>Materiales:</u>		
- 600 Lts. IMP-EP-302	\$ 4'800,000.00	-
- 2,200 m ³ . de N ₂	2'611,400.00	-
- 400 Lts. Nalco	-	\$ 1'700,000.00
- 21 m ³ . de Diesel	-	9'450,000.00
 Costo servicio Cía. N ₂	 \$ 2'372,831.00	 -
4 Pipas de 8 m ³ . c/u	-	\$ 1'000,000.00
Unidad de alta presión	-	500,000.00
Costo servicio unidad T.F./día	-	<u>3'534,484.00</u>
 T O T A L :	 <u>\$ 10'584,231.00</u>	 <u>\$ 16'184,484.00</u>

COSTOS COMPARATIVOS PARA UN CAMBIO DE FLUIDO
CON GENERADOR DE ESPUMA Y OTRA CON TUBERIA FLEXIBLE

<u>C O N C E P T O</u>	<u>UNIDAD GENERADORA</u>	<u>TUBERIA FLEXIBLE</u>
Transportación de unidad	\$ 300,000.00	-
Costo equipo por día	500,000.00	-
 <u>Materiales:</u>		
- 600 Lts. IMP-EP-302	\$ 4'800,000.00	-
- 2,050 m ³ . de N ₂	2'433,350.00	-
- 12 m ³ . de kerosina	-	\$ 4'020,000.00
 Costo servicio Cía. N ₂	 \$ 2'372,831.00	 -
3 pipas de 8 m ³ . c/u	-	\$ 750,000.00
Unidad de alta presión	-	500,000.00
Costo servicio unidad T.F./día	-	3'534,484.00
T O T A L :	<u>\$ 10'406,181.00</u>	<u>\$ 8'804,484.00</u>

De los resultados del análisis económico, se tiene - para una limpieza a pozo con unidad generadora de espuma, - los costos de operación son menores que si se utilizara tu bería flexible.

Sin embargo, para un cambio de fluidos, el costo de - operación es ligeramente mayor con unidad generadora de es puma.

La operación en sí, resulta más completa con genera-- dor de espuma, dado que el cambio se hace a través de una camisa de circulación, dejando tanto el espacio anular, co mo el interior de la T.P. con fluido espuma, no así con tu bería flexible, donde el cambio de fluido se hace a través de la T.P., dejando el espacio anular con el fluido de con trol que en ocasiones resulta pesado para la operación de las válvulas de inyección de gas Lift.

VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

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

- En el Distrito Poza Rica, se encuentran pozos con una vida productiva de muchos años, debido a esto, las tuberías de re vestimiento y aún las de producción presentan desgaste por corrosión y uso en forma de óxido de fierro (sulfuros), que se precipitan al fondo del pozo, obstruyendo el flujo normal de los hidrocarburos.

Muchos de estos sólidos son desplazados en el control del pozo, sin embargo en áreas depresionadas, es necesario efectuar limpiezas con espuma, para eliminar los sólidos y mejorar la producción del pozo.

- El uso de espuma en pozos depresionados nos ayuda a eliminar el problema de sólidos, evitando el daño a la formación. Además, en pozos que producen con bombeo neumático, alargan la vida del aparejo de producción.
- Básicamente se efectúan dos tipos de intervenciones a los pozos; aquella que nos permite eliminar sólidos del fondo del pozo (lavado con espuma) y otra que al cambiar la columna hi drostática del fluido, permite inducir a producción el pozo (cambio de fluido).
- Es importante tener en condiciones el sistema de medición de gastos de gas y líquido, así como el registro de las presiones de inyección y descarga, con el objetivo de tener el con trol de la calidad y viscosidad de la espuma programado.

- El conocimiento del programa, la correcta ejecución del mismo y la experiencia en el área son fundamentales para el éxito de la operación.

RECOMENDACIONES :

Para programar y efectuar una operación con espuma, las siguientes recomendaciones son de gran importancia:

- 1.- Conocer las características del yacimiento, del fluido de control, calidad y reología de la espuma; así como el estado mecánico del pozo.

Es conveniente efectuar pruebas de laboratorio con la espuma y los posibles contaminantes que se esperan encontrar para prevenir su inhibición.

- 2.- Del análisis de las gráficas, para las geometrías que se presentan en las operaciones de limpieza, se hacen las siguientes recomendaciones en forma general:

- Tratar de usar siempre el menor gasto de líquido y mayor de gas, con el fin de tener una calidad de espuma aceptable en el fondo.
- Aplicar la mínima contrapresión posible en la descarga, ya que al aumentar, disminuyen la calidad y la capacidad de acarreo en el fondo, resultando mayores requerimientos de potencia.

- 3.- Usar aire o gas natural siempre que sea posible, con el fin de abatir el costo de la operación.

4.- Es recomendable usar el equipo estrictamente necesario al área de aplicación, con el fin de optimizar su costo.

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

- | | | |
|--|--|------|
| 1.- USE OF PREFORMED STABLE FOAM
IN LOW PRESSURE RESERVOIRS -
WELLS | Anderson Glen W.
Presentada en la 5th Offshore
South East Asia, Singapore
February 21-24 | 1984 |
| 2.- STABLE FOAM SPEEDS WELL - -
CLEANOUT | Hutchison Stanley O.
Word oil
Noviembre | 1969 |
| 3.- VISCOSITY OF FOAM | Mitchel B.J.
PH D. Dissertation
University of Oklahoma | 1969 |
| 4.- FLOW BEHAVIOR OF FOAM AS A -
WELL CIRCULATING FLUID | Beyer A.H. And Millhone, R.S.
SPE-3986, presentada en la
47 th. Annual Fall Meeting
San Antonio
Oct. 8-11 | 1972 |
| 5.- ESTUDIO DE FLUIDOS DE REPARA
CION A BASE DE ESPUMAS | Instituto Mexicano del Petróleo
Proyecto D-354-A, Informe de
Avance No. 7 I.M.P. | 1978 |
| 6.- APLICACION DE ESPUMAS ESTAB--
LES EN LA CIRCULACION DE PO
ZOS DE BAJA PRESION DE FONDO | Leyva Torres H., Silva L.P.
y Casariego G. Vicente
Presentado en el VII Congreso
Nacional de la A.I.P.M. - México
Mayo | 1979 |
| 7.- FLUJO MULTIFASICO EN TUBERIAS | Instituto Mexicano del Petróleo
Publicación No. 80-EM/287
Subdirección de Explotación
México | 1980 |