

16
2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE BOMBEO
NEUMATICO INTERMITENTE

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO PETROLERO
P R E S E N T A :

JUAN PABLO MARTINEZ CHONG



MEXICO, D. F.

1992

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE BOMBEO NEUMATICO INTERMITENTE

CAPITULO I

INTRODUCCION

CAPITULO II

DESCRIPCION DEL SISTEMA

II.1 Mecanismo de levantamiento de liquidos.....	4
II.2 Resbalamiento de liquido.....	7
II.3 Registros de presión reales.....	11
II.4 Inyección de gas en la superficie.....	18
II.4.1 Inyección por estrangulador.....	20
II.4.2 Inyección por interruptor.....	22
II.5 Aportación de fluidos de la formación.....	22
Recomendaciones para la optimización del sistema.....	23

CAPITULO III

CONTRAPRESION EN EL CABEZAL DEL POZO

III.1 Presión del separador.....	26
III.2 Línea de descarga.....	27
III.3 Cabezal del pozo.....	28
Recomendaciones para la optimización del sistema.....	29

CAPITULO VII

OPERACION DEL SISTEMA

VII.1 Proceso de descarga del fluido de control.....	56
VII.2 Porcentaje de agua.....	58
VII.3 Número de ciclos por día.....	59
VII.4 Velocidad de ascenso del bache.....	62
Recomendaciones para la optimización del sistema.....	63

CAPITULO VIII

DIAGNOSTICO DE PROBLEMAS

VIII.1 Operación correcta.....	67
VIII.2 Fugas de gas.....	70
VIII.3 Restricciones en T.P.....	71
VIII.4 Interferencia entre válvulas.....	73

CONCLUSIONES

NOMENCLATURA

BIBLIOGRAFIA

CAPITULO I

INTRODUCCION

Aún cuando el sistema de bombeo neumático intermitente ha sido empleado por la Industria Petrolera, como un método efectivo de levantamiento artificial, durante muchos años; pocos trabajos de investigación se han desarrollado, para tratar de simular el fenómeno de levantamiento de baches de líquido, impulsados por gas, a relativamente alta presión.

La necesidad de contar con un simulador del mecanismo de levantamiento de baches de líquido, obedece a la necesidad de disponer de métodos analíticos más precisos para llevar a cabo tanto el diseño de las instalaciones como el análisis de las condiciones de operación de las mismas.

A pesar de que en la actualidad se dispone de algunos modelos de simulación del fenómeno, (7-14) el diseño y análisis de las instalaciones de bombeo neumático intermitente se efectúan empleando métodos puramente empíricos. Por tal motivo la optimización de una instalación

de bombeo neumático intermitente no puede lograrse en su totalidad, por la carencia de procedimientos analíticos más precisos para llevar a cabo los diseños.

Una vez que el aparejo de bombeo neumático se ha introducido al pozo, es poco lo que se puede hacer para optimizar su operación, sobre todo cuando se emplean válvulas convencionales.

Cuando en una instalación se emplea estrangulador o válvula de aguja en la superficie como sistema de control del gas de inyección, es extremadamente importante la selección del tamaño del orificio de control de la válvula operante, ya que el diámetro del orificio involucra el volumen de gas que se inyectará por ciclo. En consecuencia si se selecciona un tamaño de orificio más pequeño del que requiere la instalación, éste operará con deficiencia en el volumen de gas inyectado. Por el contrario si se selecciona un diámetro de orificio mayor al que se requiere, la instalación manejará un exceso en el volumen de gas inyectado por ciclo. No obstante las deficiencias que se tienen en el diseño, por el empleo de procedimientos empíricos, en algunos casos es posible adecuar las instalaciones a las características de aportación de fluidos de los pozos. Es decir de alguna manera el aparejo de bombeo neumático ya introducido al pozo se puede optimizar en la medida de lo posible.

Ha sido el propósito de esta tesis proporcionar al ingeniero de campo de un manual práctico que permita tomar acción

inmediata en la optimización de las instalaciones de bombeo neumático intermitente.

Para ello se consideró conveniente hacer una descripción detallada del mecanismo de levantamiento de líquidos, a fin de definir las variables más importantes que intervienen en el fenómeno y que de una u otra forma se puede llevar un control de las mismas con el propósito de lograr operaciones más eficientes del sistema.

Al final de cada capítulo se dan las recomendaciones y se mencionan los aspectos más relevantes que deben vigilarse para lograr la optimización.

CAPITULO II

DESCRIPCION DEL SISTEMA

Uno de los sistemas artificiales de producción, utilizado para el levantamiento de fluidos en pozos de baja producción, es el bombeo neumático intermitente. El sistema consiste en inyectar gas a la tubería de producción, a través de una de las válvulas instaladas en dicha tubería, para levantar una columna de líquido previamente formada, siendo el mecanismo de levantamiento de tipo balístico.

La ventaja del bombeo neumático sobre otros sistemas, es la facilidad para operar las instalaciones, ya que no se requiere de equipo sofisticado, pudiéndose emplear aún en pozos desviados sin que esto sea una limitante.

Es importante señalar que el gas utilizado no se pierde, ya que éste es recuperado en la batería de separación y reciclado.

11.1 MECANISMO DE LEVANTAMIENTO DE LIQUIDOS

Cuando la combinación de la presión del gas de inyección frente a la válvula operante, la presión hidrostática del

bache y la presión de calibración de la válvula de inyección alcanza un valor determinado, ésta abre y el gas es inyectado a la tubería de producción para efectuar el levantamiento del líquido acumulado. El gas pasa a la tubería de producción, impulsando el bache de líquido a la superficie, por la energía del gas. La Fig. II.1 ilustra el mecanismo de levantamiento.

Dado que el gas viaja a una velocidad aparentemente mayor que la velocidad del bache de líquido; éste tiende a penetrarlo provocando que parte del líquido penetrado se retrase y se integre a la corriente de gas en forma de pequeñas gotas, mientras que el resto resbala por la pared de la tubería en forma de una película anular. Véase Fig. II.1.

Cuando la presión en la tubería de revestimiento baja hasta la presión de cierre de la válvula operante la inyección de gas se suspende. Esto puede ocurrir durante el viaje del bache a la superficie, en el momento de la llegada del bache al cabezal, o durante el viaje al separador.

En el ciclo de producción del bache se presenta un periodo de estabilización en el cual las gotas de líquido del bache anterior caen al fondo del pozo formando parte del siguiente bache de líquido.

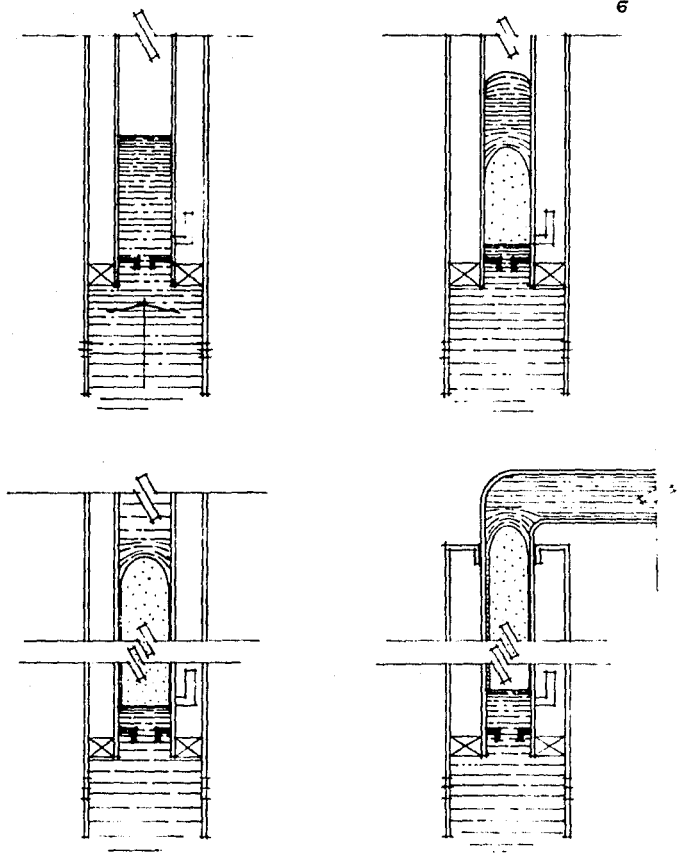


Fig. II. I Ciclo de Bombeo Neumático Intermitente

II.2 RESBALAMIENTO DE LIQUIDO

A la pérdida de líquido del bache impulsado por gas, se le llama resbalamiento. El resbalamiento se debe principalmente a que el gas viaja a una velocidad mayor que la del líquido, esto se debe a que, al ser menor la densidad y la viscosidad del gas, su movilidad es mayor originando que el gas se eleve a una mayor velocidad que la velocidad del bache.

Por otra parte en la interfase gas-líquido las fuerzas capilares se oponen a que el líquido sea penetrado; ya que en el vértice de la interfase el diámetro es más pequeño.

Al aumentar la penetración del líquido por el gas se forma una película de líquido en las paredes de la tubería la cual al engrosar y alcanzar un espesor apreciable, se desprende integrándose a la fase de gas. Puede suceder que el espesor de la película de líquido aumente a una magnitud tal, que llegue a obturar totalmente la tubería, creándose un nuevo bache de líquido. Este tipo de baches rotos se presenta con frecuencia en las instalaciones de neumático intermitente.

Es importante considerar la porción de líquido que fluye en forma de pequeñas gotas en la fase de gas, porque una cantidad apreciable de líquido es producido por arrastre del gas debajo del bache. Esta mezcla de gas-líquido no es posible recuperarla si la velocidad del gas debajo del bache no es lo suficientemente alta para arrastrar las partículas de líquido formadas.

El resbalamiento puede correlacionarse con la velocidad del gas, como se muestra en la Fig. 11.2, de ella puede observarse que a mayor velocidad del bache el resbalamiento es menor.

A. B. Neely et. al. (6), correlacionan el resbalamiento en función de la presión y la velocidad del gas. Como se puede observar en la Fig. 11.3, con valores mas altos de $\sqrt{P} V_g$ se tiene un menor resbalamiento.

La velocidad del gas promedio se calcula con la siguiente ecuación:

$$\bar{V}_g = \frac{V_s + V_{gb}}{2}$$

Con el valor del volumen de gas de inyección que pasa por la válvula operante, y con otros parámetros de diseño de la instalación de bombeo neumático intermitente, Neely establece una ecuación, con la que se puede calcular la velocidad del gas antes del punto de inyección:

$$V_{gb} = \frac{1}{A_c} \left(i_g \frac{P_{sc}}{P_{sb}} \frac{T_b}{T_{sc}} Z_b \right)$$

J. P. Brill et al. (7) en un intento por desarrollar una correlación general de resbalamiento aplicaron la técnica de análisis dimensional y correlacionaron grupos adimensionales de las principales variables que intervienen en el fenómeno de resbalamiento de líquido.

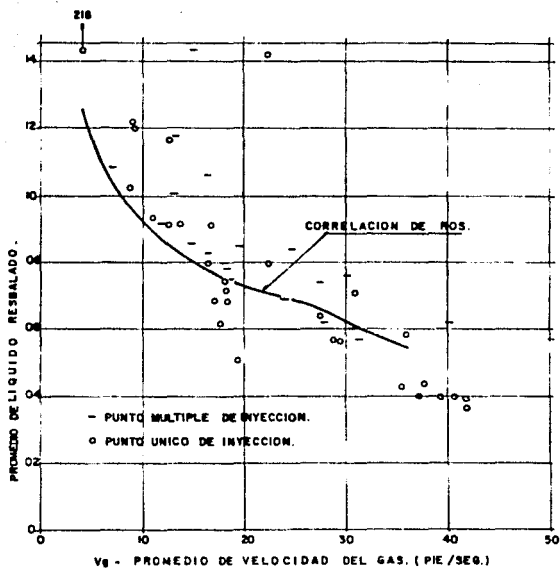


Fig. II. 2 Promedio de líquido resbalado vs. promedio de velocidad del gas.

A.B. Neely et al. (6)

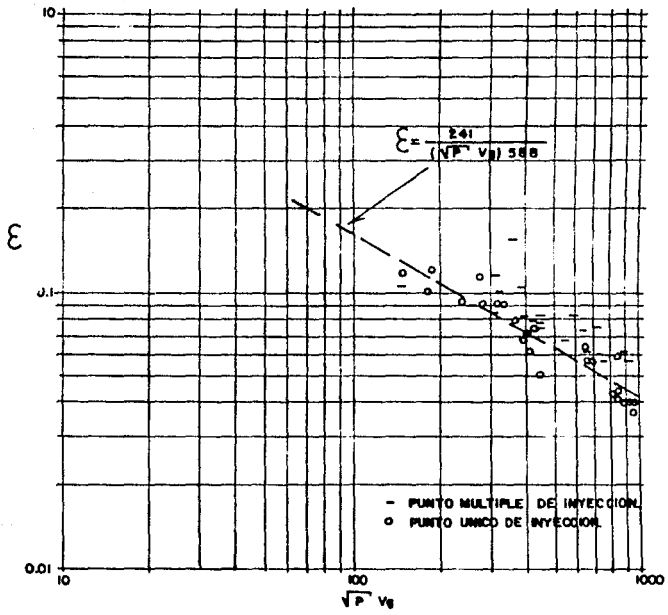


Fig. II.3 Promedio de líquido resbalado vs. ($\sqrt{P} V_g$)
 A.B. Neely et. al. (6)

En la Fig. II.4 se muestra una correlación de los resultados obtenidos experimentalmente, en donde se puede observar que a medida que aumenta la velocidad del bache aumenta la velocidad de penetración, hasta alcanzar un máximo, para después disminuir rápidamente; esto se debe probablemente a un cambio en el patrón de flujo, es decir, debido a la alta velocidad del bache de líquido, es posible que el flujo bache cambie a flujo anular y el líquido resbalado sea arrastrado por la corriente de gas, alcanzándose un punto en donde la velocidad aparente del gas es igual a la velocidad del bache, cesando la penetración del gas.

No obstante, las correlaciones de las Fig. II.4 y Fig. II.5, al no ser generales se encuentran extremadamente limitadas para una aplicación práctica.

II.3 REGISTROS DE PRESION REALES

A fin de tener una concepción clara del fenómeno de desplazamiento de una columna de líquido impulsada por gas a alta presión, a continuación se presentan los resultados de dos pruebas experimentales efectuadas por K. E. Brown¹¹, obtenidas de un pozo el cual fue acondicionado con equipo de medición que permitió obtener registros de presión vs. tiempo a diferentes profundidades.

Para medir las presiones se colocaron transductores a las profundidades de 5936, 4290, 2493, 1685, 967, 477, 0 pies de

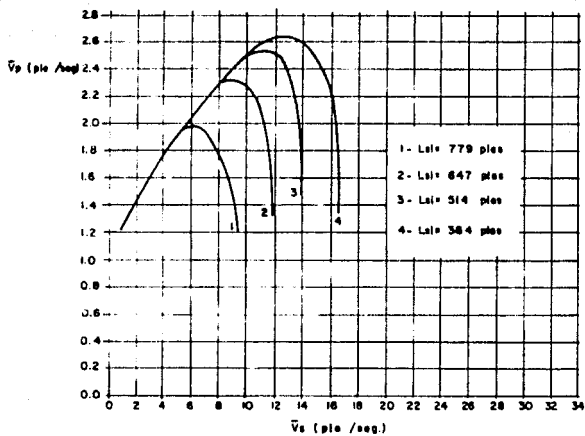


Fig. II.4 Relación grafica entre \bar{V}_s y \bar{V}_p para tubería de 1/2" y aceite de 34 cp.

K.E. Brown et. al. (7)

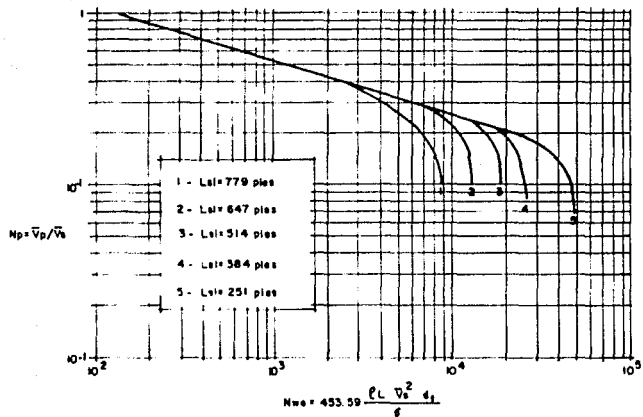


Fig. II.5 Correlación de resbalamiento para tubería
de 1 1/2" y aceite 34 cp.

K.E. Brown et. al (7).

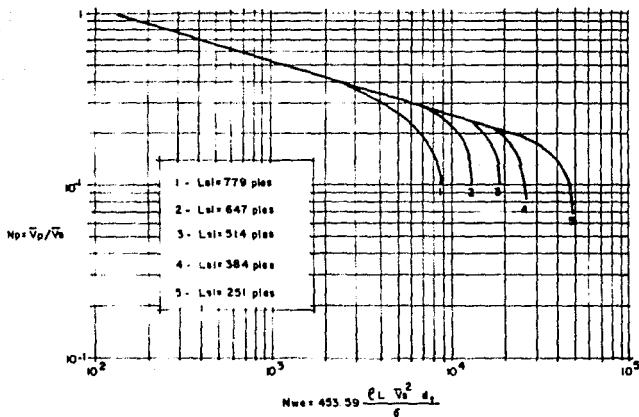


Fig. II.5 Correlación de resbalamiento para tubería de 1/2" y aceite 34 cp.

K.E. Brown et. al (7).

profundidad, en un pozo con tubería de producción de 2 pg., válvula operante con 1 pg de diámetro del orificio de paso principal de gas, colocada a una profundidad de 5940 pies, presión inicial de 350 psi, volumen inicial del bache 2.345 barriles (95 % agua salada)

En la Fig II.6 se observan las curvas generadas por los transductores de presión a las diferentes profundidades, en un ciclo de bombeo.

A continuación se hace la descripción del comportamiento de la presión a la profundidad de 5936 pies:

- 1) Al tiempo cero la carga en la tubería de producción fue de 350 psi.
- 2) En el momento en que se inicia la inyección de gas, la presión se incrementa rápidamente hasta alcanzar un valor máximo de 600 psi aproximadamente a los 3 minutos.
- 3) El bache alcanzó la superficie en aproximadamente 4 min 35 seg, esto se puede ver en la curva del transductor colocado a cero pies de profundidad. La presión a 5936 pie comenzo a decrecer a este tiempo, aunque la válvula operante no había cerrado aún.
- 4) Cuando el bache alcanzó la superficie, la presión a 5936 pies se abatió hasta 530 psi en un tiempo aproximado de 8 minutos, tiempo en que la válvula operante cerró.
- 5) La presión se siguió abatiendo en forma marcada hasta llegar a un mínimo de 208 psi en un tiempo de 12 minutos. La presión mínima representa la combinación de la contrapresión

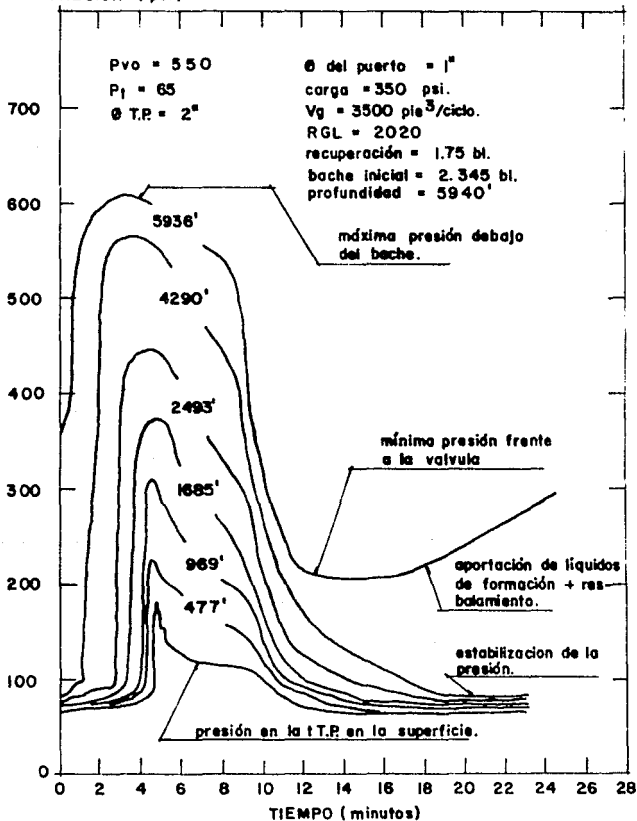


Fig. II. 6 Curvas típicas de presión.

K.E. Brown (1).

en la cabeza del pozo, el resbalamiento de líquido y la aportación de fluidos al pozo.

6) La presión mínima permaneció constante durante 4-5 minutos, tiempo en que el bache de líquido alcanzó la superficie, tendiendo a reducir la presión a 5936 pies. Sin embargo el líquido resbalado y la aportación de fluidos de la formación compensaron la reducción de la presión, resultando con esto una presión constante, el incremento de la presión depende del índice de productividad y presión de fondo fluyendo.

7) Aproximadamente a los 18 minutos la presión a 5936 pies de profundidad comenzó a incrementarse.

La curva del comportamiento de la presión a 4290 pies es similar a la de 5936 pies de profundidad y se describe a continuación:

1) La presión al tiempo cero fue de aproximadamente 80 psi, esto indica que el tope del bache está por debajo de esta profundidad.

2) El tope del bache alcanzó los 4290 pies en un tiempo aproximado de 1 minuto, tiempo en que la presión comenzó a incrementarse.

3) La presión continuó incrementándose conforme pasaba el bache, pero no alcanzó el valor de 600 psi. Tener un valor máximo de presión (575 psi) menor al valor máximo a 5936 pies, es el resultado de que parte del bache se pierda por el resbalamiento.

4) La presión declina de la misma manera que en el transductor colocado a 5936 pies, cuando el bache esta siendo producido y después de que la válvula cierra.

5) Después de 12 minutos la presión a 4290 pies continúa bajando y el liquido aportado por la formación no alcanza este nivel.

6) Después de 18 minutos aproximadamente la presión se estabiliza en 80 psi; esto representa el tiempo requerido para que el resbalamiento en la tubería de producción se estabilice completamente, siendo este tiempo muy importante en la determinación del número de ciclos por día óptimo.

Las curvas de presión generadas por los transductores colocados a 2493, 1685, 969 y 477 pies de profundidad, muestran en general el mismo comportamiento que en los transductores colocados a las profundidades de 5936 y 4290 pies. El tiempo en que el bache alcanzó estas profundidades es fácil de determinar, observando la presión máxima registrada en éstas, la diferencia en las presiones máximas indica que el resbalamiento de liquido continúa en el trayecto del bache hacia la superficie.

La curva a cero pies de profundidad representa lo siguiente:

- 1) La presión de 65 psi al tiempo cero, representa la contrapresión en la cabeza del pozo.
- 2) El liquido alcanzó la superficie en 4 min 35 seg aproximadamente, este tiempo se determino cuando la presión alcanzó su valor máximo.

- 3) La presión alcanzó un valor máximo de 195 psi.
- 4) La presión declinó inmediatamente indicando con esto que la mayor parte del bache que alcanzó la superficie se recuperó.
- 5) La cola de gas terminó de pasar a los 14 minutos.

En la Fig. 11.7 se observan las curvas generadas por los transductores de presión, para un pozo con válvula operante de 1 pg de diámetro de orificio y colocada a una profundidad de 5940 pies.

La carga de presión en la tubería de producción fue de 350 psi, en este caso en particular se utilizó la mínima relación gas-líquido posible, para las condiciones dadas del pozo (2100 pie³/ciclo). Es importante decir que sólo el 55% del bache original se recuperó.

En estas pruebas experimentales se puede observar que con una cantidad menor del gas de inyección se tiene una velocidad de ascenso menor en el bache, y en consecuencia una recuperación menor. El tiempo de estabilización del bache para determinar el número de ciclos óptimo, se manifiesta con un incremento en la presión en la tubería de producción.

II.4 INYECCION DE GAS EN LA SUPERFICIE

Para controlar el gas de inyección en la superficie se puede emplear, estrangulador o interruptor de tiempo. Ambos

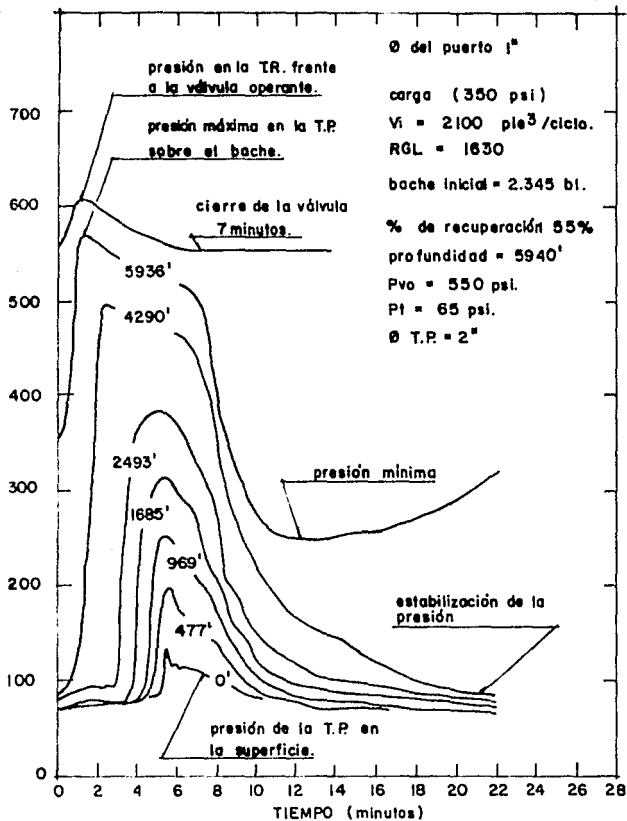


Fig. II.7 Curvas de presión para RGL mínima
K.E. Brown (1)

permiten inyectar el gas al espacio anular, que deberá de emplearse para el levantamiento del bache a la superficie.

Con el interruptor de tiempo se inyecta un volumen de gas por un lapso de tiempo con ciclos de espera constantes. La inyección por estrangulador es continua, y el volumen de inyección lo determina la amplitud de la válvula operante.

II.4.1 INYECCION POR ESTRANGULADOR

La inyección por estrangulador en un pozo de bombeo neumático intermitente, consiste en inyectar el gas en forma continua al espacio anular, formado por la tubería de revestimiento y la tubería de producción. La inyección se efectúa a través de un estrangulador de orificio variable, como puede ser una válvula de aguja. El propósito de inyectar el gas a un ritmo constante es para que la instalación opere a intervalos de tiempo iguales entre un ciclo y otro.

El proceso puede describirse de la siguiente manera: Una vez que en el espacio anular se alcanza la presión de apertura de la válvula operante, el gas pasa a la tubería de producción y se inicia el levantamiento del bache de líquido a la superficie. El gas acumulado en el espacio anular continúa inyectándose a la tubería de producción, hasta alcanzar la presión de cierre de la válvula operante. A

partir de este instante, la presión en el espacio anular comienza a incrementarse en función del ritmo de inyección de gas en la superficie, a través de la válvula de aguja. La presión aumenta hasta alcanzar nuevamente la presión de apertura de la válvula operante, para iniciar un nuevo ciclo.

El tiempo que transcurre entre una apertura y otra, es el tiempo entre ciclos de inyección. Durante este tiempo y dependiendo de la presión que se establezca en la tubería de producción, la formación productora continúa aportando fluidos al pozo, hasta formarse nuevamente el bache inicial, constituido por el líquido resbalado del bache anterior y los fluidos aportados por la formación.

En base al proceso de levantamiento de líquidos descrito anteriormente, es obvio que se requiere de una inyección continua de gas de inyección en la superficie, a fin de que el tiempo entre ciclos de inyección sea constante. Lo anterior permitirá manejar siempre la misma carga de líquidos en cada bache. De lo contrario la instalación manejará cargas de líquido diferentes en cada ciclo, en detrimento de la eficiencia del sistema.

II.4.2 INYECCION POR INTERRUPTOR DE TIEMPO

La inyección de gas con interruptor de tiempo en la superficie, permite inyectar tanto el volumen de gas deseado, como fijar el tiempo entre ciclos de inyección.

Por las características propias del sistema de bombeo neumático intermitente, el tener un control más exacto del volumen de gas inyectado redundará en instalaciones más eficientes, y por tanto una mayor recuperación del bache en la superficie.

Las ventajas de utilizar interruptor de tiempo en la superficie son; un control más exacto del volumen de gas inyectado, la frecuencia de los ciclos de inyección es más controlable, el tiempo de duración de la inyección de gas en un ciclo es el deseado.

II.5 APORTACION DE FLUIDOS DE LA FORMACION

Cuando el bache de líquido viaja a la superficie, la formación productora continúa aportando fluidos al pozo. Esta aportación depende del índice de productividad y de la presión de fondo del pozo. Por otra parte también la presión de fondo fluyendo está en función de la presión en la tubería de producción frente a la válvula operente.

La P_{wf} a un tiempo Δt es:

$$P_{wf} = P_{tv} + G_L(D_r - D_o)$$

La longitud de la columna de líquido aportada por la formación durante este intervalo de tiempo es:

$$L_F = \frac{J (P_{ws} - P_{wf}) \Delta t}{86400 C_t}$$

Si P_{wf} es mayor que P_{ws} , significa que la formación no aportará fluidos al pozo.

Para pozos con baja presión de fondo y alto índice de productividad es conveniente instalar una válvula de pie en el extremo inferior de la tubería de producción, para evitar una posible reinyección de fluidos a la formación, en cada ciclo; en detrimento de la producción del pozo.

RECOMENDACIONES PARA LA OPTIMIZACION DEL SISTEMA

Para reducir el resbalamiento al mínimo e incrementar la eficiencia del sistema es necesario que el levantamiento del bache se lleve a cabo a una velocidad mínima de 1000 pie/min.

La inyección del gas no debe de interrumpirse cuando menos hasta que el bache alcance la superficie, ya que de no hacerse esto una parte considerable del bache que viene

mezclado en la cola del gas en forma de pequeñas gotitas no se recuperaría.

Para tener un mayor control del volumen de gas de inyección en la superficie y de los tiempos de inyección, se debe de utilizar un interruptor de tiempo, esto se verá reflejado en una instalación más eficiente con recuperaciones del bache mayores.

Para pozos con baja presión de fondo y alto índice de productividad, es conveniente instalar una válvula de pie para evitar reinyección de fluidos al pozo durante el levantamiento del bache a la superficie.

CAPITULO III

CONTRAPRESION EN EL CABEZAL DEL POZO

En el bombeo neumático intermitente no se tiene una presión de fondo fluyendo constante, ésta varía de un valor máximo cuando la válvula operante abre, a un valor mínimo cuando el bache es removido.

Cualquier contrapresión en el pozo, restricción en la tubería de producción o en la superficie, se reflejará directamente en el fondo del pozo, notándose inmediatamente un cambio en la presión de fondo fluyendo.

Las consecuencias de una alta contrapresión en el cabezal del pozo, o restricciones al flujo en el sistema, es que una parte considerable del bache de líquido se pierde.

La razón por la que disminuye la recuperación de líquido al incrementarse la contrapresión o las restricciones en el sistema, es que la presión de fondo fluyendo por ciclo aumenta, y el bache no puede ir tan rápido como la presión del gas se lo permite por la dificultad que se tiene al tener un área menor de flujo

Esta alta contrapresión generalmente es causada por:

- Una presión alta en el separador.
- Estrangulamiento en el árbol de válvulas.
- Línea de descarga de gran longitud.
- Diámetro inadecuado en la línea de descarga.
- Restricciones en la línea de descarga por parafinamiento, incrustación de sales, depositación de arena, colapso, etc..
- Excesivos cambios de dirección en el árbol de válvulas y línea de descarga.

III.1 PRESION DEL SEPARADOR

Aunque la capacidad de un separador disminuye al bajarse la presión de separación, ésta deberá de mantenerse en su valor mínimo posible (aproximadamente 50 psi), en las baterías donde se reciba producción de pozos de bombeo neumático intermitente, ya que una alta presión de separación se refleja directamente en la producción, pues ésta provoca un incremento en la contrapresión en el cabezal del pozo, y por tanto una disminución de la recuperación del bache.

La variación de la recuperación del bache por la presión en el separador es del orden del 50 al 75%.'''

Cuando se tiene una alta contrapresión en el separador, se deberá de checar el área del asiento en la descarga de líquido, pues esta puede estar obstruida y en ocasiones se hace necesario instalar un asiento de mayor diámetro.

III.2 LINEA DE DESCARGA

La línea de descarga, es la tubería que conduce los fluidos desde el cabezal del pozo hasta la batería de separación. Esta línea debe de tener el diámetro y la longitud adecuados para evitar alta contrapresión en la cabeza del pozo.

Los pozos deberán de descargar a la batería de separación más cercana; es común que en una misma línea colectora lleguen a descargar varios pozos, y que por lo tanto saturen la tubería colectora por ser esta de un diámetro restringido para el volumen que se pretende manejar, por lo que la presión puede incrementarse hasta un valor no conveniente en la cabeza de los pozos.

La obstrucción de las líneas de descarga por depositación de arena, parafina, incrustación de sales etc. ocasiona una disminución en el diámetro por donde fluye el bache, ocasionando que este pase con mayor dificultad y por tanto esto se vea reflejado en un incremento en la contrapresión en la cabeza del pozo, mayor tiempo de estabilización de la presión en el fondo del pozo, ocasionando una disminución en la producción; es por esto que las líneas deben de mantenerse limpias de estos materiales indeseables.

El aplastamiento en una línea de descarga ocasiona también alta contrapresión en el cabezal del pozo. Este problema

ocurre cuando las líneas no están lo suficientemente enterradas y están expuestas al paso de vehículos de transporte pesado.

Otro problema que ocasiona alta contrapresión en el cabezal del pozo, es que la línea de descarga forme columpios, por la propia topografía del terreno, esto deberá de evitarse en lo posible.

III.3 CABEZAL DEL POZO

El tener excesivos cambios de dirección en el cabezal antes de entrar a la línea de descarga provoca una disminución en la velocidad del bache al llegar a la superficie y por consiguiente un incremento en el resbalamiento de líquido, ya que al bajar la velocidad del bache este se incrementa. Por otra parte al disminuir la velocidad del gas baja su capacidad de arrastre, por lo que debe evitarse en lo posible los cambios de dirección del flujo en el cabezal del pozo.

Como se dijo anteriormente la línea colectora debe de ser de un diámetro tal que no ocasione demasiadas pérdidas de presión. Todas las posibles restricciones al flujo se deben eliminar, como son válvulas semiabiertas u obstruidas por material depositado o incrustado, conexiones a 90° etc., en ninguna instalación de bombeo neumático intermitente se debe

de colocar estrangulador, pues éste dificulta el flujo de los fluidos.

De preferencia deberán emplearse conexiones aerodinámicas del tipo de cuello de ganso para mejorar en lo posible las condiciones de flujo del bache de líquido en el cabezal del pozo. La Fig. III.1. muestra este tipo de instalación.

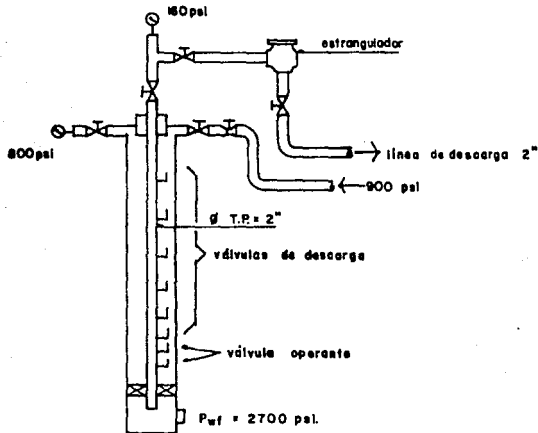
El no hacer estos cambios ocasiona que una parte considerable del bache que ya ha ascendido a la superficie se pierda y vuelva a resbalarse al fondo del pozo, por las restricciones que encuentra al tratar de pasar por el cabezal del pozo.

RECOMENDACIONES PARA LA OPTIMIZACION DEL SISTEMA

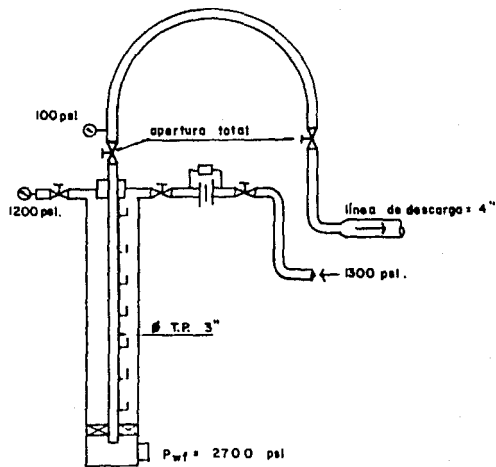
La presión del separador deberá de ser la mínima posible, y tener la menor restricción a la entrada y si es necesario instalar un asiento de mayor diámetro.

Las tuberías tanto de producción como de descarga deberán de mantenerse limpias de parafina, arena, incrustación de sales, ya que éstas disminuyen el área de flujo y por consiguiente se tiene un aumento en la contrapresión.

Si el problema es muy severo deberán de tomarse medidas preventivas, en el caso de arenamiento del pozo, se debe de colocar un cedazo o hacer un empacamiento de grava, o inyectar resinas contra la formación para consolidarla, o



Equipo típico en una instalación de bombeo neumático intermitente.



Instalación de bombeo neumático intermitente con equipo hidrodinámico.

Fig. III. 1. K.E. Brown (1).

inyectar inhibidores de incrustación en el caso de que el problema sea la incrustación de sales.

Los cambios bruscos de topografía en el terreno y de dirección deberán de evitarse en lo posible en las líneas de descarga.

La línea colectora de los diferentes pozos hacia el separador deberá ser del diametro adecuado de tal manera que puedan fluir los liquidos sin problema.

En el cabezal del pozo es recomendable instalar una tubería aerodinámica en forma de cuello de ganso, para evitar en lo posible toda restricción al flujo del bache en su paso por éste.

CAPITULO IV

VALVULAS DE BOMBEO NEUMATICO

Las válvulas de bombeo neumático, son instaladas en el aparejo de producción, su función es controlar y permitir el paso del gas de inyección del espacio anular a la tubería de producción.

Las válvulas pueden ser del tipo convencional o recuperables con equipo de línea de acero.

Comprender la operación de las válvulas es extremadamente importante en un buen diseño de bombeo neumático intermitente.

Los fabricantes de válvulas han diseñado válvulas especiales para aplicarse en bombeo neumático intermitente. La característica de estas válvulas es obtener una respuesta instantánea de apertura y cierre, a fin de lograr un desplazamiento de tipo balístico del bache de líquido. Estas válvulas constan de una sección piloto y una sección motriz. Las válvulas de bombeo neumático han sido clasificadas dependiendo de que tan sensibles son a la presión que actúa

en la apertura de éstas, ya que pueden ser operadas por fluido o por la presión del gas de inyección.

Para elegir el tipo de válvula que se va a introducir al pozo, debe de considerarse el mecanismo de control del gas de inyección que se tiene en la superficie.

Si se tiene un estrangulador en la superficie para controlar el gas de inyección, se deben utilizar válvulas desbalanceadas operadas por piloto.

Con un interruptor de tiempo en la superficie, pueden emplearse tanto válvulas balanceadas como desbalanceadas.

Es importante mencionar que las válvulas empleadas para flujo intermitente deben de abrir y cerrar instantáneamente y el orificio de paso principal de gas no debe de ser menor a 1/2 pulgada.⁽⁹⁾ Es decir que la válvula para flujo intermitente no debe estrangular el paso de gas. Entre más grande es el paso principal de gas mayor será la eficiencia del sistema.

IV.1 DESBALANCEADAS OPERADAS POR PRESION

Las válvulas operadas por presión (Fig. IV.1), son llamadas así porque la respuesta a la apertura o cierre de la válvula, es principalmente por la presión del gas de inyección.

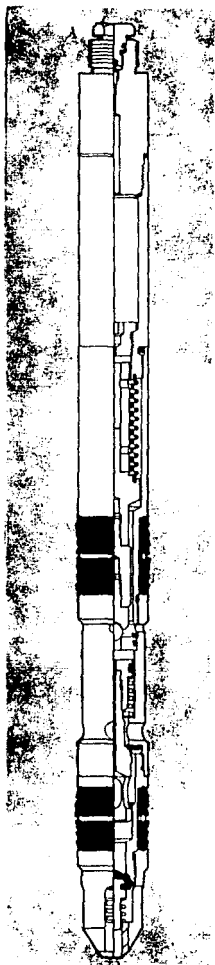


Fig IV.1 Válvula recuperable de Bombeo Neumático Intermittente operada por presión.

Estas válvulas pueden ser de uno o doble elemento de carga, ya sea domo cargado con nitrógeno, con o sin resorte y válvulas cuyo elemento de carga es simplemente un resorte. Constan de una sección piloto y una sección motriz, para que la apertura y cierre de la válvula sea instantánea. La sección piloto manda la señal a la sección motriz para que la válvula abra o cierre.

IV.2 DESBALANCEADAS OPERADAS POR FLUIDO

En las válvulas desbalanceadas operadas por fluido (Fig. IV.2) la respuesta a la apertura y el cierre de la válvula dependen de la presión en la tubería de producción. Al igual que las válvulas desbalanceadas operadas por presión, pueden ser de uno o doble elemento de carga, el domo sólo es recomendable cargarlo cuando se requieran altas presiones de calibración.

IV.3 BALANCEADAS

En las válvulas balanceadas no tiene influencia la presión de la tubería de producción para abrir o cerrar la válvula. En ésta la presión de la tubería de revestimiento actúa sobre el área del fuelle durante todo el tiempo, esto significa que la válvula abre y cierra a la misma presión;

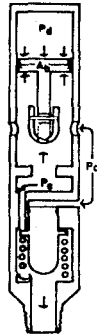


Fig. IX. 2. Válvula de bombeo neumático intermitente operada por fluido.
K.E. Brown. (1).

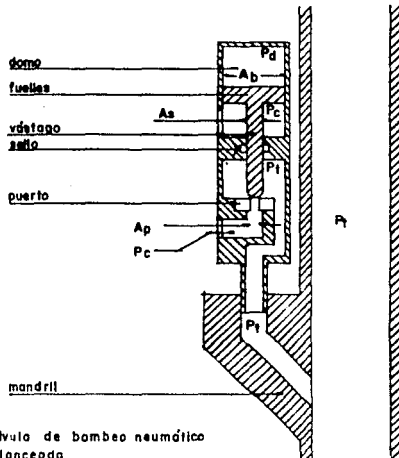


Fig. IX. 3. Válvula de bombeo neumático balanceada.

K E Brown. (1).

de acuerdo con esto la diferencia de presión entre la de apertura y cierre es cero.

En la Fig. IV.3 se puede ver un corte esquemático de este tipo de válvula. Estas no deben de ser utilizadas en pozos de bombeo neumático intermitente cuando la inyección del gas sea controlada en la superficie con un estrangulador.

CAPITULO V

GAS DE INYECCION

En el bombeo neumático intermitente, el gas que es inyectado a una alta presión es el que impulsa al bache de líquido hacia la superficie. El gas inyectado al pozo debe de cumplir con ciertas especificaciones, tanto en su composición como en las impurezas que contenga, para evitar problemas secundarios, así como también la presión a la que se inyecta el gas, para que el levantamiento del bache sea eficiente y no se tengan pérdidas por excesivo resbalamiento u otros problemas que puedan originarse por una presión inadecuada.

V.1 RED DE DISTRIBUCION

La red de distribución del gas de inyección la componen la línea maestra de inyección, las líneas que van de la línea maestra hacia cada uno de los pozos y todo el equipo auxiliar instalado desde la descarga del compresor a la boca de cada uno de los pozos.

La línea maestra del gas de inyección, es una tubería de un diámetro grande con salidas para cada pozo, su diámetro varia según sean los volúmenes de gas necesarios de gas para la inyección.

Para el cálculo de caídas de presión en tuberías horizontales cuando fluye exclusivamente gas, puede emplearse la ecuación de Weymouth, o Panhandle.

$$q_o = 18.062 \frac{T_o}{P_o} \left[\frac{P_1 - P_2}{r_o TLZ} d^{14/3} \right]^{1/2}$$

Con la misma ecuación se puede determinar el diámetro de la tubería necesario, si se conoce el resto de las variables.

Cuando se diseña una red de distribución de gas para bombeo neumático, debe de diseñarse de tal manera que la presión en cada pozo se mantenga constante, o variando dentro de un rango pequeño, que no afecte la operación del sistema.

V.2 PRESION DE LINEA

La presión de línea o presión máxima disponible, es la presión que se tiene en el pozo antes de inyectar gas. Como regla general puede decirse que la presión adecuada en el pozo de bombeo neumático es de 100 psi por cada 1000 pies de profundidad del pozo con un valor mínimo de 300 psi''.

Conociendo la presión superficial de operación, podemos determinar la presión de apertura de la válvula operante a

la profundidad del pozo. Debido a que las pérdidas por fricción son muy pequeñas, las columnas de gas en movimiento se pueden considerar como columnas estáticas.

Por lo tanto la presión de apertura de la válvula puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$P_{vo} = P_{so} \text{ EXP } \left[\frac{0.01875 \gamma_g D_w}{Z T} \right]$$

una buena aproximación se puede obtener con la siguiente ecuación empírica:

$$P_a = P_1 \left(1 + \frac{D^{1.25}}{100} \right)$$

o con la ecuación propuesta por Craft y Holden⁽²⁾

$$\Delta P = 0.25 \frac{(P_{wh})}{100} \left(\frac{D}{100} \right)$$

Durante la inyección de gas al pozo la presión debe de mantenerse constante durante todo el ciclo de bombeo, si tal cosa no ocurre y se presentan variaciones en la presión de línea, la recuperación de líquidos será menor y por tanto bajará la eficiencia. Disminuciones en la presión del gas de inyección causan problemas a, la instalación de bombeo neumático como pueden ser cambio de válvula operante a la válvula inmediata superior, o alternancia en la operación de

la válvula operante por insuficiencia de gas inyectado en cada ciclo. Por otra parte debido a que el volumen de gas inyectado por cada ciclo es menor, ocurre una disminución en la velocidad del bache de líquido, reduciéndose la eficiencia del sistema.

Un incremento en la presión del gas de inyección, generalmente refleja un incremento en la producción del pozo, esto se debe a que al aumentar la presión la velocidad de ascenso del bache aumenta disminuyendo con esto el resbalamiento.

De un estudio experimental se observó que la diferencial de presión entre el espacio anular y la tubería de producción frente a la válvula operante debiera ser del orden de 140 a 170 psi, para alcanzar la máxima eficiencia. Sin embargo estos valores son específicos de la instalación experimental, por lo que en casos reales no es raro encontrar diferenciales de hasta 300 o 400 psi.

V.3 ESPECIFICACIONES DEL GAS

El gas de inyección empleado en un pozo de bombeo neumático, debe de ser un gas seco, dulce y libre de partículas sólidas. Cuando estas condiciones no se satisfacen se originan problemas secundarios que posteriormente se reflejarán en una disminución en la eficiencia del sistema. Por ejemplo la presencia de partículas sólidas en el gas,

causan taponamiento en el estrangulador o válvula de aguja en la superficie o en la válvula operante.

La presencia de ácido sulfhídrico en el gas, causa además de corrosión, la fragilización de las tuberías de revestimiento como de producción.

La condensación de hidrocarburos en el gas, causa variaciones en el volumen de gas inyectado por ciclo. Por otra parte cuando estos líquidos se acumulan en el espacio anular a la altura de la válvula operante, impiden la inyección instantánea de gas a la tubería de producción. Ambos casos causan baja eficiencia del sistema, por lo que debiera evitarse la presencia de condensados en el gas de inyección empleado para bombeo neumático.

Es por esto que el gas de inyección, debe de ser un gas seco y dulce con un alto porcentaje de metano en su composición, libre de impurezas como partículas solidas y ácido sulfhídrico.

CAPITULO VI

DISEÑO DE LA INSTALACION

Existen muy diversos procedimientos de espaciamento de válvulas, en instalaciones de bombeo neumático intermitente. Los procedimientos varían según las recomendaciones de los fabricantes, y de acuerdo al tipo de válvula que se vaya a emplear.

Aun cuando el espaciamento puede hacerse en forma gráfica o analítica, en este Capítulo se tratará únicamente el método gráfico por ser más ilustrativo.

VI.1 ESPACIAMIENTO DE VALVULAS

El espaciamento de válvulas se hace de acuerdo al tipo de válvula que se vaya a instalar, estas pueden ser balanceadas o desbalanceadas. Las válvulas balanceadas sólo se deben de operar con interruptor de tiempo en la superficie, debido a que no presentan amplitud ya que la presión de apertura y cierre son iguales. Para este tipo de válvulas se deja una

diferencial de presión de 25 psi entre válvula y válvula para evitar interferencia entre ellas. Sin embargo esto causa que no se aproveche eficientemente la presión del gas de inyección, debido a esa diferencial, causando una baja presión de operación del gas de inyección y como consecuencia, baja eficiencia de la instalación por baja presión disponible en el punto de inyección.

El espaciamiento entre válvula y válvula, ya sean balanceadas o desbalanceadas, no debe ser menor a 300 pies. La localización de la válvula superior es extremadamente importante, debido a que por una parte se trata de colocarla a la mayor profundidad posible, de acuerdo a la máxima presión disponible en la superficie del gas de inyección a fin de evitar el mayor número de válvulas en la instalación, y por otra parte no debe de colocarse a una profundidad tal que el pozo no pueda iniciar la descarga del fluido de control y el pozo se quede represionado.

Para pozos de alta productividad y baja presión de fondo el nivel del fluido de control normalmente se encuentra a gran profundidad. En estos casos la primera válvula se coloca a la profundidad del nivel estático y el resto de las válvulas a partir de esa profundidad.

Si el pozo se llena hasta la superficie con fluido de control, la válvula superior se coloca de acuerdo a la presión disponible del gas de inyección. Por ejemplo si se dispone de 900 psi y el pozo está cargado con un fluido de

control de gradiente de presión igual a 0.50 psi/pie y se descarga con una contrapresión en la cabeza del pozo de 50 psi, entonces la primera válvula puede ser colocada a $(900-50)/0.50 = 1700$ pies.

Si se usa un procedimiento de espaciamiento gráfico, la primera válvula se colocara un poco más abajo de lo determinado analíticamente, debido a que se considera el peso de la columna de gas de inyección en la tubería de revestimiento.

Para determinar la profundidad de colocación del resto de las válvulas en el siguiente tema se explica a detalle.

VI.1.1 ESPACIAMIENTO PARA VALVULAS DESBALANCEADAS

El diseño del espaciamiento de las válvulas en forma gráfica para válvulas desbalanceadas se muestra en la Fig. VI.1. El procedimiento consiste en graficar en papel milimétrico las variables presión-profundidad. El eje de las abscisas se escoge para valores de presión y el eje de las ordenadas para valores de profundidad.

Para iniciar el diseño de espaciamiento, primero se determina el gasto que se espera producir del pozo.

Con este valor se entra a cualquiera de las gráficas mostradas en la Fig. VI.2 dependiendo del diámetro de la tubería de producción y se selecciona el gradiente de

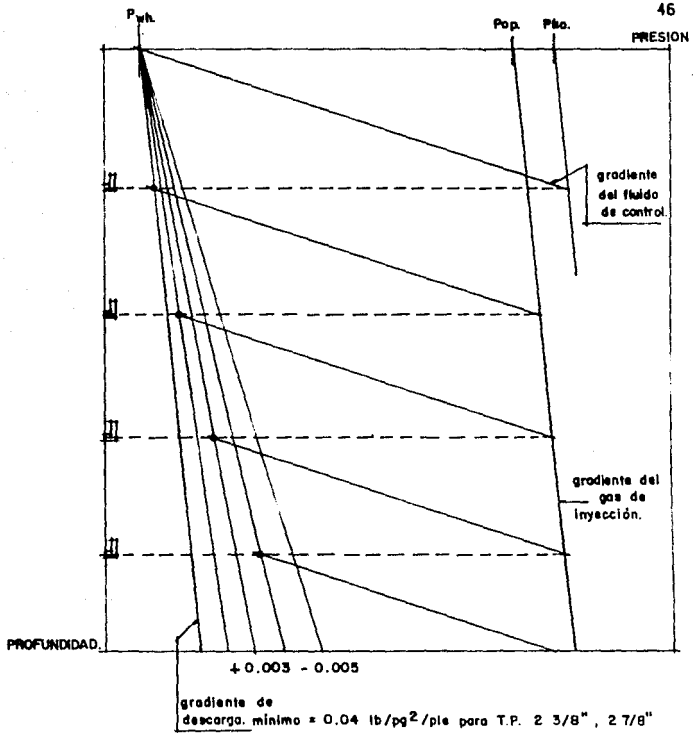


Fig. VII.1 Diseño gráfico de espaciamento de válvulas para BNI con incremento de 0.003 a 0.005 en el gradiente de descarga.

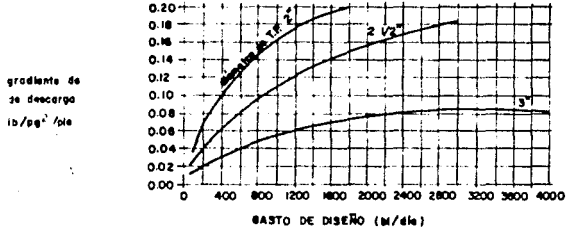
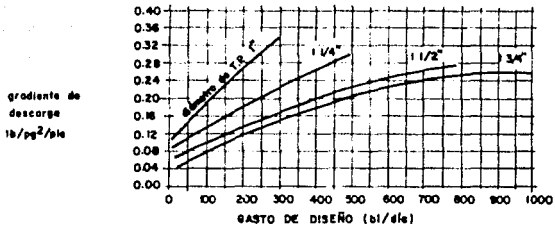


Fig. VI. 2 Gradiente de descarga para calcular
espaciamento de válvulas.

descarga del pozo. Este se grafica a partir de la P_{um} y hasta la profundidad del pozo.

A partir de la contrapresión en el pozo se traza el gradiente del fluido de control hasta intersectar el gradiente del gas que parte de la máxima presión disponible en la superficie. La intersección define la profundidad de colocación de la primera válvula

El gradiente de descarga se incrementa en un valor que va desde 0.003 hasta 0.005, entre válvula y válvula como un factor de seguridad para transferir el punto de inyección de una válvula a la siguiente que corresponde en profundidad.

A partir del punto que forman el gradiente de descarga y la profundidad de colocación de la primera válvula, se traza una paralela al gradiente del fluido de control y en la intersección con la línea de la presión de operación del gas de inyección se coloca la segunda válvula.

Así sucesivamente se repite el procedimiento hasta alcanzar la profundidad de colocación de la última válvula.

Dentro de esta gráfica también se debe de incluir una línea con el gradiente de temperatura del pozo, con el fin de determinar la temperatura de cada válvula dentro del pozo. Este dato se utiliza para efectos de calibración de las válvulas en el taller, cuando se trata de válvulas que son afectadas por la temperatura.

El procedimiento descrito puede utilizarse indistintamente para válvulas balanceadas como desbalanceadas, cambiando únicamente el procedimiento de calibración de las mismas.

VI.2 VOLUMEN DEL GAS DE INYECCION

Teóricamente el volumen de gas de inyección necesario para elevar un bache de líquido en un pozo, debe de ser al menos el volumen de gas que se requiere para llenar la tubería de producción hasta la superficie a una presión promedio debajo del bache de líquido, a la temperatura media del pozo.

Para determinar el volumen de gas necesario para efectuar el levantamiento de un bache líquido en una instalación de bombeo neumático intermitente, se utilizan las siguientes ecuaciones⁽¹⁾:

$$\begin{aligned} \text{API} &= 35^\circ \\ \text{GAS sp gr} &= 0.65 \\ T_{\text{grad}} &= 1.6 \text{ }^\circ\text{F}/100\text{pie} \\ T_{\text{sup}} &= 80^\circ\text{F} \end{aligned}$$

$$P_{\text{avg}} = \frac{(P_s + P_{\text{wh}} + [1 - (0.07 * L)/1000]S * G_s)}{2.0} + 14.7$$

$$\frac{P_{\text{avg}}}{P_s} = \frac{P_{\text{avg}}}{14.7} = \frac{P_c + P_{\text{wh}}}{29.4} + 1 + (0.01255) S [1 - 7 \times 10^{-3} L]$$

$$T_{\text{avg}} = (0.008)SL (1/S + 1/L - 7 \times 10^{-3}) + 540$$

$$\frac{T_{\text{sc}}}{T_{\text{avg}}} = \frac{520}{T_{\text{avg}}} = \frac{520}{(8 \times 10^{-3})SL (1/S + 1/L - 7 \times 10^{-3}) + 540}$$

$$\text{Hgc} \times \text{CAP} = (5.4541 \times 10^{-2})(d)^2(LS)[1/S - 1/L + 7 \times 10^{-2}]$$

$$\text{Volumen de Gas} = (\text{Hgc} \times \text{CAP}) \frac{(P_{\text{avg}})}{P_s} \frac{(T_s)}{T_{\text{avg}}} \frac{(1)}{Z}$$

Para evitar todos estos cálculos se pueden utilizar gráficas como la de la Fig. VI.3 preparada por Davis et al⁽⁴⁾, en donde con la profundidad del pozo, la presión de apertura de la válvula y el diámetro de la tubería de producción, se determina el volumen necesario de gas por ciclo.

La producción de líquido por ciclo puede incrementarse con un aumento en el volumen de gas inyectado por ciclo, sin embargo la relación gas inyectado-líquido puede alcanzar valores extremadamente altos, no convenientes para la operación del pozo.

El incremento en la recuperación por ciclo se debe principalmente a que el bache de líquido adquiere una velocidad mayor a través de la tubería, reduciéndose el resbalamiento de líquido y aumentando la capacidad de arrastre del gas.

Es importante mencionar que la inyección de gas no debe suspenderse hasta que el bache alcance la superficie, ya que si se suspende antes de que esto ocurra, se tiene una eficiencia menor de recuperación; puesto que se ha comprobado experimentalmente que el levantamiento de un bache de líquido por la sola expansión del gas es un proceso ineficiente, esto se debe principalmente a que la velocidad

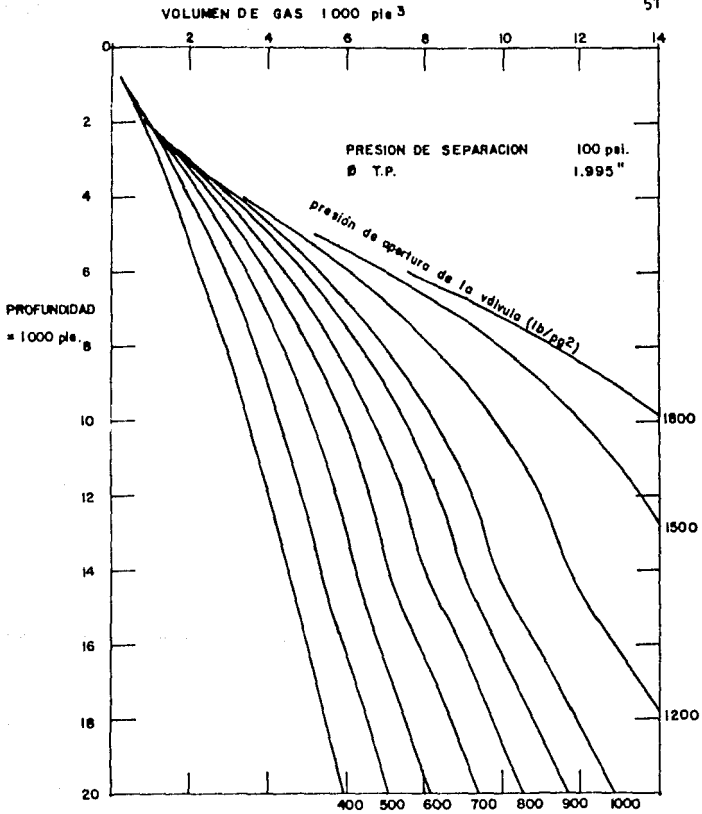


Fig. VI.3. Volumen de gas requerido por ciclo.

K.E. Brown (1)

del bache disminuye considerablemente aumentando la penetración del gas y con esto el resbalamiento. (7)

VI.3 DIAMETRO DEL ORIFICIO PRINCIPAL

El diámetro de orificio de control en las válvulas de bombeo neumático intermitente es extremadamente importante, cuando el control de la inyección de gas en la superficie es por estrangulador o válvula de aguja, ya que el tamaño de este orificio determina el volumen de gas que la instalación inyecta por ciclo.

Por otra parte el orificio de paso principal de gas de la válvula, debe de ser de un diámetro lo suficientemente grande para que el gas pase con la mínima restricción posible a la tubería de producción a fin de imprimir al bache de líquido la mayor velocidad posible y lograr un levantamiento eficiente.

En la Fig. VI.5, puede observarse que el tiempo de viaje del bache de líquido a la superficie disminuye a medida que aumenta el diámetro de orificio de paso principal de gas, lo que indica un incremento en la velocidad del bache y una reducción en el resbalamiento de líquido.

La gráfica superior muestra el incremento en la recuperación de líquido, al aumentar el diámetro del orificio.

De acuerdo a los resultados experimentales obtenidos por K. E. Brown. (7) En todos los casos se encontro que con un

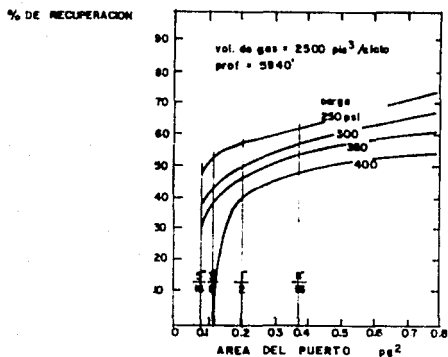


Fig. VI. 4. % de recuperación vs. area del puerto.

K.E. Brown, et al. (9).

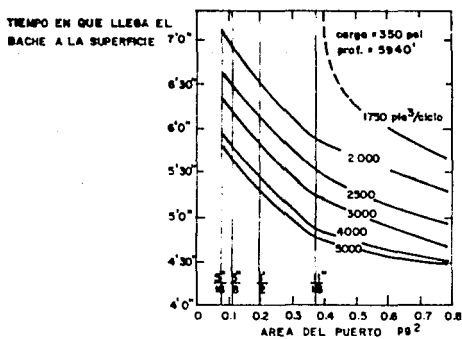


Fig. VI. 5 Tiempo contra área del puerto.

K.E. Brown et. al. (9)

diámetro grande del orificio principal se tiene una mayor eficiencia del sistema.

RECOMENDACIONES PARA LA OPTIMIZACION DEL SISTEMA

Para que la descarga del pozo se lleve a cabo sin problemas de falta de presión, al diseñar el espaciamiento de las válvulas se deben considerar, la presión de operación disponible, el gradiente del fluido de control utilizado y la contrapresión en el cabezal del pozo, ya que estas variables influyen directamente en la profundidad a la que deben ser colocadas las válvulas.

El espaciamiento entre válvula y válvula no debe de ser menor de 300 pies, a fin de evitar interferencia entre válvulas y un número excesivo de éstas en la instalación.

El volumen de gas inyectado deberá de ser al menos tal, que llene la tubería de producción desde la válvula operante hasta la superficie, y el bache pueda ser desplazado eficientemente.

El diámetro del orificio principal de la válvula operante debe ser lo mayor posible, con un mínimo de 1/2 pg con lo que se logra un incremento en la velocidad del bache, un aumento en la recuperación de líquidos y una reducción en el tiempo de estabilización de la presión en el fondo del pozo.

CAPITULO VII

OPERACION DEL SISTEMA

Desde que se diseña una instalación de bombeo neumático intermitente, hasta su puesta en operación, no deben de dejar de tomarse en cuenta los factores que pueden afectar su funcionamiento. En el diseño de la instalación la calibración que se hace en el taller es extremadamente importante, pues esta puede ser la diferencia entre si una instalación opera correctamente o no.

En la operación del sistema, desde el proceso de descarga hasta la determinación del número de ciclos por día es importante no descuidar detalles ya que por ejemplo un proceso de descarga mal realizado puede dañar permanentemente los asientos de las válvulas y tener una instalación operando ineficientemente.

VII.1 PROCESO DE DESCARGA DEL FLUIDO DE CONTROL

Cuando a un pozo se le instala un aparejo de bombeo neumático, normalmente éste se encuentra lleno con fluido de control hasta la superficie. Para poner el pozo en producción nuevamente, es necesario desalojar el fluido de control mediante la inyección de gas al espacio anular. El fluido de control es desalojado del espacio anular a la tubería de producción a través de las válvulas de bombeo neumático y de ahí hasta la superficie. A esta operación en el pozo se le conoce como proceso de descarga del fluido de control. A fin de evitar daño al asiento de las válvulas el proceso de descarga debe de efectuarse lentamente evitando que el fluido de control pase a alta velocidad por los orificios de las válvulas.

Si el proceso de descarga no se lleva a cabo correctamente el fluido de control corta los asientos de las válvulas, perdiéndose totalmente la calibración, presentándose además comunicación entre el espacio anular y tubería de producción a través de ellas. En tales circunstancias el aparejo de bombeo neumático quedará dañado y será necesario reemplazarlo, elevando con esto los costos de operación del sistema.

Una vez iniciado el proceso de descarga, el fluido de control empieza a descargar por la tubería de producción y de aquí a la presa de lodos en donde el gas y el aceite

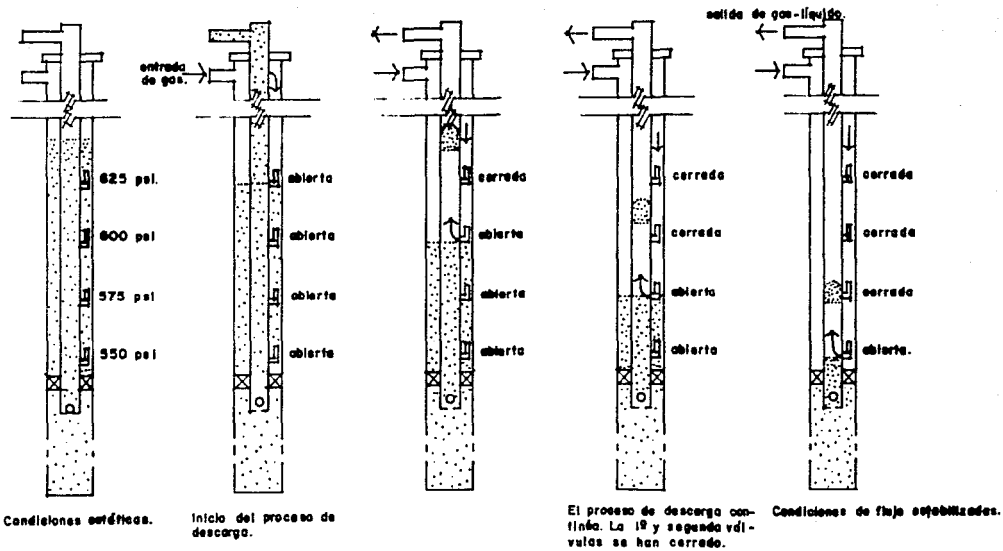


Fig. VII. 1 Proceso de descarga para instalaciones de bombeo neumático intermitente.
K.E. Brown (1)

contaminado deben de quemarse. Una vez que el pozo ha desalojado el fluido de control y fluidos corrosivos empleados en la estimulación, si es el caso, el pozo se alinea a la batería de separación para la recuperación del aceite y el gas.

Cuando la primera válvula queda al descubierto, se manifiesta en la superficie un aumento en la velocidad del flujo por el extremo de la tubería de producción.

La calibración del control superficial del gas de inyección se efectúa cuando el pozo ha sido descargado y se hacen los ajustes necesarios.

En ocasiones es difícil pasar de una válvula a otra más profunda, si esto ocurre una de las reglas prácticas de campo, consiste en reducir la contrapresión y usar un volumen ilimitado de gas para descargar el pozo hasta alcanzar un punto de inyección más profundo, ya que a medida que se logran puntos de inyección más profundos, la producción del pozo se incrementa.

VII.2 PORCENTAJE DE AGUA

Dado que el agua tiene una densidad mayor que el aceite, y que ésta se presenta con mayor frecuencia en los pozos que ya agotaron su presión de yacimiento, es común tener en el

bombeo neumático intermitente, baches con alto porcentaje de agua.

Esta presencia de agua incrementa el peso del bache y por lo tanto es necesario una mayor presión de operación para impulsar el bache hacia la superficie, o por el contrario manejar baches de menor longitud inicial.

Otro problema que se origina por la presencia de agua en el bache es que puede llegar a formar emulsiones estables con el aceite, siendo estas de una viscosidad muy superior a la del aceite producido, disminuyendo la velocidad de ascenso del bache y aumentando la penetración del gas. En algunas ocasiones la penetración del gas en el bache es total y la recuperación que se logra es únicamente por arrastre del gas.

Debido al cambio de temperatura y a la variación de presión dentro de la sarta de producción se fomenta la incrustación de sales en la tubería de producción, restringiendo el área de flujo del bache y una disminución en la velocidad de ascenso del mismo.

VII.3 NUMERO DE CICLOS POR DIA

En una instalación de bombeo neumático intermitente el número de ciclos por día esta en función de la capacidad de aportación de fluidos de la formación y del tiempo de

estabilización de la presión en el fondo del pozo, influye también en la frecuencia de ciclos, la profundidad del pozo como se puede observar en la ecuación empírica en la cual interviene esta variable.

El número de ciclos por día y la recuperación se pueden estimar con las siguientes ecuaciones empíricas:

$$N = \frac{1440}{3 * D_w / 1000}$$

$$R_p = \frac{C_e (P_e - P_{wh})}{G_w} * (1 - S_r * (\frac{D_w}{1000}))$$

Otro método desarrollado para calcular la recuperación de líquido es a partir de un número de ciclos óptimo, el cual esta en función de la velocidad del bache y la relación de JG_w/A Fig VII.2, el gasto diario de líquido recuperado puede calcularse con las siguientes ecuaciones:⁽³⁾

$$q = \frac{A (P_{ws} - P_m)}{5.614 G_w} * \frac{b}{1 + b/N_{opt}}$$

$$P_m = P_{wh} + 5.614(G_w/a) * \text{vol de líquido resbalado}$$

$$b = (5.614 J G_w / A)$$

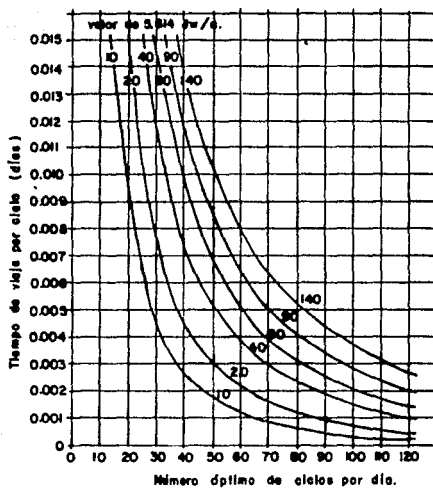


Fig. VII. 2 Número óptimo de ciclos por día como función del tiempo de tránsito del bache de líquido y de Jw/a .

T.E.W. Nind. (3)

Con el valor de b y la Fig. VII.3, se obtiene la N_{opt} , y con este valor de N_{opt} y con la ecuación que se requiere N_{opt} se obtiene q_{opt} , o de manera inversa con la misma ecuación y un valor de q se puede determinar la N_{opt} .

Cuando el índice de productividad es alto, la eficiencia de operación es más sensible al número de ciclos por día.

Los pozos profundos deben operarse a menos ciclos por día que los pozos poco profundos, debido al tiempo de ascenso del bache que es mayor.

VII.4 VELOCIDAD DE ASCENSO DEL BACHE

Una alta velocidad de ascenso del bache, causa un menor resbalamiento de líquido. Para fines prácticos ésta debe ser al menos de 1000 pie/min.

La velocidad de ascenso del bache es función principalmente de la carga de líquido a manejar, de la diferencial de presión entre T. R. y T. P. al momento de abrir la válvula, del diámetro de orificio de paso principal de la válvula operante y del tipo de fluido entre otras variables.

En la Tabla VII.1(*) puede observarse que al tener un incremento en la presión de la tubería de revestimiento aumenta la velocidad del bache, así también como con un diámetro mayor del puerto de la válvula.

TABLA VII.1

AREA DEL PUERTO	P_e/P_s	V_w (calculada)	V_w (actual)
19/64	2	21.6	22.5
19/64	1.5	16.2	16.0
19/64	1.3	12.5	12.8
13/32	2	24.75	25.8
13/32	1.5	17.5	18.0
13/32	1.3	14.5	14.4
1/2	2	26.5	27.6
1/2	1.5	22.0	20.0
1/2	1.3	16.7	15.3

En la Fig VII.3 se muestra la variación de la velocidad del bache de líquido con respecto a la relación P_e/P_s , observándose que a medida que aumenta esta relación, aumenta la velocidad del bache, dependiendo del tipo de fluido.

RECOMENDACIONES PARA LA OPTIMIZACION DEL SISTEMA

El proceso de descarga debe de efectuarse lentamente para no dañar las válvulas y la operación futura del sistema no se vea afectada.

Los fluidos descargados deben de enviarse a la presa de lodos hasta que el bache que sale de la tubería de producción este limpio.

La presión del gas de inyección debe de ser al menos de 100 psi por cada 1000 pies de profundidad, partiendo de una presión mínima de 300 psi.

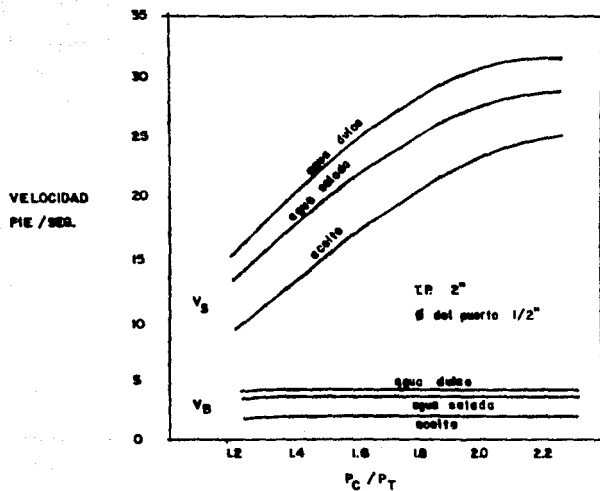


Fig. VII 3 Velocidad vs. P_c / P_T para varios fluidos.

G.W. White et. al (6).

El número de ciclos por día puede optimizarse con el método propuesto anteriormente y por tanto tener una mayor recuperación y menores costos por barril producido.

La velocidad de ascenso del bache esta en función de varias variables, debiendo ser esta para fines prácticos y para que la instalación sea eficiente, de al menos 1000 pies/min.

CAPITULO VIII

DIAGNOSTICO DE PROBLEMAS

Cuando un pozo con bombeo neumático intermitente entra en operación el equipo superficial instalado, consiste de un registrador de presión con dos plumillas el cual registra tanto la presión de línea como la diferencial a través de la placa de orificio.

Con este equipo se puede determinar si una instalación esta operando correctamente o si existe alguna falla. Entre las fallas más comunes estan: Fuga en algún punto de la sarta de producción, a través del empacador o a través de alguna de las válvulas, restricción al paso del gas en la válvula operante, interferencia entre válvulas por descalibración de alguna o algunas de ellas, frecuencia de ciclos inapropiada a la recuperación del pozo y restricciones al flujo en la tubería de producción.

La pronta solución de algún problema que se presente en la instalación conduce a tener operaciones más eficientes del

sistema y por tanto mayores recuperaciones del bache en la superficie.

VIII.1 OPERACION CORRECTA

La operación correcta de una instalación de bombeo neumático intermitente empleando interruptor de tiempo en la superficie, se caracteriza por el rápido incremento de la presión en la tubería de revestimiento hasta alcanzar la presión de apertura de la válvula operante. Una vez que la válvula abre debe de manifestarse una rápida declinación de la presión en el espacio anular. Esto refleja una inyección rápida del volumen de gas que se requiere para efectuar el levantamiento. Por otra parte en el instante en que el interruptor abre, se manifiesta un rápido incremento en la diferencial de presión medida a través de la placa de orificio. Cuando cesa la inyección, la diferencial deberá de caer rápidamente hasta cero. Esto se puede observar en la Fig. VIII.1. En el intervalo entre ciclo y ciclo de inyección la presión permanece constante, indicando la presión de cierre de la válvula operante y el confinamiento hermético del espacio anular.

Cuando la inyección del gas es controlada en la superficie con un estrangulador o válvula de aguja, la operación correcta es como se muestra en la Fig. VIII.2. La presión en la T.R. se ve incrementada en forma continua y gradual entre

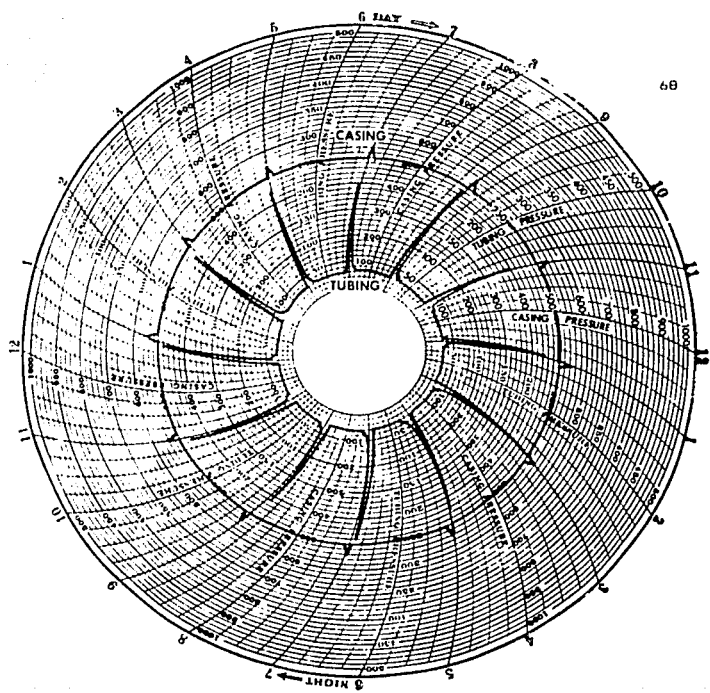


FIG. VIII.1 GRAFICA QUE MUESTRA UNA BUENA OPERACION DE UNA INSTALACION DE BOMBEO NEUMATICO INTERMITENTE CON INTERRUPTOR DE TIEMPO EN LA SUPERFICIE
K. E. BROWN '11'

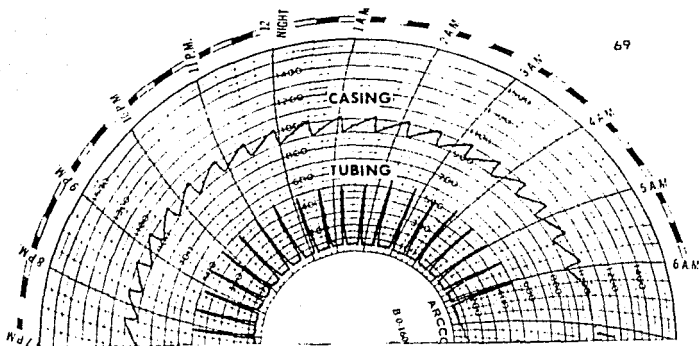


Fig. VIII.2 OPERACION CORRECTA DE UNA INSTALACION DE BOMBEO NEUMATICO INTERMITENTE CON CONTROL POR ESTRANGULADOR EN LA SUPERFICIE
K. E. BROWN '11'

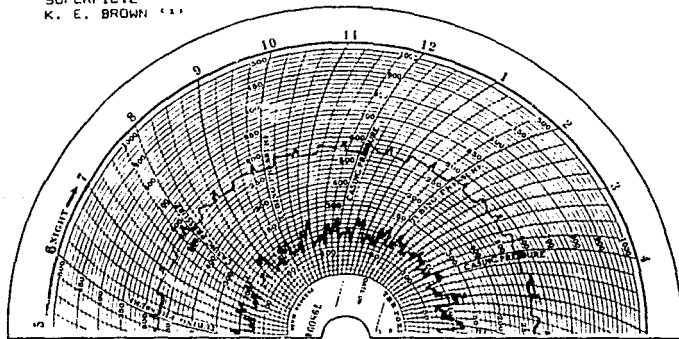


Fig. VIII.3 OPERACION ALTERNA DE LA VALVULA OPERANTE POR INSUFICIENCIA DE GAS EN EL CICLO OCASIONADA POR LA EXISTENCIA DE UNA FUGA DE GAS EN EL APAREJO DE BNI
K. E. BROWN '11'

ciclo y ciclo, hasta que se alcanza la presión de apertura de la válvula. Cuando la válvula abre, la presión disminuye drásticamente hasta que se alcanza la presión de cierre, y se inicia un nuevo ciclo. Mientras tanto el gas continúa inyectándose, aumentando gradualmente la presión en el espacio anular como se observa en la curva de la T.R., la presión en la T.P. permanece constante entre ciclo y ciclo como se puede observar en la gráfica.

VIII.2 FUGAS DE GAS

Las fugas de gas se pueden presentar en la tubería de producción, en la válvula operante, o una válvula superior o a través del empacador, cualquiera que sea el punto donde se presente una fuga de gas de inyección, ocasiona que se inyecte una menor cantidad de gas para impulsar al bache y en consecuencia se tiene un proceso menos eficiente.

En la Fig. VIII.3 se observa en la gráfica del registrador de presión la presencia de dos problemas: operación alterna de la válvula operante ocasionada por insuficiencia de gas inyectado en el ciclo para alcanzar la presión de apertura de la válvula, debido a la existencia de una fuga de gas en el aparejo de bombeo neumático intermitente.

La insuficiencia de gas se manifiesta porque la válvula no opera en el ciclo inmediato al que acaba de descargar, y la

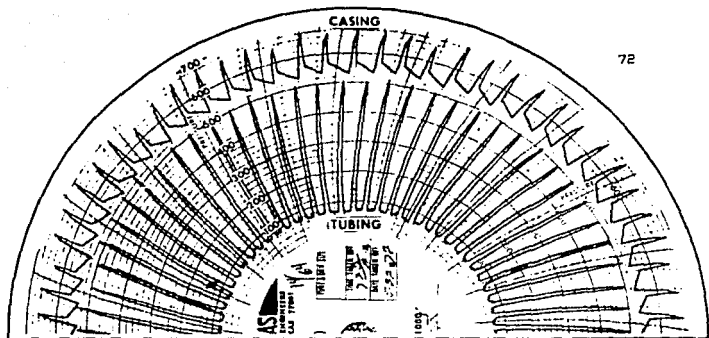
fuga de gas se determina porque la presión entre ciclo y ciclo en la T.R. no es constante decayendo más allá del valor de la presión de cierre de la válvula operante.

En la Fig. VIII.4 se tiene un caso de fuga de gas en algun punto subsuperficial de la instalación, esto se determina por el abatimiento de la presión en el espacio anular más abajo de la presión de cierre de la válvula entre un ciclo y otro. Una instalación operando en estas condiciones requiere de un excesivo volumen de gas de inyección por ciclo.

VIII.3 RESTRICCIONES EN LA TUBERIA DE PRODUCCION

Las restricciones en la T.P. pueden ser causadas por parafinamiento, arenamiento, incrustación de sales como carbonato de calcio, sílice, sulfato de bario etc., sustancias asfálticas, colapsamiento de la tubería de producción. Cualquiera de estos problemas origina una disminución en el área de flujo de la tubería ocasionando restricción al flujo del bache, que es causa directa de una menor recuperación.

En la Fig. VIII.5 se puede observar como un registrador de presión graficaría la variación de presión en el espacio anular, mostrando que la presión no disminuye rapidamente despues de la apertura de la válvula operante, esto puede ser causado por alguna restricción en la tubería de descarga y por tanto el gas se estrangula en su paso por este punto,



72

Fig. VIII.4 FUGA DE GAS EN EL EQUIPO SUBSUPERFICIAL DE LA INSTALACION K. E. BROWN¹¹¹

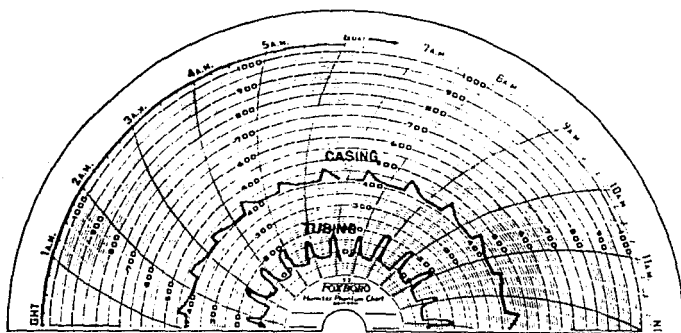


Fig. VIII.5 RESTRICCIÓN EN ALGUN PUNTO DE LA TUBERIA DE PRODUCCION O CICLOS MUY LARGOS DE INYECCION K. E. BROWN¹¹¹

o puede ser también por causa de un ciclo de inyección muy largo.

VIII.4 INTERFERENCIA ENTRE VALVULAS

En la inyección del gas al pozo es posible que dos válvulas abran al mismo tiempo o que una válvula superior a la operante abra primero o también se tenga una alternancia de válvulas que estén operando.

Esta interferencia entre válvulas provoca que solo una parte del bache se produzca y se tengan recuperaciones pobres de líquido si la válvula que opera es una superior a la operante; si operan dos válvulas al mismo tiempo es posible que se inyecte gas en medio del bache cuando este pase por la válvula superior a la operante y se rompa el bache, disminuyendo la eficiencia de levantamiento.

En la Fig. VIII.6 se observa operación alterna de válvulas entre ciclos de inyección, causando levantamiento de baches de líquido de longitudes iniciales diferentes.

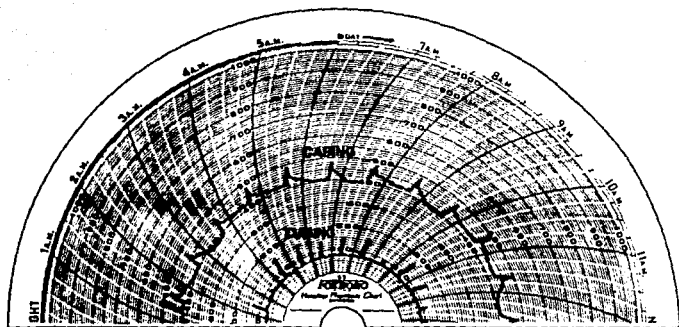


Fig. VIII.6 ALTERNANCIA EN LA VALVULA QUE OPERA
K. E. BROWN '33'

CONCLUSIONES

A continuación se proporcionan las conclusiones que se consideran más importantes en el desarrollo de este trabajo.

1) Siempre que sea posible deberá instalarse interruptor de tiempo en la superficie, ya que éste controla de una manera más exacta el volumen de gas inyectado y el tiempo de duración de la inyección.

2) La presión de separación debe de reducirse al mínimo posible, a fin de lograr un desplazamiento más rápido del bache de líquido desde el fondo del pozo hasta el separador.

3) El cabezal del pozo debe de ser de forma hidrodinámica, en forma de cuello de ganso, para evitar todas las posibles restricciones al flujo y que no aumente la contrapresión en el cabezal.

4) Las válvulas instaladas en el aparejo de producción, deben de ser válvulas fabricadas especialmente para operar con bombeo neumático intermitente, cuya característica fundamental sea la de lograr una apertura y cierre instantáneo con un diámetro de orificio de paso principal de gas lo más grande posible.

5) La presión superficial de operación debe ser por lo menos de 100 psi por cada 1000 pies de profundidad del pozo, para lograr una velocidad adecuada de ascenso del bache y un menor resbalamiento del bache de líquido, además de alcanzar puntos de inyección más profundos.

6) El gas de inyección debe de ser un gas seco, dulce y libre de partículas sólidas, para evitar tener problemas secundarios en la instalación.

7) El espaciamiento de válvulas no debe de ser menor a 300 pies, a fin de evitar interferencia entre válvulas y un número excesivo de éstas en la instalación.

8) El orificio de paso principal de gas de la válvula operante debe de ser al menos de 1/2 pg., para tener un paso rápido del gas sin estrangulamiento.

9) En base a resultados experimentales se ha observado que la inyección de gas no debe de suspenderse hasta que el bache de líquido alcance la superficie, pues de no ser así se tendría un empuje por expansión del gas, disminuyendo la eficiencia del sistema.

10) Las tuberías de producción y de descarga deben de estar limpias de incrustaciones de sales, parafinas etc. para no reducir el área al flujo del bache y tener pérdidas de presión por esta causa.

11) Para lograr altas eficiencias en el levantamiento del bache de líquido, éste no debiera viajar a velocidades menores de 1000 pie/min.

NOMENCLATURA

- A = Area de la sección transversal de un tubo
- A_b = Area de fuelles
- A_p = Area del puerto
- A_t = Area de la sección transversal de la T.P.
- B_p = Recuperación de líquido por ciclo
- b = Fuelles
- C_t = CAP = Capacidad de la tubería de producción
- D = profundidad de la válvula operante
- d = diámetro interior de la tubería de producción
- D_v = Profundidad de la válvula operante en miles de pies
- f = Fracción de día = $T * n$
- G_s = Gradiente estático de los fluidos de formación
- IP = Índice de productividad
- q_g = Gasto másico de gas
- J = Índice de productividad
- L = Profundidad de la válvula operante
- L = Longitud de la línea de descarga
- L_i = Longitud inicial del bache
- n = Número de ciclos por día
- P = Presión
- P_o = Presión inicial

- P_1 = Presión de operación en la superficie
 P_w = Presión de operación frente a la válvula operante
 P_c = Presión en la T.R. frente a la válvula operante
 P_{w0} = Presión de arranque
 P_m = Volumen de líquido resbalado
 P_s = Presión de separación
 P_{sv} = Presión de vapor en la válvula operante
 P_{so} = Presión superficial de operación
 P_b = Presión en la T.P. frente a la válvula operante
 P_{cb} = Presión en la T.P. frente a la válvula operante
 P_{va} = Presión de apertura de la válvula
 P_{wf} = Presión de fondo fluyendo
 P_{wh} = Presión en la cabeza del pozo
 P_{we} = Presión de fondo estático
 Q_g = Gasto de gas
 q = Gasto
 S = Sumergencia
 S_r = Factor de pérdida por resbalamiento
 T = Tiempo inyección de gas por ciclo (en fracción de día)
 T = Temperatura final
 T_0 = Temperatura inicial
 T_1 = Temperatura frente a la válvula operante
 $T.P.$ = Tubería de producción
 $T.R.$ = Tubería de revestimiento
 T_{sc} = Temperatura en la superficie
 V_g = Velocidad del gas

V_{ob} = Velocidad del gas al pasar por la válvula operante

V_a = Velocidad del gas en la superficie

Z = Factor de expansión del gas

Z_b = Factor de expansión del gas en la válvula operante

γ_b = Densidad relativa del gas

ΔP = Caída de presión

Δt = Diferencia de tiempo

$\bar{\epsilon}$ = Promedio de líquido resbalado

\varnothing = Diámetro

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

BIBLIOGRAFIA

1) Brown, K.E.: "The Technology of Artificial Lift Methods Vol. 2a". Petroleum Publishing Co. TULSA 1980 Capitulo 3

2) Craft, Holden and Graves: "Well Design Drilling and Production ". Prentice-Hall. Inc Englewood Cliffs. New Jersey 1962

3) Nind, T.E.W.: "Producción y Mantenimiento de Pozos Petroleros". Limusa. 1a. edición Mexico 1987.

4) Gomez C, J.A.: "Apuntes de Producción de Pozos I". Facultad de Ingeniería UNAM 1988.

5) Zuñiga P, H. "Diseño y Estudio Analítico del Bombeo Neumático Intermitente". Tesis Profesional Facultad de Ingeniería UNAM 1969.

6) Neely, A.B., Montgomery, J.W., Vogel, J.V.: "A Field Test and Analytical Study of Intermittent Gas Lift". (1974) Trans AIME Vol. 257.

7) Brill, J.P., Doerr T.C., Brown, K.E.: "An Analytical Description of Liquid Slug Flow In Small Diameter Vertical Conduits". Journal Petroleum Technology (March 1967) 419 - 432.

8) White, G.W., O'Connell, B.T., Davis, R.C., Berry, R.F. and Stacha, L.A.: "An Analytical Concept of the Static and Dynamic Parameters of Intermittent Gas Lift". Journal Petroleum Technology (March 1963). 301 - 308; Trans., AIME. Vol. 228.

9) Brown, K.E. and Jessen, F.W.: "Evaluation of Valve Port Size, Surface Chokes and Fluid Fall-Back in Intermittent Gas Lift Installations". J. Pet. Tech. (March 1962) 315 - 322; Trans., AIME, Vol. 225.

10) Beadle, G., Harlan, J. and Brown, K.E.: "Evaluation of Surface Back-Pressure for Continuous and Intermittent-Flow Gas Lift". J. Pet. Tech. (March 1963) 243 - 251.

11) Laing, C.M.: "Gas Lift Design and Production Optimisation Offshore Trinidad". 61st. Annual Technical Conference SPE. New Orleans, L.A. October 1986.

12) Reeden, J.D., Sherman, T.A.G. and Blann, J.R.: "Optimizing Gas-Lift Systems". Paper SPE. 5150.

13) Muñoz H., A. e Islas S., C.: "Evaluación Experimental de Inhibidores de Incrustación". Revista del IMP (Enero 1977) 47 - 63.

14) Garaicochea P., F. y Benitez H., M.A.: "Terminación de Pozos, Apuntes". Facultad de Ingeniería UNAM (1983).

15) Gomez C., J.A., Becerril C., F. y Flores S., L.: "Apuntes de Manejo de la Producción en la Superficie". Facultad de Ingeniería UNAM. 1986

16) Schmidt, Z., Doty, D. R., Lukony, P. B., Fernández, O. F. and Brill, J. P.: "Hydrodynamic Model for Intermittent Gas Lifting of Viscous Oil". J. Pet. Tech. (March 1984).