



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**"APLICACION DE UN PROGRAMA DE COMPUTO
PARA EL DISEÑO DE UNA INSTALACION DE
BOMBEO NEUMATICO INTERMITENTE EN
POZOS PETROLEROS"**

TESIS PROFESIONAL

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO PETROLERO**

P R E S E N T A :

JULIAN TEJEDA RODRIGUEZ

MEXICO, D. F.

1981





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



Universidad Nacional
Autónoma

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-117

Al Pasante señor TEJEDA RODRIGUEZ JULIAN
P r e s e n t e .

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

"APLICACION DE UN PROGRAMA DE COMPUTO PARA EL DISEÑO DE UNA INSTALACION DE BOMBEO NEUMÁTICO INTERMITENTE EN POZOS PETROLEROS".

Introducción

- I. Definición general
- II. Estudio analítico
- III. Programa de cómputo para el diseño de una instalación de bombeo neumático intermitente.
- IV. Conclusiones y recomendaciones

Bibliografía

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

Atentamente,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 14 de mayo de 1981
EL DIRECTOR

Ing. Javier Jiménez Espilú

JJE:MRV:mdb.

INDICE

	PAG.
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	
DEFINICION GENERAL	
I.1.- Ciclo Intermitente	3
I.2.- Mecanismo de la Válvula.	5
I.3.- Tipos de Instalaciones	9
CAPITULO II	
ESTUDIO ANALITICO	
II.1.- Comportamiento de Presión en la Superficie	11
II.2.- Presión en el Espacio Anular frente a la Válvula de Inyección	11
II.3.- Desplazamiento del Bache de Líquido dentro de la Tuberfa de Producción	12
II.4.- Resbalamiento de Líquido	16
II.5.- Presión en la Tuberfa de Producción frente a la- Válvula de Inyección.	21
II.6.- Flujo de Gas a través de la Válvula	23
II.7.- Aportación de Líquido de la Formación.	25
II.8.- Flujo a través de la Línea de Descarga	25
II.9.- Determinación de la velocidad del Bache de Líquido	29
II.10.-Desplazamiento del Bache por Expansión del Gas	30
CAPITULO III	
PROGRAMA DE COMPUTO PARA EL DISERNO DE UNA INSTALACION DE BOMBEO NEUMATICO INTERMITENTE.	
III.1.- Diagrama de Bloques	33
III.2.- Ejemplo de Aplicación	37
CAPITULO IV	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
IV.1.- CONCLUSIONES	71
IV.2.- RECOMENDACIONES.	71
BIBLIOGRAFIA	77

INTRODUCCION

La extracción del aceite por medio del bombeo neumático se ha generalizado en forma muy amplia, situación a la que contribuye fundamentalmente - la disponibilidad de volúmenes cada vez mayores de gas y de la efectividad - con que operan las herramientas utilizadas en este sistema.

En el pasado, el diseño y operación de este tipo de instalaciones deja ba mucho que desear, ya que, convencionalmente, los diseños se hacían con da tos empíricos, tomados de los datos de operación de instalaciones anteriores; en consecuencia, los resultados obtenidos de estas prácticas de diseños tan pobres, necesariamente tenían que redundar en operaciones deficientes de las instalaciones, o sea, que los problemas se resolvían con la llamada "expe- - riencia de campo" y no a partir de rigurosos análisis de ingeniería; este he cho ocasionó que no se pusiera especial interés en este tipo de sistema de - explotación, debido a que se operaba con baja eficiencia y sólo se tendía a - salir del paso.

El bombeo neumático es uno de los métodos artificiales de producción - que tiene aplicación en la industria petrolera, cuando la energía propia del yacimiento no es capaz por sí misma de levantar los fluidos hasta la superfi cie, a la presión mínima requerida. Uno de estos sistemas es el bombeo neumá tico intermitente, el cual consiste en producir baches de líquido, impulsa-- dos por gas a alta presión.

La utilización de este método, tiene aplicación principalmente en - - aquellos campos que cuentan con suficiente gas disponible; la principal difi cultad del bombeo neumático intermitente, no consiste en proyectar el apare - jo de bombeo, sino en predecir los resultados que pueden esperarse.

El panorama actual es sensiblemente diferente al de las pasadas déca-

das, ya que el aprovechamiento del gas, tanto para fines industriales y domésticos, así como un medio para obtener hidrocarburos líquidos, ha hecho -- que se precie en su justo valor el gas que antiguamente se quemaba a la atmósfera; esta condición limita los volúmenes disponibles para operar pozos - con el sistema de bombeo neumático y señala las presiones a que se deben operar, obligando a hacer diseños en que se aproveche óptimamente la energía - disponible.

En la actualidad, con la ayuda de la computadora, se facilitan los - diseños de instalaciones y el análisis de diferentes alternativas. Es conveniente hacer notar que debido al carácter teórico del método, su uso práctico está supeditado a los resultados que se obtengan de pruebas en el campo.

CAPITULO I

DEFINICION GENERAL

I.1.- CICLO INTERMITENTE.

En bombeo intermitente (Fig. 1), el fluido en la tuberfa de produccin del pozo, es levantado a la superficie en forma de baches mediante la inyeccin y expansin del gas que es admitido en dicha tuberfa. Este tipo de levantamiento requiere operacin cíclica, de donde proviene el nombre de "BOMBEO DE GAS INTERMITENTE." El ciclo de gas intermitente consiste de:

- a) Un periodo de alimentacin de gas durante el cual, la presin dentro de la tuberfa de produccin deber ser reducida al mnimo para permitir un flujo mximo de fluido del yacimiento a dicha tuberfa.
- b) Un periodo de levantamiento, en el cual, gas a alta presin es introducido dentro de la tuberfa de produccin bajo la columna de fluido, con lo que dicha columna es desplazada a la superficie por la inyeccin y expansin del gas.
- c) Un periodo de reduccin de presin, en el cual la presin, de la tuberfa de produccin es reducida otra vez a un mnimo al desalojar el gas usado durante el periodo de levantamiento.

Para realizar este ciclo, es necesario controlar la profundidad de inyeccin del gas, presin y cantidad de gas inyectado, y el tiempo entre inyecciones.

La mxima produccin cuando se emplea bombeo de gas intermitente, se obtiene cuando se realiza la cantidad mxima de ciclos por da.

Esto se logra reduciendo a un mnimo el tiempo de cada periodo del ciclo. Disminuyendo la presin promedio a la profundidad de las perforaciones a un mnimo, se reduce el tiempo del periodo de alimentacin. Instalando

una válvula de inyección de gas tan profunda como fuere posible, la carga -- promedio de fluido en la tubería de producción se reduce a un mínimo, ya que así se logra un abatimiento máximo de la presión al fondo del pozo, lo que - permite obtener un gasto máximo de fluido alimentado.

El periodo de levantamiento se reduce levantando la columna del fluido a la máxima velocidad posible. Esta velocidad está controlada por la cantidad de gas inyectado a través de la válvula de inyección.

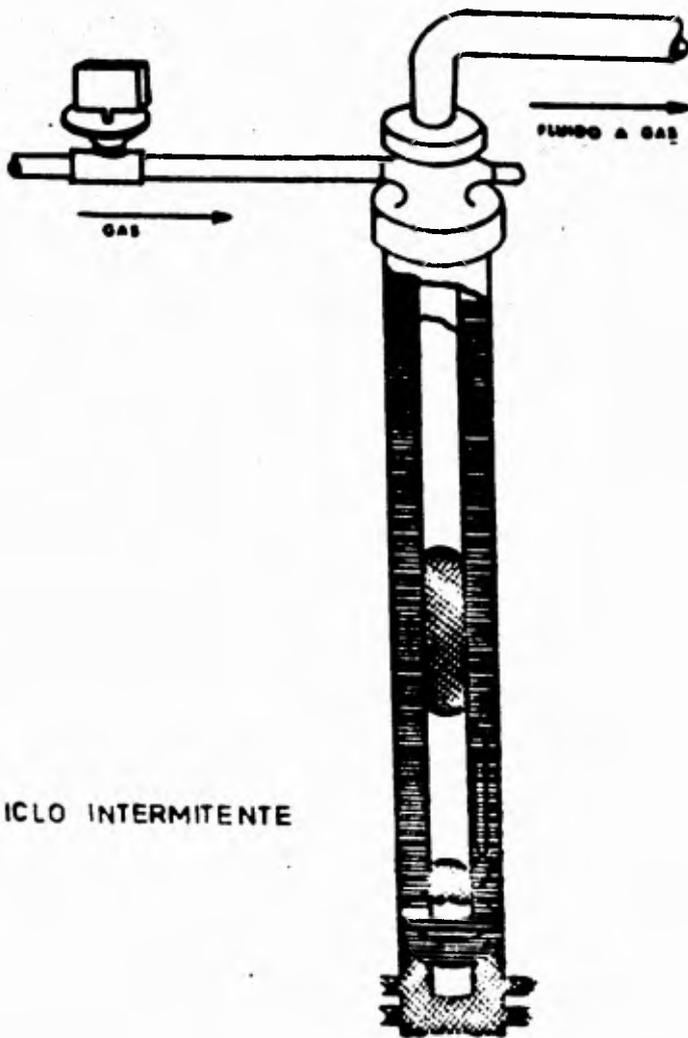
La velocidad de la columna afecta también la cantidad de fluido que - llega a la superficie, ya que con una velocidad más alta disminuye la -- pérdida de fluido o "resbalamiento."

Más adelante, al discutir la operación mecánica de la válvula, se probará que una válvula de rápida apertura y un gran puerto de admisión producirá la máxima velocidad en la columna, para una misma presión de operación.

El periodo de reducción de presión puede ser reducido mediante el uso de grandes capacidades de separación y reduciendo al mínimo las restricciones en la cabeza del pozo así como en la línea de flujo. Este periodo puede también ser reducido usando la cantidad de gas mínima necesaria durante el - periodo de levantamiento.

Aparentemente las necesidades del periodo del levantamiento y del periodo de reducción de presión son contradictorias, sin embargo una velocidad óptima puede ser lograda cuando el resbalamiento de fluido puede ser reducido a un nivel aceptable y el periodo de reducción de presión es reducido al mínimo.

Desde el punto de vista económico, el tiempo del ciclo óptimo es alcanzado cuando la relación de gas inyectado a fluido es mínima. Si la velocidad de columna es máxima, la relación gas/fluido resultante será alta y el - número de ciclos será reducido debido a que la duración del periodo de reducción



CICLO INTERMITENTE

FIG. 1

ción de presión será mayor.

Si la velocidad de la columna es mínima, aumentará el resbalamiento - hasta el punto en que la relación gas/aceite será demasiado alta, debido a la pequeña cantidad de fluido recuperado.

1.2.- MECANISMO DE LA VALVULA.

Con objeto de comprender las funciones de control de la válvula de bombeo neumático en el ciclo intermitente, es necesario analizar el mecanismo de la válvula. La válvula operada por piloto (Fig. 2), es en principio, diseñada para llenar los requisitos de bombeo de gas intermitente, ya que el piloto proporciona un control de presión sensitivo y la válvula principal o válvula de potencia proporciona un puerto grande, de apertura rápida para la inyección de gas.

Consideremos primero la sección piloto. La fuerza ejercida cuando la válvula está a punto de abrir, es:

$$F_S = P_0 (A_B - A_S) + P_B A_S$$

DONDE:

F_S = Fuerza ejercida por el resorte-libras.

P_0 = Presión de gas - lb/pg²

P_B = Presión de fluido - lb/pg²

A_B = Area efectiva del fuelle - pg²

A_S = Area efectiva en el asiento de la válvula - pg²

Puesto que la presión del gas es mayor que la presión ejercida por el fluido, la presión en la tubería del fluido aumenta después de que la válvula se abre, lo cual aumenta la fuerza tendiente a abrir la válvula. Durante el periodo de levantamiento, la presión del gas dentro del espacio anular es

reducida debido a la alta cantidad de gas que pasa a la tubería. La expansión del gas bajo la columna de flujo reduce la presión en la tubería de producción. Cuando estas dos presiones, nuevamente nivelan la fuerza del resorte, la válvula se cerrará.

El área de flujo a través del orificio en el vástago de la válvula principal, es relativamente pequeña, por lo que después de que la válvula piloto se abre, la presión (P_B) actuando sobre el asiento de válvula es igual a la presión del gas (P_O), de ahí que, la siguiente ecuación describa las fuerzas al momento del cierre de la válvula.

$$F'_S = P'_O (A_B - A_S) + P'_B A_S$$

Puesto que $P'_O = P'_B$ y $F'_S = F'_S$ (El resorte de la válvula está en la misma posición que en el momento de la apertura):

Esta ecuación resulta:

$$F'_S = P'_O A_B$$

o substituyendo $P'_O = P_C$ (para simplificar).

$$F'_S = P_C A_B$$

El área efectiva del fuelle para una válvula específica es constante, de ahí que, P_C es una medida de ajuste del resorte, y puede ser determinada antes de instalar la válvula en el pozo, mediante la prueba de la misma en un aparato especial llamado "bloque de prueba" de la válvula, de acuerdo a la discusión anterior. Ya que P_C es un valor constante, constituye una especificación para el ajuste de la válvula y es nombrado algunas veces como "presión de cierre en el bloque de prueba" de la válvula.

Combinando las ecuaciones de apertura y cierre, resulta una relación:

$$P_C A_B = P_0(A_B - A_S) + P_B A_S \text{ ----- (I)}$$

De esta ecuación, es evidente que para una válvula en particular - - (A_B y A_S son constantes), hay tres variables que determinan las características de operación de la válvula; P_0 , P_C y P_B . Como P_C es ajustado antes de que la válvula sea instalada en el pozo, resulta una constante. La presión P_B es una función de la alimentación del fluido dentro del pozo, lo que deja a la presión del gas (P_0) como la única variable que es controlable desde la superficie. La ecuación (I) muestra que la magnitud de (P_0) necesaria para abrir la válvula depende en el valor P_B . Según P_B va aumentando, la presión del gas (P_0) requerida para abrir la válvula, disminuye. El Límite Superior de P_0 ocurre cuando $P_B = 0$ y el límite inferior ocurre cuando $P_B = P_C - P_0$.

La diferencia entre la presión de apertura y presión de cierre de la válvula se define como "amplitud". Como el valor de la amplitud depende del valor de la presión del gas, del valor de la presión del fluido, del área -- del fuelle del piloto y del área del asiento del piloto, puede obtenerse una útil relación derivando la siguiente relación de amplitud:

$$S_P = \frac{P_0 - P_C}{P_C}$$

Usando el límite superior del P_0 , según se define en la ecuación (I), la máxima relación de amplitud puede ser definida en términos constantes físicos de las válvulas, A_B y A_S , como sigue:

$$S_{PM} = \frac{A_S}{A_B - A_S} \text{ ----- (II)}$$

DONDE:

S_{PM} = Relación máxima de amplitud.

A_S = Area efectiva del asiento de válvula.

A_B = Area efectiva del fuelle.

El valor S_{PM} , es conveniente usarlo como especificación de la válvula piloto. Sustituyendo la ecuación (II) por la ecuación (I) se obtiene una forma simple:

$$P_0 = P_C + S_{PM} (P_C - P_B) \text{ - - - - - (III)}$$

Esta ecuación contiene las dos especificaciones de la válvula:

1) Relación de amplitud, y 2) presión de ajuste, lo cual describe -- completamente a la válvula piloto.

La función de la válvula principal es responder a la señal del piloto. Cuando el piloto está cerrado, la presión arriba del pistón es la presión - del fluido, (P_B) y la fuerza en la dirección de cierre es:

$$F_p + P_0 (A_p - A_v),$$

que es mayor que la fuerza en la dirección de apertura:

$$P_B (A_p - A_v)$$

ya que P_0 es mayor que P_B .

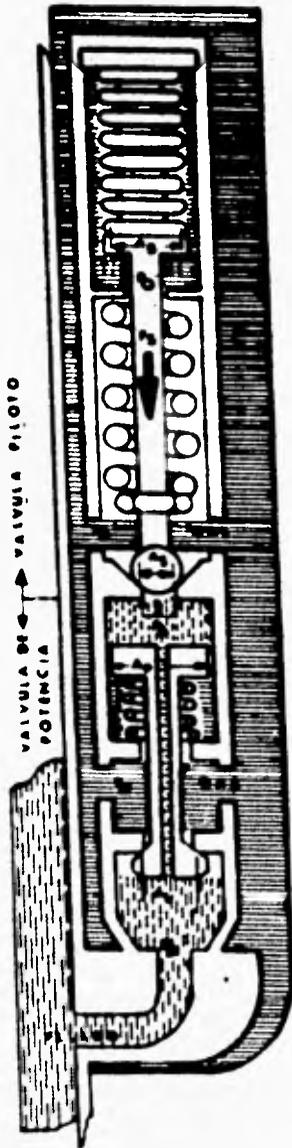
DONDE:

F_p = Fuerza ejercida por el resorte del pistón.

A_p = Area efectiva del pistón

A_v = Area efectiva del asiento de la válvula principal.

P_0 = Presión del gas.



MECANISMO DE LA
VALVULA

FIG. 2

P_B = Presión del fluido.

Bajo estas condiciones, la válvula principal permanece cerrada. Cuando la válvula piloto se abre, el gas es admitido dentro del cilindro, lo cual aumenta la presión sobre el pistón a P_0 . La fuerza de cierre cambia a $F_p + P_B A_B$ que es menor que la fuerza de apertura $P_0 A_B$, forzando la apertura de la válvula.

Una vez que el piloto ha cerrado, la presión arriba del pistón es nuevamente reducida a P_B , después de que el gas atrapado en el cilindro escapa a través del pasaje en el vástago de la válvula principal, lo que permite a ésta regresar a la condición de cierre.

1.3.- TIPOS DE INSTALACIONES.

Las instalaciones de bombeo neumático intermitente, pueden clasificarse en cualquiera de los siguientes grupos:

ABIERTA (Fig. 3a).- Este tipo de instalación se caracteriza por que no existe empacador en el espacio anular, ni válvula de pie en el extremo de la T.P., no es recomendable para bombeo intermitente pero puede hacerse cuando las condiciones del pozo, tales como corrosión o arenamiento, impidan colocar un empacador. La instalación puede operar ineficientemente cuando el gas de inyección entre por el extremo inferior de la T.P. o bien, cuando parte de los fluidos del pozo sean forzados a la formación a causa de la alta presión del gas, actuando directamente sobre la formación expuesta.

En este tipo de instalación no se puede mantener fijo el punto de inyección. El pozo más adecuado para este tipo de instalación, es aquel que tiene alta presión de fondo.

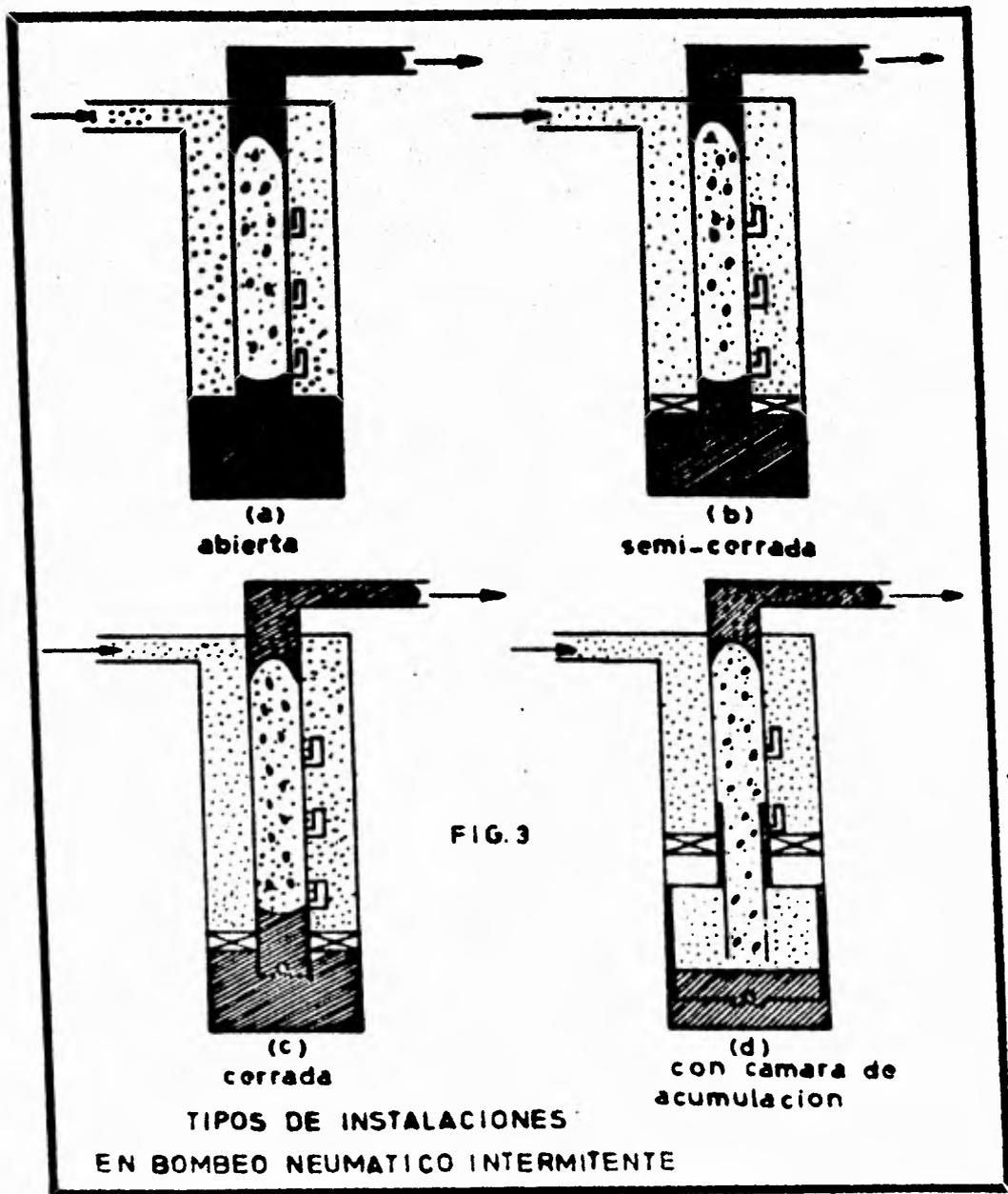
SEMI-CERRADA (FIG. 3b).- Esta instalación se caracteriza por que lle-

va un empacador, y mantiene el punto de inyección fijo, dentro de ciertos límites; y estos límites están definidos por la carga que se tiene en la tubería de producción. No se instala válvula de pie; se recomienda para pozos -- que tienen alta presión de fondo y un bajo índice de productividad. Cuando las condiciones del pozo no permitan la operación de la válvula de pie, deberá hacerse este tipo de instalación.

CERRADA (Fig. 3c).- Este tipo de instalación es la más comúnmente utilizada, debido a que cubre un amplio rango de condiciones del pozo. Se caracteriza por que lleva empacador y válvula de pie. Se utiliza en pozos que tienen baja presión de fondo y alta permeabilidad. Se recomienda utilizarla en todos los casos, excepto en aquellos que sea más conveniente instalar una cámara de acumulación.

INSTALACION CON CAMARA DE ACUMULACION.- (Fig. 3d).- Este tipo de instalación es ideal para aquellos pozos que tienen alto índice de productividad con baja presión de fondo, sin embargo, puede utilizarse ventajosamente para pozos que tienen bajo índice de productividad con alta presión de fondo.

Cuando la profundidad de los pozos de bombeo intermitente es demasiado grande, esta instalación opera con bastante éxito, proporcionando una longitud de bache inicial, mayor que la que pudiera obtenerse con otro tipo de instalación.



CAPITULO II

ESTUDIO ANALITICO

II.1.- COMPORTAMIENTO DE PRESION EN LA SUPERFICIE.

La gráfica de la Fig. 4, muestra un ejemplo de la variación de la presión del gas en la superficie, desde el instante en que abre la válvula de inyección dentro del pozo, punto A, hasta el instante en que cierra, punto B.

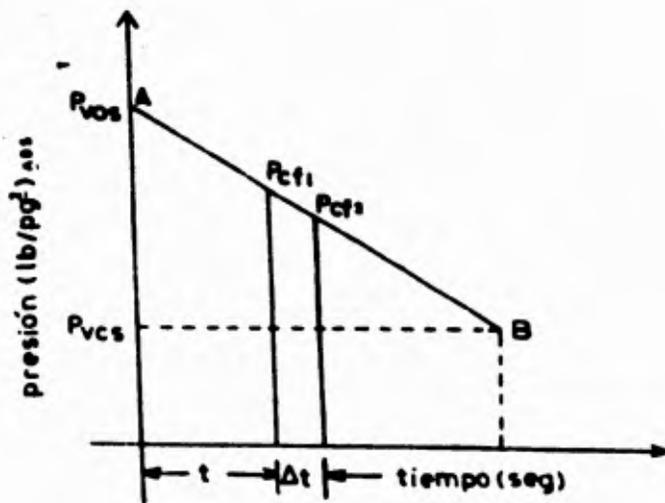
Aunque en esta gráfica se supone un comportamiento lineal, se advierte que también podría ser una curva. El elegir una u otra alternativa depende principalmente de la posibilidad de reproducir las condiciones deseadas en las instalaciones de los pozos; así como también, de la eficiencia de levantamiento del bache de líquido que se obtenga con cada uno de los comportamientos supuestos.

En virtud de que matemáticamente es posible representar una curva por medio de una ecuación algebraica, el programa de cómputo se elaboró en tal forma que mediante los coeficientes de la ecuación, reproduce el comportamiento de presión supuesto. Esta ecuación será de primer grado si el comportamiento es lineal y hasta de noveno grado si es una curva.

II.2.-PRESION EN EL ESPACIO ANULAR FRENTE A LA VALVULA DE INYECCION.

Conociendo la presión del gas de inyección en la superficie, para cada instante de tiempo, se procede a calcular la presión del gas frente a la válvula operante. Para esto se supone que la columna de gas, desde la superficie hasta la válvula, se mantiene estática. El error que se comete al hacer esta suposición, es despreciable para propósitos prácticos.

Por lo tanto, la presión frente a la válvula para el tiempo (t) será:



VARIACION DE LA PRESION DEL GAS
DE INYECCION EN LA SUPERFICIE

FIG. 4

$$P_{cv1} = P_{cf1} e^{\frac{0.01875 \gamma_g D_v}{T_c}} \text{----- (1)}$$

y para el tiempo $(t + \Delta t)$

$$P_{cv2} = P_{cf2} e^{\frac{0.01875 \gamma_g D_v}{T_c}} \text{----- (2)}$$

Las ecuaciones anteriores se resuelven por ensaye y error, debido a que la compresibilidad del gas, debe obtenerse a condiciones medias de presión y temperatura.

La presión media del gas, frente a la válvula de inyección, durante el incremento de tiempo (Δt) es:

$$\bar{P}_{cv2} = \frac{P_{cv1} + P_{cv2}}{2} \text{----- (3)}$$

Por consiguiente la temperatura media en el espacio anular y dentro de la tubería de producción, se considera como el promedio aritmético entre la temperatura de flujo en la superficie y la temperatura frente a la válvula. Por lo tanto se tiene que:

$$\bar{T}_c = \frac{T_{cf} + T_v}{2} \text{----- (4)}$$

$$\bar{T}_t = \frac{T_{tf} + T_v}{2} \text{----- (5)}$$

Lo anterior se hizo considerando temperaturas promedio, tanto en el espacio anular como dentro de la tubería de producción.

11.3.- DESPLAZAMIENTO DEL BACHE DE LIQUIDO DENTRO DE LA TUBERIA DE PRODUCCION.

Cuando el gas de inyección alcanza la presión de apertura de la válvula

operante, ésta abre, permitiendo el paso de gas del espacio anular a la T.P., a través del orificio de la válvula. El flujo se establece debido a la diferencia de presión que existe entre el espacio anular y la tubería de producción. Bajo estas condiciones, el líquido acumulado dentro de la T.P. es impulsado por el gas, imprimiéndole un movimiento ascendente. El movimiento -- del bache origina una variación de la presión a lo largo de la tubería de -- producción.

Predecir el comportamiento de flujo dentro de la tubería de produc- - ción es un problema sumamente difícil. El enfoque usual, dado por los inves- - tigadores al problema de flujo de fluidos en tuberías, es aplicar una ecua- - ción de balance de energía, en dos puntos dentro de el sistema; sin embargo, no es posible aplicar este criterio al fenómeno de flujo de bache, debido a que existen interfases gas-líquido en movimiento y rebalamiento continuo de - líquido en movimiento y rebalamiento continuo de líquido.

Por lo variable del fenómeno, sólo es posible estudiarlo suponiendo - que existe régimen permanente en intervalos de tiempo pequeños. Por lo que - el comportamiento total quedará representado, por la composición de los com- - portamientos calculados, para cada intervalo de tiempo considerado. El fenó- - meno se acercará más a la realidad con mayor exactitud, conforme sea menor - el intervalo de tiempo utilizado.

Con el objeto de simplificar los cálculos y a la vez para resolver ana- - liticamente el fenómeno, se supone la existencia de una interfase gas-líqui- - do definida debajo del bache de líquido. la Fig. 5, muestra la posición del- - bache y de la interfase supuesta al principio y al final de un intervalo - - (Δt).

Para resolver el problema es necesario determinar la variación de la-

presión respecto al tiempo, en puntos estratégicos dentro de la tubería de producción. Estos puntos son: parte superior del bache de líquido, la interfase gas-líquido supuesta y frente a la válvula operante.

La presión en la interfase gas-líquido se calcula aplicando un procedimiento iterativo, suponiendo que existe una velocidad instantánea para el tiempo $(t + \Delta t)$. Si la velocidad del bache para el tiempo (t) es V_{s1} y para el tiempo $(t + \Delta t)$ se le ha supuesto un valor igual a V_{s2} , la velocidad media dentro del intervalo (Δt) será:

$$\bar{V}_{s2} = \frac{V_{s1} + V_{s2}}{2} \text{ ----- (6)}$$

siendo la aceleración media correspondiente igual a:

$$\bar{a}_{s2} = \frac{V_{s2} - V_{s1}}{\Delta t} \text{ ----- (7)}$$

La distancia que recorre el bache durante el intervalo (Δt) , se calcula en función de la velocidad media, con la expresión:

$$\Delta L_T = \bar{V}_{s2} \Delta t \text{ ----- (8)}$$

La longitud de la columna de gas arriba del bache para el tiempo $(t + \Delta t)$ está dada por:

$$L_{A2} = D_v - L_{s1} - \sum_{t=0}^{t+\Delta t} \Delta L_T \text{ ----- (9)}$$

La presión que existe arriba del bache de líquido se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_{A2} = P_{SP} e^{\frac{0.01875 \rho_g L_{A2}}{\gamma_t}} \text{ ----- (10)}$$

En la expresión anterior se ha supuesto que existe una contrapresión constante en la superficie, siendo igual a la presión de separación.

Para determinar la presión en la interfase gas-líquido es necesario - conocer la longitud del bache de líquido correspondiente al tiempo $(t + \Delta t)$. Esta longitud, denominada L_{S2} , se determina en función de la cantidad de líquido resbalado durante el intervalo de tiempo considerado. La derivación de la ecuación para calcular L_{S2} se verá más adelante en lo relativo a resbalamiento de líquido.

La presión que debe de existir en la interfase gas-líquido en el instante de tiempo $(t + \Delta t)$, para imprimir al bache una velocidad V_{S2} , está -- constituida por: la presión existente arriba del bache, la correspondiente a la carga hidrostática del líquido y las pérdidas de presión por fricción y -- por aceleración.

La presión debida a la carga hidrostática del bache de líquido está -- dada por la siguiente ecuación:

$$P_{L2} = \frac{\rho_L}{\rho_C} \cdot \frac{L_{S2}}{144} \quad \text{----- (11)}$$

Las pérdidas de presión por aceleración se determinan con la siguiente expresión:

$$P_{a2} = \frac{\rho_L L_{S2} \bar{a}_{S2}}{144 \rho_C} \quad \text{----- (12)}$$

Las pérdidas de presión por fricción se determinan a partir de la -- ecuación de Darcy-Weisbach

$$P_{f2} = \frac{\rho_L}{144} \cdot \frac{f_2 L_{S2} V_{S2}^2}{2 \rho_C d_t} \quad \text{----- (13)}$$

Por consiguiente la presión en la interfase gas-líquido para el tiempo $(t + \Delta t)$ será:

$$P_{12} = P_{A2} + P_{L2} + P_{a2} + P_{f2} \quad \text{----- (14)}$$

REPRESENTACION SIMPLIFICADA DEL
MECANISMO DE DESPLAZAMIENTO DE UN
BACHE DE LIQUIDO POR INYECCION DE GAS

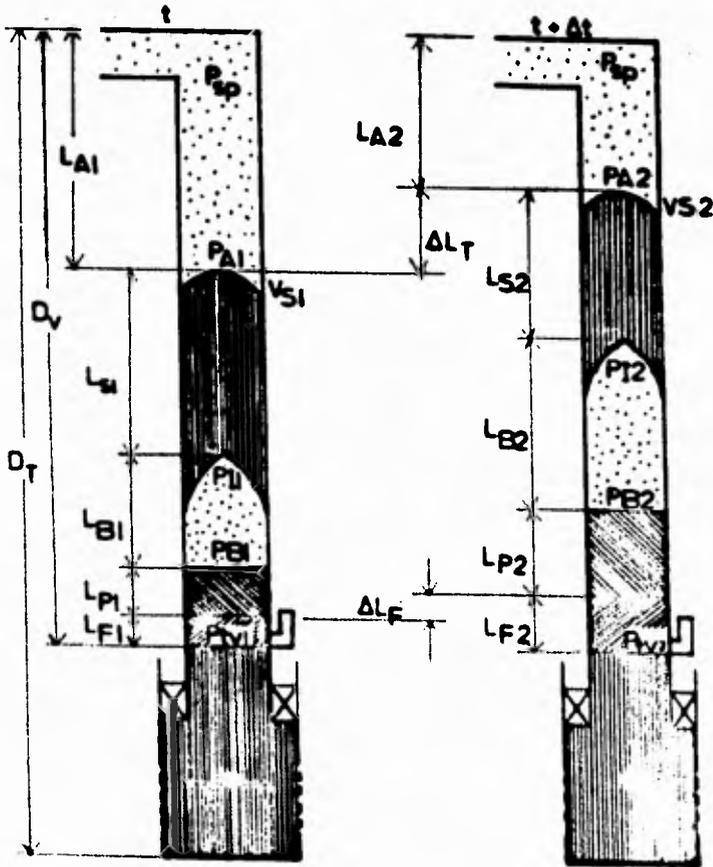


FIG. 5

Sustituyendo las ecuaciones (10), (11), (12) y (13) en la ecuación -- (14), se tiene:

$$P_{12} = P_{A2} + \frac{\rho_L L_{S2} g}{144 g_c} \left[1 + \frac{\bar{a}_{S2}}{g} + \frac{r_2}{2} \frac{V_{S2}^2}{g d_c} \right] - - (15)$$

II.4.- RESBALAMIENTO DE LIQUIDO.

Durante el viaje del bache a la superficie, ocurre una pérdida continua de líquido del bache original; ya que parte del líquido resbala por las paredes de la tubería en forma de una película anular, mientras que otra parte se encuentra dispersa en la fase de gas. Esta pérdida, conocida como resbalamiento de líquido, se presenta en todas las instalaciones de bombeo neumático intermitente y es de vital importancia cuantificarla, ya que su valor representa el grado de eficiencia del proceso de levantamiento del bache.

Normalmente se acostumbra utilizar un factor, conocido como factor de resbalamiento, el cual expresa el porciento de líquido resbalado en función del bache inicial.

El fenómeno de resbalamiento se debe principalmente a que el bache de líquido, es penetrado parcialmente por el gas. Parte de este líquido resbala por las paredes de la tubería hacia el fondo del pozo.

La otra parte se encuentra en la fase de gas en forma de pequeñas partículas de distintos diámetros, las cuales adquieren un movimiento ascendente o descendente dependiendo de la velocidad del gas y del tamaño de la partícula.

En vista de que la densidad del gas es menor que la densidad del líquido, se manifiesta una fuerza de flotación hacia arriba, la que permite -- que el gas se eleve a una velocidad mayor que la velocidad del bache. Predecir la velocidad de penetración es un problema difícil, complicándose además

por el hecho de que ocurren altas aceleraciones del bache, tanto en el inicio del movimiento como durante la descarga en la superficie.

En el desarrollo del método se ha supuesto la existencia de una interfase gas-líquido definida debajo del bache. Esta suposición representa una situación ideal, lo más probable es que presente una zona de transición.

Se ha comprobado experimentalmente la existencia de una interfase definida debajo del bache, cuando las distancias recorridas son cortas; pero es posible que esta interfase no permanezca estable en tuberías largas, como las existentes en pozos petroleros.

Al suponer la existencia de una interfase definida, el esfuerzo cortante que actúa en los flancos de ésta, tiende a restringir el flujo de líquido hacia abajo por las paredes de la tubería. Si por alguna causa este esfuerzo disminuye, la velocidad hacia abajo de la película aumenta, estableciéndose un flujo anular descendente por las paredes de la tubería. Es posible también que el espesor de la película aumente a tal grado que obture totalmente la tubería, creándose un nuevo bache de líquido. Se tiene conocimiento de la existencia de este tipo de baches secundarios y se ha encontrado -- que se presentan con mayor frecuencia en tuberías de diámetro pequeño y tuberías largas.

Cuando el bache de líquido viaja a altas velocidades, el esfuerzo cortante en los flancos de la interfase es lo suficientemente grande para arrastrar el líquido hacia arriba, en forma de flujo anular. Bajo estas condiciones parte del bache original, que ha sido perforado por el gas, es producido en la superficie.

Como puede observarse, el fenómeno de resbalamiento de líquido es extremadamente complejo, por lo que es igualmente difícil simularlo matemáticamente.

Brill J.P., Doerr T.C. y Brown K.E., hicieron un estudio de análisis-dimensional a este problema, mediante la aplicación del teorema Pi o teorema Buckingham, con el propósito de desarrollar una correlación que permitiera determinar la cantidad de líquido resbalado.

La siguiente tabla contiene las variables que ellos consideraron que gobierna el fenómeno de resbalamiento de líquido.

TABLA 1

VARIABLES QUE DEFINEN EL RESBALAMIENTO DE LIQUIDO.

SIMBOLO	VARIABLE	DIMENSIONES.
V_S	Velocidad del bache de líquido	$L T^{-1}$
V_p	Velocidad de penetración del gas	$L T^{-1}$
ρ_L	Densidad del líquido	ML^{-3}
μ_L	Viscosidad del líquido	$ML^{-1} T^{-1}$
σ	Tensión superficial	MT^{-2}
g	Aceleración de la gravedad	LT^{-2}
\bar{P}_B	Presión media del gas debajo del bache	$ML^{-1} T^{-2}$
d_t	Diámetro de la tubería	L
L_{Si}	Longitud inicial del bache	L

Aplicando el Teorema de Buckingham a estas variables y tomando V_S , d_t y ρ_L como variables repetitivas, ellos obtuvieron los siguientes grupos dimensionales:

$$\pi_1 = \frac{V_p}{V_S} \quad \text{Número de resbalamiento de líquido } (N_p)$$

$$\pi_2 = \frac{B_1 V_S^2}{g d_t} \quad \text{Número de Froude } (N_{fr})$$

$$\pi_2 = \frac{B_2 \rho_L V_S^2 d_t}{\sigma} \quad \text{Número de Weber } (N_{We})$$

$$\pi_3 = \frac{B_3 \rho_L V_S d_t}{\mu_L} \quad \text{Número de Reynolds } (N_{Re})$$

$$\pi_4 = \frac{B_4 \rho_L V_S^2}{P_B} \quad \text{Número de Euler } (N_{Eu})$$

$$\pi_5 = \frac{d_t}{L_{st}} \quad \text{Número de Longitud de bache } (N_{st})$$

Donde B_1 , B_2 , B_3 y B_4 representan factores de conversión para la consistencia dimensional.

Siendo V_p la variable que debe valuarse para predecir el resbalamiento, los grupos anteriores pueden expresarse como:

$$N_p = \varphi(N_{fr}, N_{We}, N_{Re}, N_{Eu}, N_{st}) \quad (16)$$

Ecuación que expresa que el número de resbalamiento es una función φ de los grupos restantes.

Un análisis de los grupos adimensionales indica que para un diámetro de tubería, un tipo de líquido y una longitud de bache dada, las únicas variables son: V_p , V_S y P_B ; los parámetros restantes no cambian. Por lo tanto, si todas las variables han sido incluidas, un cambio en la velocidad de penetración debe corresponder a un cambio en la velocidad del bache y/o un cambio en la presión debajo del bache.

Debido a la imposibilidad de obtener datos precisos de P_B , y con el objeto de no abandonar el enfoque del análisis dimensional al problema de resbalamiento, se optó por considerar que el número de Euler, en el cual interviene P_B , no es importante en la correlación. Por consiguiente quedan dos variables: V_p y V_S para desarrollar la correlación.

Hecha la consideración anterior, la ecuación (16), puede escribirse como:

$$N_p = v(N_{fr} \cdot N_{Re} \cdot N_{we} \cdot N_{st}) \text{ - - - - - (17)}$$

Esta ecuación indica que existe una relación entre la velocidad del bache del líquido V_S y la velocidad de penetración V_p . La gráfica de la Fig. 6 muestra esta relación, en donde puede verse que para un tipo de líquido, un diámetro de tubería y una longitud inicial de bache, la velocidad de penetración V_p aumenta a medida que aumenta la velocidad del bache V_S hasta alcanzar un valor máximo, para después disminuir rápidamente. Se pensó que este cambio repentino en la velocidad de penetración se debía principalmente a un cambio en el patrón de flujo, convirtiéndose el flujo de bache a flujo anular.

Se hicieron intentos de obtener una correlación general entre el número de resbalamiento y cada uno de los otros grupos adimensionales, sin lograr éxito, ya que se obtuvieron relaciones similares a la de la Fig. 6.

Además se trató de combinar N_{we} , N_{Re} y N_{fr} dentro de una relación simple, sin obtener resultados satisfactorios, lo que hace suponer que el número de Euler no debe ser despreciado; o bien, que una o más variables, no consideradas en el análisis dimensional, son indispensables para definir el fenómeno de resbalamiento de líquido.

Cuando se sabe que existe una interfase, en flujo de fluidos, el número de Weber es normalmente considerado el grupo de correlación más importante.

La Fig. 7, muestra la relación entre el número de resbalamiento N_p y el número de Weber N_{we} . Esta correlación fue obtenida por Brill, Doerr y Brown, de sus pruebas experimentales y utilizadas en la simulación matemática

ca que ellos desarrollaron con el fin de comparar los resultados calculados con los reales.

En vista de que a la fecha no se cuenta con una correlación general de resbalamiento, se decidió utilizar en el procedimiento de cálculo una de las conclusiones a las que llegó White G.W., en sus pruebas experimentales y que es la siguiente: "La velocidad con la cual el gas penetra a un fluido - en particular, para un diámetro de tubería dado, es para todos los propósitos prácticos una constante natural."

Los resultados experimentales en los que se apoya esta conclusión, se muestran en la Fig. 8.

En base a lo anterior expuesto se tiene que la longitud de líquido penetrada por el gas durante el intervalo de tiempo (Δt) es:

$$\Delta L_p = V_p \Delta t \text{ ----- (18)}$$

Siendo la longitud del bache para el tiempo ($t + \Delta t$) igual a:

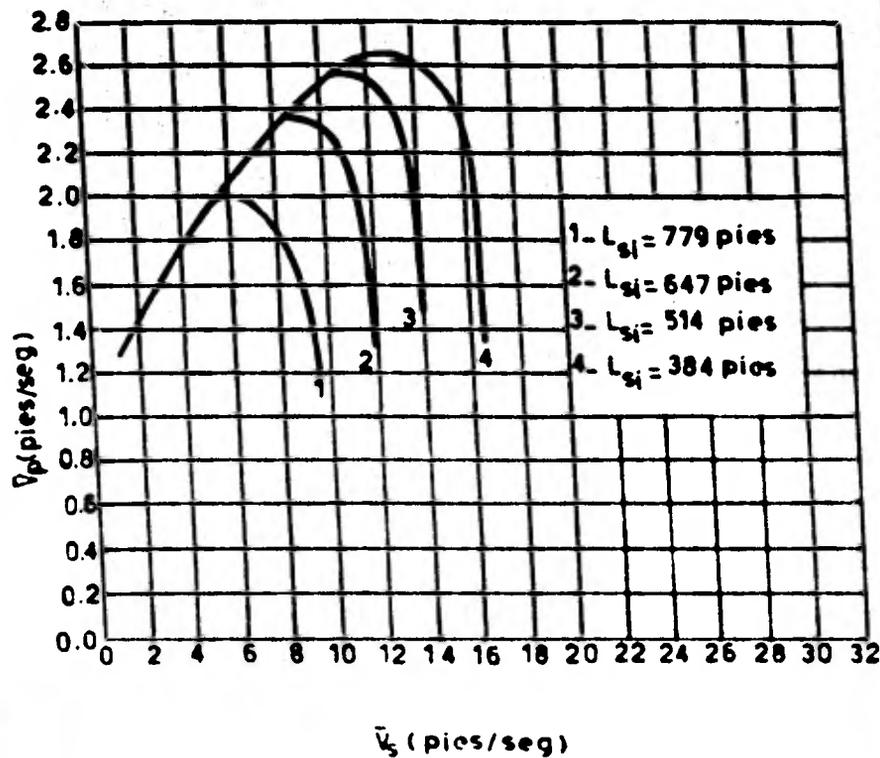
$$L_{S2} = L_{S1} - \sum_{t=0}^{t+\Delta t} \Delta L_p \text{ ----- (19)}$$

De esta ecuación se deduce que la porción de líquido penetrada por el gas no se recupera.

11.5.- PRESION EN LA TUBERIA DE PRODUCCION FRENTE A LA VALVULA DE INYECCION.

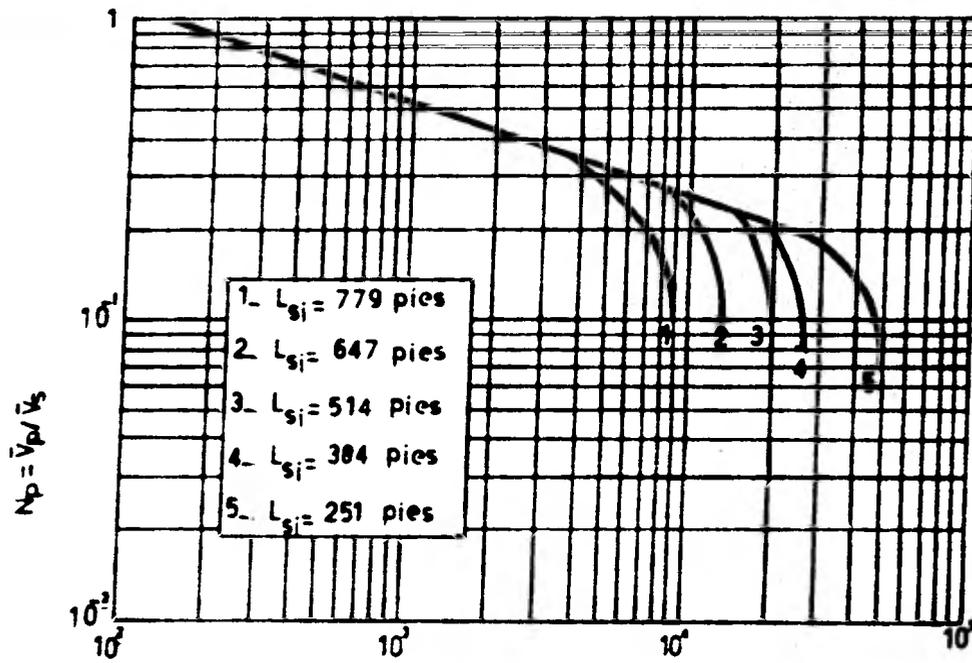
Esta presión sirve para determinar la masa de gas que está contenida - que está contenida en la tubería de producción, así como la masa de gas que - pasa a través de la válvula. Lo anterior permitirá conocer el comportamiento del fenómeno tanto dentro de la tubería, como en el espacio anular.

Rigorosamente, para calcular dicha presión es necesario considerar -- que el espacio de tubería, comprendido entre la interfase gas-líquido supues -- ta y la válvula operante, contiene fluidos de tres fuentes distintas: gas --



RELACION GRAFICA ENTRE \bar{V}_s Y \bar{V}_p
 PARA TUBERIA DE 1 1/2 PG. Y ACEITE DE 34 CP

FIG. 6

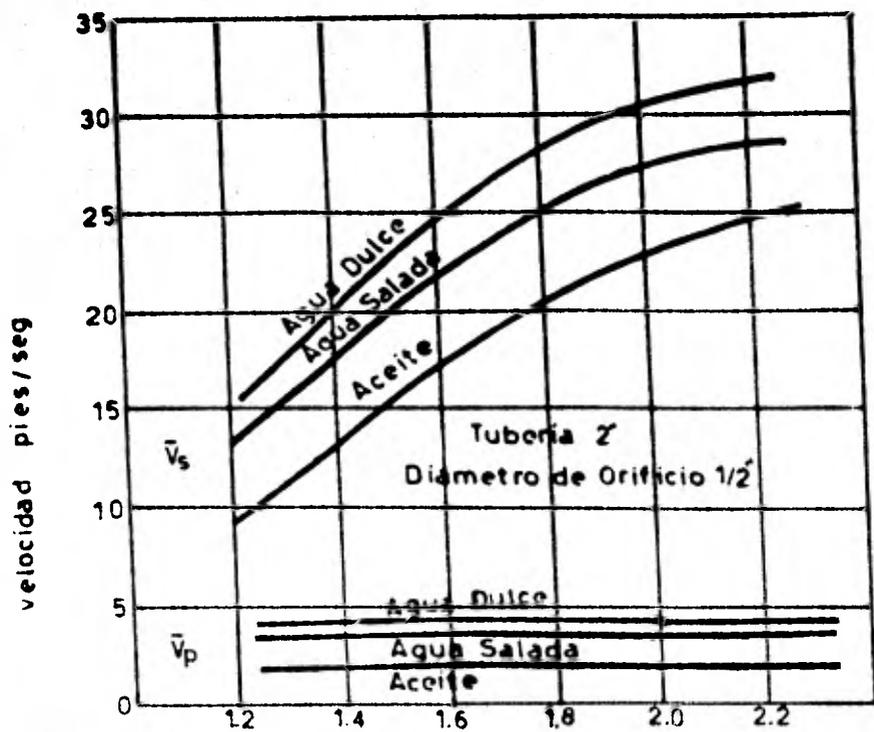


$$N_{we} = 45359 \frac{\rho \bar{V}_p^2 d_1}{\gamma}$$

CORRELACION DE RESBALAMIENTO

PARA TUBERIA DE 1/2 PG Y ACEITE DE 34 CP.

FIG. 7



Relacion de Presiones P_{cvi}/P_{tvi}

COMPORTAMIENTO DE LA VELOCIDAD DEL
BACHE Y PENETRACION PARA DIFERENTES
LIQUIDOS

FIG. 8

del espacio anular, líquido proveniente de la formación y líquido resbalado del bache.

En realidad no se sabe la forma en que estén distribuidos dichos flujos, posiblemente parte del líquido resbalado se encuentre formando una película adherida a la pared de la tubería y la otra porción se encuentra en forma de pequeñas gotas suspendidas en la fase de gas.

El líquido suspendido en el gas, las fuerzas de fricción entre ambas fases y la aceleración de las partículas de líquido, tienden a incrementar la presión dentro de la tubería, desafortunadamente no se puede predecir lo que realmente ocurre. Por lo tanto, se optó por suponer que la presión frente a la válvula está constituida por la presión ejercida por una columna de gas que se extiende desde la interfase supuesta, hasta la válvula, más la carga hidrostática ejercida por el líquido resbalado y el aportado por la formación.

Hecha la suposición anterior se tiene que, la longitud de la columna de gas debajo del bache de líquido, para el tiempo $(t + \Delta t)$, es:

$$L_{B2} = \frac{t + \Delta t}{t} Z_0 (\Delta L_T + \Delta L_P) \text{ ----- (20)}$$

Siendo la presión en la T.P., frente a la válvula igual a:

$$P_{tv2} = P_{12} e^{\frac{0.01875 \gamma_g L_{B2}}{Z_{B2} \gamma_t}} + \frac{g}{g_c} \cdot \frac{\rho_l (L_{F1} + L_{P2})}{144} \text{ ---- (21)}$$

L_{F1} representa la longitud de líquido aportado por la formación para el tiempo $(t + \Delta t)$, la forma de calcular este valor se verá más adelante. La presión media frente a la válvula, durante el intervalo de tiempo (Δt) , se calcula con la siguiente expresión:

$$P_{tv2} = \frac{P_{tv1} + P_{tv2}}{2} \text{ ----- (22)}$$

II.6.- FLUJO DE GAS A TRAVÉS DE LA VALVULA.

Para calcular el gasto de gas que pasa a través de la válvula de inyección, se utilizó la ecuación de flujo para un conducto convergente, se utilizó la ecuación de flujo para un conducto convergente, haciéndose la suposición de que el flujo es de tipo isoentrópico. Aunque esta condición no se presenta en flujo de gases reales, la suposición es válida cuando se trata de flujo a través de boquillas, ya que los efectos de fricción y transferencia de calor son mínimos bajo estas condiciones.

Se consideró también la existencia de régimen permanente unidimensional. Esta condición no se presenta en la realidad; sin embargo, el régimen transitorio puede describirse como una sucesión de etapas en régimen permanente, siempre y cuando se consideren incrementos de tiempo pequeños para cada etapa y se usen hasta donde sea posible valores promedio.

Cuando un gas fluye a través de un orificio pueden presentarse tres tipos de flujo: subsónico, sónico y supersónico. Para condiciones de flujo subsónico el gasto de gas depende tanto de la presión de entrada como de salida; en cambio para flujo sónico el gasto de gas es una función de la presión de entrada exclusivamente. El flujo supersónico no puede existir en la sección de estrangulamiento de un ducto convergente.

La ecuación que rige el comportamiento para condiciones de flujo subsónico es la siguiente:

$$\Delta n_i = \frac{12 \bar{P}_{tv2} A_e}{Z_v} \sqrt{\left(\frac{g_c}{MRT_{cv}} \right) \left(\frac{2K}{k-1} \right) \left[\left(\frac{\bar{P}_{tv2}}{\bar{P}_{tv2}} \right)^{2 \frac{(k-1)}{k}} - \left(\frac{\bar{P}_{tv2}}{\bar{P}_{tv2}} \right)^{\frac{(k-1)}{k}} \right]} \cdot \Delta t \quad (23)$$

y para condiciones de flujo sónico es:

$$\Delta n_i = \left(1 + \frac{K-1}{2}\right)^{-\frac{1}{2} \left(\frac{K+1}{K-1}\right)} \cdot \frac{12 \bar{P}_{cv2} A_e}{Z_v} \sqrt{\frac{K g_c}{M R T_{cv}}} \Delta t \quad \text{--- (24)}$$

La ecuación que se aplica, se determina de acuerdo al siguiente criterio:

a) Se presentan condiciones de flujo subsónico cuando:

$$\frac{\bar{P}_{cv2}}{\bar{P}_{tv2}} < \left(1 + \frac{K-1}{2}\right)^{\frac{K}{K-1}}$$

debiéndose aplicar la ecuación (23).

b) Se presentan condiciones de flujo sónico cuando:

$$\frac{\bar{P}_{cv2}}{\bar{P}_{tv2}} \geq \left(1 + \frac{K-1}{2}\right)^{\frac{K}{K-1}}$$

debiéndose aplicar la ecuación (24).

II.7.- APORTACION DE LIQUIDO DE LA FORMACION.

La formación productora estará aportando líquido al pozo, siempre que la presión de fondo sea menor que la presión estática del yacimiento.

Puesto que se conoce la variación de la presión frente a la válvula - para cada instante de tiempo, la presión en el fondo del pozo para el tiempo $(t + \Delta t)$, se determina con la siguiente expresión:

$$P_{wf2} = P_{cv2} + \frac{\int L g (D_v - D_v)}{144 g_c} \quad \text{--- (25)}$$

La longitud de la columna de líquido aportada por la formación durante el intervalo de tiempo (Δt) , se obtiene a partir del índice de productividad del pozo, mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta L_{F2} = \frac{J (P_{ws} - P_{wf2}) \Delta t}{86400 C_e} \quad \text{--- (26)}$$

La determinación de la aportación de líquido debe efectuarse por ensayo y error, ya que la presión de fondo y la presión frente a la válvula son interdependientes. Para evitar los tanteos, los cálculos de aportación de líquido de la formación se retrasan en un intervalo de tiempo, con respecto a los cálculos para obtener la presión frente a la válvula. El error que se comete es despreciable si los intervalos de tiempo utilizados son pequeños.

La longitud total de líquido aportada por la formación para el tiempo $(t + \Delta t)$ se calcula con la siguiente ecuación:

$$L_{F1} = \sum_{t=0}^{t+\Delta t} \Delta L_F \quad \text{--- (27)}$$

II.8.- FLUJO A TRAVES DE LA LINEA DE DESCARGA.

Cuando el bache de líquido alcanza la superficie, ocurren algunos cambios en las presiones que actúan dentro de la T.P., debido a las siguientes-

razones:

- a) La porción de líquido que ha librado el cabezal del pozo, ya no --
ejerce presión hidrostática dentro de la tubería.
- b) Si los diámetros de la T.P. y de la línea de descarga no son igua-
les, existirán velocidades y aceleraciones diferentes en ambas tu-
berías y por consiguientes factores de fricción distintos.

La disminución de la carga hidrostática origina que el bache se acele-
re y adquiera mayores velocidades al llegar a la superficie.

De la ecuación de continuidad, el gasto de líquido en la tubería de -
producción deberá ser igual al gasto en la línea de descarga. Por lo tanto,-
se tiene que:

$$v_H A_H = v_S A_t \text{ ----- (28)}$$

y la velocidad en la línea de descarga será:

$$v_H = v_S \frac{A_t}{A_H} \text{ ----- (29)}$$

Derivando esta ecuación con respecto al tiempo se tiene:

$$a_H = a_S \frac{A_t}{A_H} \text{ ----- (30)}$$

La ecuación anterior expresa la aceleración correspondiente a la lí-
nea de descarga.

La longitud que avanza el bache de líquido, durante el intervalo de -
tiempo (Δt), es:

$$\Delta L_H = \Delta L_T \frac{A_t}{A_H} \text{ ----- (31)}$$

donde ΔL_T es la longitud correspondiente que avanza el bache en la tubería-
de producción, para el mismo intervalo de tiempo.

La longitud de líquido que ha librado el cabezal del pozo para el tiempo $(t + \Delta t)$ es:

$$L_{H2} = \sum_{t=t_s}^{t+\Delta t} \Delta L_H \text{ ----- (32)}$$

donde t_s representa el tiempo que tarda la parte superior del bache en alcanzar la superficie.

La presión en el cabezal del pozo para el tiempo $(t+\Delta t)$, es igual a la suma de las presiones debidas al separador y a las pérdidas por fricción y aceleración en la tubería horizontal. Esta presión se determina con la siguiente expresión:

$$P_{tf2} = P_{sp} + P_{fH2} + P_{aH2} \text{ ----- (33)}$$

ecuación que también puede expresarse como:

$$P_{tf2} = P_{sp} + \frac{P_L L_{H2}}{144} \left[\frac{a_H}{g_c} + \frac{f_2 V_{H2}^2}{2g_c d_h} \right] \text{ ----- (34)}$$

Durante el tiempo que tarda la descarga del bache en la superficie, P_{A2} debe sustituirse por P_{tf2} en la ecuación (15) al calcular la presión en la interfase gas-líquido; y el valor L_{S2} , utilizado en la misma ecuación, deberá calcularse como sigue:

$$L_{S2} = L_{S1} - \sum_{t=0}^{t+\Delta t} \Delta L_p - \sum_{t=t_s}^{t+\Delta t} \Delta L_T \text{ ----- (35)}$$

de donde:

$$\Delta L_T = \bar{V}_S \cdot \Delta t \quad \text{y} \quad L_p = \bar{V}_p \cdot \Delta t$$

En vista de que por ahora no se cuenta con un método apropiado, que permita determinar el comportamiento de flujo de bache en tuberías horizontales e inclinadas, se ha supuesto que el bache se comporta como un tapón de -

líquido fluyendo a través de una tubería horizontal. También se supone además, que la penetración del líquido por el gas ha cesado, de modo que el resbalamiento es nulo. Esto da a entender que todo el líquido que ha librado el cabezal del pozo se recupera en el separador. Por lo tanto, hechas las consideraciones anteriores, se tiene que la presión en la interfase gas-líquido es:

$$P_{I2} = P_{sp} + \frac{\rho_L L_H}{144} \left[\frac{a_H}{g_c} + \frac{f_2}{2g_c} \frac{V_{H2}^2}{d_H} \right] \text{ --- (36)}$$

Donde L_H representa la longitud total de líquido recuperado en función de las dimensiones de la línea de descarga.

Puesto que las caídas de presión por fricción en la fase de gas son muy pequeñas, la presión en el cabezal del pozo se considera igual a la presión en la interfase gas-líquido supuesta.

La presión frente a la válvula de inyección está constituida ahora, por la presión en el cabezal del pozo, más la presión ejercida por la columna de gas, más la carga hidrostática del líquido acumulado dentro de la T.P.

La longitud total de líquido acumulado dentro de la T.P., para el tiempo $(t + \Delta t)$, se calcula con la siguiente ecuación:

$$L_a = \int_{t=0}^{t+\Delta t} \Delta L_f + \int_{t=0}^{t_i} \Delta L_p \text{ --- (37)}$$

Donde t_i representa el tiempo total que tarda la interfase gas-líquido en alcanzar la superficie.

La presión en la T.P. frente a la válvula es:

$$P_{tv2} = P_{I2} e^{\frac{0.01875 \rho_g D_v}{Z_t \gamma_t}} + \frac{\rho_L L_a g}{144 g_c} \text{ --- (38)}$$

Después de que el bache haya llegado al separador, la presión en el -

cabezal del pozo será igual a la presión de separación; y la presión frente a la válvula estará integrada por el peso de la columna de gas, más la carga hidrostática del líquido acumulado en la T. P. Por lo tanto:

$$P_{tv2} = P_{sp} e^{\frac{0.01875 \gamma_g (D_v - L_g)}{Z_c \gamma_c}} + \frac{P_l L_g g}{144 g_c} \dots (39)$$

El valor de P_{tv2} se sustituye en la ecuación (25), y mediante la ecuación (26), se calcula la longitud de líquido aportado por la formación, para cada intervalo de tiempo (Δt).

Cuando la longitud de líquido acumulado dentro de la tubería de producción, sea igual a la longitud inicial del bache, se habrá completado un ciclo. El tiempo transcurrido desde el instante en que abre la válvula de inyección, hasta el momento en que se forma un nuevo bache, constituye el tiempo entre ciclos de inyección. Este tiempo sirve para determinar el número de ciclos por día, la producción diaria del pozo, el consumo diario de gas y algunos otros datos que son de gran utilidad al proyectar la instalación.

II.9.- DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DEL BACHE DE LIQUIDO.

Para fijar la velocidad correcta del bache de líquido en cada instante de tiempo, se utilizó una técnica de convergencia, la cual se basa en la siguiente proposición:

El número de moles de gas contenida debajo del bache de líquido, a un tiempo dado, deberá ser igual al número de moles de gas inyectadas a través de la válvula, hasta ese mismo tiempo. Si L_T representa la distancia total recorrida por el líquido y L_F la longitud de líquido aportada por la formación para el tiempo ($t + \Delta t$), el volumen de la tubería ocupada por gas será:

$$V_{g2} = (L_T - L_F) \Delta t \text{ ----- (40)}$$

La presión media en la fase de gas debajo del bache, para el tiempo $(t + \Delta t)$, es:

$$P_{B2} = \frac{P_{I2}}{Z} \left(1 + e^{\frac{0.01875 \cdot L_{B2}}{Z_{B2} \cdot T_t}} \right) \text{ ----- (41)}$$

El número de moles de gas contenidas en el volumen V_{g2} , se calcula -- aplicando la ecuación general de los gases

$$n_2 = \frac{P_{B2} V_{g2}}{Z_{B2} R T_t} \text{ ----- (42)}$$

Una expresión similar se obtiene al calcular el número de moles contenidas en la T.P. para el tiempo (t) .

$$n_1 = \frac{P_{B1} V_{g1}}{Z_{B1} R T_t} \text{ ----- (43)}$$

Por tanto, el incremento de moles de gas durante el intervalo de tiempo (Δt) será:

$$\Delta n_t = n_2 - n_1 \text{ ----- (44)}$$

Este valor debe de ser igual al número de moles de gas inyectado a -- través de la válvula, cuyo valor se ha calculado con la ecuación (23) ó (24), dependiendo del tipo de flujo. Si al comparar Δn_t con Δn_i resultan diferentes, significa que el valor supuesto de V_{s2} es incorrecto, por lo que deberá escogerse otra velocidad del bache de acuerdo al siguiente criterio:

Si $\Delta n_t < \Delta n_i$ Suponer una velocidad V_{s2} mayor.

Si $\Delta n_t > \Delta n_i$ Suponer una velocidad V_{s2} menor.

II.10.- DESPLAZAMIENTO DEL BACHE POR EXPANSION DEL GAS.

En el procedimiento de cálculo se ha considerado el caso en que la --

válvula de inyección cierre antes de que el bache de líquido alcance la superficie. A partir de ese momento el levantamiento se efectúa exclusivamente por expansión del gas. Cuando esto suceda, la velocidad del bache disminuye notablemente, aumentando el tiempo de viaje a la superficie. Esto propicia que el resbalamiento de líquido se incremente y como consecuencia se obtengan bajas recuperaciones; sin embargo, la relación gas inyectado-líquido disminuye a medida que el tiempo de inyección decrece.

Por lo antes dicho puede decirse que hay un tiempo óptimo de inyección, en el que se tiene buena recuperación y baja relación gas inyectado-líquido. La evaluación del comportamiento de un pozo bajo diversos tiempos de inyección, permite fijar las condiciones más favorables para operar la instalación.

Después de que la válvula de inyección cierra, los cálculos continúan en la siguiente forma:

Supóngase que la válvula cierra en el instante (t) , que el número total de moles inyectadas es n y V_{s1} es la velocidad del bache para ese mismo instante. A continuación se supone una velocidad V_{s2} para el tiempo $(t + \Delta t)$ igual a V_{s1} y se efectúan los cálculos a partir de la ecuación (6), hasta obtener la presión en la interfase gas-líquido supuesta, mediante la ecuación (15). L_{B2} se calcula con la ecuación (20) y se determina la presión media en la fase de gas aplicando la ecuación (41).

Por otra parte, la presión media en la fase de gas para el tiempo $(t + \Delta t)$, se calcula con la ecuación general de los gases.

$$P_{B2E} = \frac{P_{B1} \bar{z}_{B2} V_{g1}}{V_{g2} \bar{z}_{B1}} \text{-----} (45)$$

Esta ecuación deberá resolverse por ensaye y error, puesto que \bar{z}_{B2} de

be obtenerse a condiciones de \bar{P}_{B2E} y T_c .

Si la velocidad del bache supuesta para el tiempo $(t + \Delta t)$ es la correcta, el valor de \bar{P}_{B2} deberá ser igual a \bar{P}_{B2E} . De lo contrario se supone un nuevo valor de velocidad, de acuerdo al siguiente criterio:

Si: $\bar{P}_{B2} > \bar{P}_{B2E}$, suponer una velocidad del bache V_{s2} menor.

Si: $\bar{P}_{B2} < \bar{P}_{B2E}$, suponer una velocidad del bache V_{s2} mayor.

El programa de cómputo está dotado de un método de interpolación, que permite converger rápidamente al valor correcto de la velocidad del bache.

CAPITULO III

PROGRAMA DE COMPUTO PARA EL DISEÑO DE UNA INSTALACION DE BOMBEO NEUMATICO - INTERMITENTE

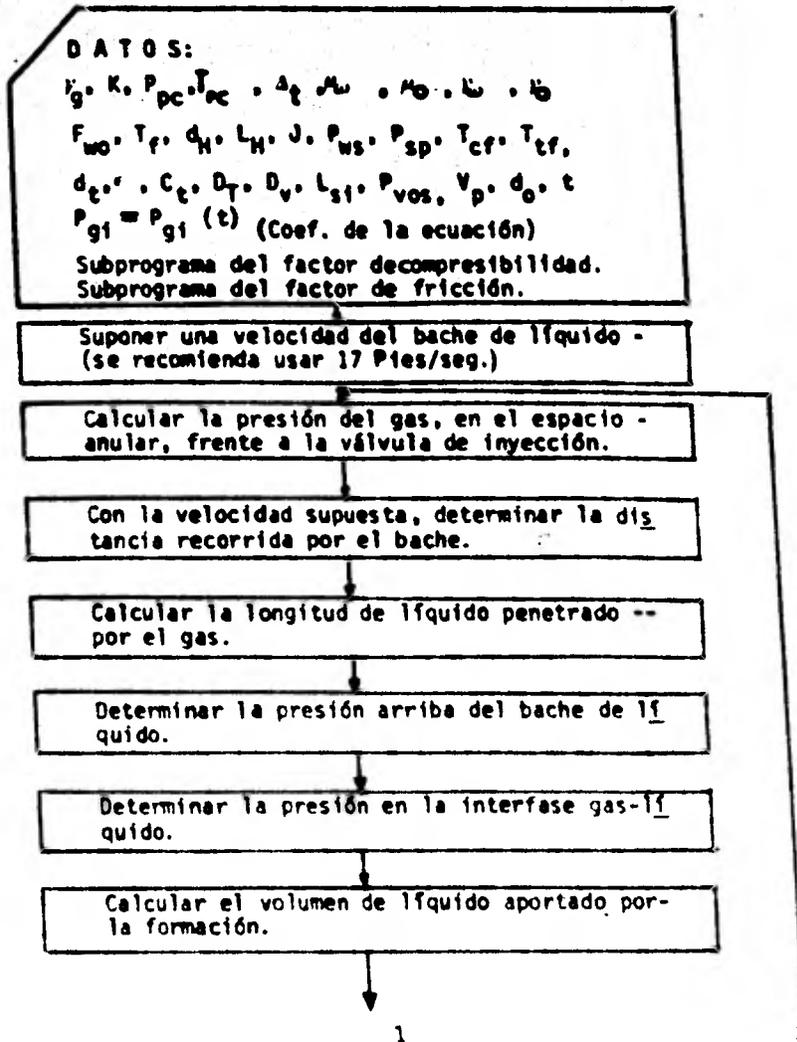
III.1.- DIAGRAMA DE BLOQUES.

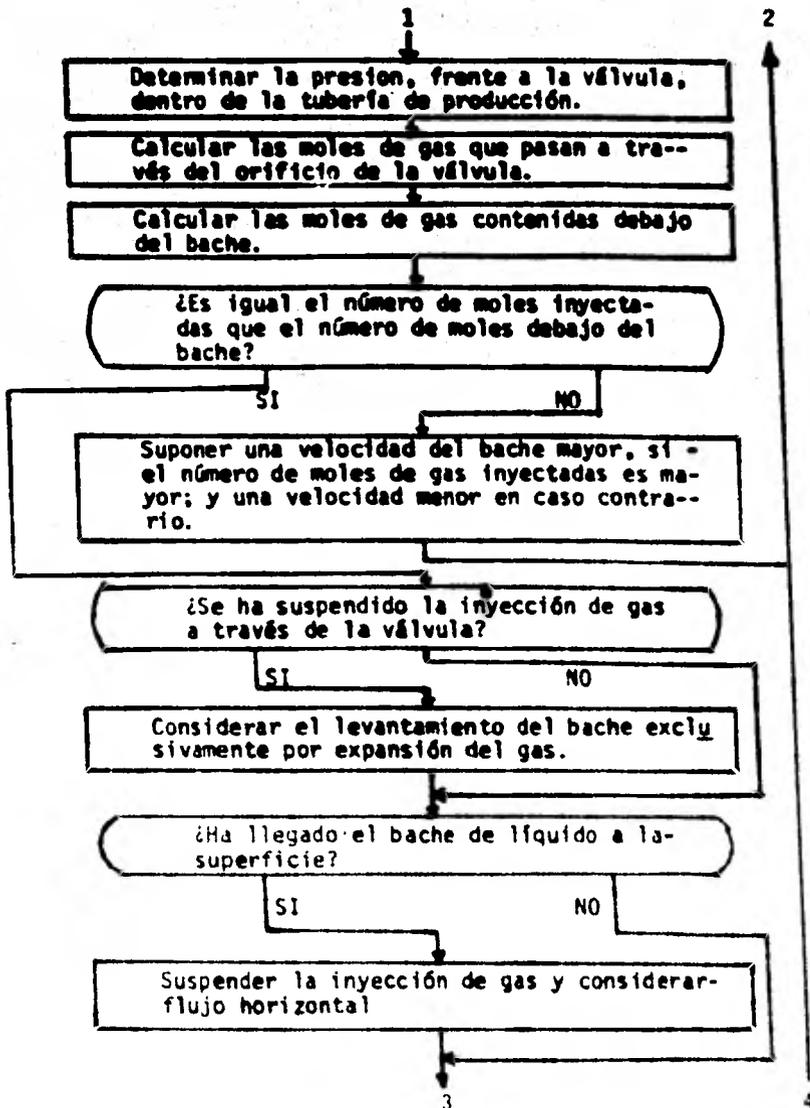
A continuación se muestra el diagrama de bloques correspondiente al programa de Cómputo del procedimiento expuesto anteriormente. Con relación a los datos que alimentan al programa, es necesario hacer las siguientes aclaraciones:

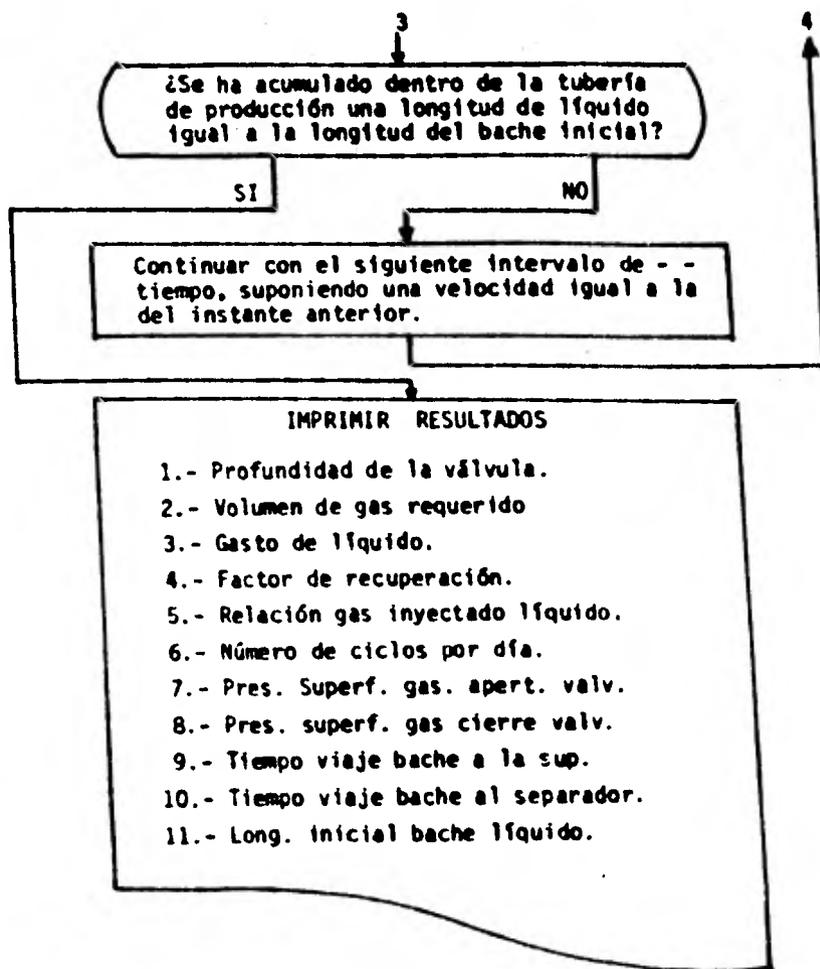
El comportamiento de la presión del gas de inyección en la superficie, se proporciona al programa en forma de ecuación. Por lo tanto, es necesario-determinar los coeficientes de dicha ecuación, para suministrárselos al programa.

El factor de compresibilidad del gas y la presión ejercida por una columna de gas estático, así como el factor de fricción, se calculan con dos subprogramas adicionales al programa principal.

DIAGRAMA DE BLOQUES







III.2.- EJEMPLO DE APLICACION.

A continuación, se analiza un ejemplo de aplicación del Programa de -
Cómputo, para el diseño de una instalación de bombeo neumático intermitente.

Para analizar este ejemplo, se fué variando el porcentaje de carga a-
partir de 35% a 60%: en incrementos de 5% de porcentaje de carga. Para cada-
juego de datos, el programa da como resultado seis diseños diferentes de ins-
talaciones con los tipos de válvulas más convenientes; para este caso, sólo-
se utilizó un diseño, de los seis que proporciona el programa, para cada por-
centaje de carga correspondiente.

El programa analiza el comportamiento del pozo para cada una de las -
tres válvulas más profundas, considerando que cualquiera de ellas puede con-
vertirse en operante, a excepción del diseño para el 45% de porcentaje de --
carga, en que el programa solo analiza dos de las tres primeras válvulas, de
bido a que la presión de fondo estática es tan baja que el bache de líquido-
ya no alcanza a acumularse arriba de la válvula operante que se encuentra a-
2 397 m.

Lo mismo sucede para los resultados obtenidos para el 50% y 55%, ya -
que para el 60% de porcentaje de carga, ninguna de las válvulas operantes --
funcionan para este caso, debido a la baja presión de fondo estática.

Siendo la presión máxima disponible de gas de inyección de 900 lb/pg^2 ,
se estimó que se puede disponer de una presión de operación de 800 lb/pg^2 . -
Al hacer el diseño de las válvulas de descarga, se tuvo el cuidado de que --
la válvula operante funcione con la presión disponible ya mencionada. En la
Fig. 9 que representa el comportamiento del pozo a la profundidad de 2800 m.
se analiza la variación, que se va obteniendo del gasto de líquido, volumen-
del gas inyectado, RGIL, factor de recuperación y ciclos por día para distin-
tos porcentajes de carga, la variación del gas de inyección representa en la

gráfica la ordenada al origen, o sea la presión del gas necesaria en la superficie para que abra la válvula de inyección.

En la Fig. 10, se representa el mismo comportamiento del pozo, como en la Fig. 9, pero a la profundidad de 2598 m. En la Fig. 11 se observa el comportamiento del pozo a distintas profundidades a que se encuentran las tres válvulas operantes analizadas, para un porcentaje de carga de 35% y para una RGIL mínima. La Fig. 12 analiza el diseño de una instalación, para un porcentaje de carga de 40% y con diferentes volúmenes de gas inyectado y a las diferentes profundidades a que se encuentran las tres válvulas operantes del diseño.

En el ejemplo se consideran fijos todos los datos, sin embargo, si se desea conocer el efecto de los datos sobre el comportamiento general del pozo, al programa debe procesarse variando para cada caso, el dato que se desea analizar, en este caso se analizó el comportamiento del pozo al ir variando el porcentaje de carga.

Este análisis permite determinar el tamaño de orificio óptimo de las válvulas que integran el aparejo de bombeo; entendiéndose por orificio óptimo, aquel que permite obtener el gasto programado con la cantidad mínima de gas de inyección, la producción probable del pozo, el número de ciclos a que debe operarse la instalación y las presiones de calibración de las válvulas.

Los resultados arrojados por el programa de cómputo se graficaron en las Figs. 9, 10, 11, 12. El enfoque dado a la solución del problema permite optimizar la instalación desde un punto de vista técnico y por consiguiente económico.

C
C
C

PROGRAMA DE COMPUTO PARA EL DISEÑO DE UNA INSTALACION DE BOMBEO NE UMATICO INTERMITENTE.

.....

```

DOUBLE PRECISION ASTO(32)
REAL IP, LONG, KA, MDL, KAPA, LW, LST, MUX, LF, LM, LMI, NTOTI, LS, LR2, NY, NY, N
*PHL, LIQ, MID12, NIML, L01, KTF
INTEGER ANG(42), NANG(6), LIMIT(6), LAPUN(3), NCLA(32)
INTEGER N6
DIMENSION DIF(50), AN(50), AV(50), OVALV(32), DOPRI(32), PSA(15), FECH
1A(3), PHZ(6)
DIMENSION NY(15), TV(15), PSC(15), PVN(15), PVC(15), LI(15), R(15), RA(15)
*, PTHC(15), PTHC(15), POT(15), PR(15), SP(15), OV(15), TVC(15), TVF(15)
COMMON SG, X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, PCG, TCG
COMMON IJ4, L1M, KKK1, KKK2, KKK3, KKK4, KKK5, KKK6, KKK7, PSP, PL, PA, PF, PI, PROF, LG, V
15, LH2, L10, PV2, PNCV, NFL1, S2, S3, S4, S5, SA, LM, VSA, DMCC, TOL
DATA NCLA/1, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000, 1001, 1002, 1003, 1004, 1005, 1006, 1007, 1008, 1009, 1010, 1011, 1012, 1013, 1014, 1015, 1016, 1017, 1018, 1019, 1020, 1021, 1022, 1023, 1024, 1025, 1026, 1027, 1028, 1029, 1030, 1031, 1032, 1033, 1034, 1035, 1036, 1037, 1038, 1039, 1040, 1041, 1042, 1043, 1044, 1045, 1046, 1047, 1048, 1049, 1050, 1051, 1052, 1053, 1054, 1055, 1056, 1057, 1058, 1059, 1060, 1061, 1062, 1063, 1064, 1065, 1066, 1067, 1068, 1069, 1070, 1071, 1072, 1073, 1074, 1075, 1076, 1077, 1078, 1079, 1080, 1081, 1082, 1083, 1084, 1085, 1086, 1087, 1088, 1089, 1090, 1091, 1092, 1093, 1094, 1095, 1096, 1097, 1098, 1099, 1100, 1101, 1102, 1103, 1104, 1105, 1106, 1107, 1108, 1109, 1110, 1111, 1112, 1113, 1114, 1115, 1116, 1117, 1118, 1119, 1120, 1121, 1122, 1123, 1124, 1125, 1126, 1127, 1128, 1129, 1130, 1131, 1132, 1133, 1134, 1135, 1136, 1137, 1138, 1139, 1140, 1141, 1142, 1143, 1144, 1145, 1146, 1147, 1148, 1149, 1150, 1151, 1152, 1153, 1154, 1155, 1156, 1157, 1158, 1159, 1160, 1161, 1162, 1163, 1164, 1165, 1166, 1167, 1168, 1169, 1170, 1171, 1172, 1173, 1174, 1175, 1176, 1177, 1178, 1179, 1180, 1181, 1182, 1183, 1184, 1185, 1186, 1187, 1188, 1189, 1190, 1191, 1192, 1193, 1194, 1195, 1196, 1197, 1198, 1199, 1200, 1201, 1202, 1203, 1204, 1205, 1206, 1207, 1208, 1209, 1210, 1211, 1212, 1213, 1214, 1215, 1216, 1217, 1218, 1219, 1220, 1221, 1222, 1223, 1224, 1225, 1226, 1227, 1228, 1229, 1230, 1231, 1232, 1233, 1234, 1235, 1236, 1237, 1238, 1239, 1240, 1241, 1242, 1243, 1244, 1245, 1246, 1247, 1248, 1249, 1250, 1251, 1252, 1253, 1254, 1255, 1256, 1257, 1258, 1259, 1260, 1261, 1262, 1263, 1264, 1265, 1266, 1267, 1268, 1269, 1270, 1271, 1272, 1273, 1274, 1275, 1276, 1277, 1278, 1279, 1280, 1281, 1282, 1283, 1284, 1285, 1286, 1287, 1288, 1289, 1290, 1291, 1292, 1293, 1294, 1295, 1296, 1297, 1298, 1299, 1300, 1301, 1302, 1303, 1304, 1305, 1306, 1307, 1308, 1309, 1310, 1311, 1312, 1313, 1314, 1315, 1316, 1317, 1318, 1319, 1320, 1321, 1322, 1323, 1324, 1325, 1326, 1327, 1328, 1329, 1330, 1331, 1332, 1333, 1334, 1335, 1336, 1337, 1338, 1339, 1340, 1341, 1342, 1343, 1344, 1345, 1346, 1347, 1348, 1349, 1350, 1351, 1352, 1353, 1354, 1355, 1356, 1357, 1358, 1359, 1360, 1361, 1362, 1363, 1364, 1365, 1366, 1367, 1368, 1369, 1370, 1371, 1372, 1373, 1374, 1375, 1376, 1377, 1378, 1379, 1380, 1381, 1382, 1383, 1384, 1385, 1386, 1387, 1388, 1389, 1390, 1391, 1392, 1393, 1394, 1395, 1396, 1397, 1398, 1399, 1400, 1401, 1402, 1403, 1404, 1405, 1406, 1407, 1408, 1409, 1410, 1411, 1412, 1413, 1414, 1415, 1416, 1417, 1418, 1419, 1420, 1421, 1422, 1423, 1424, 1425, 1426, 1427, 1428, 1429, 1430, 1431, 1432, 1433, 1434, 1435, 1436, 1437, 1438, 1439, 1440, 1441, 1442, 1443, 1444, 1445, 1446, 1447, 1448, 1449, 1450, 1451, 1452, 1453, 1454, 1455, 1456, 1457, 1458, 1459, 1460, 1461, 1462, 1463, 1464, 1465, 1466, 1467, 1468, 1469, 1470, 1471, 1472, 1473, 1474, 1475, 1476, 1477, 1478, 1479, 1480, 1481, 1482, 1483, 1484, 1485, 1486, 1487, 1488, 1489, 1490, 1491, 1492, 1493, 1494, 1495, 1496, 1497, 1498, 1499, 1500, 1501, 1502, 1503, 1504, 1505, 1506, 1507, 1508, 1509, 1510, 1511, 1512, 1513, 1514, 1515, 1516, 1517, 1518, 1519, 1520, 1521, 1522, 1523, 1524, 1525, 1526, 1527, 1528, 1529, 1530, 1531, 1532, 1533, 1534, 1535, 1536, 1537, 1538, 1539, 1540, 1541, 1542, 1543, 1544, 1545, 1546, 1547, 1548, 1549, 1550, 1551, 1552, 1553, 1554, 1555, 1556, 1557, 1558, 1559, 1560, 1561, 1562, 1563, 1564, 1565, 1566, 1567, 1568, 1569, 1570, 1571, 1572, 1573, 1574, 1575, 1576, 1577, 1578, 1579, 1580, 1581, 1582, 1583, 1584, 1585, 1586, 1587, 1588, 1589, 1590, 1591, 1592, 1593, 1594, 1595, 1596, 1597, 1598, 1599, 1600, 1601, 1602, 1603, 1604, 1605, 1606, 1607, 1608, 1609, 1610, 1611, 1612, 1613, 1614, 1615, 1616, 1617, 1618, 1619, 1620, 1621, 1622, 1623, 1624, 1625, 1626, 1627, 1628, 1629, 1630, 1631, 1632, 1633, 1634, 1635, 1636, 1637, 1638, 1639, 1640, 1641, 1642, 1643, 1644, 1645, 1646, 1647, 1648, 1649, 1650, 1651, 1652, 1653, 1654, 1655, 1656, 1657, 1658, 1659, 1660, 1661, 1662, 1663, 1664, 1665, 1666, 1667, 1668, 1669, 1670, 1671, 1672, 1673, 1674, 1675, 1676, 1677, 1678, 1679, 1680, 1681, 1682, 1683, 1684, 1685, 1686, 1687, 1688, 1689, 1690, 1691, 1692, 1693, 1694, 1695, 1696, 1697, 1698, 1699, 1700, 1701, 1702, 1703, 1704, 1705, 1706, 1707, 1708, 1709, 1710, 1711, 1712, 1713, 1714, 1715, 1716, 1717, 1718, 1719, 1720, 1721, 1722, 1723, 1724, 1725, 1726, 1727, 1728, 1729, 1730, 1731, 1732, 1733, 1734, 1735, 1736, 1737, 1738, 1739, 1740, 1741, 1742, 1743, 1744, 1745, 1746, 1747, 1748, 1749, 1750, 1751, 1752, 1753, 1754, 1755, 1756, 1757, 1758, 1759, 1760, 1761, 1762, 1763, 1764, 1765, 1766, 1767, 1768, 1769, 1770, 1771, 1772, 1773, 1774, 1775, 1776, 1777, 1778, 1779, 1780, 1781, 1782, 1783, 1784, 1785, 1786, 1787, 1788, 1789, 1790, 1791, 1792, 1793, 1794, 1795, 1796, 1797, 1798, 1799, 1800, 1801, 1802, 1803, 1804, 1805, 1806, 1807, 1808, 1809, 1810, 1811, 1812, 1813, 1814, 1815, 1816, 1817, 1818, 1819, 1820, 1821, 1822, 1823, 1824, 1825, 1826, 1827, 1828, 1829, 1830, 1831, 1832, 1833, 1834, 1835, 1836, 1837, 1838, 1839, 1840, 1841, 1842, 1843, 1844, 1845, 1846, 1847, 1848, 1849, 1850, 1851, 1852, 1853, 1854, 1855, 1856, 1857, 1858, 1859, 1860, 1861, 1862, 1863, 1864, 1865, 1866, 1867, 1868, 1869, 1870, 1871, 1872, 1873, 1874, 1875, 1876, 1877, 1878, 1879, 1880, 1881, 1882, 1883, 1884, 1885, 1886, 1887, 1888, 1889, 1890, 1891, 1892, 1893, 1894, 1895, 1896, 1897, 1898, 1899, 1900, 1901, 1902, 1903, 1904, 1905, 1906, 1907, 1908, 1909, 1910, 1911, 1912, 1913, 1914, 1915, 1916, 1917, 1918, 1919, 1920, 1921, 1922, 1923, 1924, 1925, 1926, 1927, 1928, 1929, 1930, 1931, 1932, 1933, 1934, 1935, 1936, 1937, 1938, 1939, 1940, 1941, 1942, 1943, 1944, 1945, 1946, 1947, 1948, 1949, 1950, 1951, 1952, 1953, 1954, 1955, 1956, 1957, 1958, 1959, 1960, 1961, 1962, 1963, 1964, 1965, 1966, 1967, 1968, 1969, 1970, 1971, 1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 215
```



```

30 IF (MOD(S,LE,NV(N))GO TO 37
   IF (I7,F0,3)GO TO 34
   N=N+1
33 NV(N)=NV(N-1)+200.
   GO TO 32
34 IF (NV(N)-NV(N-1)=200.)35,35,36
35 LI7=1
   GO TO 33
36 P2=P2+OF(I)
   FF=FF+FF(I)+DELE+E
20 NV1=NV(N)
   PSS=P2
   N=N+1
   GO TO 10
37 IF (LI7,GI,0)GO TO 40
   IF (MOD(S-NV(N-1)=200.)39,28,28
40 S=N+1
   GO TO 44
27 IF (MOD(S-NV(N-2)=400.)40,41,41
41 NV(N-1)=NV(N-2)+.5+MOD(S-NV(N-2))
28 NV(N)=MOD(S)
42 DO 12 I=1,2
   TV(I)=I-NC*GTC+NV(I)
   NE=578.3677+TCAL*(2.175073+TCAL*(-.252433E-02+.107345E-05+TCAL))
   CF=12.0000/3.7
   MR=25.07450
   FC=0.07(1.-0.00)
   VISC=VIS*.*FC+VISO*(1.-FC)
   SGL=SGS*.*SGO*(1.-FC)
   DT=0.17/2.
   LDC=3.2000*LONG
   ID=202)*IP
   PASEP=S*10.7
   GL=433*SGL
   CAP=0000/(433*DT*DT)
   SGL=62.466*SGL
   KA=1+0.17*(DTL*DTL)
   KA=(1+.5*(KA-1.))*((KA/(KA-1.))
   AT=3.1416*DT*DT/(24.
   ATN=3.1416*DTL*DTL/576.
   CIE1=(20.013*PUL/VISC
   CIE2=0.40*DL/5.366
   CIE3=GL/32.7
   CIE5=ID/40000*(20)
   CIE7=(KA-1.)/KA
   CIE9=AT/(10.73*AT)
   Y0=1+1
   CALL Z01*(A(2,0)
   Y4=1+1
   CALL Z00*(A(3,0)
   LI7=1
   DO 9 I=1,2
   PSC(N+1-1)=PSC(I)
   IF (PSC(N+1-1)+0.0)PSC(N+1-1)=PUIS
a CONTINUE
   DO 5 I=1,2
5 PSC(I)=PSC(I)+14.7
   I=0.5*
   IF (G,GT,3)1001,2=

```

```

00100 JET,4
LINSU=LIN(1,1)
KOL=0
N1=120 L(2,1)000
K=1
K=IV(N-K)
CALL ZH(0,0,0)
X1=5*PSC(N-K)*(1+(1+.25t-00*HV(N-4)))
Y2=PSC(N-K)
X3=HV(N-K)
K=100
K=1
CALL ZH(1,1)
HV(N-K)=X5
N1=HV(N-K)/4.2000
L1=HV(N-K)
(L1=PS-GL)
V1=1.141*(0.1C*0.1C-0.01*0.01)*HV(N-K)/576.
*TE=10.73*1C/V1
DY1=PSC(N-K)
DY2=PV(N-K)
PXSEPX1=10.7
PVXP2=10.7
00118 L(1,1)INSU
7 XE=60505000L(1,1)00(L1)
*TE=(1+.5*(KA-1))*(1+.5*(KA+1.)/(KA-1.))*12.04E*SUMI(KA=32.2/(M
0010.73*IV(N-K)))
*TE=12.04E*SUMI(KA,40KA/(00L*10.73*IV(N-K)*(KA-1.)))
P1=V(1)/20(1)
P1=0
00005 *Z1,K
PV(N-K)=(PV(N-K)-P1*W1)/(1-00)
(L1=0.610*P1*00PV(N-K)-PSP)/GL
45 P1=PSP*GL*LS1
(L1=LS1/3.2000
P1=PV(N-K)-1/2(1+.25t-00*HV(N-K))
Y1=5*(P1+00V(N-K))
Y2=PV(N-K)
X3=HV(N-K)
K=100
K=1
CALL ZH(1,1)
*TE=5*PSP*GL*(L1*0.1C)-50.000,000,172
000 P1=L(1,1)00PSP*0.1C
002 FORMAT(10(7),200, 'LA PRESION DE FONDO ESTATICA ES TAN BAJA QUE EL
* NADIE DE LOS DOS HA ALCANZA A 7200, ACUMULANSE ANHINA DE LA VALV
* 7200, * 7200, * PRESION DE FONDO ESTATICA =',F6.0, 'PSIG'
* 7200, * 7200, * 7200, * PRESION DE FONDO ESTATICA =',F6.0, 'PSIG'
IF(L1,1)GO TO 520
GO TO 123
172 PX1=5
PX2=PV(N-K)
PXSEPX1=10.7
PVXP2=10.7
X1=5*(PV1*PX2)
K=2
CALL ZH(1,1)
*TE=100C/(10.73*7*1C)
J1=1
L1=1

```



```

IF(LF,LF,0,LF=0,0
GO TO(70,74),LINE
74 LH2=MY(MY)-LTV
MY=MY(MY)
GO TO 72
70 X=S3+S4*DELTA(VMS*VP)
LH2=X3-S4*S5*VP*DELTA
72 GO TO(70,74),LINE
73 GO TO(70,74),LINE
** MY=0,0
GO TO 70
75 X1=0
MY=MY
MY2
MYC=X*VMS*DELTA
CALL ZULNA(3,1)
VX3=1+(MY*DELTA/L)*MYC/576
MYX1=VX3/(1+7*10.73*MY)
76 X1=X*MY*(1+(1+.25*MY**3))
MY2=MY
MY=MY
CALL ZULNA(2,1)
MY2=X5*GL*(VP*DELTA+S4*S5*LF)
MYTH=5*(MY*MY2)
MY=MY/4
MY2
CALL ZULNA(2,1)
VX3=1+(MY*DELTA/LH2/576
MYX1=MYV/(1+7*10.73*MY)
MYX1=MYX1
GO TO(77,79,77),MY2
77 IF(ABS(1-MYX1/LH2/100)-10L)79,79,78
78 MYX1=MYX1
IF(MYX1-10)542,542,543
542 GO TO(540,542),LJ
540 MY2=MY
VX1=VX3
VX2=VX3*MY2/100
LJ=2
GO TO 52
542 MY2=MYL
VX2=VX3
VX=(VX2*(MY1-MY2)+VX1*(MY1-MY2))/(MY1-MY2)
VX1=VX2
MY1=MY2
GO TO 52
543 MYL=0
MYL=MYL+.02
LJ=1
GO TO 52
79 LTV=LTV+VP*DELTA
GO TO 100
80 X1=X*MY*(1+(1+.25*MY**3))
MY2=MY
MY=MY
MY2
CALL ZULNA(2,1)
LTV=S4*S5*LF+VP*DELTA
MY2=X5*GL*LTV

```

```

IF (LS1=1)M1,M1,M2
M1 GO TO (M3,M0),LINE
M3 IF (JUMP,F0,0)GO TO 11A
VGI=379.41*DTI/35.310
L10=1074.2800
S3=5373.2600
M11 (6,205)
GO TO 200
M0 IF (JUMP,F0,0)GO TO 11A
VGI=379.41*DTI/35.310
L10=1074.2800
S3=5373.2600
M11 (6,205)
GO TO 200
M2 P=K2=5.0*(P+PV2)
K1=0.02
F=2
CALL ZHUMA(2,1)
Z2=17
GO TO (M5,100),M41
160 P=PV2=5.0*(PV2+PIV)
GO TO 17
M5 P=PV=PIV
M7 IF (P=CV=2.0*(PV2))M0,M0,M0
M4 GO TO (300,301),M41
300 V=V5=4763
GO TO 50
501 IF (SIGN)502,503,504
502 A2=AO2/10.
503 SIGN=1.
304 V=V5=AO2*SIGN
I=21
O2=AO2=.0001001
IF (O2)M0,M0,M0,50
M9 V1=5.0*(P+PV2)
M11 (6,205)
F=2
CALL ZHUMA(4,1)
IF (P=CV)M12=KAPA1M1,90,90
M0 M11=CTI*P*PV*OFLI/RT
GO TO 92
91 CALL ICFI*P*PV2/RT*SORT((P*CV/P*PV2)**(2*CTI))-((P*CV/P*PV2)**CTI)
*OFLI
92 M12=CTI*9*O2*LM2/22
IF (M12,10,2) GO TO 100
GO TO (93,101),LINE
161 M1=M1
M11 (6,205)
CALL ZHUMA(3,1)
M11=M1+10*CV*V*SOFLI)**A2/(7*10.75*10M1)
M12=O112*O11
93 M12=O12-O11
IF (O11,0,100) GO TO 95
IF (SIGN)304,307,306
506 A2=AO2/10.
507 SIGN=1.
GO TO 304
M04 V=V5
*O21

```

```

    *** 3=2
    GO TO 52
95 IF (ABS(1-0.1*SI/DELTA)-10L)100,100,96
96 GO TO(97,94),10
97 SI=SI*0.1
    VS1=VS
    SI=VS*SI
    IF (SI*0.01,0)SI*02=1.
    VS=VS*0.7*SI*0
    IF (SI*0.01,0)A0Z=AM//10.
    LP=2
    GO TO 50
OR DIF=2*DELTA1=DELTA
    VS2=VS
    VS=0.1*(0.2*VS1+0.1*VS2)/(DIF*2+0.1*VS1)
    IF (0.1,1,2) GO TO 734
    A0Z=0.7//10.
    A0F=0
734 VS1=VS2
    DIF=0.1*0.2
    GO TO 50
100 LP=101
    IF (MS-VL(1,101),101,102
101 IF (100,0,0,0)100 TO 110
    VL1=179.41*(0.1/1/35,314
    LT=1/0.7,2000
    S3=S/3,2000
    F1IF(6,207)VLTM
    GO TO 200
102 GO TO(104,104),KKK1
103 DOV=0*DELTA1
    X=0.0
    X=2
    Z=1
    DO 104 Z=1,4
    P=C*IF(0,0)*Z
    X=C*Z
    CALL ZM*AC(1,1)
104 Z=Z+1
    XE,S*P*Z*(1.+(1.+.125E-04*NV(N-K)))
    Z=Z+1
    XE,S*NV(N-K)
    Z=1
    CALL ZM*AC(1,1)
    P*E*Z=5
105 GO TO(106,107),L10E
106 S=Z*Y*VS*DELTA1
    IF (SI=1)105,105,107
105 IF (100,0,0)GO TO 110
    VL1=179.41*(0.1/1/35,314
    LT=1/0.7,2000
    S3=S/3,2000
    F1IF(6,207)
    GO TO 200
107 IF (L0-G-S*1)108,108,106
108 L1=SI*0.52
    F1IF=10.0
94 X1=MS*(1.+.25E-04*(NV(N-K)-L1))
    P*F=1+GL*(1+1/L1)

```

```

LF=CTFS*(PXS=PRF)*DELTI
L1=LI10*LF
S2=S2*DELTI
IF (L51=LI1)109,109,99
109 VGI=VGI/35.519
VGR=VGR/VLP
XNCD=KCD/752
GLI=GLI*COO/LW
IF (XNCD,CO,1160) TO 268
XDDL=1
XNLI=(6,210)
268 XNLI((6,270)),HINIV,VGR,GLI0,FR,RGIL,XNCD,PXS,PVS,TVSUP,TVSEP,FLB)
GO TO 125
106 XK=2
IF (Z,GI,0)KX=3
A/=0
A1Z=1
SIG=8.
L1=1
KX=20
TDL=0.1
XK=KX*1
VSA=VS
PIV=PIV?
SN=SS*LF
SA=SA+VP*DELTI
SAS=SA+VP*DELTI
XLI1=XLI2
XLF=0
Z1=Z2
PWA=PWA?
L1=L1?
GO TO(110,114,112),XK=2
110 XK=2=3
DELTI=0.2
GO TO 113
110 S1=S1+VS*DELTI
S1=S1+VS*DELTI
IF (XK=GF,*)DELTI=10.0
IF (XK=GF)=((S1+AS1))111,111,113
111 DELTI=(XV(XK=1)-(S1+S1))/VS
XK=2?
TVSUP=92*DELTI
GO TO 114
112 SA=SA+V*DELTI
113 S2=S2*DELTI
IF (PI(CV=PI2))115,115,52
115 XK=3=2
IF (L51=L1)31=1,31,52
116 V=VS*COO?
Z=Z*COO?
L1=L1+VS*DELTI*COO?
XNLI=L1*COO?
CALL XNLI2(CA,RIIL,NE,PF)
PWA=L1*2*COO/L1+V*COO/DIL
XNLI=L1*3*COO?
XNLI=L1*COO?
V=V*2*COO*COO*PF*5
L52=L52+VS*DELTI

```

```

IF (I, S, G, I, 0) GO TO 65
FR=0.996, 0.9917/(0.1+0.1*SI)
LS=6.070, 0.26*VLV/(0.1L+0.1L)
I=I+2
VJ=VJ+IL
V=V+V
IJ=I+1
VSA=V*V
VELT=5.0
GO TO 53
240 WRITE (6, 242) MINV, XLS1, PVV, PVV, (10, S3, VGI, 1
118 CONTINUE
I=I+NSU
GO TO (119, 119, 119, 120, 121, 122), J
119 WRITE (6, 216)
GO TO 123
120 WRITE (6, 217)
GO TO 123
121 WRITE (6, 218)
GO TO 123
122 WRITE (6, 219)
123 LAPD(L)=1
LIMIT=1
124 CONTINUE
I=I+1
X=I*VC
I=125, I=1, 7
YI=5*PSC(I)*(1.+(1.+.25E-04*V(I)))
I2=ASC(I)
I3=V(I)
CALL ZUL'A(1, 1)
125 PVC(I)=5
DO 134, I=1, 7
L(I)=LAPD(I)
IL=I(I)
M(I)=AV(IL)/AM(IL)
PA(I)=1-M(I)
I=(J-3)130, 130, 131
130 PIM(I)=(PVC(I)-14.7)/RA(I)
PINC(I)=PVC(I)-14.7
GO TO 133
131 PDI(I)=PVC(I)
A=-578, 1677*IV(I)+(2, 175073*IV(I)+(-.002628390, 107345E-05*IV(I)))
ZV=1.5*PDI(I)+1.4-0.6
PD(I)=PDI(I)
DO 132, I=1, 5
Z=1.0*PD(I)+1.4-0.6
132 PDI(I)=(PDI(I)+Z*TCAL)/(ZV+IV(I))
PIM(I)=(PD(I)-14.7)/RA(I)
PINC(I)=PD(I)-(4.7)
PDI(I)=PINC(I)
PDI(I)=PDI(I)-14.7
133 PVC(I)=PVC(I)-14.7
PNS(I)=PSC(I)-14.7
SPS(I)=PIM(I)-PINC(I)
DV(I)=.403*V(I)
IV(I)=5.+(IV(I)+442)/9
134 IV(I)=IV(I)-460
IF (J-3) 135, 135, 136

```


C
C
C
C
C

```

SUBROUTINE FFRIP(CR,DIAM,RE,FF)
  CR = 12.0*0.00073,7
  RECO = VELOCIDAD DE LA TURBENCIA (PIPS)
  DIAM = DIAMETRO INTERIOR DE LA TURBENCIA (PG)
  RE = 1.0*1000 DE REYNOLDS
  FF = FACTOR DE FRICCION DE MURDOY

  I=(RE-2000.)1,1,2
  1 FF=0.07/RE
  2 RE=I*1000
  3 I=(RE-2000.)3,4,4
  4 I=0.07/RE
  5 A=C*DIAM**
  6 C=2.51/RE
  7 C=0.00054*RE**0.224
  8 I=-2.0*(0.00181A+1.0E-12)
  9 C=2.0*
  10 Y=2.0*41.0810(C)
  11 I=(A*0.75)*2.0E-06)6,6,7
  12 Y=1.0/1.07E
  13 C=10.5
  14 F=1.07/(1.0+1)
  15 I=(RE-2000.)8,9,9
  16 Z=(RE-2000.)1/200.
  17 F=1.0*(1.-Z)**2.0
  18 C=10.10
  19 I=FF*2
  20 RE=I*1000
  END
```

```

SUBROUTINE ZOLGAC(ND, ION)
  INTEGER N
  DIMENSION Z(1,1) (40,4)
  COMMON S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, PCC, ICC
  COMMON IJ, L1, S, X, Y, X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, PSC, PC,
15, LN2, L10, PIV2, P*CV, DEL11, S2, S3, S4, S5, S6, L10, VSA, DRFC, TOL
  PUL(2, 4), C(2, 4), W(2, 4) = 42*W2*(42*W2*(C2*W2*...))
  I(1, 1) = 1.0, I(1, 1) = 2.0
  I(1, 1) = 2.0
  A=PI(0., 10., 76., 9., 76., 4., 54., 14)
  M=PI(10., 40., 7., -242., 2., 42., 4., 14)
  C=-0.00125*(1+L)*(-1.2*(1.-14)**2)
  D=2.1*(2.42*14)
  E=PI(0., 24.75., -14.52., 9., 16., 14)
  D=0.0
  UO = 2.0 * E = 2.00
  P=0.50
  PR=0.70
  Y=-C*PR
  D=0.1=1.20
  IF (A.GT.1.0) Y=0.6
  X=Y*0.001
  AP=(1.-Y)**3
  F=C*(1+Y)*Y**2*((4.-2.*Y)/AP-A)*AX
  IF (A>S(1).L(1.E-5)50) TO 5
  G=0.1*(1.-Y)*((4.-2.*Y)/((1.-Y)*AP)-E)*0.001/Y
  4 Y=Y-F/0.01
  5 ZETA(X, 100)=-C*PR/Y
  ZETA(1, 100)=1.
  20 N=1
  21 N=1
  X=PI/50.
  IF (P.LT.1.0) GO TO 15
  Y=X*0.01
  S1=0.175*56*X3
  S2=ZETA(X*1, 100)-ZETA(X, 100)/50.
  3 Z=0.5*(P+0.0*50.)*ZETA(X, 100)
  GO TO(10, 11), X
  10 S=X*2*(1+P/S1*(1+X))
  11 S=X*(1+P)
  12 D=S*(1+S**2)
  D=0.5
  13 D=1.0
  15 D=ZETA(X, 100)*L10*(X**1, X**2, X**3, X**4, X**5)
  16 K=ZETA(100)/S*(1+L10*(X**1, X**2, X**3, X**4, X**5, X**6, X**7, 2110)
  S1TE(X, 17)PSC, PI, DA, OF, PI, PRDFC, LS, VS, L10, L10, PIV2, P*CV, DEL11, S2,
  15, S3, S4, S5, S6, LN, VSA, DRFC, TOL
  17 FORN(1/5*(PSC, PL, PI, PE, PI, PRDFC)/S*.6(3X, E17, 4)/LS, VS, LN2, L10
  1, PIV2)/S*.5(3X, E17, 4)/S*.6(3X, P*CV, DEL11, S2, S3, S4, S5)/S*.6(3X, E17, 4)
  2/SX, *S6, LN, VSA, DRFC, TOL)/SX, S(3X, E17, 4))
  STOP
  END

```

TABLA DE ESPECIFICACIONES DE LAS VALVULAS EMPLEADAS EN
BOMBEO NEUMATICO INTERMITENTE.
VALVULAS MERLA TIPO WF-3 (SVI-11).

CLAVE VALV.	DIAM. EXT. (PG)	RANGO AJUSTE (LB/PG2)	DIAM. ORIF. PRINCIPAL (PG)	AREA FUELLE (PG2)	DIAM. VALV. (PG)	ANGULO. ASIEN TO (GRAD)	AREA DE ASIEN TO (PG2)
1	1 1/2	800-1200	1/2	0.23	5/16	37	.0280
2	1 1/2	800-1200	1/2	0.23	3/8	38	.0420
3	1 1/2	800-1200	1/2	0.23	3/8	45	.0550
4	1 1/2	800-1200	1/2	0.23	1/2	38	.0750
5	1 1/2	800-1200	1/2	0.23	1/2	45	.0980
6	1 1/2	400-1000	1/2	0.28	5/16	37	.0280
7	1 1/2	400-1000	1/2	0.28	3/8	38	.0420
8	1 1/2	400-1000	1/2	0.28	3/8	45	.0550
8	1 1/2	400-1000	1/2	0.28	7/16	38	.0560
9	1 1/2	400-1000	1/2	0.28	7/16	45	.0750
9	1 1/2	400-1000	1/2	0.28	1/2	38	.0750
10	1 1/2	200-1000	1/2	0.28	1/2	45	.0980
X1	1 1/2	0-800	1/2	0.31	5/16	37	.0280
12	1 1/2	0-800	1/2	0.31	3/8	38	.0420
13	1 1/2	0-800	1/2	0.31	3/8	45	.0550
13	1 1/2	0-800	1/2	0.31	7/16	38	.0560
14	1 1/2	0-800	1/2	0.31	7/16	45	.0750
14	1 1/2	0-800	1/2	0.31	1/2	38	.0750
15	1 1/2	0-800	1/2	0.31	1/2	45	.0980

TABLA DE ESPECIFICACIONES DE LAS VALVULAS EMPLEADAS EN
BOMBEO NEUMATICO INTERMITENTE.

VALVULAS CAMCO TIPO CP-2. (DOMO CARGADO CON NITROGENO)

CLAVE VALV.	DIAM. EXT. (PG)	DIAM. ORIF. PRINCIPAL (PG)	AREA FUELLE (PG2)	DIAM. ORIF. CONTROL (PG)	AREA ORIF. CONTROL (PG2)
16	1 1/2	9/16	0.765	5/16	.0792
17	1 1/2	9/16	0.765	3/8	.1134
18	1 1/2	9/16	0.765	7/16	.1538
19	1 1/2	9/16	0.765	1/2	.2002

VALVULAS MC-MURRY TIPO MSA (DOMO CARGADO CON NITROGENO)

20	1 1/2	5/16	0.80	5/16	.0767
21	1 1/2	3/8	0.80	3/8	.1105
22	1 1/2	7/16	0.80	7/16	.1503
23	1 1/2	1/2	0.80	1/2	.1964

VALVULAS OTIS TIPO S CON PILO-PORT (DOBLE ASIEN TO)
(DOMO CARGADO CON NITROGENO).

24	1 1/2	3/4	0.77	5/16	.0767
25	1 1/2	3/4	0.77	3/8	.1104
26	1 1/2	3/4	0.77	7/16	.1503
27	1 1/2	3/4	0.77	1/2	.1964
28	1 1/2	3/4	0.77	9/16	.2485

DATOS.

FECHA	FEB-24-1981
POZO	PRUEBA 1
PROF. MEDIA INT. PROD.	3000. M.
PROF. NIVEL LIQ. CONTRDL	0. M.
PROF. MAX. INY. GAS	2800. M.
INDICE DE PRODUCTIVIDAD	.300 M3/DIA/KG/CM2.
PRESION DE FONDO ESTATICA	1200. LB/PG2.
PRES. MAX. DISP. GAS INY.	900. LB/PG2.
PRESION DE OPERACION	800. LB/PG2.
PRES. SUP. CIERRE VALV. SUP.	750. LB/PG2.
CONTRAPRESION EN T.P.	50. LB/PG2.
TEMP. DE LA FORMACION	120. G. CENT.
TEMP. BOCA POZO EN T.P.	30. G. CENT.
TEMP. BOCA POZO EN T.R.	30. G. CENT.
TEMP. CALIBRACION VALVS.	16. G. CENT.
DENS. REL. FLUIDO CONTRDL	1.050
DENS. REL. ACEITE	.850
DENS. REL. GAS INY.	.650
DIAM. INT. T.P.	2.441 PG.
DIAM. INT. T.R.	5.921 PG.
DIAM. INT. LINEA DESCARGA	3.068 PG.
LONG. LINEA DE DESCARGA	500. M.
RELACION GAS-LIQUIDO	300. M3/M3.
PORCENTAJE DE AGUA	20.0 O/O
VISCOSIDAD DEL ACEITE	20. CP.
ROGOSIDAD DE T.P.	.00025 PIES
FACTOR ESP. MIN.	.040 LB/PG2/PIE.
INCR. FACTOR ESP.	.002 LB/PG2/PIE.
DECR. PRES. OPERACION	0 LB/PG2.
PORCENTAJE DE CARGA EN T.P.	35.0 O/O
VEL. MIN. BACHE LIQ.	17.0 PIES/SEG.
NUM. VALVS. IND. ATM.	0
PRES. SUP. CIERRE VALS. (INF.-SUP)	710. 720. 730. 735. 740. 745. 750.

RESULTADOS.

COMPORTAMIENTO DEL POZO CON VALVULA OPERANTE CLAVE 16.

PROFUNDIDAD DE LA VALVULA	2800. M.
VOLUMEN DE GAS REQUERIDO	153. M3/CICLO.
GASTO DE LIQUIDO	13.5 M3/DIA.
FACTOR DE RECUPERACION	54%
RELACION GAS INYECTADO LIQUIDO	445. M3/M3.
NUMERO DE CICLOS POR DIA	39.
PRES. SUPERF. GAS APER. VALV.	762. 10/PG2
PRES. SUPERF. GAS CIERRE VALV.	710. 10/PG2
TIEMPO VIAJE BACHE A LA SUPERF.	250. SEG.
TIEMPO VIAJE AL SEPARADOR	291. SEG.
LONG. INICIAL BACHE LIQUIDO	210. M.

COMPORTAMIENTO DEL POZO CON VALVULA OPERANTE CLAVE 16.

PROFUNDIDAD DE LA VALVULA	2598. M.
VOLUMEN DE GAS REQUERIDO	154. M3/CICLO
GASTO DE LIQUIDO	8.8 M3/DIA
FACTOR DE RECUPERACION	61%
RELACION GAS INYECTADO LIQUIDO	399. M3/M3
NUMERO DE CICLOS POR DIA	23.
PRES. SUPERF. GAS APERT. VALV.	772. 10/PG2
PRES. SUPERF. GAS CIERRE VALV.	720. 10/PG2
TIEMPO VIAJE BACHE A LA SUPERF.	213. SEG.
TIEMPO VIAJE BACHE AL SEPARADOR	254. SEG.
LONG. INICIAL BACHE LIQUIDO	210. M.

COMPORTAMIENTO DEL POZO CON VALVULA OPERANTE CLAVE 16.

PROFUNDIDAD DE LA VALVULA	2397. M.
VOLUMEN DE GAS REQUERIDO	138. M3/CICLO
GASTO DEL LIQUIDO	3.7 M3/DIA
FACTOR DE RECUPERACION	63.2
RELACION GAS INYECTADO LIQUIDO	347. M3/M3
NUMERO DE CICLOS POR DIA	9.
PRES. SUPERF. GAS APERT. VALV.	783. 10/PG2
PRES. SUPERF. GAS CIERRE VALV.	730. 10/PG2
TIEMPO VIAJE BACHE A LA SUPERF.	200. SEG.
TIEMPO VIAJE BACHE AL SEPARADOR	242. SEG.
LONG. INICIAL BACHE LIQUIDO	210. M.

.....

DISEÑO DE LA INSTALACION.

CLAVE VALV.	ORIF. (PG2)	CONT. (R)	AV/AB (R)	(1-R)	DV (M)	TV (C)	TV (F)	PSC (PSIG)	PVC (PSIG)	PDT (PSIG)	PD (PSIG)	PTRO (PSIG)	PTRC (PSIG)	SPS (PSI)
16	.0792	.1035	.8965	598.	47.9	118.3	750.0	782.1	782.1	693.6	773.7	693.6	80.1	
16	.0792	.1035	.8965	1094.	62.8	144.1	745.0	804.4	804.4	678.3	756.6	678.3	78.3	
16	.0792	.1035	.8965	1560.	76.8	170.3	740.0	825.6	825.6	665.5	742.3	665.5	76.9	
16	.0792	.1035	.8965	1996.	89.9	193.8	735.0	845.6	845.6	654.7	730.3	654.7	75.6	
16	.0792	.1035	.8965	2397.	101.9	215.4	730.0	863.9	863.9	645.5	720.1	645.5	74.5	
16	.0792	.1035	.8965	2598.	108.0	226.3	720.0	864.1	864.1	634.8	708.1	634.8	73.3	
16	.0792	.1035	.8965	2800.	114.0	237.2	710.0	864.2	864.2	624.3	696.3	624.3	72.1	

DATOS.

FECHA	FEB-24-1981
POZO	PRUEBA 2
PROF. MEDIA INT. PROD.	3000. M.
PROF. NIVEL LIQ. CONTROL	0. M.
PROF. MAX. INY. GAS	2800. M.
INDICE DE PRODUCTIVIDAD	.300 M3/DIA/KG/CM2.
PRESION DE FONDO ESTATICA	1200. LB/PG2.
PRES. MAX. DISP. GAS INY.	900. LB/PG2.
PRESION DE OPERACION	800. LB/PG2.
PRES. SUP. CIERRE VALV. SUP.	750. LB/PG2.
CONTRAPRESION EN T.P.	50. LB/PG2.
TEMP. DE LA FORMACION	120. G. CENT.
TEMP. BOCA DE POZO EN T.P.	30. G. CENT.
TEMP. BOCA POZO EN T.R.	30. G. CENT.
TEMP. CALIBRACION VALVS.	16. G. CENT.
DENS. REL. FLUIDO CONTROL	1.050
DENS. REL. ACEITE	.850
DENS. REL. INY.	.650
DIAM. INT. T.P.	2.441 PG.
DIAM. INT. T.R.	5.921 PG.
DIAM. INT. LINEA DESCARGA	3.068 PG.
LONG. LINEA DE DESCARGA	500. M.
RELACION GAS-LIQUIDO	300. M3/M3.
PORCENTAJE DE AGUA	20.0 O/O
VISCOSIDAD DEL ACEITE	20. CP.
RUGOSIDAD DE T.P.	.00025 PIES.
FACTOR ESP. MIN.	.040 LB/PG2/PIE.
INCR. FACTOR ESP.	.002 LB/PG2/PIE.
DECR. PRES OPERACION	.0 LB/PG2.
PORCENTAJE DE CARGA EN T.P.	40.0 O/O
VEL. MIN. BACHE LIQ.	17.0 PIES/SEG.
NUM. VALVS. IND. ATM.	0
PRES. SUP. CIERRE. VALVS. (INF-SUP)	710. 720. 730. 735. 740. 745. 750.

...

RESULTADOS.

COMPORTAMIENTO DEL POZO CON VALVULA OPERANTE CLAVE 12.

PROFUNDIDAD DE LA VALVULA	2800. M.
VOLUMEN DE GAS REQUERIDO	195. M3/CICLO.
GASTO DE LIQUIDO	13.1 M3/DIA
FACTOR DE RECUPERACION	62%
RELACION GAS INYECTADO LIQUIDO	414. M3/M3
NUMERO DE CICLOS POR DIA	28.
PRES. SUPERF. GAS APERT. VALV.	773. LB/PG2
PRES. SUPERF. GAS APERT. VALV.	710. LB/PG2
TIEMPO VIAJE BACHE A LA SUPERF.	248. SEG.
TIEMPO VIAJE BACHE A LA SUPERF.	287. SEG.
LONG. INICIAL BACHE LIQUIDO	252. M.

COMPORTAMIENTO DEL POZO CON VALVULA OPERANTE CLAVE 12.

PROFUNDIDAD DE LA VALVULA	2590. M.
VOLUMEN DE GAS REQUERIDO	183. M3/CICLO
GASTO DE LIQUIDO	8.2 M3/DIA
FACTOR DE RECUPERACION	65.2
RELACION GAS INYECTADO LIQUIDO	370. M3/M3
NUMERO DE CICLOS POR DIA	17.
PRES. SUPERF. GAS APERT. VALV.	LB/PG2
PRES. SUPERF. GAS CIERRE VALV.	720. LB/PG2
TIEMPO VIAJE BACHE A LA SUPERF.	226. SEG.
TIEMPO VIAJE BACHE AL SEPARADOR	265. SEG.
LONG. INICIAL BACHE LIQUIDO	251. M.

COMPORTAMIENTO DEL POZO CON VALVULA OPERANTE CLAVE 12.

PROFUNDIDAD DE LA VALVULA	2397. M.
VOLUMEN DE GAS REQUERIDO	170. M3/CICLO
GASTO DE LIQUIDO	2.9 M3/DIA
FACTOR DE RECUPERACION	68.8
RELACION GAS INYECTADO LIQUIDO	330. M3/M3
NUMERO DE CICLOS POR DIA	6.
PRES. SUPERF. GAS APERT. VALV.	795. LB/PG2
PRES. SUPERF. GAS APERT. VALV.	730. LB/PG2
TIEMPO VIAJE BACHE A LA SUPERF.	205. SEG.
TIEMPO VIAJE BACHE AL SEPARADOR.	250. SEG.
LONG. INICIAL BACHE LIQUIDO	251. M.

.....

DISEÑO DE LA INSTALACION.

CLAVE VALV.	ORIF. (PG2)	CONT. AV/AB (R)	(1-R)	DV (M)	TV (C)	TV (F)	PSC (PSIG)	PVC (PSIG)	PTRO (PSIG)	PTRO (PSIG)	SPS (PSI)
12	.0420	.1355	.8645	598.	47.9	118.3	750.0	782.1	904.7	782.1	122.6
12	.0420	.1355	.8645	1094.	62.8	145.1	745.0	804.4	930.5	804.4	126.1
12	.0420	.1355	.8645	1560.	76.8	170.3	740.0	825.6	955.0	825.6	129.4
12	.0420	.1355	.8645	1996.	89.9	193.8	735.0	845.6	978.1	845.6	132.5
12	.0420	.1355	.8645	2397.	101.9	215.4	730.0	863.9	999.2	863.9	135.4
12	.0420	.1355	.8645	2598.	108.0	226.3	720.0	864.1	999.6	864.1	135.4
12	.0420	.1355	.8645	2800.	114.0	237.2	710.0	864.2	999.7	864.2	135.4

DATOS

FECHA	FEB-24-1981
POZO	PRUEBA 3
PROF. MEDIA INT. PROO.	3000. M.
PROF. NIVEL LIQ. CONTROL	0. M.
PROF. MAX. INY. GAS	2800. M.
INDICE DE PRODUCTIVIDAD	.300 M3/DIA/KG/CM2.
PRESION DE FONDO ESTATICA	1200. LB/PG2.
PRES. MAX. DISP. GAS INY.	900. LB/PG2.
PRESION DE OPERACION	800. LB/PG2.
PRES. SUP. CIERRE VALV. SUP.	750. LB/PG2.
CONTR. PRESION EN T.P.	50. LB/PG2.
TEMP. DE LA FORMACION	120. G. CENT.
TEMP. BOCA POZO EN T.P.	30. G. CENT.
TEMP. BOCA POZO EN T.R.	30. G. CENT.
TEMP. CALIBRACION VALVS.	15. G. CENT.
DENS. REL. FLUIDO CONTROL	1.050
DENS. REL. ACEITE	.850
DENS. REL. GAS INY.	.650
DIAM. INT. T.P.	2.441 PG.
DIAM. ENT. T.R.	5.921 PG.
DIAM. INT. LINEA DESCARGA	3.068 PG.
LONG. LINEA DE DESCARGA	500. M.
RELACION GAS-LIQUIDO	300. M3/M3.
PORCENTAJE DE AGUA	20.0% O/O
VISCOSIDAD DEL ACEITE	20. CP.
RUGOSIDAD DE T.P.	.00025 PIES
FACTOR ESP. MIN.	.040 LB/PG2/PIE.
INCR. FACTOR ESP.	.002 LB/PG2/PIE.
DECR. PRES. OPERACION	.0 LB/PG2.
PORCENTAJE DE CARGA EN T.P.	45.0 O/O
VEL. MIN. BACHE LIQ.	17.0
NUM. VALVS. IND. ATM.	0
PRES. SUP. CIERRE VALVS. (INF-SUP)	710. 720. 730. 735. 740. 745. 750.

...

RESULTADOS.

COMPORTAMIENTO DEL POZO CON VALVULA OPERANTE CLAVE 13

PROFUNDIDAD DE LA VALVULA	2800. M.
VOLUMEN DE GAS REQUERIDO	233. M3/CICLO
GASTO LIQUIDO	12.5 M3/DIA
FACTOR DE RECUPERACION	66%
RELACION GAS INYECTADO LIQUIDO	393. M3/M3.
NUMERO DE CICLOS POR DIA	21.
PRES. SUPERF. GAS APERT. VALV.	789. LB/PG2
PRES. SUPERF. GAS CIERRE VALV.	710. LB/PG2
TIEMPO VIAJE BACHE A LA SUPERF.	257. SEG.
TIEMPO VIAJE BACHE AL SEPARADOR	299. SEG.
LONG. INICIAL BACHE LIQUIDO	296. M.

COMPORTAMIENTO DEL POZO CON VALVULA OPERANTE CLAVE 13

PROFUNDIDAD DE LA VALVULA	2598. M.
VOLUMEN DE GAS REQUERIDO	221. M3/CICLO
GASTO DE LIQUIDO	7.5 M3/DIA
FACTOR DE RECUPERACION	69.8
RELACION GAS INYECTADO LIQUIDO	358. M3/M3
NUMERO DE CICLOS POR DIA	12.
PRES. SUPERF. GAS APERT. VALV.	800. LB/PG2
PRES. SUPERF. GAS CIERRE VALV.	720. LB/PG2
TIEMPO VIAJE BACHE A LA SUPERF.	233. SEG.
TIEMPO VIAJE BACHE AL SEPARADOR	275. SEG.
LONG. INICIAL BACHE LIQUIDO	296. M.

LA PRESION DE FONDO ESTATICA ES TAN BAJA QUE EL BACHE DE LIQUIDO NO ALCANZA ACUMULARSE ARRIBA DE LA VALVULA OPERANTE.

PRESION DE FONDO ESTATICA = 1215. PSIA

PROFUNDIDAD DE LA VALVULA OPERANTE = 2397.M.

DISEÑO DE LA INSTALACION.

CLAVE VALV.	ORIF. (PG2)	CONT. (R)	AV/AB (1-R)	DV (M)	TV (C)	TV (F)	PSC (PSIG)	PVC (PSIG)	PTRO (PSIG)	PTRC (PSIG)	SPS (PSI)
13	.0560	.1806	.8194	598.	47.7	118.3	750.0	782.1	954.5	782.1	172.4
13	.0560	.1806	.8194	1094.	62.8	145.1	745.0	804.4	981.7	804.4	177.3
13	.0560	.1806	.8194	1560.	76.8	170.3	740.0	825.6	1007.7	825.6	182.0
13	.05660	.1806	.8194	1996.	89.9	193.8	735.0	845.6	1032.0	845.6	186.4
13	.0560	.1806	.8194	2397.	101.9	215.4	730.0	863.9	1054.3	863.9	190.5
13	.0560	.1806	.8194	2598.	108.0	226.3	720.0	864.1	1054.7	864.1	190.5
13	.0560	.1806	.8194	2800.	114.0	237.2	710.0	864.2	1054.8	864.2	190.5

DATOS.

FECHA	FEB-24-1981
POZO	PRUEBA 4
PROF. MEDIA INT. PROD.	3000. M.
PROF. NIVEL LIQ. CONTROL	0. M.
PROF. MAX. INY. GAS	2800. M.
INDICE DE PRODUCTIVIDAD	.300 M3/DIA/KG./CM2.
PRESION DE FONDO ESTATICA	1200. LB/PG2.
PRES. MAX. DISP. GAS INY.	900. LB/PG2.
PRESION DE OPERACION	800. LB/PG2.
PRES. SUP. CIERRE VALV. SUP.	750. LB/PG2.
CONTRAPRESION EN T.P.	50. LB/PG2.
TEMP. DE LA FORMACION	120. G. CENT.
TEMP. BOCA POZO EN T.P.	30. G. CENT.
TEMP. BOCA POZO EN T.R.	30. G. CENT.
TEMP. CALIBRACION VALVS.	16. G. CENT.
DENS. REL. FLUIDO CONTROL	1.050
DENS. REL. ACEITE	.850
DENS. REL. GAS INY.	.650
DIAM. INT. T.P.	2.441 PG.
DIAM. INT. T.R.	5.921 PG.
DIAM. INT. LINEA DESCARGA	3.060 PG.
LONG. LINEA DE DESCARGA	500. M.
RELACION GAS-LIQUIDO	300. M3/M3.
PORCENTAJE DE AGUA	20.0 O/O
VISCOSIDAD DEL ACEITE	20. CP.
RUGOSIDAD DE T.P.	.00025 PIES
FACTOR ESP. MIN.	.040 LB/PG2/PIE.
INCR. FACTOR ESP.	.002 LB/PG2/PIE.
DECR. PRES. OPERACION	.0 LB/PG2.
PORCENTAJE DE CARGA EN T.P.	50.0 O/O
VEL. MIN. BACHE LIQ.	17.0 PIES/SEG.
NUM. VALVS. IND. ATM.	0
PRES. SUP. CIERRE VALVS. (INF-SUP)	710. 720. 730. 735. 740. 745. 750.

.....

RESULTADOS.

COMPORTAMIENTO DEL POZO CON VALVULA OPERANTE CLAVE 8.

PROFUNDIDAD DE LA VALVULA	2800. M.
VOLUMEN DE GAS REQUERIDO	237. M3/CICLO
GASTO DE LIQUIDO	11.8 M3/DIA
FACTOR DE RECUPERACION	66.3
RELACION GAS INYECTADO LIQUIDO	355. M3/M3
NUMERO DE CICLOS POR DIA	18.
PRES. SUPERF. GAS APERT. VALV.	789. LB/PG2
PRES. SUPERF. GAS CIERRE VALV.	710. LB/PG2
TIEMPO VIAJE BACHE A LA SUPERF.	289. SEG.
TIEMPO VIAJE BACHE AL SEPARADOR	340. SEG.
LONG. INICIAL BACHE LIQUIDO	335. M.

COMPORTAMIENTO DEL POZO CON VALVULA OPERANTE CLAVE 8.

PROFUNDIDAD DE LA VALVULA	2598. M.
VOLUMEN DE GAS REQUERIDO	217. M3/CICLO
GASTO DE LIQUIDO	6.7 M3/DIA
FACTOR DE RECUPERACION	68.3
RELACION GAS INYECTADO LIQUIDO	313. M3/M3
NUMERO DE CICLOS POR DIA	10.
PRES. SUPERF. GAS APERT. VALV.	800. LB/PG2
PRES. SUPERF. GAS CIERRE VALV.	720. LB/PG2
TIEMPO VIAJE BACHE A LA SUPERF.	266. SEG.
TIEMPO VIAJE BACHE AL SEPARADOR	319. SEG.
LONG. INICIAL BACHE LIQUIDO	355. M.

LA PRESION DE FONDO ESTATICA ES TAN BAJA QUE EL BACHE DE LIQUIDO NO ALCANZA ACUMULARSE ARRIBA DE LA VALVULA OPERANTE.

PRESION DE FONDO ESTATICA = 1215 PSIA

PROFUNDIDAD DE LA VALVULA OPERANTE = 2397. M.

DISEÑO DE LA INSTALACION.

CLAVE VALV.	ORIF. (PG2)	CONT. (R)	AV/AB (R)	(1-R)	DV (M)	TV (C)	TV (F)	PSC (PSIG)	PVC (PSIG)	PTRO (PSIG)	PTRC (PSIG)	SPS (PSI)
8	.0560	.2000	.8000	.8000	598.	47.9	118.3	750.0	782.1	977.6	782.1	195.5
8	.0560	.2000	.8000	.8000	1094.	62.8	145.1	745.0	804.4	1005.5	804.4	201.1
8	.0560	.2000	.8000	.8000	1560.	76.8	170.3	740.0	825.6	1032.1	825.6	206.4
8	.0560	.2000	.8000	.8000	1996.	89.9	193.8	735.0	845.6	1056.9	845.6	211.4
8	.0560	.2000	.8000	.8000	2397.	101.9	215.4	730.0	863.9	1079.8	863.9	216.0
8	.0560	.2000	.8000	.8000	2598.	108.0	226.3	720.0	864.1	1080.2	864.1	216.0
8	.0560	.2000	.8000	.8000	2800.	114.0	237.2	710.0	864.2	1080.3	864.2	216.1

DATOS.

FECHA	FEB-24-1981
POZO	PRUEBA 5
PROF. MEDIA INT. PROD.	3000. M.
PROF. NIVEL LIQ. CONTROL	0. M.
PROF. MAX. INY. GAS	2800. M.
INDICE DE PRODUCTIVIDAD	.300 M3/DIA KG/CM2.
PRESTON DE FONDD ESTATICA	1200. LB/PG2.
PRES MAX. DISP. GAS INY.	900. LB/PG2.
PRESION DE OPERACION	800. LB/PG2.
PRES SUP. CIERRE VALV. SUP.	750. LB/PG2.
CONTRAPRESION EN T.P.	50. LB/PG2.
TEMP. DE LA FORMACION	120. G. CENT.
TEMP. BOCA POZO EN T.P.	30. G. CENT.
TEMP. BOCA POZO EN T.R.	30. G. CENT.
TEMP. CALIBRACION VALVS.	16. G. CENT.
DENS. REL. FLUIDO CONTROL	1.050
DENS. REL. ACEITE	.850
DENS. REL. GAS INY.	.650
DIAM. INT. T.P.	2.441 PG.
DIAM. INT. T.R.	5.921 PG.
DIAM. INT. LINEA DESCARGA	3.068 PG.
LONG. LINEA DE DESCARGA	500. M.
RELACION GAS-LIQUIDO	300. M3/M3.
PORCENTAJE DE AGUA	20.0 O/O
VISCOSIDAD DEL ACEITE	20. CP.
ROUGHNESS DE T.P.	.00025 PIES
FACTOR ESP. MIN.	.040 LB/PG2/PIE.
INCR. FACTOR ESP.	.002 LB/PG2/PIE.
INCR. PRES. OPERACION	0. LB/PG2.
PORCENTAJE DE CARGA EN T.P.	55.0 O/O
VEL. MIN. RACHE LIQ.	17.0 PIES/SEG.
NUM. VALVS. IND. ATM.	0
PRES SUP. CIERRE VALVS. (INF-SUP)	710. 720. 730. 735. 740. 745. 750.

...

RESULTADOS

COMPORTAMIENTO DEL POZO CON VALVULA OPERANTE CLAVE 23

PROFUNDIDAD DE LA VALVULA	2598. M.
VOLUMEN DE GAS REQUERIDO	240. M3/CICLO.
GASTO DE LIQUIDO	5.9 M3/DIA
FACTOR DE RECUPERACION	70.3
RELACION GAS INYECTADO LIQUIDO	300. M3/M3
NUMERO DE CICLOS POR DIA	7.
PRES. SUPERF. GAS APERT. VALV.	810. LB/PG2
PRES. SUPERF. GAS CIERRE VALV.	720. LB/PG2
TIEMPO VIAJE BACHE A LA SUPERF.	285. SEG.
TIEMPO VIAJE BACHE AL SEPARADOR	342. SEG.
LONG. INICIAL BACHE LIQUIDO	379. M.

LA PRESION DE FONDO ESTATICA ES TAN BAJA QUE EL BACHE DE LIQUIDO NO ALCANZA ACUMULARSE ARRIBA DE LA VALVULA OPERANTE.

PRESION DE FONDO ESTATICA = 1215. PSIA

PROFUNDIDAD DE LA VALVULA OPERANTE = 2397. M.

DISEÑO DE LA INSTALACION.

CLAVE VALV.	ORIF. (PG2)	CONT. (R)	AV/AB (R)	(1-R)	DV (M)	TV (C)	TV (F)	PSC (PSIG)	PVC (PSIG)	PDT (PSIG)	PD (PSIG)	PTRO (PSIG)	PTRC (PSIG)	SPS (PSI)
23	.1964	.2455	.7545		598.	47.9	118.3	750.0	782.1	782.1	693.6	919.3	693.6	225.7
23	.1964	.2455	.7545		1094.	62.8	145.1	745.0	804.4	804.4	678.3	899.0	678.3	220.7
23	.1964	.2455	.7545		1560.	76.8	170.3	740.0	825.6	825.6	665.5	882.0	665.5	216.5
23	.1964	.2455	.7545		1996.	89.9	193.8	735.0	845.6	845.6	654.7	867.7	654.7	213.0
23	.1964	.2455	.7545		2397.	101.9	215.4	730.0	863.9	863.9	645.5	855.6	645.5	210.0
23	.1964	.2455	.7545		2598.	108.0	226.3	720.0	864.1	864.1	634.8	841.3	634.8	206.5
23	.1964	.2455	.7545		2800.	114.0	237.2	710.0	864.2	864.2	624.3	827.4	624.3	203.1

RESULTADOS.

COMPORTAMIENTO DEL POZO CON VALVULA OPERANTE CLAVE 27

PROFUNDIDAD DE LA VALVULA	2800. M.
VOLUMEN DE GAS REQUERIDO	269. M ³ /CICLO
GASTO DE LIQUIDO	11.1 M ³ /DIA
FACTOR DE RECUPERACION	70.3
RELACION GAS INYECTADO LIQUIDO	334. M ³ /M ³
NUMERO DE CICLOS POR DIA	14.
PRES. SUPERF. APERT. VALV.	803. LB/PG2
PRES. SUPERF. GAS CIERRE VALV.	710. LB/PG2
TIEMPO VIAJE BACHE A LA SUPERF.	285. SEG.
TIEMPO VIAJE BACHE LIQUIDO	381. M.

COMPORTAMIENTO DEL POZO CON VALVULA OPERANTE CLAVE 27

PROFUNDIDAD DE LA VALVULA	2598. M.
VOLUMEN DE LIQUIDO	257. M ³ /CICLO
GASTO DE LIQUIDO	6.0 M ³ /DIA
FACTOR DE RECUPERACION	73.3
RELACION GAS INYECTADO LIQUIDO	306. M ³ /M ³
NUMERO DE CICLOS POR DIA	7.
PRES. SUPERF. GAS APERT. VALV.	814. LB/PG2
PRES. SUPERF. GAS CIERRE VALV.	720. LB/PG2
TIEMPO VIAJE A LA SUPERF.	256. SEG.
TIEMPO VIAJE BACHE AL SEPARADOR	312. SEG.
LONG. INICIAL BACHE LIQUIDO	381. M.

LA PRESION DE FONDO ESTATICA ES TAN BAJA QUE EL BACHE DE LIQUIDO NO ALCANZA ACUMULARSE ARRIBA DE LA VALVULA OPERANTE.

PRESION DE FONDO ESTATICA = 1215. PSIA
PROFUNDIDAD DE LA VALVULA OPERANTE = 2397. M.

DISERO DE LA INSTALACION.

CLAVE VLAV.	ORIF. (PG2)	CONT. (R)	AV/AB (R)	(1-R)	DV (M)	TV (C)	TV (F)	PSC (PSIG)	PVC (PSIG)	PDT (PSIG)	PD (PSIG)	PTRO (PSIG)	PTRC (PSIG)	SPS (PST)
27	.1964	.2551	.7449	598.	47.9	118.3	750.0	782.1	782.1	693.6	931.1	693.6	237.5	
27	.1964	.2551	.7449	1094.	62.8	145.1	745.0	804.4	804.4	678.3	910.5	678.3	232.2	
27	.1964	.2551	.7449	1560.	76.8	170.3	740.0	825.6	825.6	665.5	893.3	665.5	227.9	
27	.1964	.2551	.7449	1996.	89.9	193.8	735.0	845.6	845.6	654.7	878.9	654.7	224.2	
27	.1964	.2551	.7449	2397.	101.9	215.4	730.0	863.9	863.9	645.5	866.6	645.5	221.0	
27	.1964	.2551	.7449	2598.	108.0	226.3	720.0	864.1	864.1	634.8	852.1	634.8	217.3	
27	.1964	.2551	.7449	2800.	114.0	237.2	710.0	864.2	864.2	624.3	838.0	624.3	213.7	

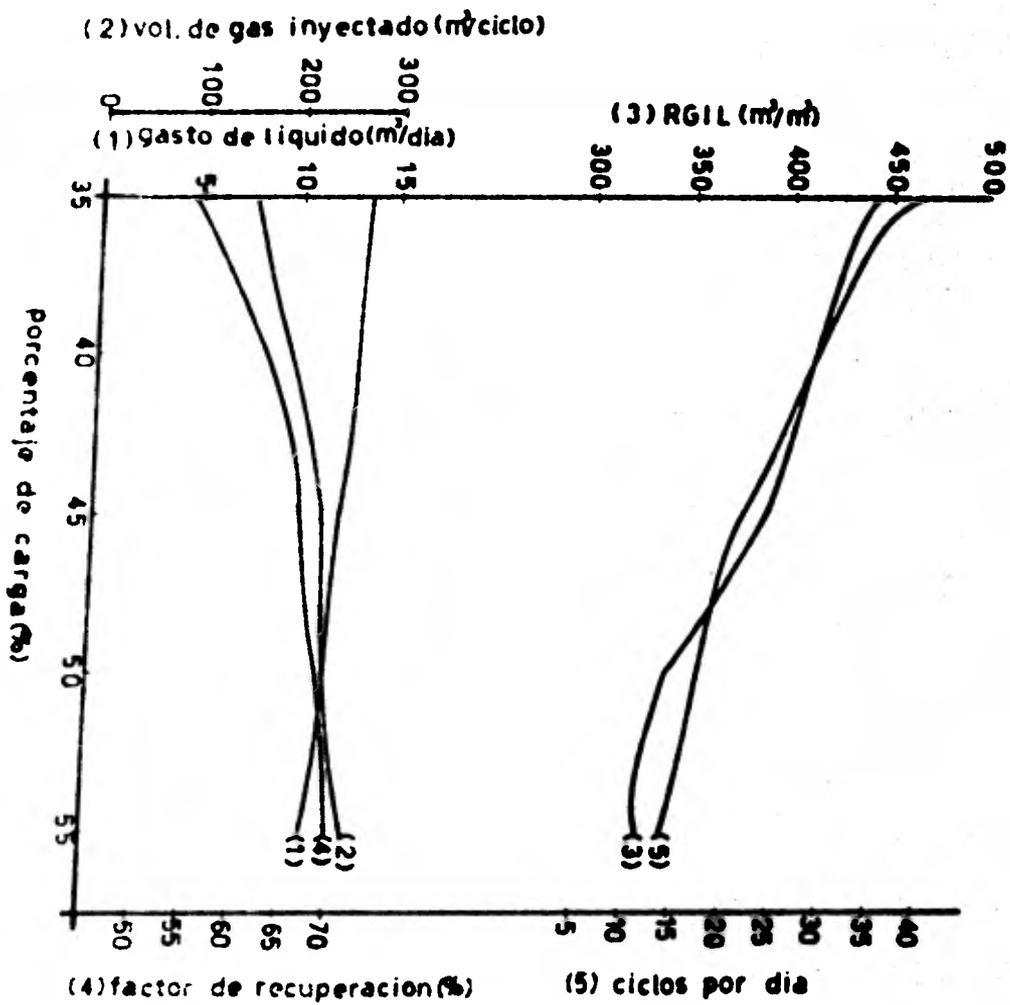
DATOS.

FECHA	FEB-24-1981
POZO	PRUEBA 6
PROF. MEDIA INT. PROD.	3000. M.
PROF. NIVEL LIQ. CONTROL	0. M.
PROF. MAX. INY. GAS	2800. M.
INDICE DE PRODUCTIVIDAD	.300 M3/DIA/KG/CM2.
PRESION DE FONDO ESTATICA	1200. LB/PG2.
PRES. MAX. DISP. GAS INY.	900. LB/PG2.
PRESION DE OPERACION	800. LB/PG2.
PRES. SUP. CIERRE VALV. SUP.	750. LB/PG2.
CONTRAPRESION EN T.P.	50. LB/PG2.
TEMP. DE LA FORMACION	120. G. CENT.
TEMP. BOCA POZO EN T.P.	30. G. CENT.
TEMP. BOCA POZO EN T.R.	30. G. CENT.
TEMP. CALIBRACION VALVS.	16. G. CENT.
DENS. REL. FLUIDO CONTROL	1.050.
DENS. REL. ACEITE	.850
DENS. REL. GAS INY.	.650
DIAM. INT. T.P.	2.441 PG.
DIAM. INT. T.R.	5.921 PG.
DIAM. INT. LINEA DESCARGA	3.068 PG.
LONG. LINEA DE DESCARGA	500. M.
RELACION GAS-LIQUIDO	300. M3/M3.
PORCENTAJE DE AGUA	20.0 O/O
VISCOSIDAD DEL ACEITE	20. CP.
RUGOSIDAD DE T.P.	.00025 PIES
FACTOR ESP. MIN.	.040 LB/PG2/PIE.
INCR. FACTOR ESP.	.002 LB/PG2/PIE.
DECR. PRES. OPERACION	.0 LB/PG2.
PORCENTAJE DE CARGA EN T.P.	60.0 O/O
VEL. MIN. BACHE LIQ.	17.0 PIES/SEG.
NUM. VALVS. IND. ATM.	0
PRES. SUP. CIERRE VALVS. (INF-SUP)	710. 720. 730. 735. 740. 745. 750.

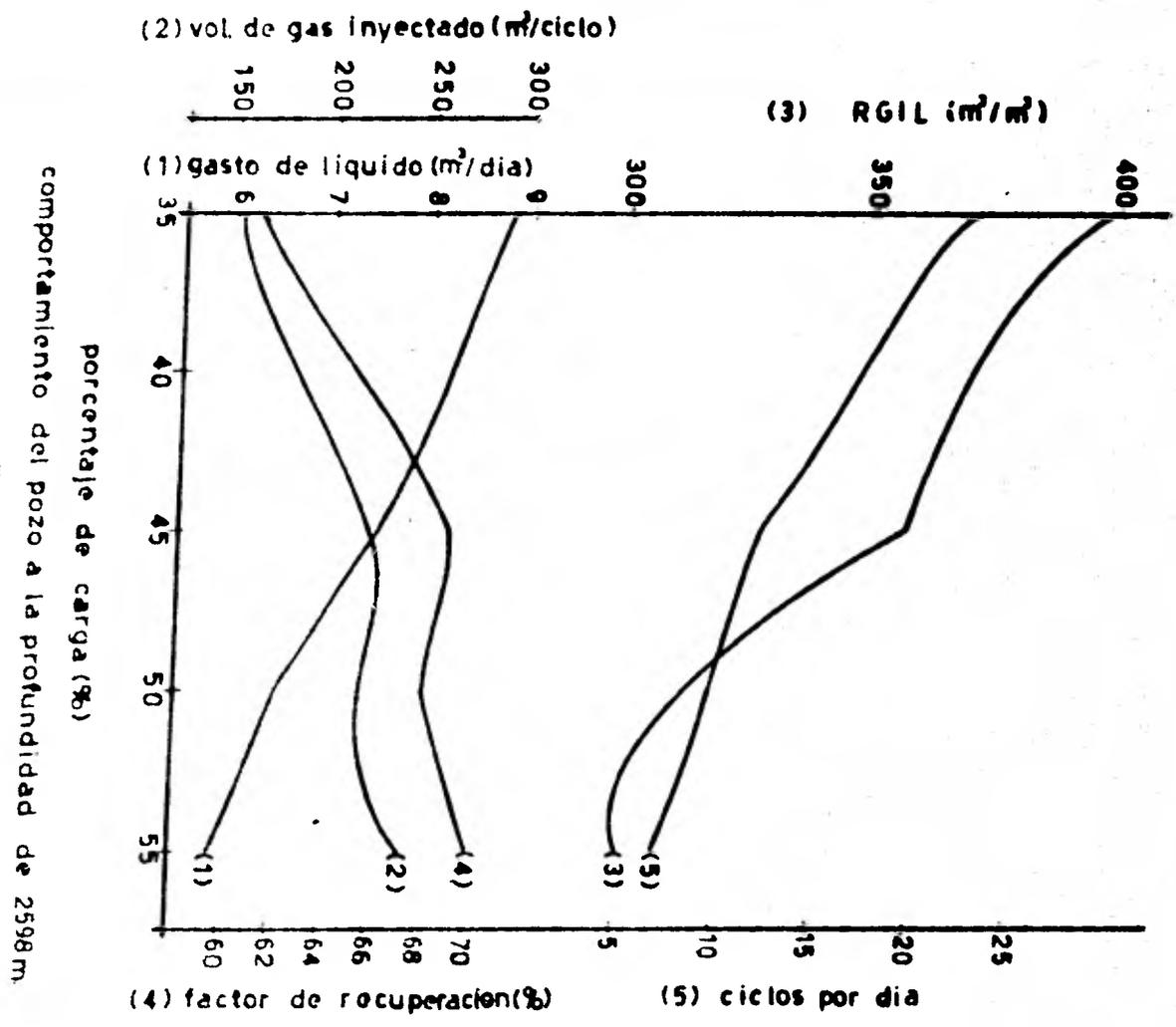
NINGUNA DE LAS VALVULAS MERLA FUNCIONA PARA ESTE CASO.

LA PRESION DE FONDO ESTATICA ES TAN BAJA QUE EL BACHE DE LIQUIDO NO AL CANZA ACUMULARSE ARRIBA DE LA VALVULA OPERANTE.

PRESION DE FONDO ESTATICA = 1215. PSIA
 PROFUNDIDAD DE LA VALVULA OPERANTE = 2397. M.



comportamiento del pozo a la profundidad de 2000m
 FIG 9



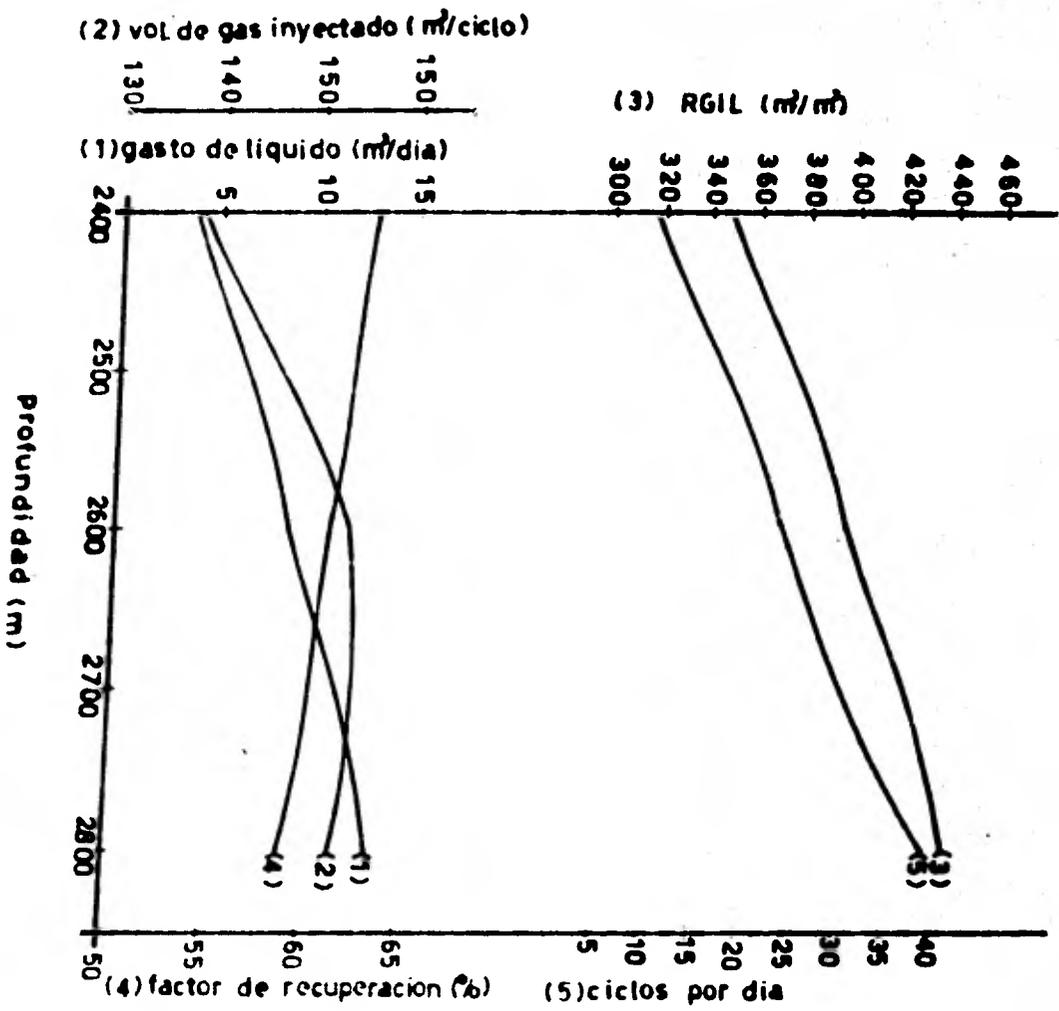


FIG. 11

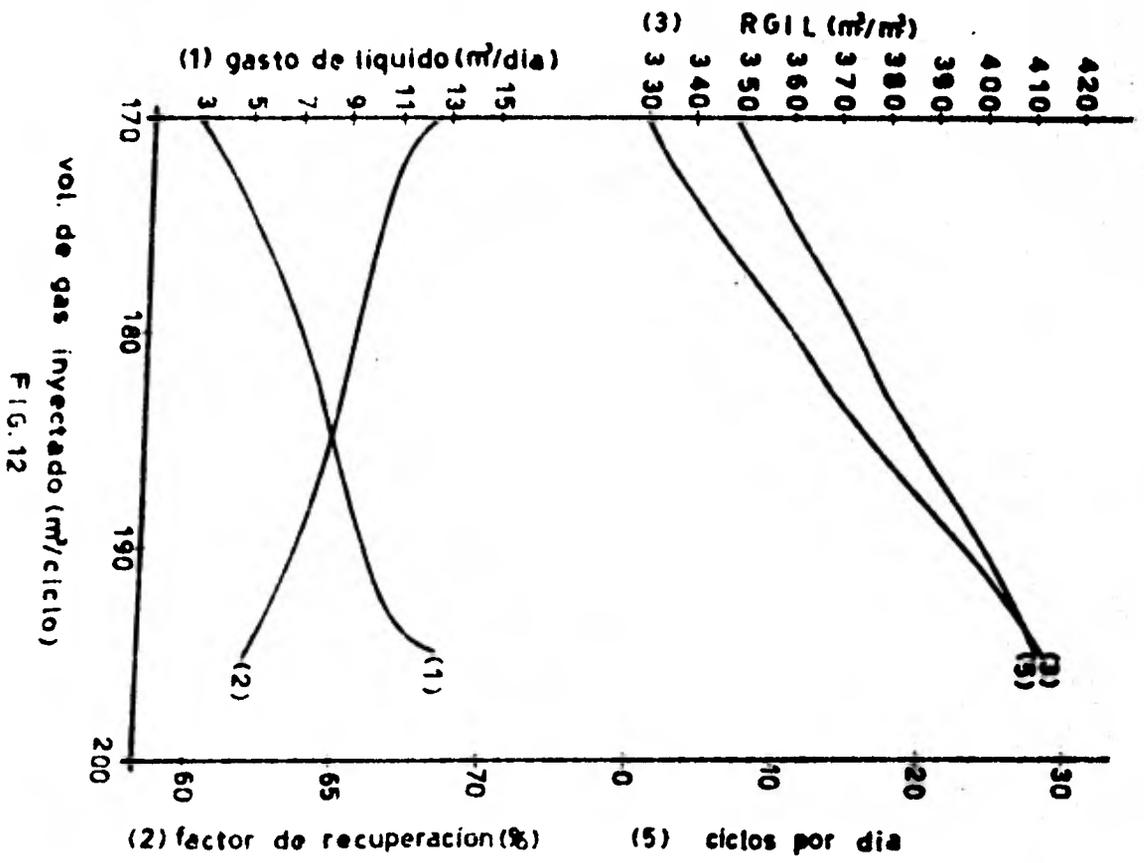


FIG. 12

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

IV.1.- CONCLUSIONES.

Dado que el programa de Cómputo está basado en un modelo matemático - teórico, es necesario ajustar ciertos parámetros que intervienen en los cálculos a fin de aumentar la precisión de los resultados. Esta adaptación se efectúa en comparación con datos medidos en el campo, hasta que las diferencias con los valores calculados sean mínimos.

La aplicación del programa no representa dificultad alguna, puesto -- que los datos que se requieren para su procesamiento, se disponen en los expedientes de los pozos. Los costos que implica la utilización del programa - son mínimos, ya que el tiempo de procesamiento es muy corto.

IV.2.- RECOMENDACIONES.

Se recomienda diseñar instalaciones de bombeo neumático intermitente con el programa de cómputo. Posteriormente tomar toda la información posible acerca de su funcionamiento y compararla con los resultados proporcionados - por el programa. Esta operación será de gran importancia para lograr un ajuste adecuado entre los valores predichos y los reales, lo que permitirá una - mayor confiabilidad con los resultados calculados. Es recomendable también - comparar y analizar los resultados entre los seis diseños diferentes que proporciona el programa, a fin de seleccionar la instalación más apropiada a cada pozo.

Para diseñar una instalación, se recomienda procesar el programa variando el porcentaje de carga, en la tubería de producción, el cual es definitivo en la determinación del tamaño de orificio de la válvula. En función -

del dato aludido se establece la diferencia de presión entre el espacio anular y la tubería de producción en el instante en que abre la válvula operante, diferencia que según la literatura especializada no debe ser menor de -- 200 lb/pg².

Una vez ajustado el programa se recomienda utilizarlo en el diseño de nuevas instalaciones, así como el análisis de las ya existentes, a fin de corregir sus posibles deficiencias. Además, es útil para determinas las necesidades futuras de válvulas y elaborar con anticipación las requisiciones correspondientes.

NOMENCLATURA

A	Area de sección transversal (pie ²).
a	Aceleración (pie/seg ²).
B	Factor de conversión.
C	Capacidad (bl/pie).
D	Profundidad (pie).
d	Diámetro (pie)
d _o	Diámetro orificio de la válvula (Pg)
e	Base de los logaritmos naturales = 2.718281.....
F _{wo}	Relación agua-aceite (m ³ /m ³).
f	Factor de fricción.
g	Aceleración de la gravedad (pie/seg ²).
g _c	Constante gravitacional (32.174) (pie-lbm/ lb _f -seg ²)
J	Índice de productividad total ($\frac{bl}{lb/pg^2} \frac{dla}{dla}$)
K	Relación de colores específicos del gas.
L	Longitud (pie).
L _a	Longitud de líquido acumulado (pie).
M	Masa molecular (L b/moleOlb).
N _{EU}	Número de Euler.
N _{fr}	Número de Fraude.
N _p	Número de resbalamiento de líquido.
N _{Re}	Número de Reynolds.
N _{sl}	Número de longitud de bache.
N _{we}	Número de Weber.
n	Moles de gas.
p	Presión (lb/pg ²) abs.

P_{cf}	Presión en T.R. fluyendo en el cabezal del pozo (lb/pg^2) abs
P_{sp}	Presión de separación (lb/pg^2) abs
P_{vos}	Presión del gas en la superficie al abrir la válvula (lb/pg^2) abs.
P_{pc}	Pseudo presión crítica (lb/pg^2) abs.
P_{vcs}	Presión del gas en la sup. al cierre de la válvula (lb/pg^2) abs.
P_{tv}	Presión dentro de la T.P. frente a la válvula (lb/pg^2) abs.
P_{cv}	Presión del gas en el espacio anular frente a la válvula (lb/pg^2) abs.
P_{wf}	Presión de fondo fluyendo (lb/pg^2) abs.
P_{tf}	Presión en la T.P. fluyendo en el cabezal del pozo (lb/pg^2) abs.
P_{ws}	Presión de fondo estático (lb/pg^2) abs.
R	Constante universal de los gases = $10.73 \left(\frac{lb/pg^2 \times pie^3}{mole - lb \times ^\circ R} \right)$
T	Temperatura ($^\circ R$).
T_f	Temperatura de la formación ($^\circ R$).
T_{pc}	Pseudo temperatura crítica ($^\circ R$).
T_{cf}	Temperatura fluyendo por la T.R. en el cabezal del pozo ($^\circ R$)
T_{tf}	Temperatura fluyendo por la T.P. en el cabezal del pozo ($^\circ R$).
t	Tiempo (seg).
t_s	Tiempo que tarda la parte superior del bache de líquido en llegar a - la superficie (seg).
t_i	Tiempo que tarda la interfase gas-líquido en llegar a la sup. (lb/pg^2) abs.
V	Volumen (pie^3).
v	Velocidad (pie/seg).
\bar{X}	Valor medio de la variable X
Z	Factor de compresibilidad del gas.

CARACTERES GRIEGOS

ν	Densidad relativa
Δ	Incremento
ϵ	Rugosidad absoluta (pie)
μ	Viscosidad (CP).
π	Número adimensional.
δ	Densidad (lbm/pie ³)
σ	Tensión superficial (na/cm).
Φ	Función.

SUBINDICES

A	Arriba del bache de líquido.
a	Aceleración.
B	Debajo del bache de líquido.
c	espacio anular
E	expansión del gas
e	Efectiva
F	Aportación de líquido de la formación
f	fricción
g	gas
H	Línea de descarga.
I	Interfase debajo del bache
i	Inicial.
L	Líquido.
O	Aceite.
p	Penetración.
s	bache de líquido.

- T Total.
t Tubería de producción.
V Válvula.
w Agua.
1 Condiciones para el tiempo (t).
2 Condiciones para el tiempo (t + Δt).

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Kermit E. Brom.
Guidelines to Gas lift Design and Control.
Otis Engineering Corporation.
- 2.- Paul W. Orris, Lewis J. Bicking Jr., Eduard E. De Moss; W.M. Boyd.
Manual de Bombeo Neumático (MerLa)
- 3.- Apuntes de la Asignatura:
"Métodos Artificiales de Producción".
Fac. Ingeniería. U.N.A.M.
- 4.- Jerry B. Davis.
Producción del Petróleo mediante Bombeo Neumático, Diseño y Operación.
Otis Engineering Corporation.
- 5.- Zuñiga Puente H.
"Estudios de Procedimientos para proyectar un aparejo de bombeo neumático por flujo intermitente".
Primer reporte de Avance, Proyecto D-300 D
Publicación No. 71. BH/072, I.M.P. Enero 1971.
- 6.- Brill J.P., Doerr T.C., Brown K.E.
"An Analytical Description of liquid slug flow in small-diameter vertical Conduits".
Journal of Petroleum Technology. March, 1967.
- 7.- Doerr T.C., K.E. Silberg I. H.
"An Analytical description of an intermittent Gas-lift System"
Texas Petroleum Research Committee.
University Division Austin Texas.

MECANOGRAFIA
E IMPRESION:

J. Felipe Montiel m.
Portal de Sto. Domingo # 10.
Interior, Despacho No. 4.
México 1, D. F.

