



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

# FACULTAD DE INGENIERIA

# "BOMBEO NEUMATICO EN DOS ETAPAS"

# TESISQUEPARA OBTENER EL TITULO DEINGENIEROPETROLEROPRESENTA

ADOLFO LUIS CID VAZQUEZ

MEXICO, D. F.

1986



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

## DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



FACULTAD DE INGENIERIA Dirección 60-1-110

VNIVERIDAD NACIONAL AvTonoma

> Señor CID VAZQUEZ ADOLFO LUIS. P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección, propuso el Profr. Ing.-Jesús Héctor Díaz Zertuche, para que lo desarrolle como tesis -para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO PETROLERO.

"BOMBEO NEUMATICO EN DOS ETAPAS"

INTRODUCCION. I FUNDAMENTOS DE BOMBEO NEUMATICO. II BOMBEO NEUMATICO EN DOS ETAPAS. III PROGRAMA DE COMPUTO Y APLICACION. IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. NOMENCLATURA. REFERENCIAS.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimientocon 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 Coordinación de la Administración -Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de losejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente. "POR MI RAZA HABLAFA EL ESPIRITU" Cd. Universitaria, D.F., mayo 14 de 1986. EL DIRECTOR

Dr. Octavio A. Rascon Chavez



#### INDICE.

#### INTRODUCCION 1 ANTECEDENTES 3 I.-FUNDAMENTOS DE BOMBEO NEUMATICO 8 II.-BOMBED NEUMATICO EN DOS ETAPAS 27 III.-PROGRAMA DE COMPUTO Y APLICACION 48 IV.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 71 NOMENCLATURA 73

74

REFERENCIAS

#### INTRODUCCION.

Cuando la energía disponible de un yacimiento no es suficiente para vencer la columna hidrostática en el pozo o cuando ya no sea rentable explotarlo en forma natural, es nec<u>e</u> sario utilizar sistemas artificiales de producción. El proceso de generación y transmisión de energía varía de acuerdo al sistema que se vaya utilizar.

Los principales sistemas artificiales de producción que se pueden utilizar son los aiguientes:

1	Bombeo	neumático.
2	Bombeo	hidráulico.
3	Bombeo	eléctrico.
4	Bombeo	mecánico.

En este trabajo se presentan los conceptos necesa-rios para el diseño de instalaciones de bombeo neumático en dos etapas. En este sistema son utilizadas dos tuberías para bombeerles fluídos a través de la profundidad vertical.

Con este procedimiento el líquido puede alcanzar una cierta profundidad pero sin llegar a la superficie en una tubería, mientras que otra tubería de producción es necesaria

(1)

para elevar el líquido al exterior.

La mejor aplicación de este sistema artificial de producción se logra en aquellos pozos que tienen una baja pr<u>e</u> sión de fondo estática y de fondo fluyendo, y buen índice de productividad que permita mayor diferencial de presión y por tanto mayor gasto.

Teóricamente las instalaciones de bombeo neumático en dos etapas generalmente son mejores que las instalaciones de bombeo neumático convencionales ya que los fluídos se bombean de una menor profundidad, debido a esto solo pozos con tuberías de revestimiento grandes deben ser considerados para este tipo de instalación de bombeo neumático.

Este sistema se aplicó para el pozo Cárdenas 121 del campo Cárdenas de Petróleos Mexicanos en la zona sureste dando resultados astisfactorios.

2

#### ANTECEDENTES.

El objetivo del bombeo neumático en dos etapas es proponer un método para incrementar la producción del líquido principalmente en aquellos pozos que producen bajos gas-tos con métodos de bombeo neumático convencionales. Los pozos con bajo índice de productividad y baja presión de fondo estática, no son los candidatos ideales para el sistema de producción propuesto en este trabajo.

La mayor o menor recuperación de hidrocarburos del yacimiento dependerá de muchas causas, entre otras, de las -variaciones en las propiedades físicas de la roca, de las -propiedades físicas de los fluidos, del tipo de mecenismo de desplazamiento de fluidos, de las variables como la presión de fondo fluyendo y de fondo estática e índice de productiv<u>i</u> ded.

Al aplicar sistemas artificiales de producción el único parámetro que puede variar es la presión de fondo fluyendo. Para el bombeo neumático estándar, una mínima presión de fondo fluyendo puede ser obtenida con el correcto diseño del bombeo neumático.

(3)

### MECANISMO DE DESPLAZAMIENTO (3)

El mecanismo de desplazamiento de los fluidos en el yacimiento dete ser conocido con objeto de colocar en -cualquier pozo una instalación de bombeo artificial. En -cierto modo el aceite no fluye del yacimiento, sino que es expulsado mediante un proceso de desplazamiento, siendo los principales agentes desplazantes el gas y el agua.

Los procesos de desplazamiento son:

- 1.- Expansión de la roca y los líquidos.
- Empuje por gas disuelto liberado.
- Empuje por capa o casquete de gas.
- 4.- Empuje por agua.
- Desplazamiento por segregación.

La expansión de la roca y los líquidos es un proc<u>e</u> so de desplazamiento que ocurre en los yscimientos bajosaturados, hasta que se alcanza la presión de saturación. La e<u>x</u> pulsión del aceite se debe a la expansión del sistema.

El empuje por gas disuelto liberado, se debe a la liberación del gas disuelto en el aceite, al alcanzar la pr<u>e</u> sión de saturación y la producción de aceite se deberá a la

(4)

expansión volumétrica del gas. El índice de productividad y la presión declinan rápidamente y la instalación de bombeo neumático debe ser tan flexible que pueda soportar un amplio rango en las condiciones de operación en un período relativ<u>a</u> mente corto.

El empuje por capa de gea consiste en una invasión progresiva de la zona de aceite por gas, acompañada por un desplazamiento direccional del aceite fuera de la zona de gas libre y hacia los pozos productores. Este tipo de empuje es debido a la declinación de la presión.

El desplazamiento de los hidrocarburos debido al empuje por agua tiene lugar en la interfase agua-aceite mávil. En este proceso, invade y desplaza al aceite, progresivamente, desde las fronteras exteriores del yacimiento hacia los pozos productores. Generalmente la invasión de agua tiene lugar por la expansión de la roca y el agua en el acuifero, como resultado de la declinación de presión transmitida desde el yacimiento. El índice de productividad, la relación ges-aceite instantánes y la presión de fondo estática tien-den a permanecer constantes durante la vida del pozo y por estas rezones el diseño del bombeo neumático puede ser hecho

(5)

con mayor confianza.

La segregación gravitacional es la tendencia del aceite, gas y agua a distribuirse en el yacimiento de acuerdo a sus densidades. En un yacimiento bajo condiciones fav<u>o</u> rables de segregación, gran parte del gas liberado fluye a la parte superior del yacimiento en vez de ser arrastrado h<u>a</u> cia los pozos por la fuerza de presión, contribuyendo así a la formación o agrandamiento del casquete de gas y sumentando la eficiencia total del desplazamiento.

Indice de productividad: Es una medida de la capacidad productiva de los pozos.

Presión de fondo estática: Es el valor que se obtiene para un tiempo de cierre suficientemente grande. Este tiempo es del orden de 24 horas para yacimientos de alta per meabilidad y aumenta a medida que el valor de este parámetro disminuye. El calificativo "estática" no es propiamente -aplicable, porque al estar produciendo otros pozos en el yacimiento tiende e bajar la presión en el pozo que permanece cerrado, excepto en el caso de que esté actuando un fuerte empuje hidráulico.

(6)

Presión de fondo fluyendo: Es la presión en el fondo del pozo cuando esté produciendo.

#### CAPITULO I

#### FUNDAMENTO DEL BOMBEO NEUMATICO.

El bombeo neumático es un medio de levantamiento de fluídos que requiere el uso de gas a presiones relativamente altas (250 lb/pg<sup>2</sup> mínimo) para elevar desde el fondo del pozo hasta la superficie el volumen de aceite aportado por la form<u>a</u> ción productora. Esto se lleva a cabo por uno de los dos mát<u>o</u> dos aiguientes:

#### 1.- BOMBEO NEUMATICO CONTINUO.

Este método consiste en inyectar un cierto volumen contínuo de gas a alta presión al espacio anular entre la tub<u>e</u> ría de producción y la tubería de revestimiento hasta el punto óptimo de inyección para llevar a la superficie el fluido que está apartando la formación. Para realizar esto se usa una válvula que permite el punto de inyección más profundo de - anuerdo a la presión disponible del gas de inyección, junto con una válvula reguladora en la superficie. Este método se usa en pozos con alto índice de productividad y alta presión de fondo fluyendo.

(8)

En pozos de este tipo de producción de fluídos pu<u>e</u> de estar dentro de un rango de 200 a 20 000 bl/día a través de tuberías de producción comunes. Si se explota por el espacio enular es posible obtener aún más de 80 000 bl/día.

#### 2.- BOMBEO NEUMATICO INTERMITENTE.

Consiste en producir periódicamente determinado volumen de aceite impulsado por el gas a alta presión. Este se invecto en la superficie al espacio anular entre las tube-rías de producción y la de revestimiento por medio de un regulador, interruptor o por la combinación de ambca; este gas --pasa posteriormente del espacio anular a la tubería de producción, a través de una válvulo insertada en ésta, cuando la -----válvula abre, el fluído proveniente de la formación que se ha acumulado dentro de la tubería de producción, es expulsado al exterior en forma de un tapón o bache de aceite a causa de la energía del gas. Sin embargo debido al fenómeno de resbala-miento del líquido, que ocurre dentro de la tubería de produc ción sólo una parte del volumen de aceite inicial 8**e** recupe ra en la superficie mientras que el resto del aceite cae **al** fondo del pozo integrándose al siguiente bache. Después de que la válvula cierra, transcurre un período de inactividad apa rente en el cual la formación productora continua aportando -fluído al pozo hasta formar un determinado volumen de aceite

(9)

con lo que se inicia otro ciclo.

#### COMPOPTAMIENTO DE FLUJO.

La capacidad de la formación para aportar fluídoa al pozo es llamada comportamiento de flujo. Una gráfica típ<u>i</u> ca de las curvas de comportamiento de flujo para un yacimiento dado se muestra en la figura 1.

La curva de comportamiento de un pozo varia con el tiempo en función de la producción acumulada y del mecaniamo de empuje. En la figura 2 se muestra el comportamiento de indice de productividad en función de dichos parámetros.

El índice de productividad se define como el co- ciente de q/ $\Delta$ P y se expresa en bl/día/lb/pa<sup>2</sup>, donde  $\Delta$ P=Pus-Puf.

En un yacimiento con empuje de agua el índice de productividad puede tomarse como una constante para cualquier gasto y se representa por la siguiente ecuación:

(1.1)

10 )



FIGURA I. GRAFICA TIPICA DE LAS CURVAS DE COMPORTAMIENTO DEL FLUJO PARA UN YACIMIENTO.

(11)



PRODUCCION ACUMULADA (bi/dia).

(12)

donde

BOPD = bla/día @ st BWPD = blw/día @ st P<sub>WB</sub> = Presión de fondo estática, lb/pg<sup>2</sup>. Fwf = presión de fondo fluyendo, lb/pg<sup>2</sup>.

El indice de productividad puede estimarse de información del yacimiento.

$$J = h \left( \frac{K_{D}}{B_{D}\mu_{0}} + \frac{K_{W}}{B_{W}\mu_{W}} \right)$$
 (1.2)

donde

h = Espesor neto de las capas productoras, pies.

K = Permeabilidad, darcies.

M = Viscosidad, centipoise.

8 = Factor de volumen, Pie<sup>3</sup>/Pie<sup>3</sup>.

Los subíndices expresan aceite (o) y agua (w).

Con la correlación de Vogel <sup>(1)</sup> el índice de productividad se puede calcular satisfactoriamente. Las consid<u>e</u> raciones generales del método son:

> s) El medio poroso es uniforme y con una satura-ción de agua constante en todos los puntos.

b) Los efectos de gravedad se desprecian.

(13)

- c) La compresibilidad de la roca y del agua son constantes.
- d) Yacimiento con empuje de gas disuelto.
- e) La presión de fondo fluyendo debe ser menor a la presión de burbujeo.
- f) Que el yacimiento es circular.
- g) La composición es constante para el aceite y el gas.

(1.3)

Ecuaciones Generales para el cálculo de la Presión de la colu<u>m</u> na de Gas.

Ecuaciones empíricas (11):

1.- 
$$P_2 = P_1 \left( 1 + \frac{D^{1.5}}{100} \right)$$

donde:

P<sub>1</sub> y P<sub>2</sub> en 15/pg<sup>2</sup>.

D en milea de pies.

2.-  $AP = P_2 - P_1 = 0.25 \left(\frac{P_1}{100} + \frac{D}{100}\right)$  (1.4)

donde:

 $P_1 y P_2 en 1b/pg^2$ .

D en pies

3.-

McCoy y Podio <sup>(7)</sup>, proponen otra ecuación para calcular la presión de la columna de gas:

(14)

$$P_{gc} = \frac{0.018 (P_c) (S_g) (L)}{ZT}$$
(1.5)

donde:

 $P_{oc} = Presión de la columna de gas, (lb/pg<sup>2</sup>).$ 

P<sub>C</sub> = Presión en la tubería de revestimiento, (lb/pg<sup>2</sup>) abs.

 $S_n = Densidad relativa del gas (aire = 1)$ 

z = Factor de compresibilidad.

L = Longitud de la columna de gas, (pies).

T = Temperatura promedio del gas, (°R).

4.- Otra ecuación para calcular la presión de la columna de gas es la siguiente:

 $\frac{(0.01877 (sg) (D))}{ZT}$ P2 = P1 e (1.6)

donde:

5.-

P2 = Presión de la columna de gas, (lb/pg<sup>2</sup>).
P1 = Presión de invección en la superficie, (lb/pg<sup>2</sup>).
Sg = Densidad relativa del gas (aire=1).
D = Longitud de la columna de gas, (pies).
Z = Factor de compresibilidad.
T = Temperatura promedio, (°R).

También se puede calcular el peso de la columna de gas en base a gráficas como se muestra en las figuras 3a y 3b.

(15)



Figura 3a.

(16)



Figura 3b.

(17)

#### FLUJO MULTIFASICO VERTICAL EN LA T.P. (4)

La importancia de la evaluación de las caídas de presión en la tubería vertical, se debe a que la mayor pro-porción de la presión dispanible para llevar del yacimiento hasta los separadores se consume en dicha tubería.

Dada la magnitud de las pérdidas de presión en las tuberías de producción se hace indispensable su evalua-ción, a fin de optimizar el sistema de producción de los pozos.

La determinación de las distribuciones de presión en las tuberías de producción permite realizar lo siguiente:

- a) Diseñar las tuberías de producción y líneas de descarga.
- b) Obtener el punto óptimo de inyección de gas en el bombeo neumático.
- c) Proyectar aparejos de producción artificiales (neumático, mecánico y eléctrico).
- d) Obtener la presión de fondo fluyendo sin necesidad de intervenciones en el pozo.

Las diversas correlaciones existentes para el -cálculo de distribución de presión con flujo multifásico, pu<u>e</u>

( 18 )

den clasificarse en tres tipos:

No se considera resbalamiento entre las fases.
 Dentro de este tipo están incluídos los métodos de Poettmann Carpenter, Fancher - Brown, y Baxendell - Thomas.

2.- Se toma en cuenta el resbalamiento entre las fases. No se distinguen diferentes patrónes de flujo. El método de Hagerdon - Brown cae dentro de este tipo de correlación.

3.- Se considera resbalamiento entre las fases. La densidad de la mezcla se determina mediante el colgamiento. El factor de fricción se correlaciona con las propiedades del fl<u>u</u> ido en la fase contínua. Se distinguen diferentes patrones de flujo. Las principales correlaciones que caen dentro de esta clasificación son: Duns - Ros, Orkiezewski, Aziz, Beggs, Brills, Chierici, Gould - Tek, etc.

Para calcular las caídas de presión en las tube-rías se selecciona el método que permita reproducir, con ma-yor aproximación los valores de presión medidos en el campo, mediante pruebas de producción.

( 19 )

FLUJO MULTIFASICO VERTICAL EN EL ESPACIO ANULAR.

Los métodos mencionados pueden aplicarse al fl<u>u</u> jo multifásico por el espacio anular. Para esto basta sustituir el diámetro hidráulico (d<sub>h</sub>), que se define como el área transversal de tubería abierta al flujo dividida por el perímetro mojado, y considerar el área anular (A<sub>p</sub>) en l<u>u</u> gar del área de la tubería:

Le releción es:

$$A_{p} = \frac{\eta(dei^{2}-dte^{2})}{4}$$
(1.8)

Para un conducto anular:

$$d_{h} = \frac{4\pi}{4} \frac{(dci^{2}-dte^{2})}{(dci + dte)} = dci-dte$$
(1.9)

Para flujo por el espacio anular se ha consider<u>a</u> do que el concepto de diámetro hidráulico es válido cuendo el diámetro exterior de la tubería de producción entre el diámetro interior de la tubería de revestimiento es menor de

(20)

punto tres (dte/dci<0.3). Sin embargo para espacios anulares pequeños la sustitución (dte/dci) es completamente sati<u>s</u> factoria.

El concepto anterior fue utilizado por Cornish quien además obtuvo resultados satisfactorios, en el cálculo de caídas de presión al aplicar el método de Poettmann-Baxe<u>n</u> dell, usendo como rugosidad absoluta el término:

$$e^{i=e_{ci}} \left( \frac{dci}{dci+dte} \right) + e_{te} \left( \frac{dte}{dci+dte} \right)$$
 (1.18)

Las ecuaciones (1.9) y (1.10) se utilizan para calcular el número de Reynolds y la rugosidad relativa, y los valores obtenidos permiten determinar el factor de fricción mediante el diagrama de Moody.

$$NR_{\rm E} = \frac{V \times dh}{A!} \times C \tag{1.11}$$

$$er = \underbrace{e'}_{dh}$$
(1.12)

Otra forma de calcular las caídes de presión por fricción es por medio de la ecuación de Colebrook y White --para flujo turbulento (N<sub>ite</sub> > 3100).

(21)

$$f = (-2 \log \left(\frac{e'}{3.715 d} + \frac{2.514}{\sqrt{f} N_{Re}}\right)$$
 (1.13)

Para flujo laminar (N<sub>Re</sub> < 2360)

$$f = \frac{64}{N_{Re}}$$
(1.14)

Para flujo crítico (2300 < N<sub>Re</sub> < 3100)

$$-0.3192$$
  
f = 0.5675 N<sub>Re</sub> (1.15)

CORRELACION DE CORNISH (5)

Pocos autores han considerado el cálculo de pérd<u>i</u> das de presión en flujo multifásico a través de espacio anu--ler y los que lo han hecho han utilizado gastos bajos.

Cornish desarrolló su correlación obteniendo da-tos de diez pozos, derivó su correlación de la ecuación general de energía y para un gasto mayor de 5000 bl/día, con diámetros grandes de la tubería de producción, la de revestimie<u>n</u> to o en el espacio anular.

Las consideraciones para esta correlación son las

(22)

siguientes:

1.- El perfil de presión se evalua usando datos de un análisia PVT.

2.- El factor de fricción se obtiene con el di<u>a</u> grama de Moody o con la ecuación de Colebrook.

3.- No se considera el resbalamiento entre las fases.

Cornish, considera la rugosidad como el factor más importante para el cálculo de las caídas de presión en el espacio anular.

Las conclusiones que obtuvo son las siguientes:

1.- La exactitud en la predicción de caídas de presión en los pozos depende de la confisbilidad de los da-tos PVT.

2.- Las teorías sofisticadas y técnicas de cálcu
 lo que comprenden todos los regimenes de flujo pueden resultar

(23)

menos exactas que un método bien definido para condiciones de flujo específicas.

3.- La pérdida de presión por fricción en el pozo
 es la más importante y se compara con pérdida de presión cau
 sada por la columna hidrostática del fluído.

CONSIDERACIONES GENERALES PARA FLUJO EN EL ESPACIO ANULAR.

Las siguientes consideraciones fueron dadas por -Faustinelli pars flujo en el espacio anular:

1.- La tubería de producción probablemente está descansando en las paredes de la tubería de revestimiento.

2.- Para espacios anulares pequeños el valor abeg luto de la rugosidad pasa a ser importante cuando el factor de fricción es celculado con el diagrama de Moody.

3.- El diámetro hidráulico no tiene significado absoluto porque para un diámetro hidráulico dado, una infini dad de pares de diámetros internos y externos y de áreas -

(24)

transversales en el espacio anular pueden ser determinados. -Con el objeto de definir el tamaño exacto de un espacio anular, es necesario conocer los dos diámetros (interno y exter no), o bien el áres transversal con su perimetro mojado. --Este par de valores no pueden ser reemplazados por ninguna rezón con el diámetro hidráulico.

4.- Fauatinelli cree que si el diagrama del factor de fricción de Moody pudiera hacerse usando el par de datos discutidos en el punto 3, se obtendría una muy buena correlación de la distribución de presión utilizando el método de -Hagerdon y Brown.

5.- Analizando las curvas de distribución de pre-sión en flujo por el espacio anular obtenidas por una compa--Mía petrolera y comparándolas con las de flujo por la tubería de producción se obtuvo la siguiente ecuación:

$$P_{eB} = P_{tp} + \frac{100 \ lb/pg^2}{2500 \ pies} \times D$$
 (1.16)

donde

 $P_{ee}$  = presión del fluído en el especio anular, lb/pg<sup>2</sup>.  $P_{tp}$  = presión en la tubería de producción, lb/pg<sup>2</sup>.

(25)

D = Profundidad, pies.

Por ejemplo un gasto de 1000 a 3000 bl/día para un área de 7.031 pg<sup>2</sup> (equivalente a una T.P. de 2.992 pg) y una RGL de 1000 (pies<sup>3</sup>/bl) y para una relación doi/dte no m<u>a</u> yor de 0.60. Si la relación de diámetros es mayor o si el pozo está produciendo un gasto muy alto, la presión calculada en el espacio anular con la ecuación 1.16 será menor que el valor medido.

#### CAPITULO II

#### BOMBED NEUMATICO EN DOS ETAPAS

La figura 4 muestra claramente el principio del método de bombeo neumático continuo en dos etapas. El fluído de formación -líquido y gas- es levantado por inyección de -bombeo neumático, a través de la tubería de producción uno, hasta cierta altura donde la presión es un poco más alta que la presión en la superficie.

A este nivel, hay una ventana que comunica la tubería de producción uno con la tubería de revestimiento en el espacio anular. El gas libre os producido a baja presión hacia arriba y el líquido fluye hacia abajo dentro de la tub<u>e</u> ría de revestimiento en el espacio anular. El líquido, libre de gas, tiene un alto gradiente de presión y crea una presión de fondo fluyendo dos ( $P_{wf2}$ ) mayor que la presión de fondo -fluyendo uno ( $P_{wf1}$ ). Con esta presión de fondo fluyendo dos, el líquido puede producirse hasta la superficie a través de -la tubería de producción dos.

Una terminación de pozo teórica, con una instalación de bombeo neumático en dos etapas y con sus curvas de

(27)





(28)

gradiente de presión se muestra en la figura 5.

Una gráfica del diseño del bombeo neumático en dos etapas se muestra en la figura 6. Se puede observar que la profundidad de la ventana es de 2600 pies, que se puede calcular con los datos actuales del yacimiento, figura 6a. -La ventana quedaría muy alta para los datos futuros del yac<u>i</u> miento si durante la vida del pozo la presión estática y el indice de productividad disminuyen.

En la figura 66 se muestra otro diseño para d<u>a</u> tos futuros del yacimiento donde la ventana se propone a 3200 pieo. En la figura 6c se presentan las curvas de distribu-ción de presión calculadas usendo los datos actuales del yacimiento para la ventana propuesta a 3200 pies y no a 2600 pies. La profundidad de esta ventana no está a la profundidad ideal para las condiciones actuales por lo que se obtiene una pérdida en la producción. Si la variación de la presión de fondo estática e índice de productividad durante la vida del pozo es pequeña, la pérdida de producción tembién será pequeña, y el pozo será capaz de producir por un largo período de tiempo.

En casos donde la ventana es colocada más abajo

(29)



Presión del gas de inyección.

FIGURA 5. TERMINAGION TEORICA DEL BOMBEO NEUMATICO EN DOS ETAPAS CON LAS CURVAS DE GRADIENTE DE PRESION.

(30)

**n**γ







FIGURA 6a. Diseño idadi pora datos actuales del yacimiento. La ventana (o) aparece a 2600 pies. La linsa punteada es la misma que la de la 6c.

FIGURA 65. Diseño ideal para los datos futuros Pwa o J. Lo vontana sa encuentra a a 3200 pies.

FIGURA 6c.

Curvas de distribución de presión inicialas si la ventana esto o 3200 del vacimiento. Menor plas en vez de 2600 plas. Como se puede ver el nivel del fiuido (\$) en el aspacio anular esta abajo de la ventana, superior.

#### DISEÑO GRAFICO DEL BOMBEO FIGURA 6. NEUMATICO EN DOS ETAPAS PARA LOS DATOS DADOS DEL POZO-

(31)

que en el diseño ideal para datos iniciales de un yacimiento, los fluídos salen a través de la ventana a altas presiones pero decrecen rápidamente en el espacio anular, debido a su mayor área de la sección transversal. La tubería de revestimiento arriba de la ventana, por su gran área de sección tran<u>s</u> versal y su posición vertical, trabaja como un excelente sep<u>a</u> rador gas-líquido.

La figura 7 compara las instalaciones de bombeo neumático estándor y de dos etapas para diferentes datos del yacimiento y características del pozo. En esta figura se puede observar gráficamente que la presión de fondo fluyendo para el procedimiento de dos etapas es menor que la presión de fondo fluyendo para el diseño estándar, lo que representa una mayor caída de presión y por tanto un mayor gasto de producción.

#### ESTIMACION DE LA PRODUCCION DE ACEITE POR MEDIO DE ECUACIONES EMPIRICAS.

Analizando las curvas de gradiente de presión a una profundidad de 10000 pies, Faustinelli encontró un gradie<u>n</u> te mínimo de presión que es alcanzado con una relación gas-ace<u>i</u> te de aproximadamente 1000 (pie<sup>3</sup>/bl). Todas las ecuaciones d<u>e</u> rivadas en esta sección son para una RGL de 1000 (pie<sup>3</sup>/bl).

( 32 )


FIGURA 7. Comparación de las curvas de distribución de presión entre las instalaciones de bambeo neumático en dos etapas y estándar para diferentes características del yacimiento y del pozo.

(33)

La presión dinámica dentro del equipo de terminación puede ser expresada como función de:

P=f(Pth, gasto, profundided, diámetro de T.P.) (2.1)

Ahora, si la presión se calcula a la profundidad de la formación, esta presión será equivalente a la presión de fondo fluyendo del yacimiento porque ambas presiones deben ser idénticas, por tanto

$$P=P_{\rm uff} \tag{2.2}$$

El índice de productividad puede ser tomado como constante para un vacimiento con empuje de ague y con una R r<u>e</u> lativamente baja. El índice de productividad puede expresarse:

 $P_{\omega}r = P_{\omega \sigma} - \frac{q_{\sigma}}{1}$ 

(2.4)

(2.3)

La ecuación 2.1 fue derivada empiricamente y com-

(34)

binada con la 2.4, el gasto se expresa como función de

 $q_0 = f(P_{th}, profundidad, P_{wB}, J, diámetro de T.P.)$  (2.5) CALCULO DEL GASTO CON TERMINACION DE BOMBEO NEUMATICO ESTANDAR.

Para un tamaño de tuberia de producción las curvas de gradiente de presión son grficadas para diferentes gastos con una relación gas-sceite de 1000 (pie<sup>3</sup>/bl). Todas estas curvas fueron divididas a una profundidad de 5000 pies y fueron aproximadas y reemplazadas por dos líneas rectas. La máxima diferen-cia que se notó fue de 20 lb/pg<sup>2</sup> entre las curvas y las líneas rectas que van desde la superficie hasta los 5000 pies. A los -10000 pies, una diferencia de 100 lb/pg<sup>2</sup> se observa.

Los grupos de líneas rectas de o a 5000 pies y de 5000 s 10000 pies fueron analizadas separadamente. La pendiente de estas líneas fue graficada contra el gasto. Otra línea recta es obtenida y su ecuación determinará la pendiente de las líneas rectas originales como una función del gasto de aceite. La presión de fondo fluyendo puede ser determinada como

Pendiente = 
$$M = \frac{Q_0 + C_1}{C_2}$$
 (2.6)

(35)

$$P_{wf} = P_{th} + \frac{Q_0 + C_1}{C_2} \times D$$
 (2.7)

y combinando la ecuación (2.7) con la (2.4)

$$P_{WB} = \frac{Q_0}{3} = P_{th} + \frac{Q_0 + C_1}{C_2} \times 0$$
 (2.8)

La producción de aceite es como aigue

$$Q_{a} = \frac{J \times [C_{2} (P_{MB} - P_{th}) - D \times C_{1})]}{J \times D + C_{2}}$$
(2.9)

$$Q_{0} = \frac{J \times (C_{2} \times P_{wB} - D' \times C_{1})}{J \times D' + C_{2}}$$
(2.10)

Para  $5 \leq 0 \leq 10$ , donde D = Profundidad, miles de pies  $D' = D+P_{th} \times 0.00475 - 0.95$  (2.11)

donde D' es una corrección a las líneas rectas, ya que a pa<u>r</u> tir de los 5000 pies la presión es diferente a las curvas de

(36)

## TABLA I

VALORES DE CONSTANTES QUE SE USAN EN ECUACIONES EMPIRICAS PARA ESTIMAR LA PRODUCCION DE ACEITE EN EL BOMBEO NEUMATICO ESTANDAR

		<u>RA</u>	NGO DE PROF	UNDIDAD	
		0' a	500'	500'	a 1000'
Diametro T.P.		Ec. (2.9)		Ec. (2.10)	
Nominal	D.I.	C <sub>1</sub>	С <sub>2</sub>	с <sub>1</sub>	С <sub>2</sub>
2 2 1/2 3 1/2 4	1.995 2.441 2.995 3.428	620 970 1650 2900	9.23 16.35 28.83 59.11	810 1250 2050 4000	8.13 14.38 25.43 55.50

Ejemplo 1: Si el gas es inyectado en el fondo de la T.P. cual sería el gasto de aceite con los siguientes dàtos:

> RGL = 1000 P<sub>th</sub> = 100 lb/pg<sup>2</sup> Profundidad = 7218 pies T.P. = 3 1/2 pg. P<sub>wB</sub> = 1200 lb/pg<sup>2</sup> J = 4 bl/dis/lb/pg<sup>2</sup>

> > ( 37 )

Usando las ecuaciones ( 2.11) y ( 2.10)

$$Q_0 = \frac{4(25.43 \times 1200 - 6.743 \times 2050)}{4 \times 6.743 + 25.43} = \frac{66771.4}{52.402}$$

 $Q_{\rm m} = 1274 \ {\rm bl/dis}$ .

 $P_{wf} = 1200 - \frac{1274}{4} = 882 \ 1b/pg^2 \ para \ 1274 \ b1/dia$ 

CALCULO DEL GASTO CON TERMINACION DE BOMBEO NEUMATICO EN DOS -Etapas.

Las mismas aproximaciones que se hacen en las instalaciones estándar se hacen en las instalaciones de bombeo neumático en dos etapas. La única diferencia es que dos pre-siones de fondo fluyendo son calculadas a un gasto dado pars una profundidad diferente. Faustinelli hizo gráficas de pre-sión de fondo fluyendo uno para diferentes gastos de aceite, estas líneas están divididas a los 5000 pies en dos grupos.Sus pendientes fueron graficadas contra el gasto de aceite y se ob servó que éstas se desvian a un gasto de 1800 bl/día, implican do ésto diferentes ecuaciones de las rectas si el gasto es mayor o menor de 1800 bl/día. La ecuación (2.9) es aplicada a -

( 38 )

una profundidad de 5000 pies y la ecuación (2.10) es aplicada para una profundidad de 50000 a 10000 pies.

Para T.R. de 9 5/8":

A) Profundidad de 5000 pies o menor.

$$Q_{0} = \underbrace{J [35.94 (P_{ws} - P_{th}) - D \times 500]}_{J \times D + 35.94}$$
(2.12)

Para  $u_0 \leq 1800$ 

$$Q_{0} = \frac{J \left[ 19.06 \left( P_{WB} - P_{th} \right) + D \times 580 \right]}{J \times D + 19.06}$$
(2.13)

Para 1800  $\leq$  Q<sub>0</sub>  $\leq$  3000

8) Profundidad entre 5000 y 10000 pies.

$$Q_{\rm D} = J \left[ 234.5(P_{\rm WB} - P_{\rm th}) - 19859 - 4180 \times D' \right]$$
(2.14)  
234.5 + J(28.1 + 8.36 × D')

Para  $Q_0 \leq 1800$ 

$$Q_{u} = \frac{J \left[ 40.2(P_{ws} - P_{th}) + 8750 + 2887 \times D' \right]}{40.2 + J (11.6 + 3.48 \times D')}$$
(2.15)

( 39 )

Para 1800  $\leq$  Q<sub>0</sub>  $\leq$  3000, donde

D = Profundidad, miles de pies D'=D-5.0

Ejemplo 2: suponiendo que tiene los mismos datos que el ejemplo uno y que el pozo tiene una T.R. de 9 5/6", cuál sería el gasto de aceite?

La ecuación (2.14) debe ser utilizada porque la profundidad es mayor de 5000 pies y el gasto estimado por el bo<u>m</u> beo neumático estándar es menor de 1800 bl/día.

D' = 7.218 - 5.0 = 2.218

 $Q_{D} = \frac{4}{234.5} (1200 - 100) - 19859 - 4180 \times 2.218} = \frac{915279}{421}$ 

 $Q_{n} = 2174 \text{ bl/dis.}$ 

Nótese que para el mismo pozo y con la misma información original, se obtiene un gasto adicional de 900 bl/día con la instalación de bombeo neumático en dos etapas.

(40)

TERMINACION PROPUESTA PARA UN POZO CON UNA INSTALACION DE 80M-8ED NEUMATICO EN DOS ETAPAS.

El bombeo neumático en dos etapas puede ser dividido en dos clases de terminación.

1).- Instalación de bombeo neumático en dos etapas paralelo, donde las tuberías de producción aparecen como las de un pozo con terminación doble. Figura 8.

2).- Instalación de bombeo neumático en dos etapas mu<u>l</u> ti-concéntrico. Figura 9.

En la figura 9 se puede observar que el fluído de la formación pasa a través del liner a la profundidad del empacador y después el fuído pasa al espacio anular del liner y la tubería de revestimiento para que el fluído llegue después a la tubería de producción y sea desplazado por el gas inyectado a la superficie. En este tipo de terminación también se puede instalar un mandril especial para el bombeo neumático con una válvula de bombeo neumático recuperable. Esta válvula será im portante cuando los datos del yacimiento cambien ya que esta válvula controlará la inyección del gas y la presión de fondo

(41)



FIGURA 8. INSTALACION DE BOMBEO NEUMATICO EN DOS

ETAPAS PARALELO.

(42)



FIGURA 9. ESQUEMA DE LA INSTALACION DE BOMBEO NEUMATICO EN DOS ETAPAS MULTI-CONCENTRICO.

(43)

fluyendo del yacimiento.

La figura 10 es una vista transversal y longitudinal para tuberías de revestimiento de 9 5/8" y 7". Las líneas AA' y 88' de la figura 9 también están indicadas en la figura 10. Las figuras 11 y 12 muestran las vistas transversales excéntr<u>i</u> cas referidas a la figura 10. Si se nota que todas las tube-rías están contra las paredes del siguiente tubo más grande en tamaño y en el mismo lado, esto a pesar del hecho de que los pozos de aceite no son perfectamente verticales y no se usan centradores porque esta excentricidad dá un ventajoso canal de flujo. De esta forma, el perímetro mojado y el factor de fri<u>c</u> ción se reducen.









(45)



Figura 11b, Parte interior.

FIGURA II. VISTAS DE LA SECCION TRANSVERSAL EXCENTRICA EN UNA

T.R. 9.%

(46)



Figura 12a. Parto superior.



Figuro 12b. Parte inferior.

FIGURA 12. VISTAS DE LA SECCION TRANSVERSAL EXCENTRICA EN UNA T.R. 7".

(47)

## CAPITULO III

Programa de cómputo para realizar el diseño de bombeo neumático en dos etapas para el pozo Cárdenas 121 del campo -Cárdenas localizado en la zona sureste de Petróleos Mexicanos.

En el cálculo de los gradientes de presión en tuberías verticales se utilizó la correlación de Orkiszewski, debido a que ésta dió la mejor aproximación a la información medida del pozo.

Con relación a la figura 13, el diseño se realiza a par tir de una presión fija en la cabeza del pozo y con la relación gas-líquido resultante de la cantidad de gas inyectado más la cantidad de gas disuelto en el aceite, hasta la profundidad del empacador, desde donde se calcula el gradiente de líquido existente en el espacio anular hasta intersectar la línea del gra-diente del gas, punto que corresponde a la profundidad de colocación de la ventana. A partir de esta profundidad se calcula el perfil de presión descendente hasta la profundidad media del

(48)

intervelo disparado, con la relación gas líquido natural que produce la formación.





FIGURA 13. INSTALACION DE BOMBEO NEUMATICO EN DOS ETAPAS PROPUESTA PARA EL POZO CARDENAS 121.

(50)



( 51 )



(52)



(53)



(54)

## - SUBRUTINA DE PROFIEDADES DE LOS FLUIDOS -



- SUBRUTINA DEL FACTOR DE FRICCION -



(55)

(56) 40 KFM ## \* \* FACULIAD DE LOGENIERIA 50 REN ## 50 KEN TT - - - -70 REM 44 PROGRAMA DE FLUGD MULTIFASICO EN . . BU REA ## TUBERIAS VERTICALES POR MEDIO DE LA 4 4 90 REN \*\* CURRELACION DE URNISAGNONI PARA EL VEDENV ++ 92 REM \*\* DE BUABLO NEUMATICO EN DUS ETAPAS. \*\* 43 LFM ++ \* \* 44 REN ++ CID VAZQUEZ ADULFU LULG \* \* 100 PR1aT 110 PRINT "\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\* DA165 DE 605 FEUIDOS I INSERIAS \*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\* 125 Palat 130 INPUT "PRESION EN LA CABEZA DEL PUZO (LEZPG"2)":PE 170 FRINT "PRESIOJ EN LA CABEZA DEL PUZO (LEZPG"2)=";PF 170 PRINT TERBOIDS EN LA CAREA UND FORM (DECEMPT) - FRESHONDA EN LA CAREA UND FORM (DECEMPT) - LENERAURA AEDIA (GRAD, E.J=";11 190 PRINT TERPERATURA AEDIA (GRAD, E.J=";11 192 INPUT "INDICE DE FRODUCTIVIDAD (DECEMPT)" (DECEMPT) 194 PRINT "INDICE DE PRODUCTIVIDAD (DECEMPT)" (DECEMPT) 194 PRINT "INDICE DE PRODUCTIVIDAD (PL/D)A/DA/DA/CO^2/2";IPP 200 DRPUT "DEDSIDAD RELATIVA DEL GAS PRODUCIOU (AIRGET)E";DAG 205 PRINT "DEDSIDAD RELATIVA DEL GAS PRODUCIOU (AIRGET)E";DAG 210 DRPUT "DEDSIDAD RELATIVA DEL ACSITE (PP)E";DA 210 DRPUT "DEDSIDAD RELATIVA DEL ACCITE (PP)E";DA 220 DRPUT "DEDSIDAD RELATIVA DEL ACCITE (PP)E";DA 220 DRPUT "RELACION GAS-ACLIE (PIE'3/DALD)E";D 221 DRPUT "RELACION GAS-ACLIE (PIE'3/DALD)E";D 225 DRPUT "DIAMETRO DATLAFING DE DA LAC, (PG)E";DITK 226 DRUT "DIAMETRO DATLAFING DE DA LAC, (PG)E";DITK 227 DRPUT "DIAMETRO DATLERING DE DA LAC, (PG)E";DITK 230 DRPUT "DIAMETRO EXTERIOR DE DA LAC, (PG)E";DITK 230 DRPUT "DIAMETRO EXTERIOR DE DA LAC, (PG)E";DITK 229 PRIAT "DIAMETRO EXTERIOR DE LA LEE, UPOJETPDIAT 230 INPUT "DIAMETRO EXTERIOR DE LA LEGUDATI, (TOJET)DIAT 235 PRIAT "DIAMETRO INTERIOR DE LA SEQUEDATI, (TOJET)DIAT 236 INPUT "DIAMETRO EXTERIOR DE LA SEQUEDATI, (TOJET)DIAT 237 PRIAT "DIAMETRO EXTERIOR DE LA SEQUEDATI, (TOJET)DIAT 238 INPUT "PRESION DE OPERATION DEL GAS DE INTERCION (LOZEUTZ)ETPUT 239 PRIAT "PRESION DE OPERATION DEL GAS DE INTERCION (LOZEUTZ)ETPUT 244 INPUT "GASTO DE ACELIE (BLZDIA)ETTO: 245 PRIAT "GASTO DE ACELIE (BLZDIA)ETTO: 245 PRIAT "GASTO DE ACELIE (BLZDIA)ETTO: 245 FRINT "GASTO DE ACELTE (BLZDIA)=;00 250 INPUT "LOGGITUD DE LA SEGUNDA T.P. (PIEG)=";11 255 FRINT "LOGGITUD DE LA SEGUNDA T.P. (PIEG)=";11 260 INPUT "KELACION AGUA-ACELTE (y)=";00R 265 FRINT "KELACION AGUA-ACELTE (y)=";00R 266 INPUT "KELACION AGUA-ACELTE (y)=";00P 267 FRINT "RELACION GAS-ACELTE SEPARADU EN LA VERTANA (y)=";NOP 267 FRINT "RELACION GAS-ACELTE SEPARADU EN LA VERTANA (y)=";NOP 267 FRINT "RELACION GAS-ACELTE SEPARADU EN LA VERTANA (y)=";NOP 270 INPUT "INCREMENTO DE PRESION (LA/PG^2)=";DEP 275 INPUT "INCREMENTO DE PRESION (LA/PG^2)=";DEP 276 INPUT "RELACION GAS-ACEITE DE LA/PCCION (DIL^3/3LQ)=";RIMT 277 PRINT "RELACION GAS-ACEITE DE LA/PCCION (DIL^3/3LQ)=";RIMT 276 INPUT "DIAMETRO INTERIUK DE LA PRIMERA T.P. (PG)=";DIFIP 279 PRINT "DIAMETRO INTERIUK DE LA PRIMERA T.P. (PG)=";DIFIP 260 INPUT "DIAMETRO ENTERIUK DE LA PRIMERA T.P. (PG)=";DIFI 281 PRINT "DIAMETRO ENTERIUK DE LA PRIMERA T.P. (PG)=";DFPT 294 INPUT "LONGITUD DE LA OLTINA T.R. HANTA EL INTERVALO PRODUCION (PIRAT="; ULA

12345678001234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890

2	295 PHINT "DIMETIONE IN ULTIMA T.K. MASSALLE IN 296 IMPUT "DIAMETRO INTERNO DE LA ULTIMA T.K. (PU 297 PRINT "DIAMETRO INTERNO DE LA ULTIMA I.E. (PU	#ΤΕΚΥΛΙΩ ΤΥΚΟΡΟΖΙΝΕ [ΤΙΕΟΓΞ"]ΕΟΛ 6]=":PCA 6]=":DCA
4	298 INPUT "DIAMETRO EXTERNO DE LA OLTIMA L.R. (PO 299 PRINT "DIAMETRO EXTERNO DE LA OLTIMA T.K. (P	G)="}DECA (57) GJ="}DECA
₩-	301 INPUT "LONGITUD DE LA PRIMERA I.F. (PIES)="1	DIX
0	303 IMPOT "ES DA ACEITE VOLATIG LGI (1 40)";AS 304 FRIMT	
10	305 PRINT "+\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ 306 PHINT	* * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
12	307 INPUT "CORRELACION FARE DA FROP, OL DUS FIDIA 315 PRIMT	bus STADDING(I), UISIELO(2)";A
14	318 S=3 320 D1-0F	
16		
17	327 DI=DISTP=DETIN 330 PHINT	
19	335 PRINT,"HORGITUD (PIES)","PRESION (HJ/PG*2)" 337 PRINT	
21	340 18 S=4 THEN DEP=+DEP 350 P2=P1+DEP	
23	355 PA=P1+(DEP/2) 357 IF HS="51" THCH 360	
25	358 $R'I = RS + RINI + (R - (R + (RoP/100)))$ 360 $ROS = 1000$	
26	370 +U=1	
28 29	330 AT=AD+LO+AM+4,W 380 AM=0	
30	400_06≠0014€0+0×€6₩ 405_VS6=(0.01191€(00±00))/01*2	
32	410_V3G=(0,002122*00*(RT~KS)*8G)/D)*2 415_NGV=1.938*VSG*(DE/TS0)*0.25	
34	420 NLV≠1.93H4VSL4(DL/TSO)^0.25 425 VM=VSL4VSC	
36	427 GRADERN=ONGRADERE=UNGRADERN=ONGRADERT=U	
32	420 GRADELALO VGRADELEO VGRADELEO VGRADELEO	
39 40	$430 \ Lb=1.071^{-1}((2.0010+VN 2)/01)$ $435 \ LS=50+(36+NLV)$	
41	440 LM=84*(NLV^0./5)+/5 450 LF (VSG/¥d)<60 JHCN 480	
43	400 LF 65>NGV AND 68<(V36/VN) THEN 540 470 LF 6M <xgv 725<="" th="" then=""><th></th></xgv>	
45	4/5 IF GM>NGV AND GS <agv 750<br="" then="">478 REM</agv>	
47	ABO NEM AAAAAAAAAA REGINEN DURBUUD ABB NEM	A ############
49	490 IF LB<0.13 THEN LB=0.13 AGE HEN CRANTENDE DED FLEWALLES	
50	$500 \ C(1=(1+(VA/0.8)))$	
32 53	510 HE=1-((CC1+CC2)/2)	
54	515 GRADEDNECCOLENGJEDGECCENDJEDZE 520 REM GRADENTE POR FRICCION	
56	52% 986546014014097706 52% GUSUB 1772	
58	530 ((ADFRB=((12*ERC*D5*V6*2)/(64.4+D1))/)44 532 EKB=0	
60	535 GUTU 770	
	137 NEM	
U	234347490123456/490123456/890123456/890123456/890123456/890123	1111 1 89012 1 1 1 1 1 2 9 1 2 3 4 3 6 / 6 9 0 1 2 3 4 5 6 / 6 8 0 1 2 3 4 5 6 / 6 8 0

240 KEW \*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\* KEE GENEN CAR CHEFT \*\*\*\*\*\*\* 543 HEY 548 REA CONFICIENTE DA DISTRIBUCIDA DEG ADATIDO 550 IF ENDA,75 AND VECTO EDER 570 (58) 555 IF FA>0.75 AND VM>10 FHEN 575 560 1F +020,25 AND VECTO THEN 580 565 1F FU20,25 AND VECTO THEN 585 570 AA=((0,013+h0G10(VL))/(01/12)^1.380)-(0.661+0.232+h0G10(VA))-0.426+h0G10(01/12) 573 GUTU 590 9 ١a 575 ÅA=((0.045114.00510(Vb))/(01/12)^0.799)-0.709-0.1024.00510(V8)-0.88634.00510(01/12) 'n 578 GUTU 590 12 \$\$0^\_AA=[(0,0127\*Lukt0(Vb+1))/(01/12)^1.415)=0,28440,1674AAK10(VK)+0,1131+Lukt0(P4/12) 13 583 GUTU 590 585 AAAm((0,0274\*L0G10(V6\*1))/(01/12)^1.3/13+0.161+0.5691\*JuG10(01/1/) 14 586 BBB=LOG10(VA)\*((0.01\*LOG1e(V6+1)/(01/12)\*1.571)+0.379+0.6341+BOG10(0(0(/12)) 16 588 AA=AAA-BBD 117 590 REN CALCULU DE LA VELOCIDAD DE LA BURBUUA 595 NHEL=(VH+01+DL)/(0.064E-3+VL) ۱۰ 1.6 600 VBS=(32,174\*(01/12))\*0.5 2u 602 1=0 21 605 NHEB=((VSS\*01\*DL)/(0.004L-3\*Vu)) 22 607 1=1+1 608 IF 1>10 THEN 705 23 24 610 IF NRELS=3000 AND NREBS=3000 THEN 625 615 IF NREB>=8000 THEN 650 620 IF 3000<NREB<8000 1084 675 20 625 VHC=(8,74E=6\*NREL+0,546)\*VHS 630 EF=ABS(VHC=VHS) 27 28 635 IF EF>=0.001 THEN 640 ELSE 645 640 V88=VBC\G010 005 30 645 GOTO 705 131 32 650 VEC=(8.74E=6\*NREL+0.350)\*VHS 655 EF=ABS(VBC=V8S) 33 660 IF EF>=0.001 THEN 665 ELSE 670 34 665 V85=VAC\GUT0 605 35 670 GU10 705 36 675 KV=(13.59#V6)/(06#(01/12)\*0.5) 11/ 660 JJJ=(0.251+0.74L-0+NREL)+V65 685 yBC=((JJJ-2+KV)\*0.5+JJJ)/2 136 39 690 EF=ABS(VHC-VBS) 40 695 IF EF>=0.001 THEN 700 ELSE 705 41 42 700 V3S=VBC\GUTU 605 705 NRE=(124+0L+D1+VH)/VL 43 706 GOSUB 1772 44 45 708 REA GRADIENTE PUR FRICCION 710 GRADFRE=((FRC#VM\*2\*DL))/(772.8\*DL))\*(AA+((VSL+vBC)/(VN+VUC))) 715 J3=DL\*(VSL+VHC)+DG\*VSG 716 FEM GRADIENTE PUR ELEVACION 47 44 1. 720 GRADELE=((J3/(VH+VBC))+DL\*AA)/144 50 721 EKE=0 722 IF LM>NGV AND LS<NGV THEN 772 ELSE 723 51 723 GULU 790 52 53 54 55 55 55 56 50 50 50 50 50 50 50 724 REN 725 REN \*\*\*\*\*\*\*\* R E G I M E N NEE6664\*\*\*\*\*\* 727 REM 724 REM GRADIENTE POR ELEVACION 730 GRADELN=(((DL+VSL)/VA)+((DG+VSG)/VM))/144 731 H0=350,5+DRANAG=0.0764+DEG+KNMH=350.5+DEH+HUR 732 M=MU+MG+MW 733 WH=(00+H)/86400\ATK=(3,1416+01^2)/4 81 734 EKN=(#M#VSG)/(4637\*PM#ATR) 61 123456789012345674901234567890123456789012345678901234567890123456789012346578901234657890123456789012345

- C	735	NREF(124*VSG*D1+DG)/VG	
2	139	60508 1772	
13	131	REM GRADIERIE PUR FRICLIUM Gualoum (Dumantanuc)	(59)
1:	740	$\frac{\partial (ADFNA+AFN(FADA))}{\partial (DA)} = \frac{\partial (FAZA)}{\partial (DA)} = \partial (FAZA$	
10	745	Guth 740	
6	747	BEN	
6	750	REM ######### REGIMEN FRAMSITURIU ###################################	
9	753	REM	
-{14	1 755	A=(04-46V)/(04-66)	
1	1 /50	B=(NGV-LS)/(LX-LS)	
-12	449		
- 13	114	GUIO 725 DEM PONISEDTE DAD DE EXAMINA	
1.	] 113	GRADELT=AAGRADELE+AAGRADELN	
10	777	REN GRADIENTE PUR ENICCIUA	
$ h\rangle$	780	GRADFRT=A * GRADFRE + B * GRADFRN	
- [u	a <u>7</u> 85	EKF=0	
Ľ	786		
2	g <u>187</u>		
12	1 788	REM ZOANSET OANSET LATOROSET ZATOROSET ZATOROSET E	
12	245	GRADEN-GRADENET GRADENET GRADENET GRADENET	
2	197	ENERAL + L K N + L K 1	
2	800	GRP=(GRADEL+GRADFR)/(1+EK)	
ł	905	DET/1=DEP/GRP	and the second second
12	4 808	IF Sag THER DELTERDEL	
12	a xiu	したしませたがで、	
1		10 10 - 10 1 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	
5	1 814	TE LS=LS THEN 818 ELSE PRINT .L. P2	
3	8 616	IF LCLT THEN LI=LAPI=P2AGOTO 350	
3	3 818	PwF2=P1+(GRP)+(hT=61)NPR1+1	
13	920	TRINT "PRESION DE FUNDO FUNDO EN LA SEGUNDA ETAPA=";"ME7;"(DOTTO"2)"	
13	S 821	PRINTALUTO H98	
Ľ	a 024 900	1F 62-612 1166 030 6665 FRINT 16,672 36 12/15 1668 61-680-6558.010 350	
-1,	2 310		
j.	835	GOTU 350	
- 4	838	1Ê 6≥≙6Î1 TAEN 859 E66E E81AT , 6,,P2	
4	1 8.14	LE_6<671_THEN_61=6NP1=P2N6010_350	
1	8 859	PMF 1=P1+(GRF)+(JF1==J1)))FRINE 1051-00 - 800 - 800 - 800 - 800 - 800 - 800 - 800 - 800 - 800 - 800 - 800 - 800 - 800 - 800 - 800 - 800 - 800 - 1051-00 - 800 - 800 - 800 - 800 - 800 - 800 - 800 - 800 - 800 - 800 - 800 - 800 - 800 - 800 - 800 - 800 - 800 -	
1	3 800	PRINT "PRESIDE DE FUNDO POTENDO EN LA PRIMERA ETAPA=";PWF1;"(hd/rG"2)"	•
	844	ENTRY MARKE CALCULA PARA IN PROFIDENDED OF COLOCIUM OF GA VERTANA 444	
4	900	PRINT	
1	905	PTH=213,45	
4	910	PG5C=0,25+(PT1/100+bT/100)	
4	9 815	GGSC=PGSC/LTNDLEA=DL/62.428	
19	9 232	798 1-61 10 0 otre #100 628-0 Allantenastri 1	
L,	940	PC6XC1405757777777777777777777777777777777777	
5	945	<b>IF PEAS=PCGAE</b> THER 983 ELSE 960	
5	460	PFCV=ABS(I)~((PFA-PCGSE)/UGSC)	
5	970	PRINT "LA PROFORDIDAD DE COMPCACION DE DA VELLANA ES="FFECV;"(PIEG)"	
1	9 74	平凡14丁 D U = D T U 4 A D A C U 4 A A A C A	
Ľ	1 243	アメデアコロモビアにメラロ(5)とリー わしたのが、単しかにとされた。 かんしょうかん たんちょうがい かがくし スパンタートガ	
1	1 346	PRINT ACCIDENT OF THE COURT FOR A COURT OF THE COURT OF T	•
	1 944	HEAT I	
16	985	PRINT **** CALCULU DE LA PRESIUN DE EULOU FLUYFAIN EN LA PRIFICA GIAPA ****	
6	4		
6	1		
Ś	1234567.8	9017345676901234507630123456769012345676901234567890123456769001234567690123456769012345676901234567690123456769012345676901234567690123456769012345676901234567690123456769012345676901234567690123456769012345676901234567690123	5878801234847890

1	986 987	1=DIPT? 5="\$1"			
3	988	=PV\L1=PFCV\RT=F			(60)
4	990	(1≈612+6CA\6010 : 3T0 3000	3 3 0		,
6	1000	EM ++++ SUBFUTI	INA PAKA PROPIEDADES DE 605 ELU	1005 *****	
7	1010	)GP=0.25+(0.02*P7 IF bGP>DRG THEA	4)+(10"(~6)*(0.6874-3.5869*DA)* 186=DGF	RT)	
9	1030	RA=141.5/(131.5)	(DA)		
a	1070	LE AS≓"SI" THEA A LE A=> THEA AIIA	A=2\GOTU 1170		
2	1120	KEA CORRELACION I	DE STANDING		
3	1130	<pre>{S=DGP*((10*(0.0)</pre>	125+DA)+PMJ/(10^(0.00091+TK)+18	))^(1/0.83)	
4	1141	·=K&+(DGPZDA)~0.0	0+(1.25*TM) 10447+0 972		
6	116	1010 1250			
7	1179	REA CORRELACION D	DE DISTEIN	•	
9	-1190	2P=10^((0.0984791	N.P^3)-(0./03980+1.P^2)+(2.35772	+643-2.5/304)	
20	120	LF A=2 Aut As="51	1" THEN RS=DGP*((PP*DA*0.989)/C	1870.13))*(120.810)	
11	121	LE A≕2 AND AS≕"SJ (S≂DGP#fipp#dA*fi	1、939317(1230) 1、939317(1345)、1723351170、816)。		
3	123	SOP=RS*(DGP/DPA)	0.526+(0.960+14)		
4	1240	SO#1+10"(#0.5851) SCN#0 25+(0 02810	L+(2.91329*60610(06F))-(0.27683 S1+(10*(-61*(0 6974-3 5664306)*	*(60610(6063)^23}	
	125	PBP=((R1/DGP)^0_)	() + (TA^U_130/DEA^U_449)	807	
17	125	B=10*(1.7009+1.)	/44/*h0Glv(PbF)=0.30218*(tGuGlu	(PNP))*2))	
28	120	11 PA21P THEN DA- MILEL(62.44002)+1	= 1 5 1 1 4 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2		
30	127	V=3.0324-0.02023	3404		
1	1280	(#10°2V (#V#10^(#1 103)			
3	130	4UA=10^X-1			
4	131	3=5.44*(KS+150)*(	(-0.338)		
25	111	19=10./15+(85+100 /D=AV*808^o	))"(=0.515)		
54	134	F HA=1 THEN 1030	)		
16	1350	180=(12.4=0.047*1	しりゃり、207キりかすすた人やく~じょりりひりすだみ)		
10	137	KEM CALCULD DE Z	()/(((-E0)		
nj –	138	IF AS="SI" THEN 1	1420		
1	1400	PC=702.5=50+DGL	11,		
	141	SUTO 1440			
15	1420	(PC#238+210+066 /PC#240+1001066			
1	144	CPR=(TH+460)/TPC			
18	145	PR=PM/PEC			
49 50	145	(UR J=1 10 25 STE	.P. 1		
54	147	(R=(0,27+PPP)/(23	FTER)		
1	148	AJEU. 11300N AZE-1 Naemu n123N Aber0	1.0389\ A3##0.5763\ A4#9.5353 1.10389\ A7#8 68157\ A9#8 68446		
54	150	41=(A1+A2/TPE+A3/	(104-3)*RK+(A4+A5/1Pk)*RK-2+(A5	************	
5	121	62=(A7+Ric^2/TPR^3 /=/1+/)	33*(1+AH*HR*2)*(EXF(-Au+RR*2))+	1	
57	153	LF ADS(Z=Z5)<= 0.	OUL THEN 1500		
	154	55≠Z	and the second		
59 40	155	LF J≅Z5 LULN 1555 K≈l	5 PUPPE 1221		
51	155	1560 IS60			
02					
122	5671	1234567894123454	183312345678901234567890123456	1810123454789012345678801	234447889123458788

1560 BG 1570 DG 1580 XG	【U→D2D2542★(T()+(00))/200 【2→7044+26*060)/(Z+(1≈+460)) 3→5{(960/(T(+460))+(0→269/*060)	(61)
1590 1G	2.4-0.2*XG (19.4+10.5794+066))+(10+100/^1.5)/(209+(550	.4+144.3+(114404)]
1610 VIC	=KG+10*(-4)+EXP(XG+(D)762-428)*¥G) 0-1775 	
1030 RE	CALCULUS PARA ACELTE NAUT SATURADU BAC=1 Inten Ionu 	
1660 BAG	-R5 (B0 8400 VD6 [R2D0] (V6 82 V6 =1 	
1680 01:	-1433\ 02#5\ 03#\$7.2\ 04#+4180\ 05#1261\ 08 #(D1#19#8\$8+01##M#D3*082#15#0A}/(16#26)	=10^5
1700 001	2.6X (221-187X (34-Po)) 2.6X (221-187X (34-Po))	
1720 AM	C1*PA^C2*EXP(C3+C4*PP) VUH*(PMZPB)↑M6XVU=VB	
1740 CO: 1750 BO	(#1+B2*KS#D3*EM+D4*DRG+D5*6A)/(D6*PM) =B08/EXP(CD*(PM=PB))/\B0=B05	
1760 BA	QNBAC=0 URN	
1772 kEI 1774 FS:	FACTOR DE ENCLUM	
175 FC	(=2#1UG10((0.000n/(3./15*D1))+(2.514/FS*0.5 ABS(FC-FS)	**************************************
1777 19 1778 FS:	EE>0.0001 THEA 1778 ELSE 1779 FCNGDTU 1775	
179 FRG 780 RE	≓FC URN	
3000 IN 3002 IF	UT "DESEAS REALIZAR OTRU CAECULU";25 Z\$="S1" THEN 100	
005 ENI		
	r	
	and the second secon	
		and the second
		•
•		
5.6789012	456785012348678601234567860123488786012348	

2	*********** UA105 DE 1-05 FREDORS 1	( TUNERIA, +*********	
3 4 5	PRESIDNER DA CARLZA DED POLO (BEV) TEMPERATURA MEDIA (GRAD. F.J. 222 INDICE DE PRODUCTIVITA D'OCCUMENTALIS	ο°ε)= 213.45	(62)
<del>کا</del>	DENSIDAD RELATIVA DEL GAS PRODUCIDI	(AIALET)= .8.	
9	REGACION GAS-ACEITE (PIE <sup>*</sup> 3/660)= 19	= 37.07 /4K	
10	DIANLIKU INTERIOR DE LA T.R. (PG)= DIANLIKU EXTERIOR DE LA T.R. (PG)=	6.009 7.625	
12	DIANETRO ANTERIOR DE GA SEGUNDA 1. F	(* (PG)= x+992	
14	PRESTUN DE OPERACION DEL GAS DE LA	(LCCTUA (582PG*2)≖ aun	
16	- GASIO DE ACEILE (BD/DIA)= 1900 - LUNGITUD DE LA SEGUNDA T.P. (PIES)=	: 407e	
18	REDACION AGUA-ACEITE (%)= 0 REDACION GAS-ACEITE SEPARADO EN DA	VEB TERMA EXI≓ JA	
19	INCREMENTO DE PRESION (LBZPG^2)= 50 RELACIÓN GAS-ACETIE DE INFERENCIA		
21	DIAMETRU INTERIOR DE LA PRIMERA F.E	(PG) = 2.441	
23	DIAMETRO INTERIOF DE LA TUBERIA DE	/* (PG)= 2.875 181ECC104 (PG)= .824	
25	LUNGINU DE LA ULTIMA T.R. MASTA LE	/ 181ECC104 (PG)= 1.05 / 181ERVA60 PRODUCTOR (P1&S1= 8015	
26	DIANETRO INTERNO DE LA ULTINA L.R. DIANETRO EXTERNO DE LA ULTINA L.R.	(PG)= 4.40H +PG)= 5	
28	LONGIIUD DE LA PRIMERA I.P. (PIES)=	- 101oh	
20	***************************************	* * * 7 * * * * * * * * * * * * * * * *	
32			and the second secon
33	CUNGITOD (PIES)	PRESINE (LOZES"2)	
35 36	84.0147	26.3.45	
11	177.106	313.45	
39	397.432	413.45	
41	51.351	513.45	
42	927.317	503.45 613.45	
44	1071.63	しいま。まち フキキュ みち	
46	1370 17	763.45	
48	1679.42	103.45	and the start of the second
49 50	1997.21	313,45 313,45	
51	2158.94 2322.25	1013-45 1063-45	
53	2487.07	1113.45	
55	2828 85	1213.45	
50	1123.05	1313.45	
58 59	3330+71 3502+86	1303.45	
60	3663.72	1463.45	
62	2000471	2013413	
China	456789012345878801234567880123456789	0.1234587890123455789012345878901234	567 5901234567890123456789

•

	4048-89		
		1303*40	
	2 4233.11	1013.45	
	4418.37	1003.45	
	4604.62	1711.45	(63)
	1741 45	1704 45	
		1011.36	
1	2109.09	1403.45	
	6 DJ59,06	1419.40	
	9 5549.9	1903.45	
	a 5741.59	2013.45	
	5914.12	2061.45	
	6117 45	5111 45	
	2 204 60		
	0.021+02	2103,40	
	4 <u>0210-21</u>	2213.45	
	s 6/12.21	2203.45	
	6 0408.6/	2113.45	
	7105.47	2.103.45	
1	73.13 81	2414 45	(b) A set of the se
	7500 40		
		X463.45	
	1/01.87	2513.45	
	四 7901,98	2563.45	
	8102.70	2013.45	
	8304.27	2663.45	
	506 45	7718 35	
1 C C C C C C C C C C C C C C C C C C C	0760 41	1161 45	
	0709.51	2703.13	
	9 8714-84	2013.45	
	9117.04	2804.45	
	9321,89	2413.35	
	9 9527-4	2403.45	
	PRESION OF FRADO FLAVENDD FU LA SE		
		100008 CIAIR= 2999.49 (DIVEN 2)	
		CONTRACTOR AND A DESCRIPTION OF A DESCRI	
	M +++ CALCOLD PARA DA PROPORDIDAD DE	CONDUCTION OF ON AFRICANA ***	
	S LA PROFUNDIDAD DE COLOCACIÓN DE LA	VENTANA LOR (1120,06 (111ED)	
	PRESTUN EN LA VENTANAE 235.439 (La	ZPG*2)	
	PRESIUN EN LA VENTANA= 235.439 (LB	/PG^2)	
	PRESIDE EN LA VERTAGAE 235.439 (LA	/PG/2)	
	PRESION EN LA VENTANA= 235.439 (LB *** CALCULO DE LA PRESION DE FORDO	ZEGAZ) - EBUYENBU ER DA ERIMEKA ETAPA (***	
	PRESIDE EN LA VENTANAT 235.439 (LH           *** CALCULO DE LA PRESIDE DE FONDO	ZPG72) - FRUSENDU ER DA PREMERA EVAPA ***	
	PRESIDN EN LA VENTANA= 235.439 (DA *** CALCULO DE LA PRESIDN DE FUNDU LUNGITUD (PIES)	ZPG72) - EDUYERDU KA DA PREMENA KEAPA +++ 	
	PRESIUN EN LA VENTANAT 235.439 (LH *** CALCULO DE LA PRESIUN DE FUNDU LUNGITUD (PIES)	ZPG72) - FRUYENDU ER 64 PRIMERK EVAPA *** - PRESIDE (DRZPG72)	
	PRESIUN EN LA VENTANA= 235.439 (LA *** CALCUEO DE LA PRESIUN DE FUNDU LUNGITUD (PIES) 4211.14	ZPG72) - EDUYERDU KA DA PREMENA ECAPA +++ 	
	PRESIUN EN LA VENTANA= 235.439 (LH *** CALCULO DE LA PRESIUN DE FUNDU LUNGITUD (PIES) 4211.14 4315.41	ZPG72) - EBUYENDU ER DA PREMERK EVAPA *** 	
	PRESIUN EN LA VENTANA= 235.439 (L0 *** CALCUEO DE LA PRESIUN DE FUNDO LUNGITUD (PIES) 4211.14 3315.41 444 45	ZPG72) - EBUYERBU KA BA PREMENA ECAPA +++ 	
	PRESIUN EN LA VENTANA= 235.439 (LH *** CALCULO DE LA PRESIUN DE FUNDU LUNGITUD (PIES) 4211.14 4315.41 4425.40	ZPG72) - EBUYENDU ER 64 РКСКЕКК ЕСАРА +4+ 	
	PRESIUN EN LA VENTANA= 235.439 (LA *** CALCULO DE LA PRESIUN DE FUNDU LUNGITUD (PIES) 4211.14 4315.41 4431.40 457.92	ZPG72) - EBUYENDU KA BA PREMENA ECAPA +++ 	
	PRESIDN EN LA VENTANA= 235.439 (LO *** CALCULO DE LA PRESIDN DE FUNDO LUNGITUD (PIES) 4211.14 4315.01 4431.00 4557.02 4689.54	ZPG72) FRUYENDU ER LA PREMERA EZAPA *** PRESIDE (LEPZPG72) 205.439 335.439 335.439 435.439 435.439	
	PRESIUN EN LA VENTANA= 235.439 (LA *** CALCULO DE LA PRESIUN DE FUNDU LUNGITUD (PIES) 4211.14 4315.01 4431.80 457.02 4689.54 4824.04	ZPG72) EDUYENDU KA BA PREMENA ECAPA ### PRESIDS (DHZPG72) 2054434 3354439 4354439 4354439 4354439 4354439	
	PRESIUN EN LA VENTANA= 235.439 (Lo *** CALCULO DE LA PRESIUN DE FUNDO LUNGITUD (PIES) 4211.14 4315.81 4431.80 4557.02 4689.54 4828.04	ZPG72) FBUYENDU ER LA PREMEKA ECAPA *** PRESIDE (DEZPU^2) 285.439 335.439 435.439 435.439 435.439 545.439 545.439 545.439	
	PRESIUN EN LA VENTANA= 235.439 (LA *** CALCULO DE LA PRESIUN DE FUNDU LUNGITUD (PIES) 4211.14 4315.01 4431.80 457.02 4689.54 4824.04 4971.49 5119.01	ZPG72) FDUYENDU E.4 64 PRIMERA EVAPA *** PREDIDE (DRZPG72) 2055439 335439 335439 405439 535439 535439 545459 545459 545459 545459 545459 545459 545459 545459 545459 545459 545459 545459 545459 545459 545459 545459 545459 545459 545569	
	PRESIUN EN LA VENTANA= 235.439 (Lo *** CALCULO DE LA PRESIUN DE FUNDO LUNGITUD (PIES) 4211.14 4315.41 4431.40 4557.02 4689.54 4089.54 4089.54 4071.49 519.07	ZPG72) FBUYENDU ER LA PREMEKA ECAPA *** PRESIDE (DHZPG72) 285.439 385.439 385.439 435.439 435.439 545.439 545.439 545.439	
	PRESIUN EN LA VENTANA= 235.439 (LA *** CALCULO DE LA PRESIUN DE FONDU LUNGITUD (PIES) 4211.14 4315.01 4431.80 457.02 4689.54 4828.04 4971.49 5119.07 5270.17	ZPG72) FRUYENDU E.4 64 PRIMERK EVAPA *** PREDID: (DEZPG72) 205449 35549 365449 435449 435449 435449 55549 555569 5555	
	PRESIUN EN LA VENTANA= 235.439 (Lo *** CALCULO DE LA PRESIUN DE FUNDO LUNGITUD (PIES) 4211.14 4315.41 4431.40 4557.02 4689.54 4894.54 4971.49 519.07 5270.17 5423.20	ZPG72) FBUYENDU ER LA PREMEKA ECAPA *** PRESIDE (DHZPG72) 285.439 385.439 435.439 435.439 435.439 545.439 545.439 545.439 545.439 (55.439 (55.439 (55.439 (55.439 (55.439) (55.439 (55.439 (55.439 (55.439) (55.439 (55.439 (55.439 (55.439) (55.439 (55.439 (55.439 (55.439) (55.439 (55.439 (55.439 (55.439) (55.439 (55.439 (55.439 (55.439) (55.439 (55.439 (55.439 (55.439 (55.439) (55.439 (55.439 (55.439 (55.439) (55.439 (55.439 (55.439 (55.439 (55.439) (55.439) (55.439 (55.439 (55.439 (55.439) (55.439 (55.439 (55.439 (55.439) (55.439 (55.439 (55.439) (55.439 (55.439) (55.439 (55.439) (55.43	
	PRESIUN EN LA VENTANA= 235.439 (LA *** CALCULO DE LA PRESIUN DE FUNDU LUNGITUD (PIES) 4211.14 4315.01 4431.80 4557.02 4689.54 4828.04 4971.49 5270.17 5270.17 5424.70 5541.01	ZPG72) FEUVENDU E.4 LA PREMERK E CAPA ### PREDIDE (DEVPO72) 205444 355444 355449 435449 435439 435439 555555 555555 555555 555555 555555	
	PRESIDN EN LA VENTANA= 235.439 (Lo *** CALCULO DE LA PRESIDN DE FUNDU LUNGITUD (PIES) 4211.14 4315.41 4431.40 4557.02 4689.54 4828.04 4971.49 5179.07 5270.17 5424.20 5740.00	ZPG72) FBUYENDU ER LA PREMEKA ECAPA *** PRESIDE (LHZPG72) 285.439 385.439 435.439 435.439 445.439 545.4	
	PRESIDN EN LA VENTANA= 235.439 (Lo *** CALCULO DE LA PRESIDN DE FUNDO LUNGITUD (PIES) 4211.14 4315.81 4431.80 4557.02 4689.54 4828.04 5119.07 5270.17 5424.20 5541.01 5540.00 5901.17	ZPG72) FEUYENDU ER LA PREMERA EZAPA *** PRESIDE (LNZPG72) 205444 3304439 430439 430439 430439 530439 540439 540439 540439 540449 745439 745439 745439 745439 745439 745439	
	PRESIDN EN LA VENTANA= 235.439 (L0           *** CALCULO DE LA PRESIDN DE FUNDO           LUNGITUD (PIES)           4211.14           4315.41           4315.41           431.80           457.02           4689.54           4971.49           5170.17           5270.17           5541.01           5740.00           5901.17	ZPG72) FBUYENDU ER DA PREMEKA ECAPA *** PRESIDE (DHZPU*2) 205.439 335.439 435.439 435.439 545.439 545.439 545.439 545.439 645.439 645.439 645.439 645.439 645.439 645.439	
	PRESIDN EN LA VENTANA= 235.439 (Lo *** CALCULO DE LA PRESIDN DE FUNDO LUNGITUD (PIES) 4211.14 4315.01 4557.02 4689.54 4828.04 5119.07 5270.17 5424.20 5541.01 5740.00 5901.17 5901.17	ZPG*2) FEUVENDU ER LA PREMERA ECAPA *** PRESIDE (LHZPG*2) 205.439 335.439 435.439 435.439 435.439 53.439 545.439 555.449 555.449 555.45	
	PRESIUN EN LA VENTANA= 235.439 (Lo *** CALCULO DE LA PRESIUN DE FUNDU LUNGITUD (PIES) 4211.14 4315.41 4431.40 4557.02 4689.54 4828.04 4971.49 5119.07 5270.17 544.20 5541.01 5740.06 5901.17 6054.13 6025.77	ZPG72) FLUYENDU E.4 64 PRIMERA E CAPA *** PRESIDE (DEZPO72) 2055439 335439 4355439 435439 545559 545559 545559 545559 545559 5455559 545559 545559 5455	
	PRESIDN EN LA VENTANA= 235.439 (Lo *** CALCULO DE LA PRESIDN DE FUNDO LUNGITUD (PIES) 4211.14 4315.41 4431.40 4557.02 4689.54 4828.04 971.49 5119.07 5270.17 5424.70 5424.70 5740.00 5740.00 5740.00 5740.40 5740.	ZPG*2) FLUYENDU ER LA PREMERA ECAPA *** PRESIDE (LHZPG*2) 205.439 335.439 335.439 435.439 435.439 535.439 545.448 545.4488 545.44888	
	PRESIDN EN LA VENTANA= 235.439 (LN           *** CALCULO DE LA PRESIDN DE FUNDO           LUNGITUD (PIES)           4211.14           4315.41           4431.40           457.02           4689.54           4971.49           5179.01           5270.17           544.20           5740.00           5740.00           5741.01           5741.43           604.13           614.43           604.13           604.13           614.34	ZPG72) FEUTENDU E.4 6.6 PREMERK ETAPA *** PREDIDE (DEPPo72) 205.439 335.439 435.439 435.439 535.439 535.439 545.439 545.439 545.439 745.439 745.439 745.439 745.439 935.439 935.439 105.439 105.439	
	PRESIDN EN LA VENTANA= 235.439 (Los           *** CALCULO DE LA PRESIDN DE FUNDO LUNGITUD (PIES)           4211.14 4315.41           4315.41           4557.02           4689.54           477.49           5119.07           5270.17           5424.70           5740.00           5901.11           0494.13           0394.13           0494.13           0494.13           0394.14	ZPG72) FLUYENDU E.a LA PRIMERA ECAPA *** PRESIDA (LHZPG72) 205.439 335.439 435.439 435.439 435.439 535.439 545.439 545.439 545.439 545.439 545.439 545.439 545.439 545.439 545.439 545.439 545.439 545.439 545.449 545.449 545.449 545.44 555.44 555.555.	
	PRESIDN EN LA VENTANA= 235.439 (Lo *** CALCULO DE LA PRESIDN DE FUNDO LUNGITUD (PIES) 4211.14 4315.81 4431.80 4557.02 4689.54 4828.04 5740.00 5740.00 5901.17 5740.00 5901.17 5740.00 5901.17 5740.00 5901.17 5740.00 5901.17 5740.00 5901.17 5740.00 5901.17 5740.00 5901.17 5740.00 5901.17 5740.00 5901.17 5740.00 5901.17 5740.00 5901.17 5740.00 5901.17 5740.00 5901.17 5740.00 5901.17 5740.00 5901.17 5740.00 5901.17 5026.6 5731.50	ZPG72) FLUYENDU E.4 LA PRIMERA ETAPA ### PREDID: (DE/PG72) 205449 305449 305449 405439 405439 505439 505439 505439 505439 505439 505439 505439 505439 745439 745439 745439 745439 745439 1055439 105449 100544 113544	
	PRESIDN EN LA VENTANA= 235.439 (Los           *** CALCULO DE LA PRESIDN DE FUNDO           LUNGITUD (PIES)           4211.14           4315.01           4211.14           4315.01           4557.02           4689.54           471.49           519.01           5270.17           544.70           574.01           574.01           574.01           574.01           574.01           574.01           574.01           574.01           574.13           604.13           6731.50           5901.14	ZPG72) FBUYENDU ER LA PRIMERA ECAPA *** PRESIDE (DEZPU^2) 205.439 335.439 435.439 435.439 435.439 535.439 545.439 545.439 545.439 545.439 545.439 545.439 545.439 545.439 545.439 145.439 145.439 105.439 105.43 105.44 105.44 1135.44	

	1915 6		
	1423.90	1255.99	
	7003.05	1 3 3 3 4 4	( 6)
	7784.81	1935.44	( 64 )
	7967.4	1935.4	
	8151.30	1535.41	
	8336.73	1505.41	
	8523.4	1035.44	
	8711.37	1005.41	
	6900.62	1/17+44	
	9091.12	1/45.44	
	9282.83	1835.44	
	9669 46	1935 44	
	9865.4	1985.44	
	10051.8	2045.44	and the second
	1020512	2005.41	
	10509.8	2135.41	(a) A set of the se
	10735.7	2185.44	
	10962.9	2235.44	
	11191+2	4245. +4	
	11420.8	2352.44	
	11051.0	2345.44	
	11883+0	2435.44	
	12110.0	2007.04	
	12586.0	2559444	
	12823.2	2635.44	
	13061	2685.44	(a) A set of the se
	13299.9	2135.44	
	13539.9	2105.44	
	13781	2835.44	<ul> <li>A second state of the second stat</li></ul>
	14023.2	2885.44	
	14260.1	2435.44	
	19510.0	2485.44	
	14/30+2	3035.44	
	1200Z+/	3085.44	and the second secon
	17270.3	3137444	(a) A set of the se
	16748 1	1015 14	
	15499.4	12215 44	
	16251-1	4 4 4 5 4 4 4	
	16501.1	3385.44	
	16756.1	3435.44	
	13013.1	3485.44	and the second secon
	17269.1	3535+44	and the second
	1/520.1	5745644	
	1778+++	3035.44	
	18043.7	ういはちょうず	
DURY LONGE	WERE RELEVANCE SEALS A		
ENERTON I	a roado radicado ca da l	LEIWERN CINCH- 3115-33 (PDAL	0.21

.

(65) PRESING EN DA CABEZA DED PUZE (DBZPD^Z)= 213.05 TEMPERATURA MEDIA (GRAD. F.)= 222 #INDICE DE PRODUCTIVIDAD (BU/DIA/UU/FG\*2)= 8.69 PDENSIDAD RELATIVA DEL GAS PROCOCLUC (AIRE=1)= .85 "UENJIDAD RELATIVA DEL ALEITE (API)= 37.07 "RELACION GAS-ACETTE (PIE 3/860)= 1948 The LACION GASEACE IT (PIE 3/660) = 1948 "TDIAMETRU INTERIOR DE LA T.R. (PG) = 0.509 "DIAMETRU INTERIOR DE LA T.R. (PG) = 0.509 "DIAMETRU EXTERIOR DE LA T.R. (PG) = 2.992 "DIAMETRU EXTERIOR DE LA SEGUENA T.P. (PG) = 2.992 "DIAMETRU EXTERIOR DE LA GAS EN INTECCION (L6/PG\*2) = 000 "GASTO DE OPERACION DEL GAS EN INTECCION (L6/PG\*2) = 000 "GASTO DE ACEITE (dE/PIA) = 1100 "DELOGITUD DE LA SEGUEDA I.C. (PIES) = 9070 "RELACION AGUA-ACEITI (S) = 0 "RELACION AGUA-ACEITI (S) = 0 "RELACION GE PRESION (L6/PG\*2) = 50 "RELACION GE PRESION (L6/PG\*2) = 50 . PIRCREMENTUD DE PRESTUR (DOTE 2/2 DU 24RCDACLUS GAS-ACEDTE DE 1916/2108 (PEE^3/PREUJ= 45)
 PANDIAMETRO ALIGION DE LA PRIMERA T.P. (PG)= 2,441
 PANDIAMETRO ALIGION DE LA PRIMERA T.P. (PG)= 2,475
 PANDIAMETRO INIERIO DE LA TUBERIA DE INIECCIUN (PG)= 524
 PANDIAMETRO INIERIO DE LA TUBERIA DE INIECCIUN (PG)= 1,05
 PANDIAMETRO DE LA OLITAR T.R. BASTA 1.6 TRIERVAND PRODUCIUM (PIEO)= 8016 PRODUCTOD DE DA ODITAK T.R. DANTA ED INTERVALO PRODUCIÓN (Pies)= 8016 2001AMETRO INTERNO DE LA DUTTAK 1.R. (PG)= 4.405 2001AMETRO EXTERNO DE LA DUTTAK 1.R. (PG)= 5 "LUNGITUD DE LA PRIMERA T.F. (PIES)= INIGN 37\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\* LUNGTIDD (PELD) PRESTOR LINZPO\*21 80.9364 20.1.45 1/0.717 313.45 273.004 303.45 385.524 113.45 500.415 403.45 031.32 513.45 161.99 503.45 900.55 613.45 1014.24 603.15 1195.62 113.45 1345.1 103.45 1497.30 813.15 1052.09 603.45 1809.03 915.45 1967.97 103.45 2128.72 1013.45 2291.15 . 1003.45 2455.12 1114.45 2620.52 1164.45 2187.25 1214245 2955.25 1201.45 3124.39 111.15 3294,60 1101.10 1111.45 3405.49 1634.33 1401,45 1911111 1234567698723456 898723456782077345676907734567690773456769072455676907245567690724456769072445676907244567690

(66)		ر ۹۰ <b>و ۱</b> ۹ ا	3993.54
		1013,40 1963,40	4176,49 - 4300,45
		1/04_4>	4731.20
		1403-42 1412-42	5105.75
		1713.13 1903.45	5274-3 5483-71
		2013.45	5673.94
·		2113145	0056.H2 3239.33
		2213.45	6442.82
		2203-45 2313-45	6434.90
		2303.45	1027.45 1223.7u
		2403.45	/420.83
		2563145	7817.02
		260.1.45	8215,90
		2713.45	8410.44
	$(A_{i},A_{i}) \in [A_{i},A_{i}]$	2013.45 2863.45	6819,39 9021,85
and the second second	1 A.	2913.45	9224.95
	14 14 - 14	3013.45	0633.07
		HUA ETAPA= 3023.42 (66/16*2)	TON DE FORDU FLUYENDO EN UN SEG
		DEDUCACION DELLA VENIARA ***	CAUCULO PARA LA PROFUNDIDAD DE -
		EGINAA ES# 1313.7 (P1ES)	REFORDIDAD DE COLOCACIÚN DE LA
		S*2)	10N FOR DA VENTABA# 230,409 (187
		LUILNUU LU LA PRIMERA EINLA ***	CALCULU DE LA PRESION DE FUNDU I
		PRESIDE (GEZPG*2)	LUNGITUD (PIES)
		2911 . 409	4396-97
		380 + 409	4494.05
	and the second second	430。9459 まだし。459	4723.30 4850.40
e e e e e e e e e e e e e e e e e e e		530, 400 540, 409	4984.07
		030.469	5266.71
1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1		736.469	5565.01
		780.409 H30.409	5475.02
			บปรัฐริช ธ194 - โช
		980.469 1036-47	6156.63
		1080.1/	6036.47
			0133.60

	1022.17	1160.47	( 67 )
	4 7191.97	123n.47	
	7302.01	1200.41	
	7708.45	1365.47	میں بار اور اور اور اور اور اور اور اور اور ا
	7862.81	1430.17	
	9 8002.87	1436.91	
	10 5244.30	1430-47	
	12 8427.23	1000.97 10 lo. 47	
	13 8746.99	1000.47	
	14 byb3.b3	1/30.41	
	9171-93	, 1780 , 17	
	0 8221+27	1886 47	
	16 9743.05	1430.41	
	19 9936 63	1986.47	
		2030,97 2086 41	
	10571	2130.41	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
	23 10792.0	2100.47	
		2235.97	
	26 11405.6	2310.41	[10] A. M. Martin, "A statistic strategies of the state of the stat
	27 11692.2	2300.41	
	28 11919.9	2430.17	
		2460.47 2540.31	
	12610	2589.47	
	12642.2	2030.11	
	13075.6	2686.47	
	15310.2	2730.47 71dn.41	
	137H2.5	2836.47	
	14020.1	28hu, 41	
		2436.47	
		31 31 - 4/	
	14982.7	3036.47	
	15220	3130-91	
		3100.47	
	15962.4	3210.47	
•		33.50.41	
	M 16456.9	5310+47	그는 것 같은 것 같은 것 같은 것 같은 것 같은 것 같은 것 같이 많이
	16700.7	44.14.11	
	17211.7	3430.41	
	17404.8	3500.47	
		31351-41	
	54		
	PRESIDE DE FORDO FRAYLBOD EN DA	PRINERA ETAPAS 3727.34 (BB/PG	^/)
	56 67		
	54		
	59		
	H2		
	[6]		
	1 11 2 24587890123456789012234567890	1 3 4 6 6 7 8 0 0 1 3 3 1 4 6 6 7 6 0 0 3 3 3 4 6 7 8 6 1 8 6 1 8	~ * * * * * * * * * * * * * * * * * * *

En la tabla II se puede observar que los gastos de -1000 y 1100 (bl/día) son los adecuados ya que la presión de fondo fluyendo para la primera etapa calculada con el progr<u>a</u> ma de cómputo se encuentra en un rango aceptable en comparación con el valor obtenido de la ecuación (3.1), tanto para una separación de gas del 70 y 100 (%).

En el caso de 1200 (bl/día) la presión de fondo fluye<u>n</u> do para la primera etapa calculada con el programa de cómputo tiene una diferencia de 53 (lb/pg<sup>2</sup>) en relación al valor obt<u>e</u> nido de la ecuación (3.1) cuando el gas separado es de un 70 (%), no así en el caso ideal de que el gas separado fuera de un 100 (%).

Cabe aclarar que en el caso ideal de que el gas separado fuera de 100 (%) se lógraría una producción de 1700 (bl/día).

(68)
TAF	<b>)   A</b>	- T T
1.81	11 14	

Q <sub>o</sub> (bl∕dís)	Riny (pie <sup>3</sup> /bl)	Riny (MM PCPD)	Sep.Gas (%)	<sup>Բ</sup> աքշ (1Ե/թց <sup>2</sup> )	Profundided de la vent <u>a</u> na. (pies)	Presión - de la ve <u>n</u> tana (lb/pg <sup>2</sup> )	P <sub>wf1</sub>
1000	500	0.5	70	2999	4 12 1	235	37 12
1000	500	0.5	100	2796	4830	239	3548
1100	454	0.5	70	3024	4314	236	3727
1100	454	0.5	100	2812	4918	240	35 <b>83</b>
1200	4 17	0.5	70	3052	4388	237	3756
1200	4 17	0.5	100	2027	5105	241	3588

 $P_{ws} = 3842 \ (1b/pg^2) \ J = 8.69 \ (b1/dia/1b/pg^2).$ 

$$\begin{split} P_{wf} &= P_{w9} \sim \frac{Q_0}{3} \quad (3.1) \\ P_{wf1} &= 3727 \ (1b/pg^2) \ para \ Q_0 &= 1000 \ (b1/dia) \\ P_{wf1} &= 3715 \ (1b/pg^2) \ para \ Q_0 &= 1100 \ (b1/dia) \\ P_{wf1} &= 3703 \ (1b/pg^2) \ para \ Q_0 &= 1200 \ (b1/dia) \end{split}$$

( 69 )



P= Presión en 1b/pg<sup>2</sup>.

D= Prefundidad en pies.

GRADIENTES DE PRESION EN FLUJO VERTICAL POR ESPACIO ANULAR PARA EL POZO CARDENAS 121.

T.P.	3 1/2 pg. METODO DE ORKISZEWSKI.
T.INY.GAS	3/4 pg.
Q.	1100 BLO/Dia.
SGo.	0.8364
SGg.	0.85
Pth	213.45 1b/pg <sup>2</sup> .

( 70 )

## CAPITULO IV

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.- El método de bombeo neumático en dos etapas es recomend<u>a</u> do en aquellos pozos con baja presión de fondo estática y alto Indice de productividad.

20.- Este método frecuentemente puede convertir un pozo de bom beo neumático estándar en un pozo económicamente rentable, ya que con el bombeo neumático en dos etapas se puede duplicar o triplicar el gasto.

30.- El método de bombeo neumático en dos etapas también es r<u>e</u> comendado en aquellos pozos que están produciendo con baja pr<u>e</u> sión en la cabeza del pozo y con una relación gas-aceite mayor de 900 (Pie<sup>3</sup>/bio).

40.- Esta instalación puede ser aplicada en aquellos pozos te<u>r</u> minados para producir por bombeo neumático estándar con profu<u>n</u>

(71)

didad de inyección somera.

50.- El equipo de terminación del bombeo neumático en dos et<u>a</u> pas es más complicado que el estándar. Es necesario que el pozo tenga una tubería de revestimiento grande para poder introducir dos tuberías de producción.

60.- Si se anticipa que el método será utilizado, entonces los programas de perforación y terminación deberán ser plane<u>a</u> dos acordes a éste.

70.- Se requiere de un empacador especial en el caso del bombeo neumático en dos etapas paralelo.

80.- En el caso de la ventana se pueden utilizar tuberías ranuradas, perforadas o camisas deslizables.

90.- El bombeo neumático en dos etapes, es el sisteme que ofr<u>e</u> ce las mejores perspectivas de éxito, para explotar artificia<u>l</u> mente los pozos del campo Cárdenas.

(72)

## NOMENCLATURA

d	diámetro, interno de la tubería, po,
dee	diámetro exterior de la T.R., pp.
dci	diámetro interior de la T.R., po.
dh	diámetro hidráulico, po.
dte	diámetro exterior de la T.P., uo.
dti	diámetro interior de la T.P., po.
D	profundidad, pies.
DIC	diámetro interior de le T.R., po.
DIG	diámetro interior de la tubería de invección, po.
DIL	diámetro interior del lingr, pg.
DIT	diámetro interior de la T.P., po.
DOC	diámetro exterior de le T.R., po.
DOG	diámetro exterior de la tubería de invección, po.
DOL	diámetro exterior del liner, pg.
DOT	diámetro exterior de la T.P., pg.
e <sup>1</sup>	rugosided absolute, pg.
е	rugosidad, pg.
eci	rugosidad de la superficie interior de la T.R.,pg.
er	rugosidad relativa, adimensional
e <sub>te</sub>	rugosidad de la superficie exterior de la T.P., pg.
f	factor de fricción.
J	indice de productividad, bl/día/lb/pg <sup>2</sup> .
10g	logaritmo decimal.
NRe	número de Reynolds, adimensional.
P	presión, lb/pg².
Pth	presión en la boca del pozo, lb/gg².
P <sub>uf</sub>	presión de fondo fluyendo, lb/pg2.
Pws	presión de fondo estática, lb/pg².
Q	gasto de aceite, lb/día.
R	relación ges-aceite, pie /bl.
RGL	relación gas-líquido, pie?/bl.
T.P.	tuberia de producción, pg.
T.R.	tuberia de revestimiento, pg.
T.INY. GAS	tuberia de invección del gas, pg.

( 73 )

## REFERENCIAS.

- Vogel, J.V.: "Inflow Perfomance Relationship for Solution Gas Drive Wells". J.P.T., enero 1968.
- Brown, K.E.: "The Technology of Artificial Lift Methods". Volumen 20, capitulo 3.
- 3.- Garaicochea, F. y Bashbush, J.: "Comportamiento de los Yacimientos". Facultad de Ingeniería, 1984.
- 4.- Garaicochea, F.: "Transporte de Hidrocarburos". -Facultad de Ingeniería, 1985.
- 5.- Cornish, R.E.: "The Vertical Multifhase Flow of -Dil and Gas at High Rates", J.P.Y., julio 1976.
- Faustinelli, J.L.: "Two Step Gas Lift Installation".
  M.S. Tesis, Universidad de Tulsa, 1974.
- 7.- McCoy, J.N. y Podio, A.L.: "Acoustic Pressure Accuracy Competes with Wireline Bomb". Oil and Gas Journal, noviembre 1984.
- 8.- Orkiszewski, J.: "Predicting Two-Phase Pressure Drops in vertical pipes". J.P.T., Junio de 1967.
- 9.- Rodríguez, R.: "Principio de Mecánica de Yacimientos". Facultad de Ingeniería, 1984.
- 10.- Díaz Zertuche, J.H. y Dávila Ascencio, A.:"Aplicación de curvas de gradiente de presión en tuberías verticales con flujo multifásico en pozos de la zona sureste de Petróleos Mexicanos". Ingeniería Petrolera. Octubre 1983.
- 11.- Craft, Holden y Graves: "Well Design: Drilling and Production". pag. 383. 1962/

74.)