



D-9688

T
621.2520285
G 216



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Geología, Minas y Petróleo



“ DISEÑO COMPUTARIZADO DE UN SISTEMA
DE BOMBEO HIDRAULICO TIPO PISTON ”

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO EN PETROLEO

Presentada por:

Jenny García Bermúdez

Guayaquil - Ecuador

1989

A G R A D E C I M I E N T O

Al Ing. RICARDO GALLEGOS,
Director de Tesis, por la
orientación brindada en el
desarrollo de la misma.

Al Ing. MIGUEL CAVIEDES,
de la División de Produc-
ción en CEPE, por su ase-
soramiento y supervisión
durante la elaboración
del presente trabajo.

Al Ing. IVAN FAJARDO, de
la División de Producción
en la Subgerencia Regional
de CEPE, por las facilita-
des prestadas en el uso de
la microcomputadora.

Al Sr. MIGUEL ALVARES,
por su gran colaboración
en la obtención de mate-
rial bibliográfico.

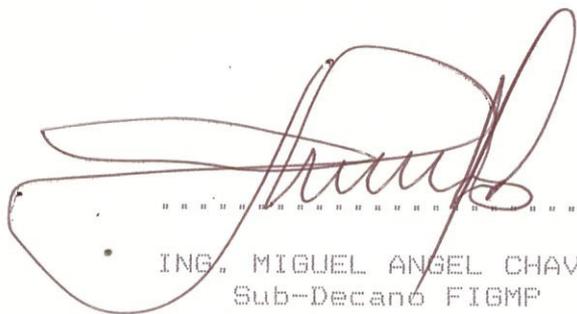
D E D I C A T O R I A

A MIS PADRES

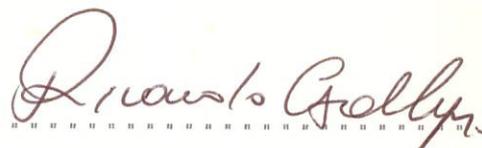
BIBLIOTECA



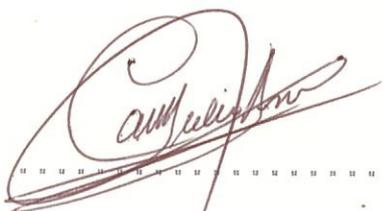
FACULTAD DE ING.
EN CIENCIAS DE LA TIERRA



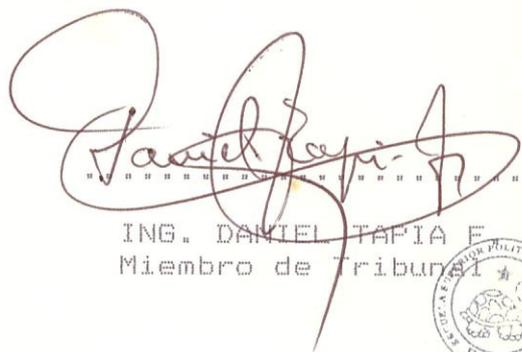
ING. MIGUEL ANGEL CHAVEZ
Sub-Decano FIGMP



ING. RICARDO GALLEGOS O.
Director de Tesis



ING. CARLOS ARNAO R.
Miembro de Tribunal



ING. DANIEL TAPIA F.
Miembro de Tribunal



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Ricardo Gallegos.....

ING. RICARDO GALLEGOS O.
Director de Tesis



DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta Tesis, me corresponden exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL)


.....
Jenny Jacqueline García Bermúdez

RESUMEN

"BOMHIPIS", es un programa de cómputo que diseña un sistema de bombeo hidráulico tipo pistón, está escrito en lenguaje BASIC de tal forma, que al procesarlo se desarrolla en forma conversacional, manteniendo un diálogo máquina-usuario directamente en pantalla.

El diseño considera los dos tipos de sistemas de fluido motriz: abierto y cerrado, así como también las diferentes clases de bombas: fija insertable, fija de tubería de revestimiento, libre paralelo y libre de tubería de revestimiento.

Una ventaja que presenta BOMHIPIS, es que solicita los datos por secciones a fin de poder chequear si éstos están correctos; en caso de haber ingresado un dato erróneo existe la posibilidad de corregirlo.

El programa en sí, se compone del programa principal y 4 subrutinas:

VII

VISCIN, calcula la viscosidad cinemática del agua y de cualquier crudo.

EFIBOM, encuentra la eficiencia volumétrica teórica de la bomba, que es un factor muy importante especialmente cuando se bombea gas.

FRICBOM, determina el incremento de presión debido a la fricción mecánica e hidráulica en la bomba y en el conjunto de fondo.

FRICTUB, calcula las pérdidas de presión por fricción en tuberías verticales.



BIBLIOTECA

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	VI
INDICE GENERAL.....	VIII
INDICE DE FIGURAS.....	XI
INDICE DE TABLAS.....	XIV
INDICE DE ABREVIATURAS.....	XV
INTRODUCCION.....	19
CAPITULO I	
CONSIDERACIONES GENERALES.....	21
1.1 Sistemas de levantamiento artificial.....	23
1.1.1 Ventajas y desventajas de los sistemas ar- tificiales de levantamiento.....	26
1.2 Fundamentos del bombeo hidráulico.....	32
1.3 Aplicación del bombeo hidráulico.....	36
1.4 Consideraciones especiales del bombeo hidráuli- co.....	39
1.5 Problemas comunes encontrados en operaciones con bombeo hidráulico.....	40

	Pág.
CAPITULO II	
FLUIDO MOTRIZ Y TIPOS DE SISTEMAS DE FLUJO EN BOMBEO HIDRAULICO.....	
	47
2.1 Tipos de fluidos.....	48
2.1.1 Fluido agua.....	49
2.1.2 Fluido aceite.....	58
2.1.3 Fluido gas.....	62
2.2 Selección del tipo de fluido motriz.....	62
2.3 Sistema de fluido motriz cerrado (FMC).....	64
2.3.1 Aplicación y ventajas del FMC.....	66
2.4 Sistema de fluido motriz abierto (FMA).....	67
2.4.1 Ventajas del FMA.....	68
CAPITULO III	
EQUIPO DE CAMPO SUPERFICIAL Y DE SUBSUELO.....	
	71
3.1 Equipo superficial.....	72
3.1.1 Bombas superficiales.....	72
3.1.2 Múltiples.....	76
3.1.3 Cabezales de pozo.....	77
3.1.4 Tuberías superficiales.....	82
3.1.5 Sistema de tratamiento superficial.....	83
3.2 Equipo subsuperficial.....	94
3.2.1 Bomba hidráulica subsuperficial.....	95
3.3 Tipos de arreglos de tuberías.....	98
3.3.1 Sistemas de bomba fija.....	98
3.3.2 Sistemas de bomba libre.....	107

	Pág.
CAPITULO IV	
DISEÑO DE UNA INSTALACION DE BOMBEO HIDRAULICO MEDIANTE EL PROGRAMA DE COMPUTO "BOMHIPIS".....	113
4.1 Consideraciones del diseño.....	113
4.2 Cuantificación del diseño.....	121
4.2.1 Caudal del fluido motriz manejado por la bomba.....	122
4.2.2 Selección de la bomba.....	122
4.2.3 Cálculo del caudal del fluido motriz.....	123
4.2.4 Determinación de las pérdidas de presión por fricción en la unidad de fondo.....	124
4.2.5 Determinación de la viscosidad cinemática de los fluidos.....	126
4.2.6 Cálculo de los gradientes de los fluidos..	129
4.2.7 Determinación de las presiones empleadas..	129
4.2.8 Potencias requeridas.....	132
4.3 Programa de cómputo.....	133
4.3.1 Introducción al programa.....	133
4.3.2 Diagrama de flujo.....	159
4.3.3 Codificación del programa.....	161
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	189
APENDICES.....	193
BIBLIOGRAFIA.....	228

INDICE DE FIGURAS

<u>N°</u>		<u>Pág.</u>
1.1	Bomba hidráulica de subsuelo - Tipo pistón...	34
1.2	Sistema completo de bombeo hidráulico.....	34
1.3	Eficiencia aparente de la bomba.....	43
1.4	Eficiencia aparente de la bomba cuando se produce gas.....	44
2.1	Viscosidad del agua y algunos crudos.....	52
2.2	Módulo de densidad del agua y algunos crudos.	52
2.3	Capacidad transportadora de fluidos en tube- rías.....	56
2.4	Sistema de fluido motriz cerrado (FMC).....	65
2.5	Sistema de fluido motriz abierto (FMA).....	69
3.1	Motor de transmisión triple, KOBE.....	74
3.2	Motor integral triple, KOBE.....	75
3.3	Controles de bomba con medidores individuales	78
3.4	Controles de bomba con medidor enlazado.....	79
3.5	Cabezal de bomba fija de tubería de produc- ción.....	81
3.6	Corte de una válvula de 4 vías.....	81
3.7	Instalaciones superficiales para un sistema	

<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
	de fluido motriz cerrado (FMC).....	84
3.8	Instalaciones superficiales para un sistema de fluido motriz abierto (FMA).....	85
3.9	Sistema de tanques para almacenamiento y tra- tamiento del fluido motriz (FMA).....	88
3.10	Bomba fija insertable (FMA).....	100
3.11	Bomba fija insertable (FMC).....	100
3.12	Tapón de fondo tipo "J".....	100
3.13	Bomba fija de tubería de revestimiento (FMA).	103
3.14	Bomba fija de tubería de revestimiento (FMC).	103
3.15	Bomba de tubería de producción.....	105
3.16	Válvula de retención para tubería de poten- cia.....	105
3.17	Collar aliviador.....	105
3.18	Filtro de arranque.....	105
3.19	Operación de la bomba libre.....	108
3.20	Válvula fija.....	111
3.21	Bomba libre paralela (FMA).....	111
3.22	Bomba libre de tubería de revestimiento (FMA)	111
4.1	Eficiencias volumétricas teóricas para bombas de tubería de revestimiento.....	116
4.2	Presión requerida para operar una bomba hi- dráulica sin carga.....	125
4.3	Viscosidad del fluido motriz a temperatura de fondo del pozo.....	127
4.4	Viscosidad del fluido motriz (agua) a la tem-	

XIII

<u>N°</u>		<u>Pág.</u>
	peratura del pozo.....	128
4.5	Presiones y pérdidas por fricción que afectan al bombeo hidráulico.....	130
A.1	Viscosidad del petróleo vs. gravedad específica (viscosidad a 100 °F).....	196



INDICE DE TABLAS

<u>N°</u>		<u>Pág.</u>
I	Problemas comunes que afectan la selección del método de levantamiento artificial.....	27
II	Ventajas y desventajas relativas de los sistemas artificiales de producción.....	28
III	Análisis de 8 muestras de agua libre y salmueras.....	50

INDICE DE ABREVIATURAS

a	Exponente (adimensional)
A	Constante (adimensional)
°API	Densidad del fluido en grados API
B	Indice de temperatura
BBL	Barriles (Bbl)
BPD	Barriles por día
°C	Grados centígrados
d	Diámetro de tubería (pulgada)
DP	Pérdida de presión por fricción en la bomba sin efecto de carga de fluidos (LPC)
e	Excentricidad
EB	Eficiencia teórica de la bomba
EFBO	Eficiencia real de la bomba
EFM	Eficiencia del motor
f	Factor de fricción (adimensional)
°F	Grados fahrenheit
FEE	Pérdidas de presión por fricción en el motor (LPC)
F.M.	Fluido motriz
FMA	Sistema de fluido motriz abierto

FMC	Sistema de fluido motriz cerrado
FP	Pérdidas de presión por fricción en la unidad de fondo (LPC)
F.P.	Fluido de producción
FPE	Pérdidas de presión por fricción en la bomba (LPC)
F.R.	Fluido de retorno
F1	Pérdidas por fricción en tubería de inyección (LPC)
F2	Pérdidas por fricción en tubería de retorno (LPC)
F3	Pérdidas por fricción en tubería de producción (LPC)
g	Aceleración gravitacional (pie/seg ²)
GRD	Gradiente de fluido (LPC/pie)
G1	Gradiente del fluido motriz, GRDFM (LPC/pie)
G3	Gradiente del fluido de retorno, GRDFR (LPC/pie)
G4	Gradiente del fluido producido, GRDFP (LPC/pie)
HPFON	Potencia de fondo (HP)
HPSUP	Potencia superficial (HP)
h1	Profundidad de asentamiento de la bomba (pies)
h4	Surgencia (pies)
K	Constante (adimensional)
l	Longitud de tubería (pies)
LPC	Libras por pulgada cuadrada (lb/pulg ²)
P	Pérdida de presión por fricción (LPC)
PC	Pie cúbico
P/E	Relación bomba motor
ppm	Partes por millón



PPR	Presión de retorno del fluido matriz (LPC)
PS	Presión superficial de inyección del fluido matriz (LPC)
PWH	Presión en la cabeza del pozo (LPC)
PP1	Presión afectada por la gravedad específica (LPC x SG)
P1	Presión del fluido matriz a la entrada del motor de fondo (LPC)
P2	Presión del fluido matriz a la salida del motor de fondo (LPC)
P3	Presión a la salida de la bomba (LPC)
P4	Presión a la entrada de la bomba (LPC)
Q	Caudal total del fluido (BPD)
QBOM	Caudal mínimo requerido por la bomba (BPD)
QFM	Caudal del fluido matriz (BPD)
QMAX	Caudal máximo que produce el pozo (BPD)
Qo	Tasa de producción del petróleo (BPD)
Qw	Tasa de producción del agua (BPD)
q1	Desplazamiento del motor (BPD/SPM)
q4	Desplazamiento de la bomba (BPD/SPM)
q4max	Desplazamiento máximo de la bomba (BPD/SPM)
Q1	Caudal real del fluido matriz (BPD)
Q1'	Caudal teórico del fluido matriz, $q1 \times \text{SPM}$ (BPD)
Q4	Caudal real del fluido producido, $Q4 = Qo + Qw = Q$ (BPD)
Q4'	Caudal teórico del fluido producido, $q4 \times \text{SPM}$ (BPD)

XVIII

R	Número de Reynolds (adimensional)
S	Constante (adimensional)
SG	Gravedad específica del fluido (agua dulce = 1)
SPM	Velocidad de desplazamiento (emboladas por minuto)
Ta	Temperatura absoluta (°K)
T	Temperatura (°F)
V	Velocidad media del fluido (pie/seg)
x	Profundidad del pozo (pie)
δ	Gravedad específica del fluido, SG
η	Gradiente de viscosidad (cp o cs)
θ	Angulo de la línea de viscosidad con el plano horizontal
μ	Viscosidad dinámica o absoluta (centipoisse)
ρ	Densidad del fluido (dina-seg ² /cm ⁴)
ν	Viscosidad cinemática (centistokes)
ϕ_1	Relación de diámetros (adimensional)
ϕ_2, ϕ_3	Relación de excentricidad (adimensional)

INTRODUCCION

Debido a la imperiosa necesidad de implementar los sistemas de levantamiento artificial para conseguir una adecuada explotación de los hidrocarburos en los campos que ya no tienen energía para producir por flujo natural, es preciso realizar estudios sobre los distintos tipos de bombeo.

El bombeo hidráulico (tipo pistón), es uno de los métodos artificiales de producción, que al igual que los demás tiene como único objetivo, extraer la mayor cantidad de petróleo cuando la producción es tan baja, que no resulta rentable o cuando la presión ha declinado a tal punto que el pozo ya no produce por energía propia.

En nuestro país, el sistema de bombeo hidráulico junto con el bombeo neumático, han sido muy utilizados por el Consorcio CEPE-TEXACO; en cambio, en los campos de CEPE recién se lo está implementando. Para instalarlo se necesita realizar un estudio detallado tanto del pozo como del

yacimiento, así como también de una gran inversión, pero al final de cuentas se puede extraer grandes volúmenes de crudo y de manera rentable en situaciones que otros métodos fallan.

No se trata de decir que este tipo de bombeo resuelve todos los problemas, pero tampoco se lo debe tomar como el último recurso por agotar. De tal forma que el bombeo hidráulico debe ser considerado como un método más, eficaz y apto para determinadas condiciones.

En este trabajo se presenta un estudio detallado sobre el bombeo hidráulico, en el cual se incluye desde conceptos básicos hasta un programa de cómputo que realiza un diseño para un sistema de bombeo hidráulico tipo pistón específicamente.

CAPITULO I

CONSIDERACIONES GENERALES

Los métodos de levantamiento artificial de petróleo son muy usados en la actualidad. A nivel mundial se incrementa cada vez más el número de pozos que requieren de estos sistemas, debido a que no queda otra alternativa cuando la presión de fondo fluyente ha disminuido considerablemente.

Por este motivo, los ingenieros y técnicos dedican gran parte de su tiempo en buscar y seleccionar el mecanismo más adecuado para cada campo, de tal forma que se pueda encontrar el método apropiado para que la producción sea la máxima posible y al menor costo.

Cuando se va a elegir un sistema de levantamiento artificial, se deben considerar muchos factores, entre los cuales tenemos:

- 1.- Número de pozos a los cuales se les va a instalar un equipo de explotación artificial.

- 2.- Ubicación de los pozos y espaciamiento entre ellos.
- 3.- Tipo de completación (convencional o múltiple) y diámetro de las tuberías.
- 4.- Limitaciones en lo que se refiere a espacios físicos (ejem: pozos costa-afuera).
- 5.- Volumen total del fluido.
- 6.- Disponibilidad de la fuerza motriz del motor principal.
- 7.- Costo inicial de los sistemas artificiales de producción.
- 8.- Condiciones climáticas (frío, calor, viento, polvo y nieve).
- 9.- Corrosión.
- 10.- Presencia de sólidos tales como arena, sal, parafina, etc.
- 11.- Profundidad de la zona productora y desviación del pozo.

- 12.- Relación gas-aceite y producción de agua.
- 13.- Mecanismo de empuje: hidráulico, capa de gas, o gas en solución.
- 14.- Disponibilidad de servicios y equipo de reparación.
- 15.- Costos de operación y servicio.

Seguramente habrá más de un método que pueda ser empleado en ciertos pozos. Cada método debe ser calificado de excelente a pobre para tener los objetivos por separado y de acuerdo a esto, poder evaluar y decidir cual se adapta mejor a las condiciones del pozo o del yacimiento. Las consideraciones económicas juegan un papel muy importante e incluso puede decirse que constituyen un factor decisivo.

1.1 SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

Básicamente existen cuatro tipos de sistemas de levantamiento artificial:

- a.- Bombeo Neumático (Gas Lift).
- b.- Bombeo Eléctrico (Electrical Pumping).
- c.- Bombeo Hidráulico (Hydraulic Pumping).
- d.- Bombeo Mecánico (Rod Pumping).

Cada uno de estos métodos se subdividen a su vez en otros sistemas de acuerdo al equipo que se usa, a la compañía que los construye, etc. Pero de acuerdo a sus características generales, los cuatro mencionados son los principales.

Para seleccionar un sistema de levantamiento artificial (6), es muy importante considerar entre otros factores, la productividad del pozo. De acuerdo a este parámetro se podría recomendar lo siguiente:

>20,000 BPD	Bombeo Eléctrico o Neumático.
2,000-10,000 BPD	Cualquiera excepto Bombeo Mecánico.
100-1,000 BPD	Cualquiera.
<100 BPD	Cualquiera menos Bombeo Eléctrico.

Además de la productividad del pozo, se debe considerar la presión del yacimiento. Una vez que cae a una tercera parte de su presión hidrostática a la profundidad en cuestión, el bombeo neumático no es recomendable debido a la excesiva cantidad de gas que se necesita para levantar al líquido. Las bombas eléctrico-sumergibles pueden operar a bajas presiones, y tanto las bombas mecánicas como las hidráulicas pueden operar a presiones mínimas, con la condición de ventear el gas.

La profundidad es otro limitante:

>12,000 pies	Solamente Bombeo Hidráulico.
10,000-12,000 pies	Cualquiera excepto Bombeo Eléctrico.
<8,000 pies	Cualquiera.

Una gran desviación del pozo descarta la posibilidad del uso del bombeo mecánico y favorece al neumático debido al mínimo equipo necesario.

Cuando el fluido que se produce presenta alta viscosidad, el mejor método es el bombeo mecánico y el hidráulico; y si se produce arena, el neumático.

Como se ha visto, existe un gran número de parámetros que influyen en la selección de uno u otro sistema, entre los cuales cabe resaltar:

- Disponibilidad de gas o electricidad como fuerza motriz.
- Disponibilidad de compresores existentes o unidades de bombeo.
- Pozos aislados o múltiples.
- Restricciones ambientales.
- Costos de mantenimiento.

Johnson ha listado los problemas más comunes que afectan la selección de los sistemas artificiales (Tabla I), así como también las ventajas relativas de cada sistema para cada problema (Tabla II), (6).

1.1.1 Ventajas y desventajas de los sistemas artificiales de levantamiento (6).

BOMBEO MECANICO.

Este es el tipo más usado de los métodos de levantamiento artificial. Su principal ventaja es la simplicidad del sistema. Una gran desventaja ha sido el límite de profundidad, sin embargo, esta última puede aumentarse si se usan unidades con mayor capacidad de carga y varillas más resistentes al esfuerzo.

BOMBEO NEUMATICO.

Se lo compara con el bombeo hidráulico por su gran flexibilidad en profundidad y capacidad de producción. Sin embargo, y debido a la escasez de gas natural, este método no se aplica en algunas zonas. Puede ser usado en pozos que necesiten gas para iniciar el flujo, para pozos retro-inyectores de agua y para remover líquidos

TABLA I

PROBLEMAS COMUNES QUE AFECTAN LA SELECCION DEL METODO DE LEVANTAMIENTO
ARTIFICIAL (6)

PROBLEMA	BOMBEO MECANICO	BOMBEO HIDRAULICO	BOMBEO ELECTRICO	BOMBEO NEUMATICO
Arenamientos	Regular	Regular	Regular	Excelente
Parafinas	Pobre	Bueno	Bueno	Pobre
Alto GOR	Regular	Regular	Regular	Excelente
Pozo desviado	Pobre	Bueno	Regular	Bueno
Corrosión	Bueno	Bueno	Regular	Regular
Alto volumen	Pobre	Bueno	Excelente	*Bueno
Profundidad	Regular	Excelente	Regular	*Bueno
Diseño simple	Si	No	Si	No
Tamaño T.R.	Regular	Regular	Bueno	Bueno
Flexibilidad	Regular	**Excelente	Pobre	Bueno
Escala	Bueno	Regular	Pobre	Regular

* Altas profundidades y volúmenes están en función de la presión y cantidad de gas.

** Bombeo hidráulico tipo pistón está limitado en cuanto a la tasa de producción, en cambio el tipo jet puede manejar tasas más altas.



TABLA II

VENTAJAS Y DESVENTAJAS RELATIVAS DE LOS SISTEMAS ARTIFICIALES DE PRODUCCION
BOMBEO MECANICO (6)

VENTAJAS	DESVENTAJAS
(1) Diseño simple.	(1) La profundidad está limitada por el uso de las varillas.
(2) Eficiente, sencillo y fácil de operar.	(2) La gran producción de sólidos presenta problemas.
(3) Unidades fácilmente cambiables a otros pozos con mínimos gastos.	(3) En los pozos con presencia de gas, disminuye la eficiencia volumétrica.
(4) Aplicable a pozos con diámetro reducido y completaciones múltiples.	(4) Es susceptible a los problemas de parafina.
(5) Fácil de tratar la corrosión y escala.	(5) En operaciones costa afuera resulta muy pesado y voluminoso.
(6) Puede usar gas o electricidad como fuerza motriz.	(6) Interfiere en las zonas urbanas.
(7) Puede levantar crudos de altas viscosidades y grandes temperaturas.	(7) Los pozos desviados presentan problemas de fricción.

BOMBEO HIDRAULICO

VENTAJAS	DESVENTAJAS
(1) Puede levantar grandes volúmenes a grandes profundidades.	(1) Sistemas con fluido aceite representa un gran riesgo de incendio.
(2) Aplicable en zonas urbanas y y costa afuera.	(2) La alta producción de sólidos causa problemas.
(3) Flexibilidad a cambios de condiciones de producción.	(3) Los costos operacionales son relativamente caros.
(4) Puede usar gas o electricidad como fuerza motriz.	(4) Instalaciones que ventean gas son más caras porque necesitan de una tubería adicional.
(5) Aplicable a completaciones múltiples.	(5) Dificultad para obtener buenas pruebas de pozos.
(6) Si hay una pequeña cantidad de gas o si se ventea gas, las bombas hidráulicas son eficientes.	(6) Problemas en tratar al fluido motriz cuando es agua.
(7) Los químicos pueden ser añadidos al fluido motriz para evitar la corrosión en tuberías y romper emulsiones.	
(8) La bomba libre es fácilmente recuperable.	

BOMBEO ELECTRICO

VENTAJAS	DESVENTAJAS
(1) Maneja grandes volúmenes de fluidos en pozos someros.	(1) No es aplicable para completaciones múltiples.
(2) Aplicable en zonas urbanas y costa afuera.	(2) Solamente se usa la electricidad como fuerza motriz.
(3) Los pozos desviados no presentan problemas.	(3) Se necesita alto voltaje.
(4) La corrosión y la escala son fáciles de tratar.	(4) Mínima flexibilidad para cambio de condiciones de producción.
(5) Para grandes volúmenes el costo de producción es muy bajo.	(5) Problemas continuos con el cable eléctrico.
	(6) Profundidad limitada debido al costo del cables y a lo difícil de instalar suficiente energía en el fondo del pozo.

BOMBEO NEUMATICO

VENTAJAS	DESVENTAJAS
(1) Flexibilidad para adaptarse a cualquier profundidad y tasa de producción.	(1) Requiere continua inyección de gas.
(2) Aplicable en zonas urbanas y costa afuera.	(2) No es eficiente para campos pequeños.
(3) Adaptable a pozos desviados.	(3) Problemas de congelamiento de gas e hidratos.
(4) La presencia de materiales abrasivos tales como arena no causan mucho problema.	(4) Dificultad para producir petróleos con emulsiones y muy viscosos.
(5) Es fácil conocer presiones y gradientes del fondo del pozo.	(5) No se puede usar en pozos que tengan dañada la tubería de revestimiento y su reparación es cara.
(6) No hay problema para producir en pozos con gas.	(6) Existe problemas con las líneas de flujo superficiales que estén sucias.
(7) Se puede usar en pozos desviados.	(7) Se presentan problemas de seguridad debido a la alta presión de operación del gas.



en pozos de gas.

BOMBEO HIDRAULICO.

La gran ventaja de este sistema es que no tiene limitaciones en lo que se refiere a profundidad. Su costo inicial es elevado, sin embargo si se desea desplazar grandes volúmenes a grandes profundidades, resulta ventajoso económicamente.

BOMBEO ELECTRICO SUMERGIBLE.

Su principal ventaja es que maneja grandes volúmenes de fluido en pozos someros. El alto costo y su limitante en profundidad, son sus mayores desventajas. El principal problema de este método es la presencia de gas. Su costo de reparación y mantenimiento es muy elevado.

1.2 FUNDAMENTOS DEL BOMBEO HIDRAULICO.

Al igual que todos los sistemas artificiales de producción, el bombeo hidráulico tiene como propósito, mantener una presión de fondo adecuada, de tal forma que se permita el flujo desde la formación hacia el fondo del pozo y a su vez desde este sitio hacia la superficie. En otras palabras, el objetivo del bombeo

hidráulico es proporcionar energía adicional para restaurar la presión y poder producir.

A breves rasgos, el bombeo hidráulico consiste de un sistema integrado de un motor y una bomba reciprocante como equipo superficial, el mismo que está acoplado a una tubería conectada al pozo. Este equipo superficial transmite potencia a una unidad instalada en el fondo del pozo mediante acción hidráulica.

La unidad de bombeo hidráulico (instalada en el pozo), es un mecanismo formado por un motor alternativo hidráulico acoplado a una bomba (12). Esta unidad se coloca por debajo del nivel del fluido en el pozo, tal como lo muestra la figura 1.1.

El fluido motriz inyectado a alta presión hace que el motor trabaje en forma muy parecida al motor alternativo de vapor, excepto que el fluido motriz es petróleo o agua en lugar de vapor. La bomba accionada por el motor, bombea el fluido desde el fondo del pozo hacia superficie.

Un sistema completo de bombeo hidráulico puede ser observado en la figura 1.2, (12). El sistema de fluido motriz, representado por el tanque A, será analizado en el Capítulo III. Las secciones subsiguientes tra-

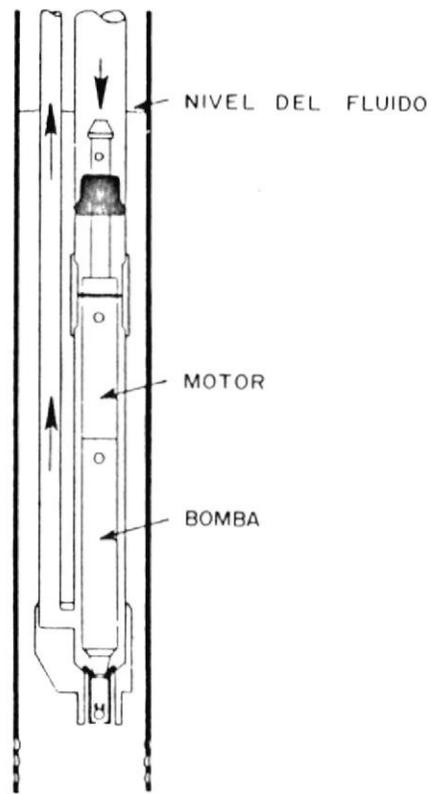


FIG. 1.1: Bomba hidráulica de subsuelo - Tipo pistón (6)

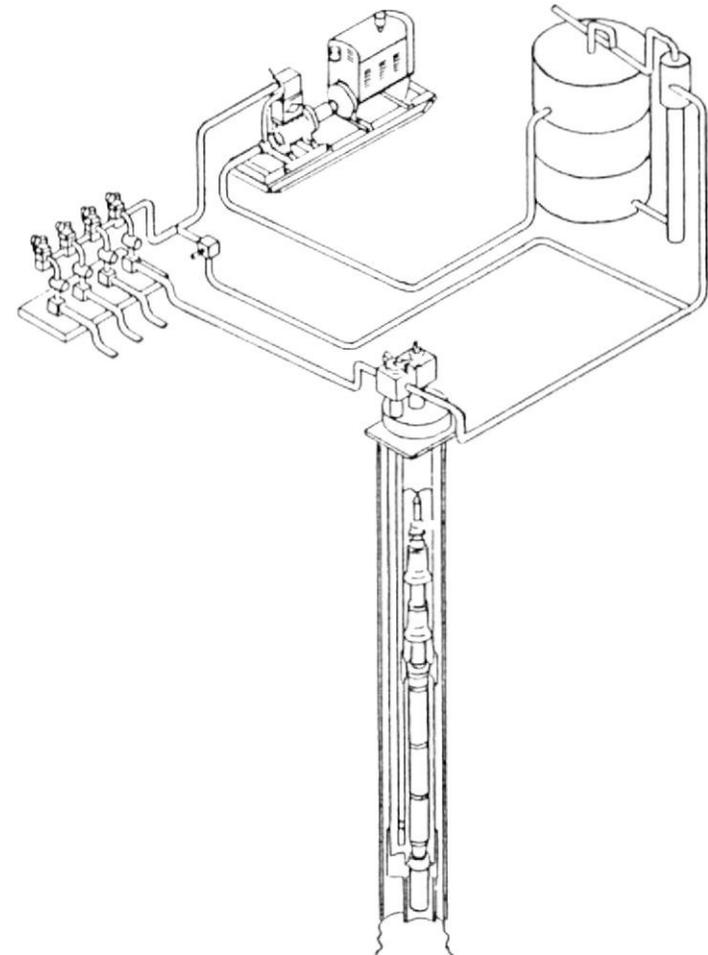


FIG. 1.2: Sistema completo de Bombeo hidráulico (6)

tan, según el orden de aparición, bombas de superficie (B), satélite de control (C), cabezales de boca del pozo (D) y disposición de la tubería de producción (E).

De acuerdo al tipo de bomba de subsuelo que se use, el bombeo hidráulico se divide en:

- Bombeo hidráulico de desplazamiento positivo o tipo pistón.

- Bombeo hidráulico tipo jet.

Todas las bombas convencionales operan por medio del pistón de la bomba reciprocante de desplazamiento positivo manejado por el pistón del motor acoplado. En cambio, las bombas jet son un tipo especial de bombas hidráulicas de subsuelo que no tienen partes móviles y efectúa su acción de bombeo por medio de transferencia de momento entre el fluido motriz y el fluido producido.

Este trabajo se refiere única y exclusivamente al bombeo hidráulico tipo pistón. Y de ahora en adelante cada vez que se mencione al bombeo hidráulico, se tratará de este tipo específicamente.

1.3 APLICACION DEL BOMBEO HIDRAULICO (8).

Entre las principales aplicaciones que se le da al bombeo hidráulico están:

MAYORES PROFUNDIDADES.- No tiene límite de profundidad y puede levantar grandes volúmenes a grandes profundidades. Ha sido instalado hasta 18,000 pies. En el campo Reno (Nevada), gracias a la flexibilidad que presenta el bombeo hidráulico, se pudo producir sin ningún problema a una profundidad de 15,000 pies y a un costo económico.

ALTA CAPACIDAD.- Se lo consigue usando dos o más bombas en arreglo tándem siempre y cuando sean adaptables a la tubería de producción y al ensamblaje de fondo; pueden operar con ambos motores y bombas en paralelo. También se pueden hacer instalaciones especiales de dos o más bombas con un solo motor, para lo cual se necesita de ciertos adaptadores.

Con cualquiera de éstos y otros arreglos se puede producir grandes volúmenes de petróleo.

ZONAS MULTIPLES.- Con un diseño de fondo apropiado se puede producir de dos o más zonas, ya sea juntas o separadas. Para esto se utilizan arreglos de una o va-

rias bombas.

Normalmente las instalaciones de bombas simples (fija o libre), se las emplea para producir de dos zonas de manera alternada.

En el caso de bombas múltiples, existen diferentes tipos de arreglos: dos bombas por separado, dos bombas con el mismo motor, o dos bombas en arreglo tándem. Se debe buscar la manera más apropiada de acuerdo al caso que se tenga.

POZOS DIRECCIONALES.- La eficiencia de las bombas hidráulicas no se ve afectada por las desviaciones de los pozos. De esta manera, las bombas son diseñadas para poder operar en pozos horizontales, y no se ha presentado problema alguno en pozos con un ángulo máximo de 70° con la vertical. Esta es una gran ventaja, especialmente en zonas industriales, residenciales y costeras, ya que se pueden concentrar los pozos. Igual caso sucede con las instalaciones costa afuera.

PELIGROS EN SUPERFICIE.- Las bombas hidráulicas libres se usan en lagos o en áreas de inundación, donde la bomba pueda ser sacada y reemplazada por una sola persona en un pequeño bote. Para realizar operaciones normales tales como control y chequeo de las produc-

ciones y de la velocidad de la bomba, así como también el chequeo de las eficiencias y niveles de fluidos aproximados, se pueden hacer desde una estación ubicada en tierra firme.

La nieve, el viento, el polvo, la lluvia, e inclusive los derrumbes tienen poco efecto en la operación de las bombas, a menos que sea muy exagerado para dañar la tubería de revestimiento.

CRUDOS PESADOS.- Donde se producen petróleos de viscosidades altas, se pueden usar las bombas hidráulicas con sistemas de fluido motriz cerrado, siendo el fluido motriz un aceite de viscosidad seleccionada.

Cuando se usan sistemas abiertos (ver capítulo II), se debe usar como fluido motriz un aceite de baja viscosidad, de tal forma que al mezclarse con el fluido producido, disminuya su viscosidad y por consiguiente, las pérdidas de presión por fricción.

En forma general, el bombeo hidráulico es adaptable en pozos con profundidades desde 3,000 hasta 18,000 pies, produciendo desde gastos menores de 100 hasta 15,000 barriles por día (BPD) y el equipo superficial maneja más de 300 BPD.

Además, este método tiene las siguientes ventajas significativas:

- El gasto de bombeo es fácilmente controlable.
- Las bombas libres se recuperan de manera fácil y rápida para su reparación.
- Al fluido motriz se le puede inyectar inhibidores de corrosión, parafina, así como también rompedores de emulsiones.

1.4 CONSIDERACIONES ESPECIALES DEL BOMBEO HIDRAULICO.

PRODUCCION DE GAS.- A medida que aumenta la producción de gas, disminuye la eficiencia de la bomba. Este comportamiento es típico de cualquier bomba de desplazamiento positivo.

PRODUCCION DE ARENA.- La producción de abrasivos tales como arena, causa problemas en las bombas. El valor permisible es muy limitado debido a que disminuye la eficiencia de la bomba. El arenamiento en la parte superior de la bomba de subsuelo provocará problemas para su recuperación.

DIAMETRO DE LA TUBERIA DE REVESTIMIENTO.- El tamaño y número de tuberías a instalarse en un sistema de bombeo hidráulico está limitado por el tamaño de la



tubería de revestimiento. En general, del tamaño de esta tubería depende la completación (tuberías de inyección y producción).

1.5 PROBLEMAS COMUNES ENCONTRADOS EN OPERACIONES CON BOMBEO HIDRAULICO.

Un sistema de bombeo hidráulico puede tener fallas debido a motivos que no tengan nada que ver con el diseño sino por problemas de operación o por las condiciones del pozo. Es necesario entonces, estar conscientes de esto para evitar que se presenten los problemas, y si son inminentes, solucionarlos.

A continuación se dará una breve explicación sobre cada una de estas fallas que afectan directamente sobre la producción.

a) FALTA DE FLUIDO MOTRIZ.- Cuando por cualquier causa se presenta una deficiencia del fluido motriz, se detectará por la caída de presión. Generalmente la bomba no da emboladas y el problema puede ser que la bomba que inyecta al fluido motriz no descarga la cantidad requerida, lo cual puede ser debido a taponamiento de la tubería de suministro, falta de fluido motriz en el tanque, etc.

b) OBSTRUCCIONES DEL FLUJO.- Cuando se produce una obstrucción en la corriente de fluidos, existe ya sea un aumento en la presión de funcionamiento, una disminución en la producción, o ambas cosas a la vez.

c) FUGAS.- Es un problema muy frecuente, y se produce tanto en las tuberías superficiales, como en aquellas que están dentro del pozo. Cuando existe un escape en la tubería de producción, se produce una disminución en la presión de operación, lo cual provocará una merma en el volumen de producción.

Generalmente las fugas empiezan con un mínimo goteo que no es detectable en primera instancia, pero después van aumentando gradualmente acarreado las respectivas consecuencias.

d) CAMBIO DE CONDICIONES DEL POZO.- En la vida productiva del pozo existen cambios en sus características, los cuales inciden sobre las condiciones de operación del sistema de bombeo hidráulico. Por ejemplo, el nivel del fluido puede elevarse debido al exceso de gas en el fluido producido y traerá como consecuencia una caída de presión.

e) DESGASTE DEL MOTOR.- El desgaste normal de las pie-

zas del motor de la bomba de fondo, se refleja en el aumento de la cantidad de fluido motriz necesaria para mantener la velocidad de la bomba.

f) CONTAMINACION DEL FLUIDO MOTRIZ.- La contaminación puede ser producto del mal funcionamiento de los separadores, pero principalmente se presenta en el momento de la remoción de sólidos asentados en el tanque de almacenamiento del fluido motriz, así como también con las partículas provenientes del pozo y de las tuberías. La presencia de estos sólidos en el fluido motriz taponan alguna tubería y consecuentemente, se reduce la productividad.

g) PRODUCCION DE GAS.- Las bombas de desplazamiento positivo no deben manejar gas. Si la producción de gas es elevada, se debe colocar un separador en el fondo, y el gas separado se debe ventear por una tubería o por el espacio anular. Las figuras 1.3 y 1.4 muestran el efecto del gas en solución y del gas libre sobre la eficiencia de la bomba.

h) CORROSION.- La corrosión en el fondo del pozo puede producirse por la electrólisis entre diferentes tipos de metales, el contenido de H₂S o CO₂ en el fluido producido, agua con alta salinidad, o la oxigenación de metales.

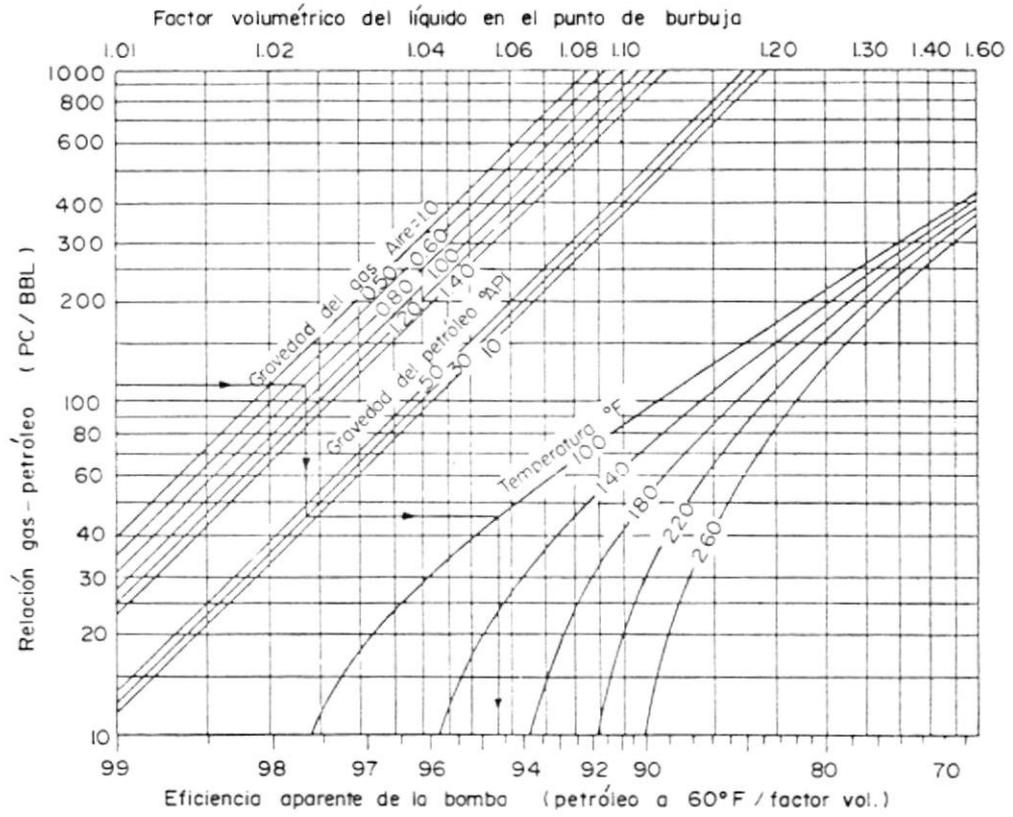


FIG. I.3: Eficiencia aparente de la bomba(8)

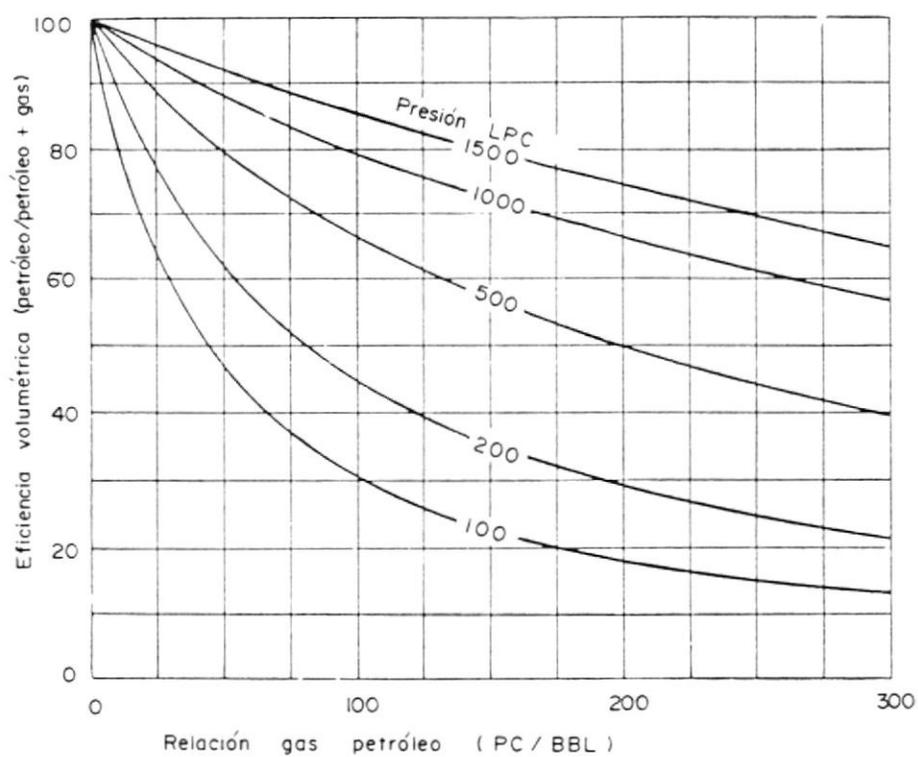


FIG. 1.4: Eficiencia aparente de la bomba cuando se produce gas libre (g)



BIBLIOTECA

Para disminuir la corrosión se suelen usar elementos hechos de materiales de alta calidad, tales como níquel, cromo, cobalto o aleaciones. Sin embargo, también se puede controlar la corrosión mediante la inyección de químicos, los cuales se pueden agregar al fluido motriz mediante una bomba química. Para proteger la parte interna de la tubería de revestimiento y la parte externa de la tubería de producción, se hacen baches de tratamiento por el espacio anular.

i) ABRASIVIDAD.- La producción de arena aumenta la abrasividad del fluido pudiendo dañar las partes metálicas del sistema en poco tiempo. Para evitar la abrasividad en tuberías se debe eliminar el movimiento de partículas en éstas. En bombas, se minimiza por el mecanismo de lubricación y con el uso de pistones forjados que previenen la abrasión.

j) TAPONAMIENTOS.- La acumulación de parafina en la parte superior de la tubería de producción, cabeza del pozo o líneas de flujo, provocará taponamientos, los mismos que causarán una contrapresión.

Para evitar los taponamientos se debe remover la parafina, lo cual se consigue con la inyección de inhibidores o con la circulación de fluidos a altas

temperaturas.

CAPITULO II

FLUIDO MOTRIZ Y TIPOS DE SISTEMAS DE FLUJO EN BOMBEO HIDRAULICO

En un sistema de bombeo hidráulico, uno de los principales elementos es el fluido motriz, el mismo que debe tener características específicas, tales como : contenido de sólidos mínimo, baja viscosidad y alto poder de lubricación, entre otras.

La función principal del fluido motriz es proporcionar la energía necesaria para accionar el motor de la unidad de producción, así como también, lubricar todas las partes del sistema. Cabe mencionar que el control del funcionamiento de la válvula del motor, depende exclusivamente de las propiedades del líquido que se use como fluido motriz, de ahí que la calidad de éste, especialmente el contenido de sólidos (12), es un factor importante en la vida útil de la bomba y en los costos de reparación. Las pérdidas de fluido motriz en las uniones y espacios libres de la bomba, son función del desgaste causado por los sólidos abrasivos y la viscosidad del fluido motriz.

El contenido de sólidos permisible (12), varía en cierto grado según la definición de "vida útil aceptable de la bomba" y también según la viscosidad; generalmente se acepta de 10 a 15 ppm para petróleos de 30 a 40 °API.

Para petróleos más densos, se puede tolerar mayor desgaste y, consecuentemente, mayor contenido de sólidos, mientras que para el agua se permite menor desgaste y menos sólidos.

Hay dos tipos básicos de sistemas de fluido motriz (12):

- 1.- El sistema de fluido motriz cerrado (FMC), donde el fluido motriz de superficie y profundidad se mantienen dentro de un circuito cerrado y no se mezcla con el fluido producido.
- 2.- El sistema de fluido motriz abierto (FMA), donde el fluido motriz se mezcla con la producción de fondo y retorna a la superficie como fluido motriz y producción mezclados.

2.1 TIPOS DE FLUIDOS

En un sistema de bombeo hidráulico, se usan los siguientes fluidos : agua, aceite y gas.

2.1.1 Fluido agua

En 1958 se inició un programa intensivo sobre el uso del agua como fluido motriz en bombeo hidráulico (3). Antiguamente, ciertas propiedades del agua, tales como: baja viscosidad, ausencia de propiedades lubricantes, tendencia corrosiva y acción bacterial; hacían imposible su uso como fluido motriz. En la actualidad, existen aditivos para incrementar el índice lubricador del agua e inhibir la corrosión, los mismos que pueden ser usados en agua de mar y en salmueras de campos petrolíferos.

CARACTERISTICAS DEL AGUA (3)

Se deben dar consideraciones especiales a los distintos tipos de agua: dura, suave, de mar o salmuera. En la tabla III se muestran los resultados de un estudio realizado con 8 tipos de agua. Con la posible excepción del agua N° 8, la cual tenía una salinidad muy alta, estas aguas pueden ser usadas exitosamente como fluido motriz. En el campo, el análisis de una salmuera particular producida, indicará si el agua es o no adaptable como fluido motriz, además determinará cual aditivo debe ser usado.

TABLA III
ANÁLISIS DE 8 MUESTRAS DE AGUA LIBRE Y SALMUERAS
(CONCENTRACIONES EN PPM)

LOCALIZACION	# DE AGUA	Na	Ca	Mg	K	SO ₄	Cl	HCO ₃	TOTAL DE FLUIDOS	PH
AGUA LIBRE HUNTINGTON CALIFORNIA	1	139	4	1	10	11	22	318	540	86
AGUA LIBRE WEST LOS ANGELES CALIFORNIA	2	88	50	15	10	165	58	162	570	81
AGUA LIBRE LONG BEACH CALIFORNIA	3	180	48	16	10	307	9	143	824	89
SALMUERA SANSIENNA CALIFORNIA	4	12,000	110	6	-	6	14,000	1,700	27,882	78
AGUA LIBRE LONG BEACH CALIFORNIA	5	8,700	601	1,215	320	2,173	16,494	376	29,897	79
SALMUERA EAST LOS ANGELES CALIFORNIA	6	10,653	901	39	210	-	18,252	159	30,609	80
SALMUERA CINTRONELLE ALABAMA	7	12,326	7,287	638	420	-	34,000	146	55,101	67
SALMUERA HOCKLEY COUNTRY TEXAS	8	42,580	16,016	3,402	-	1,039	10,300	116	166,675	50

El agua tiene una viscosidad muy baja, (0.5 a 1.5 centistokes) en comparación con los crudos que tienen valores de viscosidades tan altas como 1,000 centistokes. Esto se lo puede apreciar claramente en la figura 2.1.

Otra propiedad importante del agua, es su densidad, la cual es considerablemente grande en comparación con la del aceite crudo (Figura 2.2).

Cabe resaltar que las propiedades de viscosidad y densidad que presenta el agua, así como la selección del tipo de agua empleada como fluido motriz, tendrán un efecto importante sobre el diseño del equipo mecánico.

El agua es relativamente fácil de mantenerla limpia de materiales extraños tales como arena. De acuerdo a la ley de Stokes la velocidad de asentamiento de las partículas, es inversamente proporcional a la viscosidad del fluido. Por esta razón, la velocidad de asentamiento del agua es mucho mayor que en aceites más viscosos.

Sin embargo, para que el agua cumpla totalmente las condiciones necesarias que debe reunir un fluido motriz, se debe remover las partículas de

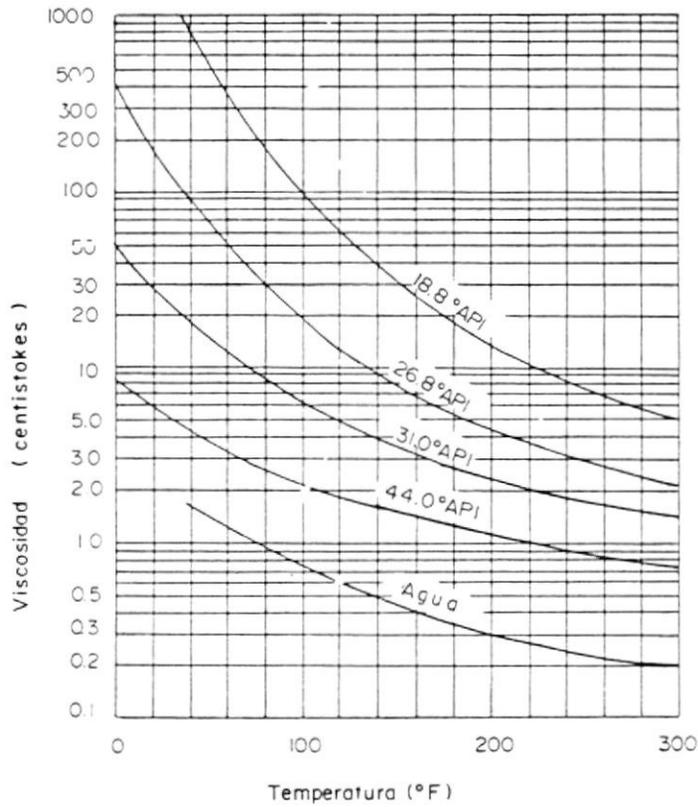


FIG. 2.1: Viscosidad del agua y algunos crudos (3)

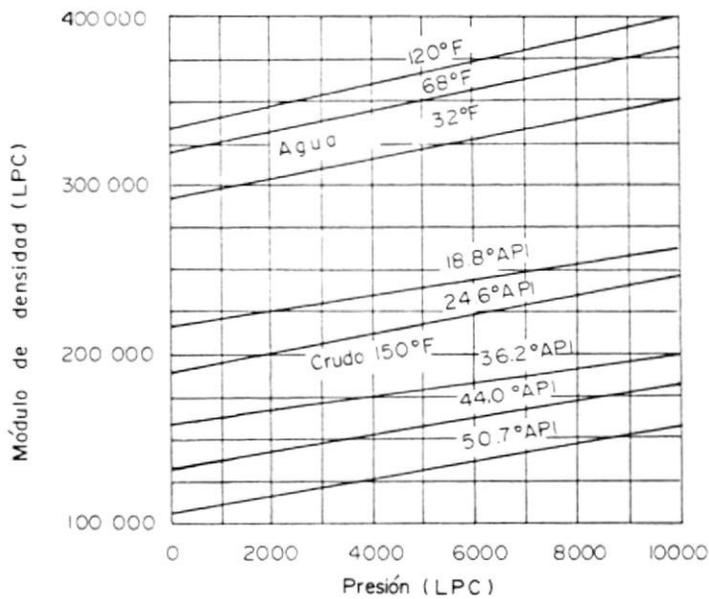


FIG. 2.2: Módulo de densidad del agua y algunos crudos (3)

arena, para esto, se aconseja instalar un filtro en la tubería que llevará el agua al tanque del fluido motriz. Además, la arena debe ser extraída, a fin de que no se le permita entrar al sistema de fluido motriz.

Probablemente el agua tenga oxígeno disuelto, el cual puede ser tan alto como 8-9 ppm. Si la velocidad de bombeo del sistema es alta, la cantidad del oxígeno introducido puede ser grande.

A fin de minimizar la corrosión, el contenido de oxígeno debe ser mantenido tan bajo como sea posible, no deberá exceder a 100 partes por millar de millones.

Para ayudar a controlar la corrosión en la bomba de fondo, en la sarta de tubería y en el sistema de balance, se debe usar un inhibidor de corrosión. Los aditivos actuales tienen aproximadamente un 3% de inhibidor de corrosión y forman una película protectora sobre las partes del metal.

En base a análisis hechos con salmueras producidas, se ha considerado que el agua de mar puede ser usada como fluido motriz. El problema de co-

rosión que presentaría el agua salada debido a la presencia de bacterias reductoras de sulfatos, puede ser controlado con el uso de bactericidas.

Aún no existe un aditivo completo que pueda tratar todos los problemas del agua, hay aditivos que sirven para aumentar la acción lubricante e inhiben la corrosión, pero no desplaza el oxígeno ni es bactericida.

EFECTO DEL AGUA SOBRE EL DISEÑO (3)

La baja viscosidad y la alta densidad del agua hacen necesario modificar el diseño en la válvula de la bomba de fondo. El golpeteo o choque ondulatorio puede ser minimizado para prevenir falla mecánica y eliminar el ruido de operación.

Debido a la aereación del agua en la cámara de la bomba, es necesario que toda esta área esté perfectamente pulida, para evitar de esta manera las pérdidas de energía por fricción.

Por razones económicas, las pérdidas de fluido motriz deben ser minimizadas, lo cual se consigue usando sellos herméticos en las juntas, y en

algunos casos, se puede eliminar la lubricación del pistón de la bomba a fin de conseguir este objetivo.

Debido a la baja viscosidad del agua, cualquier falla en las juntas de la tubería, por pequeña que sea, puede provocar que las pérdidas de fluido motriz aumenten en varios barriles por día (BPD). Por este motivo, y para evitar estos problemas, se debe hacer un chequeo detallado de todo el equipo superficial y subsuperficial, antes de iniciarse la operación de bombeo hidráulico.

Cuando se usan aceites de bajas densidades como fluido motriz, las viscosidades pueden ser tan altas como 10,000 centistokes. Un aceite de 19.8 °API a 120 °F tiene una viscosidad de 70 centistokes. Si se usa aceite como fluido motriz en una tubería de 1 pulg. y si la pérdida por fricción está sujeta a un 10%, la velocidad de flujo es 100 BPD (Figura 2.3). Sin embargo, si se usa agua a 125 °F como fluido motriz, la viscosidad es 0.5 centistokes y la misma tubería de 1 pulg. puede desplazar aproximadamente 500 BPD (Figura 2.3).

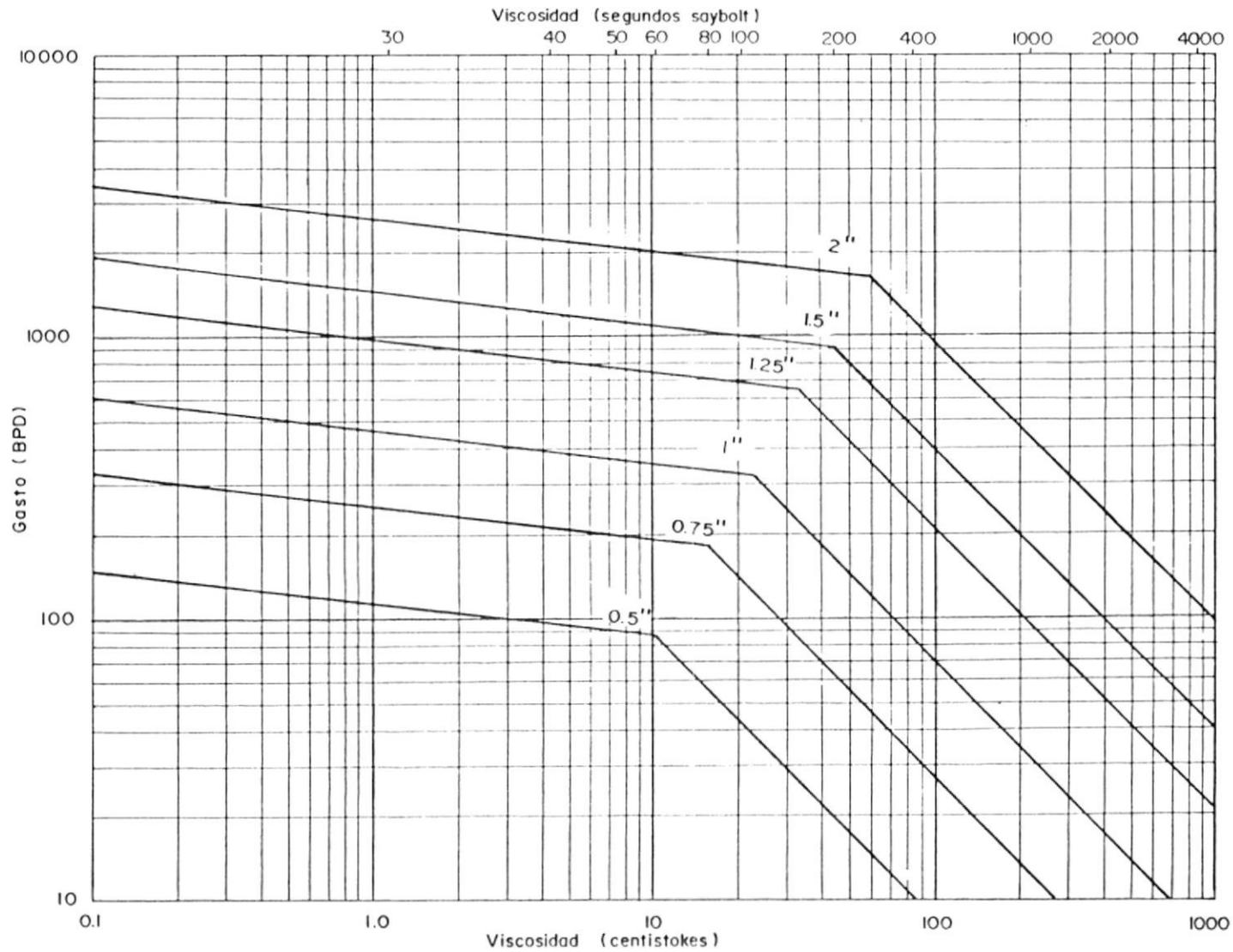


FIG. 2.3: Capacidad transportadora de fluidos en tuberías (3)

Además, la figura 2.3 muestra que al usar agua como fluido motriz, el tamaño de la tubería puede ser reducido a 1/2 pulg. y descargará 100 BPD con 10% de pérdida por fricción.

En un sistema de bombeo hidráulico, el uso del agua como fluido motriz, presenta las siguientes ventajas:

- Se reduce el peligro de incendio y la contaminación superficial en zonas urbanas.
- La estimación de producción es simple.
- Facilita las múltiples instalaciones en el pozo, debido a que la fricción con el fluido es mínima y no contiene los componentes volátiles que posee el aceite.
- Los costos de instalación son más bajos debido a que se requiere un tanque de fluido motriz más pequeño.
- No se necesita tanque de asentamiento como cuando se trata de sistemas de fluido motriz aceite, ya que la arena o abrasivos se remueven más fácilmente.



BIBLIOTECA

- No hay problema de parafina.

2.1.2 Fluido aceite

Desde que se inició el bombeo hidráulico, el fluido motriz aceite ha sido el más usado.

Debido a la alta viscosidad y baja densidad que presenta el aceite en comparación con el agua, se necesita hacer un tratamiento antes de usarlo como fluido motriz.

TRATAMIENTO DEL CRUDO PARA EMPLEARSE COMO FLUIDO MOTRIZ

Para evitar que el fluido motriz aceite disminuya la vida útil del motor hidráulico, lo primero que se debe hacer es liberarlo de cualquier material abrasivo y de sustancias corrosivas.

Al fluido producido se lo libera de los materiales indeseables, a fin de que pueda ser usado como fluido motriz. Para esto se requiere de un tratamiento adecuado.

Existen casos en los cuales el crudo del campo presenta mejores condiciones y una separación

eficiente de gas puede ser suficiente. Sin embargo hay que cuidar que el crudo a emplearse como fluido motriz no debe contener agua, arena y demás materiales abrasivos.

En casos extremos, después de deshidratar y desgasificar el crudo, será necesario de un equipo adecuado; quizás haya que usar filtros o separadores centrífugos para desechar los sólidos, o en su defecto, se deban instalar calentadores adicionales ya sea para estimular el asentamiento del agua, como para mantener la parafina en solución. Por lo general, cuando se usa fluido motriz aceite, los fabricantes de bombas hidráulicas, se refieren a un aceite con una viscosidad de 10 centistokes a la temperatura de la bomba, lo cual corresponde a una densidad de 30 °API a 38 °C o de 25 °API a 76 °C.

Se ha usado crudos de 50 °API, pero éstos no poseen mayor poder de lubricación. Los crudos de menos de 20 °API suelen ser muy espesos, aunque se ha usado crudos de hasta 10 °API.

En un sistema abierto, se puede confiar en que por fuerza gravitacional, se separan las burbujas de gas, las gotas de agua y los granos de a-

rena. La velocidad de asentamiento de las partículas, determinará el régimen al cual fluirá el aceite por el equipo acondicionador. De tal forma que las partículas que se asientan a una velocidad final menor que la velocidad ascendente del fluido, en recipientes acondicionadores, serán arrasadas a través de la descarga del recipiente. El tamaño del recipiente acondicionador determina el tamaño mínimo de los granos de arena que serán arrastrados por el aceite hidráulico.

Los fabricantes suelen recomendar una velocidad vertical no mayor de 30 cm/hora. En recipientes de asentamiento a tal velocidad, sólo pequeñas gotas de agua, menores de 0.0127 mm de diámetro y granos de arena de 0.0025 mm tratarían de pasarse. Pero las gotas de agua tienden a unirse, y los granos muy pequeños tienden a agruparse unos a otros; por lo tanto, aún partículas más pequeñas se suelen remover.

Una buena separación es de primordial importancia. El gas disuelto liberado y las burbujas a través de los compartimentos del tanque de asentamiento del fluido motriz aceite, complican el asentamiento del agua y los sólidos.

Es por esto, que el tanque asentador de fluido motriz no debe recibir crudo que no haya pasado por un dosificador a presión atmosférica. La remoción de gas que ocurre en los calentadores, tratadores y en separadores de aceite y gas, sometidos a presión, suele ser incompleta.

El dosificador es simplemente un tubo vertical que tiene un diámetro de 15 cm aproximadamente y cuya parte superior es agrandada. El crudo producido entra por encima y sale por el fondo, para luego entrar en el tanque de asentamiento del fluido motriz. El gas liberado en el dosificador sale por arriba.

Existen quienes creen que no se necesita el tanque de asentamiento del fluido motriz aceite, debido a que se cuenta con un tanque deshidratador de crudo, pero tal criterio es erróneo, puesto que la bomba del fluido motriz aceite nunca deberá tomar succión directamente de un tanque deshidratador. El crudo debe tener las condiciones que sólo se obtienen mediante el uso de un tanque de asentamiento.

Para sistemas cerrados, los requisitos de manejo del fluido motriz aceite suelen ser menos es-

trictos, ya que el aceite usado llega a superficie sin mezclarse con el fluido producido.

2.1.3 Fluido gas (8)

La existencia de gas a altas presiones en algunas áreas, ha llamado la atención para considerar la posible utilización de éste como fluido motriz. Sin embargo, aún no se tiene mayor información acerca de este hecho, pero en el futuro, el gas podrá ser empleado como fluido motriz.

2.2 SELECCION DEL TIPO DE FLUIDO MOTRIZ

La selección del aceite o del agua como fluido motriz, depende de muchos factores. A continuación se presenta una lista considerando la mayoría de los factores involucrados en esta selección.

- Se prefiere el agua como medida de seguridad y además no contamina el medio ambiente (2).

- En sistemas cerrados, la inyección de químicos para controlar la lubricación y la corrosión no incrementa los costos si se usa agua (frecuentemente se usa agua dulce como fluido motriz).

- En sistemas abiertos, la inyección de químicos al fluido motriz agua, puede incrementar los costos significativamente, debido a que el agua se combina con el fluido producido, por lo que se requiere de una inyección continua de inhibidores.
- Cuando se usa fluido motriz aceite, rara vez se incrementan los costos por el uso de agentes químicos, ya que solamente se usan de manera ocasional.
- El mantenimiento de las bombas superficiales es menor cuando se utiliza aceite, ya que si se usa agua, aumenta las pulsaciones (vibraciones) en las tuberías y contribuye a la fatiga de los componentes de la bomba.
- Las bombas subsuperficiales son sensibles a la calidad lubricante y viscosa del fluido motriz. Debido a que el agua a la temperatura del fondo del pozo prácticamente no tiene propiedades lubricantes, si no se hace un tratamiento adecuado, puede disminuir el tiempo de la vida útil de la bomba.
- La estimación del aceite producido está sujeta a errores cuando se usa fluido motriz aceite.
- Generalmente la presión de superficie requerida es



menor cuando se usa fluido motriz agua.

2.3 SISTEMA DE FLUIDO MOTRIZ CERRADO (FMC) (8),(12)

En el sistema de fluido motriz cerrado, se coloca una tubería adicional en el fondo del pozo para que el fluido motriz retorne a la superficie, de tal forma que en este sistema, el fluido motriz es circulado al fondo del pozo para accionar la unidad subsuperficial, pero no se mezcla con el fluido producido, sino que retorna a superficie por separado.

El hecho de que se necesite una tubería adicional, hace que este sistema sea más caro que el sistema de fluido motriz abierto y, consecuentemente, menos utilizado (2). La figura 2.4 muestra el equipo superficial típico para un sistema de fluido motriz cerrado.

El fluido motriz se inyecta al pozo y retorna por otra tubería para ser enviado nuevamente al tanque pequeño de fluido motriz y ser recirculado.

El fluido producido (en este caso por espacio anular), va hacia el tanque receptor y de ahí al de almacenamiento.

En este tipo de circuito, es común el empleo de un

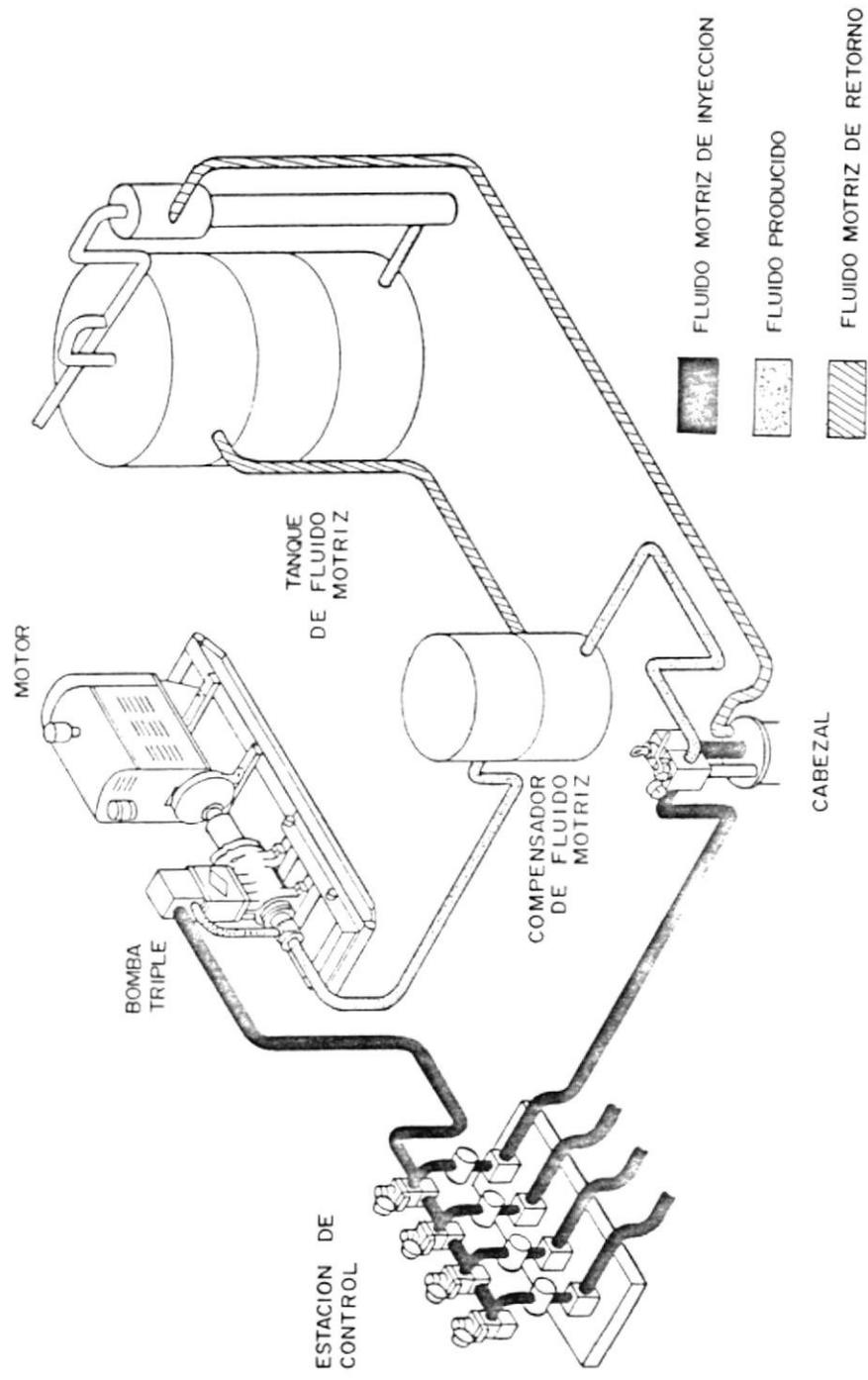


FIG. 2.4: Sistema de fluido motriz cerrado (FMC)

sistema de tres sartas de tubería dentro de la tubería de revestimiento. Por una de ellas, se inyecta el fluido motriz, por otra retorna el mismo y por la tercera, circulará el fluido producido. Este sistema, tiene además la flexibilidad de poder emplearse el espacio anular de las tuberías de producción con la tubería de revestimiento como un conducto para ventear el gas.

Un arreglo de tres sartas de tubería, es el más completo en un sistema de fluido motriz cerrado; sin embargo, también pueden emplearse otros arreglos tales como el de dos tuberías, en el cual por una tubería se inyecta el fluido motriz y por la otra sube el fluido producido, utilizándose en este caso, el espacio anular para el retorno del fluido motriz.

2.3.1 Aplicación y ventajas del FMC

El sistema FMC tiene una gran aplicación en pozos localizados en lugares urbanos y en plataformas costa afuera (12), ya que resulta ventajoso, por cuanto el tanque de fluido motriz es relativamente pequeño, lo cual contribuye a ahorrar espacio. Sin embargo, y a pesar de que la mayoría de los pozos no están limitados en cuanto a espacio, este sistema se usa mucho

porque la no mezcla del fluido motriz con el producido, evita y minimiza muchos problemas.

Los problemas más comunes que el sistema FMC puede solucionar son:

- Alta producción de agua.
- Tratamiento del fluido producido y/o problemas de su limpieza (11).
- La existencia de dos o más zonas.
- El uso de ambos fluidos como fluido motriz (aceite o agua).

Frecuentemente en el FMC se usa agua como fluido motriz debido a que la inversión es menor y además, presenta menos problemas ecológicos que el aceite (12).

2.4 SISTEMA DE FLUIDO MOTRIZ ABIERTO (FMA) (8),(12)

El sistema FMA, fue el primero que se usó en el bombeo hidráulico. El fluido motriz sometido a presión es enviado a la bomba de fondo por una tubería, y después de accionarla, entra en la corriente del fluido producido y retorna a la superficie en forma de mezcla.

En este sistema, solamente se requiere de dos conduc-



BIBLIOTECA

tos, uno para llevar el fluido motriz hacia la unidad de fondo y el otro para conducir la mezcla del fluido motriz con el producido hasta la superficie. Estos conductos pueden ser dos sartas de tubería de producción o una sola; en este último caso, el fluido motriz se inyecta por la tubería y la mezcla del fluido motriz con el producido, retornan por el espacio anular.

En la figura 2.5 se muestra el equipo superficial típico de un sistema FMA. El fluido motriz se toma de un tanque receptor, el mismo que puede actuar como separador gravitacional de sólidos, como tanque lavador, como calentador o como recipiente para agregar los aditivos al fluido.

El fluido motriz sometido a presión por la unidad de bombeo, es inyectado para accionar la unidad de fondo y retorna a superficie por una tubería o por el espacio anular combinado con el fluido producido, circula por la línea de producción y llega al tanque receptor, en donde se separa del fluido producido para bombearse nuevamente.

2.4.1 Ventajas del sistema FMA (8),(12)

Las ventajas que presenta el sistema FMA son: su

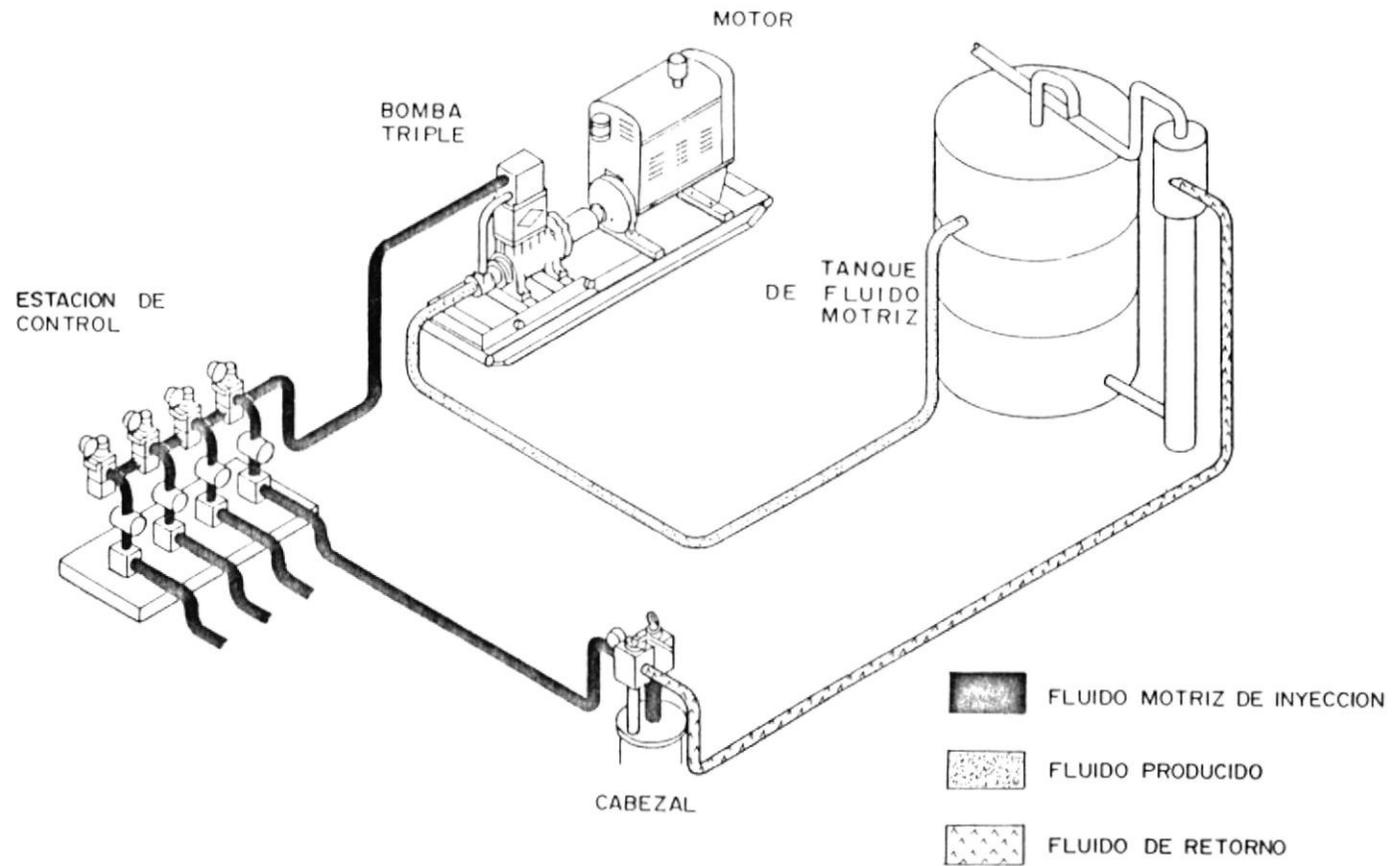


FIG. 2.5 Sistema de fluido motriz abierto (FMA)

simplicidad y su economía. Aunque si se usa agua como fluido motriz, se debe agregar aditivos químicos en forma continúa, ya que al mezclarse con el fluido producido, se perderán las propiedades de lubricar, inhibir corrosión y separar el oxígeno que pudiera ser adquirido con los aditivos. De donde, la inyección continua de químicos incrementa los costos.

Si el fluido motriz que se usa es el mismo fluido producido, su tratamiento será menor y resultará más económico.

CAPITULO III

EQUIPO DE CAMPO SUPERFICIAL Y DE SUBSUELO

El bombeo hidráulico como sistema artificial de levantamiento tiene una gran ventaja, que es el control de todos los pozos de manera íntegra.

En este tipo de bombeo, se puede hacer lo siguiente:

- 1.- Cerrar o abrir uno o todos los pozos, o la combinación de los pozos que se desee al mismo tiempo.
- 2.- Graduar la velocidad de la bomba en cada pozo, regulando de esta manera el régimen de flujo del fluido motriz.
- 3.- Medir la velocidad de la bomba en cada pozo, para lo cual, se debe contar los impulsos de presión en la tubería de inyección.
- 4.- Estimar la eficiencia del bombeo en cualquier pozo, midiendo el régimen de flujo del fluido motriz.

El bombeo hidráulico consta básicamente de dos tipos de equipo:

- 1.- Equipo superficial.
- 2.- Equipo de subsuelo.

Ambos son muy importantes para lograr un sistema de bombeo eficiente, para lo cual se debe tener en cuenta el diseño y dimensionamiento de cada una de las partes que constituyen a estos dos equipos, ya que una falla provocaría disminución en la eficiencia de la bomba superficial y de subsuelo, además de una disminución en la recuperación de los fluidos producidos y por ende, un aumento en los costos de operación.

3.1 EQUIPO SUPERFICIAL

El equipo superficial de un sistema de bombeo hidráulico, está constituido por:

- 1.- Bombas superficiales.
- 2.- Múltiples.
- 3.- Cabezales de pozo.
- 4.- Tuberías superficiales.
- 5.- Sistema de tratamiento superficial.

3.1.1 Bombas superficiales



Las bombas hidráulicas normalmente son bombas triple de desplazamiento positivo. La figura 3.1 muestra una bomba triple, y la figura 3.2 presenta el equipo compuesto por la bomba triple y una fuente de poder (8).

Las bombas de superficie comúnmente usadas son diseñadas específicamente para servicio de fluido motriz y son provistas por los fabricantes de bombas hidráulicas de pozo profundo.

Si el fluido motriz es petróleo, estas bombas generalmente utilizan émbolos y camisas "metal a metal" y válvulas tipo bola, que son componentes que requieren poco mantenimiento.

Cuando el fluido motriz es agua, se usan émbolos y camisas empaquetadas y válvulas de disco.

La mayoría de las bombas de superficie son montadas sobre patines con motores eléctricos o de combustión interna (6).

Las líneas de descarga de las válvulas de alivio y de control de contrapresión no deben conectarse a las líneas de succión de la bomba, si no a una línea independiente de retorno al tanque,

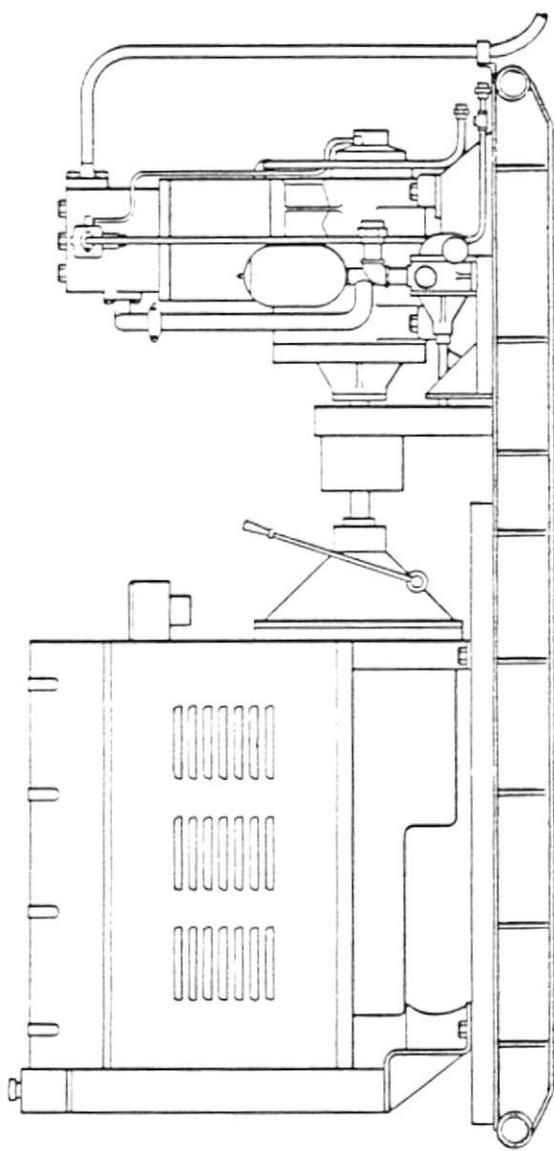


FIG. 3.1 Motor de transmisión triple, KOBE (8)

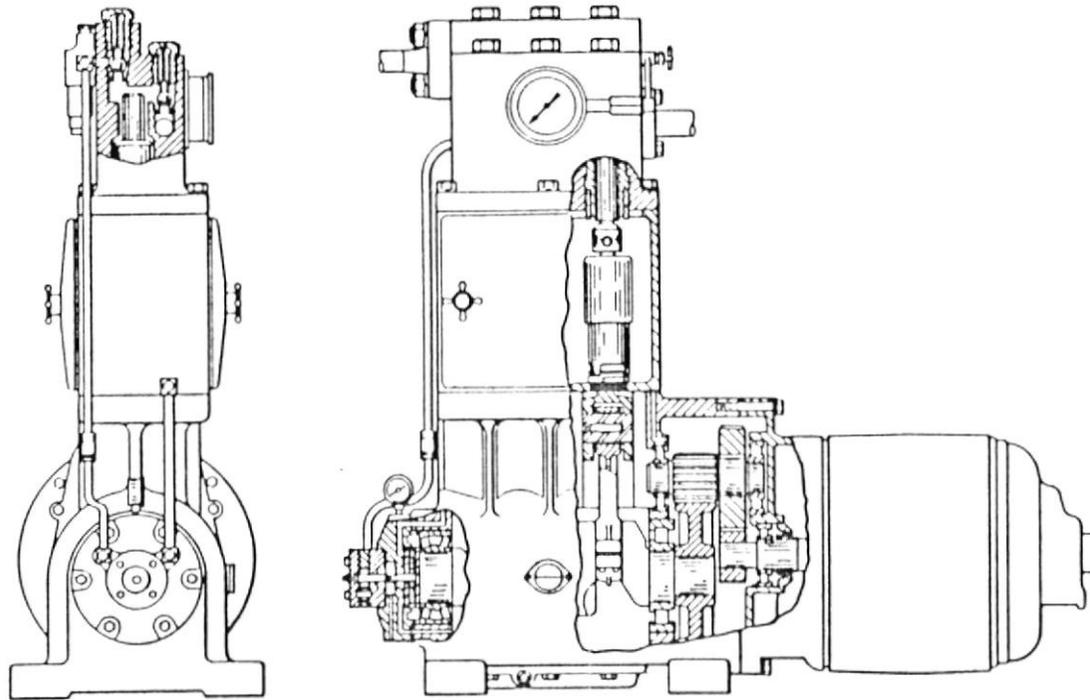


FIG. 3.2 Motor integral triple, KOBE (8)



porque existen ocasiones en las que el petróleo aún siendo desgasificado, se descomprime bruscamente y generalmente se produce una vaporización instantánea parcial, que en caso de acceder tales vapores a los cilindros de la bomba de superficie, causarán una pérdida de eficiencia volumétrica, mal funcionamiento y un deterioro prematuro de la misma.

3.1.2 Múltiples (6)

En una planta central de fluido motriz que se usa para abastecer un cierto número de pozos, un múltiple controla la distribución del fluido motriz a alta presión, tal como se requiere para operar un pozo individual.

Los múltiples o distribuidores de control, son contruidos en secciones de cabezales modulares que pueden ser agregados o desconectados con facilidad de acuerdo al número de pozos que tenga el sistema.

El múltiple distribuye, mide y controla el flujo del fluido motriz de cada pozo a través de una válvula piloto, que mantiene constante el caudal del fluido motriz, a pesar de los cambios de

presión en el sistema. También se usa un controlador de presión para mantener constante la presión en la bomba de superficie. Además, se incluyen manómetros y medidores de flujo de alta presión para cada pozo, tal como lo muestra la figura 3.3. En otros casos, (Figura 3.4) solamente se coloca un medidor común para todos los pozos (8).

A más de las funciones del manifold descritas anteriormente, también se lo usa para verificar la velocidad de cada bomba, la presión de operación y la eficiencia del extremo motor.

3.1.3 Cabezales de pozo

El cabezal de pozo está diseñado para permitir la instalación de dos tipos de bombas:

- a.- Bombas fijas.
- b.- Bombas libres.

CABEZALES EN BOMBAS FIJAS (8)

Para estas bombas, el cabezal del pozo consiste de una cabeza simple de tubería que transporta el fluido motriz a través de la tubería de

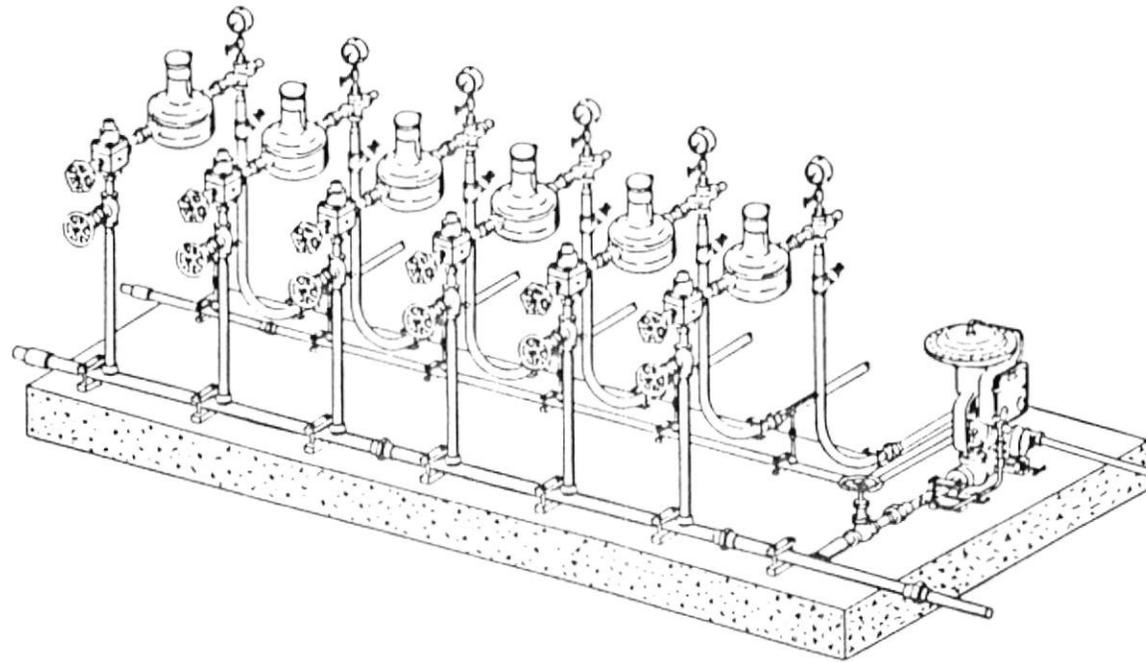


FIG.3.3 Controles de bomba con medidores individuales (8)

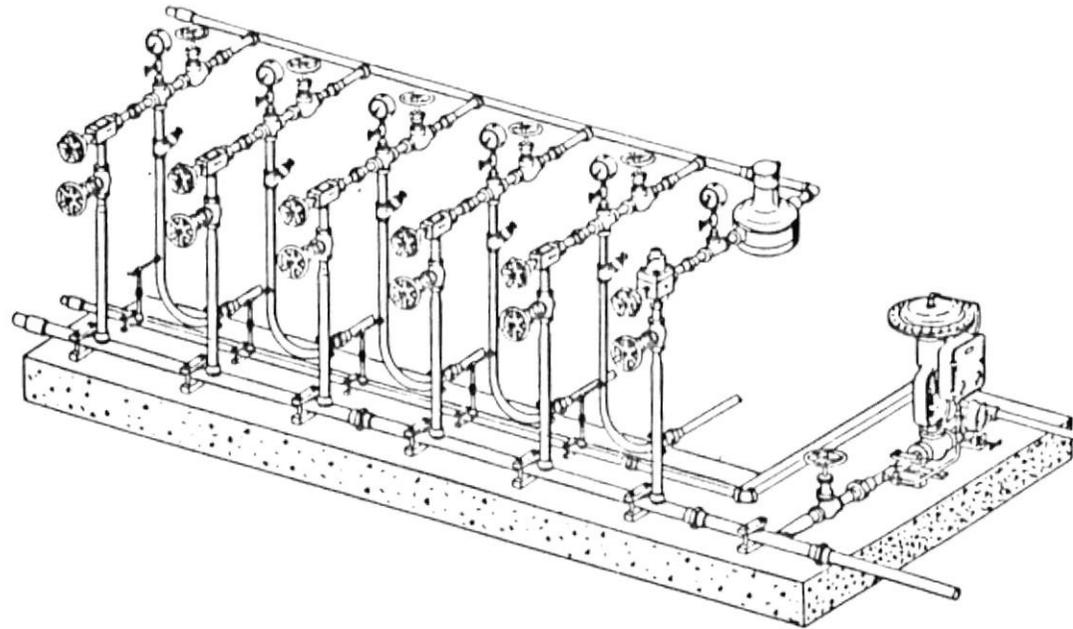


FIG.3.4 Controles de bomba con medidor enlazado (8)

producción, la misma que tiene un recubrimiento para aislar el fluido producido, tal como lo presenta la figura 3.5.

CABEZALES EN BOMBAS LIBRES (8)

Para este tipo de bombas, se necesita de un cabezal de tubería más completo, de tal forma que además de dirigir el flujo del fluido motriz, permita la recuperación de la bomba. Adicionalmente se necesita una válvula de cuatro vías para controlar la bomba, manómetros y un dispositivo de seguridad para evitar que accidentalmente se aplique alta presión a la tubería de revestimiento.

La figura 3.6 muestra la válvula de cuatro vías que controla el cabezal (8).

Las funciones que debe cumplir un cabezal de pozo son (6):

- 1.- Dirigir el fluido motriz hacia abajo en la tubería de producción para bajar la bomba y operar.
- 2.- Dirigir el fluido motriz hacia el conducto

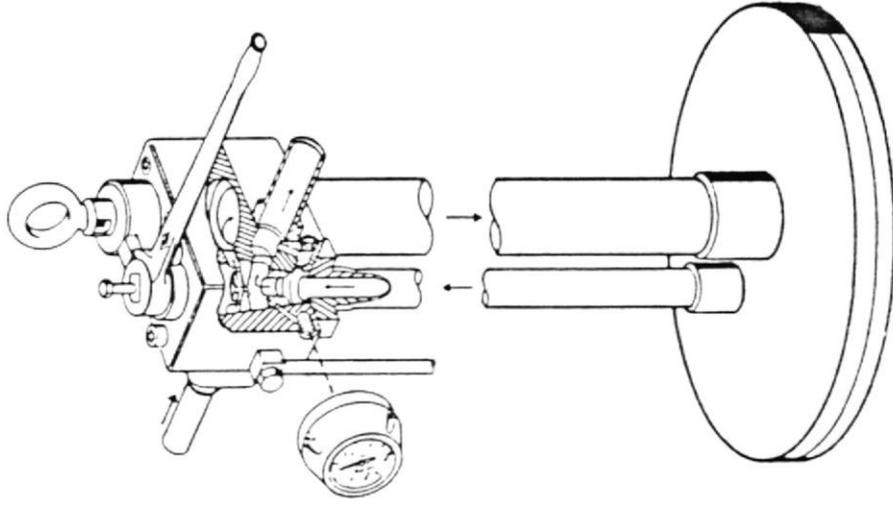


FIG. 3.6 Corte de una válvula de 4 vías (B)

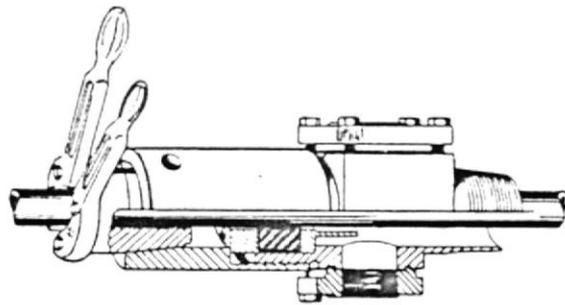


FIG. 3.5 Cabezal de bomba fija de tubería de producción (B)



apropiado para levantar la bomba.

3.- Cerrar la línea del fluido motriz y proveer un medio para liberar la presión de la tubería de producción.

4.- Apresar y retener la bomba.

3.1.4 Tuberías superficiales

Se considera como tuberías superficiales a:

- Las líneas de tubería que van desde los cabezales del pozo hacia la bomba de superficie.
- Las líneas de producción del cabezal del pozo.
- Las líneas de retorno del fluido motriz (en el caso de sistema cerrado).

Las líneas de fluido motriz deben cumplir con las siguientes condiciones:

- 1.- Ser probada a 5,000 LPC.
- 2.- Haber sido limpiada interiormente con arena antes de la instalación, a fin de prevenir el desprendimiento de partículas micrométri-

cas de fluido motriz contaminante.

- 3.- Tener un diámetro suficiente para llevar los volúmenes requeridos sin pérdidas de presión debido a la fricción.

3.1.5 Sistema de tratamiento superficial (12)

La función del sistema de tratamiento superficial (Figuras 3.7 y 3.8), es la de proveer un abastecimiento constante y adecuado de fluido motriz para operar la unidad de producción subsuperficial. Por lo tanto, el objetivo principal del sistema de fluido motriz es eliminar el gas y los sólidos presentes en el crudo producido.

El buen funcionamiento de este sistema depende de:

- Tanque de fluido motriz.
- Sistema de filtros.
- Proceso de asentamiento.
- Límites permisibles en los análisis de una muestra de fluido motriz.

Como se explicó en el capítulo II, hay dos sistemas de fluido motriz, abierto y cerrado.

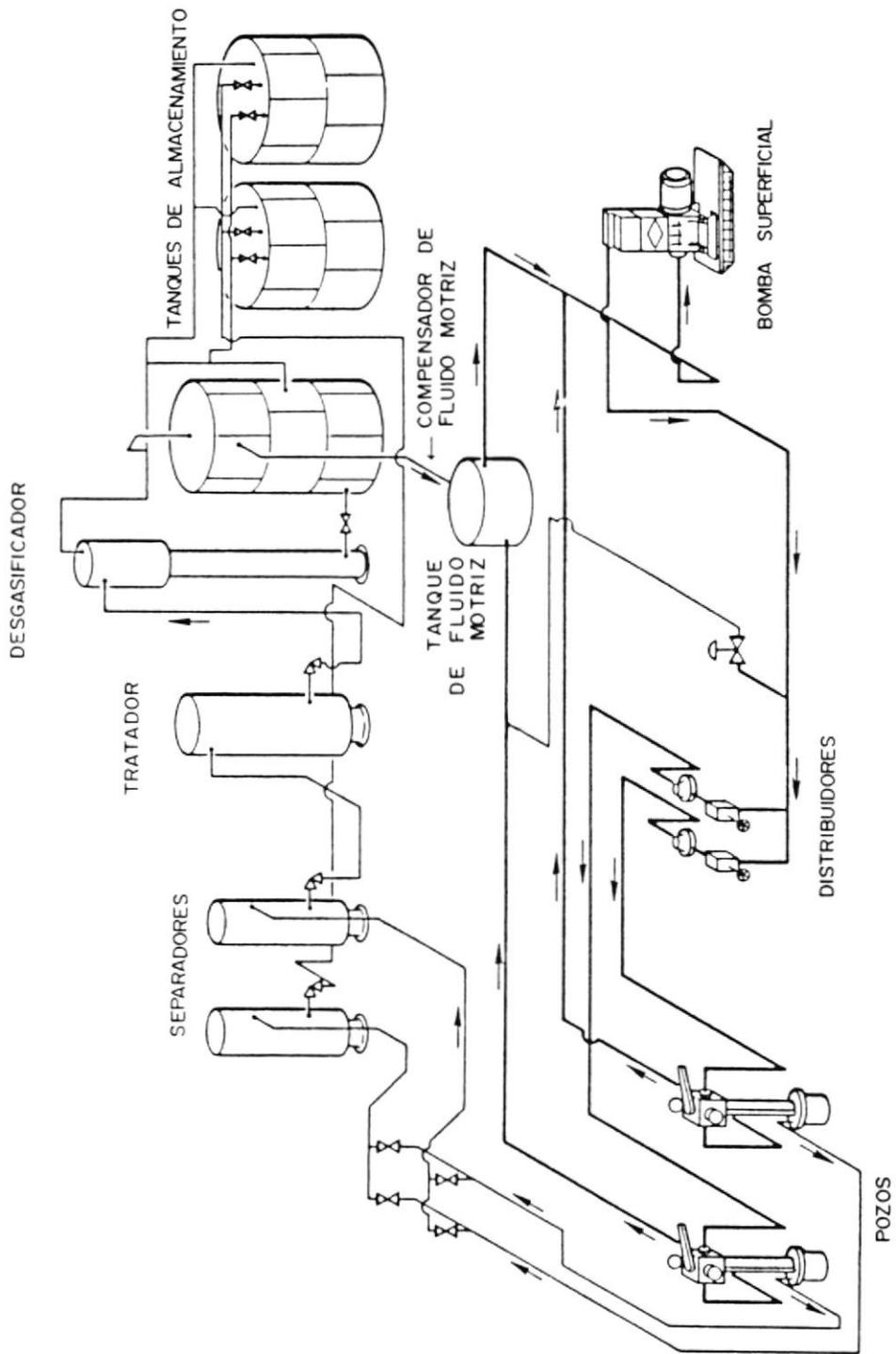


FIG. 3.7 Instalaciones superficiales para un sistema de fluido motriz cerrado (FMC) (6)

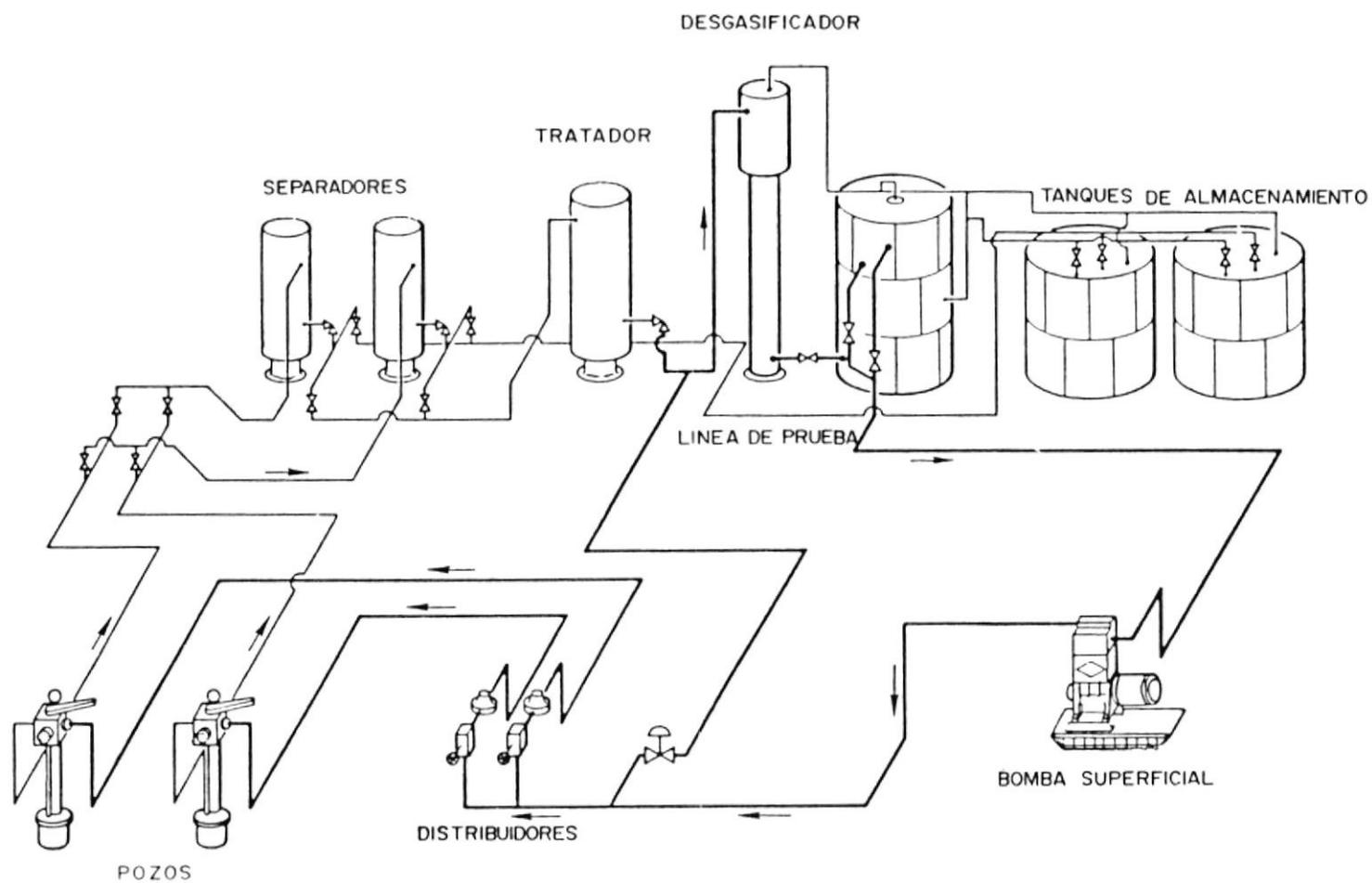


FIG.3.8 Instalaciones superficiales para un sistema de fluido motriz abierto (FMA) (6)

En un sistema cerrado, en el que se requiere de una tubería adicional para aislar el fluido motriz de la producción, se usa un tanque pequeño de fluido motriz, que es adecuado para áreas urbanas y plataformas marinas, donde el espacio es apremiante.

El tanque decantador de fluido motriz en un sistema cerrado (Figura 3.7), tiene como único propósito, extraer las partículas abrasivas del fluido que reingresa al circuito.

Cuando se usa agua como fluido motriz, se pueden utilizar filtros en lugar de tanques decantadores para el proceso de limpieza. Estos filtros deben retener partículas hasta de 10 micrones. Cuando se usa petróleo, la experiencia muestra que el tanque decantador debe ser suficientemente grande para mantener la velocidad ascendente del petróleo por debajo de 1 pie/hora, (con aditivos desemulsionantes, se puede aumentar la velocidad ascendente).

En un sistema abierto, donde el fluido motriz y la producción se mezclan, el tanque de fluido motriz es más grande, tal como se muestra en la figura 3.8.



A través de los años, se ha comprobado que el tanque de fluido motriz FMA (Figura 3.9), tiene un excelente diseño el mismo que con una pequeña modificación es usado casi universalmente.

El petróleo ingresa al separador atmosférico con el propósito de remover los últimos restos de gas. Para evitar que este exceso vaya a la parte superior del tanque y así alterar el proceso de sedimentación, se conecta la línea de gas del separador atmosférico con las líneas de descarga de gas del tanque, mediante una tubería auxiliar.

El petróleo motriz mas la producción una vez desgasificado, entra al fondo del tanque a través de un separador de choque. En el punto medio vertical, la producción es atraída a través de la tubería de subida exterior que mantiene el tanque lleno. Desde el punto medio para arriba, se lleva a cabo el proceso de sedimentación del petróleo motriz.

Los sólidos livianos son llevados junto con la producción a los tanques de almacenamiento, mientras que las partículas más pesadas, se depositan en el fondo y deben ser retiradas de ma-

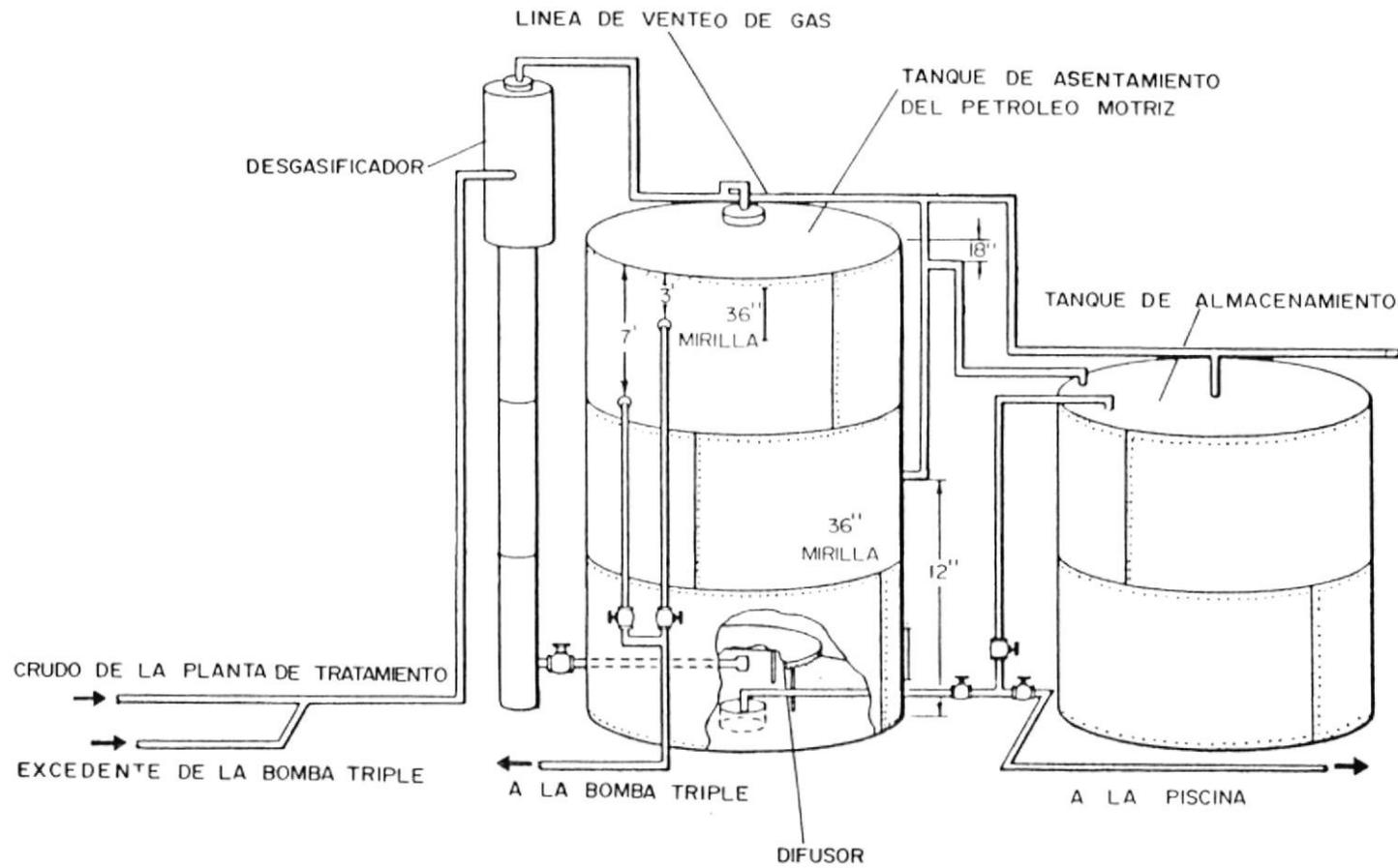


FIG. 3.9 Sistema de tanques para almacenamiento y tratamiento del fluido matriz (FMA) (6)

nera periódica.

Para asegurar una sedimentación adecuada de las partículas, el tanque de fluido motriz debe ser de un tamaño tal, que permita una velocidad ascendente menor a 2 pie/hora en la mitad superior. Esta velocidad es de 1,500 BPD en un tanque de 750 Bbl con 24 pies de altura. La velocidad debe ser inferior para petróleos más densos de 30 °API y para operaciones en climas extremadamente fríos.

El proceso de asentamiento se basa principalmente en el efecto de segregación gravitacional, para eliminar las partículas extrañas de la corriente de flujo.

La separación de estas partículas es en base a:

- Diferencia de densidades.
- Tamaño de partículas.
- Viscosidad del aceite.

Los límites aceptables para que el fluido producido sirva como fluido motriz son:

MAXIMO DE SOLIDOS EN TOTAL = 20 ppm.

MAXIMO CONTENIDO DE SAL = 12 lb/1000 Bbl.

MAXIMO TAMARÑO DE PARTICULAS = 15 micrones.

CONTROL DE CALIDAD

Independientemente del sistema, debe controlarse la calidad del fluido motriz para aumentar la vida útil y la eficiencia de la bomba. Este control se hace en la planta central.

PLANTA CENTRAL DE UN SISTEMA HIDRAULICO (2)

La mezcla del fluido producido y el fluido motriz inyectado a varios pozos, es recolectado en el lugar de tratamiento y almacenamiento.

Un tanque de fluido motriz sirve como sistema de limpieza para lograr:

- Separación de gas a la presión atmosférica.
- Separación del fluido que va a usar como fluido motriz (generalmente aceite).
- Remoción de los sólidos del fluido motriz por separación gravitacional.

La mezcla del líquido que regresa, fluye del lugar de tratamiento a través de una bota de gas para la separación final de éste y entra al tanque del fluido motriz. Aquí, el fluido motriz alcanza la sección superior del tanque, y es retenido por mucho tiempo para lograr la separación de los sólidos por gravedad. El aceite y el agua producidos se descargan desde una sección inferior del tanque de fluido motriz a los tanques de almacenamiento.

El fluido motriz limpio se lleva desde el tanque del mismo por una o más bombas, a alta presión a través del múltiple de distribución, hasta los pozos que son abastecidos por el sistema. Las válvulas de control de flujo constante en el múltiple, controlan los gastos de fluido motriz para cada pozo.

VENTAJAS DE OPERACION DE UN SISTEMA CENTRAL (2)

- La separación de gas a presión atmosférica minimiza la cavitación en la bomba, causada por el golpeteo del gas a la succión.

- El aumento en volumen del fluido motriz generalmente asegura un suministro adecuado al

sistema de alta presión.

- Mayor flexibilidad en la utilización del cableaje.

LIMITACIONES ECONOMICAS (2)

- No es económicamente rentable para pozos muy espaciados porque requieren extensas líneas de alta presión para el fluido motriz.
- Las pruebas para pozos individuales se complican por cuanto se necesita medir el gasto de producción.

Las condiciones locales pueden dirigir la variación de este pozo simple y los arreglos de la planta central. Dos o más pozos cercanos pueden ser operados convenientemente por el sistema de limpieza del tanque a presión descrito para el arreglo de un solo pozo. Los procedimientos de prueba de pozo, deben estar provistos para acomodar el sistema de varios pozos. O un pozo simple puede ser operado más satisfactoriamente por un tanque de fluido motriz atmosférico; quizás acoplado con una unidad de limpieza ciclónica, para asegurar la liberación de sólidos del

fluido motriz.

SISTEMA PARA UN SOLO POZO (2)

Es el sistema más común, en el cual, los fluidos producidos (aceite, agua y gas) junto con el fluido motriz son almacenados a presión a un lado del pozo. Los tanques a presión son mantenidos arriba de la presión de flujo para permitir la descarga del aceite producido en la línea de flujo.

Como la mezcla de fluido que regresa entra al sistema, el gas liberado es separado en los tanques a presión y descargado en la línea de flujo. La mezcla de líquido es separada en las fases de aceite y agua, y una de ellas es retenida para ser usada como fluido motriz. Este pasa a través del sistema de limpieza ciclónico para remover los sólidos y proveer potencia en la succión de la bomba, para luego ser circulado a la presión requerida por el pozo.

VENTAJAS PARA UN SOLO POZO (2)

- Tanques compactos montados con ruedas a un lado del pozo que se pueden trasladar a otros

pozos.

- Conexión de alta presión de fluido motriz para el pozo.
- Los procedimientos normales de prueba pueden ser usados como producción de un solo pozo.
- Area adecuada para el tratamiento.
- Los sistemas presurizados excluyen oxígeno del sistema de fluido.

LIMITACIONES EN UN SISTEMA PARA UN SOLO POZO (2)

- Flexibilidad limitada en la capacidad de potencia instalada, relativa a los requerimientos del pozo.
- Posible paralización del sistema debido a la limitada cantidad de fluido motriz durante el flujo de gas (en un pozo con cabeceo).

3.2 EQUIPO SUBSUPERFICIAL

La unidad de producción subsuperficial consiste de un motor hidráulico de desplazamiento positivo recípro-



cante, el mismo que está conectado directamente a una bomba de desplazamiento positivo.

La longitud de la embolada de la bomba y del motor se establece en el diseño. Se dispone de diversos tamaños de pozos para adaptar al tamaño dado de la unidad y poder variar de acuerdo a los requerimientos de volumen y profundidad. El amplio rango de velocidad de operación de la unidad, da mayor flexibilidad a su capacidad de desplazamiento para acoplar los requerimientos de tasa de producción.

Cada fabricante tiene su diseño específico propio, sin embargo, todos tienen el mismo principio de operación que es la ley de Pascal, la cual dice que "una presión ejercida sobre una superficie de un fluido almacenado, es transmitida con igual intensidad a todas las superficies que contienen el fluido".

Gracias a este principio aplicado en los pozos con bombeo hidráulico, se hace posible la transmisión de presión del fluido desde una central en superficie a puntos subsuperficiales.

3.2.1 Bomba hidráulica subsuperficial (12)

Una bomba hidráulica subsuperficial es un aco-

plamiento bomba-motor, al cual inicialmente se designó como "Unidad de Producción", pero en la práctica siempre se llama "BOMBA". Comúnmente se refiere al motor como "el extremo motor de la bomba", y a la bomba como el "extremo de bombeo".

Los componentes básicos de una bomba hidráulica subsuperficial son:

- Cilindro y pistón del motor.
- Válvula de reversa del motor (controla el movimiento del pistón para dirigir el flujo del fluido motriz a través del motor).
- Embolo de la bomba (pistón).
- Barril de la bomba (cilindro).
- Válvula de control del fluido en la entrada y descarga de la bomba.

Los arreglos de estos componentes en la unidad se basan en los diseños específicos seleccionados por el fabricante.

Hay dos diseños generales de "extremo de bombeo" que son más comunes:

La bomba de "acción simple", la cual descarga el fluido solamente durante la carrera ascendente o durante la carrera descendente.

La bomba de "acción doble", la misma que desplaza fluido en ambas carreras, ascendente y descendente.

El "extremo motor" puede ser diseñado para desplazar iguales volúmenes de fluido motriz sobre cada carrera ascendente y descendente o para desplazar un gran volumen durante una u otra carrera. Cada uno de estos diseños tiene sus ventajas y limitaciones.

PRESIONES APLICADAS A UNA BOMBA HIDRAULICA

Las fuerzas usadas para una bomba hidráulica reciprocante están en función de la presión y del área del pistón sobre el cual actúa dicha presión.

$$F = P \times A$$

Donde:

F = Fuerza hidráulica (lb)

P = Presión ejercida (LPC)

A = Area transversal (pulg²)

En una bomba, el balanceo de las áreas del pistón y las presiones crean una fuerza hidráulica deseada en la dirección correcta. En otras palabras, el cambio de presión sobre cada lado del pistón del motor causa el movimiento recíprocante.

Las relaciones del área del pistón del motor y del área del pistón de la bomba, determinan la fuerza impartida para levantar la columna de líquido.

3.3 TIPOS DE ARREGLOS DE TUBERIAS

En las instalaciones de bombeo hidráulico, los tipos de arreglos más comunes son:

3.3.1 Sistemas de bomba fija (8)

El término "bomba fija" se usa para denotar el hecho de que la bomba es mecánicamente atada, ya sea a la tubería de inyección de fluido motriz o a la tubería de producción.

Dentro de este sistema tenemos los siguientes tipos de bombas:

BOMBAS INSERTADAS

La bomba insertada está fija a la tubería de inyección del fluido motriz y se coloca dentro de la tubería de producción asentada sobre una zapata en el fondo del pozo.

El circuito del fluido depende del sistema de fluido motriz usado. La tubería de revestimiento se usa para ventear el gas de la formación.

En un sistema abierto, el fluido motriz se lleva a la bomba por una tubería de diámetro pequeño a la cual está anclada. El fluido usado se descarga en el anular tubería de inyección-tubería de producción y se mezcla con el fluido de producción tal como lo muestra la figura 3.10.

En el sistema cerrado, que es el más económico, para aislar el fluido motriz de retorno (en instalación insertada), se coloca un tercer tubo en paralelo, fijo a la tubería de producción o en forma independiente.

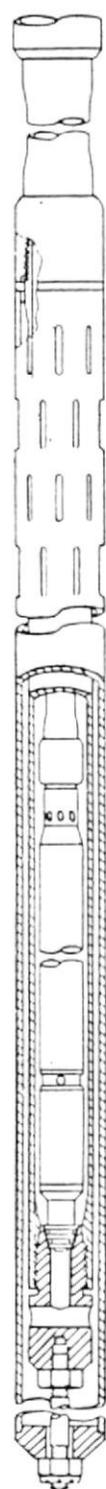


FIG. 3.10 Bomba fija insertable (FMA)(8)

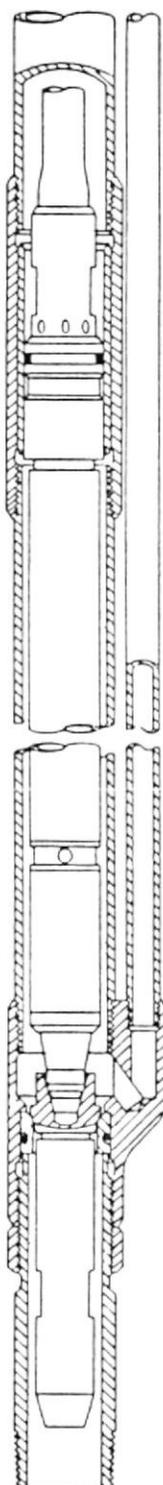


FIG. 3.11 Bomba fija insertable (FMC)(8)

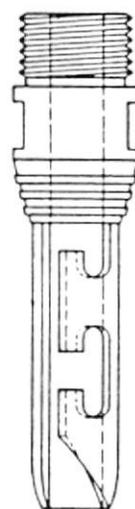


FIG. 3.12 Tapón de fondo tipo "J" (8)

Como se muestra en la figura 3.11, la bomba se coloca dentro del diámetro de la tubería inyectora de fluido motriz, anclándose y asentándose en el fondo del pozo. El aislamiento entre fluido motriz de retorno y el fluido de producción se consigue colocando un sello en el collar obturador.

BOMBAS DE TUBERIA DE REVESTIMIENTO

En este tipo de instalación, la tubería a la cual se fija la bomba usualmente es la inyectora del fluido motriz, con lo que los fluidos producidos pueden regresar por el espacio anular.

Para sellar la tubería de revestimiento, se usa un tapón de pared, el mismo que puede ser anclado en el fondo o llevado por una herramienta "J". En algunos casos el tapón es bajado y colocado independientemente en una zapata ahusada en la parte superior, dentro de la cual, la bomba se asienta para formar un sello impermeable.

Cuando se usa una herramienta "J" sobre la bomba, el tapón puede dejarse y sacarse con la bomba. La figura 3.12 muestra la herramienta

"J", y la figura 3.13, el arreglo en la tubería de revestimiento.

En el sistema abierto, para un tipo de bombas de tubería de revestimiento, el fluido motriz es descargado de la unidad de producción dentro del espacio anular de la tubería de revestimiento, y se mezcla con el fluido producido y luego se recupera en la superficie mediante un sistema de tratamiento. La figura 3.13 muestra este tipo.

En un sistema cerrado, se pueden usar dos tipos de arreglos de tubería de fluido motriz con bombas de tubería de revestimiento. Un arreglo de tubería concéntrica de fluido motriz se muestra en la figura 3.14. La bomba y el tapón son corridos a lo largo de la tubería, usando un dispositivo cilíndrico y hueco para conectar el motor de la bomba y proveer un sello.

En los pozos que producen gas, se debe usar bombas de tubería de revestimiento pero solamente cuando la presión de fondo fluyente que se espera es mayor que la presión del punto de burbujeo por un tiempo suficiente que justifique tal instalación. En algunos casos, puede introducirse en el tapón una tubería de venteo paralela

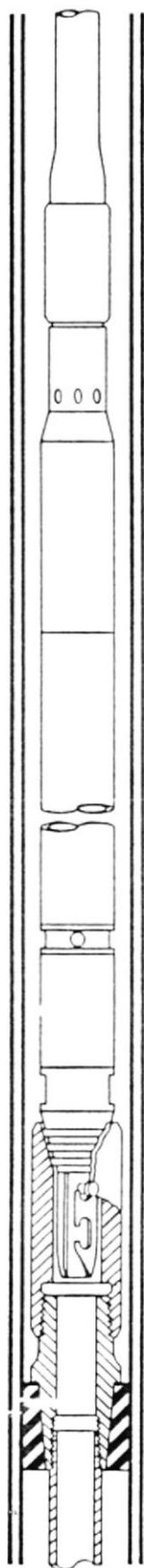


FIG. 3.13 Bomba fija de tub. de revest. (FMA)(8)

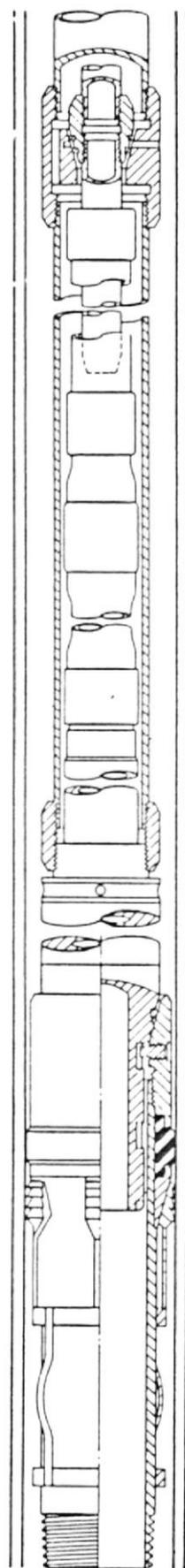


FIG. 3.14. Bomba fija de tub. de revest. (FMC)(8)

para llevar el gas a superficie.

BOMBAS DE TUBERIA DE PRODUCCION

Este tipo de bombas no es muy usado, pero se puede emplear cuando se requiere mayor capacidad de la que se pueda obtener cuando se usan las bombas insertadas. La figura 3.15 muestra una bomba de tubería de producción. La tubería del fluido motriz es conectada concéntricamente y sellada en un enchufe adaptable.

El fluido motriz baja a través de la tubería interna y la mezcla del fluido producido con el fluido motriz usado sube por el anular de la tubería de producción.

La desventaja de este tipo de bombas es que ambas tuberías de producción deben sacarse para reemplazar la bomba. Generalmente las bombas de tubería de producción están limitadas a ser usadas en un sistema abierto.

EQUIPO AUXILIAR (8)

Varios dispositivos auxiliares pueden incluirse en un sistema de bomba fija.

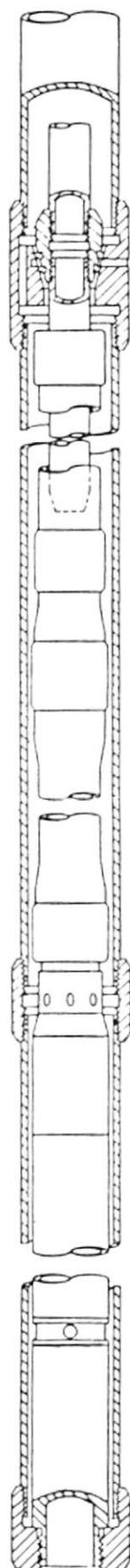


FIG. 3.15 Bomba de tub. de prod.(8)

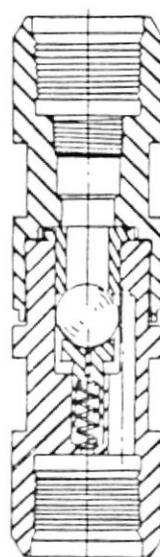


FIG. 3.16 Válvula de retención para tub. de potencia

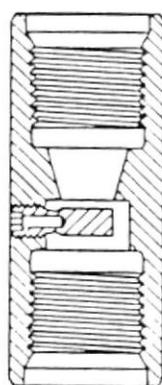


FIG. 3.17 Collar aliviador

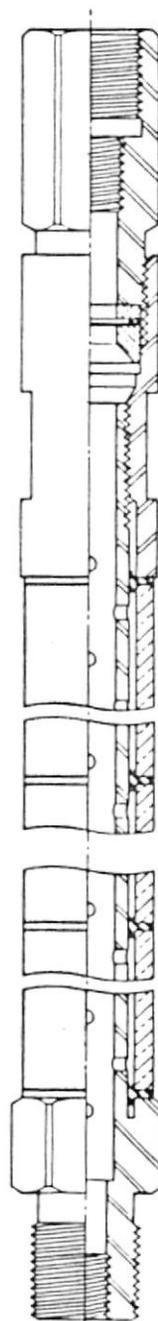


FIG. 3.18 Filtro de arranque

VALVULA DE RETENCION PARA LA TUBERIA INYECTORA DE FLUIDO MOTRIZ.

Usualmente las bombas fijas están equipadas con una válvula de seguridad de flujo invertido para prevenir el contraflujo de los fluidos del pozo a través del motor de la bomba. Una válvula de seguridad de la tubería de fluido motriz se muestra en la figura 3.16.

COLLAR ALIVIADOR

Al extraer la bomba, la tubería a la cual está acoplada sale llena de agua. Para evitar esto, se coloca un collar aliviador. La figura 3.17 muestra un corte del piñón, el cual puede abrirse para drenar el interior de la tubería mediante la caída de una barra que se arroja en superficie.

FILTROS DE ARRANQUE

Para proteger una bomba nueva (en el momento de arranque) de la corriente de flujo con abrasivos, como arena, óxido de tubería, o algún otro material inusual que pudiera haberse introducido en la colocación de la tubería, se suele colocar

un filtro en la parte superior como medida de previsión. El fluido motriz pasa a través del filtro antes de accionar la bomba. La figura 3.18 muestra este ensamblaje.

3.3.2 Sistemas de bomba libre (8)

El sistema de bomba libre difiere del sistema de bomba fija en que la bomba no está atada a la tubería de producción y puede ser colocada o sacada sin necesidad de mover ninguna tubería.

La bomba usada es la misma, a excepción de algunas adaptaciones adicionales.

Las conexiones en la cabeza del pozo y controles descritos anteriormente, así como el arreglo del fondo del pozo, son diferentes de aquellos usados en el sistema de bomba fija.

La figura 3.19 ilustra el principio de la bomba libre.

Para simplificar la descripción de la operación del sistema de bomba libre, se considera primero un sistema de flujo abierto. En este caso, las dos tuberías usadas para el fluido motriz y

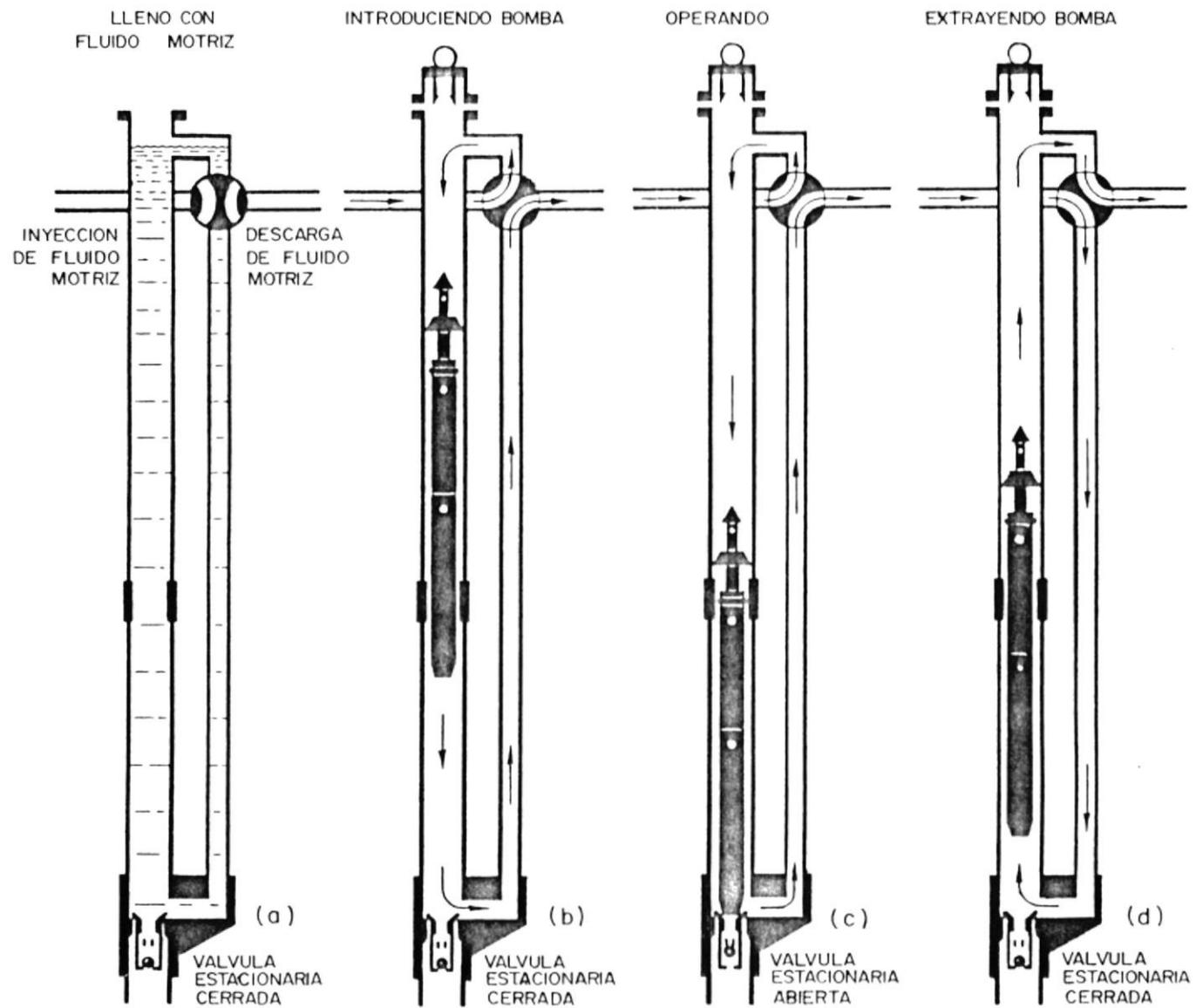


FIG.3.19 Operación de la bomba libre (6)



BIBLIOTECA

fluido de retorno (fluido motriz más fluido de producción) normalmente son paralelas, pero en las instalaciones del tipo de tubería de revestimiento o para bombas pequeñas, éstas pueden ser concéntricas.

En cualquier caso, las dos tuberías son conectadas en el extremo inferior para formar un tubo "U". En el fondo de este tubo "U" se tiene una válvula de asentamiento, de tal forma que el sistema se mantiene lleno de fluido.

La figura 3.19 (a) muestra la válvula de asentamiento cerrada, efectuando el circuito del tubo en "U".

Cuando la bomba se introduce y se inicia la operación, la succión de la bomba libera la carga de asentamiento de la válvula y durante la operación, la válvula de bola u otro elemento de sello, cierran.

Cuando el fluido es invertido para remover la bomba, la válvula de asentamiento cierra tan pronto la bomba se desasienta, estableciendo el circuito de tubo en "U".

La figura 3.20 muestra la válvula de asentamiento, la cual puede ser colocada mediante un cable de alambre, y provee de un medio para detener la válvula en posición normalmente abierta cuando la bomba está en operación.

Existen dos tipos de bombas libres:

- Tipo de sarta paralela.
- Tipo tubería de revestimiento.

BOMBAS LIBRES PARALELAS.

Este tipo de bomba tiene mayor aplicación cuando el gas es liberado a través de la tubería de revestimiento y por lo tanto, se obtienen altos valores de eficiencia cuando el nivel del fluido está en, o ligeramente encima de la succión de la bomba.

La figura 3.21 muestra el ensamblaje de fondo de este tipo de bomba.

BOMBA LIBRE DE TUBERIA DE REVESTIMIENTO

Es el tipo más simple de las bombas libres, y debido a su fácil instalación y economía es u-

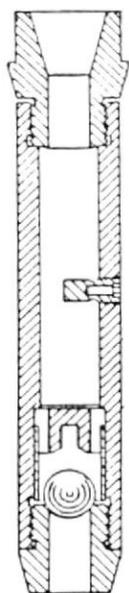


FIG. 3.20 Válvula fija

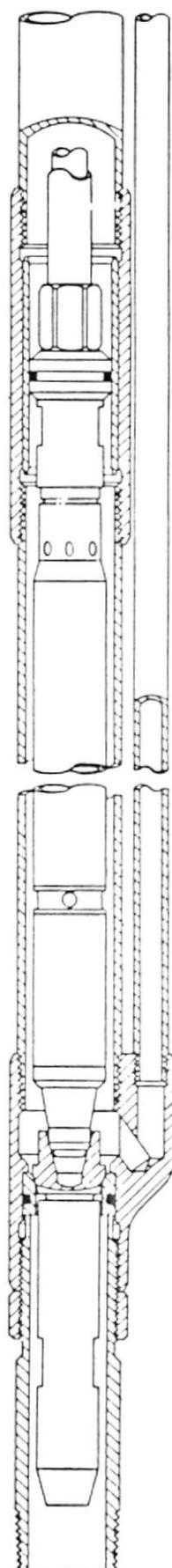


FIG. 3.21 Bomba libre pa-
ralela (FMA)(8)

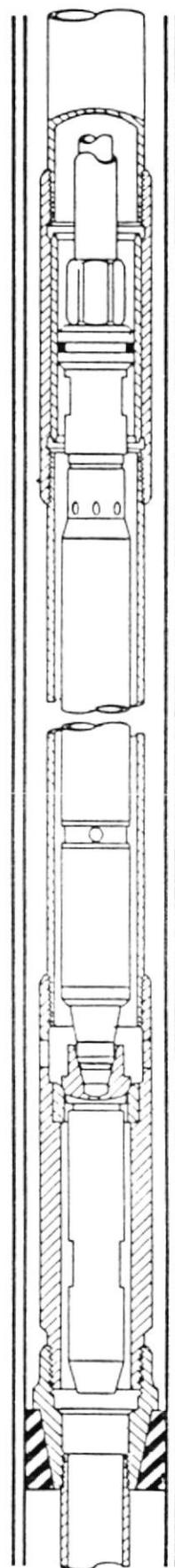


FIG. 3.22 Bomba libre de tub. de
revest. (FMA)(8)

sada muy a menudo cuando otros métodos fallan debido a las restricciones del gas.

La figura 3.22 muestra una bomba libre tipo tubería de revestimiento.

CAPITULO IV

DISEÑO DE UNA INSTALACION DE BOMBEO HIDRAULICO MEDIANTE EL PROGRAMA DE COMPUTO BOMHIPIS

Para instalar un sistema de bombeo hidráulico, se debe disponer y conocer el historial de los pozos a los cuales se implantará este sistema artificial de producción. Por lo tanto, deben conocerse las condiciones mecánicas de los pozos, el régimen de explotación y los fluidos que se han producido.

4.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO (12)

Al realizar un diseño de bombeo hidráulico, es necesario considerar un sinnúmero de parámetros que influyen en la operación, para lo cual es importante tomar las siguientes consideraciones:

- a.- El sistema de fluido motriz que se va a usar (FMA o FMC).

- b.- El gas producido será bombeado por la unidad de

fondo o será venteado.

- c.- Tipo de arreglo de tuberías que se va a instalar.
 - d.- Tipo de unidad subsuperficial (bomba-motor) adecuada.
 - e.- Determinar si el diseño es para un solo pozo o para varios.
 - f.- Elegir la unidad superficial.
 - g.- Tipo de fluido motriz que se va a emplear.
- a) Para decidir el tipo de sistema de fluido motriz (abierto o cerrado), se debe considerar entre otros factores, las presiones de trabajo. Al emplear un sistema de fluido motriz abierto, se tendrá una tubería menos que si se emplea un sistema de fluido motriz cerrado, lo cual provoca una menor caída de presión por fricción en tuberías. Por otro lado si se usa un sistema abierto (FMA), el fluido motriz al mezclarse con el fluido producido dará como resultado un fluido con mayor resistencia a fluir, lo que no ocurre en un sistema cerrado (FMC) en el cual no se mezclan los fluidos producidos.



- b) La bomba subsuperficial no está diseñada para que circule gas a través de ella. Si por alguna circunstancia fluye gas en cantidades significativas, esto provocará una disminución en la eficiencia de la bomba.

Una regla práctica de campo consiste en ventear el gas producido siempre que se tenga una relación gas-aceite de 500 PC/BBL o mayor y/o presión de fondo menor de 400 LPC (1).

La eficiencia teórica de la bomba bajo las condiciones de prueba dada por los fabricantes, es de 100 %. Sin embargo, en condiciones reales, la eficiencia disminuye a un 85 % siempre y cuando no fluya gas a través de la bomba, ya que si esto sucede, la eficiencia será aún más baja.

La eficiencia real de una bomba que circula gas, se la encuentra usando la figura 4.1, en la cual conociendo la presión de entrada a la bomba (LPC), la relación gas-aceite (PC/BBL), la densidad del aceite ($^{\circ}$ API) y el porcentaje de agua producida; se obtiene una eficiencia teórica de la bomba. Esta figura está basada en la correlación de M. B. Standing (6).

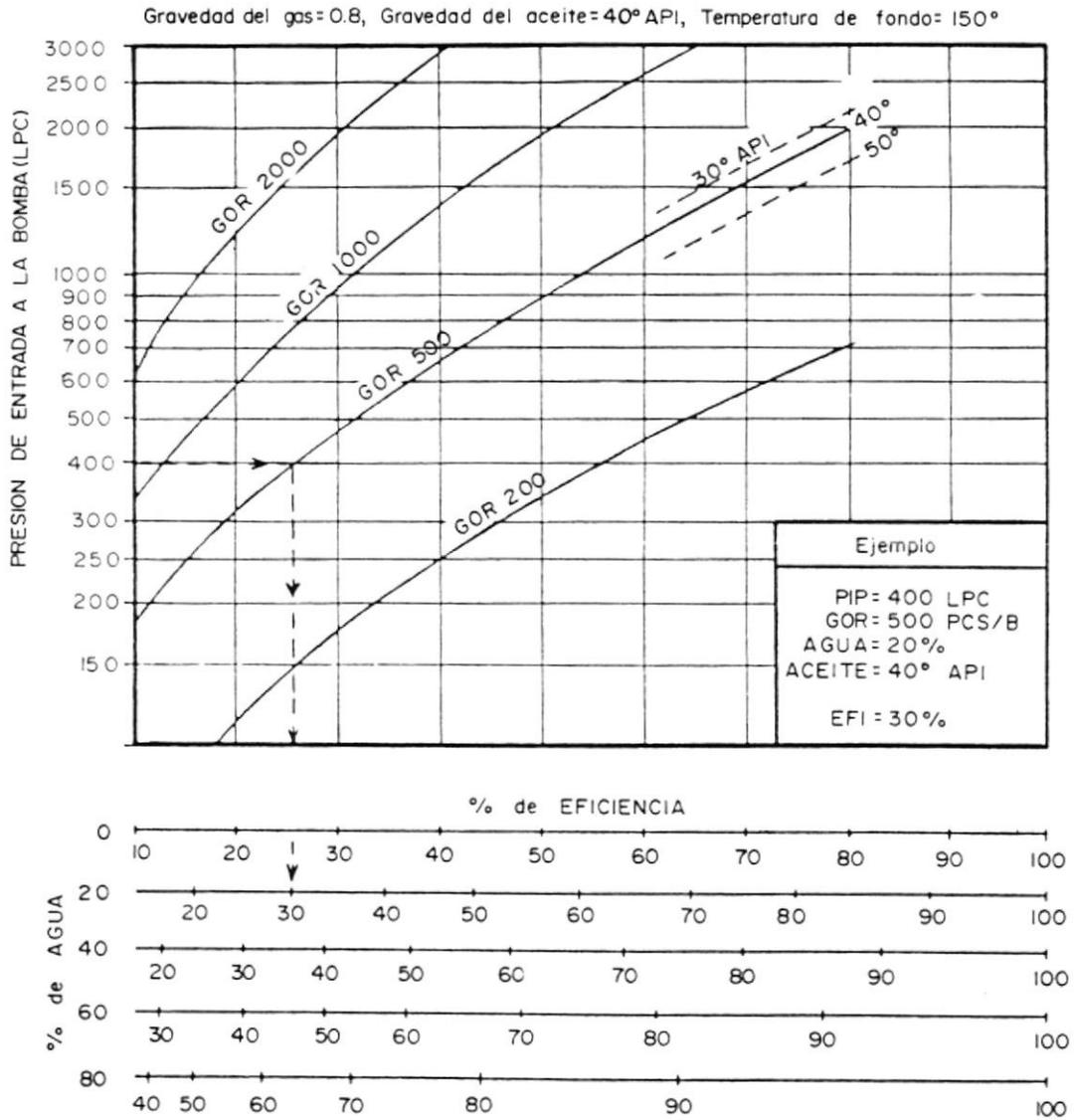


FIG. 4.1 Eficiencias volumétricas teóricas para bombas de tubería de revestimiento (6)

El valor de la eficiencia obtenido de esta figura debe multiplicarse por la eficiencia que tendría si se venteara gas (85 %) y se obtiene la eficiencia real de la bomba circulando gas.

- c) El arreglo de tuberías a emplearse depende del diámetro de la tubería de revestimiento y del sistema de flujo de fluido motriz.

Si el diámetro de la tubería de revestimiento es pequeño, no se podrá instalar determinados arreglos que tengan muchas tuberías.

En un sistema de flujo de fluido motriz abierto, solamente se requieren dos tuberías, una de inyección y otra de producción (capítulo II). Se puede instalar ya sea dos tuberías paralelas con un fluido empacante en el espacio anular o una sola tubería como inyectora, para lo cual se debe usar el anular para producir.

En sistema cerrado, se necesitan tres tuberías, una para inyectar el fluido motriz, otra para su retorno y la última para el fluido producido. En caso de ser posible, es conveniente instalar tres sartas paralelas y el espacio anular quedaría para colocar el fluido empacante o para ventear gas.

d) La elección de la unidad de fondo depende fundamentalmente del gasto de fluido producido deseado.

Los fabricantes de bombas emiten catálogos con las especificaciones de éstas (Apéndice C) (6), y sus respectivas características, las mismas que aparecen en seis columnas de la siguiente manera:

1ra. columna: DIAMETRO DE LA BOMBA (PULG), En algunas aparece también el diámetro del pistón de la bomba y el del motor. El diámetro de la bomba se lo elige en función de la tubería de inyección del fluido motriz.

2da. columna: RELACION BOMBA-MOTOR (P/E), La bomba seleccionada debe tener este valor menor al obtenido al dividir 10,000 entre la elevación neta, en pies.

3ra. columna: MAXIMO GASTO DE LA BOMBA (BPD), Se aconseja no emplear valores mayores del 85 % de este valor, para mantener el gasto deseado.

4ta. columna: DESPLAZAMIENTO MAXIMO DEL MOTOR DE

FONDO (BPD/SPM), Este valor es importante para determinar el gasto de fluido motriz necesitado.

5ta. columna: DESPLAZAMIENTO MAXIMO DE LA BOMBA DE FONDO (BPD/SPM), Característica necesaria para calcular las pérdidas de presión por fricción en la unidad de fondo.

6ta. columna: VELOCIDAD MAXIMA DE DESPLAZAMIENTO DE LA BOMBA (SPM).

Al realizar el diseño, más de una bomba cumple y satisface las necesidades. El elegir la adecuada depende del costo, la disponibilidad y el futuro del pozo.

- e) El diseño debe considerar si se trata de uno o varios pozos. Si es para una estación de varios pozos o "satélite", se deben correlacionar los pozos para determinar si es posible utilizar el mismo fluido motriz, el mismo sistema de flujo y si el equipo de almacenamiento puede ser común, etc.

Si se tienen varios pozos quizás sea más conveniente instalar una estación de bombeo "satélite", sin

embargo, también puede instalarse un sistema individual para cada pozo.

Este trabajo prácticamente enfoca el diseño de un solo pozo, pero es posible haciendo ciertos arreglos, diseñar una estación satélite.

- f) La selección del equipo superficial depende de la presión de operación de la unidad subsuperficial, de la profundidad de colocación de la bomba, de los fluidos de todo el sistema (motriz, producción, mezclas, etc.), y del arreglo mecánico del pozo.

Además, debe tomarse en cuenta el sistema de flujo de fluido motriz, el espacio disponible, y la disposición del equipo.

- g) El tipo de fluido motriz, aceite o agua (con aditivos, concentraciones, inhibidores), se elige en función de:

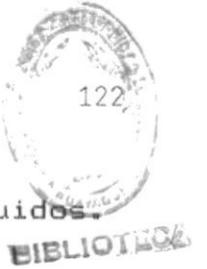
- Tipo de sistema de flujo de fluido motriz.
- Fluidos de la formación.
- Medio ambiente.
- Disponibilidad.
- Costos.

El gasto del fluido motriz necesario depende de la unidad de fondo, se obtiene multiplicando el desplazamiento del motor (BPD/SPM) de la columna 4 de la tabla de especificaciones, por la velocidad de desplazamiento de la bomba (SPM). Este valor encontrado corresponde a una eficiencia 100 % en el motor, por lo que se divide entre la eficiencia real (usualmente 90 %).

4.2 CUANTIFICACION DEL DISEÑO

Para diseñar un sistema de bombeo hidráulico, se deben realizar los siguientes pasos:

- 1.- Determinar el gasto del fluido producido (aceite) que se tendrá en el fondo.
- 2.- Elegir la bomba subsuperficial.
- 3.- Calcular el gasto de fluido motriz necesario.
- 4.- Cuantificar las pérdidas de presión por fricción en la unidad de fondo.
- 5.- Determinar las viscosidades cinemáticas de los fluidos.



- 6.- Calcular los gradientes de presión de los fluidos.
- 7.- Computar las presiones empleadas.
- 8.- Cuantificar las potencias requeridas.

4.2.1 Caudal del fluido motriz manejado por la bomba
(12)

Se trata del gasto de aceite producido y del agua en el fondo del pozo:

$$Q = Q_o + Q_w$$

Pero como la bomba no trabaja al 100 % , este valor está afectado por la eficiencia real, lo mismo que equivale a manejar más fluido. Por lo tanto, el gasto para el cual se dimensiona la bomba es:

$$QBOM = Q / EFBO$$

4.2.2 Selección de la bomba (12)

Se calcula la máxima relación bomba-motor mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{P}{E} \text{ MAX} = \frac{10,000}{\text{Elevación neta (pies)}}$$

Con este valor, junto con el gasto de la bomba y el diámetro de la tubería de inyección del fluido motriz, se hace uso de las tablas de especificaciones para seleccionar una bomba adecuada.

La bomba seleccionada debe reunir las siguientes condiciones:

- El diámetro de la bomba debe ser compatible con el de la tubería de inyección de fluido motriz.
- El gasto que maneja la bomba debe ser mayor que el QBOM calculado.
- La relación (P/E) MAX debe ser mayor que la P/E de las tablas.

4.2.3 Cálculo del caudal de fluido motriz (12)

Depende de la bomba seleccionada, para calcularlo se hace lo siguiente:

- 1.- Se determina la velocidad de bombeo (SPM).

$$SPM = \frac{QBOM}{q4 * EFBO}$$

2.- Se calcula el gasto de fluido motriz (BPD).

$$QFM = \frac{q1 * SPM}{EFM}$$

4.2.4 Determinación de las pérdidas de presión por fricción en la unidad de fondo (LPC) (5),(6)

Conociendo el número de la tabla correspondiente a la bomba seleccionada, la viscosidad cinemática del fluido producido y el porcentaje de velocidad de bombeo,

$$\% \text{ vel. bombeo} = \frac{SPM}{SPM \text{ bomba}} * 100$$

y haciendo uso de la figura 4.2, se lee la presión afectada por la gravedad específica del fluido que acciona la bomba (PP1).

Para obtener la pérdida de presión en la unidad, sin efecto de carga del fluido, se hace lo siguiente:



BIBLIOTECA

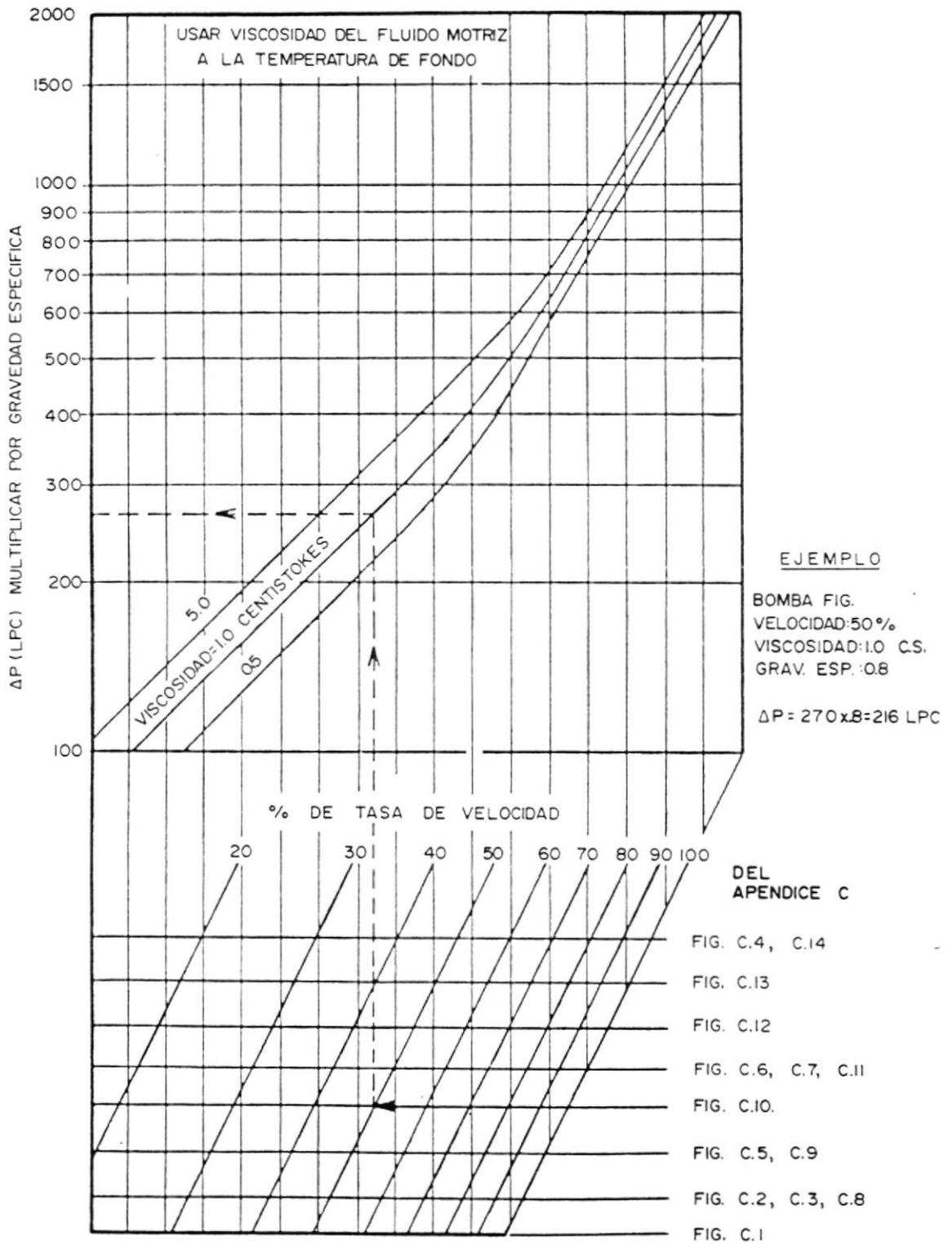


FIG.4.2 Presión requerida para operar una bomba hidráulica sin carga (6)

$$DP = PP1 * SG$$

La pérdida en la bomba se obtiene con:

$$FPE = \frac{0.25 * DP * q4 * EFBO}{q4 \text{ max}}$$

La pérdida en el motor es:

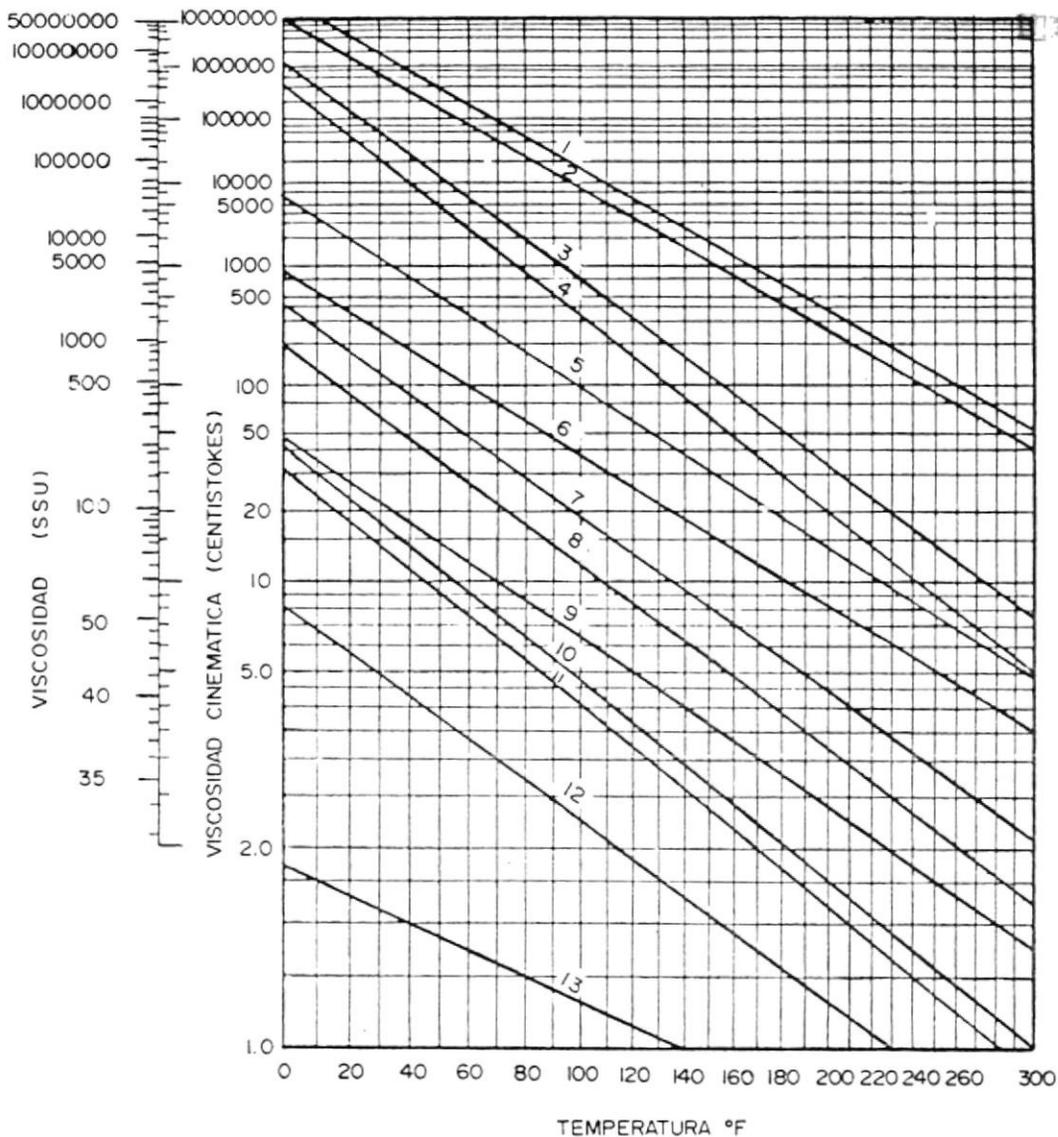
$$FEE = 0.75 * DP$$

Finalmente, las pérdidas de presión por fricción en la unidad de fondo (LPC) es:

$$FP = FPE + FEE$$

4.2.5 Determinación de la viscosidad cinemática de los fluidos (4)

La viscosidad está en función de la temperatura y la presión a la que se encuentra sometido el fluido. Por medio de la figura 4.3 (Correlación de Brown & Coberly), con la densidad del fluido ($^{\circ}$ API) y la temperatura ($^{\circ}$ F), se encuentra la viscosidad siempre y cuando sea aceite. Si el fluido es agua, conociendo la temperatura y haciendo uso de la figura 4.4, se obtiene el



Línea	°API	Campo	Línea	°API	Campo
1	9.5	Boscan, Venezuela	8	30.6	Ventura, Calif.
2	10.7	Boscan, Venezuela	9	31.1	Kettleman Hills, Calif.
3	14.0	Maricopa, Calif.	10	36.4	Oklahoma City, Okla.
4	15.0	Wilmington, Calif.	11	34.6	Kettleman Hills, Calif.
5	19.8	Sansinena, Calif.	12	44.0	Denton, New Mexico
6	25.6	Scholem Alechem, Okla.	13	50.7	Kettleman Hills, Calif.
7	26.8	Seal Beach, Calif.			

FIG. 4.3 Viscosidad del fluido motriz a temperatura de fondo del pozo (6)

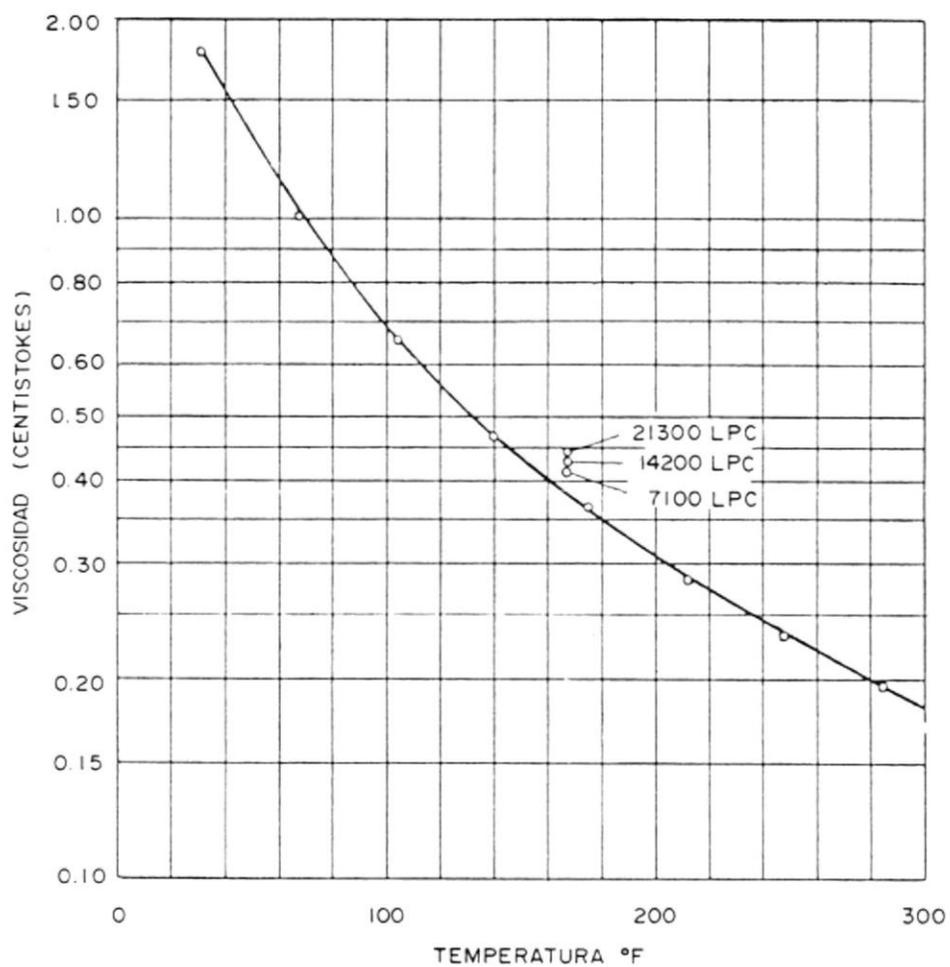


FIG. 4.4 Viscosidad del fluido matriz (agua) a la temperatura del pozo (6)

valor de la viscosidad cinemática.

4.2.6 Cálculo de los gradientes de los fluidos

El gradiente de un fluido (LPC/PIE), está dado por:

$$\text{GRD} = \text{SG} * 0.433$$

Donde:

$$\text{SG} = \frac{141.5}{131.5 + \text{°API}}$$

4.2.7 Determinación de las presiones empleadas (12)

Es sin lugar a dudas, lo más importante del diseño. Las presiones ejercidas dependen del sistema de flujo de fluido motriz empleado (Figura 4.5).

SISTEMA DE FLUIDO MOTRIZ CERRADO

Por medio del balance de energía:

$$\begin{array}{l} \text{PRESION} \\ \text{ENTRADA FM} \\ \text{AL MOTOR} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Presión} \\ \text{salida FM} \\ \text{del motor} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Presión} \\ \text{descarga} \\ \text{motor FP} \end{array}$$

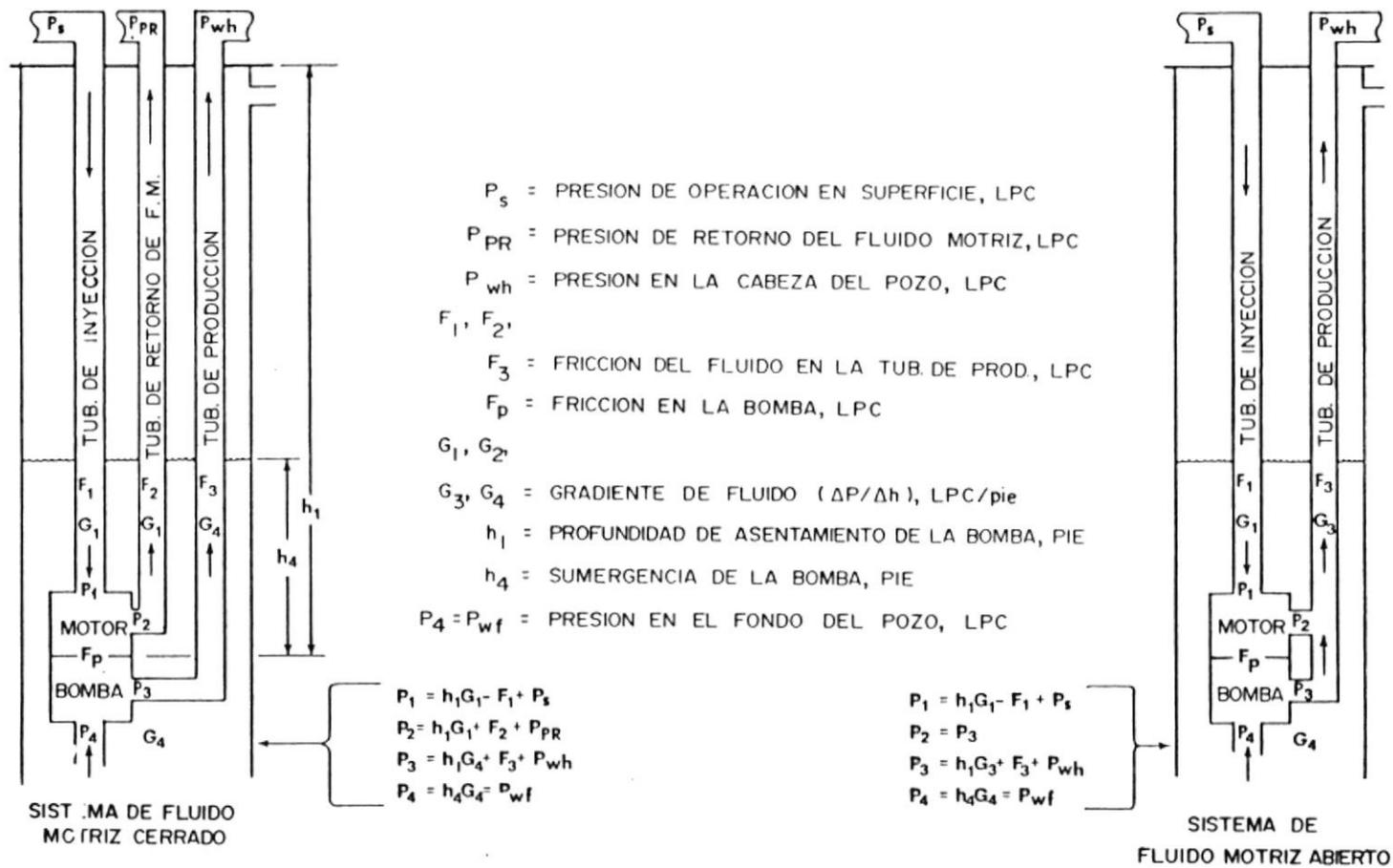


FIG. 4.5 Presiones y pérdidas por fricción que afectan al bombeo hidráulico (6)

pérdidas
+ por fricción
en la unidad

$$P_1 = P_2 + (P_3 - P_4) * (P/E) + FP$$

Igualando la presión a cero :

$$P_1 - P_2 - (P_3 - P_4) * (P/E) - FP = 0$$

Desarrollando:

$$(h_1 * G_1 - F_1 + P_S) - (h_1 * G_1 + F_2 + P_{PR}) - (h_1 * G_1 + F_3 + P_{FL} - h_4 * G_4) * (P/E) - FP = 0$$

Despejando la presión superficial, se tiene:

$$P_S = F_1 + F_2 + P_{PR} + FP + ((h_1 - h_4) * G_4 + F_3 + P_{WH}) * (P/E)$$

NOTA: Se recomienda leer los Apéndices A y B para mayor información.

SISTEMA DE FLUIDO MOTRIZ ABIERTO

Basándose en la ecuación de balance de energía:

PRESION		Presión sali-		Pérdidas
ENTRADA FM	=	da del fluido	+	por fric.
AL MOTOR		de la unidad		en unidad

$$P_1 = P_3 + (P_3 - P_4) * (P/E) + FP$$

De donde:

$$P_1 = P_3 * (1 + (P/E)) - P_4 * (P/E) + FP$$

Desarrollando:

$$h_1 * G_1 - F_1 + PS = (h_1 * G_3 + F_3 + PWH) * (1 + (P/E)) - h_4 * G_4 * (P/E) + FP$$

Despejando la presión superficial:

$$PS = (h_1 * G_3 + F_3 + PWH) * (1 + (P/E)) - PWF * (P/E) + FP - (h_1 * G_1 - F_1)$$

4.2.8 Potencias requeridas

Potencia superficial requerida (HP):

$$HPSUP = PS * QFM * 0.000017$$

Potencia subsuperficial (HP):

$$\text{HPFON} = (\text{P3}-\text{P4}) * \text{QBOM} * 0.000017$$

4.3 PROGRAMA DE COMPUTO

4.3.1 Introducción al programa

Debido a la gran variedad de parámetros que se deben determinar para diseñar un sistema de bombeo hidráulico, se hace preciso buscar un proceso sistemático que considere varias alternativas; un método que además de seguir una secuencia de pasos, pueda realizar comparaciones y permita tomar decisiones acertadas. Para ello, se necesita hacer uso de un algoritmo, de tal forma que al ser escrito en lenguaje de cómputo, representará una gran ventaja ya que ahorrará esfuerzo y tiempo, así como también se eliminarán los errores humanos inevitables tales como mal lectura de gráficas, truncamiento de decimales, etc.

De ahí la necesidad del programa de cómputo "BOMHIPIS" para que resuelva estas necesidades.

De ahora en adelante, el programa de cómputo será referido únicamente por "BOMHIPIS".

"BOMHIPIS" es un programa de cómputo que realiza el diseño de un sistema de bombeo hidráulico tipo pistón, está escrito en lenguaje Basic y puede ser instalado ya sea en microcomputadoras o en cualquier sistema de cómputo que tenga incorporado el Basic.

Ha sido probado y corrido tanto en la IBM PC AT de la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas y Petróleo de la ESPDL, como en la IBM PS de División de Producción de CEPE (Subgerencia Regional Guayaquil). Se encuentra grabado en un diskette que puede ser introducido en cualquier microcomputadora compatible con las máquinas IBM.

Al ser corrido "BOMHIPIS" a manera de "diálogo", cualquier persona, aunque se encuentre desligada del diseño de bombeo hidráulico, puede ingresar los datos; lo único que se necesita son los nombres de los parámetros pedidos y sus respectivos valores. Además, es muy posible que el usuario se equivoque al ingresar los datos, pero si esto sucede no hay ningún problema ya que el programa pide los datos por secciones y al final de cada una, presenta por pantalla los valores ingresados y pregunta si son correctos, dando de

esta manera, la oportunidad de corregir algún dato erróneo.

Debido a que el programa es muy extenso y se necesitan muchos datos, "BOMHIPIS" los solicita ordenadamente por secciones:

- 1.- Características y condiciones del pozo.
- 2.- Características de los fluidos.
- 3.- Decisiones y Elecciones del Diseño.
- 4.- Características de la bomba subsuperficial.

Para correr el programa, sólo se necesita hacer lo siguiente:

- a.- Encender la máquina.
- b.- Insertar el diskette en el drive A.
- c.- Salir del disco duro y entrar al drive A, digitando únicamente A:
- d.- Entrar al basic, escribiendo BASIC
- e.- Cargar el programa BOMHIPIS:
LOAD" BOMHIPIS
- f.- Correr el programa:
RUN" BOMHIPIS

En este momento empieza a correr el programa y

el usuario tendrá que ingresar los datos de entrada. A continuación se muestra cómo serán solicitados por secciones:

- Lectura de la primera sección:

```
*****
          DATOS DE ENTRADA
*****
```

CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DEL POZO

```
PROF. DE ASENTAMIENTO DE LA BOMBA (PIES) =?
LONGITUD DEL TUBING (PIES)                =?
TEMPERATURA DE FONDO (°F)                 =?
DIAMETRO INTERNO DEL CASING (PULG)        =?
PRESION EN LA CABEZA DEL POZO (LPC)       =?
TEMPERATURA EN LA CABEZA DEL POZO (°F)    =?
```

A continuación aparecerán los datos antes te-
cleados:

CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DEL POZO

```
1. PROF. DE ASENTAM. DE LA BOMBA (PIES)= XX
2. LONGITUD DEL TUBING (PIES)           = XX
3. TEMPERATURA DE FONDO (°F)            = XX
4. DIAMETRO INTERNO DEL CASING (PULG)   = XX
5. PRESION EN LA CABEZA DEL POZO (PLC)  = XX
6. TEMPERATURA EN CABEZA DEL POZO (°F)  = XX
```

DESEA CAMBIAR ALGUN DATO (Y/N)=?

Si=Y

No=N

Si se elige la primera opción (SI=Y), saldrá el

siguiente mensaje:

QUE NUMERO DESEA CAMBIAR=?

Este número depende de la variable que se desea cambiar. Si se digita 1, aparecerá lo siguiente:

```
*****
CORECCION DE DATOS
*****
```

PROF. DE ASENTAMIENTO DE LA BOMBA (PIES) =?

De esta manera se podrá cambiar el dato erróneo.

Luego volverán a presentarse los datos tecleados con el cambio que se haya hecho, así como también esta frase:

DESEA CAMBIAR ALGUN DATO (Y/N)=?

Si la respuesta es SI (Y), se sigue el procedimiento anteriormente mencionado, caso contrario, se digita N y el proceso continúa.

- Lectura de la segunda sección:

```
*****
DATOS DE ENTRADA
```

CARACTERISTICAS DE LOS FLUIDOS

RELACION GAS ACEITE (PC/BBL) =?
 DENSIDAD DEL ACEITE PRODUCIDO (°API) =?
 CORTE DE AGUA (FRACCION DECIMAL) =?
 GRAVEDAD ESPECIFICA DEL AGUA =?
 PROFUNDIDAD DESEADA EN SUPERFICIE (BPD) =?

Luego se muestran en pantalla los datos ingresados:

CARACTERISTICAS DE LOS FLUIDOS

1. RELACION GAS-ACEITE (PC/BBL) = XX
 2. DENSIDAD DEL ACEITE PRODUCIDO (°API) = XX
 3. CORTE DE AGUA (FRACCION DECIMAL) = XX
 4. GRAVEDAD ESP. DEL AGUA PRODUCIDA = XX
 5. PRODUCCION DESEADA EN SUPERF. (BPD) = XX

DESEA CAMBIAR ALGUN DATO (Y/N)=?

- Lectura de la tercera sección:

 DECISIONES Y ELECCIONES DEL DISEÑO

1. BOMBA ESTA COLOCADA EN ZONA PRODUCTORA 2. BOMBA ESTA EN ZONA DIFERENTE A PRODUC.
--

DONDE ESTA COLOCADA LA BOMBA (1 ó 2) =?

Si la bomba está colocada en zona diferente a la productora, entonces preguntará:



PROFUNDIDAD DE LA ZONA PRODUCTORA (PIES)=?

A continuación para ambos casos (con la bomba en la zona productora o no), aparecerá lo siguiente:

- | |
|--|
| 1. PRESION DE FONDO FLUYENTE
2. DATOS IPR PARA CALCULAR PWF |
|--|

CUAL DATO CONOCE (1 ó 2) =?

Si se conoce el dato 1 (Presión de fondo fluyente), el programa solicitará:

PRESION DE FONDO FLUYENTE (LPC) =?

Y también hará la siguiente pregunta:

TIENE LOS DATOS IPR PARA COMPROBAR SI ES POSIBLE PRODUCIR A LA TASA DESEADA (Y/N)=?

Si la respuesta es no (N), el programa continuará con otras decisiones y elecciones.

Si se tienen los datos IPR (Y), se pedirá que se ingresen los datos:

DATOS IPR

```

*****
PRESION ESTATICA DEL YACIMIENTO (LPC) =?
PRESION DE BURBUJEO (LPC)           =?
PRESION DE FONDO FLUYENTE (LPC)     =?
TASA DE PRODUCCION (BPD)             =?

```

Enseguida se presentará el siguiente cuadro:

DATOS IPR	
1. PRESION ESTATICA DEL YAC. (LPC)	= XX
2. PRESION DE BURBUJEO (LPC)	= XX
3. PRESION DE FONDO FLUYENTE (LPC)	= XX
4. TASA DE PRODUCCION (BPD)	= XX

DESEA CAMBIAR ALGUN DATO (Y/N)=?

Con los datos IPR, el programa calcula la máxima tasa de producción del pozo (QMAX) para luego compararla con la tasa que se desea producir. Si esta última es menor que QMAX no hay ningún problema, en caso contrario, saldrá el siguiente mensaje:

```

NO ES POSIBLE PRODUCIR LO QUE SE DESEA
LA MAXIMA TASA DE PRODUCCION POSIBLE ES= XX

```

INGRESE UN VALOR MENOR DE LA Q DESEADA =?

Luego se calcula la presión de fondo fluyente e inmediatamente hay que tomar algunas decisiones:

 DECISIONES Y ELECCIONES DEL DISEÑO

FLUIDO MOTRIZ AGUA	= W
FLUIDO MOTRIZ ACEITE	= O

TIPO DE FLUIDO MOTRIZ (O/W) =?

SISTEMA DE FLUIDO MOTRIZ CERRADO	= C
SISTEMA DE FLUIDO MOTRIZ ABIERTO	= A

TIPO DE SISTEMA DE FLUIDO MOTRIZ =?

DIAM. INT. DEL TUBING INY. FM. (PULG) =?

DIAM. EXT. DEL TUBING INY. FM. (PULG) =?

Posteriormente, se mostrarán los datos recién digitados.

DECISIONES Y ELECCIONES DEL DISEÑO	
------------------------------------	--

FLUIDO MOTRIZ	= XX
SISTEMA DE FLUIDO MOTRIZ	= XX

Si el fluido motriz es agua pedirá:

GRAV. ESPECIF. DEL FLUIDO MOTRIZ (AGUA) =?

En cambio, si es aceite, solicitará:

DENSIDAD DEL FLUIDO MOTRIZ (°API) =?

Y a continuación tendremos:

DIAM. INT. TUBING INY. FM. (PULG)= XX
DIAM. EXT. TUBING INY. FM. (PULG)= XX

ES CORRECTA ESTA INFORMACION (Y/N) =?

Pudiéndose en este momento cambiar cualquiera de las elecciones tomadas.

De aquí en adelante, el programa tiene básicamente dos ramificaciones dependiendo del tipo de sistema de fluido motriz. Si éste es abierto tendremos:

SISTEMA DE FLUIDO MOTRIZ ABIERTO

BOMBA TIPO FIJA = F
BOMBA TIPO LIBRE = L

TIPO DE BOMBA (F/L) =?

Si la bomba es de tipo fija (F), habrá que elegir de entre los siguientes tipos de instalación:

INSTALACION FIJA INSERTABLE = I
INSTALACION CASING FIJA = C

TIPO DE INSTALACION (I/C)=?

Cuando la respuesta es I, se imprimirá lo que está a continuación:

BOMBA = FIJA INSERTABLE (MACARRONI)

DIAM. INT. DEL TUBING MACARRONI (PULG) = ?

Cuando la instalación es casing fija, saldrá:

BOMBA = CASING FIJA

SE VENEA GAS (Y/N) =?

Si la respuesta es afirmativa, solicitará:

DIAM. EXT. TUB. QUE RETORNA AL GAS (PULG)=?

Si la bomba es de tipo libre (L), se presentan las siguientes alternativas:

INSTALACION LIBRE PARALELO = P
INSTALACION CASING LIBRE = C

TIPO DE INSTALACION (P/C) =?

Si se responde P, tendremos:

BOMBA = LIBRE PARALELO

I.D. DEL TUBING POR EL CUAL SUBE EL FLUIDO DE
RETORNO (PULG) =?

Cuando se trata de bomba casing libre, será:

BOMBA = CASING LIBRE

SE VENEA GAS (Y/N)=?

Si se responde afirmativamente, se requerirá de:

DIAM. EXT. TUB. QUE RETORNA AL GAS (PULG)=?

Para el caso del sistema cerrado será:

SISTEMA DE FLUIDO MOTRIZ CERRADO

PRESION DE RETORNO DE F. M. (LPC) =?

BOMBA TIPO FIJA = F

BOMBA TIPO LIBRE = L

TIPO DE BOMBA (F/L) =?

Cuando se selecciona una bomba tipo fija (F), a-
parecerá lo siguiente:

INSTALACION FIJA INSERTABLE = I

INSTALACION CASING FIJA = C

TIPO DE INSTALACION (I/C)=?

Si la respuesta es I, se imprimirá:

BOMBA = FIJA INSERTABLE (MACARRONI)

DIAM. INT. DEL TUBING MACARRONI (PULG) = ?
I.D. TUBING POR EL CUAL SUBE EL F.P. (PULG) = ?

Si se trata de una instalación casing fija:

BOMBA = CASING FIJA

DIAMETRO INTERNO DEL TUBING MACARRONI (PULG) = ?
DIAMETRO EXTERNO DEL TUBING MACARRONI (PULG) = ?

Para el caso de bomba tipo libre (L), tenemos:

INSTALACION LIBRE PARALELO = P
INSTALACION CASING LIBRE = C

TIPO DE INSTALACION (P/C) = ?

Si se trata de bomba libre paralelo, aparecerá:

BOMBA = LIBRE PARALELO

I.D. TUBING POR EL CUAL SUBE EL F.P. (PULG) = ?
I.D. TUBING POR EL CUAL RETORNA F.M. (PULG) = ?

Si la bomba es casing libre:

BOMBA = CASING LIBRE

I.D. TUBING POR EL CUAL RETORNA F.M. (PULG) = ?

O.D. TUBING POR EL CUAL RETORNA F.M. (PULG) = ?

Una vez que se han tomado estas decisiones, "BOMHIPIS" procede a calcular la eficiencia de la bomba.

Si se ventea gas, se asume una eficiencia de la bomba igual a 0.85.

Si se trata de una instalación de bomba tipo casing, se calculará la eficiencia teórica por medio de la subrutina EFIBOM, igualmente si se bombea el gas. Si este valor es menor que 0.5 entonces se presentará el siguiente mensaje:

SE DEBE VENTEAR EL GAS PORQUE AL
BOMBEARLO LA EFICIENCIA ES = XX

Cuando se calcula la eficiencia teórica de la bomba mediante la subrutina EFIBOM y este valor es mayor que 0.5 entonces el valor real será el 85 % del valor teórico.

De inmediato, "BOMHIPIS" procede a calcular la mínima capacidad requerida por la bomba, así



como también la relación bomba-motor (P/E). **BIBLIOTECA**

Luego se debe escoger el diámetro de la bomba, para lo cual se presta ayuda con la siguiente información:

TAMAÑO DE LA BOMBA

DIAM. NOMINAL BOMBA = f (O.D. TUB. INY. FM)

DIAMETRO NOMINAL	O.D. TUBING (IN.)
2	2-3/8
2-1/2	2-7/8
3	3-1/2
4	4-1/2

DIAM. EXT. TUBING INYEC. (F.M.) = XX

DIAMETRO DE LA BOMBA (PULG) = ?

SELECCION DE LA BOMBA

EL PROGRAMA SELECCIONA LA BOMBA = P
EL USUARIO SELECCIONA LA BOMBA = U

SELECCION DE LA BOMBA (U/P) = ?

DATOS REQUERIDOS PARA SELECCION DE BOMBA

- DIAMETRO DE LA BOMBA (PULG) = XX
- CAPACIDAD REQUERIDA (BPD) = XX
- MAXIMA RELACION BOMBA-MOTOR = XX

Si el usuario selecciona la bomba, se tendrá:

LAS CARACTERISTICAS DE LA BOMBA DEBEN SER

INGRESADAS POR EL USUARIO

Si el programa selecciona la bomba, será:

LAS CARACTERISTICAS DE LA BOMBA SE
ENCUENTRAN ALMACENADAS EN LA SUBRU-
TINA SELBOM

ES CORRECTA ESTA INFORMACION (Y/N) =?

Quando el usuario ingresa las características de la bomba, "BOMHIPIS" presentará:

CARACTERISTICAS DE LA BOMBA SELECCIONADA

RELACION BOMBA MOTOR (P/E)	=?
GASTO QUE PUEDE MANEJAR LA BOMBA (BPD)	=?
DESPLAZAMIENTO DEL MOTOR: Q1 (BPD/SPM)	=?
DESPLAZAMIENTO DE LA BOMBA: Q4 (BPD/SPM)	=?
DESP. MAX. DE LA BOMBA: Q4max (BPD/SPM)	=?
VELOCIDAD MAXIMA DE BOMBEO (SPM)	=?
N° DE TABLA CORRESP. A BOMBA SELECCIONADA	=?

Posteriormente se mostrarán los datos ingresados:

CARACTERISTICAS DE LA BOMBA SELECCIONADA

1. RELACION BOMBA-MOTOR (P/E)	=XX
2. GASTO QUE MANEJA LA BOMBA (BPD)	=XX
3. DESPLAZ. DEL MOTOR: Q1 (BPD/SPM)	=XX
4. DESP. DE LA BOMBA: Q4 (BPD/SPM)	=XX
5. DESP. MAX. BOMBA: Q4max (BPD/SPM)	=XX
6. VELOCIDAD MAX. DE BOMBEO (SPM)	=XX

7. N° CORRESP. A BOMBA SELECCIONADA =XX

En caso de haber ingresado mal un dato, se puede cambiar contestando afirmativamente cuando se pregunta si se desea cambiar algún dato.

Luego, "BOMHIPIS" calcula el gradiente y el caudal del fluido motriz, las pérdidas de presión por fricción tanto para la bomba como para las tuberías, las viscosidades cinemáticas de los fluidos, y finalmente los cálculos finales tales como la presión superficial de inyección del fluido motriz y las potencias superficial y subsuperficial que se requieren para el diseño.

El diseño de bombeo hidráulico mediante el programa de cómputo "BOMHIPIS" es sencillo, rápido y muy práctico ya que no requiere de ninguna lectura de gráficos, consulta de tablas, ni cálculos exteriores.

"BOMHIPIS" tiene almacenadas las características de las bombas comerciales en la subrutina SELBOM. Adicionalmente tiene cuatro subrutinas que emplean correlaciones, ajustes y modelos matemáticos para eliminar los gráficos.

Una vez terminados los cálculos, se muestran los resultados mediante el siguiente cuadro:

DISEÑO DE SISTEMA DE BOMBEO HID. TIPO PISTON	
FLUIDO MOTRIZ = XX	*API DE FM = XX
SISTEMA DE FM = XX	INSTALACION = XX
TAMAÑO DE LA BOMBA (PULG)	= XX
FLUIDO MOTRIZ REQUERIDO (BPD)	= XX
PRESION DE INY. DE F.M. (LPC)	= XX
PORCENTAJE DE VELOCIDAD (SPM)	= XX
POTENCIA SUPERFICIAL (HP)	= XX
POTENCIA EN EL FONDO (HP)	= XX
PERDIDA POR FRIC. EN LA BOMBA (LPC)	= XX
PERDIDA POR FRIC. EN F.M. DE INY. (LPC)	= XX
PERDIDA POR FRIC. EN FM DE RETORNO (LPC)	= XX
PERDIDA POR FRICCIÓN EN F. PRODUC.(LPC)	= XX

Finalmente, el programa presenta las siguientes opciones:

- | |
|--------------------------------------|
| 1.- DESEA SELECCIONAR OTRA BOMBA |
| 2.- DESEA OTRO TIPO DE INSTALACION |
| 3.- DESEA CAMBIAR EL FLUIDO MOTRIZ |
| 4.- DESEA CAMBIAR LOS DATOS DEL POZO |
| 5.- DESEA IMPRIMIR LOS RESULTADOS |
| 6.- DESEA FINALIZAR EL DISEÑO |

CUAL ALTERNATIVA DESEA (1,2,3,4,5,6) = ?

Si se desea imprimir los resultados del diseño, se debe tener lista la impresora con suficiente papel ya que se imprimirá una hoja íntegra.



A continuación se dará una breve explicación de las subrutinas con sus variables de entrada y salida:

SUBROUTINA VISCIN

Determina la viscosidad cinemática de cualquier crudo, para ello se necesita conocer la densidad en °API, la temperatura en °F y la presión de entrada a la bomba el LPC. También se puede calcular la viscosidad cinemática del agua para lo cual solamente se requiere la temperatura.

VISCIN usa las ecuaciones presentadas por Brown, Barton y Coberly en la publicación 1375 de la SPE cuyo título es "The Properties of Wells Fluids as Related to Hydraulic Pump-ing".

VARIABLES DE ENTRADA:

FM\$ Determina el tipo de fluido motriz a ser usado, aceite (O) o agua (W).

TEM Temperatura a la cual se encuentra el fluido (grados Fahrenheit).

API Densidad API del fluido.

PIP Presión en libras por pulgada cuadrada, a la que se encuentra el fluido.

VARIABLES DE SALIDA:

VICI Viscosidad cinemática en centistokes.

El desarrollo detallado de esta subrutina se encuentra en el Apéndice A.

SUBROUTINA EFIBOM

EFIBOM calcula la eficiencia volumétrica teórica de la bomba, que es un factor muy importante especialmente cuando se bombea gas.

Esta subrutina no tiene ecuaciones, consta de 5 tablas de datos y el método de interpolación de Lagrange. Los datos de las tabla son obtenidos de la figura 5.43 del libro "The Technology of Artificial Methods" Volúmen 2b de K. Brown. Para cada valor de corte de agua (0,20,40,60 y 80), se ha generado una tabla de datos.

Si los datos que ingresan a la subrutina coinciden con los que están almacenados en la tabla,

no se realiza ninguna interpolación, simplemente se lee la eficiencia. Pero si no coinciden, como normalmente ocurre, se necesita hacer varias interpolaciones, dependiendo de cuantos de los valores ingresados como datos deben ser interpolados.

VARIABLES DE ENTRADA:

PIP Presión a la que el fluido a ser bombeado entra a la bomba (fluido con gas en solución), en libras por pulgada cuadrada (LPC).

GOR Relación gas-aceite. Cantidad de gas contenida en el líquido, en pie cúbico estándar por barril (PCS/BBL).

WC Porcentaje de agua contenida en el líquido expresada en fracción decimal.

VARIABLES DE SALIDA:

EB Eficiencia teórica de la bomba cuando a través de de ella pasa aceite y gas.

En un sistema de bombeo hidráulico, la unidad de

fondo no está diseñada para bombear gas, ya que al hacerlo, disminuye considerablemente la eficiencia de operación. Por este motivo, en lo posible se debe ventear el gas.

SUBROUTINA FRICBOM

Similarmente a EFIBOM, trabaja con tabla de datos e interpolación de Lagrange. Los datos almacenados en las 8 tablas, corresponden a distintas clases de bombas, y esta información se obtuvo de la figura 5.45 del volumen 2b de Kermit Brown.

El valor que se calcula con FRICBOM es el incremento de presión debido a la fricción mecánica e hidráulica en la bomba y en el conjunto de fondo.

VARIABLES DE ENTRADA:

NX Número de la figura correspondiente a la bomba seleccionada.

VICI Viscosidad cinemática del fluido motriz en centistokes.

PVM Porcentaje de velocidad de bombeo. Relación entre el desplazamiento del pistón de la bomba con respecto al desplazamiento máximo de la misma.

SG Gravedad específica del fluido.

Q4PX Desplazamiento del pistón de la bomba (BPD/SPM).

Q4PMX Desplazamiento máximo del pistón de la bomba (BPD/SPM).

EFBO Eficiencia de la bomba expresada en fracción.

VARIABLES DE SALIDA:

PP1 Presión que se leería en la gráfica de caídas de presión en libras por pulgada cuadrada (LPC).

DP Variación de presión por fricción en la unidad de fondo considerando que no hay cargas sobre ellas (LPC).

FPE Pérdidas por fricción en la bomba (LPC).

FEE Pérdidas por fricción en el motor (LPC).

FP Pérdidas por fricción en la unidad subsuperficial (LPC).

Esta subrutina es aplicable para todo tipo de bombas fabricadas por industrias SARGENT para bombeo hidráulico (especificaciones publicadas por Kermit Brown).

SUBROUTINA FRICTUB

Es la subrutina que calcula las pérdidas de presión en tuberías verticales tanto para secciones circulares como para espacios anulares.

Las ecuaciones usadas son las que aparecen en la publicación 1555-G de la SPE presentado por Barton, Brown y Coberly.

VARIABLES DE ENTRADA:

GTO Gasto que fluye a través de la sección en barriles por día (BPD).

L Longitud de la tubería por la cual fluye

el fluido, expresada en pies.

- VICI Viscosidad del fluido en centistokes.
- FLUJO\$ Variable de control. Si FLUJO\$=T es a través de una sección circular, si FLUJO\$=A se trata del espacio anular.
- SG Gravedad específica del fluido.
- D1 Diámetro interior de la tubería de revestimiento en pulgadas para el caso de flujo anular. Para secciones circulares, será el diámetro interior de la tubería a través de la cual circula el fluido (de inyección o de producción).
- D2 Diámetro exterior de la tubería de producción o inyección para el caso de flujo anular. Si se trata de secciones circulares, este diámetro será cero.
- E Excentricidad de las tuberías, siendo su máximo valor la unidad (cuando está totalmente descentrado), y su mínimo valor es cero, (cuando se encuentra centrado).

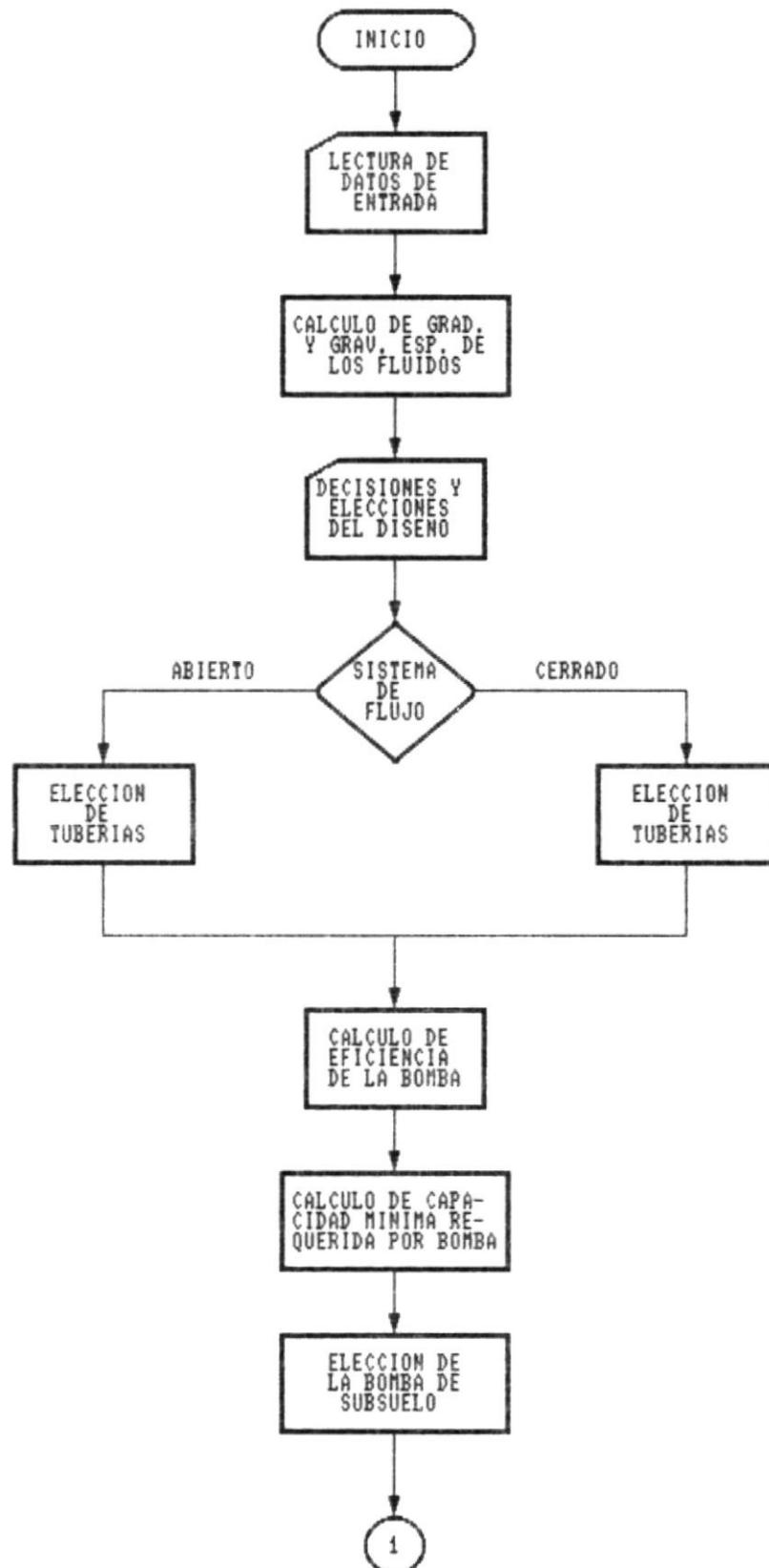
VARIABLES DE SALIDA:

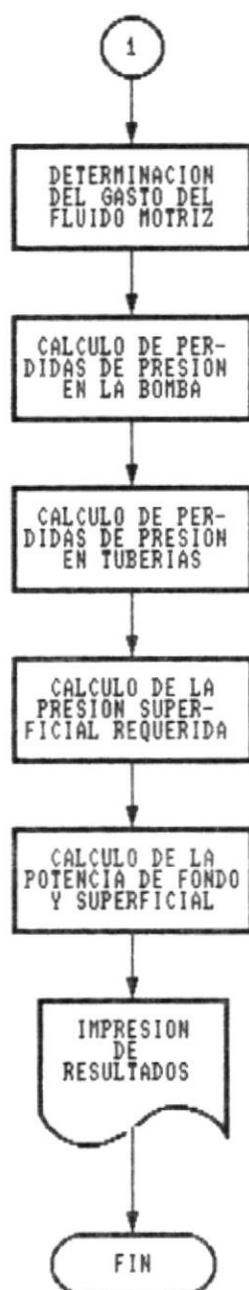
PFRI Pérdidas de presión por fricción a lo largo de la sección, en libras por pulgada cuadrada (LPC).

Mayor información sobre esta subrutina se la puede encontrar en Apéndice B.

4.3.2 Diagrama de flujo

DIAGRAMA DE FLUJO





```

10 KEY OFF
20 CLS
30 OPTION BASE 1
40 REM
50 PRINT "      BBBBBB      0000  MM      MM HH      HH II P P P P P P P P II  SSSSSS"
60 PRINT "      BB      BB 00  00 MMM      MMM HH      HH II PP      PP II SS"
70 PRINT "      BB      BB 00  00 MM M  M  MM HH      HH II PP      PP II SS"
80 PRINT "      BBBBBB 00  00 MM  MM  MM HHHHHHHH II P P P P P P P P II  SSSSSS"
90 PRINT "      BB      BB 00  00 MM      MM HH      HH II PP      II      SS"
100 PRINT "      BB      BB 00  00 MM      MM HH      HH II PP      II      SS"
110 PRINT "      BBBBBB      0000  MM      MM HH      HH II PP      II  SSSSSS"
120 PRINT ""
130 PRINT ""
140 PRINT ""
150 PRINT "      * * * * *
160 PRINT "      * C E P E - E S P O L *
170 PRINT "      * * * * *
180 FOR T=1 TO 4
190 PRINT ""
200 NEXT T
210 PRINT ""
220 PRINT "      DISEÑO COMPUTARIZADO DE UN SISTEMA DE BOMBEO"
230 PRINT "      HIDRAULICO TIPO PISTON"
240 PRINT ""
250 PRINT ""
260 REM
270 DIM A(5,33),B(5,33),C(5,33),D(5,33),E(5,33),R(5,33)
280 DIM PP1(2),YY1(2)
290 DIM F(4,10),G(4,10),H(4,10),I(4,10)
300 DIM J(4,10),K(4,10),M(4,10),N(4,10),Q(4,10)
310 DIM DB(90),PE(90),QB(90),DIE(90),Q4P(90),SPM(90),NX(90)
320 REM *****
330 REM  DATOS PARA CALCULAR LA EFICIENCIA DE LA BOMBA DE SUBSUELO
340 REM  (SUBROUTINA EFIBOM)
350 REM *****
360 REM INGRESO DE TABLA PARA CORTE DE AGUA (WC=0)
370 RESTORE 430
380 FOR I=1 TO 5
390 FOR J=1 TO 33
400 READ A(I,J)
410 NEXT J
420 NEXT I
430 DATA 0,1,1.5,2.0,2.5,3.0,4.0,5.0,6.0,7.0,8.0,9.0,10.0,11.0,12.0,13.0,14.0,15
.0,16.0,17.0,18.0,19.0,20.0,21.0,22.0,23.0,24.0,25.0,26.0,27.0,28.0,29.0,30.0
440 DATA 200,18.23,26,33.65,40,46,55.62,64.42,72.11,79.38,87,90,100,100,100,100,
100,100,100,100,100,100,100,100,100,100,100,100,100,100,100,100,100
450 DATA 500,10,10,11.38,15.23,18.85,25.92,31.77,37,41.77,46.35,50.42,53.69,57.1
5,61,64.15,66.92,68.92,71.15,73.85,76.15,78.62,80,82.69,84.31,85.92,88.23,90.92,
93.15,94.92,96.38,98.38,100
460 DATA 1000,10,10,10,10,10,12.85,16.85,20.38,23.62,26.38,29.15,31.69,33.69,36.
62,38.92,40.92,42.15,44,45.69,47.54,49.46,51,52.92,53.92,55.54,57,58.62,60.23,61
.62,62.54,63.92,65.46
470 DATA 2000,10,10,10,10,10,10,10,11.38,13.08,14.81,16.46,18.08,20.31,21.85,
23.23,24.08,25.54,27.08,28.31,29.77,30.69,31.77,32.77,33.92,35.08,36.08,37.08,38
.08,39,40,40.85

```



```
1230 DATA 0,20,30,40,50,60,70,80,90,100
1240 DATA 0.5,100,101.42,141.77,181.62,223.37,268.22,322.52,389.46,487.14
1250 DATA 1,100,125.61,173.62,221.49,268.22,325.26,388.37,457.24,544.43
1260 DATA 5,100,154.26,214.44,275.48,336.43,406.26,471.62,539.85,619.69
1270 REM INGRESO DE TABLA DE PERDIDA DE PRESION SEGUN FIG: 5 - 9
1280 RESTORE 1340
1290 FOR I=1 TO 4
1300 FOR J=1 TO 10
1310 READ H(I,J)
1320 NEXT J
1330 NEXT I
1340 DATA 0,20,30,40,50,60,70,80,90,100
1350 DATA 0.5,100,112.71,156.67,199.3,246.15,298.08,372.31,467.66,552.15
1360 DATA 1,100,139.01,190.79,239.65,297.66,357.42,435.88,526.35,605.89
1370 DATA 5,105.94,170.72,235.31,299.76,373.89,443.3,521.91,604.19,689.65
1380 REM INGRESO DE TABLA DE PERDIDA DE PRESION SEGUN FIG: 10
1390 RESTORE 1450
1400 FOR I=1 TO 4
1410 FOR J=1 TO 10
1420 READ I(I,J)
1430 NEXT J
1440 NEXT I
1450 DATA 0,20,30,40,50,60,70,80,90,100
1460 DATA 0.5,100,123.68,170.72,218.39,271.25,335.95,429.18,527.83,658.35
1470 DATA 1,100,152.11,207.9,261.14,325.71,399.45,491.96,585.77,717.37
1480 DATA 5,115.93,186.02,256.76,327.09,407.40,485.09,572.73,659.28,799.49
1490 REM INGRESO DE TABLA DE PERDIDA DE PRESION SEGUN FIG: 6 - 7 - 11
1500 RESTORE 1560
1510 FOR I=1 TO 4
1520 FOR J=1 TO 10
1530 READ J(I,J)
1540 NEXT J
1550 NEXT I
1560 DATA 0,20,30,40,50,60,70,80,90,100
1570 DATA 0.5,100,133.07,185.24,235.31,295.15,377.59,498.23,621.44,756.79
1580 DATA 1,103,165.05,224.95,284.15,354.91,444.55,559.18,674.3,821.16
1590 DATA 5,128.47,202.41,277.04,354.91,440.19,527.83,638.28,738.89,898.56
1600 REM INGRESO DE TABLA DE PERDIDA DE PRESION SEGUN FIG: 12
1610 RESTORE 1670
1620 FOR I=1 TO 4
1630 FOR J=1 TO 10
1640 READ K(I,J)
1650 NEXT J
1660 NEXT I
1670 DATA 0,20,30,40,50,60,70,80,90,100
1680 DATA 0.5,100,144.19,203.55,256.76,327.09,431.55,556.05,695.5,852.96
1690 DATA 1,111.76,177.08,239.99,310.93,391.11,490.58,624.07,754.66,930.74
1700 DATA 5,136.68,219.01,299.34,386.19,478.31,571.12,687.71,830.45,1024.22
1710 REM INGRESO DE TABLA DE PERDIDA DE PRESION SEGUN FIG: 13
1720 RESTORE 1780
1730 FOR I=1 TO 4
1740 FOR J=1 TO 10
1750 READ M(I,J)
```



```
840 DATA 500,28,28,28,33.5,38.36,46.76,53.92,60.41,64.76,68.54,71.83,74.65,77.09
,80.09,81.95,83.76,84.86,86.48,88,89.43,90.69,91.38,92.52,93.24,93.9,95.14,96.07
,97.03,97.9,98.52,99.38,100
850 DATA 1000,28,28,28,28,28,30.28,35.42,39.58,43.77,47.79,50.86,54.19,56.76,60.
20,62.4,63.93,65.33,66.73,68.2,69.73,71.28,72.44,73.89,74.71,75.87,76.98,78.26,7
9.42,80.33,81,81.86,82.81
860 DATA 2000,28,28,28,28,28,28,28,28,28,30.89,32.85,35.36,37.09,39.45,41.64,43.
45,44.45,45.82,47.55,50.09,51.81,52.95,53.52,55.52,56.95,58.29,59.52,60.08,61.53
,62.27,63.2,64.53
870 REM
880 REM INGRESO DE TABLA PARA CORTE DE AGUA (WC=80)
890 RESTORE 950
900 FOR I=1 TO 5
910 FOR J=1 TO 33
920 READ E(I,J)
930 NEXT J
940 NEXT I
950 DATA 0,1,1.5,2.0,2.5,3.0,4.0,5.0,6.0,7.0,8.0,9.0,10.0,11.0,12.0,13.0,14.0,15
.0,16.0,17.0,18.0,19.0,20.0,21.0,22.0,23.0,24.0,25.0,26.0,27.0,28.0,29.0,30.0
960 DATA 200,53.47,64.19,71.87,76.87,81.09,86.27,90.33,92.48,94.46,96.57,98,100,
100,100,100,100,100,100,100,100,100,100,100,100,100,100,100,100,100,100,100,100
970 DATA 500,38,38,40,48.95,54.86,64.05,70.49,74.42,78.59,81.17,83.37,85.20,86.9
4,88.99,90.36,91.12,91.67,92.33,93.05,93.64,94.36,94.77,95.47,95.91,96.38,97.1,9
7.67,98.33,98.81,99.15,99.70,100
980 DATA 1000,38,38,38,38,38,43.07,51.39,56.88,61.15,65.11,67.75,70.25,72.04,74.
26,75.99,77.65,78.77,80,80.93,81.81,82.94,83.71,84.68,85.28,86,86.77,87.58,88.55
,89.19,90,90.25,90.74
990 DATA 2000,38,38,38,38,38,38,38,40,43.68,47.72,51.26,53.45,56.67,59.08,60.
96,61.91,63.56,64.96,66.43,68,69.3,70.25,70.99,71.98,72.65,73.77,74.44,75.49,76.
05,76.85,77.41
1000 REM ++++++
1010 REM DATOS PARA CALCULAR LAS PERDIDAS DE PRESION
1020 REM POR FRICCION EN LA BOMBA (SUBROUTINA FRICBOM)
1030 REM ++++++
1040 REM INGRESO DE TABLA DE PERDIDA DE PRESION SEGUN FIG: 1
1050 RESTORE 1110
1060 FOR I=1 TO 4
1070 FOR J=1 TO 10
1080 READ F(I,J)
1090 NEXT J
1100 NEXT I
1110 DATA 0,20,30,40,50,60,70,80,90,100
1120 DATA 0.5,100,100,136.29,168.33,209.66,251.75,298.92,353.92,420.22
1130 DATA 1,100,118.23,163.20,202.98,253.18,304.87,357.92,420.22,483.04
1140 DATA 5,100,145,202.13,253.18,317.12,376.53,443.30,508.15,558.40
1150 REM
1160 REM INGRESO DE TABLA DE PERDIDA DE PRESION SEGUN FIG: 2 - 3 - 8
1170 RESTORE 1230
1180 FOR I=1 TO 4
1190 FOR J=1 TO 10
1200 READ G(I,J)
1210 NEXT J
1220 NEXT I
```

```

1760 NEXT J
1770 NEXT I
1780 DATA 0,20,30,40,50,60,70,80,90,100
1790 DATA 0.5,100,157.11,218.39,283.35,372.31,500.34,653.74,825.79,1005.65
1800 DATA 1,120.93,191.33,260.77,344.09,436.49,556.83,707.35,898.56,1095.8
1810 DATA 5,148.72,235.97,326.17,424.97,523.39,638.28,782.79,980.49,1192.36
1820 REM INGRESO DE TABLA DE PERDIDA DE PRESION SEGUN FIG: 4 - 14
1830 RESTORE 1890
1840 FOR I=1 TO 4
1850 FOR J=1 TO 10
1860 READ N(I,J)
1870 NEXT J
1880 NEXT I
1890 DATA 0,20,30,40,50,60,70,80,90,100
1900 DATA 0.5,107.9,171.44,239.65,317.12,431,592.4,769.68,950.59,1147.9
1910 DATA 1,131.77,208.19,289.80,377.59,496.13,643.69,835.14,1034.36,1250.8
1920 DATA 5,162.51,258.21,364.53,468.31,574.34,718.38,915.15,1128.67,1370.63
1930 REM
1940 REM ++++++
1950 REM          CARACTERISTICAS DE LAS BOMBAS COMERCIALES
1960 REM          (SUBROUTINA SELBOM)
1970 REM ++++++
1980 RESTORE 2020
1990 FOR I=1 TO 90
2000 READ DB(I),PE(I),QB(I),QIE(I),Q4P(I),SPM(I),NX(I)
2010 NEXT I
2020 DATA 2,0.67,186,13.3,6.9,27,1
2030 DATA 2,0.93,259,13.3,9.6,27,1
2040 DATA 2,1.33,373,13.3,13.8,27,1
2050 DATA 2.5,0.58,257,21.2,9.5,27,1
2060 DATA 2.5,0.83,370,21.2,13.7,27,1
2070 DATA 2.5,1.13,502,21.2,18.6,27,1
2080 DATA 2.5,1.47,653,21.2,24.2,27,1
2090 DATA 3,0.53,418,36.1,15.5,27,1
2100 DATA 3,0.72,570,36.1,21.1,27,1
2110 DATA 3,0.94,742,36.1,27.5,27,1
2120 DATA 3,1.20,940,36.1,34.8,27,1
2130 DATA 3,1.47,1161,36.1,43.0,27,1
2140 DATA 4,0.68,940,63.5,34.8,27,1
2150 DATA 4,1.01,1404,63.5,52.0,27,1
2160 DATA 4,1.41,1960,63.5,72.6,27,1
2170 DATA 2,0.52,225,15.08,6.45,35,2
2180 DATA 2,0.72,312,15.08,8.92,35,2
2190 DATA 2,1.03,456,15.08,12.85,35,2
2200 DATA 2,1.21,528,15.08,15.08,35,2
2210 DATA 2.5,0.44,264,30.80,12.02,22,2
2220 DATA 2.5,0.68,467,30.80,17.30,27,2
2230 DATA 2.5,0.80,547,30.80,20.30,27,2
2240 DATA 2.5,0.93,637,30.80,23.60,27,2
2250 DATA 2.5,1.21,831,30.80,30.80,27,2
2260 DATA 3,0.59,643,43.71,21.42,30,2
2270 DATA 3,0.77,840,43.71,27.98,30,2
2280 DATA 3,0.98,1062,43.71,35.41,30,2

```

2290 DATA 3,1.21,1311,43.71,43.71,30,2
2300 DATA 4,0.57,840,60.35,27.98,30,2
2310 DATA 4,0.72,1062,60.35,35.41,30,2
2320 DATA 4,0.89,1311,60.35,43.71,30,2
2330 DATA 4,1.08,1587,60.35,52.90,30,2
2340 DATA 4,1.22,1810,60.35,60.35,30,2
2350 DATA 2,0.62,318,4.24,2.12,150,3
2360 DATA 2,0.87,444,4.24,2.96,150,3
2370 DATA 2,1.32,673,4.24,4.49,150,3
2380 DATA 2.5,0.74,630,8.89,5.25,120,3
2390 DATA 2.5,1.00,858,8.89,7.15,120,3
2400 DATA 2.5,1.32,1119,8.89,9.33,120,3
2410 DATA 3,1.28,1612,12.99,13.44,120,3
2420 DATA 2,0.54,444,6.86,2.96,150,4
2430 DATA 2,0.81,673,6.86,4.49,150,4
2440 DATA 2.5,0.41,630,15.16,5.25,120,4
2450 DATA 2.5,0.56,858,15.16,7.15,120,4
2460 DATA 2.5,0.73,1119,15.16,9.33,120,4
2470 DATA 2.5,1.18,1419,5.33,6.31,225,5
2480 DATA 2.5,0.95,1299,6.66,6.31,206,5
2490 DATA 2.5,0.75,1173,8.38,6.31,186,6
2500 DATA 2.5,0.63,1072,10.00,6.31,170,6
2510 DATA 2,0.71,204,4.2,3.0,68,7
2520 DATA 2,1.00,285,4.2,4.2,68,7
2530 DATA 2,0.47,204,6.4,3.0,68,7
2540 DATA 2,0.66,285,6.4,4.2,68,7
2550 DATA 2,1.00,517,9.4,9.4,55,7
2560 DATA 2.5,0.47,214,7.0,3.3,65,7
2570 DATA 2.5,0.66,299,7.0,4.6,65,7
2580 DATA 2.5,1.00,455,7.0,7.0,65,7
2590 DATA 2.5,0.64,540,16.5,10.6,51,7
2600 DATA 2.5,0.81,683,16.5,13.4,51,7
2610 DATA 2.5,1.00,841,16.5,16.5,51,7
2620 DATA 4.0,0.88,1269,32.1,28.2,45,7
2630 DATA 2,0.545,139,2.15,1.15,121,8
2640 DATA 2,1.000,254,2.15,2.10,121,8
2650 DATA 2,1.546,393,2.15,3.25,121,8
2660 DATA 2,0.647,254,3.30,2.10,121,8
2670 DATA 2,1.000,393,3.30,3.25,121,8
2680 DATA 2.5,0.520,256,5.02,2.56,100,8
2690 DATA 2.5,0.746,367,5.02,3.67,100,8
2700 DATA 2.5,1.000,492,5.02,4.92,100,8
2710 DATA 2.5,1.431,703,5.02,7.03,100,8
2720 DATA 2.5,0.700,492,7.13,4.92,100,8
2730 DATA 2.5,1.000,703,7.13,7.03,100,8
2740 DATA 3,0.592,486,9.61,5.59,87,8
2750 DATA 3,0.787,646,9.61,7.43,87,8
2760 DATA 3,1.000,821,9.61,9.44,87,8
2770 DATA 3,1.480,1218,9.61,14.00,87,8
2780 DATA 3,0.676,821,14.17,9.44,87,8
2790 DATA 3,1.000,1218,14.17,14.00,87,8
2800 DATA 4,0.687,1108,21.44,14.40,77,8
2810 DATA 4,1.000,1617,21.44,21.00,77,8

```

2820 DATA 4,1.541,2502,21.44,32.50,77,8
2830 DATA 4,0.649,1617,32.94,21.00,77,8
2840 DATA 4,1.000,2502,32.94,32.50,77,8
2850 DATA 2,1.290,508,3.30,4.20,121,9
2860 DATA 2,1.647,647,3.30,5.35,121,9
2870 DATA 2,2.000,786,3.30,6.50,121,9
2880 DATA 2.5,1.400,984,7.13,9.84,100,9
2890 DATA 2.5,1.701,1195,7.13,11.95,100,9
2900 DATA 2.5,2.000,1406,7.13,14.06,100,9
2910 DATA 3,0.800,972,14.17,11.18,87,9
2920 REM
2930 GOTO 3070
2940 FOR J=3 TO 78 : LOCATE I,J : PRINT "*" : NEXT J
2950 LOCATE I+1,3 : PRINT "*" : LOCATE I+1,78 : PRINT "*"
2960 FOR J=3 TO 78 : LOCATE I+2,J : PRINT "*" : NEXT J
2970 RETURN
2980 LOCATE 5,3 : PRINT CHR$(201) : FOR J=4 TO 77 : LOCATE 5,J : PRINT CHR$(205)
: NEXT J : LOCATE 5,78 : PRINT CHR$(187)
2990 LOCATE 6,3 : PRINT CHR$(186) : LOCATE 6,78 : PRINT CHR$(186)
3000 LOCATE 7,3 : PRINT CHR$(204) : FOR J=4 TO 77 : LOCATE 7,J : PRINT CHR$(205)
: NEXT J : LOCATE 7,78 : PRINT CHR$(185)
3010 FOR I=8 TO 11 : LOCATE I,3 : PRINT CHR$(186) : LOCATE I,78 : PRINT CHR$(186)
) : NEXT I
3020 I=I+1 : LOCATE I,3 : PRINT CHR$(200) : FOR J=4 TO 77 : LOCATE I,J : PRINT
CHR$(205) : NEXT J : LOCATE I,78 : PRINT CHR$(188) : RETURN
3030 LOCATE I,22 : INPUT "DESEA CAMBIAR ALGUN DATO (Y/N)=";X$
3040 IF X$="Y" OR X$="N" THEN GOTO 3050 ELSE GOTO 3030
3050 IF X$="Y" THEN LOCATE I+2,22 : INPUT "QUE NUMERO DESEA CAMBIAR=";X
3060 RETURN
3070 CLS : I=8 : GOSUB 2940 : LOCATE 9,30 : PRINT "DATOS DE ENTRADA" : LOCATE 12
,20 : PRINT "CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DEL POZO"
3080 LOCATE 14,15 : INPUT "PROFUNDIDAD DE ASENTAMIENTO DE LA BOMBA (PIES) =" ;H1
3090 LOCATE 15,15 : INPUT "LONGITUD DEL TUBING (PIES) =" ;L
3100 LOCATE 16,15 : INPUT "TEMPERATURA DE FONDO (°F) =" ;TF
3110 LOCATE 17,15 : INPUT "DIAMETRO INTERNO DEL CASING (PULG) =" ;CID

3120 LOCATE 18,15 : INPUT "PRESION EN LA CABEZA DEL POZO (LPC) =" ;PWH

3130 LOCATE 19,15 : INPUT "TEMPERATURA EN LA CABEZA DEL POZO (°F) =" ;TWH

3140 CLS : II=13 : GOSUB 2980 : LOCATE 6,20 : PRINT "CARACTERISTICAS Y CONDICION
ES DEL POZO"
3150 LOCATE 8,10 : PRINT " 1. PROFUNDIDAD DE ASENTAMIENTO DE LA BOMBA (PIES)": L
OCATE 8,60 : PRINT "=";H1
3160 LOCATE 9,10 : PRINT " 2. LONGITUD DEL TUBING (PIES)" : LOCATE 9,60 : PRINT
"=";L
3170 LOCATE 10,10 : PRINT " 3. TEMPERATURA DE FONDO (°F)" : LOCATE 10,60 : PRINT
"=";TF
3180 LOCATE 11,10 : PRINT " 4. DIAMETRO INTERNO DEL CASING (PULG)" : LOCATE 11,
60 : PRINT "=";CID
3190 LOCATE 12,10 : PRINT " 5. PRESION EN LA CABEZA DEL POZO (LPC)" : LOCATE 12,
60 : PRINT "=";PWH
3200 LOCATE 13,10 : PRINT " 6. TEMPERATURA EN LA CABEZA DEL POZO (°F)" : LOCATE
13,60 : PRINT "=";TWH

```

```

3210 I=16 : GOSUB 3030
3220 IF X#="N" THEN GOTO 3310
3230 CLS : I=8 : GOSUB 2940 : LOCATE 9,28 : PRINT "CORRECCION DE DATOS"
3240 IF X=1 THEN LOCATE 15,15 : INPUT "PROFUNDIDAD DE ASENTAMIENTO DE BOMBA (PIE
S) = ";H1
3250 IF X=2 THEN LOCATE 15,23 : INPUT "LONGITUD DEL TUBING (PIES)
= ";L
3260 IF X=3 THEN LOCATE 15,22 : INPUT "TEMPERATURA DE FONDO (*F)
= ";TF
3270 IF X=4 THEN LOCATE 15,20 : INPUT "DIAMETRO INTERNO DEL CASING (PULG)
= ";CID
3280 IF X=5 THEN LOCATE 15,16 : INPUT "PRESION EN LA CABEZA DEL POZO (LPC)
= ";PWH
3290 IF X=6 THEN LOCATE 15,16 : INPUT "TEMPERATURA EN LA CABEZA DEL POZO (*F)
= ";TWH
3300 GOTO 3140
3310 CLS : I=8 : GOSUB 2940 : LOCATE 9,30 : PRINT "DATOS DE ENTRADA" : LOCATE 12
,24 : PRINT "CARACTERISTICAS DE LOS FLUIDOS"
3320 LOCATE 14,20 : INPUT "RELACION GAS-ACEITE (PC/BBL) =";GOR
3330 LOCATE 15,20 : INPUT "DENSIDAD DEL ACEITE PRODUCIDO (*API) =";OAPI
3340 LOCATE 16,20 : INPUT "CORTE DE AGUA (FRACCION DECIMAL) =";WC : IF WC>
=1 THEN LOCATE 17,20 : PRINT "WC NO PUEDE SER >1" : GOTO 3340
3350 LOCATE 17,20 : INPUT "GRAVEDAD ESPECIFICA DEL AGUA =";SGW
3360 LOCATE 18,20 : INPUT "PRODUCCION DESEADA EN SUPERFICIE (BPD) =";Q
3370 CLS : I=12 : GOSUB 2980 : LOCATE 6,24 : PRINT "CARACTERISTICAS DE LOS FLUI
DOS"
3380 LOCATE 8,15 : PRINT " 1. RELACION GAS-ACEITE (PC/BBL)" : LOCATE 8,60 : PRIN
T "=";GOR
3390 LOCATE 9,15 : PRINT " 2. DENSIDAD DEL ACEITE PRODUCIDO (*API)" : LOCATE 9,6
0 : PRINT "=";OAPI
3400 LOCATE 10,15 : PRINT " 3. CORTE DE AGUA (FRACCION DECIMAL)" : LOCATE 10,60
: PRINT "=";WC
3410 LOCATE 11,15 : PRINT " 4. GRAVEDAD ESPECIFICA DEL AGUA PRODUCIDA" : LOCATE
11,60 : PRINT "=";SGW
3420 LOCATE 12,15 : PRINT " 5. PRODUCCION DESEADA EN SUPERFICIE (BPD)" : LOCATE
12,60 : PRINT "=";Q
3430 I=15 : GOSUB 3030
3440 IF X#="N" THEN GOTO 3530
3450 CLS : I=8 : GOSUB 2940 : LOCATE 9,28 : PRINT "CORRECCION DE DATOS"
3460 IF X=1 THEN LOCATE 15,20 : INPUT "RELACION GAS-ACEITE (PC/BBL) = ";GOR
3470 IF X=2 THEN LOCATE 15,20 : INPUT "DENSIDAD DEL ACEITE PRODUCIDO = ";OAPI
3480 IF X=3 THEN LOCATE 15,18 : INPUT "CORTE DE AGUA (FRACCION DECIMAL) = ";WC
3490 IF X=4 THEN LOCATE 15,15 : INPUT "GRAVEDAD ESPECIFICA DEL AGUA PRODUCIDA =
";SGW
3500 IF X=5 THEN LOCATE 15,15 : INPUT "PRODUCCION DESADA EN SUPERFICIE (BPD) = "
;Q
3510 GOTO 3370
3520 REM
3530 REM ***** CALCULO DE GRADIENTES DE O & W PRODUCIDOS *****
3540 REM
3550 SGO=INT(1000*141.5/(OAPI+131.5))/1000
3560 GRDO=INT(SGO*.433*1001)/1000
3570 GRDW=INT(SGW*.433*1001)/1000

```

```

3580 REM
3590 REM *****
3600 REM          CALCULO DEL GRADIENTE Y LA GRAVEDAD ESPECIFICA DEL
3610 REM          FLUIDO PRODUCIDO (FMA Y FMC)
3620 REM *****
3630 GRDFP=GRDD*(1-WC)+GRDW*WC
3640 SGFP=GRDFP/.433 : GOTO 4170
3650 REM
3660 REM ***** SUBROUTINA QMAX *****

3670 REM
3680 CLS : I=8 : GOSUB 2940 : LOCATE 9,34 : PRINT "DATOS IPR"
3690 LOCATE 12,15 : INPUT "PRESION ESTATICA DEL YACIMIENTO (LPC) =" ; PR
3700 LOCATE 13,15 : INPUT "PRESION DE BURBUJEO (LPC) =" ; PB
3710 LOCATE 14,15 : INPUT "PRESION DE FONDO FLUYENTE (LPC) =" ; PWF
3720 LOCATE 15,15 : INPUT "TASA DE PRODUCCION (BPD) =" ; QD
3730 CLS : I1=11 : GOSUB 2980 : LOCATE 6,34 : PRINT "DATOS IPR"
3740 LOCATE 8,13 : PRINT " 1. PRESION ESTATICA DEL YACIMIENTO (LPC)" : LOCATE 8,
55 : PRINT "=" ; PR
3750 LOCATE 9,13 : PRINT " 2. PRESION DE BURBUJEO (LPC)" : LOCATE 9,55 : PRINT "
=" ; PB
3760 LOCATE 10,13 : PRINT " 3. PRESION DE FONDO FLUYENTE (LPC)" : LOCATE 10,55 :
PRINT "=" ; PWF
3770 LOCATE 11,13 : PRINT " 4. TASA DE PRODUCCION (BPD)" : LOCATE 11,55 : PRINT
=" ; QD
3780 I=14 : GOSUB 3030
3790 IF X$="N" THEN GOTO 3860
3800 CLS : I=8 : GOSUB 2940 : LOCATE 9,28 : PRINT "CORRECCION DE DATOS"
3810 IF X=1 THEN LOCATE 15,15 : INPUT "PRESION ESTATICA DEL YACIMIENTO (LPC) =" ;
PR
3820 IF X=2 THEN LOCATE 15,22 : INPUT "PRESION DE BURBUJEO (LPC) =" ; PB
3830 IF X=3 THEN LOCATE 15,18 : INPUT "PRESION DE FONDO FLUYENTE (LPC) =" ; PWF
3840 IF X=4 THEN LOCATE 15,23 : INPUT "TASA DE PRODUCCION (BPD) =" ; QD
3850 GOTO 3730
3860 IF PR<=PB THEN PP=PWF/PR : PP2=PP*PP : QMAX=QD/(1-.2*PP-.8*PP2) : RETURN
3870 J=QD/(PR-PWF)
3880 IF PWF>PB THEN QMAX=J*PR : RETURN
3890 QB=J*(PR-PB) : QMAX=QB+(J*PB)/1.8 : RETURN
3900 REM
3910 REM ***** SUBROUTINA QPOSIBLE *****
3920 REM
3930 IF Q<QMAX THEN RETURN
3940 LOCATE 18,19 : PRINT "NO ES POSIBLE PRODUCIR LO QUE SE DESEA" : LOCATE 19,1
6 : PRINT "LA MAXIMA TASA DE PRODUCCION POSIBLE ES =" ; QMAX
3950 LOCATE 21,19 : INPUT "INGRESE UN VALOR MENOR DE LA Q DESEADA =" ; Q : GOTO 39
30
3960 REM
3970 REM ***** SUBROUTINA IPR *****
3980 REM
3990 LOCATE 1,20 : PRINT "TIENE LOS DATOS IPR PARA COMPROBAR SI ES" : LOCATE 1+1
,20 : INPUT "POSIBLE PRODUCIR A LA TASA DESEADA (Y/N)"; X$
4000 IF X$="Y" OR X$="N" THEN GOTO 4010 ELSE GOTO 3990
4010 IF X$="N" THEN RETURN

```

```

4020 GOSUB 3660 : GOSUB 3910 : RETURN
4030 REM
4040 REM ***** SUBROUTINA PWF *****
4050 REM
4060 GOSUB 3660 : GOSUB 3910
4070 IF PR<=PB THEN QQ=Q/QMAX : P=PR : GOTO 4100
4080 IF PWF>=PB THEN PWF=PR-(Q/J) : RETURN
4090 QQ=(Q-QB)/(QMAX-QB) : P=PB
4100 PP=-.125+(.015625 - (1.25*(QQ-1)))^1.5
4110 PWF=PP*P : RETURN
4120 REM
4130 LOCATE I,J : PRINT CHR$(201) : FOR JJ=J+1 TO J+DJ : LOCATE I,JJ : PRINT CHR
$(205) : NEXT JJ : LOCATE I,J+DJ+1 : PRINT CHR$(187)
4140 FOR II=I+1 TO I+DI : LOCATE II,J : PRINT CHR$(186) : LOCATE II,J+DJ+1 : PRI
NT CHR$(186) : NEXT II
4150 LOCATE I+DI+1,J : PRINT CHR$(200) : FOR JJ=J+1 TO J+DJ : LOCATE I+DI+1,JJ :
PRINT CHR$(205) : NEXT JJ : LOCATE I+DI+1,J+DJ+1 : PRINT CHR$(188) : RETURN
4160 REM
4170 CLS : I=5 : J=11 : DI=2 : DJ=58 : GOSUB 4130
4180 LOCATE 6,12 : PRINT " 1. BOMBA ESTA COLOCADA EN ZONA PRODUCTORA "
4190 LOCATE 7,12 : PRINT " 2. BOMBA ESTA COLOCADA EN ZONA DIFERENTE A LA PRODUCT
ORA "
4200 LOCATE 9,20 : INPUT "DONDE ESTA COLOCADA LA BOMBA (1 ó 2) =" ; X
4210 IF X=1 OR X=2 THEN GOTO 4220 ELSE GOTO 4200
4220 IF X=1 THEN GOTO 4240
4230 GOTO 4340
4240 I=11 : J=24 : DI=2 : DJ=31 : GOSUB 4130
4250 LOCATE 12,25 : PRINT " 1. PRESION DE FONDO FLUYENTE"
4260 LOCATE 13,25 : PRINT " 2. DATOS IPR PARA CALCULAR PWF"
4270 LOCATE 15,26 : INPUT "CUAL DATO CONOCE (1 ó 2) =" ; XX
4280 IF XX=1 OR XX=2 THEN GOTO 4290 ELSE GOTO 4270
4290 IF XX=1 THEN GOTO 4310
4300 GOSUB 4040 : GOTO 4330
4310 LOCATE 17,13 : INPUT "PRESION DE FONDO FLUYENTE EN ZONA PRODUCTORA (LPC) ="
;PWF
4320 I=19 : GOSUB 3970
4330 PIP=PWF : GOTO 4460
4340 LOCATE 11,17 : INPUT "PROFUNDIDAD DE LA ZONA PRODUCTORA (PIES) =" ; PROF
4350 I=13 : J=24 : DI=2 : DJ=31 : GOSUB 4130
4360 LOCATE 14,25 : PRINT " 1. PRESION DE FONDO FLUYENTE"
4370 LOCATE 15,25 : PRINT " 2. DATOS IPR PARA CALCULAR PWF"
4380 LOCATE 17,26 : INPUT "CUAL DATO CONOCE (1 ó 2) =" ; XXX
4390 IF XXX=1 OR XXX=2 THEN GOTO 4400 ELSE GOTO 4380
4400 IF XXX=1 THEN GOTO 4420
4410 GOSUB 4040 : GOTO 4440
4420 LOCATE 19,15 : INPUT "PRESION DE FONDO FLUYENTE EN ZONA PRODUCTORA (LPC) ="
;PWF
4430 I=21 : GOSUB 3970
4440 PIP=PWF-GRDFP*(PROF-H1)
4450 REM
4460 CLS : I=3 : GOSUB 2940 : LOCATE 4,22 : PRINT "DECISIONES Y ELECCIONES DEL D
ISEÑO "
4470 I=7 : J=25 : DI=2 : DJ=26 : GOSUB 4130

```

```

4480 LOCATE 8,26 : PRINT " FLUIDO MOTRIZ AGUA  = W "
4490 LOCATE 9,26 : PRINT " FLUIDO MOTRIZ ACEITE = D "
4500 LOCATE 11,22 : INPUT "TIPO DE FLUIDO MOTRIZ (O/W) =";FM$
4510 IF FM$="O" OR FM$="W" THEN GOTO 4520 ELSE GOTO 4500
4520 I=13 : J=20 : DI=2 : DJ=38 : GOSUB 4130
4530 LOCATE 14,21 : PRINT " SISTEMA DE FLUIDO MOTRIZ CERRADO = C "
4540 LOCATE 15,21 : PRINT " SISTEMA DE FLUIDO MOTRIZ ABIERTO = A "
4550 LOCATE 17,21 : INPUT "TIPO DE SISTEMA DE FLUIDO MOTRIZ (A/C)=";SISTFM$
4560 IF SISTFM$="A" OR SISTFM$="C" THEN GOTO 4570 ELSE GOTO 4550
4570 LOCATE 19,16 : INPUT "DIAMETRO INTERNO DEL TUBING INYEC. FM (PULG) =";IID
4580 LOCATE 20,16 : INPUT "DIAMETRO EXTERNO DEL TUBING INYEC. FM (PULG) =";IOD
4590 CLS : I=5 : J=21 : DI=1 : DJ=37 : GOSUB 4130
4600 I=7 : J=21 : DI=2 : DJ=37 : GOSUB 4130
4610 LOCATE 6,23 : PRINT "DECISIONES Y ELECCIONES DEL DISEÑO"
4620 LOCATE 8,23 : PRINT "FLUIDO MOTRIZ"
4630 IF FM$="W" THEN LOCATE 8,48 : PRINT "= AGUA" : GOTO 4680
4640 LOCATE 8,48 : PRINT "= ACEITE" : GOTO 4680
4650 LOCATE 1,23 : PRINT "SISTEMA DE FLUIDO MOTRIZ"
4660 IF SISTFM$="C" THEN LOCATE 1,48 : PRINT "= CERRADO" : RETURN
4670 LOCATE 1,48 : PRINT "= ABIERTO" : RETURN
4680 I=9 : GOSUB 4650
4690 IF FM$="W" THEN LOCATE 11,16 : INPUT "GRAVEDAD ESPECIFICA DEL FLUIDO MOTRIZ
(AGUA) =";SGFM : GOTO 4710
4700 LOCATE 11,22 : INPUT "DENSIDAD DEL FLUIDO MOTRIZ (*API) =";APIFM : SGFM=INT
(1000*141.5/(APIFM+131.5))/1000
4710 I=13 : J=15 : DI=2 : DJ=54 : GOSUB 4130
4720 LOCATE 14,16 : PRINT " DIAMETRO INTERNO DEL TUBING INYEC. FM (PULG) =";IID
4730 LOCATE 15,16 : PRINT " DIAMETRO EXTERNO DEL TUBING INYEC. FM (PULG) =";IOD
4740 LOCATE 17,22 : INPUT "ES CORRECTA ESTA INFORMACION (Y/N) =";X$
4750 IF X$="Y" OR X$="N" THEN GOTO 4760 ELSE GOTO 4740
4760 IF X$="N" THEN GOTO 4460
4770 CLS : I=3 : J=21 : DI=1 : DJ=37 : GOSUB 4130
4780 I=4 : GOSUB 4650
4790 IF SISTFM$="C" THEN LOCATE 6,18 : INPUT "PRESION DE RETORNO DEL FLUIDO MOTR
IZ (LPC) =";PRFM
4800 I=7 : J=28 : DI=2 : DJ=22 : GOSUB 4130
4810 LOCATE 8,29 : PRINT " BOMBA TIPO FIJA = F "
4820 LOCATE 9,29 : PRINT " BOMBA TIPO LIBRE = L "
4830 LOCATE 11,29 : INPUT "TIPO DE BOMBA (F/L)=";BOMBA$
4840 IF BOMBA$="F" OR BOMBA$="L" THEN GOTO 4850 ELSE GOTO 4830
4850 IF BOMBA$="L" THEN GOTO 5040
4860 I=13 : J=23 : DI=2 : DJ=33 : GOSUB 4130
4870 LOCATE 14,24 : PRINT " INSTALACION FIJA INSERTABLE = I "
4880 LOCATE 15,24 : PRINT " INSTALACION CASING FIJA = C "
4890 LOCATE 17,27 : INPUT "TIPO DE INSTALACION (I/C)=";INST$
4900 IF INST$="I" OR INST$="C" THEN GOTO 4910 ELSE GOTO 4890
4910 IF INST$="C" THEN GOTO 4970
4920 I=19 : J=21 : DI=1 : DJ=37 : GOSUB 4130
4930 TS=1 : LOCATE 20,22 : PRINT " BOMBA = FIJA INSERTABLE (MACARRONI)"
4940 LOCATE 22,16 : INPUT "DIAMETRO INTERNO DEL TUBING MACARRONI (PULG) =";IDM
4950 IF SISTFM$="C" THEN LOCATE 23,8 : INPUT "I.D. DEL TUBING POR EL CUAL SUBE E
L FLUIDO PRODUCIDO (PULG) =";TID
4960 VG$="Y" : GOTO 5230

```

```

4970 I=19 : J=29 : DI=1 : DJ=21 : GOSUB 4130
4980 TS=2 : LOCATE 20,30 : PRINT " BOMBA = CASING FIJA "
4990 IF SISTFM$="C" THEN LOCATE 22,16 : INPUT "DIAMETRO INTERNO DEL TUBING MACAR
RONI (PULG) =";IDM : LOCATE 23,16 : INPUT "DIAMETRO EXTERNO DEL TUBING MACARRONI
(PULG) =";ODM : VG$="N" : GOTO 5230
5000 LOCATE 22,30 : INPUT "SE VENEA GAS (Y/N) =";VG$
5010 IF VG$="Y" OR VG$="N" THEN GOTO 5020 ELSE GOTO 5000
5020 IF VG$="Y" THEN LOCATE 23,14 : INPUT "DIAMETRO EXTERNO DE LA TUBERIA QUE RE
TORNA AL GAS (PULG)=";GOD
5030 GOTO 5230
5040 I=13 : J=24 : DI=2 : DJ=32 : GOSUB 4130
5050 LOCATE 14,25 : PRINT " INSTALACION LIBRE PARALELO = P "
5060 LOCATE 15,25 : PRINT " INSTALACION CASING LIBRE = C "
5070 LOCATE 17,27 : INPUT "TIPO DE INSTALACION (P/C) =";INST$
5080 IF INST$="P" OR INST$="C" THEN GOTO 5090 ELSE GOTO 5070
5090 IF INST$="C" THEN GOTO 5160
5100 I=19 : J=28 : DI=1 : DJ=24 : GOSUB 4130
5110 TS=3 : LOCATE 20,29 : PRINT " BOMBA = LIBRE PARALELO "
5120 IF SISTFM$="A" THEN LOCATE 22,8 : INPUT "I.D DEL TUBING POR EL CUAL SUBE EL
FLUIDO DE RETORNO (PULG) =";TID : GOTO 5150
5130 LOCATE 22,8 : INPUT "I.D. DEL TUBING POR EL CUAL SUBE EL FLUIDO PRODUCIDO (
PULG) =";TID
5140 LOCATE 23,8 : INPUT "I.D. DEL TUBING POR EL CUAL RETORNA EL FLUIDO MOTRIZ (
PULG) =";RID
5150 VG$="Y" : GOTO 5230
5160 I=19 : J=29 : DI=1 : DJ=22 : GOSUB 4130
5170 TS=4 : LOCATE 20,30 : PRINT " BOMBA = CASING LIBRE "
5180 IF SISTFM$="C" THEN LOCATE 22,8 : INPUT "I.D. DEL TUBING POR EL CUAL RETORN
A EL FLUIDO MOTRIZ (PULG) =";RID : LOCATE 23,8 : INPUT "O.D. DEL TUBING POR EL C
UAL RETORNA EL FLUIDO MOTRIZ (PULG) =";ROD : VG$="N" : GOTO 5230
5190 LOCATE 22,30 : INPUT "SE VENEA GAS (Y/N) =";VG$
5200 IF VG$="Y" OR VG$="N" THEN GOTO 5210 ELSE GOTO 5190
5210 IF VG$="Y" THEN LOCATE 23,12 : INPUT "DIAMETRO EXTERNO DE LA TUBERIA QUE RE
TORNA AL GAS (PULG) =";GOD
5220 REM
5230 REM ***** EFICIENCIA DE LA BOMBA *****
5240 REM
5250 IF VG$="Y" THEN EFBO=.85 : GOTO 5300
5260 IF INST$="C" THEN GOSUB 7740
5270 IF EB<.5 THEN LOCATE 20,26 : PRINT "SE DEBE VENEAR EL GAS PORQUE AL" : LOC
ATE 20,25 : PRINT "BOMBEARLO LA EFICIENCIA ES =";EB : VG$="Y" : GOTO 5250
5280 EFBO=.85*EB
5290 REM
5300 REM ***** CAPACIDAD MINIMA DE LA BOMBA REQUERIDA *****
5310 REM
5320 QBOM=Q/EFBO
5330 REM
5340 REM ***** RELACION BOMBA-MOTOR *****
5350 REM
5360 PENAX=3100/(GRDFP*HI-PWF)
5370 REM
5380 CLS : I=8 : GOSUB 2940 : LOCATE 9,28 : PRINT "TAMARO DE LA BOMBA"
5390 LOCATE 12,5 : PRINT "DIAMETRO NOMINAL DE LA BOMBA = f(DIAMETRO EXTERNO TUB.
INYECCION DE F.M.)"

```

```

5400 LOCATE 14,18 : PRINT "DIAMETRO NOMINAL"
5410 LOCATE 14,40 : PRINT "O.D. TUBING (INyec.)"
5420 LOCATE 15,25 : PRINT "2" : LOCATE 16,25 : PRINT "2-1/2" : LOCATE 17,25 : PR
INT "3" : LOCATE 18,25 : PRINT "4"
5430 LOCATE 15,47 : PRINT "2-3/8" : LOCATE 16,47 : PRINT "2-7/8" : LOCATE 17,47
: PRINT "3-1/2" : LOCATE 18,47 : PRINT "4-1/2"
5440 LOCATE 20,15 : PRINT "DIAMETRO EXTERNO DEL TUBING DE INyec. (F.M.) =" ;IOD
5450 LOCATE 21,22 : INPUT "DIAMETRO DE LA BOMBA (PULG) =" ;DBOM
5460 CLS : I=8 : GOSUB 2940 : LOCATE 9,27 : PRINT "SELECCION DE LA BOMBA"
5470 LOCATE 12,20 : PRINT "EL PROGRAMA SELECCIONA LA BOMBA = P"
5480 LOCATE 13,20 : PRINT "EL USUARIO SELECCIONA LA BOMBA = U"
5490 LOCATE 15,22 : INPUT "SELECCION DE LA BOMBA (U/P) =" ;SB#
5500 IF SB#="P" OR SB#="U" THEN GOTO 5510 ELSE GOTO 5490
5510 CLS : I=5 : J=18 : DI=1 : DJ=43 : GOSUB 4130 : LOCATE 6,20 : PRINT "DATOS RE
QUERIDOS PARA SELECCIONAR LA BOMBA"
5520 LOCATE 8,20 : PRINT "DIAMETRO DE LA BOMBA (PULG) =" ;DBOM
5530 LOCATE 9,20 : PRINT "CAPACIDAD REQUERIDA (BPD) =" ;QBOM
5540 LOCATE 10,20 : PRINT "MAXIMA RELACION BOMBA-MOTOR (P/E) =" ;PEMAX
5550 IF SB#="U" THEN I=12 : J=3 : DI=1 : DJ=74 : GOSUB 4130 : LOCATE 13,8 : PRIN
T "LAS CARACTERISTICAS DE LA BOMBA DEBEN SER INGRESADAS POR EL USUARIO" : GOTO 5
570
5560 I=12 : J=3 : DI=2 : DJ=74 : GOSUB 4130 : LOCATE 13,12 : PRINT "LAS CARACTER
ISTICAS DE LAS BOMBAS SE ENCUENTRAN ALMACENADAS" : LOCATE 14,28 : PRINT "EN LA S
UBROUTINA SELBOM"
5570 LOCATE 16,22 : INPUT "ES CORRECTA ESTA INFORMACION (Y/N) =" ;X#
5580 IF X#="Y" OR X#="N" THEN GOTO 5590 ELSE GOTO 5570
5590 IF X#="N" THEN GOTO 5380
5600 IF SB#="U" THEN GOTO 5670
5610 I=18 : J=23 : DI=2 : DJ=32 : GOSUB 4130
5620 LOCATE 19,25 : PRINT "POR FAVOR PREPARE LA IMPRESORA"
5630 LOCATE 20,30 : PRINT "Y LUEGO DIGITE ENTER" ; A#=INKEY# : IF A#="" THEN 56
30
5640 A=ASC(A#) : IF A=13 THEN 5660 ELSE 5630
5650 PRINT
5660 GOSUB 10430 : GOTO 5990
5670 DBX=DBOM
5680 REM
5690 REM ***** CARACTERISTICAS DE LA BOMBA *****
5700 REM
5710 CLS : I=8 : GOSUB 2940 : LOCATE 9,22 : PRINT "CARACTERISTICAS DE LA BOMBA S
ELECCIONADA"
5720 LOCATE 12,14 : INPUT "RELACION BOMBA-MOTOR (P/E) =
";PEX : IF PEX > PEMAX THEN LOCATE 13,14 : PRINT "P/E DEBE SER < ";PEMAX : GOTO
5720
5730 LOCATE 13,14 : INPUT "GASTO QUE PUEDE MANEJAR LA BOMBA (BPD) =
";QBX : IF QBX < QBOM THEN LOCATE 14,14 : PRINT "EL CAUDAL DE LA BOMBA DEBE SER
> "; QBOM : GOTO 5730
5740 LOCATE 14,14 : INPUT "DESPLAZAMIENTO DEL MOTOR : Q1 (BPD/SPM) =
";Q1EX
5750 LOCATE 15,14 : INPUT "DESPLAZAMIENTO DE LA BOMBA : Q4 (BPD/SPM) =
";Q4PX
5760 LOCATE 16,14 : INPUT "DESPLAZAMIENTO MAXIMO DE LA BOMBA : Q4MAX (BPD/SPM) =
";Q4PMX

```

```

5770 LOCATE 17,14 : INPUT "VELOCIDAD MAXIMA DE BOMBEO (SPM)          =
";SPMX
5780 LOCATE 18,14 : INPUT "No. DE LA TABLA CORRESPOND. A LA BOMBA SELECCIONADA =
";NX
5790 CLS : II=15 : GOSUB 2980 : LOCATE 6,20 : PRINT "CARACTERISTICAS DE LA BOMBA
SELECCIONADA"
5800 LOCATE 8,24 : PRINT "DIAMETRO DE LA BOMBA (PULG) =" ;DBOM
5810 LOCATE 9,10 : PRINT " 1. RELACION BOMBA-MOTOR (P/E)" : LOCATE 9,66 : PRINT
"=" ;PEX
5820 LOCATE 10,10 : PRINT " 2. GASTO QUE PUEDE MANEJAR LA BOMBA (BPD)" : LOCATE
10,66 : PRINT "=" ;QBX
5830 LOCATE 11,10 : PRINT " 3. DESPLAZAMIENTO DEL MOTOR : Q1 (BPD/SPM)" : LOCATE
11,66 : PRINT "=" ;Q1EX
5840 LOCATE 12,10 : PRINT " 4. DESPLAZAMIENTO DE LA BOMBA : Q4 (BPD/SPM)" : LOCA
TE 12,66 : PRINT "=" ;Q4PX
5850 LOCATE 13,10 : PRINT " 5. DESPLAZAMIENTO MAXIMO DE LA BOMBA : Q4MAX (BPD/SP
M)" : LOCATE 13,66 : PRINT "=" ;Q4PMX
5860 LOCATE 14,10 : PRINT " 6. VELOCIDAD MAXIMA DE BOMBEO (SPM)" : LOCATE 14,66
: PRINT "=" ;SPMX
5870 LOCATE 15,10 : PRINT " 7. No. DE LA TABLA CORRESP. A LA BOMBA SELECCIONADA"
: LOCATE 15,66 : PRINT "=" ;NX
5880 I=18 : GOSUB 3030
5890 IF X#="N" THEN GOTO 6000
5900 CLS : I=8 : GOSUB 2940 : LOCATE 9,18 : PRINT "CORRECCION DE LAS CARACTERIST
ICAS DE LA BOMBA"
5910 IF X=1 THEN LOCATE 15,24 : INPUT "RELACION BOMBA-MOTOR (P/E) =" ;PEX
5920 IF X=2 THEN LOCATE 15,20 : INPUT "GASTO QUE PUEDE MANEJAR LA BOMBA (BPD) ="
;QBX
5930 IF X=3 THEN LOCATE 15,20 : INPUT "DESPLAZAMIENTO DEL MOTOR : Q1 (BPD/SPM) ="
;Q1EX
5940 IF X=4 THEN LOCATE 15,18 : INPUT "DESPLAZAMIENTO DE LA BOMBA : Q4 (BPD/SPM)
";Q4PX
5950 IF X=5 THEN LOCATE 15,14 : INPUT "DESPLAZAMIENTO MAXIMO DE LA BOMBA : Q4MAX
(BPD/SPM) =" ;Q4PMX
5960 IF X=6 THEN LOCATE 15,22 : INPUT "VELOCIDAD MAXIMA DE BOMBEO (SPM) =" ;SPMX
5970 IF X=7 THEN LOCATE 15,14 : INPUT "No. DE LA TABLA CORRESPOND. A LA BOMBA SE
LECCIONADA =" ;NX
5980 GOTO 5790
5990 REM
6000 REM ***** CALCULO DE GRADIENTE DE FLUIDO MOTRIZ *****
6010 REM
6020 GRDFM=INT (SGFM*.433*1001)/1000
6030 REM
6040 REM ***** DETERMINACION DEL GASTO DE FLUIDO MOTRIZ *****
6050 REM
6060 SPM1=QBOM/Q4PX
6070 EFMOT=.9
6080 QFM=Q1EX*SPM1/EFMOT
6090 REM
6100 REM *****
6110 REM PERDIDAS DE PRESION EN LA UNIDAD DE FONDO
6120 REM *****
6130 PVM=(SPM1/SPMX)*100

```



```
6140 TEM=TF : API=APIFM : SG=SGFM : GOSUB 10790 : VFM1=VICI
6150 VICI=VFM1 : GOSUB 11020
6160 REM ++++++
6170 REM PERDIDAS DE PRESION POR FRIC. EN TUB. DE INY. DE FM (FMA Y FMC)
6180 REM ++++++
6190 TAVG=(TF+TMH)/2 : TEM=TAVG : API=APIFM : SG=SGFM : GOSUB 10790 : VFM2=VICI
6200 FLUJO$="T" : GTO=QFM : D1=IID : D2=0 : VICI=VFM2 : GOSUB 12690
6210 F1=PFRI
6220 IF SISTFM$="A" THEN GOTO 6300
6230 REM ++++++
6240 REM PERDIDAS DE PRESION POR FRICCION EN FLUIDO MOTRIZ DE RETORNO (FMC)
6250 REM ++++++
6260 IF (BOMBA$="F" AND INST$="I") OR (BOMBA$="F" AND INST$="C") THEN RFM$="A" :
D1=IDM : D2=IOD : GOTO 6280
6270 RFM$="T" : D1=RID : D2=0
6280 FLUJO$=RFM$ : GOSUB 12690
6290 F2=PFRI
6300 REM ++++++
6310 REM CALCULO DE LA VISCOSIDAD DEL AGUA A TEMPERATURA PROMEDIO (VW)
6320 REM ++++++
6330 FM$="W" : TEM=TAVG : GOSUB 10790 : VW=VICI
6340 REM ++++++
6350 REM CALCULO DE LA VISCOSIDAD DEL ACEITE A TEMPERATURA PROMEDIO (VO)
6360 REM ++++++
6370 FM$="O" : API=QAPI : SG=SGO : GOSUB 10790 : VO=VICI
6380 IF SISTFM$="A" THEN GOTO 6630
6390 REM ++++++
6400 REM CALCULO DE LA VISCOSIDAD DEL FLUIDO PRODUCIDO (FMC)
6410 REM ++++++
6420 VFP=WC*VW+(1-WC)*VO
6430 REM ++++++
6440 REM PERDIDAS DE PRESION POR FRICCION DEL FLUIDO PRODUCIDO (FMC)
6450 REM ++++++
6460 IF BOMBA$="L" AND INST$="C" THEN RFP$="A" : D1=CID : D2=IOD+ROD : GOTO 6490

6470 IF BOMBA$="F" AND INST$="C" THEN RFP$="A" : D1=CID : D2=ODM : GOTO 6490
6480 RFP$="T" : D1=TID : D2=0
6490 FLUJO$=RFP$ : GTO=Q : SG=SGFP : VICI=VFP : GOSUB 12690
6500 F3=PFRI
6510 REM ++++++
6520 REM CALCULO DE LA PRESION SUPERFICIAL DE INYECCION DEL F.M. (FMC)
6530 REM ++++++
6540 H1G1=GRDFM*H1
6550 H1G4=GRDFP*H1
6560 PS=(H1G1+F2+PRFM)+(H1G4+F3+PWH-PWF)*PEX+FP-(H1G1-F1)
6570 P1=H1G1-F1+PS
6580 P2=H1G1+F2+PRFM
6590 P3=H1G4+F3+PWH
6600 P4=PIP
6610 GOTO 6940
6620 REM ++++++
6630 REM CALCULO DEL GRADIENTE Y LA S.G. DEL FLUIDO DE RETORNO (FMA)
6640 REM ++++++
```

```

6650 QFR=Q+QFM
6660 GRDFR=(GRDFP*Q+GRDFM*QFM)/QFR
6670 SGFR=GRDFR/.433
6680 REM ++++++
6690 REM      CALCULO DE LA VISCOSIDAD DEL FLUIDO DE RETORNO (FMA)
6700 REM ++++++
6710 VFR=(Q*WC*VW+Q*(1-WC)*VO+QFM*VFM2)/QFR
6720 REM ++++++
6730 REM      CAIDAS DE PRESION POR FRICCION EN EL FLUIDO DE RETORNO (FMA)
6740 REM ++++++
6750 IF BOMBA$="L" THEN GOTO 6790
6760 IF INST$="I" THEN RFR$="A" : D1=IDM : D2=IOD : GOTO 6820
6770 IF VG$="Y" THEN RFR$="A" : D1=CID : D2=IOD+GOD : GOTO 6820
6780 RFR$="A" : D1=CID : D2=IOD : GOTO 6820
6790 IF INST$="P" THEN RFR$="T" : D1=TID : D2=0 : GOTO 6820
6800 IF VG$="Y" THEN RFR$="A" : D1=CID : D2=IOD+GOD : GOTO 6820
6810 RFR$="A" : D1=CID : D2=IOD
6820 FLUJO$=RFR$ : GTQ=QFR : SG=S6FR : VICI=VFR : GOSUB 12690
6830 F3=PFRI
6840 REM ++++++
6850 REM      CALCULO DE LA PRESION SUPERFICIAL DE INYECCION DEL F.M. (FMA)
6860 REM ++++++
6870 H161=GRDFM*H1
6880 H163=GRDFR*H1
6890 PS=(H163+F3+PWH)*(1+PEX)-(PWF*PEX)+FP-(H161-F1)
6900 P1=H161-F1+PS
6910 P3=H163+F3+PWH : P2=P3
6920 P4=PIP
6930 REM ++++++
6940 REM      CALCULO DE LA POTENCIA SUPERFICIAL REQUERIDA
6950 REM ++++++
6960 HPSUP=PS*QFM*(.000017)
6970 REM ++++++
6980 REM      CALCULO DE LA POTENCIA SUB-SUPERFICIAL REQUERIDA
6990 REM ++++++
7000 HPFON=(P3-P4)*QBOM*(.000017)
7010 CLS : I=1 : J=12 : DI=1 : DJ=57 : GOSUB 4130 : LOCATE 2,16 : PRINT "DISEÑO
DE UN SISTEMA DE BOMBEO HIDRAULICO TIPO PISTON"
7020 IF SISTFM$="A" THEN DI=13 ELSE DI=14
7030 I=4 : J=12 : DJ=57 : GOSUB 4130
7040 LOCATE 5,14 : PRINT "FLUIDO MOTRIZ ="
7050 IF FM$="C" THEN LOCATE 5,30 : PRINT "ACEITE" : LOCATE 5,42 : PRINT "API DE
FM =" : LOCATE 5,58 : PRINT APIFM : GOTO 7070
7060 LOCATE 5,30 : PRINT "AGUA" : LOCATE 5,42 : PRINT "GRAV.ESP. FM =" : LOCATE
5,58 : PRINT SGFM
7070 LOCATE 6,14 : PRINT "SISTEMA DE FM ="
7080 IF SISTFM$="A" THEN LOCATE 6,30 : PRINT "ABIERTO" ELSE LOCATE 6,30 : PRINT
"CERRADO"
7090 IF TS=1 THEN TS$="FIJA INSERT."
7100 IF TS=2 THEN TS$="CASING FIJA"
7110 IF TS=3 THEN TS$="LIBRE PARAL."
7120 IF TS=4 THEN TS$="CASING LIBRE"
7130 LOCATE 6,42 : PRINT "INSTALACION =" : LOCATE 6,58 : PRINT TS$

```

```

7140 LOCATE 8,25 : PRINT "TAMAÑO DE LA BOMBA (PUL6)      =";DBOM
7150 QFM=INT (QFM) : LOCATE 9,25 : PRINT "FLUIDO MOTRIZ REQUERIDO (BPD) =";QFM
7160 PS=INT (PS) : LOCATE 10,25 : PRINT "PRESION DE INY. DE F.M. (LPC) =";PS
7170 SPM1=INT (SPM1) : LOCATE 11,25 : PRINT "PORCENTAJE DE VELOCIDAD (SPM) =";SP
M1
7180 HPSUP=INT (HPSUP) : LOCATE 12,25 : PRINT "POTENCIA SUPERFICIAL (HP)      =";
HPSUP
7190 HPFON=INT (HPFON) : LOCATE 13,25 : PRINT "POTENCIA EN EL FONDO (HP)      =";
HPFON
7200 FP=INT (FP) : LOCATE 15,17 : PRINT "PERDIDA POR FRIC. EN LA BOMBA (LPC)
      =";FP
7210 F1=INT (F1) : LOCATE 16,17 : PRINT "PERDIDA POR FRIC. EN F.M. DE INYEC. (LP
C) =";F1
7220 F3=INT (F3) : IF SISTFM$="A" THEN LOCATE 17,17 : PRINT "PERDIDA POR FRIC. E
N FLUIDO RETORNO (LPC) =";F3 : GOTO 7240
7230 F2=INT (F2) : F3=INT (F3) : LOCATE 17,17 : PRINT "PERDIDA POR FRIC. EN FM D
E RETORNO (LPC) =";F2 : LOCATE 18,17 : PRINT "PERDIDA POR FRIC. EN FLUIDO PRODU
C. (LPC) =";F3
7240 FOR W=1 TO 6000 : NEXT W
7250 CLS : I=5 : J=21 : DI=6 : DJ=38 : GOSUB 4130
7260 LOCATE 6,23 : PRINT "1.- DESEA SELECCIONAR OTRA BOMBA"
7270 LOCATE 7,23 : PRINT "2.- DESEA OTRO TIPO DE INSTALACION"
7280 LOCATE 8,23 : PRINT "3.- DESEA CAMBIAR EL FLUIDO MOTRIZ"
7290 LOCATE 9,23 : PRINT "4.- DESEA CAMBIAR LOS DATOS DEL POZO"
7300 LOCATE 10,23 : PRINT "5.- DESEA IMPRIMIR LOS RESULTADOS"
7310 LOCATE 11,23 : PRINT "6.- DESEA FINALIZAR EL DISEÑO"
7320 LOCATE 14,21 : INPUT "CUAL ALTERNATIVA DESEA (1,2,3,4,5,6) = ";XY
7330 IF XY=1 THEN GOTO 5380
7340 IF XY=2 THEN GOTO 4770
7350 IF XY=3 THEN GOTO 4460
7360 IF XY=4 THEN GOTO 3070
7370 IF XY=5 THEN LOCATE 16,21 : INPUT "NOMBRE DEL POZO=";POZ$ : LOCATE 16,52 :
INPUT "ARENA=";ARE$ : GOTO 7390
7380 CLS : STOP
7390 LPRINT TAB(29);"DISEÑO DE UN SISTEMA DE"
7400 LPRINT TAB(26);"BOMBEO HIDRAULICO TIPO PISTON" : LPRINT : LPRINT : LPRINT
7410 LPRINT TAB(26);"POZO=";POZ$; : LPRINT TAB(45);"ARENA=";ARE$ : LPRINT : LPRI
NT
7420 LPRINT TAB(4);"PROF. ASENT. BOMBA (PIES) =";H1; : LPRINT TAB(41);"RELACION
GAS-ACEITE (PC/B) =";GOR
7430 LPRINT TAB(4);"LONGITUD DE TUBERIA (PIES) =";L; : LPRINT TAB(41);"DEN. ACEI
TE PRODUC. ('API) =";OAPI
7440 LPRINT TAB(4);"PRODUCCION DESEADA (BPD) =";Q; : LPRINT TAB(41);"CORTE DE
AGUA (FRAC. DEC.) =";WC
7450 LPRINT TAB(4);"TEMPERATURA DE FONDO ('F) =";TF; : LPRINT TAB(41);"GRAV. ES
P. AGUA PRODUCIDA =";SGW
7460 LPRINT TAB(4);"TEMPERATURA EN SUP. ('F) =";TMH; : LPRINT TAB(41);"I.D. TU
B. REVESTIM. (PUL6) =";CID
7470 LPRINT TAB(4);"PRES. ENTRADA BOMBA (LPC) =";PIP; : LPRINT TAB(41);"I.D. TU
B. INY. F.M. (PUL6) =";IID
7480 LPRINT TAB(4);"PRES. CABEZA DE POZO (LPC) =";PWH; : LPRINT TAB(41);"D.D. TU
B. INY. F.M. (PUL6) =";IOD
7490 IF SISTFM$="C" THEN LPRINT TAB(4);"PRES. RETORNO DE FM (LPC) =";PRFM

```

```

7500 LPRINT : LPRINT : LPRINT : LPRINT
7510 IF FM$="W" THEN GOTO 7530
7520 LPRINT TAB(14);"FLUIDO MOTRIZ = ACEITE"; : LPRINT TAB(42);"API DE FM =";A
PIFM : GOTO 7540
7530 LPRINT TAB(14);"FLUIDO MOTRIZ = AGUA"; : LPRINT TAB(42);"GRAV.ESP. FM ="; S
6FM
7540 IF SISTFM$="A" THEN GOTO 7560
7550 LPRINT TAB(14);"SISTEMA DE FM = CERRADO"; : LPRINT TAB(42);"INSTALACION = "
;TS$ : GOTO 7570
7560 LPRINT TAB(14);"SISTEMA DE FM = ABIERTO"; : LPRINT TAB(42);"INSTALACION =";
TS$
7570 LPRINT : LPRINT TAB(20);"TAMAÑO DE LA BOMBA (PULG)      =";DBOM
7580 LPRINT TAB(20);"FLUIDO MOTRIZ REQUERIDO (BPD) =";GFM
7590 LPRINT TAB(20);"PRESION DE INY. DE F.M. (LPC) =";PS
7600 LPRINT TAB(20);"PORCENTAJE DE VELOCIDAD (SPM) =";SPM1
7610 LPRINT TAB(20);"POTENCIA SUPERFICIAL (HP)      =";HPSUP
7620 LPRINT TAB(20);"POTENCIA EN EL FONDO (HP)      =";HPFON
7630 LPRINT : LPRINT : LPRINT : LPRINT
7640 LPRINT TAB(25);"CARACTERISTICAS DE LA BOMBA" : LPRINT
7650 LPRINT TAB(14);"RELACION BOMBA MOTOR (P/E)      ="; PEX
7660 LPRINT TAB(14);"GASTO QUE PUEDE MANEJAR LA BOMBA (BPD) ="; QBX
7670 LPRINT TAB(14);"DESPLAZAMIENTO DEL MOTOR : Q1 (BPD/SPM) ="; Q1EX
7680 LPRINT TAB(14);"DESPLAZAMIENTO DE LA BOMBA : Q4 (BPD/SPM) ="; Q4PX
7690 LPRINT TAB(14);"DESP. MAXIMO DE LA BOMBA : Q4MAX (BPD/SPM) ="; Q4PMX
7700 LPRINT TAB(14);"VELOCIDAD MAXIMA DE BOMBEO (SPM) ="; SPMX
7710 LPRINT TAB(14);"NO DE TABLA CORRESP. A BOMBA SELECCIONADA ="; NX
7720 LPRINT : LPRINT : LPRINT
7730 GOTO 7240
7740 REM #####
7750 REM $                SUBROUTINA EFIBOM                $
7760 REM #####
7770 REM $          CALCULA LA EFICIENCIA VOLUMETRICA DE LAS BOMBAS          $
7780 REM $          TIPO CASING LIBRE CUANDO SE BOMBEA GAS A TRAVES          $
7790 REM $          DE ELLAS          $
7800 REM #####
7810 IF PIP<100 OR PIP>3000 THEN PRINT "LA SUBROUTINA EFIBOM TRABAJA PARA UN RANG
O DE PIP=100-3000 LPC" : STOP
7820 IF GOR>2000 THEN EB=.1 : GOTO 10410
7830 IF GOR<200 THEN EB=.9 : GOTO 10410
7840 IF WC>.8 THEN PRINT "LA SUBROUTINA EFIBOM TRABAJA PARA UN RANGO DE WC=0-80%"
: STOP
7850 WC=WC*100
7860 P=PIP/100
7870 REM
7880 F=0 : G=0 : H=0
7890 FOR J=1 TO 33
7900 IF P=A(1,J) THEN F=1
7910 NEXT J
7920 FOR I=1 TO 5
7930 IF GOR=A(I,1) THEN G=1
7940 NEXT I
7950 IF WC=0 OR WC=20 OR WC=40 OR WC=60 OR WC=80 THEN H=1
7960 IF F=1 AND G=1 AND H=1 THEN GOTO 8040

```

```
7970 IF F=0 AND G=1 AND H=1 THEN GOTO 8170
7980 IF F=0 AND G=0 AND H=1 THEN GOTO 9000
7990 IF F=0 AND G=0 AND H=0 THEN GOTO 9090
8000 IF F=1 AND G=0 AND H=1 THEN GOTO 9210
8010 IF F=1 AND G=1 AND H=0 THEN GOTO 9370
8020 IF F=1 AND G=0 AND H=0 THEN GOTO 9510
8030 IF F=0 AND G=1 AND H=0 THEN GOTO 9750
8040 REM ***** CALCULOS CUANDO P(SI),GOR(SI),WC(SI) *****
8050 FOR J=1 TO 33
8060 IF P=A(1,J) THEN S=J
8070 NEXT J
8080 FOR I=1 TO 5
8090 IF GOR=A(I,1) THEN T=I
8100 NEXT I
8110 IF WC=0 THEN EB=A(T,S)/100 : GOTO 10410
8120 IF WC=20 THEN EB=B(T,S)/100 : GOTO 10410
8130 IF WC=40 THEN EB=C(T,S)/100 : GOTO 10410
8140 IF WC=60 THEN EB=D(T,S)/100 : GOTO 10410
8150 IF WC=80 THEN EB=E(T,S)/100 : GOTO 10410
8160 REM
8170 REM ***** CALCULOS CUANDO P(NO),GOR(SI),WC(SI) *****
8180 FOR I=1 TO 5
8190 IF GOR=A(I,1) THEN T=I
8200 NEXT I
8210 IND=0
8220 IF WC=0 THEN GOTO 8300
8230 IF WC=20 THEN GOTO 8370
8240 IF WC=40 THEN GOTO 8440
8250 IF WC=60 THEN GOTO 8510
8260 IF WC=80 THEN GOTO 8570
8270 EB=YY1/100
8280 GOTO 10410
8290 Z=1
8300 FOR I=1 TO 5
8310 FOR J=1 TO 33
8320 R(I,J)=A(I,J)
8330 NEXT J
8340 NEXT I
8350 GOTO 8630
8360 Z=1
8370 FOR I=1 TO 5
8380 FOR J=1 TO 33
8390 R(I,J)=B(I,J)
8400 NEXT J
8410 NEXT I
8420 GOTO 8630
8430 Z=1
8440 FOR I=1 TO 5
8450 FOR J=1 TO 33
8460 R(I,J)=C(I,J)
8470 NEXT J
8480 NEXT I
8490 GOTO 8630
```

```

8500 Z=1
8510 FOR I=1 TO 5
8520 FOR J=1 TO 33
8530 R(I,J)=D(I,J)
8540 NEXT J
8550 NEXT I
8560 GOTO 8630
8570 FOR I=1 TO 5
8580 FOR J=1 TO 33
8590 R(I,J)=E(I,J)
8600 NEXT J
8610 NEXT I
8620 GOTO 8630
8630 YY1=0
8640 FOR I=1 TO 32
8650 PNUM=1
8660 PDEN=1
8670 FOR J=1 TO 32
8680 IF I=J THEN GOTO 8710
8690 PNUM=PNUM*(P-R(1,J+1))
8700 PDEN=PDEN*(R(1,I+1)-R(1,J+1))
8710 NEXT J
8720 YY1=YY1+PNUM*(T,I+1)/PDEN
8730 NEXT I
8740 IF IND=0 THEN GOTO 8270
8750 YY2=0
8760 FOR I=1 TO 32
8770 RRR=1
8780 SSS=1
8790 FOR J=1 TO 32
8800 IF I=J THEN GOTO 8830
8810 RRR=RRR*(P-R(1,J+1))
8820 SSS=SSS*(R(1,I+1)-R(1,J+1))
8830 NEXT J
8840 YY2=YY2+RRR*(T+1,I+1)/SSS
8850 NEXT I
8860 PP1(Z)={(YY2-YY1)*(GOR-XX1)/(XX2-XX1)}+YY1
8870 IF IND=2 THEN GOTO 9070
8880 IF K=1 THEN GOTO 8940
8890 Z=2:K=1
8900 IF WC>0 AND WC<20 THEN GOTO 8370
8910 IF WC>20 AND WC<40 THEN GOTO 8440
8920 IF WC>40 AND WC<60 THEN GOTO 8510
8930 IF WC>60 AND WC<80 THEN GOTO 8570
8940 IF WC>0 AND WC<20 THEN XX1=0 : XX2=20
8950 IF WC>20 AND WC<40 THEN XX1=20 : XX2=40
8960 IF WC>40 AND WC<60 THEN XX1=40 : XX2=60
8970 IF WC>60 AND WC<80 THEN XX1=60 : XX2=80
8980 UUU={(PP1(Z)-PP1(1))*(WC-XX1)/(XX2-XX1)}+PP1(1)
8990 IF IND=3 THEN GOTO 9190
9000 REM ***** CUANDO P(NO),GOR(NO),WC(SI) *****
9010 FOR I=1 TO 4
9020 IF GOR>A(I,1) AND GOR<A(I+1,1) THEN T=I

```

```

9030 NEXT I
9040 XX1=A(T,1) : XX2=A(T+1,1)
9050 IND=2 : Z=1
9060 GOTO B220
9070 EB=PP1(1)/100
9080 GOTO 10410
9090 REM ***** CUANDO P(NO),GOR(NO),WC(NO) *****
9100 FOR I=1 TO 4
9110 IF GOR>A(I,1) AND GOR<A(I+1,1) THEN T=I
9120 NEXT I
9130 IND=3
9140 XX1=A(T,1) : XX2=A(T+1,1)
9150 IF WC>0 AND WC<20 THEN GOTO B290
9160 IF WC>20 AND WC<40 THEN GOTO B360
9170 IF WC>40 AND WC<60 THEN GOTO B430
9180 IF WC>60 AND WC<80 THEN GOTO B500
9190 EB=UUU/100
9200 GOTO 10410
9210 REM ***** CUANDO P(SI),GOR(NO),WC(SI) *****
9220 FOR J=1 TO 33
9230 IF P=A(1,J) THEN S=J
9240 NEXT J
9250 FOR I=1 TO 4
9260 IF GOR>A(I,1) AND GOR<A(I+1,1) THEN T=I
9270 NEXT I
9280 XX1=A(T,1) : XX2=A(T+1,1)
9290 IF WC=0 THEN YY1=A(T,S) : YY2=A(T+1,S)
9300 IF WC=20 THEN YY1=B(T,S) : YY2=B(T+1,S)
9310 IF WC=40 THEN YY1=C(T,S) : YY2=C(T+1,S)
9320 IF WC=60 THEN YY1=D(T,S) : YY2=D(T+1,S)
9330 IF WC=80 THEN YY1=E(T,S) : YY2=E(T+1,S)
9340 YY=((YY2-YY1)*(GOR-XX1)/(XX2-XX1))+YY1
9350 EB=YY/100
9360 GOTO 10410
9370 REM ***** CUANDO P(SI), GOR(SI), WC(NO) *****
9380 FOR J=1 TO 33
9390 IF P=A(1,J) THEN S=J
9400 NEXT J
9410 FOR I=1 TO 5
9420 IF GOR=A(I,1) THEN T=I
9430 NEXT I
9440 IF WC>0 AND WC<20 THEN YY1=A(T,S) : YY2=B(T,S) : XX1=0 : XX2=20
9450 IF WC>20 AND WC<40 THEN YY1=B(T,S) : YY2=C(T,S) : XX1=20 : XX2=40
9460 IF WC>40 AND WC<60 THEN YY1=C(T,S) : YY2=D(T,S) : XX1=40 : XX2=60
9470 IF WC>60 AND WC<80 THEN YY1=D(T,S) : YY2=E(T,S) : XX1=60 : XX2=80
9480 YYY=((YY2-YY1)*(WC-XX1)/(XX2-XX1))+YY1
9490 EB=YYY/100
9500 GOTO 10410
9510 REM ***** CUANDO P(SI), GOR(NO), WC(NO) *****
9520 FOR J=1 TO 33
9530 IF P=A(1,J) THEN S=J
9540 NEXT J
9550 FOR I=1 TO 4

```

```

9560 IF GOR>A(I,1) AND GOR<A(I+1,1) THEN T=I
9570 NEXT I
9580 IF WC>0 AND WC<20 THEN GOTO 9620
9590 IF WC>20 AND WC<40 THEN GOTO 9640
9600 IF WC>40 AND WC<60 THEN GOTO 9660
9610 IF WC>60 AND WC<80 THEN GOTO 9680
9620 YY1=A(T,S) : YY2=A(T+1,S) : YY3=B(T,S) : YY4=B(T+1,S)
9630 XX1=A(T,1) : XX2=A(T+1,1) : HH1=0 : HH2=20 : GOTO 9700
9640 YY1=B(T,S) : YY2=B(T+1,S) : YY3=C(T,S) : YY4=C(T+1,S)
9650 XX1=B(T,1) : XX2=B(T+1,1) : HH1=20 : HH2=40 : GOTO 9700
9660 YY1=C(T,S) : YY2=C(T+1,S) : YY3=D(T,S) : YY4=D(T+1,S)
9670 XX1=C(T,1) : XX2=C(T+1,1) : HH1=40 : HH2=60 : GOTO 9700
9680 YY1=D(T,S) : YY2=D(T+1,S) : YY3=E(T,S) : YY4=E(T+1,S)
9690 XX1=D(T,1) : XX2=D(T+1,1) : HH1=60 : HH2=80 : GOTO 9700
9700 WW1=((YY2-YY1)*{GOR-XX1}/{XX2-XX1})+YY1
9710 WW2=((YY4-YY3)*{GOR-XX1}/{XX2-XX1})+YY3
9720 WWW=((WW2-WW1)*{WC-HH1}/{HH2-HH1})+WW1
9730 EB=WWW/100
9740 GOTO 10410
9750 REN ***** CUANDO P(NO), GOR(SI), WC(NO) *****
9760 FOR I=1 TO 5
9770 IF GOR=A(I,1) THEN T=I
9780 NEXT I
9790 IF WC>0 AND WC<20 THEN GOTO 9830
9800 IF WC>20 AND WC<40 THEN GOTO 9900
9810 IF WC>40 AND WC<60 THEN GOTO 9970
9820 IF WC>60 AND WC<80 THEN GOTO 10040
9830 Z=1
9840 FOR I=1 TO 5
9850 FOR J=1 TO 33
9860 R(I,J)=A(I,J)
9870 NEXT J
9880 NEXT I
9890 GOTO 10170
9900 Z=1
9910 FOR I=1 TO 5
9920 FOR J=1 TO 33
9930 R(I,J)=B(I,J)
9940 NEXT J
9950 NEXT I
9960 GOTO 10170
9970 Z=1
9980 FOR I=1 TO 5
9990 FOR J=1 TO 33
10000 R(I,J)=C(I,J)
10010 NEXT J
10020 NEXT I
10030 GOTO 10170
10040 Z=1
10050 FOR I=1 TO 5
10060 FOR J=1 TO 33
10070 R(I,J)=D(I,J)
10080 NEXT J

```

```

10090 NEXT I
10100 GOTO 10170
10110 FOR I=1 TO 5
10120 FOR J=1 TO 33
10130 R(I,J)=E(I,J)
10140 NEXT J
10150 NEXT I
10160 GOTO 10170
10170 YY1(Z)=0
10180 FOR I=1 TO 32
10190 PNUM=1
10200 PDEN=1
10210 FOR J=1 TO 32
10220 IF I=J THEN GOTO 10250
10230 PNUM=PNUM*(P-R(1,J+1))
10240 PDEN=PDEN*(R(1,I+1)-R(1,J+1))
10250 NEXT J
10260 YY1(Z)=YY1(Z)+PNUM*R(T,I+1)/PDEN
10270 NEXT I
10280 IF K=1 THEN GOTO 10350
10290 Z=2
10300 K=1
10310 IF WC>0 AND WC<20 THEN GOTO 9910
10320 IF WC>20 AND WC<40 THEN GOTO 9980
10330 IF WC>40 AND WC<60 THEN GOTO 10050
10340 IF WC>60 AND WC<80 THEN GOTO 10110
10350 IF WC>0 AND WC<20 THEN XX1=0 : XX2=20
10360 IF WC>20 AND WC<40 THEN XX1=20 : XX2=40
10370 IF WC>40 AND WC<60 THEN XX1=40 : XX2=60
10380 IF WC>60 AND WC<80 THEN XX1=60 : XX2=80
10390 NNN=((YY1(2)-YY1(1))*(WC-XX1)/(XX2-XX1))+YY1(1)
10400 EB=NNN/100
10410 WC=WC/100 : PRINT "LA EFICIENCIA ES = "; USING "#.##"; EB : FOR W=1 TO 400
0 : NEXT W
10420 RETURN
10430 REM #####
10440 REM # SUBROUTINA SELBOM #
10450 REM #####
10460 REM # SELECCIONA LAS BOMBAS QUE SE PUEDEN UTILIZAR DE #
10470 REM # ACUERDO A LAS CARACTERISTICAS DE LAS PRINCIPALES #
10480 REM # BOMBAS COMERCIALES #
10490 REM #####
10500 LPRINT " F/E ≤ "; USING "#.##";PEMAX
10510 LPRINT " QBOM ="; QBOM : LPRINT : LPRINT
10520 LPRINT " I J F/E QB N" : LPRI
NT
10530 FOR I=1 TO 90
10540 IF DBOM=DB(I) AND PEMAX>PE(I) AND QBOM<QB(I) THEN C=1 : GOTO 10560
10550 GOTO 10660
10560 J=I
10570 IF J=90 AND DBOM=DB(J) AND NX(I)=NX(J) THEN GOTO 10620
10580 J=J+1
10590 IF DBOM=DB(J) THEN GOTO 10640

```

```

10600 Q4PMX=Q4P(J-1)
10610 J=J-1
10620 LPRINT I,J,PE(I),QB(I),NX(I)
10630 GOTO 10660
10640 IF NX(I)=NX(J) THEN GOTO 10570
10650 GOTO 10600
10660 NEXT I
10670 IF C(>) THEN PRINT "NO EXISTE UNA BOMBA QUE SATISFAGA LAS CONDICIONES REQU
ERIDAS" : PRINT "DEBE CAMBIAR EL DIAMETRO DE LA BOMBA O LA PRODUCCION DESEADA"
: GOTO 10780
10680 LPRINT : LPRINT "INGRESAR LOS VALORES DE I Y J DE LA BOMBA SELECCIONADA" :
LPRINT : LPRINT : LPRINT : LPRINT
10690 LOCATE 22,26 : INPUT "I=",I : LOCATE 22,50 : INPUT "J=",J
10700 DBX=DB(I)
10710 PEX=PE(I)
10720 QBX=QB(I)
10730 Q1EX=Q1E(I)
10740 Q4PX=Q4P(I)
10750 Q4PMX=Q4P(J)
10760 SPMX=SPM(I)
10770 NX=NX(I)
10780 RETURN
10790 REM #####
10800 REM # SUBROUTINA VICIN #
10810 REM # CALCULA LA VISCOSIDAD CINEMATICA DE UN FLUIDO EN CS #
10820 REM #####
10830 IF FM#="W" THEN GOTO 11000
10840 IF API<=9.5 THEN B=2.93 : GOTO 10970
10850 IF API<=10.7 THEN B=2.92 : GOTO 10970
10860 IF API<=14 THEN B=3.76 : GOTO 10970
10870 IF API<=15 THEN B=3.98 : GOTO 10970
10880 IF API<=19.8 THEN B=3.24 : GOTO 10970
10890 IF API<=25.6 THEN B=3.09 : GOTO 10970
10900 IF API<=26.8 THEN B=3.61 : GOTO 10970
10910 IF API<=30.6 THEN B=3.73 : GOTO 10970
10920 IF API<=31.1 THEN B=3.44 : GOTO 10970
10930 IF API<=34.6 THEN B=4.21 : GOTO 10970
10940 IF API<=36.4 THEN B=4.04 : GOTO 10970
10950 IF API<=44 THEN B=3.65 : GOTO 10970
10960 IF API>44 THEN B=2.27
10970 D=(5.47*LOG(TEM+460)-12.5*SG-20.46)*.00001
10980 VIC=B*(6.328-LOG(TEM+460))+11.53*SG+D*PIP-9.254
10990 VIC1=EXP(VIC) : VICI=(EXP(VIC1))-.6 : RETURN
11000 VICI=2.833979-(4.312725E-02*TEM)+(3.029307E-04*TEM^2)-(9.989049E-07*TEM^3)
+(1.239354E-09*TEM^4)
11010 RETURN
11020 REM #####
11030 REM # SUBROUTINA FRICBOM #
11040 REM #####
11050 REM # CALCULA LAS PERDIDAS DE PRESION POR FRICCION #
11060 REM # EN LAS BOMBAS HIDRAULICAS DE SUBSUELO #
11070 REM #####
11080 IF VICI<.5 OR VICI>5 THEN PRINT "LA SUBROUTINA FRICBOM TRABAJA PARA UN RANG
O DE VISCOSIDAD = 0.5 - 5 CS" : STOP

```

```

11090 IF PVM<20 OR PVM>100 THEN PRINT "LA SUBROUTINA FRICBOM TRABAJA PARA UN RANG
O DE VELOCIDAD = 20 - 100 %" : STOP
11100 IF NX=1 THEN OP=1
11110 IF NX=2 OR NX=3 OR NX=8 THEN OP=2
11120 IF NX=5 OR NX=9 THEN OP=3
11130 IF NX=10 THEN OP=4
11140 IF NX=6 OR NX=7 OR NX=11 THEN OP=5
11150 IF NX=12 THEN OP=6
11160 IF NX=13 THEN OP=7
11170 IF NX=4 OR NX=14 THEN OP=8
11180 W=0 : U=0
11190 FOR J=1 TO 10
11200 IF PVM=F(1,J) THEN W=1
11210 NEXT J
11220 FOR I=1 TO 4
11230 IF VICI=F(I,1) THEN U=1
11240 NEXT I
11250 IF W=1 AND U=1 THEN GOTO 11290
11260 IF W=1 AND U=0 THEN GOTO 11440
11270 IF W=0 AND U=1 THEN GOTO 11690
11280 IF W=0 AND U=0 THEN GOTO 12560
11290 REM ***** CUANDO Z(SI), VIS(SI) *****
11300 FOR J=1 TO 10
11310 IF PVM=F(1,J) THEN S=J
11320 NEXT J
11330 FOR I=1 TO 4
11340 IF VICI=F(I,1) THEN T=I
11350 NEXT I
11360 IF OP=1 THEN PP1=F(T,S) : GOTO 12630
11370 IF OP=2 THEN PP1=G(T,S) : GOTO 12630
11380 IF OP=3 THEN PP1=H(T,S) : GOTO 12630
11390 IF OP=4 THEN PP1=I(T,S) : GOTO 12630
11400 IF OP=5 THEN PP1=J(T,S) : GOTO 12630
11410 IF OP=6 THEN PP1=K(T,S) : GOTO 12630
11420 IF OP=7 THEN PP1=M(T,S) : GOTO 12630
11430 IF OP=8 THEN PP1=N(T,S) : GOTO 12630
11440 REM ***** CUANDO Z(SI), VIS(NO) *****
11450 FOR J=1 TO 10
11460 IF PVM=F(1,J) THEN S=J
11470 NEXT J
11480 FOR I=1 TO 3
11490 IF VICI>F(I,1) AND VICI<F(I+1,1) THEN T=I
11500 NEXT I
11510 XX1=F(T,1) : XX2=F(T+1,1)
11520 IF OP=1 THEN GOTO 11600
11530 IF OP=2 THEN GOTO 11610
11540 IF OP=3 THEN GOTO 11620
11550 IF OP=4 THEN GOTO 11630
11560 IF OP=5 THEN GOTO 11640
11570 IF OP=6 THEN GOTO 11650
11580 IF OP=7 THEN GOTO 11660
11590 IF OP=8 THEN GOTO 11670
11600 YY1=F(T,S) : YY2=F(T+1,S) :GOTO 11680

```

```

11610 YY1=G(T,S) :YY2=G(T+1,S) :GOTO 11680
11620 YY1=H(T,S) :YY2=H(T+1,S) :GOTO 11680
11630 YY1=I(T,S) :YY2=I(T+1,S) :GOTO 11680
11640 YY1=J(T,S) :YY2=J(T+1,S) :GOTO 11680
11650 YY1=K(T,S) :YY2=K(T+1,S) :GOTO 11680
11660 YY1=M(T,S) :YY2=M(T+1,S) :GOTO 11680
11670 YY1=N(T,S) :YY2=N(T+1,S) :GOTO 11680
11680 YY=((YY2-YY1)*(VIS-xx1)/(xx2-xx1))+YY1 : PP1=YY : GOTO 12630
11690 REM ***** CUANDO %(NO), VIS(SI) *****
11700 FOR I=1 TO 4
11710 IF VICI=F(I,1) THEN T=I
11720 NEXT I
11730 IND=0
11740 IF OP=1 THEN GOTO 11830
11750 IF OP=2 THEN GOTO 11890
11760 IF OP=3 THEN GOTO 11950
11770 IF OP=4 THEN GOTO 12010
11780 IF OP=5 THEN GOTO 12070
11790 IF OP=6 THEN GOTO 12130
11800 IF OP=7 THEN GOTO 12190
11810 IF OP=8 THEN GOTO 12250
11820 DP=YY1*56 : GOTO 12630
11830 FOR I=1 TO 4
11840 FOR J=1 TO 10
11850 Q(I,J)=F(I,J)
11860 NEXT J
11870 NEXT I
11880 GOTO 12310
11890 FOR I=1 TO 4
11900 FOR J=1 TO 10
11910 Q(I,J)=G(I,J)
11920 NEXT J
11930 NEXT I
11940 GOTO 12310
11950 FOR I=1 TO 4
11960 FOR J=1 TO 10
11970 Q(I,J)=H(I,J)
11980 NEXT J
11990 NEXT I
12000 GOTO 12310
12010 FOR I=1 TO 4
12020 FOR J=1 TO 10
12030 Q(I,J)=I(I,J)
12040 NEXT J
12050 NEXT I
12060 GOTO 12310
12070 FOR I=1 TO 4
12080 FOR J=1 TO 10
12090 Q(I,J)=J(I,J)
12100 NEXT J
12110 NEXT I
12120 GOTO 12310
12130 FOR I=1 TO 4

```

```

12140 FOR J=1 TO 10
12150 Q(I,J)=K(I,J)
12160 NEXT J
12170 NEXT I
12180 GOTO 12310
12190 FOR I=1 TO 4
12200 FOR J=1 TO 10
12210 Q(I,J)=M(I,J)
12220 NEXT J
12230 NEXT I
12240 GOTO 12310
12250 FOR I=1 TO 4
12260 FOR J=1 TO 10
12270 Q(I,J)=N(I,J)
12280 NEXT J
12290 NEXT I
12300 GOTO 12310
12310 YY1=0
12320 FOR I=1 TO 9
12330 PNUM=1
12340 PDEN=1
12350 FOR J=1 TO 9
12360 IF I=J THEN GOTO 12390
12370 PNUM=PNUM*(PVM-Q(1,J+1))
12380 PDEN=PDEN*(Q(1,I+1)-Q(1,J+1))
12390 NEXT J
12400 YY1=YY1+PNUM*Q(T,I+1)/PDEN
12410 NEXT I
12420 IF IND=0 THEN GOTO 11820
12430 YY2=0
12440 FOR I=1 TO 9
12450 RRR=1
12460 SSS=1
12470 FOR J=1 TO 9
12480 IF I=J THEN GOTO 12510
12490 RRR=RRR*(PVM-Q(1,J+1))
12500 SSS=SSS*(Q(1,I+1)-Q(1,J+1))
12510 NEXT J
12520 YY2=YY2+RRR*Q(T+1,I+1)/SSS
12530 NEXT I
12540 PP1=((YY2-YY1)*(VICI-XX1)/(XX2-XX1))+YY1
12550 IF IND=2 THEN GOTO 12630
12560 REM ***** CUANDO Z(NO), VIS(NO) *****
12570 FOR I=1 TO 3
12580 IF VICI>F(I,1) AND VICI<F(I+1,1) THEN T=I
12590 NEXT I
12600 XX1=F(T,1) : XX2=F(T+1,1)
12610 IND=2
12620 GOTO 11740
12630 DP=PP1*SG
12640 FPE=.25*DP*(Q4PX/Q4PMX)*EFBO
12650 IF FPE<50 THEN FP=DP : RETURN
12660 FEE=.75*DP

```

```

12670 FP=FPE+FEE
12680 RETURN
12690 REM *****
12700 REM #          SUBROUTINA FRICTUB          #
12710 REM *****
12720 REM #          CALCULA LAS PERDIDAS DE PRESION POR FRICCION          #
12730 REM #          EN TUBERIAS Y EN ANULARES          #
12740 REM *****
12750 E=0
12760 V=.01191*GTO/(D1^2-D2^2)
12770 NR=(7741!*V*(D1-D2))/VICI
12780 IF NR<1200 THEN GOTO 12830
12790 FF=.0361*(VICI^.21)/(((D1-D2)*V)^.21)
12800 C2=1.146E-05*56*FF*L*(GTO^2)
12810 IF FLUJO$="T" THEN PFRI=C2/(D1^5) : RETURN
12820 PFRI=C2/((D1-D2)*(((D1^2)-(D2^2))^2)*((D1/(D1-D2))^.1)*((1+1.5*E^2)^.25))
: RETURN
12830 C1=7.95E-06*VICI*L*GTO
12840 IF FLUJO$="T" THEN PFRI=C1/(D1^4) : RETURN
12850 PFRI=C1*((D1/(D1-D2))^.1)/(((D1-D2)^2)*(D1^2-D2^2)*(1+1.5*E^2))
12860 RETURN

```

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- 1.- El uso del bombeo hidráulico como sistema artificial de producción, implica una gran inversión debido a que no sólo consiste del equipo de fondo y de superficie, sino de un sistema de fluido motriz completo que incluye desde los tanques hasta un tratamiento especial y bien programado del fluido motriz. Para el caso del campo CUYABENO, la existencia del tanque de almacenamiento representa una ventaja ya que se lo utilizará como tanque de fluido motriz. Además, debido a la gran capacidad que éste posee, se tendrá un tiempo de asentamiento adecuado, con lo que se conseguirá una buena separación de sólidos y por ende, la limpieza del fluido será excelente.
- 2.- El mecanismo de empuje para el campo en estudio es expansión del gas en solución y por lo tanto hay que tener en cuenta que la presión declina rápidamente con

la producción. Este es un factor que se consideró para instalar un sistema de bombeo hidráulico tipo pistón, ya que es el más eficiente en yacimientos depletados.

- 3.- Las unidades subsuperficiales utilizadas en el bombeo hidráulico, poseen una gran flexibilidad para adaptarse a los cambios de condiciones de producción, lo cual es muy importante para la vida futura del campo ya que siempre existirán cambios en la tasa de producción, número de pozos que producen, etc.
- 4.- El diseño de un sistema de bombeo hidráulico es un asunto complejo en el que se requiere tomar muchas decisiones, pero esto se lo puede hacer de una manera sistemática, práctica y sencilla usando el programa de cómputo "BOMHIPIS", el mismo que incluye alternativas para los dos tipos de sistemas de fluido motriz (abierto y cerrado), así como también, todos los tipos de instalaciones para bombas fijas y libres, los cuales se escojen de acuerdo a la completación del pozo.
- 5.- Entre las principales bondades que ofrece "BOMHIPIS", tenemos:
 - Posibilidad de calcular la máxima tasa de producción posible, para lo cual se necesita conocer los datos de una prueba de producción. Esto se lo hace con el

fin de comprobar si es posible producir a la tasa deseada.

- Para seleccionar la bomba, "BOMHIPIS" presenta dos opciones: una que el usuario escoja e ingrese las características de la bomba a utilizarse y la otra que el mismo programa seleccione en base a las características almacenadas en la subrutina SELBOM (tomadas del libro "The Technology of Artificial Lift Methods", vol. 2b de K. BROWN). Siempre existirá más de una bomba que cumpla con los requerimientos del diseño, pero el usuario tendrá que tomar una decisión de acuerdo a la relación bomba-motor y al costo de las bombas.

La ventaja de esta última alternativa es que no se necesita ingresar las características puesto que ya están almacenadas en el programa.

RECOMENDACIONES

- 1.- Para calcular las pérdidas de presión por fricción mecánica e hidráulica en la bomba, se recomienda encontrar las ecuaciones de las curvas respectivas, en lugar de realizar interpolaciones como lo hace la subrutina FRICBOM, debido a la restricción en el rango de viscosidad (0.5-5.0 cs). Esta modificación sería de

mayor utilidad para crudos más pesados que los que se producen en el campo Cuyabeno, ya que para este campo no se presenta ningún problema.

- 2.- En lo que se refiere a las pérdidas de presión por fricción en tuberías, podría adaptarse flujo multifásico para tener valores más precisos, aunque para fines prácticos, la subrutina FRICTUB da resultados muy confiables.
- 3.- Para complementar el programa BOMHIPIS, sería muy aconsejable incorporarle el sistema Nodal, a fin de poder producir a la tasa más óptima utilizando bombeo hidráulico tipo pistón.

A P E N D I C E S

APENDICE A

VISCOSIDAD CINEMATICA DE UN FLUIDO EN UN SISTEMA DE BOMBEO HIDRAULICO

La viscosidad de un fluido puede expresarse de dos maneras:

- Viscosidad absoluta o dinámica (μ) :

Es la relación de la masa de un fluido con respecto a la longitud que se mueve en una unidad de tiempo. Se expresa en poisse.

- Viscosidad cinemática (ν) :

Es la relación que existe entre la viscosidad dinámica (μ) con la densidad del fluido (ρ). La unidad de medida es el stoke.

La viscosidad del petróleo, varía sensiblemente con su gravedad específica debido a que ambas relaciones son independientes de la cantidad de masa (propiedades intensi-

vas). Los aceites parafínicos tienen viscosidades un poco mayor que la de los crudos asfálticos. La figura A.1 es un gráfico que muestra un gran número de crudos parafínicos, asfálticos y de base mixta de campos muy dispersos, el mismo que muestra una buena correlación con la gravedad.

A su vez, la viscosidad disminuye si la temperatura del fluido aumenta. Esta relación está representada por una línea recta para la mayoría de los aceites.

Se ha encontrado una relación doble logarítmica de viscosidad con respecto a la temperatura absoluta.

$$\text{Log}_e \log_e (v + A) = - B \log_e T + K$$

Donde:

v = Viscosidad cinemática, cs.

$A = 0.6$ para viscosidades mayores que 1.5 cs.

0.65 para valores de 1.0 a 1.5 cs.

0.70 para valores de 0.7 a 1.0 cs.

0.75 para valores de 0.4 a 0.7 cs.

B = Índice de temperatura.

K = Constante.

El índice de temperatura puede ser expresado como el án-

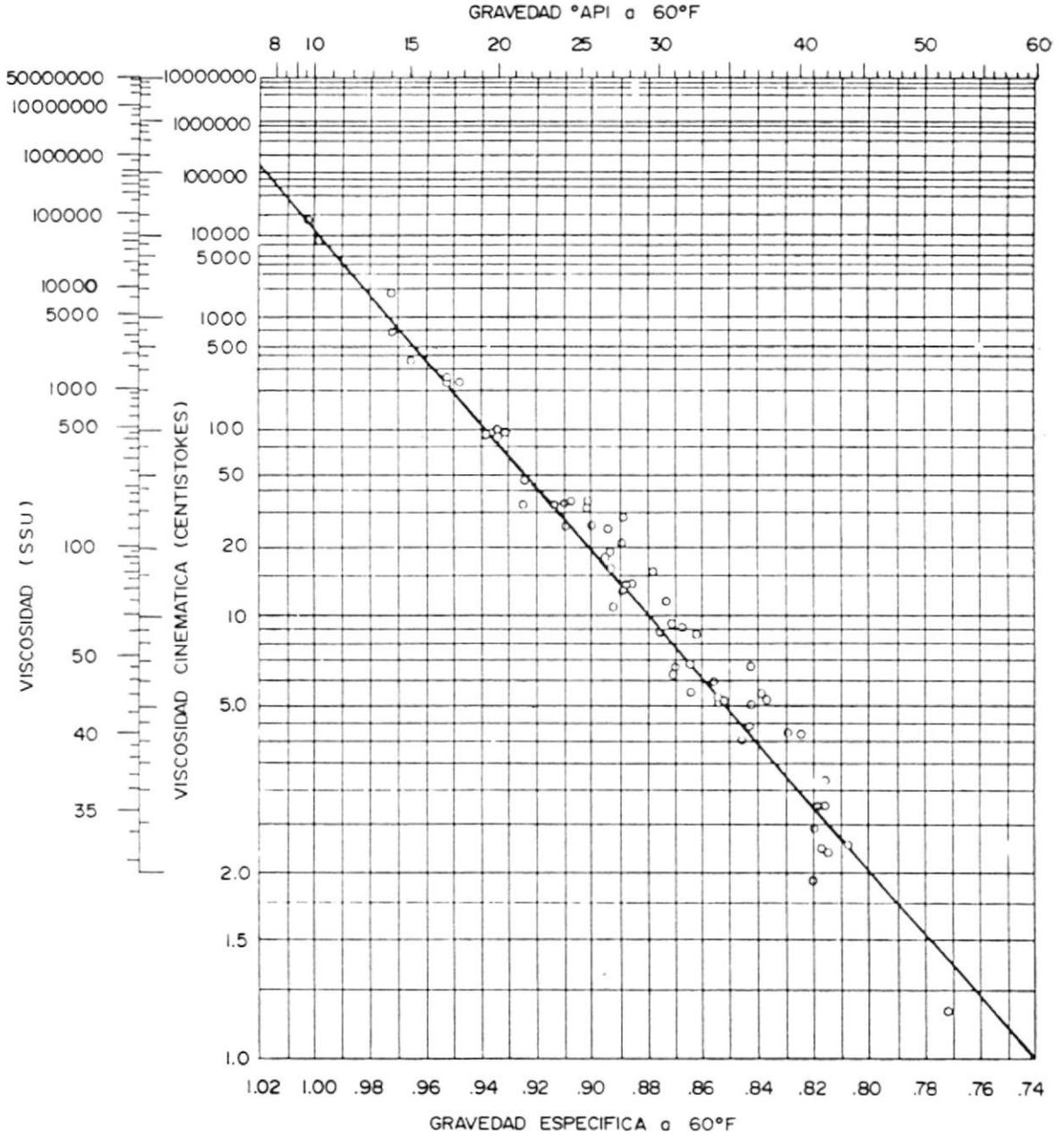


FIG. A.1 Viscosidad del petróleo vs. gravedad específica (viscosidad a 100°F) (8)

gulo entre la línea de viscosidad y la abscisa del gráfico de la ecuación anterior, esto es, la pendiente de la ecuación o el valor de la tangente de este ángulo.

El factor de escala de esta curva es 5.064, de donde se tiene que el verdadero valor de la pendiente es:

$$B = 5.064 \text{ Tan } \theta$$

Donde:

B = Índice de temperatura.

θ = Ángulo entre la línea de viscosidad y la abscisa.

El índice de temperatura tiene un valor para cada tipo de fluido, teniendo un rango de aceites de 10 a 50 °API como normales, puede establecerse los valores de B entre 2.24 y 4.21 (Ver cuadro anexo a la figura 4.3).

La viscosidad aumenta considerablemente con la presión en el rango en que se usan las bombas hidráulicas. Bridgman en "Physics of High Pressures" representa un estudio acerca del efecto de las altas presiones (mayores que 170,000 LPC), sobre la viscosidad de los aceites, agua y otros líquidos. De igual manera, los estudios de lubricación realizados por la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos

(ASME), reporta la viscosidad de los aceites lubricantes sometidos a presiones mayores de 100,000 LPC y temperaturas de 32 °F a 425 °F.

La ecuación desarrollada por Bridgman es:

$$\frac{1}{2} \eta v = A e^{-(P + r/v^2) * S/T}$$

Donde:

v = Volumen específico.

r y S = constantes.

Tomando como base este estudio, F. B. Brown y C. J. Coberly (1959) mostraron la siguiente relación que expresa la viscosidad en términos de gravedad específica, temperatura y presión para petróleos desde 10 °API hasta 50 °API.

La relación general está dada por:

$$(\nu + A) = e^{\frac{-B}{CT} e^{\delta} (G \log T + H\delta + J) P^F}$$

Al aplicar esta ecuación para petróleos de 10 °API a 50 °API, tendremos que:

$$G = + 5.47 \cdot 10^{-5}$$

$$J = -20.46 \cdot 10^{-5}$$

$$H = -12.50 \cdot 10^{-5} \quad F = 1.0$$

Y la ecuación se reduce a:

$$\text{Log}_e \log_e (\nu + 0.6) = B (6.328 - \log T) + 11.53 \delta_2 + DP - 9.254$$

Siendo:

$$D = (5.47 \log T - 12.50 \delta_2 - 20.46) \cdot 10^{-5}$$

Y,

T = Temperatura absoluta ($t^{\circ}\text{F} + 460$)

P = Presión (LPCM).

δ_2 = Gravedad específica a 60°F .

B = Índice de temperatura.

De acuerdo a esta expresión, la viscosidad de un aceite para cualquier presión y temperatura, se la puede calcular conociendo el índice de temperatura (B) y la gravedad específica (δ_2).

La viscosidad cinemática del agua, puede ser calculada haciendo uso de la figura 4.4.

Considerando que en un sistema de bombeo hidráulico el agua puede emplearse como fluido motriz, se hace necesario tener un mecanismo rápido y confiable para calcular la viscosidad cinemática.

Como es conocido, el agua se comporta como un fluido incompresible, por lo tanto, la viscosidad se la considera como una función de temperatura solamente.

Se hace necesario entonces, hacer un ajuste a la curva viscosidad vs temperatura. Esto se lo hizo mediante el método de mínimos cuadrados, utilizando un polinomio de cuarto grado.

De esta manera, tenemos las ecuaciones para calcular la viscosidad cinemática tanto para agua como para aceite, las mismas que se encuentran en la subrutina VISCIN y sirven para determinar esta propiedad de los fluidos de una forma precisa y rápida.

APENDICE B

PERDIDAS DE PRESION POR FRICCION EN TUBERIAS VERTICALES EN SISTEMAS DE BOMBEO HIDRAULICO

En un sistema de bombeo hidráulico, los fluidos pueden fluir por secciones circulares o por espacios anulares. A su vez los fluidos se encuentran sujetos a cambios de temperatura y presión que consecuentemente afectan la viscosidad y la gravedad específica de acuerdo a la profundidad del pozo.

Debido a estas variaciones de viscosidad, el flujo en las tuberías puede ser turbulento o laminar. Es por esto, que los cálculos de pérdida por fricción en instalaciones de bombeo hidráulico, presentan varios problemas que no existen en sistemas hidráulicos ordinarios.

A continuación se presentan las ecuaciones básicas para determinar:

- Tipo de flujo

La pérdida de presión por fricción, representada como una columna de fluido, puede obtenerse aplicando la ecuación de Darcy:

$$h = f \frac{1}{d} \frac{V^2}{2g} \dots \dots \dots (1)$$

Siendo:

- f = Factor de fricción (adimensional)
- V = Velocidad del fluido (pie/seg)
- d = Diámetro de tubería (pulg)
- g = Aceleración gravitacional (pie/seg²)

El número de Reynolds se lo determina con la siguiente relación:

$$R = \frac{dV\varphi}{\mu} \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

- φ = Densidad del fluido (dina-seg²/cm⁴)
- μ = Viscosidad dinámica o absoluta (cp)

Este número determina el tipo de flujo en que se encuentra el sistema. Si R es menor que 1,200 el flujo es laminar. Entre 1,200 y 2,500 hay una zona de transición

y cuando R es mayor que 2,500 el flujo es turbulento.

El valor de factor de fricción se encuentra en función del tipo de flujo, para un sistema de régimen laminar el comportamiento es lineal, y se lo puede calcular usando la siguiente ecuación:

$$f = \frac{64}{R} \dots \dots \dots (3)$$

En un régimen turbulento, la rugosidad de la tubería es un factor importante tal como se lo puede apreciar en el diagrama de Moody. Por lo tanto, el factor de fricción no tiene un comportamiento lineal con respecto a R como en el caso anterior.

En pozos con sistema de bombeo hidráulico a condiciones normales, el valor de R no excede de 50,000. Con este máximo, puede establecerse una relación para expresar el factor de fricción en forma lineal con el número de Reynolds en condiciones de turbulencia:

$$f = \frac{0.236}{R^{0.21}} \dots \dots \dots (4)$$

En un sistema de bombeo hidráulico, el tamaño de las tuberías de producción varía de ½ a hasta 4 pulgadas (en función del tamaño de la tubería de revestimiento y de

la bomba, cuyos tamaños comerciales son 2, 2½, 3 y 4 pulg). Para este rango, las constantes empleadas en la ecuación anterior se comporta adecuadamente.

- Gradiente de viscosidad

El gradiente de presión y la variación de temperatura en el pozo afectan a la viscosidad y a la gravedad específica de los fluidos. Esto debe ser considerado para calcular las pérdidas por fricción.

Se ha demostrado que la viscosidad se comporta de manera exponencial con respecto a la profundidad y se ha introducido un gradiente de viscosidad. Para evaluar dicho gradiente, sólo se necesita conocer las condiciones en los puntos extremos del pozo (cabeza y fondo):

$$\eta_a = \frac{\int_{x_1}^{x_2} v^a dx}{(x_2 - x_1)} \dots \dots \dots (5)$$

Las ecuaciones presentadas en el inciso anterior, pueden ser introducidas solamente si se considera un pequeño elemento dx, y la Ec. 1 se puede escribir como sigue:

$$h = \int_{x_1}^{x_2} f dx - \frac{1}{d} \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (6)$$

Para el régimen laminar, de la Ec. 3 se obtiene:

$$\int_{x_1}^{x_2} f \, dx = \frac{64}{dV} \int_{x_1}^{x_2} \nu \, dx \dots \dots \dots (7)$$

Y para el régimen turbulento, haciendo uso de la Ec. 4, se tiene:

$$\int_{x_1}^{x_2} f \, dx = \frac{0.236}{(dV)^{0.21}} \int_{x_1}^{x_2} \nu^{0.21} \, dx \dots \dots \dots (8)$$

Observando desde la Ec.5 hasta la Ec. 8, se puede apreciar que empleando el gradiente de viscosidad se puede calcular el factor de fricción y por ende, las pérdidas de presión por fricción en tuberías, tanto en secciones anulares como circulares.

- Pérdidas de presión por fricción

Para fines prácticos, es conveniente introducir constantes para expresar las ecuaciones con unidades compatibles con las que se usan en el campo.

Número de Reynolds (adimensional):

$$R = 7.741 \times 10^3 \frac{dV \rho}{\mu} \dots \dots \dots (9)$$

Velocidad de flujo (pie/seg):

$$V = 11.91 \times 10^{-3} \frac{Q}{d^2} \dots \dots \dots (10)$$

Siendo:

Q = Caudal total en barriles/día (BPD)

1.- SECCIONES CIRCULARES

Las pérdidas de presión por fricción en libras por pulgada cuadrada (LPC), se calculan usando las siguientes ecuaciones:

a) Régimen laminar

$$P = 7.95 \times 10^{-6} \left[\frac{\mu l Q}{d^4} \right] \dots \dots \dots (11)$$

b) Régimen turbulento

$$P = 11.46 \times 10^{-6} \left[\frac{\delta f l Q^2}{d^5} \right] \dots \dots \dots (12)$$

Donde:

$$f = 0.0361 \left[\frac{V}{dV} \right]^{0.21} \dots \dots \dots (13)$$

o:

$$f = 0.0911 \left[\frac{d \nu}{Q} \right]^{0.21} \dots \dots \dots (14)$$

Combinando las ecuaciones (12) y (14), tenemos:

$$P = 1.045 \times 10^{-6} \left[\frac{\xi \nu^{0.21} Q^{1.79}}{d^{4.79}} \right] \dots \dots \dots (15)$$

2.- SECCIONES ANULARES

En un sistema de bombeo hidráulico, a menudo se tendrá el flujo de retorno a través del anular.

Además es probable que la tubería interior no sea concéntrica con la exterior.

Atherton usó un diámetro equivalente d , el cual es igual a 4 veces el radio hidráulico de la sección anular.

$$d = (d_1 - d_2) \dots \dots \dots (16)$$

Esta relación básica se aplica a la ecuación de Darcy (Ec.1) y al número de Reynolds (Ec.2).

Tomando a d_1 como el diámetro interior de la tubería exterior y a d_2 como el diámetro exterior de la tubería interior, la ecuación para el cálculo de la velocidad a través del espacio anular es :

$$v = 11.91 \times 10^{-3} \left[\frac{Q}{(d_1^2 - d_2^2)} \right] \dots \dots (17)$$

La cual es la Ec.10 con el siguiente cambio:

$$d = (d_1^2 - d_2^2)^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (18)$$

El uso de los diámetros equivalentes en las Ec.1 hasta Ec.4 nos permite determinar la pérdida por fricción teórica en una sección anular concéntrica.

Sin embargo, Davis basándose en el trabajo de Ather-ton, Kratz y otros, propuso que el factor f para flujo laminar debe ser aumentado por un factor,

$$\phi_1 (d_1, d_2) = \left[\frac{d_1}{d_1 - d_2} \right]^{0.1} \dots \dots \dots (19)$$

y que para flujo turbulento, el factor de fricción puede ser disminuido por el mismo factor.

La corrección de Davis es más pequeña que la relación de Lamb para flujo laminar, pero parece que se

adapta mejor.

Como se mencionó anteriormente, la tubería puede no estar concéntrica, por lo que se puede usar una correlación en función de la excentricidad.

$$\phi_2(e) = (1 + 1.5 e^2) \dots \dots \dots (20)$$

Donde e es la relación de distancias entre los centros de las dos tuberías a la claridad radial concéntrica.

Tao y Donovan también desarrollaron la Ec.20 considerando el flujo turbulento para tuberías concéntricas. La relación para este régimen es compleja, sin embargo una aproximación muy cercana está dada por:

$$\phi_3(e) = (1 + 1.5 e^2)^{0.25} \dots \dots \dots (21)$$

Introduciendo desde las Ecs. 16 hasta la 21 en las Ecs. 10 hasta la 15, tendremos las siguientes ecuaciones para flujo en anulares de tuberías concéntricas.

a) Régimen laminar

$$P = \frac{7.95 \times 10^{-6} \mu l Q \left[\frac{d_1}{d_1 - d_2} \right]^{0.1}}{(d_1 - d_2)^2 (d_1^2 - d_2^2) (1 + 1.5 e^2)} \quad (22)$$

La cual es la Ec.11 con la siguiente substitución:

$$d = \left[\frac{(d_1 - d_2)^2 (d_1^2 - d_2^2) (1 + 1.5 e^2)}{\left[\frac{d_1}{d_1 - d_2} \right]^{0.1}} \right]^{1/4} \quad (23)$$

b) Régimen turbulento

$$P = \left[\frac{11.46 \times 10^{-6} \delta f l Q^2}{(d_1 - d_2) (d_1^2 - d_2^2)^2 \left[\frac{d_1}{d_1 - d_2} \right]^{0.1} (1 + 1.5 e^2)^{0.25}} \right] \quad (24)$$

La misma que es la Ec.12 con el siguiente cambio:

$$d = \left[(d_1 - d_2) (d_1^2 - d_2^2) \left[\frac{d_1}{d_1 - d_2} \right]^{0.1} (1 + 1.5 e^2)^{0.25} \right]^{1/5} \quad (25)$$

$$f = 0.0361 \left[\frac{\gamma}{(d_1 - d_2) V} \right]^{0.21} \dots \dots \dots (26)$$

o:

$$f = 0.0911 \left[\frac{(d_1 + d_2)}{Q} \right]^{0.21} \dots \dots \dots (27)$$

La cual es la Ec.14 con el siguiente cambio:

$$d = (d_1 + d_2) \quad \dots \dots \dots (28)$$

Combinando Ecs.24 hasta 27, para flujo turbulento tenemos:

$$P = \frac{1.045 \times 10^{-6} \delta \nu^{0.21} Q^{1.79} l}{(d_1 - d_2)^{1.21} (d_1^2 - d_2^2)^{1.79} \left[\frac{d_1}{d_1 - d_2} \right]^{0.1}} \quad * \\ \frac{1}{(1 + 1.5 e^2)^{0.25}} \quad \dots \dots \dots (29)$$

La misma que es la Ec.15 con el siguiente cambio:

$$d = \left[(d_1 - d_2)^{1.21} (d_1^2 - d_2^2)^{1.79} \left[\frac{d_1}{(d_1 - d_2)} \right]^{0.1} \right. \\ \left. (1 + 1.5 e^2)^{0.25} \right]^{1/4.79} \quad \dots \dots \dots (30) \quad *$$

De esta manera vemos que desde la Ec.9 hasta la 14 se pueden usar ya sea para secciones circulares o anulares, para lo cual se debe escoger el diámetro apropiado para cada caso.

Es posible calcular las pérdidas de presión por

fricción en sartas de tuberías con parámetros conocidos y comunes, sin necesidad de recurrir a gráficas, nomogramas, tablas, etc. que además de ser tedioso su empleo, se expone a errores de lectura e interpretación.

APENDICE C

"CARACTERISTICAS DE LAS BOMBAS SUBSUPERFICIALES"

TAMAÑO DE LA BOMBA O DESCRIPCION	RELACION P/E	DESPLAZAMIENTO			MAXIMA TASA DE VELOCIDAD (SPM)
		A la tasa de velocidad	BPM por SPM		
			MOTOR	BOMBA	
2 x 1 ¹ / ₈ .....	.67	186	13.3	6.9	27
2 x 1 ¹ / ₄ .....	.93	259	13.3	9.6	27
2 x 1 ¹ / ₂	1.33	373	13.3	13.8	27
2 ¹ / ₂ x 1 ¹ / ₄ .....	.58	257	21.2	9.5	27
2 ¹ / ₂ x 1 ¹ / ₂ .....	.83	370	21.2	13.7	27
2 ¹ / ₂ x 1 ³ / ₄	1.13	502	21.2	18.6	27
2 ¹ / ₂ x 2	1.47	653	21.2	24.2	27
3 x 1 ¹ / ₂ .....	.53	418	36.1	15.5	27
3 x 1 ³ / ₄ .....	.72	570	36.1	21.1	27
3 x 2 .....	.94	742	36.1	27.5	27
3 x 2 ¹ / ₄	1.20	940	36.1	34.8	27
3 x 2 ¹ / ₂	1.47	1161	36.1	43.0	27
4 x 2 ¹ / ₄ .....	.68	940	63.5	34.8	27
4 x 2 ³ / ₄	1.01	1404	63.5	52.0	27
4 x 3 ¹ / ₄	1.41	1960	63.5	72.6	27

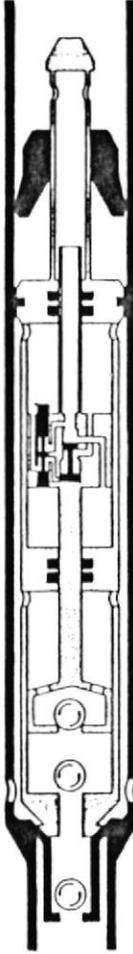


FIG. C.1 Especificaciones de las bombas SARGENT de motor simple y bomba simple (6)

TAMAÑO DE LA BOMBA O DESCRIPCION	RELACION P/E	DESPLAZAMIENTO			MAXIMA TASA DE VELOCIDAD (SPM)
		A la tasa de velocidad	BPD por SPM		
			MOTOR	BOMBA	
2 x 1 ⁵ / ₈ x 1 ¹ / ₈ .....	.52	225	15.08	6.45	35
2 x 1 ⁵ / ₈ x 1 ¹ / ₄ .....	.72	312	15.08	8.92	35
2 x 1 ⁵ / ₈ x 1 ¹ / ₂	1.03	450	15.08	12.85	35
2 x 1 ⁵ / ₈ x 1 ³ / ₈	1.21	528	15.08	15.08	35
2 ¹ / ₂ x 2 x 1 ¹ / ₄ .....	.44	264	30.80	12.02	22
2 ¹ / ₂ x 2 x 1 ¹ / ₂ .....	.68	467	30.80	17.30	27
2 ¹ / ₂ x 2 x 1 ⁵ / ₈ .....	.80	547	30.80	20.30	27
2 ¹ / ₂ x 2 x 1 ³ / ₄ .....	.93	637	30.80	23.60	27
2 ¹ / ₂ x 2 x 2	1.21	831	30.80	30.80	27
3 x 2 ¹ / ₂ x 1 ³ / ₄ .....	.59	643	43.71	21.42	30
3 x 2 ¹ / ₂ x 2 .....	.77	840	43.71	27.98	30
3 x 2 ¹ / ₂ x 2 ¹ / ₄ .....	.98	1062	43.71	35.41	30
3 x 2 ¹ / ₂ x 2 ¹ / ₂	1.21	1311	43.71	43.71	30
4 x 2 ¹⁵ / ₁₆ x 2 .....	.57	840	60.35	27.98	30
4 x 2 ¹⁵ / ₁₆ x 2 ¹ / ₄ .....	.72	1062	60.35	35.41	30
4 x 2 ¹⁵ / ₁₆ x 2 ¹ / ₂ .....	.89	1311	60.35	43.71	30
4 x 2 ¹⁵ / ₁₆ x 2 ³ / ₄	1.08	1587	60.35	52.90	30
4 x 2 ¹⁵ / ₁₆ x 2 ¹⁵ / ₁₆	1.22	1810	60.35	60.35	30

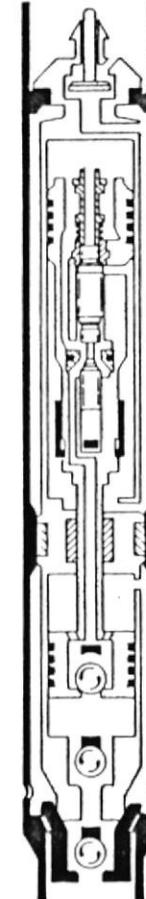


FIG. C.2 Especificaciones de las bombas JOHNSON - FAGG de motor simple y bomba simple (6)

TAMAÑO DE LA BOMBA O DESCRIPCION	RELACION P/E	DESPLAZAMIENTO			MAXIMA TASA DE VELOCIDAD (SPM)
		A la tasa de velocidad	BPD por SPM		
			MOTOR	BOMBA	
VFR 201611 .....	.62	318	4.24	2.12	150
VFR 201613 .....	.87	444	4.24	2.96	150
VFR 201616	1.32	673	4.24	4.49	150
VFR 252015 .....	.74	630	8.89	5.25	120
VFR 252017	1.00	858	8.89	7.15	120
VFR 252020	1.32	1119	8.89	9.33	120
VFR 302424	1.28	1612	12.99	13.44	120



FIG. C.3 Especificaciones de las bombas VFR de motor simple y bomba simple (6)

TAMAÑO DE LA BOMBA O DESCRIPCION	RELACION P/E	DESPLAZAMIENTO		MAXIMA TASA DE VELOCIDAD (SPM)	
		A la tasa de velocidad	BPD por SPM		
			MOTOR		BOMBA
VFR 20161613 .....	.54	444	6.86	2.96	150
VFR 20161616 .....	.81	673	6.86	4.49	150
VFR 25202015 .....	.41	630	15.16	5.25	120
VFR 25202017 .....	.56	858	15.16	7.15	120
VFR 25202020 .....	.73	1119	15.16	9.33	120

FIG. C.4 Especificaciones de las bombas VFR de motor en tándem y bomba simple (6)



TAMAÑO DE LA BOMBA O DESCRIPCION	RELACION P/E	DESPLAZAMIENTO			MAXIMA TASA DE VELOCIDAD (SPM)
		A la tasa de velocidad	BPD por SPM		
			MOTOR	BOMBA	
V-25-11-118	1.18	1419	5.33	6.31	225
V-25-11-095 .....	.95	1299	6.66	6.31	206



FIG. C.5 Especificaciones de las bombas V-II de motor simple y bomba simple (6)

TAMAÑO DE LA BOMBA O DESCRIPCION	RELACION P/E	DESPLAZAMIENTO			MAXIMA TASA DE VELOCIDAD (SPM)
		A la tasa de velocidad	BPD por SPM		
			MOTOR	BOMBA	
V25-21-075 .....	.75	1173	8.38	6.31	186
V25-21-063 .....	.63	1072	10.00	6.31	170



FIG. C.6 Especificaciones de las bombas V-21 con motor en tandem y bomba simple (6)

TAMAÑO DE LA BOMBA O DESCRIPCION	RELACION P/E	DESPLAZAMIENTO			MAXIMA TASA DE VELOCIDAD (SPM)
		A la tasa de velocidad	BPD por SPM		
			MOTOR	BOMBA	
201311 .....	.71	204	4.2	3.0	68
201313	1.00	285	4.2	4.2	68
201611 .....	.47	204	6.4	3.0	68
201613 .....	.66	285	6.4	4.2	68
201616	1.00	517	9.4	9.4	55
251611 .....	.47	214	7.0	3.3	65
251613 .....	.66	299	7.0	4.6	65
251616	1.00	455	7.0	7.0	65
252016 .....	.64	540	16.5	10.6	51
252018 .....	.81	683	16.5	13.4	51
252020	1.00	841	16.5	16.5	51
402422 .....	.88	1269	32.1	28.2	45

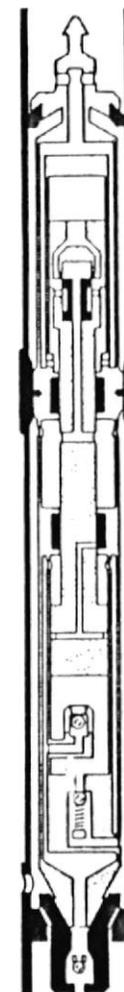


FIG.C.7 Especificaciones de las bombas F, FE y FEB (6)

TAMAÑO DE LA BOMBA O DESCRIPCION	RELACION P/E	DESPLAZAMIENTO			MAXIMA TASA DE VELOCIDAD (SPM)
		A la tasa de velocidad	BPD por SPM		
			MOTOR	BOMBA	
2 x 1— ¹³ / ₁₆ .....	.545	139	2.15	1.15	121
2 x 1—1	1.000	254	2.15	2.10	121
2 x 1— ¹³ / ₁₆	1.546	393	2.15	3.25	121
2 x ¹³ / ₁₆ —1 .....	.647	254	3.30	2.10	121
2 x ¹³ / ₁₆ — ¹³ / ₁₆	1.000	393	3.30	3.25	121
2 ½ x 1 ¼—1 .....	.520	256	5.02	2.56	100
2 ½ x 1 ¼— ¹ / ₈ .....	.746	367	5.02	3.67	100
2 ½ x 1 ¼— ¹ / ₄	1.000	492	5.02	4.92	100
2 ½ x 1 ¼— ¹ / ₂	1.431	703	5.02	7.03	100
2 ½ x ¹ / ₂ — ¹ / ₄ .....	.700	492	7.13	4.92	100
2 ½ x ¹ / ₂ — ¹ / ₂	1.000	703	7.13	7.03	100
3 x 1 ½— ¹ / ₄ .....	.592	486	9.61	5.59	87
3 x 1 ½— ¹ / ₂ .....	.787	646	9.61	7.43	87
3 x 1 ½—1	1.000	821	9.61	9.44	87
3 x 1 ½— ³ / ₄	1.480	1218	9.61	14.00	87
3 x ³ / ₄ — ¹ / ₂ .....	.676	821	14.17	9.44	87
3 x ³ / ₄ — ³ / ₄	1.000	1218	14.17	14.00	87
4 x 2— ³ / ₄ .....	.687	1108	21.44	14.40	77
4 x 2—2	1.000	1617	21.44	21.00	77
4 x 2— ² / ₃	1.541	2502	21.44	32.50	77
4 x ² / ₃ —2 .....	.649	1617	32.94	21.00	77
4 x ² / ₃ — ² / ₃	1.000	2502	32.94	32.50	77

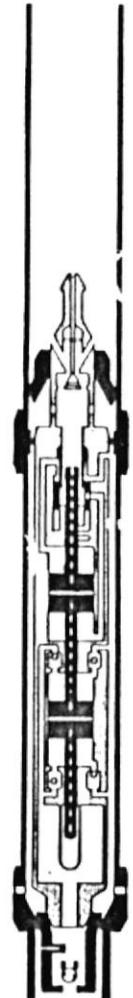


FIG. C.8 Especificaciones de las bombas tipo A de motor simple y bomba simple (6)

TAMAÑO DE LA BOMBA O DESCRIPCION	RELACION P/E	DESPLAZAMIENTO			MAXIMA TASA DE VELOCIDAD (SPM)
		A la tasa de velocidad	BPD por SPM		
			MOTOR	BOMBA	
2 x 1 ³ / ₁₆ — 1 x 1	1.290	508	3.30	4.20	121
2 x 1 ³ / ₁₆ — 1 ³ / ₁₆ x 1	1.647	647	3.30	5.35	121
2 x 1 ³ / ₁₆ — 1 ³ / ₁₆ x 1 ³ / ₁₆	2.000	786	3.30	6.50	121
2 ¹ / ₂ x 1 ⁷ / ₁₆ — 1 ¹ / ₄ x 1 ¹ / ₄	1.400	984	7.13	9.84	100
2 ¹ / ₂ x 1 ⁷ / ₁₆ — 1 ⁷ / ₁₆ x 1 ¹ / ₄	1.701	1195	7.13	11.95	100
2 ¹ / ₂ x 1 ⁷ / ₁₆ — 1 ⁷ / ₁₆ x 1 ⁷ / ₁₆	2.000	1406	7.13	14.06	100
3 x 1 ³ / ₄ — 1 ¹ / ₄ x 1 ¹ / ₄ .....	.800	972	14.17	11.18	87
3 x 1 ³ / ₄ — 1 ¹ / ₂ x 1 ¹ / ₂	1.351	1642	14.17	18.88	87
3 x 1 ³ / ₄ — 1 ³ / ₄ x 1 ¹ / ₂	1.675	2039	14.17	23.44	87
3 x 1 ³ / ₄ — 1 ³ / ₄ x 1 ³ / ₄	2.000	2436	14.17	28.00	87
4 x 2 ³ / ₈ — 2 x 1 ³ / ₄	1.094	2725	32.94	35.40	77
4 x 2 ³ / ₈ — 2 x 2	1.299	3234	32.94	42.00	77
4 x 2 ³ / ₈ — 2 ³ / ₈ x 2	1.650	4119	32.94	53.50	77
4 x 2 ³ / ₈ — 2 ³ / ₈ x 2 ³ / ₈	2.000	5005	32.94	65.00	77

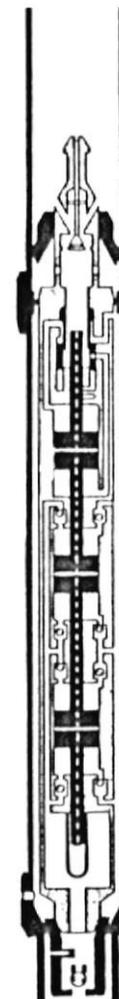
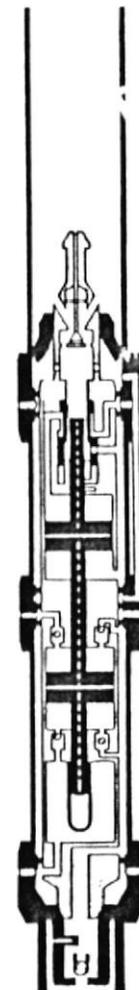


FIG. C. 9 Especificaciones de las bombas tipo A de motor simple y bomba doble (6)

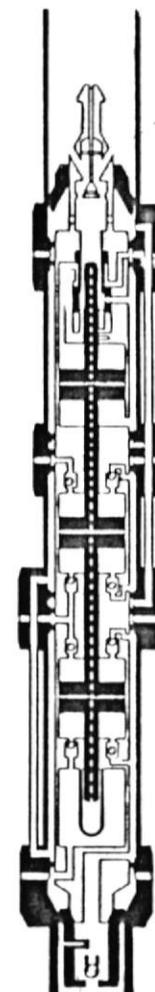
TAMAÑO DE LA BOMBA O DESCRIPCION	RELACION P/E	DESPLAZAMIENTO		MAXIMA TASA DE VELOCIDAD (SPM)	
		A la tasa de velocidad	BPDpor SPM		
			MOTOR		BOMBA
2 x 1 ³ / ₈ —1 ³ / ₁₆ .....	.700	381	4.54	3.15	121
2 x 1 ³ / ₈ —1 ³ / ₈	1.000	544	4.54	4.50	121
2 ¹ / ₂ x 1 ³ / ₄ —1 ¹ / ₂ .....	.685	744	10.96	7.44	100
2 ¹ / ₂ x 1 ³ / ₄ —1 ³ / ₄	1.000	1086	10.96	10.86	100
3 x 2 ¹ / ₈ —1 ¹ / ₈ .....	.740	1388	21.75	15.96	87
3 x 2 ¹ / ₈ —2 ¹ / ₈	1.000	1874	21.75	21.55	87

FIG. C.10 Especificaciones de las bombas tipo B de motor simple y bomba simple (6)



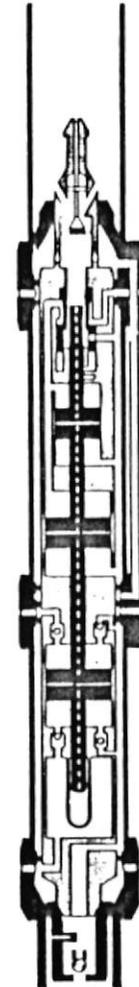
TAMAÑO DE LA BOMBA O DESCRIPCION	RELACION P/E	DESPLAZAMIENTO			MAXIMA TASA DE VELOCIDAD (SPM)
		A la tasa de velocidad	BPD por SPM		
			MOTOR	BOMBA	
2 x 1 ³ / ₈ —1 ³ / ₁₆ x 1 ³ / ₁₆	1.380	751	4.54	6.21	121
2 x 1 ³ / ₈ —1 ³ / ₈ x 1 ³ / ₁₆	1.680	913	4.54	7.55	121
2 x 1 ³ / ₈ —1 ³ / ₈ x 1 ³ / ₈	1.980	1076	4.54	8.90	121
2 1/2 x 1 3/4—1 1/2 x 1 1/2	1.336	1452	10.96	14.52	100
2 1/2 x 1 3/4—1 3/4 x 1 1/2	1.652	1794	10.96	17.94	100
2 1/2 x 1 3/4—1 3/4 x 1 3/4	1.957	2136	10.96	21.36	100
3 x 2 1/8—1 7/8 x 1 7/8	1.454	2726	21.75	31.34	87
3 x 2 1/8—2 1/8 x 1 7/8	1.714	3213	21.75	36.94	87
3 x 2 1/8—2 1/8 x 2 1/8	1.974	3700	21.75	42.53	87

FIG. C.II Especificaciones de las bombas tipo B de motor simple y bomba doble (6)



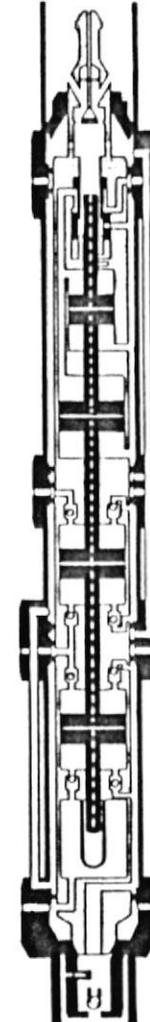
TAMAÑO DE LA BOMBA O DESCRIPCION	RELACION P/E	DESPLAZAMIENTO			MAXIMA TASA DE VELOCIDAD (SPM)
		A la tasa de velocidad	BPD por SPM		
			MOTOR	BOMBA	
$2 \times 1\frac{3}{16} \times 1\frac{3}{8} - 1\frac{3}{16}$ .....	.407	381	7.79	3.15	121
$2 \times 1\frac{3}{16} \times 1\frac{3}{8} - 1\frac{3}{8}$ .....	.581	544	7.79	4.50	121
$2\frac{1}{2} \times 1\frac{7}{16} \times 1\frac{3}{4} - 1\frac{1}{2}$ .....	.411	744	17.99	7.44	100
$2\frac{1}{2} \times 1\frac{7}{16} \times 1\frac{3}{4} - 1\frac{3}{4}$ .....	.608	1086	17.99	10.86	100
$3 \times 1\frac{3}{4} \times 2\frac{1}{8} - 1\frac{3}{8}$ .....	.449	1357	35.74	15.96	87
$3 \times 1\frac{3}{4} \times 2\frac{1}{8} - 2\frac{1}{8}$ .....	.606	1874	35.74	21.55	87

FIG. C.12 Especificaciones de las bombas tipo D de motor doble y bomba simple (6)



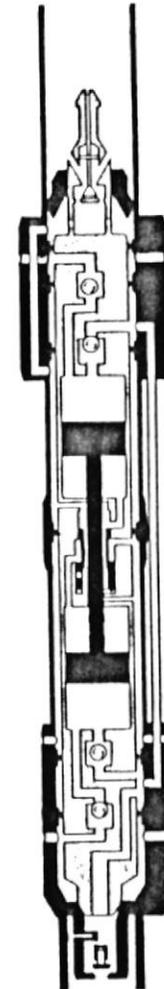
TAMAÑO DE LA BOMBA O DESCRIPCION	RELACION P/E	DESPLAZAMIENTO			MAXIMA TASA DE VELOCIDAD (SPM)
		A la tasa de velocidad	BPD por SPM		
			MOTOR	BOMBA	
$2 \times 1\frac{3}{16} \times 1\frac{3}{16} - 1\frac{3}{16} \times 1\frac{3}{16}$.	.802	751	7.79	6.21	121
$2 \times 1\frac{3}{16} \times 1\frac{3}{16} - 1\frac{3}{8} \times 1\frac{3}{16}$.	.976	913	7.79	7.55	121
$2 \times 1\frac{3}{16} \times 1\frac{3}{8} - 1\frac{3}{8} \times 1\frac{3}{8}$..	1.150	1076	7.79	8.90	121
$2\frac{1}{2} \times 1\frac{7}{16} \times 1\frac{3}{4} - 1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2}$.	.813	1452	17.99	14.52	100
$2\frac{1}{2} \times 1\frac{7}{16} \times 1\frac{3}{4} - 1\frac{3}{4} \times 1\frac{1}{2}$.	.976	1794	17.99	17.94	100
$2\frac{1}{2} \times 1\frac{7}{16} \times 1\frac{3}{4} - 1\frac{3}{4} \times 1\frac{3}{4}$.	1.196	2136	17.99	21.36	100
$3 \times 1\frac{3}{4} \times 2\frac{1}{8} - 1\frac{7}{8} \times 1\frac{7}{8}$ ...	.882	2726	35.74	31.34	87
$3 \times 1\frac{3}{4} \times 2\frac{1}{8} - 2\frac{1}{8} \times 1\frac{7}{8}$...	1.039	3213	35.74	36.94	87
$3 \times 1\frac{3}{4} \times 2\frac{1}{8} - 2\frac{1}{8} \times 2\frac{1}{8}$...	1.197	3700	35.74	42.53	87

FIG. C.13 Especificaciones de las bombas tipo D de motor doble y bomba doble (6)



TAMAÑO DE LA BOMBA O DESCRIPCION	RELACION P/E	DESPLAZAMIENTO			MAXIMA TASA DE VELOCIDAD (SPM)
		A la tasa de velocidad	BPD por SPM		
			MOTOR	BOMBA	
2 x 1 ³ / ₈	1.152	1311	18.35	21.15	62
2 ¹ / ₂ x 1 ³ / ₄	1.146	2397	37.35	42.81	56
3 x 2 ¹ / ₈	1.142	4015	66.32	75.76	53

FIG. C.14 Especificaciones de las bombas KOBE tipo E (6)



BIBLIOGRAFIA

1. BLEAKLEY W.B. "Design Consideration in Choosing a Hydraulic Pumping System", Petroleum Engineer International, Julio 1978, pp. 22-30.
2. BLEAKLEY W.B. "Surface Equipment For Hydraulic Pumping Systems", Petroleum Engineer International, Agosto 1978, pp. 30-36.
3. BROWN F. BARTON. "Water Power Fluid for Hydraulic Oil Well Pumping", Journal of Petroleum Technology, Febrero 1966, pp. 172-176.
4. BROWN F. BARTON & COBERLY C. J. "The Properties of Wells Fluids as Related to Hydraulic Pumping", Society of Petroleum Engineers of AIME, Paper No 1375-G, pp. 130-134.
5. BROWN F. BARTON & COBERLY C.J. "Friction Looses in Vertical Tubings as Related to Hydraulic Pumps", So-

- ciety of Petroleum Engineers of AIME, Paper No 1555-G, pp. 166-170.
6. BROWN KERMIT E. "The Technology of Artificial Lift Methods", Volumen 2b, Petroleum Publishing Co., Tulsa, 1980, pp. 357-447, 567-587.
 7. CLARK K. MICHAEL. "Hydraulic Lift Systems for Low Pressure Wells". Petroleum Engineer International, Febrero 1980, pp. 34-48.
 8. COBERLY C.J. "Theory and Application of Hydraulic Oil Well Pumps", KOBE INC., 1961, 126 p.
 9. GOMEZ C. JOSE ANGEL. "Apuntes de Producción de Pozos I", Universidad Nacional Autónoma de Mexico, Octubre 1985, pp. 1.2-1.29, 3.1-3.56.
 10. HOLLIS R. G. "Deep Hydraulic Pumping - Reno Field". Journal of Petroleum Technology, Noviembre 1966, pp. 1395-1399.
 11. KELLY HOWARD L. "Hydraulic Afford Pumping Economics", Petroleum Engineer, Noviembre 1968, pp. 82-86.
 12. WILSON P.M. Introducción al Bombeo Hidráulico, tomado del original en Inglés "Introduction to Hydraulic

Pumping", KOBE INC., 1976, 89 p.