



3  
27

# Universidad Nacional Autónoma de México

---

Facultad de Ingeniería

**BOMBEO HIDRAULICO**

**TIPO PISTON**

**T E S I S**

*Que para obtener el Título de*  
**INGENIERO PETROLERO**

*P r e s e n t a n*

*Yuri de Antuñano Muñoz*

*José Martínez Pérez*



México, D. F.

Noviembre 1985



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## I N D I C E

	Introducción.....	1
	Capítulo I.- Conceptos fundamentales.....	3
I.1	Tipos básicos de sistemas artificiales.....	5
I.1.1	Ventajas y desventajas de los sistemas artificiales.....	6
I.2	Definición del Bombeo Hidráulico.....	11
I.3	Aplicación del Bombeo Hidráulico.....	12
I.4	Consideraciones especiales del Bombeo Hidráulico.....	16
I.5	Problemas comunes encontrados en operaciones con Bombeo Hidráulico.....	19
	Capítulo II.- Sistemas de Flujo del Bombeo Hidráulico.....	25
II.1	Sistema abierto de fluido motriz (AFM).....	25
II.2	Sistema cerrado de fluido motriz (CFM).....	26
II.2.1	Aplicación y ventajas del CFM.....	29
	Capítulo III.- Fluido Motriz.....	34
III.1	Características.....	34
III.2	Tipos de fluidos.....	36
III.2.1	Fluido agua.....	36
III.2.2	Fluido aceite.....	44
III.2.3	Fluido gas.....	47
III.3	Selección del tipo de fluido.....	47
	Capítulo IV.- Equipo Superficial y Subsuperficial.....	50

IV.1.1	Cabezal del pozo.....	51
IV.1.2	Sistema de tratamiento superficial.....	54
IV.1.3	Tuberías superficiales.....	59
IV.1.4	Juego de válvulas.....	59
IV.1.5	Bombas superficiales.....	67
IV.2	Equipo subsuperficial.....	70
IV.2.1	Bomba hidráulica subsuperficial.....	70
IV.2.2	Tipos de arreglos empleados.....	72
IV.2.3	Factores que disminuyen la eficiencia del equipo subsuperficial.....	79
Capítulo V.- Diseño de una Instalación de Bombeo Hidráulico.		85
V.1	Decisiones y elecciones en el diseño.....	85
V.2	Cuantificación del diseño.....	90
V.2.1	Gasto de fluido manejado por la bomba.....	90
V.2.2	Elección de la bomba.....	91
V.2.3	Cálculo del gasto de fluido motriz.....	91
V.2.4	Determinación de las pérdidas de presión por fricción en la unidad de fondo.....	91
V.2.5	Determinación de las viscosidades cinemáticas de los fluidos.....	94
V.2.6	Cálculo de los gradientes de los fluidos.....	94
V.2.7	Determinación de las presiones empleadas.....	97
V.2.8	Potencias requeridas.....	99
V.3	Programa de cómputo.....	100
V.3.1	Introducción al programa.....	100
V.3.2	Diagrama de flujo.....	116

V.3.3	Codificación del programa principal BOMHID.....	117
V.3.4	Subrutina FPEP.....	127
V.3.5	Subrutina VICIN.....	128
V.3.6	Subrutina FRIC.....	129
V.3.7	Subrutina EFICI.....	130
Apéndice A:	Pérdidas de presión por fricción en tuberías verticales en sistemas de bombeo hidráulico.....	131
Apéndice B:	Determinación de la viscosidad cinemática de un fluido - en sistemas de bombeo hidráulico.....	137
Apéndice C:	Pérdidas de presión por fricción en la bomba y motor de la unidad subsuperficial.....	142
Conclusiones.....		153
Nomenclatura.....		156
Bibliografía.....		159

## I N T R O D U C C I O N

Los sistemas artificiales de producción, en pozos petroleros, tienen una gran importancia en la explotación de los hidrocarburos, no sería factible obtener el máximo beneficio de un yacimiento sin el empleo de estas formas de extracción.

Hoy en día, los métodos de producción artificial, se encuentran muy desarrollados y son un elemento más del proceso de explotación de un campo petrolero. Sin el empleo de alguno de ellos, no se extrae el volumen de hidrocarburos que se debe, por lo que su empleo se ha convertido en algo normal y cotidiano.

El uso de un sistema de bombeo o extracción, lógicamente incrementa el costo de explotación, pero si este costo es mucho menor al beneficio obtenido del fluido extraído, no sólo se cubrirá la inversión, sino además se tendrá ganancia adicional, por lo que, por razón obvia, es conveniente el empleo de estos sistemas.

El sistema de Bombeo Hidráulico (tipo pistón), es uno de los sistemas artificiales de producción, que al igual que cualquiera de ellos, tiene el objetivo de extraer la mayor cantidad de fluido de la formación productora, cuando ésta por energía propia ya no puede, o no es costeable la producción que aporta.

El Bombeo Hidráulico, es el sistema de producción artificial, que menos interés ha despertado en nuestro país, pese a las grandes ventajas que tiene con respecto a los demás. Emplear este sistema, implica un detallado -

estudio, no sólo del pozo, sino del yacimiento en general, además de una gran responsabilidad; debido a que la inversión es mucho mayor a la de cualquier otro método artificial. Pero este bombeo es capaz de extraer fluido, en forma costeable, de situaciones donde ningún otro (con todos los adelantos que pueda tener) ha podido.

Este sistema artificial, no resolverá todos los problemas que los demás sistemas de producción no han podido solventar, pero sí algunos de ellos. Por otra parte, no se debe ver al Bombeo Hidráulico como el último recurso -- por emplear, una vez agotadas todas las posibilidades, sino contemplarlo como un método más, eficaz y apto para determinadas condiciones. Analizado desde este punto de vista, se ahorrarán intentos fructuosos, diseños inadecuados y soluciones indebidas.

El presente trabajo pretende mostrar tanto las ventajas como los in convenientes que presenta el Bombeo Hidráulico, desarrollar a la vez la forma en que se encuentra integrado un sistema tan complejo como lo es este; y explicar cada una de las partes que lo constituyen.

Finalmente mostrar el diseño, computarizado, del sistema en cuestión, aportando una herramienta más para la adecuada explotación petrolera.

BOMBEO HIDRAULICO DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO  
(TIPO PISTON)

CAPITULO I

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

La mayoría de las decisiones en la vida cotidiana están regidas mediante dictados económicos. Así mismo dichos dictados son los que determinan los cursos de acción a seguir en una industria.

En la industria petrolera, el ingeniero de producción determina la vida productiva de un pozo en función de argumentos económicos, en base a esto, decide si es conveniente emplear un sistema artificial de producción.

Para explotar debidamente un pozo con sistema artificial el equipo de producción seleccionado, debe ser capaz de obtener, la máxima extracción de fluidos al mínimo costo de operación y reparación.

Son muchos los factores que deben ser considerados cuando se elija un método de bombeo o equipo artificial. Todos estos pueden ser considerados a manera de hacer el más completo estudio de extracción, para obtener la decisión final que resultará en la mayor ganancia.

Los primeros factores importantes que deben tomarse en cuenta pueden resumirse en:

- (1) Número de pozos que necesitan de equipo de explotación artificial.
- (2) Gastos de producción y profundidad de los intervalos.
- (3) Localización de los pozos y espaciamiento entre uno y otro.
- (4) Tipo de terminación que necesitará el sistema artificial.
- (5) Costo inicial de los sistemas artificiales de producción.

(6) Costo de equipo complementario.

(7) Disponibilidad de servicios y equipo de reparación.

(8) Costos de operación y servicio.

A su vez deben ser considerados en esta selección aspectos más inherentes al yacimiento y pozo que se trate, como son:

\* Características del pozo. La relación de comportamiento de flujo - (IPR) es una consideración importante en la selección de un sistema artificial. Cada tipo de sistema artificial de producción puede necesitar diferente valor de presión de fondo, al variar las condiciones. De igual importancia es el comportamiento futuro del yacimiento.

\* Características del Yacimiento. Las características de los fluidos del yacimiento es también importante en la selección del sistema artificial, - la viscosidad del aceite, ( $\mu_o$ ) Relación Gas-Aceite, (RGA), gasto de agua producido, ( $W_p$ ) la necesidad de tratamientos de fondo que sean necesarios, etc.

Las dimensiones del yacimiento es una consideración importante, el espaciamiento de los pozos puede estar en función de éstas. Algunas consideraciones futuras, como:

- a) Se mantendrá la misma presión.
- b) Se producirá en un futuro agua.
- c) ¿Cuántos pozos necesitarán sistema artificial?.
- d) Etc.

\* Características del Campo. Los factores del medio ambiente también son importantes en la elección. Restricciones gubernamentales, como la prohibición de cierto método en zonas aledañas a ciudades por ejemplo, los requerimientos geográficos de los pozos, si son marinos, si están en áreas muy remotas, si el clima es extremo, tormentoso, etc.

La localización del campo con respecto al lugar en donde se realizan los servicios, que disponibilidad habrá de personal de reparación, del mismo de operación, la familiaridad de este personal con el equipo a elegir.

\* Incertidumbres. El efecto de incertidumbre puede alterar la elección de un determinado sistema artificial si el pozo requiere para un determinado método de un tipo de terminación, si la que tiene servirá o no, si en el futuro no será necesario cambiarla. La incertidumbre de que sea prohibido gubernamentalmente ese sistema, la de los costos futuros del equipo de mantenimiento y reparación.

Teniendo en cuenta que, emplear métodos artificiales, de bombeo es - adicionar costos al fluido producido; pero cuando la presión natural de la formación es inadecuada, puede no haber otra alternativa.

El ingeniero de producción como se mencionó debe seleccionar, el -- equipo de producción más efectivo el de menor costo, para cada pozo en particular.

En la selección del tipo de bombeo los elementos del pozo que determinan el mejor método son los siguientes:

- a) Relaciones Gas-Aceite actuales y esperadas.
- b) Volúmenes totales de fluido presente y futuras.
- c) Profundidad en la que se colocará el equipo subsuperficial de extracción.
- d) Diámetro de las tuberías y arreglo de éstas.
- e) Pozos direccionales.
- f) Contaminantes en los fluidos producidos (como sólidos y materiales corrosivos).

## I.1 TIPOS BASICOS DE SISTEMAS ARTIFICIALES.

Existen básicamente cuatro métodos artificiales de producción hoy en

días los cuales son:

- a) Bombeo Neumático (gas Lift).
- b) Bombeo Mecánico (rod-pumping).
- c) Bombeo electro-centrífugo (subsurface centrifugal).
- d) Bombeo Hidráulico (Hydraulic pumping).

A su vez cada uno de ellos tiene una serie de ramales en función del tipo de equipo, de la compañía constructora, etc. Pero es posible, hablando de sus características generales, envolver a esas ramales.

Todos estos sistemas han sido usados y probados satisfactoriamente, comportándose de acuerdo a su diseño.

Los problemas más comunes en los campos petrolíferos, que afectan -- los sistemas artificiales se encuentran enlistados en la TABLA I. Así como las ventajas relativas de cada sistema para cada problema, por consiguiente, -- mediante el análisis de esta tabla se puede dictaminar el sistema más óptimo.

### I.1.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS ARTIFICIALES.

#### Bombeo Neumático.

Es el sistema artificial de bombeo que ocupa el 2º lugar en cuanto a su uso en la industria, siendo el único sistema que utiliza el gas extraído -- del yacimiento. Lo que es un método excelente cuando se tienen altas relaciones gas-aceite, siendo que para cualquier otro método es precisamente la RGA -- una restricción, si es alta. También es el mejor sistema disponible cuando se tiene que trabajar con considerable contenido de sólido. TABLA III

Por lo tanto si el fluido producido posee un alto RGA puede ser apropiado el uso del Bombeo Neumático, sin embargo, si el volumen de gas producido es bajo, los costos de gas y compresión de éste puede ser económicamente no --

## T A B L A I

Restricciones Comunes que afectan la Selección de un Bombeo

Restricciones	Bombeo Mecánico	Bombeo Neumático	Bombeo Elec-Centrif.	Bombeo Hidráulico
Arenamientos	Regular	Excelente	Pobre	Pobre
Parafinas	Regular	Pobre	Bueno	Bueno
Alta RGA	Regular	Excelente	Regular	Pobre
Pozo Desviado	Pobre	Bueno	Regular	Bueno
Corrosión	Bueno	Regular	Regular	Bueno
Alto Volumen	Regular	Bueno*	Excelelente	Bueno
Profundidad	Regular	Bueno*	Regular	Excelente
Diseño simple	Si	No	Si	No
Tamaño TR	Regular	Bueno	Bueno	Regular
Flexibilidad	Bueno	Bueno	Pobre	Excelente
Escala	Bueno	Regular	Pobre	Pobre

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

TABLA II. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS ARTIFICIALES DE PRODUCCION

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
BOMBEO HIDRAULICO	(1) Flexibilidad a cambios de cond. de producción.	(1) Mantener limpio el fluido motriz
	(2) Instalación que maneja grandes flujos de agua con inversiones poco costosas.	(2) Gran riesgo por manejo de fluido motriz a alta presión.
	(3) No requiere de servicio.	(3) Constantes pérdidas de fluido motriz.
	(4) Aplicable a pozos desviados.	(4) Diseño complejo.
	(5) Adaptable a Automatización.	(5) Requiere usualmente varias sarta de tubería.
	(6) Bajas inversiones para manejar altos volúmenes a grandes profundidades.	(6) Dificultad en asentarse el equipo subsuperficial en el fondo del pozo.
	(7) Equipos factibles de centralizarse.	(7) Problemas si hay arena, gas o corrosión.
BOMBEO MECANICO	(1) Mucho personal familiarizado en el diseño y operación.	(8) Alta inversión con respecto a otro sistema en pozos someros o medio profundos.
	(2) Diseño simple.	(9) Dificultad en pruebas de pozo.
	(3) Poca inversión para pocas - profundidades y pocos gastos.	(1) Regular eficiencia en manejo de altos volúmenes a profundidad medias.
	(4) Mantiene el nivel del fluido.	(2) La profundidad de empleo está limitada por el uso de varillas
	(5) Adaptable a pozos con problemas de corrosividad	(3) Algunos problemas en pozos direccionales.
	(6) Adaptable a la automatización	(4) Reparaciones constantes a las varillas.
	(7) Siempre que sea posible, es empleado antes que ningún otro método.	

TABLA II. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS ARTIFICIALES DE PRODUCCION

BOMBEO NEUMATICO	(1) Poca inversión en pozos profundos.	(1) Requiere continua inyección de gas
	(2) Máxima eficiencia en pozos con alta RGA.	(2) Altos costos de operación si no se dispone de gas.
	(3) Bajos costos de operación para pozos con alta producción de arenas.	(3) Altos costos de operación con gases corrosivos.
	(4) Flexibilidad para cambiar de condiciones a pozos desviados	(4) El sistema requiere altas presiones.
	(5) Adaptable a pozos desviados	(5) Sistema peligroso por la alta presión de operación del gas.
	(6) Capaz de obtener volúmenes	(6) Daño a las T. R. (corrosión)
	(7) Válvulas recuperables.	
BOMBEO ELECTRO-CENTRIFUGO	(1) Manejo de muy altos volúmenes de fluido en pozos someros a mediana profundidad.	(1) Problemas con el cable eléctrico continuos.
	(2) Poca inversión en pozos de profundidad.	(2) Mínima flexibilidad para cambio de condiciones de producción.
	(3) Adaptable a la automatización.	(3) Reparación de motor y bomba sub-superficial costosa y tardada.
	(4) El tamaño de la T.R. no es un aspecto crítico para la producción de altos volúmenes.	(4) Requiere de energía eléctrica continua la cual aumenta en costo mientras menos sea disponible
		(5) Dificultad para manejar arena y gases.

aceptable.

#### Bombeo Mecánico.

Es el más comúnmente utilizado. Su gran ventaja consiste en la simplicidad del sistema. Diseñar este tipo de bombeo es sencillo, además puede - más fácilmente visualizar qué está pasando en el sistema a diferencia de cualquier otro. Es un sistema relativamente seguro, debido a que no son necesarias altas presiones. Como gran desventaja tiene que a medida que se aumenta la -- profundidad, disminuye considerablemente el gasto de extracción, llegando un - punto en que no se logre obtener nada, otra desventaja es que prácticamente es imposible usarlo en pozos con desviaciones pronunciadas, debido a la sarta de varillas que transmiten la potencia.

#### Bombeo Electro-centrifugo.

Su principal ventaja es el poder manejar altos volúmenes de fluido, en pozos someros. La gran desventaja de este sistema es el ser seriamente - - afectado por fluido con contenido de gas, puede instalársele un separador de - gas en la bomba sumergible, pero su eficiencia es muy raquítica. Debido a las características de mucho de su equipo eléctrico, su costo de reparación es alto, así como el de mantenimiento. Su eficiencia disminuye en pozos desviados.

#### Bombeo Hidráulico.

Es un tipo de instalación especial, la gran ventaja de este sistema es la habilidad de manejar altos volúmenes a grandes profundidades; parte im--portante del sistema es un subsistema de fluido motriz que transporta la energía. Actualmente sólo es usado en donde otro sistema no se puede emplear por ser el más costoso aparentemente.

Si la decisión hecha es la de producir con un Bombeo Hidráulico, los aspectos que afectan esta elección son: Decidir el gasto de producción, la --

presión de fondo con que se bombeará, el volumen de gas por producir, la temperatura de fondo, la cantidad de sólidos producidos, la naturaleza de los fluidos producidos y el tamaño de la T.P. y T.R.

## 1.2 DEFINICION DEL BOMBEO HIDRAULICO.

El Bombeo Hidráulico, como cualquier otro sistema artificial de producción es introducido cuando la energía natural de un pozo no es suficiente para fluir de manera económicamente rentable, o sea que dado al comportamiento del pozo, es necesario restaurar una presión adecuada proporcionando energía extra, por medio de este sistema. Por lo que el objetivo básico de éste, es agregar energía adicional al pozo y elevar los fluidos, manteniéndoles una determinada presión (pero en ningún momento dar energía al yacimiento).

El método de producción artificial, conocido como Bombeo Hidráulico, puede dividirse en dos tipos básicos:

- a) Bombeo Hidráulico de Desplazamiento Positivo o tipo pistón.
- b) Bombeo Hidráulico Tipo Jet.

El presente trabajo, está referido únicamente al primer tipo mencionado (tipo pistón), todos los capítulos son a cerca de este tipo, así como los desarrollos, gráficas, explicaciones, etc.

A grandes rasgos, el Bombeo Hidráulico (tipo pistón) consiste de un sistema integrado de un motor y una bomba reciprocante, como equipo superficial acoplado a una tubería conectada al pozo (todo el equipo superficial, sus funciones, características y posiciones, se encuentran desarrolladas en toda su extensión en el capítulo correspondiente; en éste sólo se menciona en forma muy somera), este equipo superficial transmite potencia a una unidad instalada en el fondo del pozo mediante acción hidráulica fundamental, el flujo inyectado acciona este equipo subsuperficial, consistente de una bomba y un motor - -

como elementos principales que impulsan el fluido de la formación a la superficie, manteniéndoles una adecuada presión. FIGURA 1

El fluido motriz (puede ser agua o aceite) es bombeado de la superficie a una presión de operación predeterminada debe tener ciertas condiciones y características que lo hagan adecuado para su inyección.

### I.3 APLICACION DEL BOMBEO HIDRAULICO.

El Bombeo Hidráulico está permitiendo la explotación económica en yacimientos, de baja presión, en donde otro tipo de sistema artificial de producción no es posible usarse o simplemente no es rentable.<sup>8</sup>

Las características más importantes que crean inclinación a emplear este tipo de bombeo son:

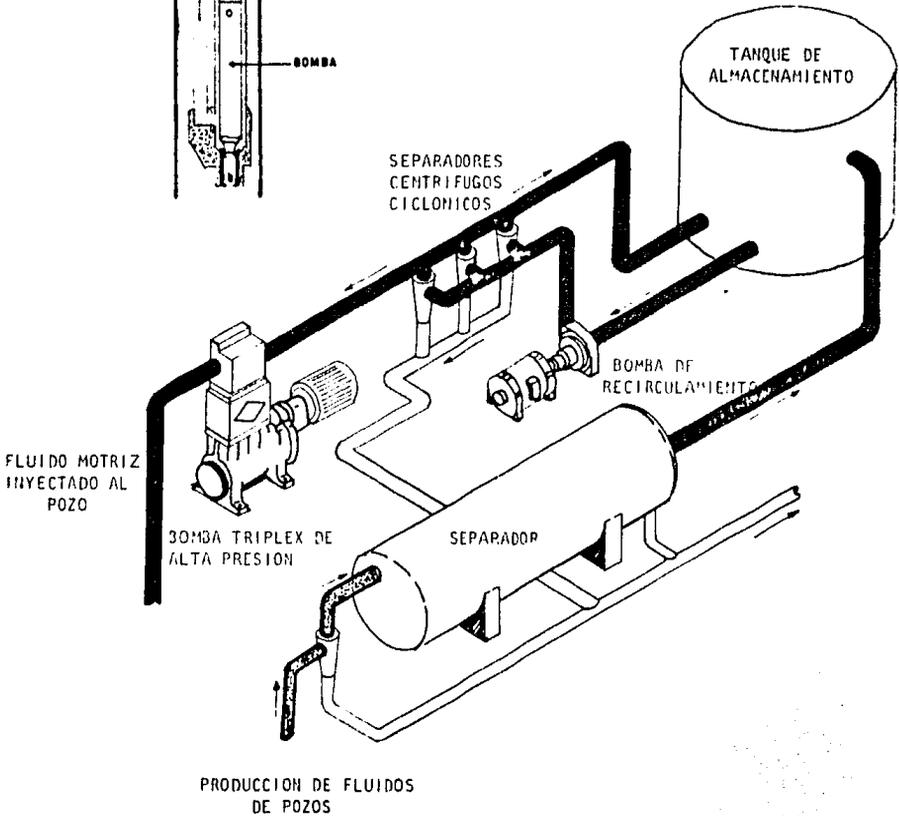
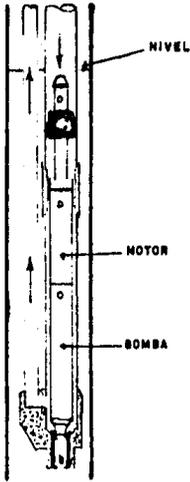
- i) Método de Bombeo que alcanza mayores profundidades.
- ii) La bomba superficial es fácilmente recuperable.
- iii) Buena flexibilidad en cuanto a gastos.
- iv) Puede operar en pozos desviados.
- v) Control del sistema de varios pozos desde un punto único.
- vi) Puede fácilmente adicionarse inhibidores.
- vii) Puede manejar crudos pesados.

Ventajas que hacen del Bombeo Hidráulico un método adecuado en ciertas ocasiones, en donde otro tipo sería obsoleto o ineficaz.

i) Mayores profundidades. Debido a la flexibilidad de este sistema, ha permitido la explotación de pozos a profundidades de hasta 18000 pies - - (5480 mts.).

En el campo petrolero de Reno (Nevada) dado a la gran profundidad en que se encuentra el yacimiento y a las condiciones que se tienen de presión y

UNIDAD SUBSUPERFICIAL  
FIG. 1a



UNIDAD KORE  
FIG: **1b**

ritmos de producción, mediante la implantación de un Bombeo Hidráulico, se logró explotar a 15000 pies de profundidad con amplios ritmos de producción y bajos costos<sup>1</sup>.

ii) La bomba superficial es fácilmente recuperable. Una de las ventajas del Bombeo Hidráulico es la facilidad con que se instalan y rescatan las bombas subsuperficiales. Para rescatar una bomba, la circulación se invierte en la sarta de producción, a fin de desprenderla de su asiento<sup>3</sup>.

Seguidamente se circula por la sarta de retorno del fluido motriz -- (o por el espacio anular) para llevarla a la superficie, donde cae en un receptor para su consiguiente remoción. Para introducir una bomba la operación se efectúa a la inversa.

iii) Buena flexibilidad de gastos. La instalación de un Bombeo Hidráulico es ideal cuando se tienen a gran profundidad, a baja presión y bajas relaciones Gas-Aceite, grandes volúmenes de fluido por producir, por lo que la cantidad de aceite que se tenga o pueda extraerse no es limitante para usar un sistema como este.

iv) Operar en pozos dirigidos. Es el sistema artificial de producción más indicado para operar en pozos direccionales. Para pozos con una gran inclinación, un bombeo mecánico convencional no es aconsejable por los problemas inherentes de mantenimiento de las sartas. La instalación de un Bombeo Neumático o un Electro-centrífugo en pozos desviados implica mayores costos de los normales, además existe reducción en la eficiencia de bombeo en estos casos.

v) Control del sistema de varios pozos desde un punto único<sup>4</sup>. Una de las grandes ventajas del Bombeo Hidráulico es el control de todos los pozos del sistema desde un punto único. Desde ese punto, el operador puede:

a) Cerrar o abrir uno, cualquiera o todos los pozos, o la combinación de pozos que quiera. Esto lo hace abriendo o cerrando una válvula en la tubería del múltiple de fluido motriz a los pozos.

b) Graduar la velocidad de la bomba en cada pozo, regulando el régimen de flujo de fluido motriz al pozo de que se trate.

c) Medir la velocidad de la bomba en cualquier pozo, contando los pulsos de presión de la eficiencia del bombeo en cualquier pozo, midiendo el régimen de flujo de fluido hidráulico al mismo pozo.

vi) Adición fácil de inhibidores. Debido a que se tiene un estricto control del fluido motriz (ver capítulo "Fluido Motriz") pueden agregársele a éste, toda clase de inhibidores que sean necesario en la superficie el cual los conducirá.

vii) Manejo de crudos pesados. Esto estará en función de la capacidad de la bomba subsuperficial, y de la eficiencia que tenga. Pero dado al amplio rango de bombas que existen en el mercado, el manejo de fluidos de alto peso específico puede ser factible sin disminuir los ritmos de producción preestablecidos. En un sistema abierto (ver cap. II) el fluido motriz puede diluir los aceites pesados reduciendo la densidad y viscosidad, por consiguiente lograr reducir las pérdidas por fricción en el sistema.

De una forma práctica y fácil de manejar, se puede decir que el Bombeo Hidráulico es aceptable en pozos con profundidades desde 3000 pies hasta 18000 pies, produciendo gastos desde menores de 100 B1/ día hasta mucho más de 15,000 B1/día manejando el equipo superficial más de 300 H.P. presentando como ventajas significativas el poder controlar el gasto de bombeo tener una fácil reparación y servicio y poder inyectar en el fluido motriz inhibidores (corrosión, parafinas, etc.) y rompedores de emulsiones.<sup>5</sup>

Tanto el Bombeo Hidráulico, como el Mecánico, son del tipo de desplazamiento positivo, las bombas subsuperficiales tienen cierta similitud en cuanto a estructura y principio de acción. Una comparación de los costos de instalación puede verse en la tabla III en general, esta tabulación indica que a -- profundidades mayores de 3000 pies y con ritmos de producción arriba de 200 B1/día un Bombeo Hidráulico puede tener un menor costo de instalación inicial. Si se aumenta la profundidad de colocación de la bomba, aumenta una inclinación económica a usar este bombeo.

Los precios mostrados en la tabla III, están en dollar americano posiblemente no sean los precios actuales, teniendo en cuenta las crecientes inflaciones de estos tiempos, pero todos los aumentos son proporcionales por lo tanto se puede tomar como medida de comparación.

#### I.4 CONSIDERACIONES ESPECIALES DEL BOMBEO HIDRAULICO.<sup>10</sup>

Limitación por T.R. El tamaño y número de sartas de tubería instaladas estarán regidas por el tamaño de la T.R. El volumen de sartas de tubería necesarias depende del tipo de sistema (abierto o cerrado), pero será la T.R. (el tamaño del diámetro inferior) la que determine qué diámetros se pueden instalar y en qué forma operar.

Producción de Arena.<sup>7</sup> Aunque el B.H. está diseñado para manejar una cierta cantidad de arenas, de acuerdo con el fabricante; grandes cantidades de arena no pueden manejarse, debido a que gran parte del equipo como válvulas y especialmente implementos de precisión usados, son susceptibles a la producción de arena.

Fluidos Corrosivos. Con fluidos altamente corrosivos; en un sistema cerrado es fácil de operar y relativamente barato. El tratamiento químico en

T A B L A III

Gastos (bl/dfa)	Profundidad (pie)	Unidad B. Mecánico (\$)	Sistema Hidráulico (\$)
200	2750	6,500	6,650
	4250	9,700	7,060
	6250	13,500	7,450
	10000	24,300	8,220
400	2750	9,200	8,390
	4250	12,800	8,930
	6250	19,040	10,570
	7500	24,300	11,450
600	2750	10,300	10,450
	4250	15,600	12,220
	6250	23,500	14,700

17

Basada en un sistema de cuatro pozos

el fluido motriz no necesariamente será hecho continuamente en un sistema. El tratamiento será continuado y hecho en el fluido motriz.

La T.R. y T.P. pueden ser tratadas en baches o bien con limpieza continua.

Técnicas operacionales del bombeo. Las prácticas siguientes ayudarán a asegurar eficiencia y servicio prolongado en el sistema<sup>9</sup> (Nota ver capítulo superficial).

- 1) Tanque de asentamiento fluido motriz.
  - a) Estabilizar un drene que permita la acumulación de los sólidos en el fondo del tanque.
  - b) Cuando se use agua, generar un control de salinidad, checar el contenido de cloruros regularmente, reemplazarla cuando sea necesario.
  - c) Checar regularmente la interface aceite-fluido motriz (cuando es agua), para contemplar problemas como parafinamientos y removerlos si se presentan.
- 2) Hacer chequeos a los "switches", de seguridad de las bombas de F.M. para tener conveniente operación.
- 3) Revisar el control del múltiple del sistema F.M. calibrar periódicamente los medidores de nivel de F.M. y de presión, para incrementar la vida operacional.
- 4) En la cabeza del pozo, circular F.M. después de iniciar un bombeo. Registros convenientes. Mantener registros continuos de:
  - i) Gastos de F.M. inyectado.
  - ii) Producción Neta.
  - iii) Nivel de fluido.

- iv) Presión de operación.
- v) Eficiencia de bomba y motor.
- vi) Fallas de bombeo y razones.
- vii) Parafinamientos.
- viii) Asientos del tanque por concentración de sólidos.
- ix) Pruebas en el pozo.
- x) Mantenimiento al equipo.
- xi) Trabajos difíciles.

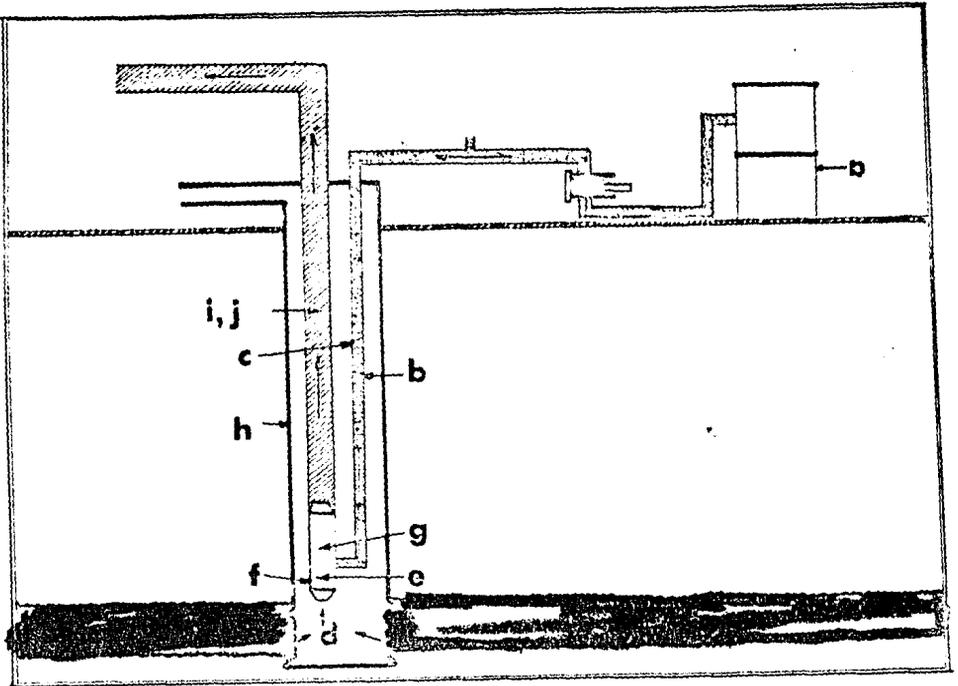
Estableciendo o notificando algunas formas y variantes con que se - podría establecer el problema y solucionarlo.

#### 1.5 PROBLEMAS COMUNES ENCONTRADOS EN OPERACIONES CON BOMBEO HIDRAULICO.

Es necesario estar concientes, que un sistema de Bombeo Hidráulico, programado adecuadamente<sup>2</sup>, puede tener fallas debido a aspectos que no tengan que ver con el diseño, si no por cambios de operaciones, o bien por condiciones del pozo, lo cual es necesario tener en cuenta para evitar que se presente y si son inminentes, solventar el problema (figura 2)

Las principales causas que provocan mal funcionamiento en el sistema, pueden resumirse en diez aspectos:

- a) Falta de fluido motriz.
- b) Obstrucciones del flujo.
- c) Fugas.
- d) Cambios de condiciones del pozo.
- e) Desgaste del motor.
- f) Contaminación del fluido motriz
- g) Alta producción de gas.



PROBLEMAS COMUNES ENCONTRADOS EN OPERACIONES CON BOMBEO HIDRAULICO	
a) Falta de Fluido Motriz	f) Contaminación del F. M.
b) Obstrucciones	g) Producción de Gas
c) Fugas	h) Corrosión
d) Condiciones del Pezo	i) Abrasibilidad
e) Desgaste Motor	j) Taponamientos

Fig.2

h) Corrosión.

i) Abrasividad.

j) Taponamientos.

Causas que crean fallas que son manifestados de diferente forma, -- creando finalmente decrementos en la producción.

a)\* Falta de fluido motriz. Si por cualquier causa el sistema fluido, se notará un descenso de la presión de funcionamiento. Por lo común en tal caso la bomba no dá emboladas. La dificultad puede radicar en que la bomba del fluido motriz no descarga la cantidad requerida. Esto a su vez puede deberse a falla de la bomba de recirculación, a taponamiento de la tubería de suministro, a falta de fluido motriz en el tanque, o a otras causas.

Una fuerte baja del suministro de fluido motriz al pozo se manifiesta en caída de la presión.

b)\* Obstrucciones del flujo. Toda obstrucción de la corriente de -- fluidos en el sistema, suele ser acusada por un aumento en la presión de funcionamiento, por merma de producción o por ambas cosas.

Si el tubo de succión de la bomba se obstruye parcialmente, dentro -- del pozo, la consiguiente pérdida de producción suele advertir por la violinversión del émbolo a causa de la alta presión de funcionamiento.

c)\* Fugas. Una de las más comunes causas del mal funcionamiento -- son escapes de la tubería superficial, o de las que van dentro del pozo. Un escape en la tubería de producción puede causar baja en la presión de operación y va acompañada de mermas de volumen de producción.

Las fugas pueden no presentarse súbitamente, si no comienzan por -- un mínimo goteo y agrandarse gradualmente.

d)\* Cambio de condiciones del pozo. A través de su vida productiva un pozo cambia o puede cambiar de varios modos que afectan las condiciones de operación del sistema de Bombeo Hidráulico. Por ejemplo, el nivel del fluido puede elevarse gradualmente en cierto período de tiempo causando caídas de -- presión, por exceso de gas en el fluido producido, si se requiere más presión, si se bombea al vacío u otras causas.

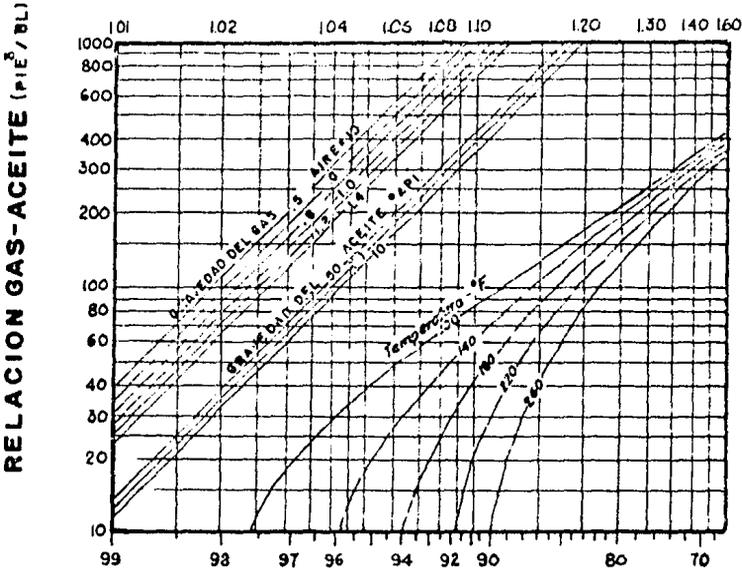
e)\* Desgaste del motor. El desgaste normal de las piezas del motor de la bomba subsuperficial se muestra en forma de aumento de la cantidad de -- fluido motriz necesario para mantener la velocidad de la bomba. El desgaste - de las piezas del lado hidráulico lo indica la pérdida de producción del pozo.

f)\* Contaminación del fluido motriz. Puede causarse por algunas ope-- raciones en la bomba o mal funcionamiento de los separadores. Principalmente es ocasionado por sólidos asentado en el tanque del F.M. que son removidos; -- también por partículas del pozo (tierra, lodo, etc.) y de las tuberías (óxi-- dos). Consecuentemente todos esos sólidos pueden taponar algún ducto, redu-- ciendo la productividad. La contaminación del F.M. puede ser simplemente debi-- do a que se ha gastado.

g)\* Producción de Gas. La bomba de desplazamiento positivo, no puede manejar gas. Si es demasiado el gas, será necesario colocar un separador de - gas en el fondo, o la bomba sumergible no podrá mantener su eficiencia. Las - figuras 3 y 4 muestran el efecto del gas en solución y del gas libre, en la eficiencia de la bomba.<sup>10</sup> El gas separado puede ventearse por una tubería o bien por el espacio anular.

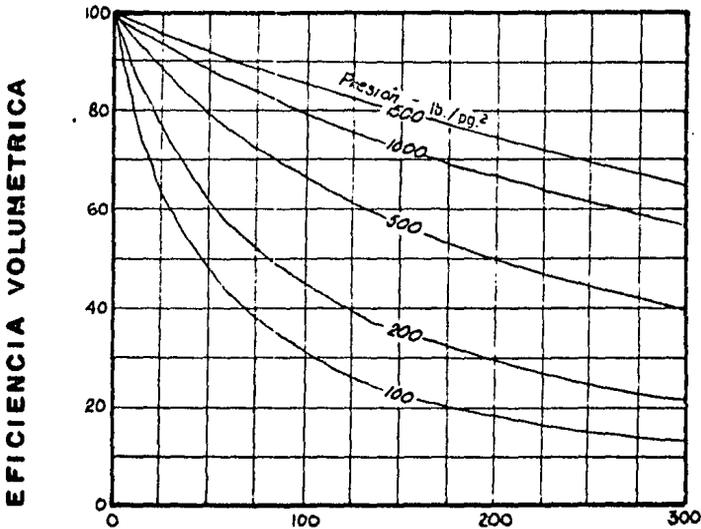
h)\* Corrosión. Los efectos de corrosión crean fatigas en el equipo de B.H., se logran disminuir con elementos hechos de materiales de muy alta -- calidad, como níquel, cromo, cobalto o aleaciones.

FACTOR DE VOLUMEN DEL LIQUIDO



EFICIENCIA DE BOMBEO APARENTE

Fig. 3



RELACION GAS-ACEITE

Fig. 4

También mediante el empleo de inhibidores de corrosión, los cuales - las T.P. y T.R., pueden agregárseles al F.M. para protección de la T.P., y baños de tratamiento en el espacio anular, para proteger la parte externa de -- T.P. y la interna de la T.R.

i)\* Abrasividad. La producción de arena aumenta la abrasividad del fluido pudiendo dañar las partes metálicas del sistema rápidamente. En tuberías se elimina únicamente evitando el movimiento de partículas en éstas. En bombas, se minimiza por mecanismo de lubricación y con pistones forjados que previenen la abrasión.

j)\* Taponamientos. La creación de parafinas crean problemas de taponamiento. Se pueden solucionar con inyecciones de fluidos calientes (circulando del mismo aceite producido a alta temperatura), que diluyen los taponamientos creados por parafinas. Con solventes de ceras.

## CAPITULO II

SISTEMAS DE FLUJO DEL BOMBEO HIDRAULICO.

El sistema artificial de producción Hidráulico (o Bombeo Hidráulico) es operado empleando un fluido motriz, el cual es circulado mediante la fuerza de bombas en la superficie a una unidad del fondo del pozo.

Las características del fluido, que servirá como Fluido Motriz (F.M.) deben de ser muy especiales (ver capítulo III Fluido Motriz). Generalmente se han utilizado crudos producidos, productos refinados de éste o aguas tratadas.

El objetivo primordial del Fluido Motriz es el de accionar el motor y la bomba de fondo; para lo cual es circulado desde la superficie, al fondo - para después retornar y cerrar el ciclo<sup>12</sup>. La forma en que realice este circuito es un aspecto muy importante para el diseño de todo el sistema Bombeo Hidráulico.

Existen dos tipos básicos de circuito de fluido motriz.

- a) Sistema abierto de Fluido Motriz (AFM)
- b) Sistema cerrado de Fluido Motriz (CFM)

### II.1 SISTEMA ABIERTO DE FLUIDO MOTRIZ (AFM)

El AFM fue el primer tipo de sistema usado en el B.H. para accionar el equipo subsuperficial; aquí el fluido bajo presión es dirigido a la bomba del fondo por un ducto (tubería), la acciona, entra en la corriente del fluido producido y retorna a la superficie mezclado con éste.

En el sistema AFM sólo dos conductos dentro del pozo son necesarios, uno para conducir el Fluido Motriz a la unidad del fondo y otro para conducir la mezcla de Fluido Motriz con fluido producido a la superficie. Estos

conductos pueden ser dos sarta de tubería de producción (T.P.) o una sola sarta de tubería (para inyectar el Fluido Motriz) y el espacio anular T.R.-T.P. - (para el F.M. combinado con el fluido producido).

Las características importantes del AFM consiste en su simplicidad y su economía.<sup>13</sup> Aunque si es agua el Fluido Motriz, se deben agregar a esta aditivos químicos (lubricantes, inhibidores, separadores de oxígeno, etc.) que --mezclarán con el fluido producido y se perderán, por lo que se tienen que agregar continuamente, incrementando los costos. Mientras que si el F.M. es aceite, del mismo producido, su tratamiento es menor y más económico.

En la Figura 5 se muestra un equipo típico superficial para un sistema AFM. El Fluido Motriz es tomado de un tanque de recibo, que puede actuar como separador gravitacional de sólidos, como tanque lavador, como calentador, o como recipiente para agregar fácilmente tratamientos al fluido. El fluido Motriz es represionado por la unidad de bombeo dirigido a la central de control múltiple (o juego de válvulas) y circulado hacia abajo del pozo por una tubería para accionar la unidad de fondo. Una vez operado esta unidad regresa por una tubería o por el espacio anular, combinado con el fluido producido, a la superficie, circulando, ya arriba por la línea de producción y recibido en el tanque. El Fluido Motriz continúa hacia la unidad de potencia (bombas) --mientras que la producción neta es mandada a un tanque de almacenamiento o a una tubería.

## II.2 SISTEMA CERRADO DE FLUIDO MOTRIZ (CFM)

El sistema CFM es un poco más complejo que el AFM, al igual que este último, el Fluido Motriz es circulado al fondo del pozo para accionar la unidad subsuperficial, pero no se mezcla con el fluido producido, sino que es re-

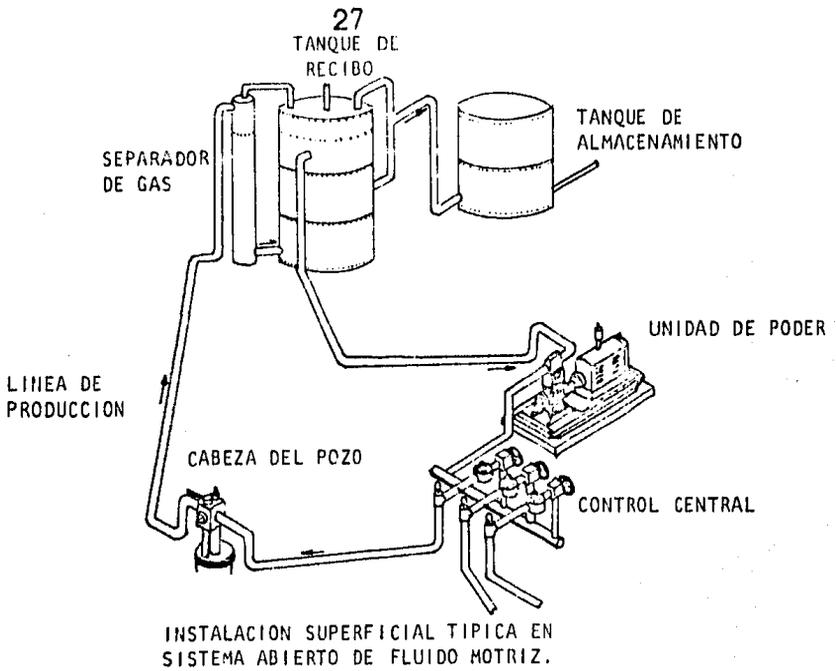


FIG: 5

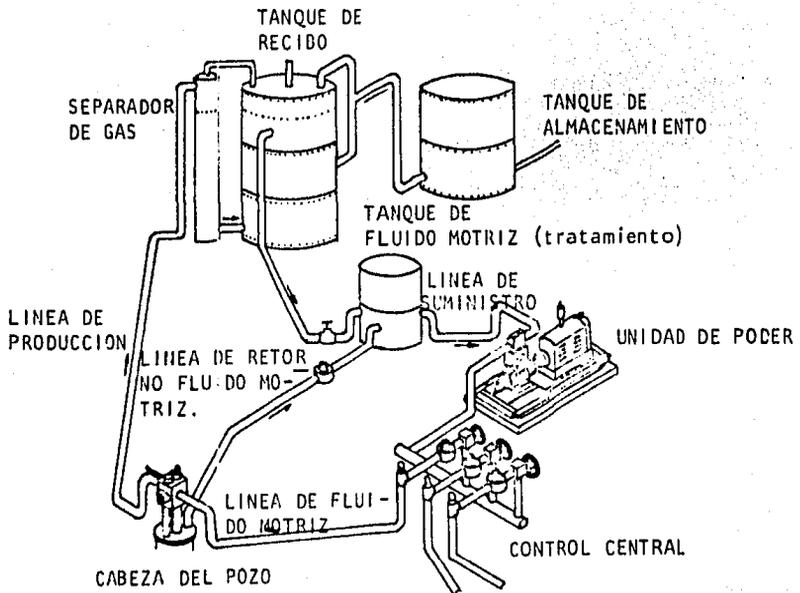


FIG: 6

tornado a la superficie por una sarta de tubería por separado, con lo que es necesario un conducto extra que en un AFM.

El hecho de que el Fluido Motriz no se mezcla con el producido, lo mantiene limpio, a una alta calidad, para poder recircularse, reduciendo los costos de tratamiento y mantenimiento.

Debido a que es requerido un conducto extra (a comparación con el AFM), se incrementan los costos del sistema, siendo su uso en cuanto a economía, menos deseable. Además existe la limitante del tamaño de la tubería de revestimiento, por lo que su instalación estará en función del diámetro interno de la T.R.

La figura 6 muestra un equipo típico superficial para un sistema CFM se puede observar que el sistema es similar al AFM a excepción por la adición de un pequeño tanque que aporta Fluido Motriz.

El Fluido Motriz es entregado al fondo por una tubería desde el múltiple de control (juego de válvulas) y es regresado por una sarta paralela al tanque pequeño de fluido y recirculado. El fluido producido (en este caso del espacio anular) va hacia el tanque receptor y de allí al de almacenamiento o a una tubería.

En este tipo de circuito, es común el empleo de un sistema de tres sartsas de tubería, dentro de la tubería de revestimiento; por una de ellas se inyectará el Fluido Motriz, por otra retornará el mismo, mientras que por la tercera circulará el fluido producido. Además este sistema tiene la flexibilidad de poder emplear el espacio anular de TP'S con T.R. como un conducto para el venteo de gas. Un sistema de 3 sartsas es en sí el más completo arreglo para un C.F.M. pero es posible emplear el C.F.M. en otros arreglos, como el de 2 sartsas: una para inyectar Fluido Motriz y otra para subir el fluido produci-

do, con el espacio anular, como ducto para retorno de Fluido Motriz.

### II.2.1 APLICACION Y VENTAJAS DEL SISTEMA CFM.

El sistema CFM ha tenido una gran aplicación en pozos localizados - cercanos a poblaciones y en plataformas marinas, donde es aplicado un bombeo hidráulico, y es adecuado este CFM debido a su habilidad de minimizar el tratamiento del Fluido Motriz, lo cual es una gran ventaja en lugares donde el - espacio es limitado (como en estos casos)".

Frecuentemente el CFM usa agua como F.M. debido a que es menor la - inversión en su empleo y presenta menos problemas ecológicos que un crudo - - (aceite).

Aunque la mayoría de los pozos no están limitados en espacio (dado al lugar donde se localizan, en general lugares muy apartados de las zonas ur- banas), emplear un CFM en muchas ocasiones es lo correcto, debido a que pue- den existir problemas que pueden ser solucionados o minimizados con la separa- ción del Fluido Motriz y del producido.

Los problemas más comunes que pueden ser solventados con un CFM son:

- a) Alta producción de agua
- b) Tratamiento del fluido producido y/o problemas en su limpieza.
- c) La existencia de dos o más zonas productoras.
- d) El uso de ambos fluidos como Fluido Motriz (agua o aceite).

#### a) ALTA PRODUCCION DE AGUA

En años recientes se ha tenido un incremento en el volumen de produc- ción de agua, principalmente debido a recuperaciones secundarias que emplean la inyección de agua. Esto ha tenido la necesidad de bombear grandes volúme-

nes (para tener producción neta de aceite aceptable), por lo que ahora se necesitan equipos hidráulicos capaces de manejar grandes volúmenes. Se ha tenido en muchos casos que es igual o mayor el volumen requerido de Fluido Motriz que el volumen de fluido producido. Se ha observado que a determinados gastos de producción, con altos volúmenes de agua; que el crudo que puede disponerse como Fluido Motriz es limitado.

En muchos casos, separar el agua del aceite es difícil. Mediante el uso de un sistema CFM podemos limitar la necesidad de reemplazar Fluido Motriz a un requerimiento bajo. Inclusive, se pueden instalar proveedores de Fluido Motriz económicos para suplir estos requerimientos.

Alta producción de agua puede crear en un sistema AFM problemas de medición. Determinar pequeños gastos netos de producción del relativamente -- gran volumen de fluido que retorna (aceite, agua y Fluido Motriz) es un verdadero logro como medición. El uso de CFM reduce la dificultad de medición, demandando sólo las pequeñas pérdidas en el sistema.

b) TRATAMIENTO DEL FLUIDO PRODUCIDO Y/O PROBLEMAS EN SU LIMPIEZA.

Debido a que el bombeo hidráulico es reconocido como capaz de producir pozos con cierto contenido de arenas u otros materiales, especialmente por el diseño (del fabricante) de la bomba.

En estos casos se puede solventar el problema con una simple separación de sólidos por gravedad. Sin embargo, el fluido producido puede traer -- arenas muy finas, crudos pesados, emulsiones, y materiales corrosivos, que pre setan problemas de tratamiento (para separarlos) que pueden ser muy caros.

Aunque estos problemas existirán (si los hay) en cualquiera de los -- dos sistemas de flujo de bombeo hidráulico, en un sistema CFM sólo existirá la

necesidad de proveer pequeñas cantidades de Fluido Motriz limpio, como renovación y mientras que en un AFM se necesitaría cambiar todo el fluido (o tratarlo) en cada circulación.

c) EXISTENCIA DE DOS O MAS ZONAS PRODUCTORAS.

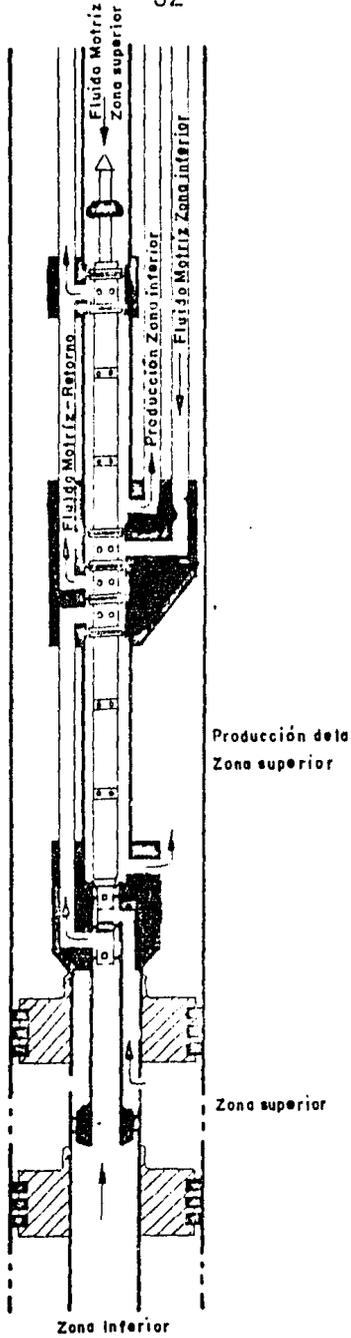
Los sistemas de bombeo hidráulico pueden adaptarse fácilmente a dos o más zonas productoras, debido a la facilidad de poder colocar dos o más bombas en el mismo sistema de tubería. Con un apropiado diseño de fondo, zonas múltiples pueden producir separadas o juntas.

En la figura 7 se muestra un sistema de dos zonas que producen separadamente. El F.M. para ambas zonas es común en superficie, el cual es dirigido a cada bomba por un conducto y regresado por una línea común. El fluido producido de cada bomba es regresado por separado. En este caso una zona es producida por el espacio anular, la otra por una sarta de tubería paralela. El sistema es completamente cerrado.

En muchos casos es requerido mantener separadas las zonas (fluido) productoras, por las características de los fluidos, presiones, contenido de gas, etc. (además no permitir la mezcla con el Fluido Motriz), con el CFM es posible hacerlo. Inclusive es factible emplear diferentes tipos de Fluido Motriz para cada zona por producir, incluyendo un conducto más (lógicamente, esto incrementa la dificultad del diseño, en operación la complejidad del sistema y por lo tanto los costos).

d) EL USO DE AMBOS FLUIDOS COMO FLUIDO MOTRIZ (ACEITE-AGUA)

El fluido común empleado como Fluido Motriz es crudo refinado producido. Pero al ser disponible un CFM aparece la consideración de emplear otros fluidos. Se pueden pensar en muchos fluidos pero la elección más lógica es el



**BOMBA SUBSUPERFICIAL PARA DOS ZONAS EN UN SISTEMA DE FLUJO CERRADO**

**Fig. 7**

agua. El agua es disponible en muchas áreas, es barata, limpia o fácil de limpiar y su manejo es nada peligroso.

Aunque es necesario agregarle aditivos químicos para darle propiedades de lubricidad y protección corrosiva que requiere el equipo. (Cap. III).

Por razones obvias todos los sistemas de bombeo hidráulico en que se emplea agua como F.M. son operados en C.F.M. La experiencia ha mostrado que el equipo superficial y subsuperficial opera eficiente con este fluido.

## CAPITULO III

FLUIDO MOTRIZ

Unos de los principales elementos del Bombeo Hidráulico en general es el Fluido Motriz. Éste, es un fluido con características muy específicas - (contenido de sólidos mínimo, no corrosivo, buen lubricante, etc.) el cual tiene como función el de proporcionar la energía necesaria para accionar el motor de la unidad de producción y además la de lubricar todas las partes del sistema.

Es importante mencionar que el control del funcionamiento de la válvula del motor (sin accionar ésta el sistema no opera), depende exclusivamente de las cualidades o propiedades del líquido que se use como fluido motriz.

En el sistema hidráulico el fluido motriz limpio, bajo presión alta, es continuamente bombeado a través de la sarta de la tubería. Este fluido opera al motor de fondo de la unidad de producción subsuperficial, para transmitir energía a la bomba, con la finalidad de poder elevar los fluidos del pozo hacia la superficie.

El buen funcionamiento del bombeo hidráulico depende en gran parte de la buena selección del fluido motriz. De acuerdo a esto, es por lo que el fluido motriz es sumamente importante en un sistema de producción de este tipo.

III.1 CARACTERÍSTICAS

Las características más importantes que deberá poseer el fluido motriz son:

- a) Fluido Limpio
- b) Contenido de Sólidos Mínimo.

- c) Baja Viscosidad
- d) Alto poder de Lubricación.

a) Fluido Limpio:

Debido a que el fluido motriz (F.M.) estará en contacto con las partes del equipo superficial y subsuperficial, se recomienda que este no contenga impurezas que puedan provocar problemas subsecuentes, tales como:

- i) Corrosión y/o Abrasión en la Tuberfa de Inyección.
- ii) Obstrucción en las tuberfas.
- iii) Mal funcionamiento del Motor

Se ha observado que cuando se utiliza un fluido motriz limpio, la duración del equipo aumenta, así como la eficiencia de producción, mientras que los costos disminuyen.

b) Contenido de Sólidos Mínimo.

Es necesario que el tipo de fluido que se elija o seleccione como -- fluido motriz, no contenga más de 20 partes por millón (p.p.m.) de sólidos, el tamaño de las partículas sólidas no deberá exceder a 15 micrones y el contenido de sal no sea mayor de 12 lb/1000 bl de aceite, de no ser así, se presentarán fallas tanto en el equipo superficial como subsuperficial, las cuales provocarán decrementos en la productividad, aumento de costos y disminución de la vida útil del equipo.

c) Baja Viscosidad:

Este será uno de los factores que ayudará a elegir el tipo de bomba, ya que si el fluido motriz es sumamente viscoso la presión de descarga requerida por la bomba deberá ser sumamente alta para moverlo, por lo que se necesita que la viscosidad de este sea la más baja posible.

d) Alto Poder de lubricación.

El F.M. que se elija deberá de poseer un alto poder de lubricación, ya que estará en contacto directo con todas las partes mecánicas del motor de fondo y por lo tanto, tendrá como función la de lubricar cada una de las partes que constituyen el motor. Este será uno de los elementos importantes que se deberá tomar en cuenta para prolongar la vida útil del equipo.

### III.2 TIPOS DE FLUIDOS

Dentro de la Industria Petrolera los fluidos que pueden ser empleados como fluido motriz para un Sistema de Bombeo Hidráulico, son:<sup>21</sup>

- 1) FLUIDO AGUA
- 2) FLUIDO ACEITE
- 3) FLUIDO GAS (se pretende dar como una nueva innovación de fluido motriz)

#### III.2.1) FLUIDO AGUA.

Después de 48 años de existencia del Bombeo Hidráulico como un sistema artificial para pozos petroleros hoy en día es posible y práctico usar agua como fluido motriz (Fluido transmisor de fuerza).

El Fluido Motriz Agua anteriormente debido a sus propiedades de baja viscosidad, corrosivo, bajo índice lubricador y acción bacterial; hacía imposible su uso como fluido motriz y por lo tanto, sólo se empleaban petróleos crudos o productos refinados de éste.<sup>18</sup>

Nuevos aditivos recién dados a conocer permiten ahora usar agua económicamente, si no se cuentan con fuentes satisfactorias de aceite, o si las condiciones de operación excluyen el empleo de líquidos flamables. Dichos aditivos tienen las siguientes características:<sup>17</sup>

1) Incrementar el índice lubricador del agua. Esta ya tratada es -- tan efectiva como el petróleo crudo y no daña las piezas móviles del equipo -- subsuperficial.

2) Inhibir la corrosión. Depositán una película en las superficies - metálicas para protección de la bomba hidráulica, equipo superficial y subsu-- perficial.

#### CARACTERISTICAS DEL AGUA

Un estudio cuidadoso de las caracterfsticas más importantes que de-- ben poseer los diferentes tipos de agua dura, suave, agua de mar o salmuera, - fue efectuado en 1958 con 8 diferentes tipos de agua, en las cuales se mues-- tran los resultados obtenidos en la tabla IV.

Con excepción del agua No. 8, que tuvo una salinidad muy alta en com paración con las demás, todas podfan ser usadas con éxito como fluido motriz.

Un análisis del fluido (agua) nos permitirá determinar qué tipos de aditivos serán necesarios para su tratamiento.

El agua tiene una viscosidad muy baja, que oscila entre un rango de 0.5 hasta 1.5 centistokes a una temperatura de 300<sup>0</sup> F, en comparación con algu nas viscosidades del aceite que tienen valores hasta de 1000 centistokes.

Otra propiedad importante del agua es la densidad, la cual es consi-- derablemente grande en comparación con la del aceite crudo, Figura 9.

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

El agua es un fluido relativamente fácil de mantenerse limpio de par tículas o materiales sólidos extraños, tales como arenas, arcillas, etc.

De acuerdo con la ley de Stokes, la velocidad de asentamiento de las

partículas es inversamente proporcional a la viscosidad del fluido, por lo tanto, la velocidad de asentamiento en el agua es mayor aún comparado con la del aceite menos viscoso.

Por lo tanto, es una desventaja del agua como fluido motriz, debido a que las partículas de arenas, limos, arcillas, u otros que pueden traer el fluido producido no serían transportadas, asentándose y ocasionan problemas -- en la unidad de fondo (sistema abierto).

El agua está compuesta de oxígeno disuelto en ella, el cual puede -- ser tan alto como de hasta 8 p.p.m.

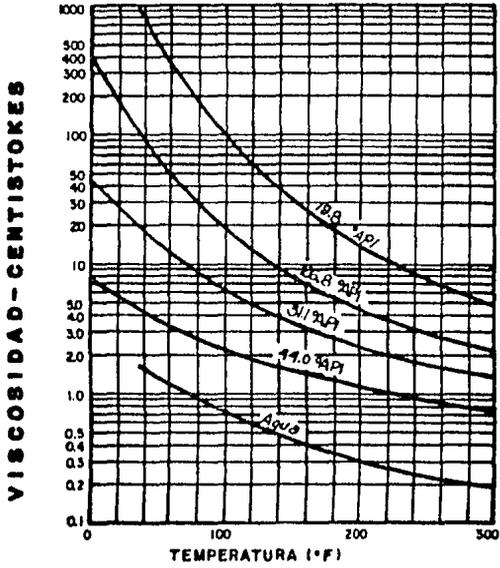
Si la velocidad de bombeo del sistema es alta, el aumento de oxígeno introducido puede ser grande.

Otro de los aspectos es el control de la corrosión sobre el equipo subsuperficial, en la sarta y en el sistema de balance, por lo que el aditivo usado deberá poseer un inhibidor de corrosión. Los aditivos actuales tienen -- aproximadamente un 3% de inhibidor de corrosión y tienden a formar una película protectora sobre las partes del metal.

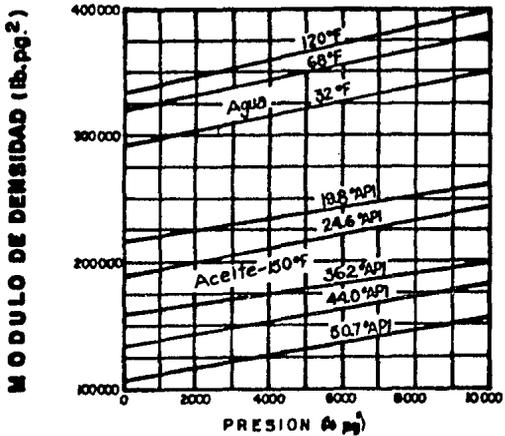
Aunque en varias instalaciones se han usado con éxito aguas dulces -- y salobres, es importante mencionar que entre mejor sea la calidad del agua -- más económica es su aplicación.

El agua dulce bien tratada es probablemente la más aconsejable, aunque suele contener algo de oxígeno disuelto. El volumen de oxígeno no debe pa -- sar de 100 partes por millar de millones y con tal fin, el tanque del fluido -- motriz deberá de tener un colchón filtrante de gas o de aceite.

Si el contenido de oxígeno sobrepasa el máximo deseable, se recomien -- da en estos casos usar un material barredor que sea compatible con los aditi -- vos que se estén empleando en el tratamiento de ella.



VISCOSIDAD DEL AGUA Y ALGUNOS CRUDOS  
Fig. 8



MODULO DE DENSIDAD DEL AGUA Y ALGUNOS  
CRUDOS  
Fig. 9

A base de análisis con salmueras producidas, se ha considerado que - el agua de mar se puede usar económicamente como un fluido motriz.

Cierto es que las bacterias reductoras de sulfatos que contiene el - agua salada promueven la corrosión, pero ese problema se controla usando bactericidas.

Aún no se ha elaborado un aditivo más complejo que pueda tratar el - agua en general. Hay aditivos que sirven para incrementar la acción lubrican- te del agua e inhibe la corrosión, pero no desplaza el oxígeno ni es bacteri-- cida.

Convertir un sistema hidráulico movido por aceite en uno accionado - por agua es una tarea muy fácil. No se necesita tanque decantador, ya que la arena y demás abrasivos se asientan rápidamente en el tanque del fluido motriz. Sin embargo, para evitar que entren materias extrañas se recomienda un filtro.

Si el sistema del fluido motriz es "cerrado" (es decir si el fluido entra y sale del pozo sin mezclarse con el crudo producido), el agua de re-- puesto se introduce directamente en el tanque del fluido motriz. La adición - del agua es controlada mediante la válvula del flotador.

El aditivo se puede agregar al agua en régimen continuo, o en dosis predeterminadas mediante una bomba dosificadora controlada por el flotador del tanque del fluido motriz.

Si el sistema de fluido motriz es "abierto" (es decir, si el agua se mezcla en el fondo del pozo con el fluido producido), del mismo pozo se saca - el agua de repuesto. Al escoger los pozos que se han de bombear hidráulicamen- te por agua, deben descartarse aquellos que produzcan demasiada agua. La ra-- zón es obvia: entre más agua rinda el pozo, más reactivos químicos se necesita- rán para mantener al fluido motriz a la debida concentración.

Cabe mencionar que en sistemas "abiertos" de bombeo hidráulico, el agua dificulta y encarece el tratamiento de las emulsiones. Por eso, los sistemas cerrados suelen acomodarse mejor y más económicamente al uso del agua.

#### EFEECTO DEL AGUA SOBRE EL DISEÑO<sup>16</sup>

La baja viscosidad y la alta densidad del agua hacen necesaria la -- modificación del diseño de la válvula de la bomba de fondo. El golpeteo o choque ondulatorio puede ser minimizado previniendo una falla mecánica en el equipo y eliminando ruidos extraños durante la operación.

Debido a la aeración (burbujas de aire) del agua en la cámara de la bomba, se requiere que toda esta área esté perfectamente pulida para evitar -- pérdidas de energía por fricción.

Por razones económicas, la pérdida del fluido motriz durante la operación de bombeo (principalmente en las juntas de las tuberías y en el pistón de la bomba), deben ser al mínimo absoluto mediante la instalación de sellos herméticos en las juntas y en algunos casos la lubricación del pistón de la -- bomba puede ser eliminada con la finalidad de minimizar las pérdidas del fluido motriz.

Con la baja viscosidad que posee el agua, cualquier falla mecánica -- en el sistema (la más mínima) puede provocar que se incrementen las pérdidas -- del fluido motriz en varios barriles por día (bl/día). Por lo que para evitar estos serios problemas, que en un momento dado puedan incrementar los costos -- de producción, se deberá de hacer un análisis detallado a todo el equipo superficial y subsuperficial, antes de iniciarse la operación de Bombeo Hidráulico.

Cuando aceites de bajas densidades son usados como fluidos motrices, sus rangos de viscosidades son tan altos como 10,000 centistokes. Un aceite -- de 19.8°API a 120°F tiene una viscosidad aproximada de 70 centistokes. Si el

aceite es usado como fluido motriz (ver fluido motriz aceite) en una tubería de 1 pg. y si las pérdidas por fricción están sujetas a un 10%, la velocidad de flujo es de 100 bl/día. Figura 10. Sin embargo, si se emplea agua a  $125^{\circ}\text{F}$  y es usada como fluido motriz, se tiene una viscosidad de 0.5 centistokes y si emplea la misma tubería de 1 pg. ésta puede desplazar aproximadamente 500 barriles por día.

La Figura 11 muestra que usando agua como fluido motriz, el tamaño de la tubería puede ser reducido a 1/2 pg. y podrá acarrear 100 barriles por día con 10% de pérdidas de fricción.

De acuerdo a lo anterior, las ventajas que provee el empleo de agua como F.M. en un sistema de Bombeo Hidráulico son:

1) En zonas urbanas el peligro de incendio y la contaminación superficial son reducidas.

2) La estimación de la producción es simple

3) Facilita las múltiples instalaciones en el pozo, debido a que la fricción con el fluido es mínima y no contiene componentes volátiles tal como el aceite.

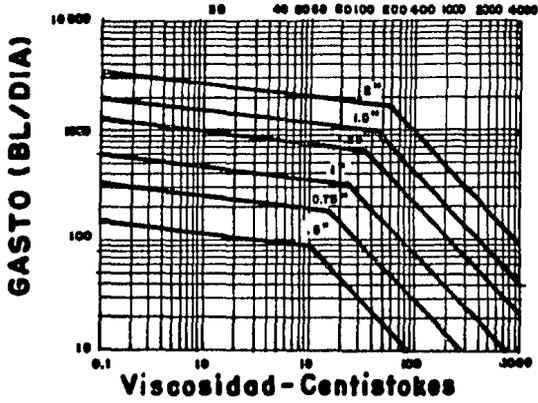
4) Reduce los costos de instalación, debido a que el equipo que se emplea es menor que en comparación con el del aceite.

5) No requiere de un tanque de asentamiento; tal como se emplea en los sistemas de fluido motriz aceite; debido a que la arena y sólidos abrasivos son más fácilmente removidos.

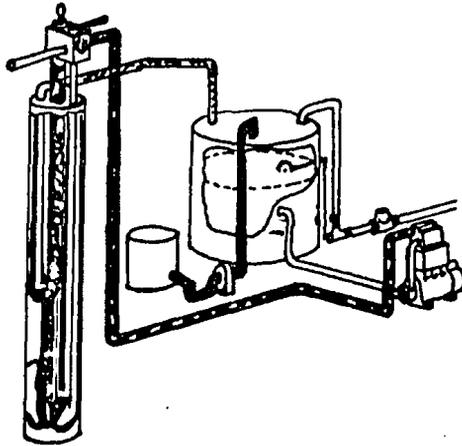
6) No provoca problemas de parafinamiento.

De este modo, es posible operar económicamente un sistema de Bombeo Hidráulico con agua. El agua como ya se mencionó, en su mayor parte está propiamente tratada con un aditivo de lubricación, un inhibidor de corrosión, un --

**Viscosidad - segundos Saybolt**



**Fig. 10y II**



**SISTEMA CERRADO**

**Fig. 11b**

bactericida y un eliminador de oxígeno.

### III.2.2) FLUIDO ACEITE

Desde el inicio del Sistema de Bombeo Hidráulico, el fluido motriz - aceite ha jugado un papel muy importante, debido a que fue el primer fluido -- que se empleó como fuerza transmisora de energía para accionar al motor de la unidad de producción.

Como se dijo con anterioridad el aceite tiene una alta viscosidad y baja densidad en comparación con el agua.

El fluido motriz aceite para poder ser empleado como tal, requiere de un tratamiento adecuado, ya que éste es obtenido del crudo producido del pozo el cual contiene una variedad de impurezas, contenido de agua, gas, etc.

A continuación se explica brevemente el tratamiento que es requerido.

#### TRATAMIENTO DEL CRUDO PARA EMPLEARSE COMO FLUIDO MOTRIZ (F.M.)<sup>21</sup>

Como el fluido motriz aceite estará en contacto con las partes del - motor hidráulico y para prolongar la vida útil de éste, es necesario que se en encuentre libre de material abrasivo y de sustancias corrosivas.

Del fluido producido se remueven los materiales indeseables, en el - campo mismo, a fin de que sirva como un fluido motriz aceite. Para lograr esto se requiere de un tratamiento del crudo adecuado.

Hay casos afortunados en que el crudo (aceite) del campo no necesita de un tratamiento especial. Para ello, la separación del gas debe ser eficien te y el crudo que se vaya a emplear como fluido motriz no deberá de contener - agua, arena ni otra sustancia.

Por lo general debe de acondicionarse el crudo, además de desgasifi-

carlo y deshidratarlo, esto es, proveer del equipo necesario, el cual se verá con mayor amplitud en el Capítulo V.

En casos extremos, quizás haya que usar filtros o separadores centrífugos para remover los sólidos. También se pueden instalar calentadores adicionales para estimular el asentamiento del agua o para mantener la parafina en solución.<sup>15</sup>

Los fabricantes de bombas hidráulicas, por lo general para el diseño de éstas, cuando se emplea como fluido motriz aceite; retienen un aceite motriz de 10 centistokes de viscosidad a la temperatura de la bomba, lo que corresponde a una densidad de 30° API a 38° C ó de 25° API a 76° C. Se han usado con éxito aceite tan ligeros como los de 50° API, pero estos no tienen la cualidad lubricante de los más pesados. Los crudos de menos de 20° API son -- con frecuencia muy espesos, aunque se han usado crudos de hasta 10° API.

En el sistema abierto ordinario, de bombeo hidráulico, se puede confiar en que por fuerza gravitacional se separarán las burbujas de gas, las gotitas de agua y los granos de arena. La velocidad final a que se asientan -- esas partículas determinará el régimen a que el aceite fluirá por el equipo, -- acondicionador. Así, las partículas que se asientan a una velocidad final menor que la velocidad ascendente del fluido, en recipientes acondicionadores, -- serán arrastradas a través de la descarga del recipiente. El tamaño del recipiente acondicionador determina el tamaño mínimo de los granos de arena que se se rán 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, solo gotitas 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 peque--

ños tienden a agruparse unos a otros; por lo tanto, aún partículas más pequeñas se suelen remover.

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

Por esta y otras razones el tanque asentador del fluido motriz no debe recibir crudo que no haya pasado por un tubo 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 de unos 15 cm. de diámetro, cuya parte superior está agrandada. El crudo producido entra por encima y sale por el fondo, para entrar en el tanque de asentamiento del fluido motriz. El gas liberado en el dosificador sale por arriba.

Hay quien cree que no se necesita el tanque de asentamiento del fluido motriz aceite; debido a que se cuenta con un tanque deshidratador del crudo, pero tal criterio es erróneo; debido a 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.

Los requisitos de manejo del fluido motriz aceite suelen ser menos estrictos para sistemas "cerrados" (ver Capítulo II), en los que el aceite usado llega a la superficie en su propia corriente, sin mezclarse con el fluido de la formación.

Por lo que entre mayor sea tratado el aceite, mayor efectividad se tendrá y traerá consigo que la productividad se incremente.

### III.2.3) FLUIDO GAS<sup>21</sup>

Actualmente se tienen campos de gas en diferentes países productores de Hidrocarburos. Esto ha traído mucho interés a investigadores del área petrolera de todo el mundo, ya que en muchas ocasiones el gas que es producido, una parte de éste puede ser quemado y otra es llevado hacia las compresoras y de ahí hacia lo Gasoductos.

La presión a la que se puede manejar el gas, es tan alta que ha sido un factor sumamente importante para poder considerar que es posible utilizar el gas como un fluido motriz.

Trabajos y estudios hechos por investigadores sobre esto, afirman -- que en un futuro no muy lejano el gas como fluido motriz podrá ser empleado como tal.

Es importante mencionar que aún no se cuenta con mayor información -- refernete a esto.

### III.3 SELECCION DEL TIPO DE FLUIDO

Una vez conocido los diferentes tipos de fluidos que se emplean como fuerza transmisora de energía en un Sistema de Bombeo Hidráulico, para determinar la selección del tipo de fluido que se empleará como fluido motriz, dependerá de los siguientes factores:

- 1) Fluido Limpio
- 2) Fluido menos corrosivo
- 3) Fluido económico
- 4) Fluido fácil de tratar
- 5) Fluido con alto poder lubricador.

Lo ideal sería que el fluido seleccionado pudiera tener todos estos factores, mas esto aún, en algunas ocasiones, no es posible.

La selección del agua o el aceite como fluido motriz está basado en:

- 1.- El agua se emplea como medida de seguridad y no contamina el medio ambiente.
- 2.- El aceite dificulta las múltiples instalaciones del pozo, debido a que la fricción con el fluido es mayor y puede provocar el peligro de incendio y contaminación ambiental.
- 3.- En la instalación del equipo superficial, cuando se emplea fluido aceite tiende a incrementarse el costo de la instalación.
- 4.- Cuando se utiliza aceite se tienden problemas de parafinamientos, al no operarse a las condiciones adecuadas de presión y temperatura.
- 5.- En Sistemas Cerrado, la inyección de inhibidores para controlar la corrosión y lubricación no incrementa los costos al emplearse agua (frecuentemente se emplea como fluido motriz agua dulce).
- 6.- En sistemas abiertos la adición de agentes químicos al fluido motriz (agua) puede incrementar considerablemente los costos debido a que el agua se combina con el fluido producido y se requiere, por lo tanto, de una continua inyección de inhibidores.
- 7.- Cuando se utiliza aceite como fluido motriz rara vez se incrementa el costo por el uso de aditivos químicos, ya que únicamente se utilizan en forma ocasional.
- 8.- El mantenimiento superficial de la bomba es menor cuando se utiliza aceite, no así con el agua, ya que aumenta las pulsaciones (vibraciones) en las tuberías y contribuye a la fatiga de los componentes de la bomba.
- 9.- La bomba subsuperficial es sensible a la calidad lubricante y viscosa del fluido motriz. El agua casi no tiene calidad lubricante y si no está debidamente tratada disminuye la vida útil de la bomba.

10.- Cuando se emplea agua se incrementan las fugas por los empaques (sellos), disminuyendo la eficiencia de la bomba.

11.- La estimación del fluido producido en sistemas abiertos es más fácil cuando se emplea agua, ya que esto se hace por medio de diferencias de -- densidades.

LOCALIZACION	NUMERO DE AGUA	Na	Ca	Mg	K	SO <sub>4</sub>	CL	HCO <sub>3</sub>	TOTAL DE SOLIDOS	PH
AGUA LIBRE HUNTINGTON BEACH CALIFORNIA	1	135	4	1	10	11	22	318	540	86
AGUA LIBRE WEST LOS ANGELES CALIFORNIA	2	82	50	15	10	165	52	162	570	81
AGUA LIBRE LONG BEACH CALIFORNIA	3	180	48	16	10	307	9	143	824	89
SALMUERA SANSIENA CALIFORNIA	4	12,000	110	6	-	6	14,000	1,700	27,932	75
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	-	19,252	159	30,609	80
SALMUERA CINTRONELLE ALABAMA	7	12,325	7,287	638	420	-	14,000	146	55,101	67
SALMUERA HOCKLEY COUNTRY TEXAS	8	42,580	16,016	3,402	-	1,039	103,000	116	166,675	50

ANALISIS DE OCHO AGUAS LIBRES Y SALMUERAS  
(CONCENTRACIONES EN ppm)

TABLA IV

## CAPITULO IV

EQUIPO SUPERFICIAL Y SUBSUPERFICIAL

Una de las grandes ventajas del Bombeo Hidráulico como sistema artificial es el control de todos los pozos de una manera integral; es decir, desde un punto de vista único.<sup>20</sup>

Por lo anterior el operador puede:

- 1º) Cerrar o abrir uno o todos los pozos, o la combinación de pozos que quiera al mismo tiempo.
- 2º) Graduar la velocidad de la bomba en cada pozo, regulando el régimen del flujo del fluido motriz al pozo de que se trate.
- 3º) Medir la velocidad de la bomba en cualquier pozo, contando los impulsos de presión en la tuberfa de inyección.
- 4º) Obtener indicación de la eficiencia del bombeo en cualquier pozo, midiendo el régimen de flujo del fluido motriz.

Como todo Sistema de Producción Artificial, para obtener una máxima recuperación de los fluidos del pozo hacia la superficie, constan básicamente de dos tipos de equipos:

- 1º) Equipo Superficial
- 2º) Equipo Subsuperficial

Ambos equipos son sumamente importantes para el buen funcionamiento del sistema, una falla en cualquiera de sus partes que los constituyen, provocarán:

- a) Disminución en la recuperación de los fluidos producidos.
- b) Ritmos de producción bajos.

- c) Disminución de la eficiencia de la Bomba Superficial y Subsuperficial.
- d) Fallas en el control de flujo.
- e) Mal funcionamiento en el tratamiento del fluido motriz.
- f) Aumento en los costos de operación.

Se puede decir que para lograr un Sistema de Bombeo Hidráulico eficiente, se deberá tener muy en cuenta el diseño y dimensionamiento de cada una de las partes que constituyen a estos dos equipos.

#### IV.1 EQUIPO SUPERFICIAL<sup>1º</sup>

El equipo superficial necesario para un Sistema de Bombeo Hidráulico se encuentra constituido principalmente por:

- 1º) Cabezal del Pozo
- 2º) Sistema de Tratamiento Superficial
- 3º) Tuberías Superficiales.
- 4º) Juego de Válvulas
- 5º) Bombas Superficiales.

Cada uno de estos elementos tiene distintas funciones, pero todos se encuentran diseñados para obtener el mismo objetivo.

##### IV.1.1. CABEZAL DEL POZO

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

- a) Bombas Fijas
- b) Bombas Libres

Cabezales en Bombas Fijas. Para estas bombas el cabezal del pozo -- consiste en una cabeza simple de tubería y que deja transportar el fluido mo--

triz a través de la T.P., la cual posee un recubrimiento para aislar el fluido producido. Figura 12

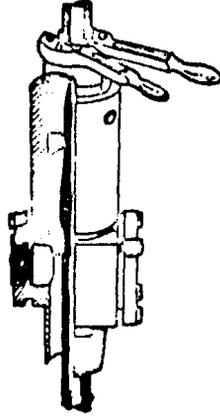
Cabezales en Bombas Libres. Para este tipo de bomba se necesitan -- controles en el cabezal del pozo para dirigir el flujo del fluido motriz la -- operación de recuperación de la bomba; además de otros accesorios para aumen-- tar seguridad y conveniencia a la operación. El equipo de control del cabezal del pozo que hace esto se llama "Válvula de cuatro pasos" (Figura 13). La -- operación apropiada de la válvula de cuatro pasos permitirá al operador:

- 1º) Manipular la bomba dentro del pozo y operarla.
- 2º) Extraer la bomba Subsuperficial hacia la superficie.
- 3º) Desviar el fluido motriz dentro de la línea de flujo y descargar - los dos compartimientos de flujo, de tal modo que el equipo re-- ceptor pueda ser removido para recuperar la bomba.

#### CARACTERISTICAS DESEABLES DE UNA VALVULA DE CUATRO PASOS

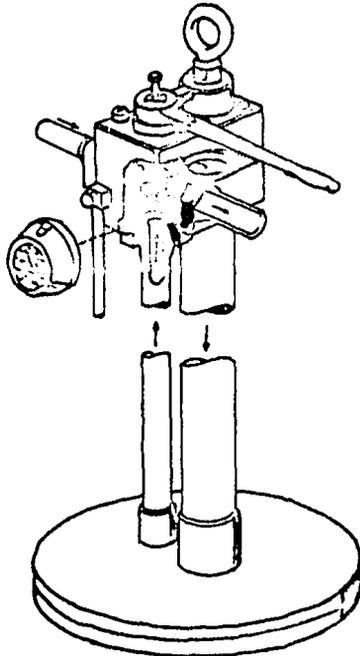
Las principales caracterfsticas que se requieren para que la válvula de cuatro pasos opere eficiente son:

- a) Adecuada colocación de la válvula, de tal manera, que ésta sea se gura y fácil de operar para regular la dirección de flujo.
- b) Confiabilidad de equipo de recepción para cerrar la unidad super- ficial. Para aumentar seguridad, el receptor deberá incluir un indicador que muestre la entrada de la bomba, un porta manómetro para indicar la presencia - de presión dentro del equipo y una palanca para controlar la posición de los - conductos bajo presión.
- c) Previsión para permitir el paso del fluido circulante a la unidad cuando se encuentre encerrado en el recepto. Esto hace posible que fluidos -



CAJAZAL DE TUBERIA  
BOMBA FIJA (KOBÉ)

FIG: 12



CORTE DE VALVULA DE 4 PASOS

FIG: 13

gaseosos circulen fuera del fluido motriz antes de intentar remover la unidad y también permite bombear fluido motriz limpio en la tubería de una unidad -- nueva o reparada.

d) Poseer una válvula de seguridad automática para proteger la sarta de producción, de presiones excesivas que se presenten durante la operación -- de bombeo.

#### IV.1.2. SISTEMA DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL

La función del Sistema de Tratamiento Superficial (Figuras 14 y 15) es la de proveer un abastecimiento constante de fluido motriz apropiado para la operación de la unidad de producción subsuperficial. Así pues, el objetivo primordial es la de eliminar tanto gas y sólidos como sea posible del crudo -- producido para hacerlo un fluido motriz eficiente.

El buen funcionamiento de este sistema, está basado en:

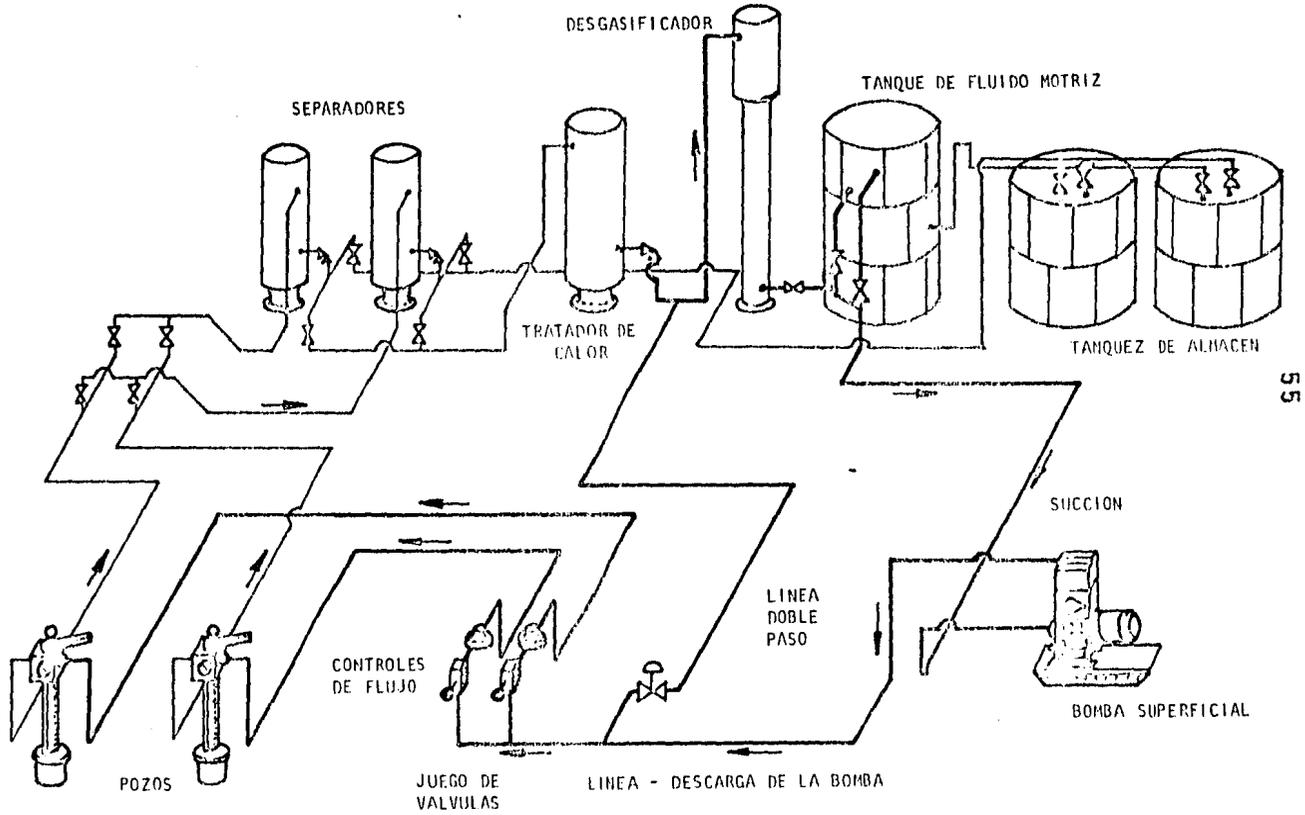
- 1º) Proceso de Asentamiento
- 2º) Límite aceptables (análisis de una muestra del Fluido Motriz)
- 3º) Tanque de Fluido Motriz (Aceite) y accesorios
- 4º) Sistema de Filtros
- 5º) Facilidades de Tratamiento

##### \* Proceso de Asentamiento

Este proceso se base principalmente en el efecto de segregación gravitacional, para eliminar partículas extrañas de la corriente de flujo.

La separación de estas partículas es en base a:

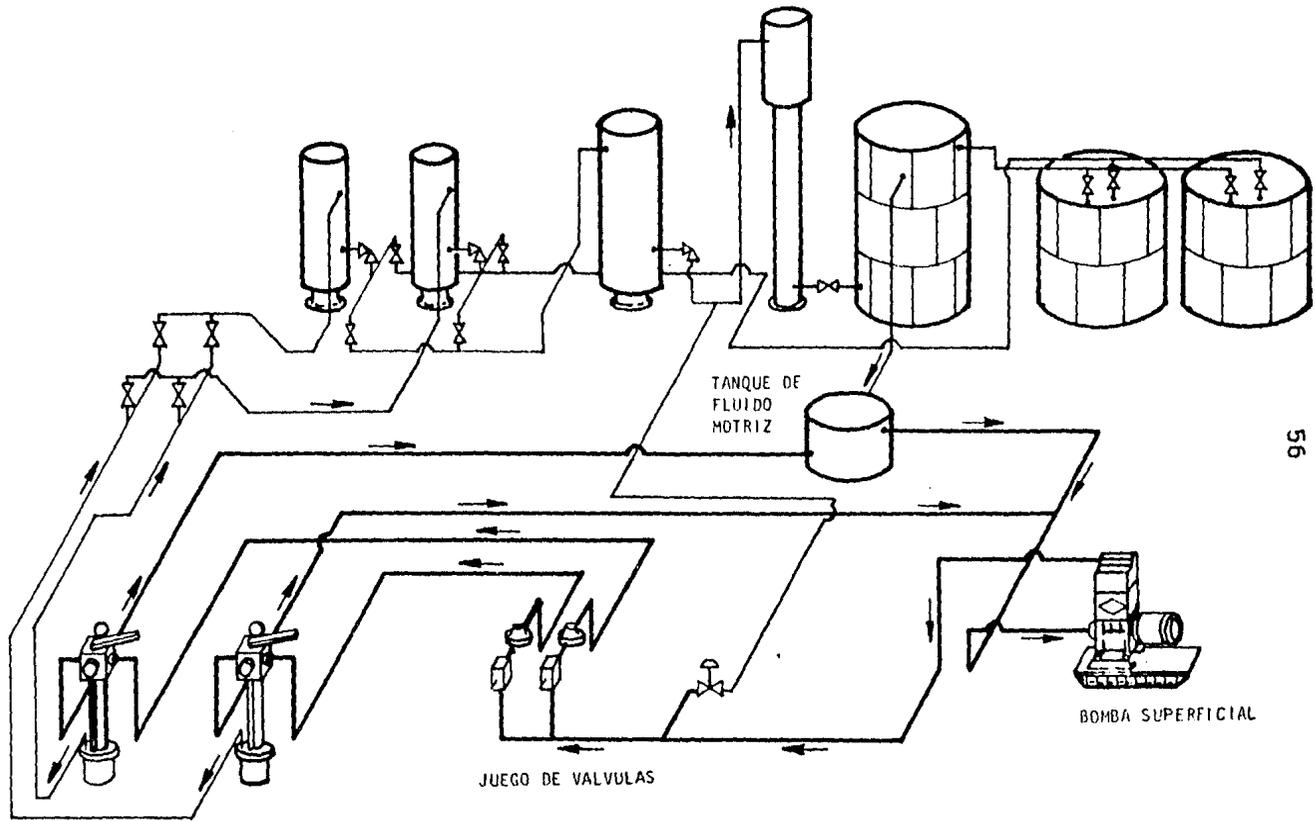
- a) Diferencia de Densidades
- b) Tamaño de partícula
- c) Viscosidad del Aceite.



55

INSTALACION SUPERFICIAL PARA VARIOS POZOS  
SISTEMA ABIERTO

FIG: 14



56

INSTALACION SUPERFICIAL PARA VARIOS POZOS  
 SISTEMA CERRADO

FIG: 15

El Tanque del Fluido Motriz (Figura **16**) es normalmente medido para permitir que la velocidad del fluido en la parte superior del tanque sea menor de dos pies/hora. La velocidad deberá ser menor en aceites más pesados - de los 30<sup>o</sup> API y para operaciones en climas fríos.

\* Límites Aceptables (Análisis de una muestra de F.M.)

Para que el fluido producido pueda servir como un fluido motriz, se deberá de hacer un tratamiento adecuado a éste, de tal manera que:

1º) Máximo de sólidos total= 20 PPM (partes por millón)

2º) Máximo contenido de sal= 12 lb/1000 bl.

3º) Tamaño máximo de las partículas= 15 micrones.

Para mayor información de esto, ver el Capítulo III (Fluido Motriz)

\* Tanque de Fluido Motriz (Aceite) y Accesorios

El crudo producido pasará a través de los separadores necesarios y - tratadores térmicos para estar en condiciones óptimas (en el tanque de almacenamiento) antes de pasar al tanque del Fluido Motriz.

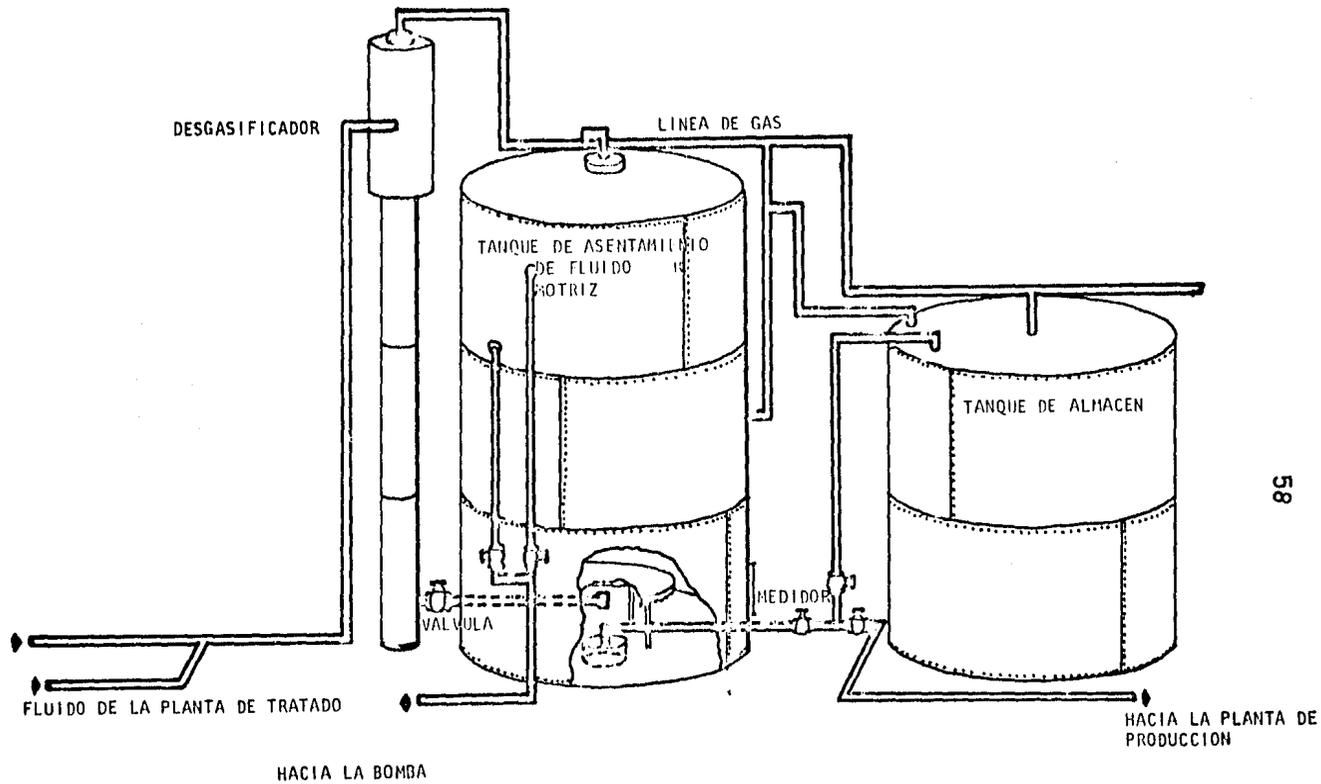
Los accesorios necesarios para lograr lo anterior son:

a). Rectificador.- Elimina el remanente de gas en solución después - del separador. El gas que entre en el tanque de asentamiento, destruirá el - proceso gravitacional.

b). Distribuidor.- Previene el encausamiento del fluido de adentro - hacia afuera disminuyendo la velocidad del fluido y distribuyendo el volumen que entra sobre una área más grande.

c). Tanque de Asentamiento del Fluido Motriz.- Recipiente principal- mente usado para el proceso de asentamiento.

d). Tanque de Almacenamiento y control de nivel.- Todo el fluido que viene del distribuidor sube hasta la línea de vaciado del Tanque de Almacena-



58

TANQUE DE FLUIDO MOTRIZ (KOBÉ)  
 SISTEMA ABIERTO  
 FIG: 16

miento. El fluido que llega hasta este nivel es suficiente para abastecer a las bombas triplex.

e). Salidas del Fluido Motriz o Líneas de Abastecimiento Triplex.- Localizadas en el lado opuesto del área de vaciado del tanque cerca de la -- parte superior. Una salida de emergencia se localiza bajo la normal y es utilizada en el caso de que el nivel del fluido gotee de la salida normal.

#### IV.1.3. TUBERIAS SUPERFICIALES

Consisten en líneas de los cabezales del pozo o individuales hacia la bomba superficial, las líneas de producción del cabezal del pozo para facilitar el tratamiento y en sistemas cerrados de fluido motriz, se requiere de una línea de retorno del fluido motriz.

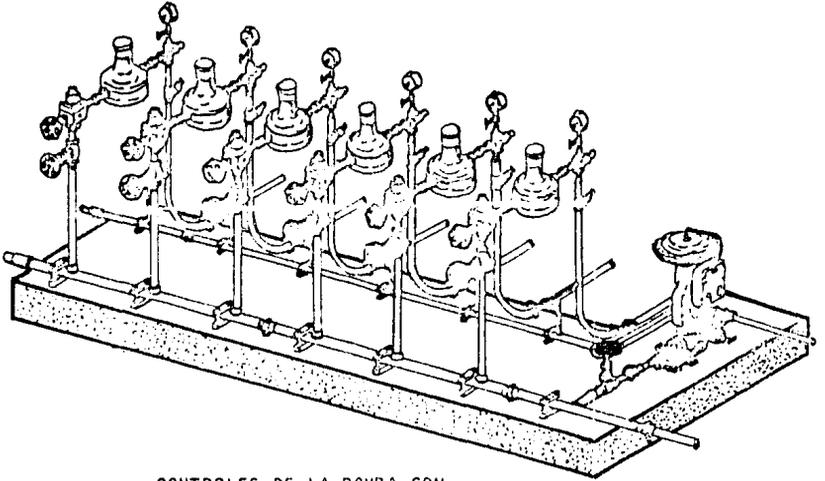
Las líneas del fluido motriz aceite deben ser:

- 1º) Tuberías con 5000 (1b/pg<sup>2</sup>) de presión de prueba
- 2º) Limpieza con arena interior antes de la instalación, para prevenir el desprendimiento de partículas micrométricas de fluido motriz contaminante.
- 3º) Diámetro suficiente para llevar los volúmenes requeridos sin pérdidas de presión debidas a la Fricción.

#### IV.1.4. JUEGO DE VALVULAS

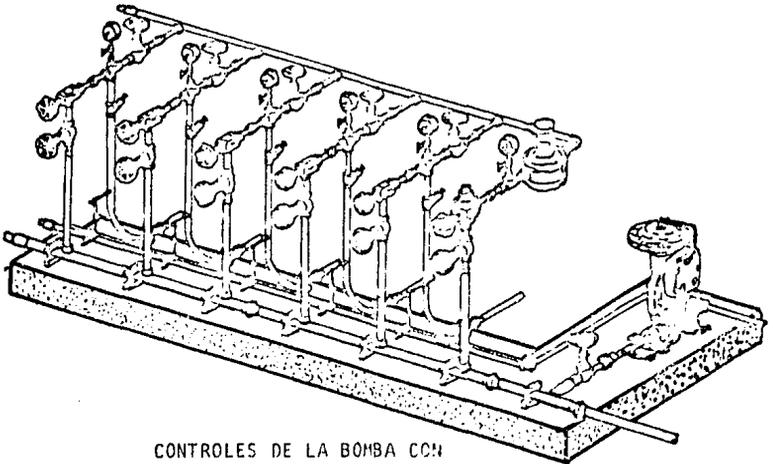
El manejo de las bombas hidráulicas se hace con una válvula de control de fluido motriz. Esta válvula permite un flujo constante de fluido motriz a pesar de las fluctuaciones de presión. Todos los fabricantes de bombas Hidráulicas proveen éstas.

Las válvulas de control de flujo constante son interconectadas para hacer un sistema de distribución de flujo motriz (Figuras **17** y **18**)



CONTROLES DE LA BOMBA CON  
MEDIDORES INDIVIDUALES.

FIG: 17



CONTROLES DE LA BOMBA CON  
MEDIDOR COMUN

FIG: 18

Las funciones del Juego de Válvulas (o control múltiple) son:

- 1º) Distribuir el Fluido Motriz
- 2º) Controlar el volumen de Fluido Motriz a cada pozo.
- 3º) Medir el Fluido Motriz y la producción de cada pozo
- 4º) Proveer los medios para controlar las obstrucciones en las tuberías provocadas por parafinas.
- 5º) Medición de las presiones de operación.
- 6º) Desviar el exceso del fluido motriz con un controlador de presión.

Una planta central de acondicionamiento de fluido motriz es usada para abastecer a un número de pozos con Bombeo Hidráulico, por lo que se requiere de un control múltiple de alta presión para el fluido motriz y para el control de las operaciones de los pozos.

Los múltiples son hechos en secciones modulares tal que pueden estar cerca o lejos, como se requiera del total de pozos del sistema. El múltiple distribuye, mide y controla el flujo del fluido motriz para cada pozo a través de una válvula piloto, asegurando el gasto constante, que no depende de los cambios de presión en el sistema. Las mediciones de los arreglos son disponibles para abastecer al operador de datos necesarios para determinar la producción neta de aceite de cada pozo.

#### CONTROL DE CALIDAD.

Descuidando el tipo de sistema, la calidad del fluido motriz debe ser mantenido a un nivel alto para la vida útil y eficiencia de la bomba. El desgaste de la bomba dependerá de la viscosidad del fluido bombeado, ya que un sistema de aceite pesado se caracterizará por un alto contenido de sólidos, por lo que para un aceite de 30<sup>0</sup> API se recomienda un rango de 10 a 15 ppm.

Cuando el fluido motriz es agua, cualquier fuga en la bomba debe ser evitada y el fluido limpiado o tratado cobra una gran importancia. Para lograr esto se requiere de un sistema de filtros que eliminen los sólidos de la corriente de flujo. El tratamiento químico para proveer la Lubricación, Viscosidad y control de corrosión se hace en la Planta Central.

#### PLANTA CENTRAL DEL SISTEMA HIDRAULICO

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 un sistema de limpieza para lograr:

- a) Separación del gas a la presión atmosférica.
- b) Separación del fluido que va a ser usado como fluido motriz (generalmente aceite)
- c) Remoción de los sólidos del fluido motriz por el efecto gravitacional.

La mezcla de líquido que regresa, fluye del lugar de tratamiento a través del Rectificador de gas para la separación de éste y entra al tanque del fluido motriz. Aquí el fluido motriz alcanza la sección superior del tanque y es retenido por bastante tiempo para lograr la separación de los sólidos por gravedad. El aceite y el agua producidos son descargados de la sección inferior del tanque de fluido motriz a los tanques de almacenamiento. El fluido motriz limpio es llevado del tanque de fluido motriz, 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 DEL SISTEMA CENTRAL

Las principales ventajas de operación del Sistema Central son:

1º) La separación de gas a la presión atmosférica minimiza la cavitación en la bomba causada por el golpeteo del gas a la succión de la bomba.

2º) Incremento del volumen de fluido motriz que se usará para asegurar un adecuado suministro al sistema de alta presión.

3º) Gran flexibilidad en la utilización de las unidades de potencia instaladas.

#### LIMITACIONES ECONOMICAS

Las limitaciones económicas son:

1º) Económicamente no es adecuado para pozos muy espaciados que requieren extensas líneas de alta presión para el fluido motriz.

2º) Las pruebas para pozos individuales, se complican por la necesidad de medir el gasto de fluido motriz de cada pozo para identificar el gasto de producción.

Las condiciones locales pueden dirigir las variaciones 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 de tanque a presión - descrito para el arreglo de un solo pozo. Los procedimientos de pruebas de pozos deben proporcionar el acomodo para el sistema de varios pozos. Un pozo simple puede ser operado más satisfactoriamente por un tanque de fluido motriz atmosférico; quizá ajustado con una unidad de limpieza ciclónica para asegurar la liberación de sólidos del fluido motriz.

Como se mencionó, el equipo superficial necesario para el Sistema de Bombeo Hidráulico en pozos de aceite incluye el Sistema de Limpieza del Fluido Motriz, una bomba o bombas para circular el fluido a la bomba subsuperficial y los controles necesarios para el sistema.

Una selección puede ser hecha para dos arreglos: Un sistema para un

sólo pozo en el cual el equipo superficial es colocado a un lado del pozo, o una planta central sirviendo a varios pozos de una localización conveniente.

#### SISTEMA PARA UN SOLO POZO

Es éste, el sistema más común, todos los fluidos que salen del pozo: aceite, agua y gas producidos más el fluido motriz empleado, 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 éstas es retenida, para ser condicionada como fluido motriz. Este se circula a través del sistema ciclónico de limpieza para remover los sólidos y proveer potencia en la succión de la bomba para ser circulado a la presión requerida para el pozo.

#### VENTAJAS DE UN SISTEMA PARA UN SOLO POZO<sup>10</sup>

Las ventajas que se tienen al emplearse este tipo de arreglos son:

1º) Tanques compactos montados con ruedas a un lado del pozo, móviles a otros lugares.

2º) Conexión de alta presión del fluido motriz para el pozo, las líneas no se cruzan.

3º) Los procedimientos normales de prueba pueden ser usados como producción de solamente un pozo involucrado.

4º) Area adecuada para el tratamiento adecuado.

5º) Los sistemas presurizados excluyen oxígeno del sistema de fluido motriz.

### LIMITACIONES DE UN SISTEMA PARA UN SOLO POZO

Las principales limitaciones que se tienen en este tipo son:

1º) Flexibilidad limitada en la capacidad de potencia instalada, relativa a los requerimientos del pozo.

2º) Posible paro del sistema debido a la limitada cantidad de fluido motriz durante el flujo de gas en un pozo con cabeceo.

### SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Las unidades de almacenamiento montadas en ruedas para su fácil instalación y mantenimiento, combinadas con todo el equipo necesario para un solo pozo con sistema abierto ayudan a su producción.

Las unidades incluyen los tanques necesarios para condicionar al flujo motriz agua o aceite, la bomba, motor primario y controles. Los sistemas están disponibles en una variedad de tamaños para situar los requerimientos de un sólo pozo.

Químicamente las bombas son conservadas por inyección de inhibidores y compuestos para el tratamiento de emulsiones.

Estas unidades tienen varias ventajas para el operador o encargado de producción, incluyendo simplificación de diseño y requisiciones de material. Cualquier equipo necesario para la producción de un pozo se incluye y los componentes necesarios no deben ser ordenados cuando se instalan a un lado del pozo. Una ventaja más es la movilidad con la cual se permite transferir la unidad a otro pozo si el primero empieza a declinar o experimenta un cambio radical en las características de producción.

Como se mencionó en el Capítulo II de Sistemas Abierto y Cerrado, un arreglo alternativo permite el aislamiento del fluido motriz pero requiere una sarta adicional de tubería en el pozo u otros medios para proveer un con-

ducto extra.

El sistema cerrado es por lo tanto más caro que el abierto y consecuentemente el menos empleado. Este permite el uso de un pequeño tanque de fluido motriz, que es adecuado para áreas urbanas y plataformas marinas donde el espacio es apremiante.

El sistema cerrado frecuentemente usa agua debido al bajo peligro -- que presenta para los problemas ecológicos, no así el aceite.

El tanque de fluido motriz es un factor muy importante del sistema cerrado, en el cual se proveen los medios para la limpieza continua del fluido motriz. En operaciones normales de la bomba subsuperficial, una pequeña cantidad de fluido motriz se mezcla con la corriente de fluido producido para la lubricación de la bomba. El fluido que sale del sistema puede ser fluido limpio ya que el espacio libre de la bomba actúa como un filtro. Esto es, -- cualquier sólido puede ser atrapado en la corriente del fluido motriz incrementando la concentración con el tiempo.

El problema se presenta por la circulación del fluido motriz al tanque del fluido motriz. El tanque deberá ser bastante grande para restringir el flujo ascendente de aceite a 1pie/hr o menos.

Cuando el agua es usada como fluido motriz, la filtración se usa para la remoción de las partículas sólidas, con un tamaño de filtro recomendado para 10 micras.

En el sistema abierto, el tratamiento del aceite producido para usar se como fluido motriz es complicado por el gas que tiene en solución. Cualquier descarga de gas en el tanque del fluido motriz, provocará una agitación y suspensión de los sólidos.

La experiencia muestra que una mejor trayectoria del flujo del pozo,

es a través del separador, para el tratamiento, pasando por el rectificador de gas, y finalmente llega al tanque de fluido motriz.

El rectificador de gas es simplemente una columna grande (más que el tanque del fluido motriz) con una sección superior amplia en la cual es tratado el aceite. Con el rectificador de gas la presión de cierre es la atmosférica, el aceite con una pequeña cantidad de gas en solución empieza a ser tratado a 30 lb/pg<sup>2</sup>, la solución de gas es venteadada al tanque del fluido motriz y a los tanques de almacenamiento. La conexión del líquido entre el rectificador de gas y el tanque de fluido motriz está cerca del fondo del tanque.

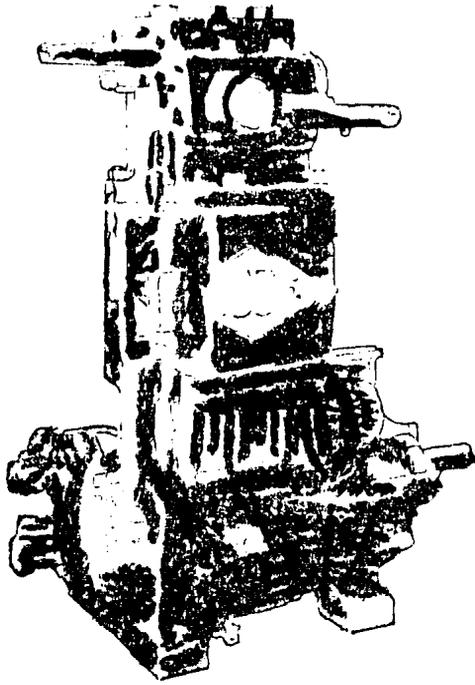
El tanque del fluido motriz es mantenido casi lleno para el diseño -- apropiado del tanque de almacenamiento. En la succión de la bomba la potencia del fluido deberá ser alta para así liberar los sólidos. El tanque deber ser dimensionado para restringir el movimiento ascendente del fluido producido a -- cerca de 2 p.e./hr. Esto es equivalente a 1500 bpd en un tanque de 750 bl, y -- una altura de 24 p.e. En climas fríos y con aceites pesados menores de 30<sup>0</sup> API, la velocidad ascendente podría ser menor.

#### IV.1.5. BOMBAS SUPERFICIALES<sup>10</sup>

Las instalaciones de las bombas hidráulicas son normalmente bombas -- triplex de desplazamiento positivo. La Figura 19 muestra una bomba triplex, la Figura 20 muestra un equipo constituido por la bomba triplex y una fuente de poder.

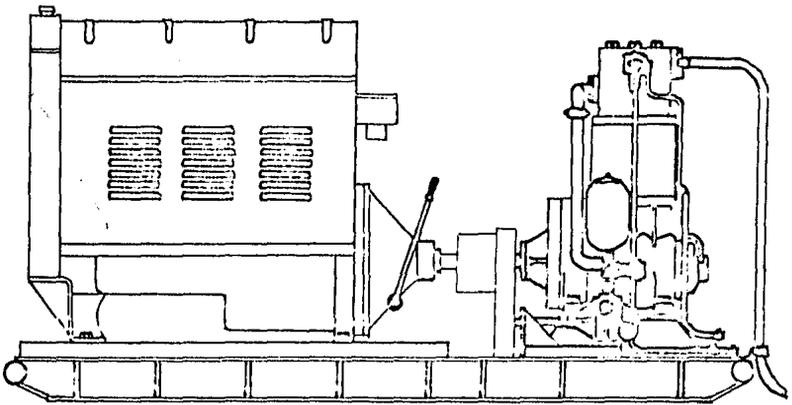
Para el servicio del agua, la bomba triplex es horizontal para ayudar a prevenir la contaminación del aceite del cigüeñal con el goteo que pasa por los pistones.

Partes de una bomba superficial:



BOMBA TRIPLEX KOBE

FIG: 19



MAQUINA TRIPLEX KOBE

FIG: 20

- a) Supercarga.
- b) Fuente de poder.
- c) Líneas de descarga.
- d) Instalación.

a) Supercarga.- Estas bombas son diseñadas para una succión supercargada. Una presión de succión de 40 a 80 lb/pg<sup>2</sup>, es deseable y se puede obtener, teniendo los tanques de fluido motriz elevados sobre la succión o utilizando una bomba de carga normal.

b) Fuente de poder.- Las fuentes de poder mas empleadas son las máquinas de gas natural con un aditamiento fácil de acoplar a la bomba triplex. La bomba de carga está separada de la máquina. Se utilizan también motores eléctricos. Una reducción del engranaje es parte del equipo triplex para permitir el uso de diferentes fuentes de poder.

c) Las Líneas de descarga de la válvula de salida y de la válvula de control de presión no deben estar conectadas directamente a la línea de succión de la bomba, sino a la línea de retorno al tanque. La conexión a la línea de succión causaría una disminución en la eficiencia volumétrica y crearía un peligro de incendio, si la recirculación del fluido calentara a éste y a la línea.

d) La instalación de la planta de la bomba superficial.- Las bombas - superficiales son instaladas en grandes centrales en un Sistema Paralelo. Esto permite una presión alta y volúmenes más grandes. La planta está generalmente adyacente al tanque de Fluido Motriz. Las modificaciones de la distribución - y localización de la planta son esencialmente un problema de tubería.

Cabe mencionar que si por cualquier causa el Sistema de Fluido Motriz y su bomba no surten Fluido Motriz suficiente, se notará un descenso de la presión de funcionamiento. Por lo común en tal caso, la bomba no da emboladas.

La dificultad puede radicar en que la bomba del Fluido Motriz no descarga el volumen requerido de fluido. Esto a su vez puede deberse a falla de la bomba de refuerzo, a taponamiento de la tubería de inyección, a falta de F.M. en el tanque, o a otras causas.

Si bien una falla tal se descubre prontamente en instalaciones de uno o de dos pozos, también puede afectar los pozos de altas presiones de funcionamiento, en una planta central.

#### IV.2 EQUIPO SUBSUPERFICIAL<sup>10</sup>

Las partes que constituyen al equipo subsuperficial son:

##### IV.2.1. BOMBA HIDRAULICA SUBSUPERFICIAL.

Una bomba hidráulica subsuperficial es un acoplamiento bomba-motor. Esta unidad es instalada bajo del nivel del fluido motriz. El fluido motriz a alta presión se dirige al motor a través de un conducto (tubería) y retorna -- junto con el fluido producido (sistema abierto) por otra tubería.

La presión alta a la que entra el fluido motriz al motor, provoca una reciprocación en éste. La bomba y el motor son conectados por una varilla, -- así que la reciprocación del motor causa una similar a la bomba.

Este proceso hidráulico empleado está fundamentado en la Ley de Pascal, dicha ley expone "una presión ejercida sobre una superficie de un fluido almacenado, es transmitida con igual intensidad a todas las superficies que -- contienen al fluido".

La aplicación de este principio hidráulico en pozos de aceite con bombeo, hace posible transmitir la presión del fluido desde una central de localización superficial a puntos subsuperficiales.

La unidad de producción subsuperficial es la que gobierna el sistema

de bombeo hidráulico. Esta unidad consiste, como se mencionó, de un motor hidráulico el cual es de desplazamiento recíprocante positivo, y está conectado directamente a la bomba de producción.

La profundidad de colocación de la bomba-motor, es establecida en el diseño, en función de la profundidad de la zona productora y de las características del pozo en general. El rango de velocidad de operación de la unidad ayuda a tener una flexibilidad para la capacidad de desplazamiento en función de los requerimientos de los gastos de producción.

Existen diferentes diseños de unidades de Bombeo Hidráulico, aunque todos tienen el mismo principio de operación.

Componentes básicos de una unidad hidráulica:

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

El motor está diseñado para desplazar volúmenes, iguales de fluido motriz, sobre cada carrera descendente y ascendente; o para desplazar un gran volumen durante una u otra carrera. Cada diseño de unidades de producción tiene ventajas y limitaciones.

Presiones aplicadas a una bomba hidráulica. Las fuerzas hidráulicas usadas para una bomba hidráulica recíprocante están en función de la presión y área del pistón donde actúa dicha presión.

$$F = P * A$$

$F$  = fuerza hidráulica (lb )

$P$  = presión ejercida (lb/pg<sup>2</sup> )

$A$  = área transversal (pg<sup>2</sup> )

En una bomba, el balanceo de las áreas del pistón y las presiones, -- crean una fuerza hidráulica deseada en la dirección correcta. En otras pala-- bras, el cambio de presión sobre cada lado del pistón del motor causa el movi-- miento 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.

#### IV.2.2. TIPOS DE ARREGLOS EMPLEADOS.

A) SISTEMA DE BOMBA FIJA

B) SISTEMA DE BOMBA LIBRE

A) SISTEMA DE BOMBA FIJA

El término "bomba fija" es usado para denotar el hecho de que la bomba sea mecánicamente anclada a cualquiera de las tuberías, ya sea la de inyección de fluido motriz o la de producción. Los tipos de bombas de este sistema son:

1) Bomba insertada.

La bomba insertada es fijada a la tubería de inyección de fluido motriz, y es corrida dentro de la tubería de producción, anclándose sobre una zapata en el fondo del pozo. El circuito del fluido depende del sistema de flujo del fluido motriz (abierto o cerrado) empleado.

En un sistema abierto de fluido motriz (Capítulo II) es conducido a la bomba por una tubería de diámetro pequeño, la cual debe estar anclada. El

fluido posteriormente es descargado dentro de la tuberfa de producción mezclán dose con el proveniente de la formación, como se muestra en la Figura 21.

Un sistema cerrado, es el más económico para aislar el retorno del -- fluido motriz. Para este tipo de instalación (insertada) se coloca un tercer tubo en paralelo, fijado en la tuberfa productora, o en forma independiente.

Como se muestra en la Figura 22 la bomba es corrida dentro del diá-- metro de la tuberfa inyectora de fluido motriz, anclándose y asentándose en el fondo del pozo.

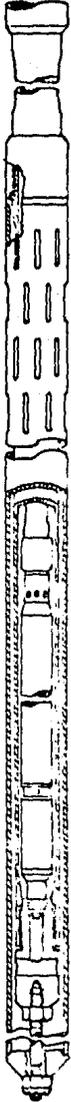
## 2) Bombas de T.R.

En este tipo, la tuberfa a la que se fija la bomba usualmente es la - inyectora de fluido motriz, con lo que la producción (fluidos) pueden regresar por el espacio anular.

Un empacador de pared es usado para sellar la T.R.. El empacador pue- de ser anclada en el fondo, llevada por una herramienta adaptadora: "J". En - algunos casos el empacador es corrido y colocado independientemente en una za- pata de menor tamaño en la parte superior, dentro de la cual la bomba se asien- ta para formar un sello impermeable.

Cuando una herramienta en "J" es usada sobre la bomba, el empacador - puede dejarse y sacarse con la bomba. La Figura 23 muestra la herramienta -- "J", y la Figura 24 el arreglo en la T.R.

En un sistema de flujo abierto, para un tipo de bombas de T.R., el -- fluido motriz es descargado de la unidad de producción dentro del espacio anu- lar de la T.R. y se mezcla con la producción del pozo, mas tarde es recuperado en la superficie mediante un sistema de tratamiento. La Figura 25 muestra -- este tipo.



BOMBA FIJA  
TIPO INSERTADO  
SISTEMA ABIERTO

FIG: 21



BOMBA FIJA  
TIPO INSERTADO  
SISTEMA CERRADO

FIG: 22



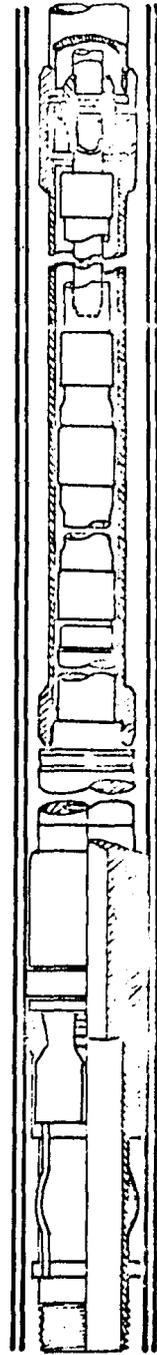
HERRAMIENTA J

Fig. 23



BOMBA FIJA  
TIPO T.R. SISTEMA ABIERTO

Fig. 24



BOMBA FIJA  
TIPO T.R. SISTEMA CERRADO

Fig. 25

Dos tipos de arreglos de tubería de fluido motriz pueden ser usados - con bombas de T.R., en un sistema de flujo cerrado. Un arreglo de tubería con céntrica de fluido motriz es mostrado en la Figura 26. La bomba y el empacador 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 pozos productores con gas, este debe pasar por la bomba en tipos - de T.R.; por lo que puede ser empleado sólo donde la presión de fondo fluyendo se espera que sea mayor del punto de presión de burbuja, por un tiempo suficiente que justifique tal instalación.

En algunos casos una tubería de venteo paralela puede introducirse, - en la cual se extraerá el gas y ya no pasará por la bomba.

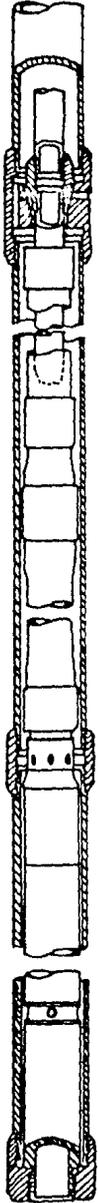
### 3) Bombas de tubería de producción.

Este tipo no es común su empleo, es aplicado cuando se requiere más - capacidad que la que puede ser obtenida cuando la bomba es de otro tipo. La - Figura 27 muestra una bomba de tubería de producción.

La corriente de fluido motriz pasa concéntricamente, mezclándose con el fluido producido, a través del espacio anular. La desventaja de las bombas de tubería de producción es de que la corriente debe ser retirada para colocar la bomba. El uso de estas bombas, está limitado a emplearse en sistemas abier - tos.

Equipo Auxiliar.- Varios dispositivos auxiliares pueden ser incluidos en el diseño de la bomba, algunos son descritos a continuación:

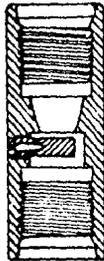
i). Válvula de seguridad (tipo check) de la tubería de fluido motriz. Las bombas fijas son usualmente equipadas con una válvula de seguridad de flujo invertido para prevenir el regreso de flujo de los fluidos del pozo. Con - la cual se evita que el fluido retorne al motor de la bomba, cuando ésta suc-



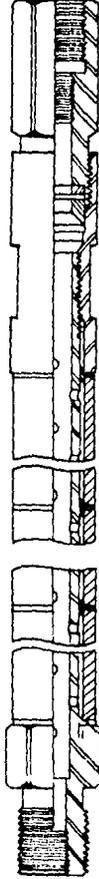
**BOMBA T.P.**  
**Fig.26**



**VALVULA DE SEGURIDAD**  
**Fig. 28**



**VALVULA DE DRENE**  
**Fig. 29y30**



**FILTRO DE ARRANQUE**  
**Fig. 27**

cione, puesto que en ese momento deja de bombear.

Una válvula de seguridad de fluido, es mostrada en la Figura 28.

ii). Cople de desfogue. En la extracción de la bomba, la tuberfa a la que esté acoplada, está llena de fluido, por lo que es necesario derena, -- función que realiza el cople de desfogue.

La Figura 29 muestra un corte del piñón, el cual puede abrirse para drenar el interior de la tuberfa, mediante la caída de una barra, la cual se -- arroja en superficie.

iii). Filtros de arranque. Para proteger la bomba nueva (en el momento de arranque) de la corriente de flujos con abrasivos, ya sean arenas, óxi-- dos de la tuberfa, o algún otro material inusual el cual puede haber sido in-- troducido en la colocación de la tuberfa, un filtro en la parte superior es -- instalado como medida de previsión.

El fluido motriz pasa a través del filtro antes de accionar la bom-- ba. La Figura 30 muestra este ensamble.

#### B) SISTEMA DE BOMBA LIBRE

El sistema de bomba libre, difiere del sistema de bomba fija en que -- la bomba no se encuentra anclada a la tuberfa y puede ser removida en cualquier -- disturbio de la tuberfa.

La bomba usada, es la misma, a excepción de algunas adaptaciones adicionales. Las conecciones en la cabeza del pozo y los controles descritos anteriormente así como el arreglo en el fondo del pozo, son diferentes de los -- usados en el sistema de bomba fija.

La Figura 31 ilustra el principio de la bomba libre.

Para simplificar la descripción de la operación del sistema de bomba li-

bre, se considera primero un sistema de flujo abierto. En este caso, las dos tuberías usadas para el fluido motriz y el fluido de retorno (fluido motriz -- más fluido de la formación) son normalmente paralelas, pero en las instalaciones del tipo de T.R., o para pequeñas bombas, éstas pueden ser concéntricas.

En cualquier caso, las dos tuberías son conectadas en el extremo bajo el tubo "U" (debido a su forma se le llama así). En el fondo de dicho tubo -- "U" se tiene una válvula de asentamiento, con lo que el sistema se mantiene -- lleno de fluido.

La Figura 32 muestra la válvula de asentamiento cerrada, efectuando el circuito del tubo en "U".

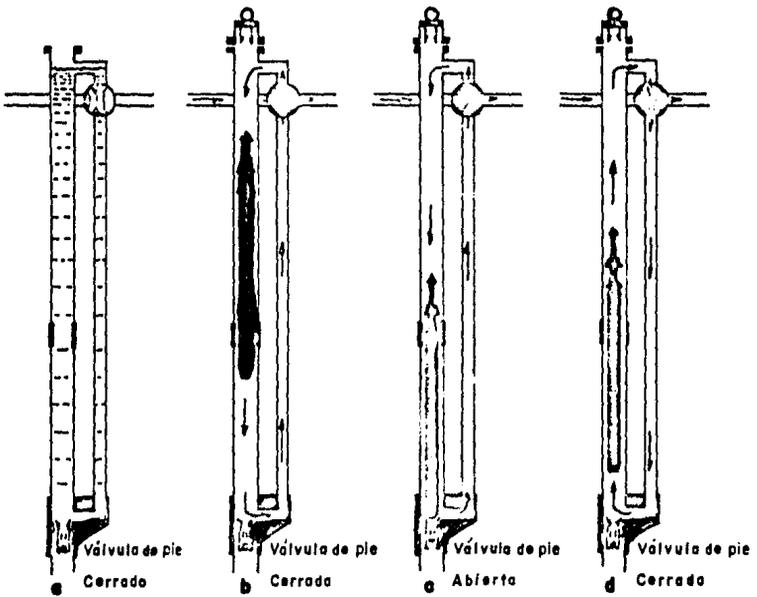
Cuando la bomba es introducida y se inicia la operación, la succión -- de la bomba releva la carga de asentamiento de la válvula y durante la operación, la válvula de bola u otro elemento de sello, cierran.

Cuando el fluido es invertido para remover la bomba, la válvula de -- asentamiento se cierra para establecer el circuito en la tubería "U".

La Figura 33 muestra la válvula de asentamiento, la cual puede ser colocada mediante una línea (alambre) que provee un medio para detener la válvula en posición normalmente abierta, cuando esté en operación.

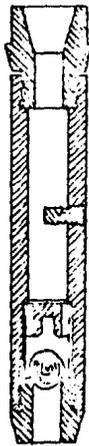
#### IV.2.3. FACTORES QUE DISMINUYEN LA EFICIENCIA DEL EQUIPO SUBSUPERFICIAL<sup>21</sup>

- 1) Bajo suministro de fluido motriz a la unidad de fondo
- 2) Taponamiento en las tuberías subsuperficiales
- 3) Escapes de las tuberías de fondo
- 4) Desgaste del Motor
- 5) Cambio de condiciones del pozo



**PROCEDIMIENTO DE INSTALACION DE UNA BCMDA LIBRE**

**Fig. 31 y 32**



**VALVULA DE PIE**

**Fig. 33**

1) Bajo Suministro de F.M. a la unidad de producción.- Una fuerte baja del suministro de F.M. a la unidad de producción se manifiesta como un - - fuerte descenso de la presión. Una pérdida menor es indicada por una mas pequeña caída de presión.

Si la bomba superficial no suministra el volumen necesario a la unidad de producción, ésta no trabaja, debido a que la bomba subsuperficial no da empujadas. Y por lo tanto no se podrán elevar los fluidos del pozo hacia la superficie, disminuyéndose considerablemente la producción.

2) Taponamiento en las Tuberías Subsuperficiales.- Toda la obstrucción de la corriente de fluidos en el sistema, suele ser acusada por un aumento en la presión de operación, por merma de producción o por ambas cosas. Una obstrucción parcial como la causada por deposición gradual de parafina ordinaria no impide el funcionamiento de la bomba de fondo. Lo que sí para la bomba es una obstrucción total, como la causada por una válvula cerrada.

Si el tubo de succión de la bomba de fondo se ostruye parcialmente, dentro del pozo, la consiguiente pérdida de producción se suele advertir por la violenta inversión del émbolo a causa de la alta presión de operación. Una obstrucción completa de la bomba de fondo significa que del pozo solamente se obtendrá el fluido motriz. Tales obstrucciones se pueden despejar, por lo común, sacando la válvula fija y, en caso necesario, también la tubería de producción, para limpiar los punzamientos o el segregador de gas.

Una válvula cerrada, en las tuberías de desfogue de gas, causa pérdida de la producción del pozo.

e) Escapes de las Tuberías.- Una de las más comunes causas de mal funcionamiento son las goteras o escapes de las tuberías, tanto superficiales como subsuperficiales. Frecuente es la posible predicción del sitio de escape -

por la forma en que afecta la operación del sistema de Bombeo Hidráulico. Por ejemplo, una súbita caída de la presión de operación acompañada por falta de emboladas de la bomba de fondo, puede ser indicio de un escape grande de la tubería del F.M. o de la misma entre el control central y la boca del pozo.

Si la bomba sigue embolando pero a presión reducida, lo probable es que haya un escape menor en la Tubería del Fluido Mótriz o en la tubería Superficial.

Un escape de la tubería de producción puede también causar baja en la presión de operación, pero la bomba de fondo puede continuar embolando a la misma velocidad si la sección de control está provista de un dispositivo de flujo constante. Si no lo tiene, el escape de la tubería de producción causará, no sólo el descenso de la presión, sino también un aumento en la velocidad de la bomba de fondo.

Desde luego, un escape de la T.P. vendrá siempre acompañado de pérdida de volumen de producción, y lo mismo ocurre en caso de escape del tubo que va del pozo a la batería de tanque.

Tales escapes no se presentan súbitamente. Pueden comenzar por un mínimo escape y agrandarse gradualmente. En tal caso, también serán graduales las pérdidas de presión y de volumen producido.

Un escape más difícil de predecir es el ocurrido en la válvula de cuatro pasos, en instalaciones de bomba libre. Según lo grave que sea, tal escape puede ocasionar la misma pérdida de presión de operación y de producción causadas por escapes de la Tubería de F.M., y por taponamiento de la boca toma de la bomba. Afortunadamente, la válvula mencionada está situada en forma tal que fácil y rápidamente se puede verificar su condición de operación. (Ver equipo Superficial)

4) Desgaste del Motor Subsuperficial.- El desgaste normal de las piezas del motor y de la bomba de fondo se muestra en la forma de aumento de la cantidad de fluido motriz necesario para mantener la velocidad de la bomba de fondo.

El desgaste de las piezas del lado hidráulico lo indica la pérdida de producción del pozo.

A veces la falla de la bomba hidráulica deja pasar todo el fluido motriz sin hacer funcionar a la bomba de fondo. Entonces las presiones de operación bajarán y los manómetros indicarán emboladas más lentas, o nula embolada. La rotura de un vástago intermedio puede causar también, en ciertos modelos, - una súbita baja de la presión de operación aunque la bomba continúe embolando pero más lentamente.

Si aumentan las presiones de operación pero la bomba no da emboladas, lo probable es que la bomba esté "trabada". En tales casos, el sistema puede permitir o no la circulación de F.M.

Cuando las válvulas de la bomba se han cortado y separado, tal anomalía se puede advertir por una violenta inversión (de embolada ascendente a descendente). Esto ocurrirá sólo en la carrera de fuerza de bombas de acción sencilla. En las de doble acción (cuatro tiempos) ocurrirá en la embolada ascendente, en la descendente o en ambas, según las válvulas que se hayan cortado.

5). Cambio de condiciones del pozo.- A través de su vida productiva, - un pozo cambia o puede cambiar de varios modos que afectan las condiciones de operación del Sistema de Bombeo Hidráulico. Por ejemplo, el nivel del fluido puede elevarse gradualmente en cierto período de tiempo y causar una caída de la presión de operación si la velocidad de la bomba permanece constante.

La misma caída de presión de operación puede ser debida a un aumento gradual del volumen de gas que pasa a través de la bomba de fondo. Tal condi-

ción suele ir acompañada por una pérdida de volumen de presión.

Pero las condiciones del pozo pueden cambiar también para causar un aumento de la presión de operación. Por ejemplo, si aumenta el corte del aceite por agua, aumentará la presión del crudo.

Si la anomalía consiste en exceso de gas, quizás haya que cambiar la instalación de fondo para proveer de una sarta de desfogue, instalar un segregador de gas o fijar la bomba a mayor profundidad. Si el exceso de gas es muy grave, tal vez haya la necesidad de instalar un estrangulador por sobre la bomba para suavizar su acción.

Si las condiciones del pozo han cambiado de modo tal que se requiera más presión, ésta se debe aumentar. No obstante, las válvulas de alivio de la presión se deben graduar según se necesite, con la finalidad de cerciorarse de que el venteo por esas válvulas no le quita F.M. al pozo.

Si el pozo está bombeando en vacío, tal anomalía se manifestará -- por una violenta inversión de la embolada, de ascendente a descendente. O bien, la presión puede aumentar al cambio de embolada y luego bajar rápidamente. Esta última indicación del manómetro es indicio de estrangulación por la válvula del motor. En cualquiera de los dos casos, hay que hacer una de dos cosas:

1º) Parar la bomba y ponerla de nuevo en marcha pero a más baja velocidad de lo normal, o

2º) Bombear el pozo intermitentemente para evitar el bombeo en vacío.

## CAPITULO V

DISEÑO DE UNA INSTALACION DE BOMBEO HIDRAULICO

El diseño de un sistema de bombeo hidráulico es complejo, por lo -- que antes que todo es necesario disponer y conocer el historial de los pozos a los que se implatará este sistema artificial de producción.

Debe por consiguiente conocerse las condiciones mecánicas de los -- pozos, el régimen de explotación tenidos, así como los fluidos obtenidos.

V.1) DECISIONES Y ELECCIONES EN EL DISEÑO

Al diseñar un sistema de bombeo hidráulico, necesariamente se ten-- drán que tener en cuenta un gran número de aspectos que influyen en la opera-- ción; para lo cual es importante tomar las siguientes decisiones:

- a)\* Sistema de flujo de fluido motriz por emplear (AFM o CFM)
  - b)\* La unidad de fondo bombeará el gas producido o éste será ven-- teado.
  - c)\* Arreglo de tuberías que serán instaladas.
  - d)\* Tipo de unidad subsuperficial (bomba-motor) adecuada.
  - e)\* Determinar si el diseño es para un sólo pozo o varios (estación "satélite")
  - f)\* Elegir la unidad superficial
  - g)\* Sistema de fluido motriz por emplear.
- a) Decidir emplear un sistema abierto o uno cerrado de fluido motriz, entre otros aspectos (Capítulo III), está en función de las presiones de tra-- bajo. Si es empleado un sistema abierto de fluido motriz, se tendrá un con-- ducto de flujos menos que empleando un sistema cerrado, provocándose por lo -

mismo, menos caída de presión por fricción en tuberías.

Por otro lado, considerando que un sistema abierto el fluido motriz al mezclarse con el producido puede crear un fluido que ofrezca mayor resistencia a fluir, que separando los fluidos como ocurre al emplear sistema de flujo cerrado (especialmente cuando el fluido motriz es agua).

b) El equipo subsuperficial de bombeo hidráulico (bomba de fondo) no está diseñado para que circule gas a través de él, por lo cual, si por alguna circunstancia fluye gas (cantidades significantes) la eficiencia de bombeo -- disminuye, con lo que se tendrá que sobrediseñar este equipo de fondo.

Se ha tomado como usual ventear el gas producido siempre que se tenga relación gas-aceite de 500 pie<sup>3</sup>/bl o mayor y/o presión de fondo menor de 400 lb/pg<sup>2</sup>, aunque esto no es obligatorio.

Bajo condiciones de prueba en la bomba hechas por los fabricantes, la eficiencia encontrada en 100%, representa aproximadamente un 85% en condiciones reales de trabajo, siempre y cuando no fluya gas a través de la bomba. Si no es el caso, y el gas pasa por la bomba, esta eficiencia disminuye.

La forma de poder cuantificar la eficiencia real de la bomba circulando gas, puede hacerse empleando la Figura 34, en la cual con la presión de entrada a la bomba (lb/pg<sup>2</sup>), la relación gas-aceite (pie<sup>3</sup>/bl), la densidad del aceite (<sup>0</sup>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.

La eficiencia obtenida debe multiplicarse por la eficiencia que tendría si venteara el gas (usualmente 85%) con lo que se obtiene la eficiencia real de la bomba circulando gas.

c) El arreglo de tuberías que se emplee, está en función, en primer --

lugar, del diámetro interno de la Tubería de Revestimiento de explotación, y en segundo lugar del sistema de flujo de fluido motriz empleado.

Lógicamente si el diámetro interior de la tubería de revestimiento es pequeño, sería difícil o imposible instalar determinados arreglos de tuberías.

En sistemas de flujo de fluido motriz abierto, son necesarios sólo dos ductos de flujo, una de inyección y otro de producción (Capítulo III), es recomendable instalar dentro de la T.R. dos sartas paralelas de tuberías con un fluido empacante en el espacio anular. Aunque es posible emplear una sola tubería como inyectora y emplear el espacio anular para producir (esto es realizado cuando el diámetro de la T.R. es pequeño, cuando existe carencia de -- tubería o por economía).

En un sistema cerrado de fluido motriz son tres los ductos necesarios, uno para inyección de fluido motriz, otro para retorno del mismo y el - tercero para el fluido producido.

Aunque es conveniente el empleo de tres sartas paralelas de tuberías para satisfacer la necesidad y el espacio anular con fluido empacante o bien para ventear el gas, puede usarse dos sartas de tuberías y el espacio anular en los arreglos siguientes:

1) Dos sartas de tubería, una para inyección de fluido motriz y - - otra para retorno del mismo, empleando el espacio anular como ducto de producción.

2) Dos sartas de tuberías, una de inyección de fluido motriz, otra de producción y el espacio anular para retorno del fluido motriz.

d) La elección de la unidad de fondo depende fundamentalmente del gasto de fluido producido deseado o esperado, en el fondo del pozo.

Los fabricantes de bombas, emiten catálogos con las especificaciones de éstas (Figura 5-1 a la 14), las características se encuentran dispuestas en seis columnas con la especificación correspondiente de la manera siguiente:<sup>24</sup>

- 1er. columna.- Se encuentra el diámetro de la bomba (pg), en algunas también aparece el del pistón de la bomba y el del motor. El diámetro se elige en función del de la tubería de inyección de fluido motriz.
- 2da. columna.- Aparece la relación bomba-motor P/E, la bomba seleccionada debe tener este valor menor al obtenido al dividir 10,000 entre la profundidad de colocación de la bomba (pie).
- 3er. columna.- Enlista el máximo gasto que puede manejar (bl/día), se aconseja no emplear a valores mayores del 85% de este valor, para mantener el gasto esperado.
- 4ta. columna.- Presentan el desplazamiento máximo del motor de fondo (bl/día por SPM), este valor es importante para determinar el gasto de fluido motriz necesitado.
- 5ta. columna.- Muestra el desplazamiento máximo de la bomba de fondo (bl/día por SPM), valor importante para el cálculo de las pérdidas de presión por fricción en la unidad de fondo.
- 6ta. columna.- Última columna, presenta la velocidad máxima de desplazamiento en la bomba (SPM).

En el diseño, más de una bomba puede cumplir y satisfacer las necesidades, por lo que elegir la adecuada estará en función del costo, de la disponibilidad y el futuro del pozo.

- e) El diseño debe considerar si es para un pozo o varios, si se trata

de una estación de varios pozos o "satélite" se deben correlacionar los pozos, para determinar si es posible emplear el mismo fluido motriz, el mismo sistema de flujo, si el equipo de almacenamiento puede ser común, etc.

En diseño de un pozo, no es necesario tomar estas consideraciones, pero es necesario estar consientes, que es mas conveniente instalar una estación de bombeo "satélite", si se tienen varios pozos, que instalar un sistema individual en cada pozo.

En este trabajo, prácticamente se enfoca el diseño de un sólo pozo, pero es posible, haciendo ciertos arreglos, diseñar a su vez una estación "satélite".

f) El equipo superficial se encuentra en función 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.

A su vez, debe tomarse en cuenta otros aspectos, entre los más importantes están, el sistema de flujo de fluido motriz, el espacio disponible, y de la disposición del equipo.

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

- i) Tipo de sistema de flujo de fluido motriz
- ii) Fluidos de la formación
- iii) Medio ambiente
- iv) Disponibilidad
- v) Costos.

El gasto de fluido motriz necesario, se determina dependiendo de la unidad de fondo, se obtiene multiplicando el desplazamiento del motor (bl/dfa

por SPM) de la columna 4 de la tabla de especificaciones, con la velocidad de desplazamiento de la bomba (SPM). El valor encontrado corresponde a una eficiencia de 100% en el motor, por lo que es dividido entre la eficiencia real (usualmente tomado 90%).

## V.2) CUANTIFICACION DEL DISEÑO<sup>24</sup>

El diseño del sistema de bombeo hidráulico, consiste:

- 1) Determinar el gasto de fluido producido (aceite) que se tendrá en el fondo.
- 2) Elegir la bomba de fondo.
- 3) Calcular el gasto de fluido motriz necesario
- 4) Cuantificar las pérdidas por fricción (presión) en la unidad de fondo.
- 5) Determinar las viscosidades cinemáticas de los fluidos
- 6) Calcular los gradientes de presión por longitud de los fluidos.
- 7) Computar las presiones empleadas
- 8) Cuantificar las potencias requeridas.

A continuación serán desarrollados estos incisos; la nomenclatura se encuentra al final del capítulo.

### V.2.1) GASTO DE FLUIDO MANEJADO POR LA BOMBA

Este gasto se encuentra constituido por el gasto de aceite producido, y el de agua, en el fondo:

$$Q_t = Q_o + Q_w$$

pero la bomba al no trabajar al 100%, debe afectarse por la eficiencia real, lo que equivale a manejar más fluido. El gasto para el cual se dimensiona la

bomba es por lo tanto:

$$Q_b = Q_t / EFBO$$

#### V.2.2) ELECCION DE LA BOMBA

Haciendo:

$$PE_{max} = 10,000 / Prof. (pie)$$

se encuentra el valor máximo de relación bomba-motor, con este valor, con  $Q_b$  y el diámetro de la tubería de inyección de fluido motriz, se recurre a tablas de especificación (emitidas por el fabricante) y se selecciona la adecuada, - la cual debe satisfacer:

- El diámetro de la bomba debe ser compatible con el de la tubería de inyección de fluido motriz.
- El gasto que maneja (bomba) ser mayor que  $Q_b$ .
- La relación  $PE_{max}$  ser mayor a la PE de las tablas.

#### V.2.3) CALCULO DEL GASTO DE FLUIDO MOTRIZ

Estará en función de la bomba seleccionada, con lo cual se realiza:

- Se obtiene la velocidad de bombeo (SPM)

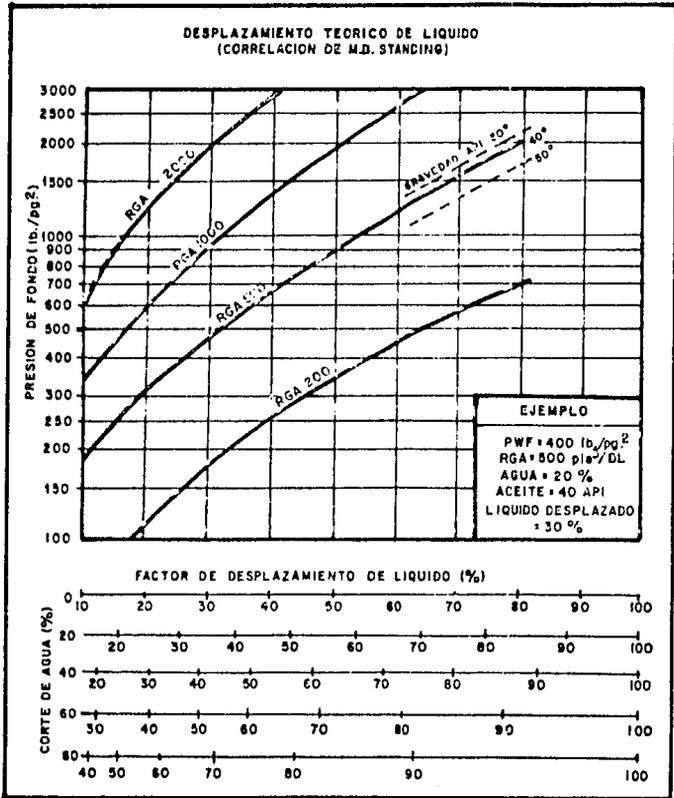
$$SPM = Q_b / (q_4 \times EFBO)$$

- Con lo que el gasto de fluido motriz es (bl/día):

$$Q_{fm} = q_1 \times SPM / EFM$$

#### V.2.4) DETERMINACION DE LAS PERDIDAS DE PRESION, POR FRICCIÓN EN LA UNIDAD DE FONDO

Empleando la Figura 35, que necesita el número de la tabla correspondiente (a la que se encuentra la bomba elegida), con la viscosidad cinemática del fluido producido (inciso siguiente) y el por ciento de velocidad de --



**EFICIENCIAS VOLUMETRICAS TEORICA DE LA BOMBA (N.V.)**

**Fig. 34**



bombeo obtenido con:

$$\% \text{ vel. bombeo} = (\text{SPM}/\text{SPM bomba}) \times 100$$

se lee la presión afectada por la gravedad específica del fluido que disipa - la bomba API.

Para obtener la presión perdida en la unidad, sin efecto de carga - del fluido se realiza:

$$\Delta P = \text{API} \times \text{S.G.}$$

la pérdida en la bomba se obtiene con:

$$\text{FPE} = 0.25 \times \Delta P \times q_4 \times \text{EFBO} / q_4 \text{ max.}$$

la pérdida en el motor con:

$$\text{FEE} = 0.75 \times \Delta P$$

finalmente las pérdidas de presión por fricción en la unidad de fondo (lb/pg<sup>2</sup>) es:

$$\text{FP} = \text{FPE} + \text{FEE}$$

#### V.2.5) DETERMINACION DE LAS VISCOSIDADES CINEMATICAS DE LOS FLUIDOS.

La viscosidad está en función de la temperatura y la presión a la - que se encuentre sometido el fluido, empleando la Figura 36 (correlación - - Brown of Coberly) con la densidad del fluido (<sup>0</sup>API) y la temperatura (<sup>0</sup>F) se encuentra, siempre y cuando sea un aceite. Si el fluido es agua con la Figura 37 y la temperatura se obtiene la viscosidad.

#### V.2.6) CALCULO DE LOS GRADIENTES DE LOS FLUIDOS.

El gradiente de un fluido (lb/pg<sup>2</sup> /pie) se obtiene:

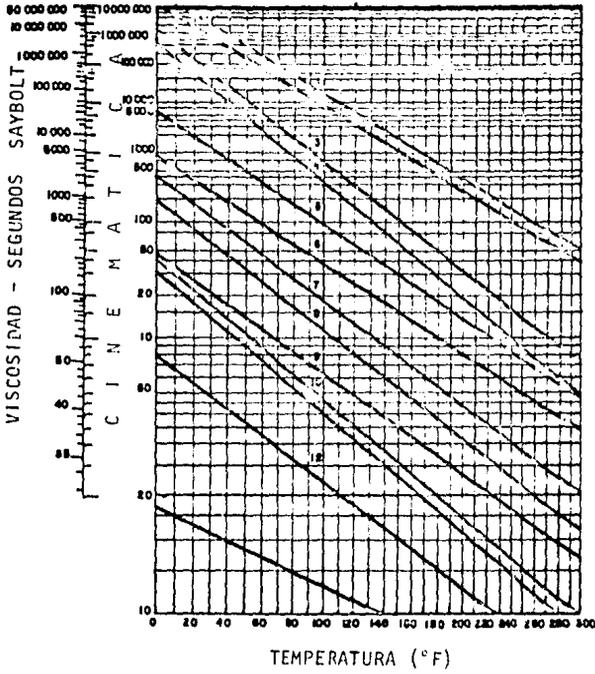
$$\text{Gd} = \text{SG} * 0.433$$

donde:

$$\text{SG} = 141.5 / (131.5 + {}^0\text{API})$$

VISCOSIDAD DEL ACEITE

FIG: 36

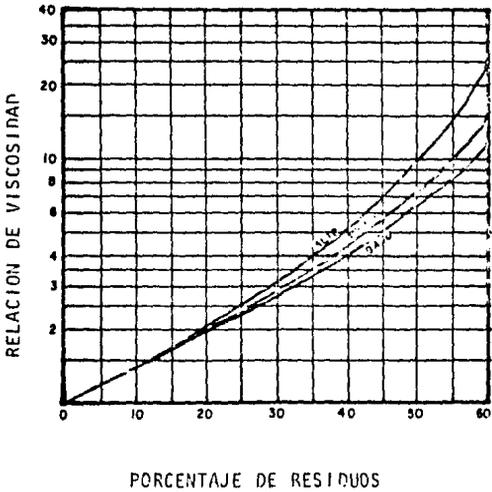
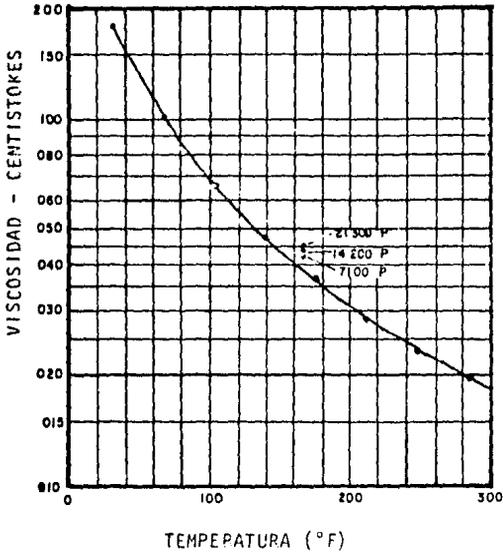


°API	INDICE B	C A M P O	°API	INDICE B	C A M P O
1 9.5	2.93	BOSCAN	8 30.6	3.73	VENTURA
2 10.7	2.92	BOSCAN	9 31.1	3.44	KETTLEMAN
3 14.0	3.76	MARICOPA	10 36.4	4.04	OKLAHOMA
4 15.0	3.98	WILMINGTON	11 34.6	4.21	KETTLEMAN
5 19.8	3.24	SANSINEMA	12 44.0	3.65	DENTON
6 25.6	3.09	SCHOLEM	13 50.7	2.27	KETTLEMAN
7 26.8	3.61	SEAL BEACH			

TABLA **V**

VISCOSIDAD DEL AGUA VS. TEMPERATURA

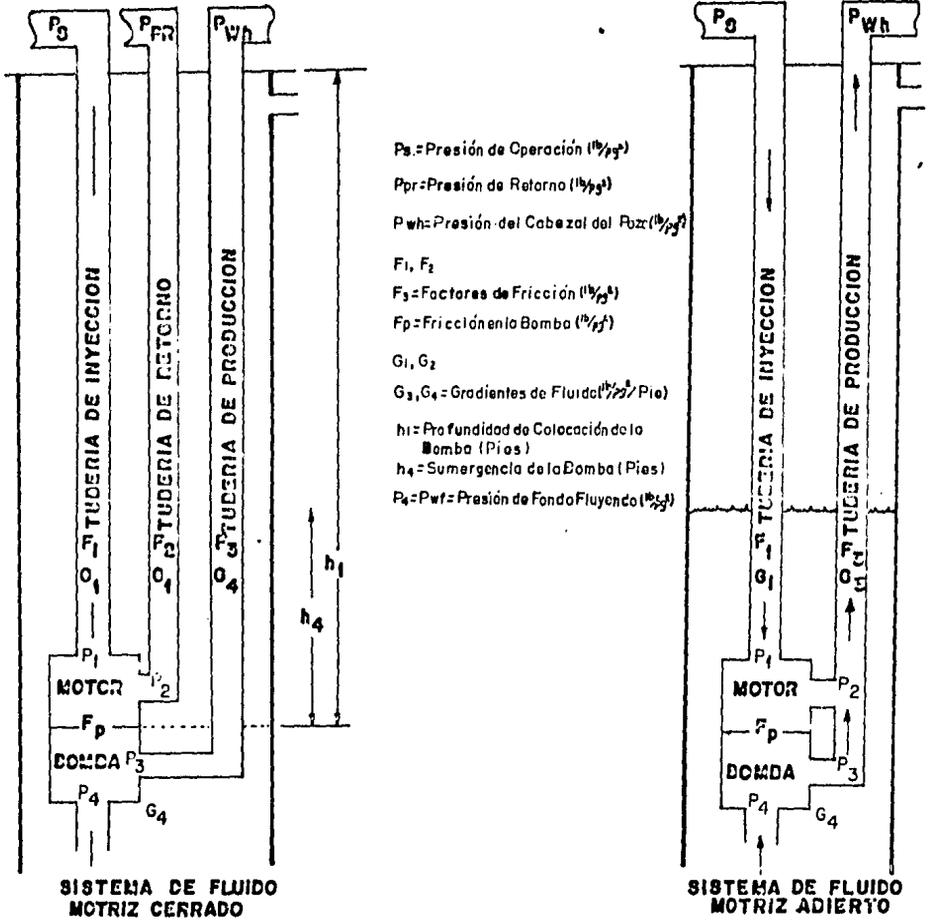
FIG: 37



EFFECTOS DE EMULSION EN LA VISCOSIDAD DEL ACEITE

FIG: 38





$P_0$  = Presión de Operación ( $lb/ps^2$ )  
 $P_{PR}$  = Presión de Retorno ( $lb/ps^2$ )  
 $P_{wh}$  = Presión del Cabezal del Pozo ( $lb/ps^2$ )  
 $F_1, F_2$   
 $F_3$  = Factores de Fricción ( $lb/ps^4$ )  
 $F_p$  = Fricción en la Bomba ( $lb/ps^4$ )  
 $G_1, G_2$   
 $G_3, G_4$  = Gradientes de Fluido ( $lb/ps^2/Pie$ )  
 $h_1$  = Profundidad de Colocación de la Bomba (Pies)  
 $h_4$  = Sumergencia de la Bomba (Pies)  
 $P_4 = P_{wf}$  = Presión de Fondo Fluyente ( $lb/ps^2$ )

Fig. 40

$h_1 G_1 - F_1 + P_s = (h_1 G_3 + F_3 + P_{wh}) (1 + P/E) - h_4 G_4 \times P/E + FP$   
 despejando la presión superficial

$$P_s = (h_1 G_3 + F_3 + P_{wh}) \times (1 + P/E) - P_{wf} \times (P/E) + FP - (h_1 G_1 - F_1)$$

V.2.8) POTENCIAS REQUERIDAS

Potencia superficial requerida: (HP)

$$HP_{sup} = P_s \times Q_{fm} \times 1.7 \times 10^{-5}$$

Potencia subsuperficial: (HP)

$$HP_{fon} = (P_3 - P_4) \times Q_b \times 1.7 \times 10^{-5}$$

V.2 PROGRAMA DE COMPUTO.

V.3.1 INTRODUCCION AL PROGRAMA

```
*****
*          PROGRAMA DE COMPUTO BOMHID          *
*****
```

TENER UN PROCESO SISTEMATICO, QUE PERMITA OBTENER UN DISEÑO, ES ESENCIAL EN TODAS LAS RAMAS, NO SOLO DE INGENIERIA, SI NO DE CUALQUIER PROFESION.

EN UN DISEÑO DE BOMBEO HIDRAULICO, DONDE ES NECESARIO DETERMINAR Y CALCULAR UNA GRAN VARIEDAD DE PARAMETROS, CONSIDERANDO MUCHAS ALTERNATIVAS, UN METODO QUE MANTENGA UNA SECUENCIA DE PASOS, COMPARACIONES Y DECISIONES ES FUNDAMENTAL. Y SI ESTE METODO, PUEDE REPRESENTARSE MEDIANTE UN ALGORITMO EL CUAL SEA FACTIBLE SER ESCRITO EN ALGUN LENGUAJE DE COMPUTO, SE AHORRARIÁ ESFUERZO Y TIEMPO, ASI COMO SE ELIMINARIAN LOS ERRORES HUMANOS INEVITABLES (MAL LECTURA DE GRAFICAS, TRUNCAMIENTO DE DECIMALES, INDECISIONES, INADECUADA PRESENTACION DE RESULTADOS, ETC.).

ES AGUI DONDE EL PROGRAMA DE COMPUTO BOMHID RESUELVE ESTAS NECESIDADES.

EN ADELANTE, SERA REFERIDO EL PROGRAMA DE COMPUTO, UNICAMENTE POR SU NOMBRE "BOMHID", Y DONDE SE ESCRIBA ESTA PALABRA LOGICAMENTE SE ESTA HABLANDO DE TODO EL PROCESO DE COMPUTO.

COMO SE MENCIONO, UN PROGRAMA DE COMPUTO ES, HOY EN DIA, ESENCIAL PERO DEBE SER ACCESIBLE Y FACIL DE ENTENDER ASI COMO DE USAR, DE NO SERLO, EN VES DE AYUDA SERA UN PROBLEMA MAS. DEBIDO A QUE SI ES UN PROGRAMA RIGIDO (EN DONDE LOS VALORES DEBAN TENER UN CIERTO ORDEN,

POSICION, DONDE NO SE PUEDE EXCEPTUAR EL DIGITO, DONDE LAS VARIABLES REQUIERAN ESPECIFICOS CARACTERES, ETC.), SU EMPLEO SERA LIMITADO Y ESQUIVADO.

BOMHID ES UN PROGRAMA DE COMPUTO QUE REALIZA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO HIDRAULICO, ESCRITO EN LENGUAJE FORTRAN Y ACCESIBLE A SER INSTALADO EN CUALQUIER SISTEMA DE COMPUTO QUE MANEJE ESTE LENGUAJE.

FUE PRORADO Y CORRIDO DENTRO DEL SISTEMA UNIVAC 1110, Y PARA SER INSTALADO EN OTRO SISTEMA DE COMPUTO SOLO ES NECESARIO CAMBIAR LAS TARJETAS DE ORDEN DE CORRIDO Y PROCESO, LAS CUALES CAMBIAN PARA CADA MAQUINA, PERO EL LISTADO EN SI NO NECESITA MODIFICACION.

PARA FACILIDAD EN EL EMPLEO DE BOMHID, SE ENCUENTRA ESCRITO PARA PROCESARSE EN FORMA CONVERSACIONAL, ESTO ES, TENIENDO UN DIALOGO MAQUINA-USUARIO DIRECTAMENTE EN PANTALLA. SI SE DESEAN EMPLEAR TARJETAS PERFORADAS SOLO ES NECESARIO COLOCAR LOS VALORES EN ORDEN. AUNQUE ESTO, TRUNCA LA ENORME VENTAJA DE PODER "DIALOGAR" CON LA MAQUINA.

AL SER CORRIDO BOMHID, CONVERSACIONALMENTE, CUALQUIER PERSONA PUEDE ALIMENTARLE LOS DATOS, AUNQUE SE ENCUENTRE TOTALMENTE DESLIGADA DEL DISEÑO DE BOMBEO HIDRAULICO, LO UNICO QUE NECESITA, SON LOS NOMBRES DE LOS PARAMETROS PEDIDOS, Y SUS CORRESPONDIENTES VALORES (EJEMPLO: GASTO DESEADO EN SUPERFICIE: 500 BL/DIA, CON LO CUAL TRANQUILAMENTE TECLEARA EL NUMERO 500 Y TRANSMITIR -SIN NECESIDAD DE COLOCARLO A DETERMINADOS ESPACIOS Y PONERLE O NO EL PUNTO QUE SEPARA LAS DECIMALES-).

CONSIDERANDO ADEMAS QUE EN UN DISEÑO TAN LARGO COMO ES EL DEL BOMBEO HIDRAULICO, SON MUCHOS LOS DATOS QUE SE NECESITAN, BOMHID LOS SOLICITA EN UN ORDEN DETERMINADO DE SECCIONES:

1.- DATOS DE IDENTIFICACION DEL POZO

- 2.- CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DEL POZO
- 3.- CARACTERISTICAS DE LOS FLUIDOS
- 4.- VARIABLES DE CONTROL
- 5.- CARACTERISTICAS DE LA BOMBA SUB-SUPERFICIAL
- 6.- TUBERIAS EMPLEADAS.

ADENAS, EL USUARIO SE ENCUENTRA EN LA POSIBILIDAD DE TECLEAR ALGUN(OS) DATO(S) ERRONEAMENTE, Y SI ESTO LO HACE EN MEDIO O AL FINAL SERIA MUY MOLESTO TRUNCAR LA CORRIDA Y VOLVER A TECLEARLOS. POR ELLO BOMHID, DESPUES DE SOLICITAR LOS PARAMETROS DE UNA SECCION, PREGUNTA SI SE DESSEA CAMBIAR ALGUN(OS) DATO(S), PRESENTANDOLE EN PANTALLA LOS RECIEN TECLEADOS, DE ESTA MANERA EL USUARIO, SI QUIERE, PUEDE VOLVER A TECLEAR LA SECCION EN QUE COMETIO EL ERROR O QUIERA CAMBIAR Y SI NO CONTINUAR EL PROCESO.

PARA CORRER EL PROGRAMA (EN EL SISTEMA UNIVAC 1100), SOLO ES NECESARIO SEGUIR LOS SIGUIENTES PASOS:

- A) TECLEAR LA CLAVE DE LA TERMINAL EMPLEADA:  
 IMP021T
- B) TECLEAR LA CLAVE DE USUARIO Y EL CORRESPONDIENTE PASSWORD:  
 DXM0RMG/B
- C) TECLEAR EL NUMERO DE PROYECTO AL QUE SE CARGARA LA CORRIDA (TIEMPO DE MAQUINA):  
 D1480
- D) TECLEAR LA INSTRUCCION DE EJECUCION:  
 XQT ARCHIVO.ELEMENTO (DONDE SE ENCUENTRE BOMHID)

EN ESTE MOMENTO SE ENCONTRARA EL USUARIO DENTRO DE LA CORRIDA, Y COMENZARA LA LECTURA DE DATOS. A CONTINUACION SE MUESTRA LA FORMA EN QUE SE SOLICITAN, SI ES NECESARIO APARECE UNA EXPLICACION.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO HIDRAULICO  
 LECTURA DE LA PRIMEA SECCION: "DATOS DE IDENTIFICACION DEL POZO"

DATE SOLICITADO	RESPUESTA	OBSERVACION
NOMBRE DEL POZO	* 1	TECLEAR TRANSMIT
NOMBRE DEL CAMPO	INGENIERIA	" "
NOMBRE DEL DISTRITO	UNAM	" "
NOMBRE DE LA ZONA	MEXICO	" "

ACONTINUACION APARECEN LOS DATOS ANTES TECLEADOS:

NOMBRE DEL POZO	1
NOMBRE DEL CAMPO	INGENIERIA
NOMBRE DEL DISTRITO	UNAM
NOMBRE DE LA ZONA	MEXICO

NOTA1: APARECE EN PANTALLA EL LETRERO SIGUIENTE

DESEA CORREGIR ALGUN(OS) DATO(S)

SI=TECLE 1      NO=TECLE 2

SI SE ELIGE LA PRIMER OPCION (SI=1) VOLVERA A SOLICITAR LA SECCION  
SI SE ELIGE LA SEGUNDA OPCION (NO=2) CONTINUARA EL PROCESO.

LECTURA DE SEGUNDA SECCION:"CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DEL POZO"

DATE SOLICITADO	RESPUESTA	OBSERVACION
PROFUNDIDAD DE COLOCACION DE LA BOMBA (PIE)	10000	TRANSMIT
TEMPERATURA DE FONDO (G.FARH.)	300	"
DIAMETRO DEL AGUJERO (PG)	7	"
DIAM. TUBERIA DE REVESTIMIENTO (PG)	6.625	"
PRESION DE ENTRADA A LA BOMBA (LB/PG2)	1500	"
PRESION EN LA BOCA DEL POZO (LB/PG2)	75	"

A CONTINUACION APARECEN LOS DATOS ANTES TECLEADOS:

PROFUNDIDAD DE COLOCACION DE LA BOMBA (PIE)	10000.0000
TEMPERATURA DE FONDO (G.FARH)	150.0000
DIAMETRO DEL AGUJERO (PG)	7.0000
DIAM. TUBERIA DE REVESTIMIENTO (PG)	6.6250
PRESION DE ENTRADA A LA BOMBA (LB/PG2)	1500.0000

NOTA 2= IDENTICA A NOTA 1

LECTURA DE TERCER SECCION:"CARACTERISTICAS DE LOS FLUIDOS"

DATO SOLICITADO	RESPUESTA	OBSERVACION
GASTO DE ACEITE DESEADO EN SUPERFICIE (BL/DIA)	500	TRANSMIT
FACTOR DE VOLUMEN DEL ACEITE (BL/BL)	1.33	"
RELACION GAS-ACEITE (PIES/BL)	400	"
DENSIDAD DEL ACEITE (GRADOS API)	40	"
PORCIENTO DE AGUA PRODUCIDA (FRACCION)	0.3	"
DENSIDAD RELATIVA DEL AGUA (PRODUCIDA) (AGUA DULCE=1)	1.03	"
TEMP. EN LA BOCA DEL POZO (G.FARH)	100	"

ACONTINUACION APARECEN LOS DATOS ANTES TECLADOS:

GASTO DE ACEITE EN SUPERFICIE (LB/DIA)	500.0000
FACTOR DE VOLUMEN DEL ACEITE (BL/BL)	1.3300
RELACION GAS-ACEITE (PIES/BL)	200.0000
DENSIDAD DEL ACEITE (GRADOS API)	40.0000
PORCIENTO DE AGUA PRODUCIDA (FRACCION)	0.2000
TEMPERATURA EN LA BOCA DEL POZO (G.FARH)	100.0000

NOTA 3: IDENTICA A NOTA 1

LECTURA DE CUARTA SECCION:"VARIABLES DE CONTROL"

ESTA SECCION ES MUY IMPORTANTE, SERA LA QUE DETERMINE LAS DECISIONES Y LOS PASOS A SEGUIR.

DATO SOLICITADO	RESPUESTA	OBSERVACION
SE VENTEARA EL GAS (SI=1 NO=2)	1	TRANSMIT
EL PROGRAMA DETERMINA LA BOMBA (SI=1 NO=2)	1	"
SISTEMA DE FLUJO (ABIERTO=1 CERRADO=2)	2	"
FLUIDO MOTRIZ (AGUA=1 ACEITE=2)	2	"

SI EMPLEARA AGUA TECLE LA GRAV. ESPEC.

SI EMPLEARA ACEITE TECLE LA DENSIDAD (API) 34 "

PRESION EN LA SUPERFICIE A LA QUE SE

NECESITA QUE RETORNE EL FLUI. MOTR. (LB/PG<sup>2</sup>) 75 "

SE CONSIDERO CONVENIENTE COLOCAR EN ESTE LUGAR LA LECTURA DE  
DE LOS DOS ULTIMOS PARAMETROS, POR ESTAR INTIMAMENTE LIGADOS CON LOS  
OTROS.

ACONTINUACION APARECEN LOS DATOS ANTES TECLEADOS:

SE VENTEA GAS: SI=1 , NO=2 1  
 EL PROGRAMA ELIGE BOMBA: SI=1 , NO=2 1  
 SISTEMA DE FLUJO: ABIERTO=1 , CERRADO=2 2  
 FLUIDO MOTRIZ (AGUA=1 ACEITE=2) 2  
 GRAV. ESP. DEL FLUIDO MOTRIZ (S.G.) 0.84476  
 PRESION DE RETORNO DEL FLUIDO MOTRIZ (LB/PG<sup>2</sup>) 75.0000

NOTA 4: IDENTICA A NOTA 1

LECTURA DE QUINTA SECCION: "CARACTERISTICAS DE LA BOMBA SUB-SUPERFICIAL"

ESTA SECCION ESTARA EN FUNCION DE LA VARIABLE NBOM DE LA SECCION ANTERIOR.

PRIMERAMENTE APARECE EL LETRERO:

DIAMETRO DE LA BOMBA POR EMPLEAR (PG) 3 TRANSMIT  
 LOS DIAMETROS DISPONIBLES SON: 2-2.5-3-4 (PG)

SI NBOM =1, APARECE EN PANTALLA TODAS LAS BOMBAS QUE PUEDEN SATISFACER EL DISESO (EN FUNCION DE LOS DATOS YA TECLEADOS).

CARACTERISTICAS DE LAS BOMBAS QUE SATISFACEN LAS NECESIDADES DEL DISENO

I	J	PS	FE	RS	N
28	29	3.0000	.90000	1062.0000	2
91	94	3.0000	.80000	972.0000	9
103	104	3.0000	.74000	1338.0000	10

118	119	3.0000	.44900	1357.0000	12
119	119	3.0000	.60600	1874.0000	12
126	128	3.0000	.88200	2726.0000	13

DESPUES SE PRESENTA:

COLUMNA:

DE LA BOMBA SELECCIONADA TECLE

EL VALOR CORRESPONDIENTE DE LA "I" 91 PRIMERA

AHORA EL VALOR CORRESPONDIENTE DE LA "J" 94 SEGUNDA

SI NBOM =2, EL USUARIO DEBERA TECLEAR LAS CARACTERISTICAS DE LA BOMBA QUE DESEA EMPLEAR, EN EL ORDEN QUE SE SOLICITAN:

- RELACION BOMBA MOTOR (PE) \*\*\*\*\*
- GASTO QUE PUEDE MANEJAR (BL/DIA) \*\*\*\*\*
- DESPLAZAMIENTO DEL MOTOR (SPM/BPD) \*\*\*\*\*
- DESPLAZAMIENTO DE LA BOMBA (SPM/BPD) \*\*\*\*\*
- DESPLAZAMIENTO MAXIMO DE LA BOMBA (SPM/BPD)\*\*\*\*\*
- VELOCIDAD MAXIMA DE BOMBEO (SPM) \*\*\*\*\*
- NUMERO DE LA TABLA CORRESPONDIENTE \*\*\*\*\*

INDEPENDIENTE DEL VALOR DE NBOM APARECEN LAS CARACTERISTICAS DE LA BOMBA QUE EMPLEARA EL DISEÑO.

PS	PE	RS	Q1	Q4	SPM	TABLA
3.000	0.800	972.000	14.170	11.180	87.00	9

LECTURA DE SEXTA SECCION:"TUBERIAS EMPLEADAS"

ESTA SECCION TAMBIEN SE ENCUENTRA EN FUNCION DE UNA VARIABLE DE LA SECCION CUATRO (LTIPO), DEPENDIENDO DEL SISTEMA DE FLUJO, YA SEA ABIERTO O CERRADO.

SI LTIPO=1 (SISTEMA ABIERTO) APARECE:

DATO SOLICITADO	RESPUESTA	OBSERVACION
DIAM. TUBERIA DE PRODUCCION (PG)	*****	*****
SI SE PRODUCE POR ESPACIO ANULAR TECLE O.O		
DIAM. DE TUBERIA DE INYECCION DE FLUIDO MOTRIZ	*****	"

A CONTINUACION APARECEN LOS DATOS ANTES TECLEADOS:

DIAMETRO DE LA TUBERIA DE REVESTIMIENTO (PG) \*\*\*\*\*  
 DIAMETRO DE LA TUBERIA DE PRODUCCION (PG) \*\*\*\*\*  
 DIAMETRO DE LA TUBERIA DE INYECCION DE F.M.(PG) \*\*\*\*\*

NOTA 5: IDENTICA A NOTA 1

SI LIPO=2 (SISTEMA CERRADO) APARECE:

DATO SOLICITADO	RESPUESTA	OBSERVACION
DIAM. TUBERIA PRODUCCION (PG)	2.0	TRANSMIT
SI PRODUCE POR ESPACIO ANULAR TECLE 0.0		
DIAM. TUBERIA RETORNO DE FLUIDO MOTRIZ (PG)	3.0	"
SI RETORNA POR ESPACIO ANULAR TECLE 0.0		
DIAM. TUBERIA INYECCION FLUIDO MOTRIZ (PG)	3.0	"

ACONTINUACION APARECEN LOS DATOS RECIEN TECLEADOS:

DIAM. TUBERIA REVESTIMIENTO (PG)	6.625
DIAM. TUBERIA DE PRODUCCION (PG)	2.0
DIAM. TUBERIA RETORNO FLUIDO MOTRIZ (PG)	3.0
DIAM. TUBERIA INYECCION F. MOTRIZ (PG)	3.0

NOTA 6: IDENTICA A NOTA 1

LOS ANTERIORES SON TODOS LOS DATOS QUE NECESITA BOMHID, AL TECLEAR EL ULTIMO SURGIRAN LOS RESULTADOS DEL DISEÑO QUE PUEDEN OBSERVARSE EN PANTALLA. A SU VEZ ESTOS DATOS SE ALMACENAN EN UN ARCHIVO INDEPENDIENTE AL PROGRAMA.

```

*****
*   UNIVERSIDAD NACIONAL   *
*   AUTONOMIA DE MEXICO    *
*   DIVISION DE CIENCIAS DE LA TIERRA *
*   INGENIERIA PETROLERA   *
*   DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO HIDRAULICO *
*****

```

```

*****
*   DATOS DE IDENTIFICACION DEL POZO *
*****
*   NOMBRE DEL POZO      1 *
*   NOMBRE DEL CAMPO    INGENIERIA *
*   NOMBRE DEL DISTRITO UNAM *
*   NOMBRE DE LA ZONA   MEXICO *
*****

```

```

*****
*   CONDICIONES DEL POZO *
*****
*   PRESION DE ENT. COMEA    1500.00  Lb/PG2 *
*   PRESION EN LA CABEZA     75.00    Lb/PG2 *
*   TEMPERATURA DE FONDO     370.00   G.FARH *
*   TEMP. EN BOCA DEL POZO   100.00   G.FARH *
*   PROFUNDIDAD DEL POZO     17000.00  PIES *
*   PRES. RETOR. FLU. MCT.   75.00    Lb/PG2 *
*****

```

```

*****
*   GASTOS MANEJADOS *
*****
*   GASTO SUPERFICIAL        500.70  RL/DIA *
*   GASTO DE FONDO           929.41  RL/DIA *
*   GASTO DE ACEITE          740.55  RL/DIA *
*   GASTO DE AGUA            103.00  RL/DIA *
*   GASTO DE FLUIDO MOTRIZ   1530.84  RL/DIA *
*****

```

```

*****
*   VARIABLES DE CONTROL *
*****
*   SE VENTEARA EL GAS PRODUCIDO (SI=1,NO=2)  1 *
*   EL PROGRAMA ELIGE LA BOMBA (SI=1,NO=2)    1 *
*   SISTEMA EMPLEADO (ABIERTO=1, CERRADO=2)    2 *
*   FLUIDO MOTRIZ (AGUA=1, ACEITE=2)          2 *
*****

```

```

*****
*          CARACTERISTICAS DE LOS FLUIDOS          *
*****
* FACTOR DE VOLUMEN ACEITE          1.3300  GL/BL    *
* RELACION BOMBA-MOTOR              200.0000  PIE3/BL    *
* DENSIDAD DEL ACEITE                40.0000  LB/PIE3    *
* PORCENTAJE DE AGUA PROD.          .2000  FRAC.      *
* GRAV.ESPEC.FLUIDO "OTRIZ         .8448  S.G.        *
*****

```

```

*****
*          CARACTERISTICAS DE LA BOMBA            *
*****
* DIAMETRO DE LA BOMBA              3.00  PG        *
* RELACION BOMBA-MOTOR              .90          *
* GASTO QUE PUEDE MANEJAR           970.00  DL/DIA    *
* VELOCIDAD MAXIMA                  87.00  SPM       *
* DESPLAZAMIENTO DE MOTOR           14.17  BPD/SPM    *
* DESPLAZAMIENTO DE BOMBA           11.10  BPD/SPM    *
* DESP. MAXIMO DE BOMBA             28.00  BPD/SPM    *
* NUMERO DE TABLA CORRESP            9          *
* EFICIENCIA DE LA BOMBA             .95  FRAC.      *
* EFICIENCIA DEL MOTOR               .90  FRAC.      *
*****

```

```

*****
*          DIAMETROS MANEJADOS                    *
*****
* DIAMETRO DEL POZO                 7.000  PG        *
* DIAMETRO DE TUB. DE REVEST.       6.625  PG        *
* DIAMETRO DE TUB. DE PRODUC.       2.000  PG        *
* DIAMETRO DE TUB. DE INYEC. FN     3.000  PG        *
* DIAMETRO DE TUB. DE RETOR. FN     3.000  PG        *
* SI UN DIAMETRO=0.0 SE EMPLEA EL ESPACIO ANULAR
*****

```

```

*****
*          RESULTADOS DEL DISEÑO                    *
*****
* PRESION SUPERFICIAL REQUERIDA      2704.042  LB/PG2    *
* PRESION DE ENT. UNID. DE F.M.      6335.544  LB/PG2    *
* PRESION DE SALIDA DEL MOTOR         6358.300  LB/PG2    *
* PRESION DE DESCARGA DE BOMBA        3905.915  LB/PG2    *
* PRES. ENTRADA BOMBA FLU. PROD.     1500.000  LB/PG2    *
* POTENCIA SUPERFICIAL REQUERIDA     70.784  HP        *
* POTENCIA DE FONDO DEL POZO         38.617  HP        *
*****

```

CARACTERISTICAS DE LA(S) BOMPA(S) QUE  
SATISFACE(N) LAS NECESIDADES DEL DISEÑO

	J	PS	PE	RS	N
20	29	3.00000	.98000	1062.00000	2
91	94	3.00000	.80000	972.00000	9
03	104	3.00000	.74000	1388.00000	10
18	119	3.00000	.44900	1357.00000	12
19	119	3.00000	.60600	1874.00000	12
26	128	3.00000	.88200	2726.00000	13

CARACTERISTICAS DE LA BOMBA ELEJIDA:

PS	PE	RS	Q1	Q4	SPM	TABLA
3.0000	.8000	972.00	14.170	11.160	87.000	9

PARA TENER IMPRESO EN PAPEL LOS RESULTADOS, SOLO ES NECESARIO  
"LISTAR" EL ARCHIVO EN DONDE SE ALMACENO DE LA MANERA SIGUIENTE:

1.- EDITAR EL ARCHIVO

ED 10.

2.- ORDENAR LISTADO

LNSITE

3.- RETIRAR EL ARCHIVO

EXIT

4.- DESCONECTAR LA TERMINAL DEL SISTEMA

FIN

5.- APAGAR LA TERMINAL

TERM

EL DISEÑO DEL BOMBEO HIDRAULICO, EMPLEANDO BOMHID, COMO PUEDE  
OBSERVARSE ES SENCILLO, RAPIDO Y CONTINUO, DADO A QUE NO ES NECESARIO  
NINGUNA LECTURA EN GRAFICAS, CONSULTAR TABLAS O HACER CALCULOS EXTE-  
RIORES.

BOMHID ESTA CAPACITADO PARA EVITAR ESTO, TENIENDO EN MEMORIA LCS  
DATOS DE LAS BOMBAS COMERCIALES, Y CON UN ALGORITMO SELECCIONA LAS  
APROPIADAS. TAMBIEN CUENTA CON SUBROUTINAS QUE EMPLEAN CORRELACIONES  
AJUSTES Y MODELOS MATEMATICOS PARA ELIMINAR LAS GRAFICAS.

LAS SUBROUTINAS EMPLEADAS POR ECHMID, SE PRESENTAN ACONTINUACION, MOSTRANDO LO QUE NECESITAN Y LO QUE ARROJAN. A SU VEZ TIENEN LA REFERENCIA (APENDICE) EN DONDE SE ENCUENTRA SU DESARROLLO TOTAL.

.....  
 . SUBROUTINA FRIC .  
 .....

LA SUBROUTINA FRIC DETERMINA LAS PERDIDAS DE PRESION POR FRICCION A LO LARGO DE CONDUCTOS (TUBERIAS) VERTICALES, TANTO PARA SECCIONES CIRCULARES COMO PARA ESPACIOS ANULARES.

VARIABLES DE ENTRADA:

- LFLU VARIABLE DE CONTROL, SI LFLU=1 EL FLUJO ES ATRAVES DE UNA SECCION CIRCULAR, SI LFLU=2 EL FLUJO ES ATRAVES DE ESPACIO ANULAR.
- DTR DIAMETRO INTERIOR DE LA TUBERIA MAYOR (TUBERIA DE REVESTIMIENTO) EN PULGADAS, SI EL FLUJO ES POR UNA SECCION CIRCULAR, ESTA VARIABLE PUEDE VALER 0.0, O CUALQUIER VALOR DEBIDO A QUE NO ES TOMADA EN CUENTA.
- DTP DIAMETRO DE LA TUBERIA MENOR (TUBERIA DE PRODUCCION O INYECCION) EN PULGADAS. PARA AMBOS CASOS DEBE TENER VALOR REAL.
- DEN DENSIDAD DEL FLUIDO EN LIBRAS POR CADA PIE CUBICO.
- VICIN VISCOSIDAD CINEMATICA DEL FLUIDO EN CENTISTOKES. PUEDE SER EMPLEADA LA SUBROUTINA VICIN PARA SU CALCULO.
- GTO GASTO QUE FLUYE ATRAVES DE LA SECCION EN BARRILES POR DIA.
- ALON LONGITUD DE LA SECCION DE FLUJO EN PIE.

VARIABLES DE SALIDA:

- PFRI PERDIDAS DE PRESION POR FRICCION A LO LARGO DE LA SECCION EN LIBRAS POR CADA PULGADA CUADRADA.

ESTA SUBROUTINA, ESTA BASADA EN EL ESTUDIO PRESENTADO POR F.

BARTON BROWN Y C.J. COBERLY, PUBLICADO POR SPE #1555-G. TODO EL DESARROLLO SE ENCUENTRA EN EL APENDICE A (ANEXO).

.....  
 . SUBROUTINA VICIN .  
 .....

ESTA SUBROUTINA DETERMINA LA VISCOSIDAD CINEMATICA DE UN FLUIDO, (TANTO ACEITE COMO AGUA, EN CENTISTOKES) EMPLEADO EN UN BOMBEO HIDRAULICO.

VARIABLES DE ENTRADA:

NFLU VARIABLE DE CONTROL. ESTA VARIABLE DETERMINA EL TIPO DE FLUIDO DE QUE SE TRATE, SI NFLU=1 SE TENDRA EL CALCULO PARA AGUA, SI NFLU=2 SERA ACEITE.

TEM TEMPERATURA EN GRADOS FAHRENHEIT A LA QUE SE ENCUENTRA EL FLUIDO.

PRE PRESION EN LIBRAS POR CADA PULGADA CUADRADA EN QUE SE ENCUENTRA EL FLUIDO EN CUESTION.

API DENSIDAD API DE FLUIDO (SI SE TRATA DE AGUA ESTE VALOR NO ES NECESARIO, SE PUEDE COLOCAR CUALQUIER VALOR, LA SUBROUTINA LE ASIGNA LA DENSIDAD DEL AGUA DULCE, EL ERROR COMETIDO AL MANEJARSE UN AGUA CON OTRA DENSIDAD ES MUY PEQUERO).

VARIABLES DE SALIDA

VICIN VISCOSIDAD CINEMATICA EN CENTISTOKES.

TODO EL DESARROLLO, DETALLADO DE ESTA SUBROUTINA SE ENCUENTRA DENTRO DEL APENDICE B, CUALQUIER ACLARACION E INFORMACION SE RECOMIENDA CONSULTARLA AHI.

.....

SUBROUTINA: FPEP

.....

LA SUBROUTINA FPEP DETERMINA LAS PERDIDAS DE PRESION POR FRICCION EN LA UNIDAD SUB-SUPERFICIAL (BOMBA-MOTOR) EN LIBRA POR CADA PULGADA CUADRADA, PARA UN SISTEMA DE BOMBEO HIDRAULICO.

VARIABLES DE ENTRADA:

- NX NUMERO ENTERO, VALOR CORRESPONDIENTE AL NUMERO DE LA FIGURA DONDE SE ENCUENTRA LA BOMBA SELECCIONADA. NUMERO DADO POR EL FABRICANTE.
- AV PORCENTAJE DE VELOCIDAD DE BOMBEO. RELACION ENTRE EL DESPLAZAMIENTO DEL PISTON DE LA BOMBA CON RESPECTO AL DESPLAZAMIENTO MAXIMO DE LA MISMA (X).
- V VISCOSIDAD CINEMATICA DEL FLUIDO MOTRIZ EN CENTISTOKES.
- SG GRAVEDAD ESPECIFICA DEL FLUIDO (AGUA=1).
- G4 DESPLAZAMIENTO DEL PISTON DE LA BOMBA (GPD/SP).
- G41 DESPLAZAMIENTO DEL PISTON DE LA BOMBA MAXIMO (CPD/SPM).
- ES EFICIENCIA DE LA BOMBA EXPRESADA EN FRACCION.

VARIABLES DE SALIDA:

- P PRESION QUE SE LEERIA EN LA GRAFICA DE CAIDAS DE PRESION EN LIBRAS POR PULGADA CUADRADA MULTIPLICADA POR LA GRAVEDAD ESPECIFICA.
- DP2 VARIACION DE PRESION POR FRICCION EN LA UNIDAD DE FONDO CONSIDERANDO QUE NO HAY CARGAS SOBRE ELLA (LB/PG<sup>2</sup>).
- FPE PERDIDAS POR FRICCION EN LA BOMBA (LB/PG<sup>2</sup>).
- FEE PERDIDAS POR FRICCION EN EL MOTOR (LB/PG<sup>2</sup>).
- FP PERDIDAS POR FRICCION EN LA UNIDAD SUB-SUPERFICIAL (LB/PG<sup>2</sup>)

ESTA SUBROUTINA ES APLICABLE PARA TODO TIPO DE BOMBAS FABRICA-

DAS POR INDUSTRIAS SARGENT PARA BOMBEO HIDRAULICO (ESPECIFICACIONES PUBLICADAS POR KERMIT & BROWN).

TODO EL DESARROLLO DE LA SUBROUTINA, EN FORMA DETALLADA SE ENCUENTRA EN EL APENDICE C.

.....  
 . SUBROUTINA EFICI .  
 .....

LA SUBROUTINA EFICI DETERMINA LA EFICIENCIA DE LA BOMBA DE UNA UNIDAD SUB-SUPERFICIAL DE BOMBEO HIDRAULICO, CUANDO PASA GAS A TRAVES DE ELLA.

VARIABLES DE ENTRADA:

PWF PRESION A LA QUE EL FLUIDO A SER BOMBEADO ENTRA EN LA BOMBA (EL FLUIDO CONTENIENDO GAS) LB/PG2.  
 GOR RELACION GAS-ACEITE. CANTIDAD DE GAS CONTENIDO EN EL LIQUIDO EN (PIE3/BL).  
 API DENSIDAD EN GRADOS API DEL FLUIDO (ACEITE) POR BOMBEAR.  
 AVH PORCIENTO DE AGUA CONTENIDA EN EL LIQUIDO (FRACCION).

VARIABLES DE SALIDA:

EB EFICIENCIA TEORICA DE LA BOMBA PASANDO GAS ATRAVES DE ELLA, DENTRO DEL SENO DEL FLUIDO QUE SE BOMBEA.

UNA BOMBA DE BOMBEO HIDRAULICO, NO ESTA DISEÑADA PARA BOMBEAR GAS, POR QUE AL HACERLO LA EFICIENCIA DE OPERACION BAJA CONSIDERABLEMENTE. POR CONSIGUIENTE NO SE DEBE BOMBEAR GAS.

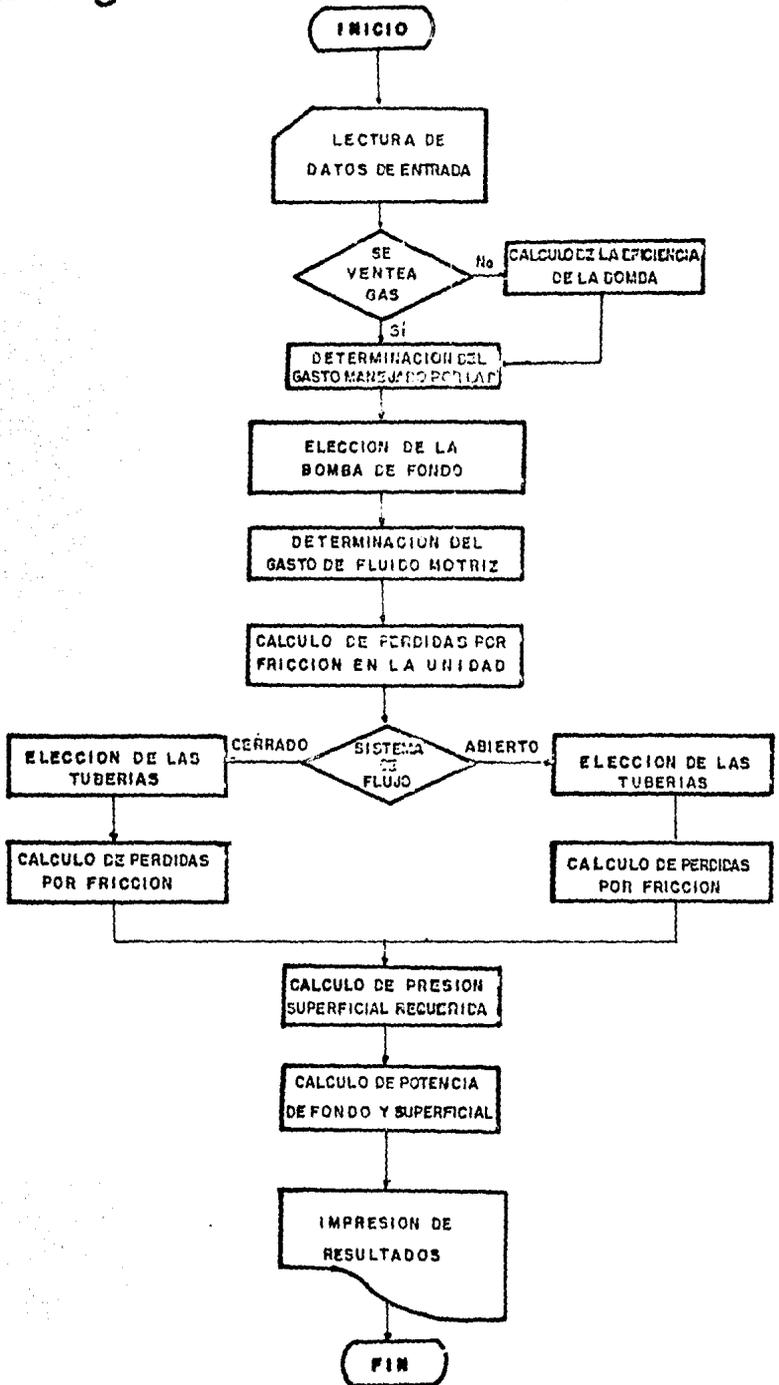
ESTA SUBROUTINA ESTA BASADA EN LA CORRELACION DE SATANDING (KERMIT & BROWN: ARTIFICIAL LIFT CAP.2B), A LA CUAL SE LE AJUSTO UNA SERIE DE CURVAS. A MEDIDA QUE AUMENTE EL PORCENTAJE DE AGUA PRODUCIDA Y/O LA RELACION GAS-ACEITE, ASI COMO DISMINUYA LA PRE-

SIEN DE ENTRADA DEL FLUIDO, EL ERROR QUE SE CONETE AL EMPLEAR LA  
SUBROUTINA, ES MAYOR.

POR LO TANTO SE RECOMIENDA NO USARLA EN CONDICIONES EXTREMAS  
Y CRITICAS.

E PRINTOUT ON OCTOBER 30, 1989 AT 14:26:05  
S(1),DORHID(2)

# Diagrama de Flujo.







```

111: 11 WRITE(IMP,2001)
112:   READ(LEER,2001,ERR=11)ALOS
113:   IF(ACOR.EQ.1)GO TO 1
114: 5 WRITE(IMP,1005)
115:   READ(LEER,2007,ERR=5)DPH
116: 6 WRITE(IMP,1006)
117:   READ(LEER,2008,ERR=6)TEMH
118: 7 WRITE(IMP,1007)
119:   READ(LEER,2009,ERR=7)DIAH
120: 8 WRITE(IMP,1008)
121:   READ(LEER,2010,ERR=8)DIATR
122: 16 WRITE(IMP,1010)
123:   READ(LEER,2001,ERR=16)PRH
124: 17 WRITE(IMP,1017)
125:   READ(LEER,2008,ERR=17)PRH
126:   WRITE(IMP,1102)DPH,TEMH,DIAH,DIATR,PRH,PRH
127: 112 WRITE(IMP,2003)
128:   READ(LEER,2001,ERR=112)ACOR
129:   IF(ACOR.EQ.1)GO TO 5
130: 10 WRITE(IMP,1010)
131:   READ(LEER,2002,ERR=10)RTES
132: 11 WRITE(IMP,1011)
133:   READ(LEER,2007,ERR=11)FVFO
134: 12 WRITE(IMP,1012)
135:   READ(LEER,2003,ERR=12)GOR
136: 13 WRITE(IMP,1013)
137:   READ(LEER,2003,ERR=13)DENQ
138: 14 WRITE(IMP,1014)
139:   READ(LEER,2003,ERR=14)AVW
140: 15 WRITE(IMP,1015)
141:   READ(LEER,2001,ERR=15)SPG
142: 18 WRITE(IMP,1018)
143:   READ(LEER,2003,ERR=18)TEMT
144:   WRITE(IMP,1103)RTES,FVFO,GOR,DENQ,AVW,SPG,TEMT
145: 113 WRITE(IMP,2002)
146:   READ(LEER,2001,ERR=113)ACOR
147:   IF(ACOR.EQ.1)GO TO 10
148:
149: C *****LECTURA DE VARIABLES DE CONTROL*****
150: C
151: 20 WRITE(IMP,1020)
152:   READ(LEER,2003,ERR=20)NVEN
153: 21 WRITE(IMP,1021)
154:   READ(LEER,2001,ERR=21)NDOM
155: 22 WRITE(IMP,1022)
156:   READ(LEER,2001,ERR=22)NFM
157: 23 WRITE(IMP,1023)
158:   READ(LEER,2001,ERR=23)NFM
159: 24 WRITE(IMP,1024)
160:   READ(LEER,2003,ERR=24)SPGFM
161:   IF(NFM.EQ.2)SPGFM=141.5/(131.5+SPGFM)
162:   APIFM=(141.5/SPGFM)-131.5
163:   GRDFM=SPGFM*0.433
164: 25 WRITE(IMP,1025)
165:   READ(LEER,2003,ERR=25)PRR
166:   WRITE(IMP,1050)NVEN,NBOM,LTIPC,NFM,SPGFM,PRR
167:   WRITE(IMP,2002)
168:   READ(LEER,2001)ACOR
169:   IF(ACOR.EQ.1)GO TO 20
170:   IF(NVEN.EQ.2)GO TO 50

```

```

101: EFBO=C.55
102: GO TO 55
103:0
104:0 ***** ENTRA SUBROUTINA DE EFICIENCIA
105: 50 CALL EFICI(PBH,GOR,DENO,AVW,LE)
106: EFBO=C.05*EF
107:0
108:0 *****GASTO MANEJADO POR LA BOMBA EN EL FONDO*****
109:0
110: 55 RTEHB=(RTES*FVFO+(RTES*AVW)/(1-AVW))/EFBO
111:0 ***** A C I T E *****
112: RTEC=RTEHB*(1-AVW)
113: SPGO=1.12/(131.5+DENO)
114: GRDO=SPGO*0.433
115:0 ***** P C U A *****
116: RTEH=RTEH*AVW
117: GRDW=SPGO*0.433
118:0
119:0 >*>*> CARACTERISTICAR DE LA BOMBA SUBSUPERFICIAL >*>*>
120:0
201: 25 WRITE(IMP,1020)
202: READ(LEER,2002,ERR=25)DIAP
203: IF(DNO<14.1000 TO 67)
204: WRITE(IMP,1020)
205: PS=DIAP
206: 31 WRITE(IMP,1021)
207: READ(LEER,2002,ERR=31)PEX
208: 32 WRITE(IMP,1020)
209: READ(LEER,2003,ERR=32)RSX
210: 33 WRITE(IMP,1023)
211: READ(LEER,2003,ERR=33)Q1EX
212: 34 WRITE(IMP,1034)
213: READ(LEER,2003,ERR=34)Q4PX
214: 35 WRITE(IMP,1035)
215: READ(LEER,2003,ERR=35)Q4PMX
216: 36 WRITE(IMP,1036)
217: READ(LEER,2003,ERR=36)SPMX
218: 37 WRITE(IMP,1037)
219: READ(LEER,2003,ERR=37)NX
220: GO TO 50
221:0 *****ELECCION DE LA BOMBA*****
222:0
223:0 *****
224:0 * DETERMINACION DEL TIPO DE BOMBA *
225:0 * POR EMPLEAR EN UN DISEÑO DE BOMBEO HIDRAULICO *
226:0 *****
227: 60 PEMAX=10000/DPH
228: WRITE(IMP,1120)
229: WRITE(10,1120)
230: DO 70 I=1,132
231: 67 IF(DIAP.EQ.PS(I).AND.(PEMAX.GT.PE(I).AND.RTEHB.LT.
232: *RS(I)))GO TO 62
233: GO TO 70
234: 62 J=1
235: 63 J=J+1
236: IF(DIAP.EQ.PS(J))GO TO 64
237: 68 Q4PMX=Q4PJ(J-1)
238: J=J-1
239: WRITE(IMP,1105)I,J,PS(I),PE(I),RS(I),N(I)
240: WRITE(10,1105)I,J,PS(I),PE(I),RS(I),N(I)

```

```

241:      GO TO 71
242: 64 IF (Y(I).EQ.N(J))GO TO 67
243:      GO TO 65
244: 70 CONTINUE
245:0 ***** POMBA ELEGIDA*****
246:0
247: 28 WRITE(IMP,103:)
248:      READ(LEER,2005,ERR=30)I
249: 29 WRITE(IMP,1030)
250:      READ(LEER,2005,ERR=30)J
251:      PEX=PR(I)
252:      PSX=PS(I)
253:      RSX=RS(I)
254:      Q1EX=Q1(I)
255:      Q4PX=Q4P(I)
256:      SPMX=SPM(I)
257:      NX=N(I)
258:      Q4FXA=Q4P(J)
259: 87 WRITE(IMP,1100)PSX,PEX,RSX,Q1EX,Q4PX,SPMX,NX
260:      WRITE(IMP,1100)FSX,PLX,RSX,Q1EX,Q4PX,SPMX,NX
261:0
262:0 *****
263:0 * DETERMINACION DEL GASTO DE FLUIDO MOTRIZ *
264:0 *****
265:      SPM1=RTSHE/(Q4PX*EFB0)
266:      EFMOT=.9
267:      RTEFM=Q1EX*SPM1/EFMOT
268:0
269:0 *****PERDIDAS EN LA UNIDAD DE FONDO*****
270:0
271:      AN=(SPM1/SPMA)*100
272:      CALL VICIN(NFM,TEM,PSH,APIFM,VICI)
273: 85 CALL FPEP(NX, N,VICI,SPGFN,G4FX,Q4PX,EFB0,P,DP2,FPE,FEE,FP)
274:0
275:0 *****PERDIDAS DE PRESION POR FRICCION *****
276:0
277:      IF(LTIPO.EQ.1)GO TO 200
278:0
279:0 *****SISTEMA DE FLUJO CERRADO*****
280:0
281: 9 WRITE(IMP,1000)
282:      READ(LEER,2002,ERR=2)DIATP
283: 19 WRITE(IMP,1010)
284:      READ(LEER,2003,ERR=19)DIATP1
285: 26 WRITE(IMP,1020)
286:      READ(LEER,2003,ERR=24)DIATP2
287:      WRITE(IMP,1100)DIATR,DIATP,DIATP1,DIATP2
288:      WRITE(IMP,2003)
289:      READ(LEER,2001)ACOR
290:      IF(ACOR.EQ.1)GO TO 9
291:      IF(DIATP2.EQ.0.0) LFLU=1
292:      IF(DIATP2.EQ.0.0)MUL=1
293:      IF(DIATP2.NE.0.0)MUL=2
294:      IF(DIATP1.EQ.0.0)DIATP2=DIATP1
295:      IF(DIATP1.NE.0.0)DIATP2=DIATP1
296:      LFLU=1
297:      DEN=SPGFN*62.4
298:      TEM=(TEM+TEMP)/2
299:      NFM=NFM
300:      CALL VICIN(NFLU,TEM,PSH,APIFM,VICI)

```

```

311:     VIS=VICI
312:     CALL FRIC(LFLU,DIATR,DIATP2,DEN,VIS,RTEFM,DPH,PFRI)
313:     F1=PFRI
314:     IF(DIATP1.EQ.0) LFLU=2
315:     CALL FRIC(LFLU,DIATR,DIATP2,DEL,VIS,RTEFM,DPH,PFRI)
316:     F2=PFRI
317:     SPGF=(1-4VW)*SPGG+AVW*SPG
318:     ZHTF=(PUH/SPGF)*(22.91/14.22)
319:     GRDF=SPGF*0.33
320:     LFLU=1
321:     DEN=SPGF*62.4
322:     NFLU=1
323:     API=(141.5/SPGF)-131.5
324:     CALL VICIN(NFLU,TEM,PNH,API,VICI)
325:     VIS=VICI
326:     IF(DIATP.EQ.0.0) LFLU=2
327:     IF(DIATP.EQ.1.0) NUL=1
328:     IF(DIATP.EQ.2.0) NUL=2
329:     IF(DIATP.EQ.3.0) DIATP=DIATP1
330:     CALL FRIC(LFLU,DIATR,DIATP,DEN,VIS,RTEHB,DPH,PFRI)
331:     F3=PFRI
332:     IF(NUL.EQ.1) DIATP=0.0
333: C
334: C     PRESION SUPERFICIAL
335:     PRS=F1+F2+PRR+FP+((DPH-ZHTF)*GRDF+F3+PRH)*PEX
336:     P1=(DPH*GRDF)+F1+PRS
337:     P2=(DPH*GRDF)+F2+PRS
338:     P3=(DPH*GRDF)+F3+PRH
339:     P4=PNH
340:     GO TO 300
341: C
342: C     *****SISTEMA DE FLUJO ABIERTO*****
343: C
344: 200 GRDMEZ=(RTEFM*GRDFM+RTEO*GRDO+RTEW*GRDW)/(RTEHB+RTEFM)
345: 27  WRITE(IMP,1040)
346:     READ(LEER,2003,ERR=27)DIATP
347: 40  WRITE(IMP,1020)
348:     READ(LEER,2003,ERR=40)DIATP4
349:     WRITE(IMP,1110)DIATR,DIATP,DIATP4
350:     WRITE(IMP,2002)
351:     READ(LEER,2001)ACOR
352:     IF(ACOR.EQ.1)GO TO 27
353:     LFLU=1
354:     DEN=SPGF*62.4
355:     TEM=(TEMH+TEMT)/2
356:     NFLU=NFM
357:     CALL VICIN(NFLU,TEM,PNH,APIFM,VICI)
358:     VIS=VICI
359:     CALL FRIC(LFLU,DIATR,DIATP4,DEN,VIS,RTEFM,DPH,PFRI)
360:     F1=PFRI
361:     SPGF=GRDMEZ/0.433
362:     DEN=SPGF*62.4
363:     NFLU=1
364:     API=(141.5/SPGF)-131.5
365:     CALL VICIN(NFLU,TEM,PNH,API,VICI)
366:     VIS=VICI
367:     GTO=NTEHB+RTEFM
368:     IF(DIATP.EQ.0.0) LFLU=2
369:     IF(DIATP.EQ.1.0) NUL=1
370:     IF(DIATP.EQ.2.0) NUL=2

```

```

311: IF(DIATP.EQ..0)DIATP=DIATP4
312: CALL FRIC(LFLU,DIATR,DIATP,DEB,VIS,GTO,DPH,PFRI)
313: F3=PFRI
314: IF((UL.EQ.1)DIATP=.0
315:C
316:C *****PRESION SUPERFICIAL*****
317:C
318: PRS=(DPH*GRDMEZ+F3+PRH)*(1+PEX)-PBH*PEX+FP-(DPH*GRDFM-F1)
319: P1=(DPH*GRDFM)-F3+PRS
320: P3=(DPH*GRDMEZ)+F3+PRH
321: P2=P3
322: P4=PBH
323:C
324:C *****POTECIA SUPERFICIAL REQUERIDA*****
325:C
326: HPSUP=PRS*RTEFM*(1.7E-15)
327:C
328: *****POTENCIA SUB-SUPERFICIAL REQUERIDA*****
329:C
330: HPFON=(P3-P4)*RTEHD*(1.7E-05)
331:C
332:C
333:C *****
334:C * I M P R E S I O N *
335:C * *
336:C * *
337:C *****
338:C
339: WRITE(IMP,5000)
340: WRITE(10,5000)
341: WRITE(IMP,4999)ANOM,CAMPO,DIST,ZONA
342: WRITE(10,4999)ANOM,CAMPO,DIST,ZONA
343: WRITE(IMP,5001)PBH,PRH,TEFH,TENT,DPH,PRR
344: WRITE(10,5001)PBH,PRH,TEFH,TENT,DPH,PRR
345: WRITE(IMP,5002)RTES,RTEHB,RTEO,RTEW,RTEFM
346: WRITE(10,5002)RTES,RTEHB,RTEO,RTEW,RTEFM
347: WRITE(IMP,5003)NVEN,NBON,LTIPC,NFM
348: WRITE(10,5003)NVEN,NBON,LTIPC,NFM
349: WRITE(IMP,5004)FVFO,GOR,DENO,AVW,SPGFM
350: WRITE(10,5004)FVFO,GOR,DENO,AVW,SPGFM
351: WRITE(IMP,5005)PSX,PCX,RSX,SPMX,Q1EX,Q4PX,Q4PMX,NX,EFBO,EFMOT
352: WRITE(10,5005)PSX,PCX,RSX,SPMX,Q1EX,Q4PX,Q4PMX,NX,EFBO,EFMOT
353: IF(LTIPC.EQ.1)GO TO 5006
354: WRITE(IMP,5007)DIAT,DIATR,DIATP,DIATP3,DIATP1
355: WRITE(10,5007)DIAT,DIATR,DIATP,DIATP3,DIATP1
356: GO TO 5007
357: 5006 WRITE(IMP,5011)DIAT,DIATR,DIATP,DIATP4
358: WRITE(10,5011)DIAT,DIATR,DIATP,DIATP4
359: 5005 WRITE(IMP,5009)PRS,P1,P2,P3,P4,HPSUP,HPFON
360: WRITE(10,5009)PRS,P1,P2,P3,P4,HPSUP,HPFON
361: 5.000 FORMAT(//////,3X,
362: 1,*****),/ ,1A,
363: 2,* UNIVERSIDAD NACIONAL *,/ ,7X,
364: 3,* AUTONOMA DE MEXICO *,/ ,7A,
365: 4,* DIVISION DE CIENCIAS DE LA TIERRA *,/ ,7X,
366: 5,* INGENIERIA PETROLERA *,/ ,7A,
367: 6,* SISTEMA DE BOMBEO HIDRAULICO *,/ ,3X,
368: 7,*****),
369: 4599 FORMAT(////,3X,
370: 8,*****),/ ,7A,

```

```

411:  2*          DATOS DE IDENTIFICACION DEL POZO          * , / , 7X ,
412:  8*          * , / , 7X ,
413:  8*          NOMBRE DEL POZO          , 2X , 40 , 10X , * , / , 3X ,
414:  8*          NOMBRE DEL CAMPO          , 2X , 40 , 10X , * , / , 3X ,
415:  8*          NOMBRE DEL DISTRITO      , 2X , 40 , 10X , * , / , 3X ,
416:  8*          NOMBRE DE LA ZONA        , 2X , 40 , 10X , * , / , 3X ,
417:  8*          * , / , 7X ,
418:  5001 FORMAT(////,3X,
419:  8*          * , / , 7X ,
420:  8*          CONDICIONES DEL POZO          * , / , 7X ,
421:  8*          * , / , 7X ,
422:  8*          PRESION DE ENT. BOMBA      , 2X , F10.2, 2X , LB/PGZ , 9X , * , / , 3X ,
423:  8*          PRESION EN LA CABEZA      , 2X , F10.2, 3X , LB/PGZ , 9X , * , / , 3X ,
424:  8*          TEMPERATURA DE FONDO      , 2X , F10.2, 2X , B. FARR , 9X , * , / , 3X ,
425:  8*          TEMP. EN BOCA DEL POZO    , 2X , F10.2, 3X , B. FARR , 9X , * , / , 3X ,
426:  8*          PROFUNDIDAD DEL POZO      , 2X , F10.2, 3X , PIES , 9X , * , / , 3X ,
427:  8*          PRES. RETOR. FLU. MOT.    , 2X , F10.2, 3X , LB/PGZ , 9X , * , / , 3X ,
428:  8*          * , / , 7X ,
429:  5002 FORMAT(////,3X,
430:  8*          * , / , 7X ,
431:  8*          GASTOS MANEJADOS          * , / , 7X ,
432:  8*          * , / , 7X ,
433:  8*          GASTO SUPERFICIAL          , 2X , F10.2, 2X , BL/DIA , 7X , * , / , 3X ,
434:  8*          GASTO DE FONDO            , 2X , F10.2, 2X , BL/DIA , 7X , * , / , 3X ,
435:  8*          GASTO DE ACEITE            , 2X , F10.2, 2X , BL/DIA , 7X , * , / , 3X ,
436:  8*          GASTO DE AGUA              , 2X , F10.2, 2X , BL/DIA , 7X , * , / , 3X ,
437:  8*          GASTO DE FLUIDO MOTRIZ    , 2X , F10.2, 2X , BL/DIA , 7X , * , / , 3X ,
438:  8*          * , / , 7X ,
439:  5003 FORMAT(////,3X,
440:  8*          * , / , 7X ,
441:  8*          VARIABLES DE CONTROL      * , / , 7X ,
442:  8*          * , / , 7X ,
443:  8*          SE VENTEARA EL GAS PRODUCIDO (SI=1,NO=?) 2X,12, 9X , * , / , 3X ,
444:  8*          EL PROGRAMA ELIGE LA BOMBA (SI=1,NO=?) 2X,12, 9X , * , / , 3X ,
445:  8*          SISTEMA EMPLEADO (ABIERTO=1 , CERRADO=?) 2X,12, 9X , * , / , 3X ,
446:  8*          FLUIDO MOTRIZ (AGUA=1 , ACEITE=?)        2X,12, 9X , * , / , 3X ,
447:  8*          * , / , 7X ,
448:  5004 FORMAT(////,3X,
449:  8*          * , / , 7X ,
450:  8*          CARACTERISTICAS DE LOS FLUIDOS * , / , 7X ,
451:  8*          * , / , 7X ,
452:  8*          FACTOR DE VOLUMEN ACEITE , 2X , F10.4, 2X , BL/BL , 7X , * , / , 3X ,
453:  8*          RELACION GAS-ACEITE      , 2X , F10.4, 2X , PIES/BL , 7X , * , / , 3X ,
454:  8*          DENSIDAD DEL ACEITE       , 2X , F10.4, 2X , LB/PIES , 7X , * , / , 3X ,
455:  8*          PORCENTAJE DE AGUA PROCD. , 2X , F10.4, 2X , FRAC. , 7X , * , / , 3X ,
456:  8*          GRAV.ESPEC.FLUIDO MOTRIZ , 2X , F10.4, 2X , S.C. , 7X , * , / , 3X ,
457:  8*          * , / , 7X ,
458:  5005 FORMAT(////,3X,
459:  8*          * , / , 7X ,
460:  8*          CARACTERISTICAS DE LA BOMBA * , / , 7X ,
461:  8*          * , / , 7X ,
462:  8*          DIAMETRO DE LA BOMBA      , 2X , F10.2, 2X , P6 , 8X , * , / , 3X ,
463:  8*          RELACION BOMBA-MOTOR      , 2X , F10.2, 2X , , 8X , * , / , 3X ,
464:  8*          GASTO QUE PUEDE MANEJAR    , 2X , F10.2, 2X , GJ/DIA , 8X , * , / , 3X ,
465:  8*          VELOCIDAD MAXIMA           , 2X , F10.2, 2X , SPM , 8X , * , / , 3X ,
466:  8*          DESPLAZAMIENTO DE MOTOR    , 2X , F10.2, 2X , BPD/SPM , 8X , * , / , 3X ,
467:  8*          DESPLAZAMIENTO DE BOMPA    , 2X , F10.2, 2X , BPD/SPM , 8X , * , / , 3X ,
468:  8*          DESP. MAXIMO DE BOMBA      , 2X , F10.2, 2X , BPD/SPM , 8X , * , / , 3X ,
469:  8*          NUMERO DE TALLA CORRESP.   , 4X , 14, 6X , * , / , 3X ,
470:  8*          EFICIENCIA DE LA BOMBA     , 2X , F10.2, 2X , FRAC. , 6X , * , / , 3X ,

```



541: 1017 FORMAT(/,SX,"PRESION EN LA BOCA DEL POZO (LB/PG)"/,)  
542: 1102 FORMAT(/,SX,"PROF. DE COLOCACION DE LA BOMBA (PIE)"/,F15.5,/,  
543: \* SX,"TEMPERATURA DE FONDO (G. FANH)"/,F15.5,/,  
544: \* SX,"DIAMETRO DEL AGUJERO (PG)"/,F15.5,/,  
545: \* SX,"DIAM. TUBERIA DE REVESTIMIENTO (PG)"/,F15.5,/,  
546: \* SX,"PRESION ENTRADA A LA BOMBA (LB/PG)"/,F15.5,/,  
547: \* SX,"PRESION EN LA BOCA DEL POZO (LB/PG)"/,F15.5,/,  
548: 1018 FORMAT(/,SX,"GASTO DE ACEITE DESDE LA SUPERFICIE (bL/DIA)"/,)  
549: 1011 FORMAT(/,SX,"FACTOR DE VOLUMEN DEL ACEITE (bL/DL)"/,)  
550: 1012 FORMAT(/,SX,"RELACION GAS-ACEITE (PIE/PL)"/,)  
551: 1013 FORMAT(/,SX,"DENSIDAD DEL ACEITE (GRADOS API)"/,)  
552: 1014 FORMAT(/,SX,"PORCIENTO DE AGUA PRODUCIDA (FRACCION)"/,)  
553: 1015 FORMAT(/,SX,"DENSIDAD RELATIVA DEL AGUA PRODUCIDA"/,SX,  
554: \*(AGUA DULCE=)"/,)  
555: 1018 FORMAT(/,SX,"TEMPERATURA EN LA BOCA DEL POZO (G.FANH)"/,)  
556: 1019 FORMAT(/,SX,"DIAM. DE TUBERIA DE RETORNO DEL FLUIDO MOTRIZ (PG)"/,)  
557: \*/,SX,"SI RETORNA POR EL ESPACIO ANULAR TECLA=0"/,)  
558: 1102 FORMAT(/,SX,"GASTO DE ACEITE EN SUPERFICIE (bL/DIA)"/,F15.5,  
559: \* /,SX,"FACTOR DE VOLUMEN DEL ACEITE (bL/DL)"/,F15.5,  
560: \* /,SX,"RELACION GAS-ACEITE (PIE/PL)"/,F15.5,  
561: \* /,SX,"DENSIDAD DEL ACEITE (GRADOS API)"/,F15.5,  
562: \* /,SX,"PORCIENTO DE AGUA PRODUCIDA (FRACCION)"/,F15.5,  
563: \* /,SX,"DENSIDAD RELATIVA DEL AGUA PRODUCIDA"/,F15.5,  
564: \* /,SX,"TEMPERATURA EN LA BOCA DEL POZO (G.FANH)"/,F15.5,/,  
565: 1020 FORMAT(/,SX,"SE VENTANA EL GAS?"/,SX,"SI=TECLA 1, NO=TECLA 2")  
566: 1021 FORMAT(/,SX,"SI EL PROGRAMA DETERMINARA LA BOMBA TECLA=1"/,)  
567: \*/,SX,"SI EL USUARIO PROPONE UNA ESPECIAL, TECLA=?"/,)  
568: 1022 FORMAT(/,SX,"SISTEMA DE FLUJO:"/,SX,"ABIERTO=1"/,SX,"CERRADO=2"/,)  
569: 1023 FORMAT(/,SX,"FLUIDO MOTRIZ:"/,SX,"AGUA=1"/,SX,"ACEITE=?"/,)  
570: 1024 FORMAT(/,SX,"SE CREFLEARA AGUA COMO FLUIDO MOTRIZ TECLA=1"/,)  
571: \*SX,"SU GRAVEDAD ESPECIFICA (AGUA DULCE=1)"/,SX,"SI ES ACEITE"/,)  
572: \*/,SX,"TECLA LA DENSIDAD (API) DE ESTE"/,)  
573: 1025 FORMAT(/,SX,"PRESION EN LA SUPERFICIE A LA QUE SE NECESITA"/,)  
574: \*/,SX,"QUE RETORNE EL FLUIDO MOTRIZ (LB/PG)"/,)  
575: 1026 FORMAT(/,SX,"DIAM. DE TUBERIA DE INYECCION (PG) DE FLUIDO MOTRIZ"/,)  
576: 1028 FORMAT(/,SX,"DIAMETRO DE LA BOMBA POR EMPLEAR (PG)"/,SX,"RECUERDE  
577: \* QUE DEPENDE DEL DIAMETRO DE LA TUBERIA DE INY. DE FN"/,SX,"Y QUE  
578: \* LOS DIAMETROS DISPONIBLES SON: 2"--2.5"--3"--4"--(PG)"/,)  
579: 1029 FORMAT(/,SX,"CONTINUACION TECLA SUS DATOS DE LA BOMBA DE SU"  
580: \*/,SX,"ELECCION SEGUN SEAN PEDIGS"/,)  
581: 1031 FORMAT(/,SX,"RELACION BOMBA-MOTOR (P/E)"/,)  
582: 1032 FORMAT(/,SX,"GASTO QUE PUEDE MANEJAR (bL/DIA)"/,)  
583: 1033 FORMAT(/,SX,"DESPLAZAMIENTO DEL MOTOR=1 (BPD/SPM)"/,)  
584: 1034 FORMAT(/,SX,"DESPLAZAMIENTO DE LA BOMBA=44 (CPD/SPM)"/,)  
585: 1035 FORMAT(/,SX,"DESPLAZ. MAXIMO DE LA BOMBA=04MAX (BPD/SPM)"/,)  
586: 1036 FORMAT(/,SX,"VELOC. MAXIMA DE BOMBA (CPD)"/,)  
587: 1037 FORMAT(/,SX,"NUMERO DE TABLA AL QUE CORRESPONDE LA BOMBA"/,)  
588: 1123 FORMAT(/,SX,"CARACTERISTICAS DE LA(S) BOMBA(S) QUE"/,/  
589: \*4X,"SATISFACEN LAS NECESIDADES DEL DISPO"/,SX,"1"/,SX,"J"/,17X,  
590: \*PS"/,SX,"PE"/,12X,"RS"/,1X,"K"/,))  
591: 1105 FORMAT(I4,2X,I4,2X,F15.5,2X,F15.5,2X,F15.5,2X,I4)  
592: 1038 FORMAT(/,10X,"DE LA BOMBA SELECCIONADA TECLA:"/,SX,  
593: \*EL VALOR CORRESPONDIENTE A LA "I"/,)  
594: 1039 FORMAT(/,SX,"MUESTRA EL VALOR CORRESPONDIENTE A LA "J"/,)  
595: 1108 FORMAT(/,10X,"CARACTERISTICAS DE LA BOMBA ELEJIDA:"/,SX,"PS",  
596: \*SX,"PE"/,3X,"RS"/,3X,"Q1"/,4X,"Q4"/,1X,"SPM"/,6X,"TABLA"/,/  
597: \*F6.4"/,2X,F7.4"/,2X,F8.2"/,2X,F7.3"/,2X,F7.5"/,2X,F8.3"/,2X,I4)  
598: 1109 FORMAT(/,SX,"DIAMETRO DE LA TUB. REVESTIMIENTO (PG)"/,F15.5,  
599: \* /,SX,"DIAMETRO DE LA TUB. PRODUCCION (PG)"/,F15.5,  
600: \* /,SX,"DIAM. DE LA TUB. RETORNO F. MOTRIZ (PG)"/,F15.5.

```

001: * /, 1A, DIAM. DE LA TUB. INYECCION F. MOTR(PG), F15.5, /)
012: 1110 FORMAT(/, 5X, DIAM. DE TUBERIA REVESTIMIENTO (PG), F15.5, /)
013: * /, 5X, DIAM. DE TUBERIA PRODUCCION (PG), F15.5, /)
014: * /, 5X, DIAM. TUBERIA RETORNO FLUIDOS (PG), F15.5, /)
015: 1150 FORMAT(/, 5X, SE VENTEA GAS: SI=1, NO=2, 2X, I4)
016: * /, 5X, EL PROGRAMA ELIGE BOMBA: SI=, NO=2, 2X, I4)
017: * /, 5X, SISTEMA: ABIERTO=1, CERRADO=2, 2X, I4)
018: * /, 5X, FLU. MOTRIZ: AGUA=1, ACEITE=2, 2X, I4)
019: * /, 5X, GRAV. ESPEC. DEL FLUIDO MOTRIZ (S.G.), F15.5)
020: * /, 5X, PRESTON DE RETORNO DEL FM (LP/PG), F15.5, /)
021: STOP
022: END
0130: FTN, FS, TPFS, FPEP
040: *****
050: * SUBROUTINA QUE DETERMINA LAS CAIDAS DE PRESION POR *
060: * FRICCION EN EL MOTOR Y LA BOMBA DE FONDO EN UN *
070: * BOMBEO HIDRAULICO *
080: *****
090: SUBROUTINE FPEP(NX, AN, V, JG, Q, Q4N, EB, P, DP, FPE, FBE, FP)
100: IF(NX.EQ.1) GO TO 10
110: IF(NX.EQ.3.OR.NX.EQ.4) GO TO 20
120: IF(NX.EQ.10) GO TO 30
130: IF(NX.EQ.12) GO TO 40
140: IF(NX.EQ.13) GO TO 50
150: IF(NX.EQ.4.OR.NX.EQ.14) GO TO 60
160: IF(NX.EQ.2.OR.NX.EQ.7.OR.NX.EQ.9) GO TO 70
170: ***** BOMBAS 6 : 7 : 11 *****
180: IF(AN.GT.40.0) P5=10**((0.008169*AN+2.150325)
190: IF(AN.LE.40.0) P5=10**((0.018025*AN+1.760256)
200: IF(AN.GT.40.0) P1=10**((0.009101*AN+2.023146)
210: IF(AN.LE.40.0) P1=10**((0.017501*AN+1.691969)
220: IF(AN.GT.45.0) P05=10**((0.010034*AN+1.585095)
230: IF(AN.LE.45.0) P05=10**((0.017244*AN+1.734776)
240: GO TO 1000
250: 10 IF(AN.GT.52.0) P5=10**((0.006936*AN+2.095630)
260: IF(AN.LE.52.0) P5=10**((0.012493*AN+1.801275)
270: IF(AN.GT.63.0) P1=10**((0.006722*AN+2.040146)
280: IF(AN.LE.63.0) P1=10**((0.010557*AN+1.790880)
290: P05=10**((0.009801*AN+1.7588)
300: GO TO 1000
310: 20 IF(AN.GT.44.0) P5=10**((0.007359*AN+2.131223)
320: IF(AN.LE.44.0) P5=10**((0.017270*AN+1.709850)
330: IF(AN.GT.40.0) P1=10**((0.009067*AN+1.938319)
340: IF(AN.LE.40.0) P1=10**((0.013683*AN+1.753702)
350: IF(AN.GT.40.0) P05=10**((0.009575*AN+1.927620)
360: IF(AN.LE.40.0) P05=10**((0.013683*AN+1.657970)
370: GO TO 1000
380: 30 IF(AN.GT.40.0) P5=10**((0.008804*AN+2.073750)
390: IF(AN.LE.40.0) P5=10**((0.017228*AN+1.744152)
400: IF(AN.GT.40.0) P1=10**((0.008650*AN+2.006900)
410: IF(AN.LE.40.0) P1=10**((0.014756*AN+1.763899)
420: IF(AN.GT.42.0) P05=10**((0.009542*AN+1.881143)
430: IF(AN.LE.42.0) P05=10**((0.015751*AN+1.653610)
440: GO TO 1000
450: 40 IF(AN.GT.38.5) P5=10**((0.008679*AN+2.150700)
460: IF(AN.LE.38.5) P5=10**((0.016452*AN+1.835470)
470: IF(AN.GT.40.0) P1=10**((0.010227*AN+1.977210)
480: IF(AN.LE.40.0) P1=10**((0.036145*AN+1.150579)
490: IF(AN.GT.41.5) P05=10**((0.010668*AN+1.884970)
500: IF(AN.LE.41.5) P05=10**((0.015051*AN+1.696670)

```

```

661: GO TO 1000
662: 50 IF(AN.GT.41.)P5=10**(0.009688*AN+2.128900)
663: IF(AN.LE.41.)P5=10**(0.02086*AN+1.779240)
664: IF(AN.GT.34.)P1=10**(0.011007*AN+1.985700)
665: IF(AN.LE.34.)P1=10**(0.015051*AN+1.78927)
666: IF(AN.GT.45.)P15=10**(0.011306*AN+1.837400)
667: IF(AN.LE.45.)P09=10**(0.015043*AN+1.698900)
668: GO TO 1000
669: 60 IF(AN.GT.34.)P5=10**(0.018212*AN+2.150000)
670: IF(AN.LE.40.)P5=10**(0.018000*AN+1.948900)
671: IF(AN.GT.78.)P1=10**(0.010452*AN+2.032400)
672: IF(AN.LE.78.)P1=10**(0.016411*AN+1.820500)
673: IF(AN.GT.40.)P09=10**(0.011170*AN+1.921700)
674: IF(AN.LE.40.)P09=10**(0.015917*AN+1.761200)
675: GO TO 1000
676: 70 IF(AN.GT.40.)P5=10**(0.006779*AN+2.127200)
677: IF(AN.LE.45.)P5=10**(0.012554*AN+1.799192)
678: IF(AN.GT.57.)P1=10**(0.003316*AN+2.191300)
679: IF(AN.LE.50.)P1=10**(0.012555*AN+1.746800)
680: IF(AN.GT.40.)P09=10**(0.009650*AN+1.833800)
681: IF(AN.LE.40.)P09=10**(0.017637*AN+1.471726)
682: 100 IF(V.LE.1.0)GO TO 100
683: DP=(P1-P09)/5.0
684: P=P1-CP*(1.0-V)*10.0
685: GO TO 999
686: 100 DP=(P5-P1)/4.0
687: P=P1+DP*(V-1.0)
688: 999 DP2=P*SG
689: FPE=0.25*DP2*(G4/Q(N))+ER
690: FEE=.475*DP2
691: FP=FPE+FEE
692: IF(FPE.LT.50.0)FP=DP2
693: RETURN
694: END
695: BFTN,FD ,TFFS,VICIN
696:C *****
697:C * SUBROUTINE VICIN: DETERMINA LA VISCOSIDAD *
698:C * CINEMATICA DE UN ACEITE *
699:C *****
700: SUBROUTINE VICIN(NFLU,TEMP,PRE,API,VICI)
701: IF(NFLU.EG.1)GO TO 500
702: SG=14.14/(131.5+API)
703: IF(API.LE.9.5)GO TO 1
704: IF(API.LE.10.7)GO TO 2
705: IF(API.LE.14.0)GO TO 3
706: IF(API.LE.15.0)GO TO 4
707: IF(API.LE.19.8)GO TO 5
708: IF(API.LE.25.0)GO TO 6
709: IF(API.LE.26.0)GO TO 7
710: IF(API.LE.30.0)GO TO 8
711: IF(API.LE.31.1)GO TO 9
712: IF(API.LE.34.0)GO TO 10
713: IF(API.LE.36.4)GO TO 11
714: IF(API.LE.44.0)GO TO 12
715: IF(API.GT.44.0)GO TO 13
716: 1 B=2.73
717: GO TO 100
718: 2 B=2.92
719: GO TO 100
720: 3 B=3.76

```

```

721:      GO TO 100
722:      4 B=3.93
723:      GO TO 100
724:      5 B=3.24
725:      GO TO 100
726:      6 B=3.19
727:      GO TO 100
728:      7 B=3.01
729:      GO TO 100
730:      8 B=2.75
731:      GO TO 100
732:      9 B=2.44
733:      GO TO 100
734:      10 B=4.01
735:      GO TO 100
736:      11 B=4.04
737:      GO TO 100
738:      12 B=3.65
739:      GO TO 100
740:      13 B=2.27
741:      100 D=(5.47*ALOG(TEM+440.0))-12.50*SG-20.46)*0.0001
742:      VIC=B*(0.022-ALOG(TEM+440.0))+11.53*SG+D*PRE-9.254
743:      VIC1=EXP(VIC)
744:      VIC1=(EXP(VIC1))-0.6
745:      GO TO 100
746:      500 IF(TEM.LE.100.)VIC1=10**(-0.0055165*(TEM-100.))-1.550)
747:      IF(TEM.GT.100..AND.TEM.LE.160.)VIC1=10**(-0.0040506*(TEM-160.))-
748:      *979)
749:      IF(TEM.GT.160.)VIC1=10**(-0.0025080*(TEM-280.))-0.699)
750:      GO RETURN
751:      END
752:      FTN,FS ,IFFS,FRIC
753:      C *****
754:      C * SUBROUTINA QUE DETERMINA LAS PERDIDAS DE PRESION *
755:      C * POR FRICCION A LO LARGO DE UNA TUBERIA O POR EL *
756:      C * ESPACIO ANULAR, EN UN BOMBEO HIDRAULICO *
757:      C *****
758:      SUBROUTINE FRIC(LFLU,DTR,DTP,DEN,VICIN,GTO,ALON,PFR1)
759:      SG=DEN/62.42
760:      VIS=VICIN*SG
761:      IF(LFLU.EQ.1)GO TO 720
762:      RE=92.2*GTO*SG/((DTR-DTP)*VIS)
763:      D3=DTP/1.751
764:      E=(DTR-D3)/(DTR-DTP)
765:      IF(E.LT.1200)GO TO 721
766:      D1=1.045E-06*(VICIN**0.21)+(GTO**1.79)*ALON
767:      D2=(DTR-DTP)**1.21*(DTR**2-DTP**2)**1.79
768:      D2=D2*(DTR/(DTR-DTP))**1.1*((1+1.5*E*E)**0.25)
769:      PFR1=D1/D2
770:      GO TO 722
771:      721 C1=7.95E-06*VIS*ALON*GTO*((DTR/(DTR-DTP))**1.1)
772:      C2=(DTR-DTP)**1.2*(DTR**2-DTP**2)**(1+1.5*E*E)
773:      PFR1=C1/C2
774:      GO TO 722
775:      720 RE=92.2*GTO*SG/(DTP*VIS)
776:      IF(E.LT.1200)GO TO 723
777:      D1=1.045E-06*SG*(VICIN**0.21)+(GTO**1.79)*ALON
778:      PFR1=D1/(DTP**4.79)
779:      GO TO 722
780:      723 PFR1=7.95E-06*VICIN*GTO*ALON/(DTP**4)

```

```

741: 722 RETURN
742:     END
743: GOTO,FS      ,TPFS,EFICI
744: *****
745: * SUBROUTINA EFICI: DETERMINA LA EFICIENCIA *
746: * DE LA UNIDAD DE COMBUSTOR HIDRAULICO AL *
747: * PASAR GAS ATRAVES *
748: *****
749: C
750: C
751: SUBROUTINE EFICI(PWF,GOR,API,AV4,FB)
752: C
753: IF(GOR.GT.2000.0)GO TO 100
754: IF(GOR.LT.200.0)GO TO 400
755: IF(GOR.GT.1000.0)GO TO 300
756: IF(GOR.GT.500.0)GO TO 400
757: IF(PWF.GT.1000.0)GO TO 500
758: EF05=(ALOG10(PWF)-2.1846)/1.5191
759: GO TO 550
760: 500 EF05=(ALOG10(PWF)-2.3522)/1.1351
801: 550 EF02=(ALOG10(PWF)-1.7201)/1.3361
802: DE=EF15-EF02
803: EF0=EF05+DE*(1.-(GOR-2000)/1000)
804: 600 A=ABS(API-4.0)*0.003
805: EF10=EF0+A
806: EB=EF10*(0.3*AV4)
807: GO TO 1000
808: 100 EB=0.10
809: GO TO 1000
810: 200 ED=0.90
811: GO TO 1000
812: 300 IF(PWF.GT.1000)GO TO 600
813: EF20=(ALOG10(PWF)-2.4146)/3.636
814: EF10=(ALOG10(PWF)-2.2294)/2.2923
815: GO TO 350
816: 600 EF20=(ALOG10(PWF)-2.661)/2.105
817: EF10=(ALOG10(PWF)-2.5402)/1.4461
818: 350 DE=EF20-EF10
819: EF0=EF20+DE*(1-(GOR-1000)/1000)
820: GO TO 500
821: 400 IF(PWF.GT.1000.0)GO TO 700
822: EF10=(ALOG10(PWF)-2.2994)/2.2923
823: EF05=(ALOG10(PWF)-2.1846)/1.5391
824: GO TO 450
825: 900 EF30=(ALOG10(PWF)-2.5402)/1.4411
826: EF05=(ALOG10(PWF)-2.3522)/1.1351
827: 450 DE=EF10-EF05
828: EF0=EF10+DE*(1-(GOR-500)/1000)
829: GO TO 800
830: 1000 RETURN
831:     END
832: GMAP      ,JMPTES,PRINCI
833: IN TPFS,MAIN
834: IN TPFS,VICIN
835: IN TPFS,EFICI
836: IN TPFS,FPEP
837: IN TPFS,FRIC
838: END

```

## A P E N D I C E A

PERDIDAS DE PRESION POR FRICCION EN TUBERIAS VERTICALES EN SISTEMAS DE BOMBEO HIDRAULICO.<sup>22</sup>

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 gravedad específica a lo largo del pozo.

Debido a estas variaciones de viscosidad, el flujo en las sartas de tubería pueden presentarse en forma laminar o turbulenta. Por lo que el cálculo de las pérdidas de presión por fricción en instalaciones de bombeo hidráulico presentan varios problemas no encontrados en sistema hidráulicos ordinarios.

i) Determinación del tipo de flujo.

La pérdida de presión por fricción, representada como columna de -- fluido puede obtenerse aplicando la ecuación de Darcy\*

$$H_f = f \frac{l}{d} \times \frac{v^2}{2g}$$

a su vez, el número de Reynolds se puede obtener mediante:

$$RE = \frac{d v \rho}{\mu}$$

Este número, determina el tipo de flujo en el que se encuentra el -- sistema. Puede ser considerado flujo laminar si RE tiene valor menor de -- 1200; en el periodo de 1200 a 2500 el flujo se encuentra en forma transicional, mientras que para valores mayores a 2500 es turbulenta la forma del flujo dentro del ducto.

El valor del factor de fricción, se encuentra en función del tipo --

\* Nomenclatura al final del capítulo.

de flujo, para un sistema en régimen laminar el comportamiento es lineal, -- por lo que se puede calcular mediante:

$$f = \frac{64}{RE}$$

En un régimen turbulento, el efecto ejercido por la rugosidad de la tuberfa es considerable (diagrama de Moody), lo que implica que el factor de fricción no se comporte en forma lineal con respecto a RE como en el caso anterior.

Pozos operando con bombeo hidráulico, en condiciones normales, el - valor de RE no excede a 50000. De esta manera puede establecerse una rela-- ción para expresar el factor de fricción en forma lineal con el número de Rey nolds, en condiciones de turbulencia:

$$f = \frac{0,236}{RE^{0.21}}$$

El tamaño de las tuberfas de conducción de fluidos en un bombeo hi- dráulico, se encuentran en un rango de 1/2 a 4 pg. (en función del tamaño de la T.R. y de la bomba de fondo cuyos tamaños comerciales son de 2, 2 1/2, 3 y 4 pg, es como se eligen las tuberfas). Rango para el cual las constantes em- pleadas en la ecuación anterior se comporta adecuadamente.

ii) Variación de la viscosidad con respecto a la profundidad.

El gradiente de presión, y la variación de temperatura en el pozo, crean a su vez cambios en la gravedad específica y viscosidad de los fluidos, los cuales determinan el valor del factor de fricción.

Se ha encontrado que la variación de la viscosidad se comporta de - manera exponencial con respecto a la profundidad, y un gradiente de viscosi-- dad puede ser inducido. Para evaluar dicho gradiente, sólo es necesario conc

cer las condiciones en los puntos extremos del pozo (cabeza y fondo):

$$h = \frac{\int_{x_1}^{x_2} v \, dx}{(x_2 - x_1)}$$

Las ecuaciones presentadas en el inciso anterior pueden ser introducidas, solamente considerando un elemento  $dx$  corto, con lo que la carga de fluido se puede expresar como:

$$H_f = \int_{x_1}^{x_2} f \, dx \frac{1}{d} \frac{v^2}{2g}$$

considerando un regimen laminar se tiene:

$$\int_{x_1}^{x_2} f \, dx = \frac{64}{dv} \int_{x_1}^{x_2} v \, dx$$

y para regimen turbulento:

$$\int_{x_1}^{x_2} f \, dx = \frac{0.236}{(dv)^{0.21}} \int_{x_1}^{x_2} v^{0.21} \, dx$$

Observando las ecuaciones anteriores se puede apreciar que empleando el gradiente de viscosidad se puede calcular el factor de fricción y por consiguiente las pérdidas de presión por fricción; tanto en secciones anulares como circulares.

### iii) Pérdidas de presión por fricción.

Para propósitos prácticos, es conveniente emplear valores en los parámetros con unidades comunes y usuales; se introducen constantes adecuadas para esto.

Número de Reynolds. (adim)

$$RE = 7.741 \times 10^3 \frac{d V \rho}{\mu}$$

Velocidad de flujo (pie<sup>3</sup>/seg)

$$V = 11.91 \times 10^{-3} \frac{Q}{d}$$

## 1.- Secciones circulares.

## a) Regimen laminar.

Las pérdidas de presión por fricción (lb/pg<sup>2</sup>) en este regimen puede calcularse:

$$Pf = 7.95 \times 10^{-6} \frac{\mu l Q}{d}$$

## b) Regimen turbulento

$$Pf = 11.46 \times 10^{-6} \frac{\delta f l Q^2}{d^5}$$

donde:

$$f = 0.0361 \left[ \frac{v}{dV} \right]^{0.21} = 0.0911 \left[ \frac{dv}{Q} \right]^{0.21}$$

combinando ambas ecuaciones, la pérdida de presión por fricción resulta:

$$Pf = 1.045 \times 10^{-6} \frac{\delta v^{0.21} Q^{1.79} l}{d^{4.79}}$$

## 2.- Secciones anulares.

En una sección anular (en bombeo hidráulico) siempre se tendrá flujo de retorno o de abajo hacia arriba, además es probable que la tubería que se encuentra adentro no esté concéntrica a la exterior.

Tomando a  $d_1$  como diámetro interior de la tubería mayor (T.R.) y  $d_2$  diámetro exterior de la tubería menor (T.R.), la ecuación para el cálculo de la velocidad a través de espacio anular puede escribirse:

$$v = 11.91 \times 10^{-3} \frac{Q}{d_1^2 - d_2^2}$$

Ha sido introducido (Davis, Aftherton, Kvatz y otros) el concepto de que el factor por fricción debe ser incrementado por un término de:

$$\phi_1 (d_1, d_2) = \frac{D_1}{d_1 - d_2}^{0.1}$$

y en flujo turbulento disminuir en la misma cantidad. La corrección anterior es mucho más pequeña que la expuesta por otros autores (Lamb - 1931).

También, como se mencionó, la tubería puede no estar concéntrica, - por lo que se puede tomar una correlación, en función de la excentricidad:

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

donde  $e$  es la relación de distancias entre el centro de las dos tuberías al claro radial concéntrico. En desarrollos recientes (Tao y Donovan) es considerado el caso de turbulencia, la relación para este régimen es compleja, sin embargo para propósitos de este escrito puede aproximarse a:

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

a) Régimen laminar

La pérdida de presión por fricción (lb/pg<sup>2</sup>) es:

$$PL = \frac{7.95 \times 10^{-6} \mu l Q \left[ \frac{d_1}{d_1 - d_2} \right]^{0.1}}{(d_1 - d_2) (d_1^2 - d_2^2)^2 \left[ \frac{d_1}{d_1 - d_2} \right]^{0.1} (1 + 1.5e^2)^{0.25}}$$

b) Régimen turbulento

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

donde:

$$f = 0.0911 \left( \frac{(d_1 + d_2) v}{Q} \right)^{0.21}$$

combinando las dos últimas ecuaciones se obtiene finalmente:

$$PL = \frac{1.045 \times 10^{-6} \delta_v^{0.21} Q^{1.79} l}{(d_1 - d_2)^{1.21} (d_1^2 - d_2^2)^{1.79} \left( \frac{d_1}{d_1 - d_2} \right)^{0.1} (1 + 1.5e^2)^{0.25}}$$

Es posible calcular las pérdidas de presión por fricción en sartas de tuberías, con parámetros comunes y conocidos. Sin necesidad de recurrir a gráficas, nomogramas, tablas, etc., que aparte de ser tedioso su empleo, se expone a errores de lectura e interpretación.

El ingeniero en producción puede determinar el efecto de la temperatura y la presión sobre la viscosidad y gravedad específica, sólo requiere conocer la viscosidad en los puntos extremos del pozo (cabeza, fondo) y con el método descrito encontrar el gradiente de viscosidad.

Pueden conocerse las pérdidas de presión por fricción en secciones circulares y/o anulares.

## A P E N D I C E B

DETERMINACION DE LA VISCOSIDAD CINEMATICA DE UN FLUIDO EN SISTEMAS DE BOMBEO HIDRAULICO.<sup>23</sup>

La viscosidad de un fluido puede expresarse en forma dinámica o cinemática, la primera de una relación de la masa del fluido con respecto a la longitud que se mueva en un determinado lapso de tiempo; mientras que la segunda, es el mismo concepto relacionado a la vez con la densidad del fluido.

La viscosidad (tanto dinámica como cinemática) de un fluido es afectada senciblemente por su gravedad específica por ser ambas relaciones independientes de la cantidad de masa (propiedades intensivas). Los aceites para fñnicos por ejemplo, tienen mayores viscosidades que los asfálticos (Figura - 39).

A su vez, la viscosidad disminuye, si la temperatura del fluido aumenta, comportandose en relación lineal en la mayoría de los aceites (idéntico asunto en agua). Una relación log-log de viscosidad con la temperatura absoluta, puede ser encontrada, con empleo de algunos parámetros; dicha relación es:

$$\text{Log}_e \text{Log}_e (\gamma + A) = -B \text{Log } T_a + K^*$$

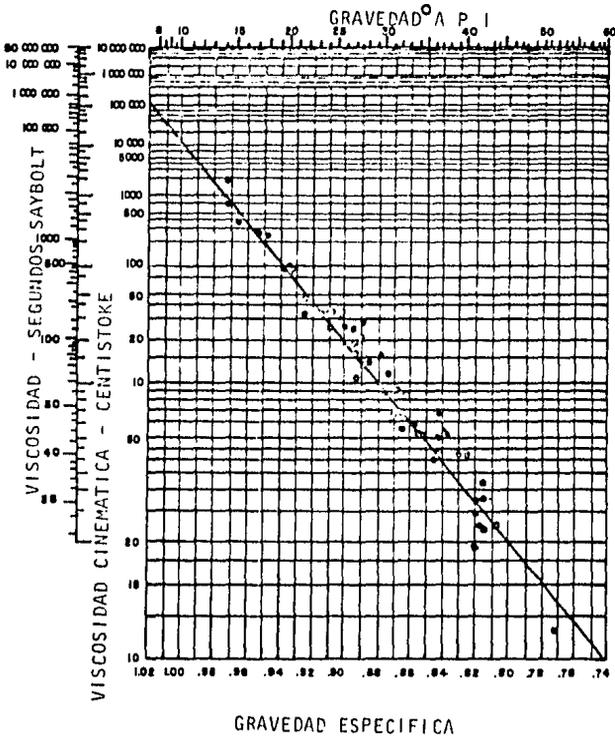
en crudos, los valores comunes para estas relaciones son:

A = 0.6 para viscosidades arriba de 1.5 centistokes, 0.65 para valores entre 1.0 a 1.5 centistokes, 0.7 para 0.7 a 1.5 de viscosidad y 0.75 los encontrados en viscosidades de 0.4 a 0.7 centistokes.

K = es un índice función de la presión, profundidad y gravedad específica del fluido (mas adelante se detallará).

B = índice de temperatura, el cual puede estimarse con el ángulo -- formado por la línea de viscosidad y la abscisa (eje x) de una gráfica de la --

\* Nomenclatura al final del capítulo.



VISCOSIDAD DEL ACEITE  
VS.  
GRAVEDAD ESPECIFICA

FIG: 39

ecuación anterior, esto es, en la pendiente de la ecuación, o valor de la tangente de ese ángulo.

En términos normales para sistemas de bombeo hidráulico, se determinó un factor empírico de 5.064 que afecta la pendiente, entonces:

$$B = 5.064 \tan \theta$$

El índice de temperatura tiene un valor para cada tipo de fluido, - teniendo un rango de aceites de 10 a 50° API como normales (raro es un crudo fuera de estos valores) puede establecerse los valores de B entre 2.24 a 4.21 (ver tabla V )

La viscosidad aumenta con el incremento de presión (Bridgman: Physics of High Pressure). Estudios reportados, referentes a viscosidades de -- aceites lubricantes (ASME), presentan relaciones de viscosidad con parámetros usuales (temperatura, presión, volumen específico, etc.) y constantes referentes al tipo de fluido.

Bridgman, desarrolló y presentó la relación siguiente:

$$\eta \gamma^{\frac{1}{2}} = A \exp \left( P + \frac{r}{Y} \right) \frac{S}{T_a}$$

donde r, S son constantes. Esta correlación es difícil de aplicar.

Tomando como base este estudio, F.B. Brown y C. J. Coberly (1959) - implantaron una correlación aplicando parámetros más usuales, la cual en forma general es:

$$\gamma + A = \exp (CT^{-B}) \exp (Eb2) \exp (G \log (ta) + H + 1)^{PF}$$

cuando se aplica en crudos se llega a:

$$\text{Log}_e \text{Log}_e (\gamma + 0.6) = B (6.328 - \text{Log}_e T_a) + 11.53 + D*P - 9.254$$

de donde:

$$D = (5.47 \log_e Ta - 12.50 \delta - 20.46) \times 10^{-5}$$

forma con la cual es posible obtener la viscosidad cinemática de un aceite, - conociendo la temperatura (absoluta) presión y gravedad específica, así como el índice de temperatura.

Para calcular la viscosidad cinemática de un tipo de agua, puede -- ser empleada la Figura **37**, la cual está basada en una relación lineal de - la viscosidad con respecto a la temperatura.

Teniendo en cuenta que en sistemas de bombeo hidráulico puede em-- plearse un fluido motriz base agua, es presindible tneer una forma rápida y - confiable de conocer la viscosidad cinemática.

De acuerdo a la figura antes mencionada y considerando al agua como un fluido prácticamente incomprensible, puede ser tomar a la viscosidad como función sólo de la temperatura (los resultados lo confirman). Un ajuste de - la curva temperatura contra viscosidad, es fácil de hacerse.

Para valores de temperatura menores a 100°F, la viscosidad puede es- timarse con la ecuación:

$$\gamma = 10^{**} (-0.0055165 * (T - 100) - 1.550)$$

con temperaturas entre 100 a 160°F

$$\gamma = 10^{**} (-0.0040506 * (T - 160) - 0.30)$$

y valores mayores a 160°F

$$\gamma = 10^{**} (-0.002508 * (T - 280) - 0.698)$$

Con todo lo anterior, es posible calcular, de manera analítica, la viscosidad cinemática de un fluido (agua o aceite) empleado en bombeo hidráu- lico, sin necesidad de recurrir a gráficas, que aunque resulte fácil su empleo,

tedioso e impráctico. Aunado a que incrementan el error debido a fallas humanas.

Teniendo en cuenta que con el empleo de una computadora, y empleando estas fórmulas pueden ser obtenidos valores muy precisos y en gran cantidad, en tiempos reducidos.

## A P E N D I C E C

## PERDIDAS DE PRESION POR FRICCION EN LA BOMBA Y MOTOR DE LA UNIDAD SUBSUPERFICIAL.

La presión requerida para operar una unidad subsuperficial de bombeo hidráulico bajo condiciones, sin efecto de carga hidrostática, se muestra en la Figura 35. Esta gráfica representa la pérdida de presión por fricción tanto mecánica como hidráulica en la unidad de fondo.

Las pérdidas en el equipo subsuperficial están en función no sólo del tipo de bomba, sino también del fluido motriz empleado, del cual es necesario conocer la viscosidad cinemática (Apéndice B).

Para determinar estas pérdidas de presión en la unidad, es necesario conocer los desplazamientos de la bomba, tanto el especificado como el máximo calculado (SPM y SPM cal.). Estos valores son presentados en la tabla de especificaciones de la bomba, en la columna 6ta, SPM es el valor correspondiente en esa columna a la bomba elegida, SPM cal es el valor calculado con el gasto que manejará la bomba y el desplazamiento de ésta (Cap. V.2.3)

También es necesario el número correspondiente de la tabla (colocado en la parte inferior izquierda de la tabla usada).

Con estos valores podemos hacer uso de la figura mencionada y obtener la variación de presión  $\Delta P$  relacionada con la gravedad específica del fluido (S.G.)<sup>24</sup>.

El empleo de una gráfica para obtener cierto valor, induce a una incomodidad, además a un cierto factor de error humano inevitable, por lo que se prefiere evitar esto.

Analizando la Figura 35, es posible adaptarle un modelo matemático para obtener el valor deseado, a partir de los datos que solicita la figu-

ra, sin necesidad de recurrir a ella. El ajuste más sencillo y en este caso apto es el modelo basado en rectas, semilogarítmicas, encontrando los límites adecuados e intervalos en que sea factible cada línea.

Acomodando en escala normal en las abscisas los valores de relación de velocidad de desplazamiento de la bomba ( $SPM_{cl}/SPM$ ) x 100, mientras que en la escala logarítmica en las ordenadas los valores de presión ( $lb/pg^2$ ) se encontró que la viscosidad se comporta como una línea recta, que cambia de pendiente en un determinado punto (ver Figura **41**). Lo que implica que para cada viscosidad, se tienen dos rectas semi-logarítmicas.

Teniendo en cuenta que existen 8 diferentes figuras de bombas (en realidad son 14, pero distribuidos en 8), para cada viscosidad dos rectas, se tienen en total 16 rectas para un sólo valor de viscosidad.

Si el rango de viscosidades en aceite comunes oscila entre 0.5 a 5.0 centistokes, se tienen por lo tanto una infinidad de puntos intermedios. Para propósitos prácticos, tomando estos valores como fronteras, y un valor característico (1.0 centistokes por ser muy común) intermedio, se reduce a tres valores de viscosidad.

Con estos tres valores de viscosidad, se necesitan por lo tanto 48 ecuaciones (16 por cada una).

Para valores diferentes de viscosidades, sólo será necesario una interpolación o en casos severos (valores fuera de frontera) una extrapolación. Con esto, para cualquier tipo de bomba y fluido motriz se puede conocer el correspondiente valor de presión de la figura, sin necesidad de recurrir a ella; los valores obtenidos son muy precisos, puede afirmarse que son los que se leerían.

Lógicamente manejar este número de ecuaciones resulta difícil, pero

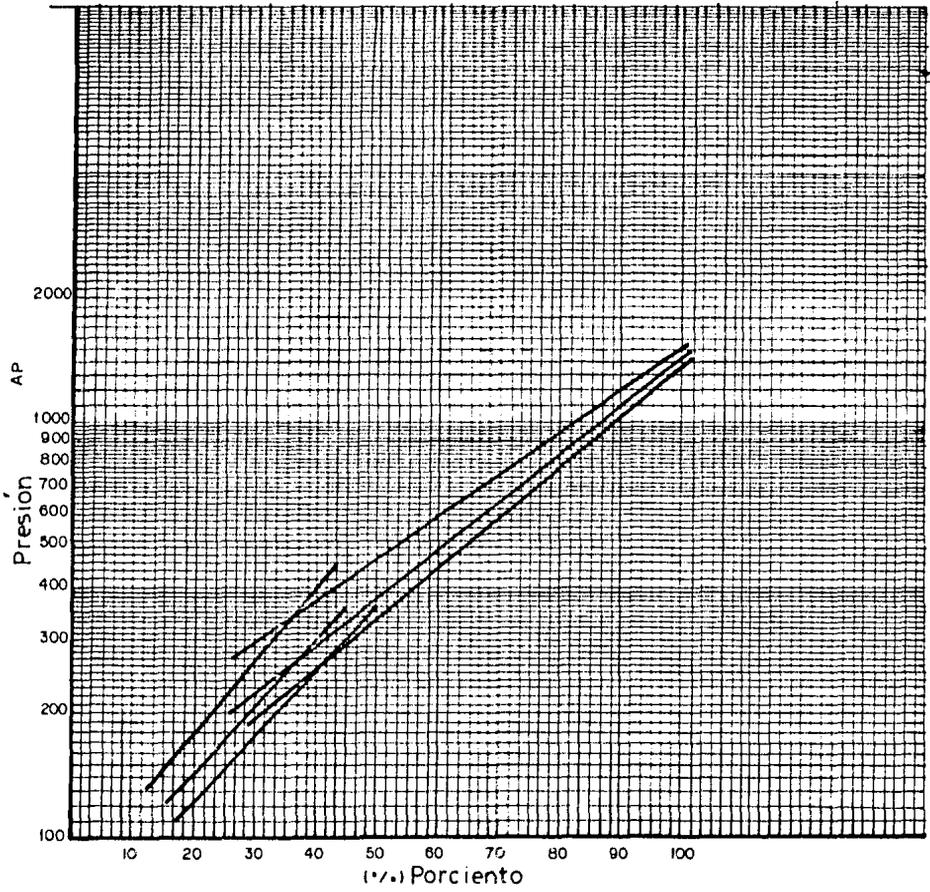


Fig. 41

con el empleo de un programa de cómputo se convierte en una acción simple y -  
veloz.

Obtenido el valor de  $\Delta P$  (presión de la figura) las pérdidas de presión por fricción en el motor de fondo es:

$$FEE = 0.75 \Delta P$$

y las pérdidas en la bomba:

$$FEP = \frac{0.25 \Delta P * q^4 * EFBO}{q^4 \text{ max.}}$$

finalmente las pérdidas de presión por fricción en la unidad subsuperficial -  
es la suma de ambas:

$$FP = FEE + FEP$$

Si la relación de:

$$\underline{FEP} < 50$$

entonces las pérdidas de presión por fricción en la unidad de fondo serán sólo las del motor:

$$FP = \Delta P$$

DIAMETRO BOMBA	RELACION P/E	GASTO	MOTOR	BOMBA	SPM
2 x 1 1/2	67	166	13.3	6.9	27
2 x 1 1/4	93	259	13.3	9.6	27
2 x 1 1/8	133	373	13.3	13.8	27
2 1/2 x 1 1/2	58	257	21.2	9.5	27
2 1/2 x 1 1/4	83	370	21.2	13.7	27
2 1/2 x 1 1/8	113	502	21.2	18.6	27
2 1/2 x 2	147	653	21.2	24.2	27
3 x 1 1/2	53	418	38.1	15.5	27
3 x 1 1/4	72	570	38.1	21.1	27
3 x 2	94	742	38.1	27.5	27
3 x 2 1/2	130	940	38.1	34.8	27
3 x 3	147	1161	38.1	43.0	27
4 x 2 1/2	68	940	63.5	34.8	27
4 x 2 1/4	101	1404	63.5	52.0	27
4 x 3 1/2	141	1960	63.5	72.6	27

Fig. 5 1



DIAMETRO BOMBA	RELACION P/E	GASTO	MOTOR	BOMBA	SPM
2 x 1 1/2 x 1 1/2	52	225	15.08	6.45	35
2 x 1 1/2 x 1 1/4	72	312	15.08	8.92	35
2 x 1 1/2 x 1 1/8	103	450	15.08	12.65	35
2 x 1 1/2 x 2	131	528	15.08	15.08	35
2 1/2 x 2 x 1 1/2	44	264	30.80	12.02	22
2 1/2 x 2 x 1 1/4	68	467	30.80	17.30	27
2 1/2 x 2 x 1 1/8	80	547	30.80	20.30	27
2 1/2 x 2 x 2 1/2	93	637	30.80	23.60	27
2 1/2 x 2 x 3	121	831	30.80	30.80	27
3 x 2 1/2 x 1 1/2	59	641	43.71	21.42	30
3 x 2 1/2 x 2	77	840	43.71	27.58	30
3 x 2 1/2 x 2 1/4	98	1062	43.71	35.41	30
3 x 2 1/2 x 3	121	1311	43.71	43.71	30
4 x 2 1/2 x 2	57	840	60.35	27.08	30
4 x 2 1/2 x 2 1/4	72	1062	60.35	35.41	30
4 x 2 1/2 x 3	89	1311	60.35	43.71	30
4 x 2 1/2 x 3 1/2	108	1587	60.35	52.00	30
4 x 2 1/2 x 4	132	1910	60.35	60.35	30

Fig. 5 2



DIAMETRO BOMBA	RELACION P/E	GASTO	MOTOR	BOMBA	SPM
VFR 201611 .....	62	316	4.24	2.12	150
VFR 201613 .....	87	444	4.24	2.06	150
VFR 201618 .....	1.32	673	4.24	4.49	150
VFR 252015 .....	74	610	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. 5 3

DIAMETRO BOMBA	RELACION P/E	GASTO	MOTOR	BOMBA	SPM
VFR 20161913 .....	54	414	6.26	2.56	150
VFR 20161918 .....	81	673	6.81	4.49	150
VFR 25202015 .....	41	610	15.16	5.25	120
VFR 25202017 .....	56	858	15.16	7.15	120
VFR 25202020 .....	73	1119	15.16	9.33	120

Fig. 5 4



DIAMETRO BOMBA	RELACION P/E	GASTO	MOTOR	BOMBA	SPM
V-25-11-118 .....	1 18	1419	5 33	6 31	224
V-25-11-089 .....	95	1299	6 68	6 31	239

Fig. 5 5

DIAMETRO BOMBA	RELACION P/E	GASTO	MOTOR	BOMBA	SPM
V25-21-075 .....	75	1173	8 38	6 31	186
V25-21-083 .....	63	1072	10 00	6 31	170

Fig. 5 6



DIAMETRO BOMBA	RELACION P/E	GASTO	MOTOR	BOMBA	S P M
201311	71	204	4.2	3.0	68
201313	1.00	285	4.2	4.2	68
201811	47	204	6.4	3.0	68
201813	68	285	6.4	4.2	68
201818	1.00	517	9.4	9.4	55
251811	47	214	7.0	3.3	65
251813	68	299	7.0	4.8	65
251818	1.00	455	7.0	7.0	65
252018	64	340	16.5	10.8	51
252018	81	683	16.5	13.4	51
252020	1.00	841	16.5	16.5	51
402422	38	1269	22.1	28.2	45

Fig. 5 7



DIAMETRO BOMBA	RELACION P/E	GASTO	MOTOR	BOMBA	S P M
2 x 1-1 1/2	545	229	2.15	1.15	121
2 x 1-1	1.000	254	2.15	2.10	121
2 x 1-1 1/2	1.546	293	2.15	3.25	121
2 x 1 1/2-1	647	214	3.30	2.10	121
2 x 1 1/2-1 1/2	1.000	293	3.30	3.25	121
2 1/2 x 1 1/2-1	520	256	5.02	2.56	100
2 1/2 x 1 1/2-1 1/2	746	367	5.02	3.67	100
2 1/2 x 1 1/2-1 1/2	1.000	492	5.02	4.92	100
2 1/2 x 1 1/2-1 1/2	1.431	703	5.02	7.03	100
2 1/2 x 1 1/2-1 1/2	700	492	7.13	4.92	100
2 1/2 x 1 1/2-1 1/2	1.000	703	7.13	7.03	100
3 x 1 1/2-1 1/2	592	426	9.61	11.59	87
3 x 1 1/2-1 1/2	787	640	9.61	7.43	87
3 x 1 1/2-1 1/2	1.000	821	9.61	9.44	87
3 x 1 1/2-1 1/2	1.490	1218	9.61	14.00	87
3 x 1 1/2-1 1/2	676	521	14.17	9.44	87
3 x 1 1/2-1 1/2	1.000	718	14.17	14.00	87
4 x 2-1 1/2	687	1108	21.44	14.40	77
4 x 2-2	1.000	1617	21.44	21.00	77
4 x 2-2 1/2	1.541	2522	21.44	32.50	77
4 x 2 1/2-2	642	1617	32.94	21.00	77
4 x 2 1/2-2 1/2	1.000	2522	32.94	32.50	77

Fig. 5 8



DIAMETRO BOMBA	RELACION P/E	GASTO	MOTOR	BOMBA	SPM
2 x 1 1/2 - 1 x 1/2	1200	508	3.30	4.20	121
2 x 1 1/2 - 1 1/2 x 1 1/2	1647	647	3.30	5.35	121
2 x 1 1/2 - 1 1/2 x 2 1/2	2000	756	3.30	6.50	121
2 1/2 x 1 1/2 - 1 1/2 x 1 1/2	1400	984	7.13	9.84	103
2 1/2 x 1 1/2 - 1 1/2 x 2 1/2	1701	1195	7.13	11.95	103
2 1/2 x 1 1/2 - 1 1/2 x 3 1/2	2000	1406	7.13	14.06	103
3 x 1 1/2 - 1 1/2 x 1 1/2	800	972	14.17	11.18	87
3 x 1 1/2 - 1 1/2 x 2 1/2	1351	1642	14.17	18.88	87
3 x 1 1/2 - 1 1/2 x 3 1/2	1675	2039	14.17	23.44	87
3 x 1 1/2 - 1 1/2 x 4 1/2	2000	2436	14.17	28.00	87
4 x 2 1/2 - 2 x 1 1/2	1034	2725	32.94	35.40	77
4 x 2 1/2 - 2 x 2 1/2	1299	3234	32.94	42.00	77
4 x 2 1/2 - 2 1/2 x 2 1/2	1650	4119	32.94	53.50	77
4 x 2 1/2 - 2 1/2 x 3 1/2	2000	5005	32.94	65.00	77

Fig. 5 9



DIAMETRO BOMBA	RELACION P/E	GASTO	MOTOR	BOMBA	SPM
2 x 1 1/2 - 1 1/2	700	381	4.54	3.15	121
2 x 1 1/2 - 1 1/2	1000	544	4.54	4.50	121
2 1/2 x 1 1/2 - 1 1/2	665	744	10.96	7.44	100
2 1/2 x 1 1/2 - 1 1/2	1000	1096	10.96	10.06	100
3 x 2 1/2 - 1 1/2	740	1788	21.75	15.56	87
3 x 2 1/2 - 2 1/2	1000	1874	21.75	21.55	87

Fig. 5 10



DIAMETRO BOMBA	RELACION P/E	GASTO	MOTOR	BOMBA	SPM
2 x 1 1/2 - 1 1/2 x 1 1/2 .....	1.380	751	4.54	6.21	121
2 x 1 1/2 - 1 1/2 x 1 1/2 .....	1.680	913	4.54	7.55	121
2 x 1 1/2 - 1 1/2 x 1 1/2 .....	1.980	1075	4.54	8.90	121
2 1/2 x 1 1/2 - 1 1/2 x 1 1/2 .....	1.336	1452	10.96	14.52	100
2 1/2 x 1 1/2 - 1 1/2 x 1 1/2 .....	1.652	1794	10.96	17.94	100
2 1/2 x 1 1/2 - 1 1/2 x 1 1/2 .....	1.957	2136	10.96	21.36	100
3 x 2 1/2 - 1 1/2 x 1 1/2 .....	1.454	2726	21.75	31.34	87
3 x 2 1/2 - 2 1/2 x 1 1/2 .....	1.714	3213	21.75	30.94	87
3 x 2 1/2 - 2 1/2 x 2 1/2 .....	1.974	3700	21.75	42.53	87

Fig. 5 11



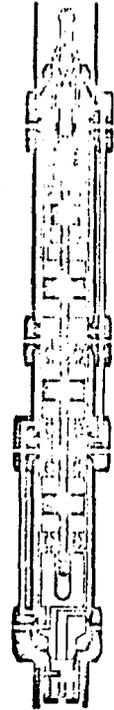
DIAMETRO BOMBA	RELACION P/E	GASTO	MOTOR	BOMBA	SPM
2 x 1 1/2 x 1 1/2 - 1 1/2 .....	.407	381	7.79	3.15	121
2 x 1 1/2 x 1 1/2 - 1 1/2 .....	.581	544	7.79	4.50	121
2 1/2 x 1 1/2 x 1 1/2 - 1 1/2 .....	.411	744	17.99	7.44	100
2 1/2 x 1 1/2 x 1 1/2 - 1 1/2 .....	.608	1066	17.99	10.66	100
3 x 1 1/2 x 2 1/2 - 1 1/2 .....	.449	1357	35.74	15.96	87
3 x 1 1/2 x 2 1/2 - 2 1/2 .....	.608	1874	35.74	21.55	87

Fig. 5 12



DIAMETRO BOMBA	RELACION P/E	GASTO	MOTOR	BOMBA	SPM
2 x 1 1/2" - 1 1/2" x 1 1/2"	.802	751	7.79	6.21	12'
2 x 1 1/2" - 1 1/2" x 1 1/2"	.970	913	7.70	7.55	12'
2 x 1 1/2" - 1 1/2" x 1 1/2"	1.150	1076	7.79	8.80	121
2 1/2" x 1 1/2" - 1 1/2" x 1 1/2"	.813	1452	17.99	14.52	100
2 1/2" x 1 1/2" - 1 1/2" x 1 1/2"	.976	1794	17.89	17.94	100
2 1/2" x 1 1/2" - 1 1/2" x 1 1/2"	1.198	2138	17.99	21.38	100
3 x 1 1/2" - 1 1/2" x 1 1/2"	.882	2720	35.74	31.34	87
3 x 1 1/2" - 2 1/2" x 1 1/2"	1.039	3213	35.74	36.94	87
3 x 1 1/2" - 2 1/2" x 2"	1.197	3700	35.74	42.53	87

Fig. 5 13.



DIAMETRO BOMBA	RELACION P/E	GASTO	MOTOR	BOMBA	SPM
2 x 1 1/2" .....	1.132	1011	18.35	21.15	62
2 1/2" x 1 1/2" .....	1.146	2397	37.35	42.81	58
3 x 2 1/2" .....	1.142	4015	68.32	75.76	53

Fig. 5 14



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

Emplear el Bombeo Hidráulico como un sistema artificial de producción implica una gran inversión, debido a que no sólo consiste del equipo de fondo y el de superficie, sino además de un complejo sistema de fluido motriz, el cual debe ser perfectamente programado, de tal forma que funcione de la -- manera más eficaz.

Debido a esto, el Bombeo Hidráulico ha quedado rezagado (en nuestro país) e incluso es atacado, puesto que no cualquiera se atreve a llevar a - - cuestras una responsabilidad tan seria.

Por otro lado, hablar de grandes volúmenes de fluidos, en otros paises, pueden ser relativamente pequeños a los obtenidos en campos petroleros - mexicanos; es por ello que los límites de capacidad de manejo de fluido en un Bombeo Hidráulico, pueden ser bajos, pese a que se presente el hecho de tener altos volúmenes de producción como una ventaja.

Diseñar un sistema de Bombeo Hidráulico, es un asunto complejo, deben ser tomadas bastantes consideraciones, situaciones e incluso consecuen--cias; que comparado con el diseño de cualquier otro tipo de sistema de produc--ción artificial resulta más difícil.

Pero, ha quedado demostrado que puede hacerse sistemático este dise--ño, e incluso llegar a programarse en algún lenguaje de cómputo; una muestra de ello es el programa BOMHID, el cual realiza dicho diseño, y su codifica--ción puede observarse en este estudio. Con esto, no se pretende decir que --BOMHID sea la panacea que resolverá todo lo referente al diseño de bombeo hi--dráulico, sino por el contrario, es un reto a desarrollar y perfeccionar.

En México, desafortunadamente, poco se ha hecho para implantar el -

Bombeo Hidráulico, en realidad no existen pozos que empleen este sistema. Aunque hay algunos (en Poza Rica, Ver.) que tienen implantado un sistema que pretende seguir este principio, pero no puede ser comparado, ni ser llamado "bombeo hidráulico", como sucede.

Este sistema empleado, en algunos pozos en Poza Rica, Ver., está -- basado en el principio del bombeo hidráulico tipo "jet", el cual al igual que el tipo pistón (desarrollado en el presente trabajo) emplea un fluido como -- transmisor de energía, pero el equipo de fondo es muy diferente.

Teniendo en cuenta que, hoy en día, cada vez se perfora a mayores - profundidades y considerando los ritmos desorbitados de extracción que se están realizando, pese a las dimensiones de los yacimientos (en especial los de la zonda de Campeche), muy pronto será necesario el empleo de sistemas artificiales de producción que puedan extraer fluido a tan altas profundidades.

Siendo el Bombeo Hidráulico, el único capaz de extraer fluidos a -- profundidades de 15000 ó más pies de profundidad, puede ser éste la más apta alternativa para seguir explotando esos yacimientos. Pero si esto, se toma - en consideración cuando por energía natural ya no sea factible obtener flui-- dos en forma costeable, se habrá perdido tiempo muy valioso.

Por lo tanto, si desde mucho antes se diseña un sistema adecuado de extracción, empleando Bombeo Hidráulico, no sólo se ganaría tiempo, sino se - ahorrará dinero y esfuerzo; puesto que se puede estimar el momento adecuado - de la instalación, lo que implica que no se tiene tiempo muerto innecesario.

Con lo anterior, y con todo el presente trabajo, no se pretende - plantear al Bombeo Hidráulico, como el mejor sistema de producción artificial, sino proponerlo como una alternativa más para el buen aprovechamiento de los recursos petroleros. Proponer además el reto de atreverse a usar este método,

presentando bases sólidas, de muchos estudios realizados sobre el tema.

Se trato que el trabajo fuese accesible y fácil de comprender, de - tal manera que quien no se encuentre familiarizado con este sistema de producción lo pudiese comprender y asimilar. A la vez, de servir como un auxiliar al estudiante de métodos artificiales de producción.

## N O M E N C L A T U R A

A	Constante (adim)
$^{\circ}$ API	Densidad del fluido en grados API
B	Índice de temperatura (adim)
d	Diámetro de tubería (pg)
e	Excentricidad
EFBO	Eficiencia de la boma
EFMO	Eficiencia del motor (generalmente 0.90)
f	Factor de fricción (adim)
FEE	Pérdidas de presión por fricción en el motor (lb/pg <sup>2</sup> )
FPE	Pérdidas de presión por fricción e la bomba (lb/pg <sup>2</sup> )
FP	Pérdidas de presión por fricción en la unidad de fondo (lb/pg <sup>2</sup> )
F1	Pérdidas por fricción en tubería de inyección (lb/pg <sup>2</sup> )
F2	Pérdidas por fricción en tubería de retorno (lb/pg <sup>2</sup> )
F3	Pérdidas por fricción en tubería de producción (lb/pg <sup>2</sup> )
g	Aceleración gravitacional (pie/seg <sup>2</sup> )
Gd	Gradiente de fluido (lb/pg <sup>2</sup> /pie)
G1	Gradiente del fluido motriz (lb/pg <sup>2</sup> /pie)
G3	Gradiente de fluido (lb/pg <sup>2</sup> /pie)
G4	Gradiente de fluido producido (lb/pg <sup>2</sup> /pie)
HPfon	Potencia de fondo (HP)
HPsup	Potencia superficial (HP)
Wf	Carga hidrostática (pie)
h1	Profundidad de colocación de la bomba (pie)
h4	Surgencia (pie)

k	Constante
l	Longitud de tubería (pie)
RE	Relación bomba motor
PE máx.	Relación bomba-motor máxima
Pf	Pérdida de presión por fricción (lb/pg <sup>2</sup> )
PPR	Presión de retorno del fluido motriz (lb/pg <sup>2</sup> )
Prof	Profundidad (pie)
Ps	Presión superficial de inyección de fluido motriz (lb/pg <sup>2</sup> )
Pwh	Presión en la cabeza del pozo (lb/pg <sup>2</sup> )
P1	Presión de entrada al motor de fondo del fluido motriz (lb/pg <sup>2</sup> )
P2	Presión de salida del fluido motriz del motor de fondo (lb/pg <sup>2</sup> )
P3	Presión de salida de la bomba de fondo (lb/pg <sup>2</sup> )
P4	Presión de entrada a la bomba (lb/pg <sup>2</sup> )
PL	Pérdidas de presión por fricción (lb/pg <sup>2</sup> )
Q	Gasto de fluido (bl/dfa)
Qb	Gasto manejado por la bomba (bl/dfa)
Qo	Gasto de aceite (bl/dfa)
QT	Gasto de fluido total (bl/dfa)
Qw	Gasto de agua (bl/dfa)
QFM	Gasto de fluido motriz (bl/dfa)
q1	Desplazamiento del motor (BPD/SPM)
q4	Desplazamiento de la bomba (BPD/SPM)
r	Constante (adim)
RE	Número de Reynolds (adim)
S	Constante (adim)
SG	Gravedad específica del fluido (agua dulce =1)

SPM	Velocidad de desplazamiento (SPM)
Ta	Temperatura absoluta ( $^{\circ}\text{K}$ )
T	Temperatura ( $^{\circ}\text{F}$ )
V	Velocidad media del fluido (pie/seg)
r	Viscosidad cinemática (centistoke)
X	Longitud o profundidad (pie)
P	Presión sin efecto de carga de fluido (lb/pg <sup>2</sup> )
P <sup>1</sup>	Presión afectada por la gravedad específica (lb/pg <sup>2</sup> x S.G.)
$\rho$	Densidad del fluido (dina -seg <sup>2</sup> /cm <sup>4</sup> )
$\mu$	Viscosidad dinámica o absoluta (cp)
$\eta$	Gradiente de viscosidad (centistoke/pie)
$\delta$	Gravedad específica del fluido
$\theta$	Angulo de la línea de viscosidad y el plomo horizontal
$\phi_1$	Relación de diámetros (adim)
$\phi_2$	Relación de excentricidad (adim)
$\phi_3$	Relación de excentricidad corregido (adim)

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

- 1) R. G. HOLLIS. "Deep Hydraulic Pumping - Reno Fields".  
May 1966. No. 1452 SPE
- 2) "Bombeo Hidráulico - Causas de Fallas"  
Nov. 1965. Petróleo Interamericano.
- 3) "Cómo Explotan Yacimientos Costa Afuera"  
May 1974. Petróleo Internacional.
- 4) H. L. KELLY y H.H. PALMOUR. "Hydraulic Pumping - Phase III"  
1974. Armco Steel Corporation.
- 5) K. M. CLARK. "Hydraulic Lift Systems for Low Pressure Wells".  
Feb. 1980. Petroleum Engineer International.
- 6) H. L. KELLY. "Economics and Flexibility of Hydraulic Pumping  
Systems". Armco Steel Corporation.
- 7) M. W. JUSTUS. "How to Reduce Pump Repair Costs by Resizing  
Cyclones on Hydraulic Pumping Units".  
Armco Productions Company.
- 8) W. B. BREAKLEG. "Design Consideration in Choosing a Hydraulic  
Pumping System".  
Jul. 1978. Petroleum Engineer International.
- 9) "Cómo Regular el Bombeo Hidráulico"  
Ago. 1965. Petróleo Interamericano.
- 10) H. K. VAN POLLEN. "Production Technology - Natural Flow and  
Artificial Lift".  
Feb - Mar. 1979. Denver, Colorado.
- 11) M.R. MECUSTER. "Closed Power Hydraulic Pumping Systems".  
Kobe Inc. Huntington Park, California

- 12) H. L. KELLY. "Hydraulics Afford Pumping Economics".  
Nov. 1968. Petroleum Engineer.
- 13) "Oil and Gas Production Equipment - Hydraulic Oil Well  
Pumping Systems"  
Catálogo 1977 - 1978. Kobe Inc.
- 14) JUSTUS, Marvin W. "Reduce Power and Maintenance Costs of  
Power Fluid Conditioning Units by Improving Overall Operations".  
Oct. 1976. No. 6041 SPE
- 15) "Cómo Disponer un Bombeo Hidráulico"  
Sept. 1965. Petróleo Interamericano.
- 16) BROWN, F. Barton. "Effect of Water on Design".  
Feb. 1966. Journal of Petroleum Technology.
- 17) Mc GHEE, Ed. "New Additives Make Practical the Use of Water as  
Power Fluid in Hydraulic Pumping".  
Feb. 1966. Petróleo Interamericano
- 18) BROWN, F. Barton. "Water Power Fluid for Hydraulic Oil Well  
Pumping".  
Oct. 1965. No. 1190 SPE
- 19) W. B. BLEAKLEY. "Surface Equipment for Hydraulic Pumping Systems".  
Agto. 1978. Petroleum Engineer International
- 20) "Cómo Regular el Bombeo Hidráulico".  
Agto. 1965. Petróleo Interamericano.
- 21) C. J. COBERLY. "Theory and Application of Hydraulic Oil Well Pumps"  
Publicado por: Kobe Inc. Huntington Park, California  
Abril 1961.
- 22) F. BARTOND, BROUN y C. J. COBERLY. "Friction Losses in Vertical  
Tubing as Related to Hydraulics Pumps".  
Oct. 1980. Journal of Petroleum Technology

- 23) B. C. CRAFT y W. R. HOLDEN. "Drilling and Production".  
Petroleum Engineering Department. Louisiana State University  
E. D. Graves, Jr. Prentice - Hall, Inc.
  
- 24) BROWN, Kermif E. "The Technology of Artificial Lift Methods"  
Volumen 2b. Petroleum Publishing Co.  
1980. Tulsa, Oklahoma.