

3 Eujam



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



**COMBINACION DE LOS SISTEMAS BOMBEO NEUMATICO
Y BOMBEO MECANICO EN LA EXPLOTACION DE UN
POZO PETROLERO**

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

**P R E S E N T A
OMAIRA DEL VALLE BELLOSO MORALES**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

CAPITULOS	PAGINAS
INTRODUCCION	
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
1.0 BOMBEO MECANICO	1
2.0 BOMBEO NEUMATICO	15
3.0 SISTEMA MIXTO	22
BIBLIOGRAFIA	

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

Durante el tiempo de explotación de un yacimiento - productor de aceite, generalmente pueden presentarse diferentes etapas en su vida productiva, dependiendo del - tipo de empuje que caracterice a este yacimiento.

La etapa en la cual los pozos fluyen por la acción de la energía natural de la formación productora.

Y la etapa que comprende el período de producción - después de que la presión y el volúmen de aceite en el - yacimiento han declinado y los pozos ya no fluyen por la energía natural de la formación, de tal manera que es necesario recurrir a varios sistemas de explotación; ya - sea por Recuperación Secundaria y/o Sistemas Artificia--les de Producción; dentro de estos Sistemas se encuen---tran los de Bombeo Mecánico y Neumático.

El presente trabajo tiene como propósito el estudio y análisis de la combinación de los Métodos de Bombeo Mecánico y Neumático, con el objeto de aprovechar la ener--gía del gas de formación; teniéndose con ello mayor ren--dimiento en el equipo superficial.

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

Al realizar el análisis matemático para diferentes - relaciones gas - aceite reinyectadas a la tubería de producción, se concluye que un sistema combinado de Bombeo - Neumático y Bombeo Mecánico es factible.

Con este sistema se alcanza un beneficio de más del- 50% de la energía requerida, debido a que los HP del motor se reducen en esa proporción.

DESARROLLO

Bombeo Mecánico.

Una gran mayoría de los pozos productores de aceite producen por el sistema artificial de Bombeo Mecánico. Este sistema consiste esencialmente en la introducción de una bomba a través de la tubería de producción, la cual se hace trabajar por medio de una sarta de varillas accionadas desde la superficie con un mecanismo apropiadamente diseñado y calculado para proporcionar un movimiento vertical reciprocante, necesario para que la bomba trabaje.

El método de Bombeo Mecánico en pozos petroleros que tiene mayor aplicación en la actualidad, es llamado comúnmente Sistema de Bombeo Mecánico con varillas de succión.

En éste método el movimiento del equipo subsuperficial se origina en la superficie y es transmitido a la bomba por medio de una sarta de varillas de acero.

Las partes principales de que está constituido el equipo de Bombeo Mecánico se muestra en la figura No. 1/ No. 2.

Bombas Superficiales

11. Bombas

Cabeza

12. Bombas

productores de aceite

de Bombeo Mecánico. Es

la introducción de -

producción, la cual

arta de varillas accio

canismo apropiadamente

nar un movimiento ver-

que la bomba trabaje.

n pozos petroleros que

idad, es llamado común

n varillas de succión.

el equipo subsuperfi--

s transmitido a la --

llas de acero.

está constituido el --

en la figura No. 1/

Aunque cada componente se tratará separadamente como unidad, en el sistema forman un todo que para el diseño - no se pueden considerar independientemente uno de otro.

Así el completo diseño de una instalación de bombeo presenta dificultad por tratar asuntos con aproximación o por tanteos y aún con las ecuaciones teóricas como guía - es a menudo necesario recurrir a ecuaciones empíricas basadas en la experiencia.

El movimiento que transmite el equipo superficial a las varillas de succión y la bomba tiene como consecuencia la extracción del aceite; siendo requisito indispensable que la bomba esté sumergida bajo el nivel de operación.

Con la bomba sumergida en el fluido, el movimiento ascendente del émbolo al principio de la carrera (Fig.2 - A); produce el cierre de la válvula viajera, debido al peso del Fluido contenido en la tubería de producción y soportado por el émbolo.

Al mismo tiempo, debido al movimiento ascendente del émbolo, se produce un descenso en la presión dentro del cilindro de la bomba, lo cual hace que el líquido proveniente de la formación abra la válvula fija y penetre en el interior de ésta.

Cuando el movimiento del émbolo cambia de sentido -- después de alcanzar el punto muerto superior de la carrera (Fig. 2B), el peso de la columna de líquido, se ejerce sobre la válvula fija, cerrándola. Instantáneamente, la apertura de la válvula viajera permite el émbolo desplazarse hacia abajo, a través del fluido, hasta su punto muerto inferior donde se inicia un nuevo ciclo.

Una de las características más importantes de este ciclo es la transferencia de carga de la tubería de producción a las varillas de succión en la carga ascendente y de las varillas a la tubería de producción en la carrera descendente.

Para que el émbolo siga exactamente el movimiento de la varilla pulida, con el fin de que la carga sea transferida instantáneamente de la tubería de producción a las -

varillas de succión y de éstas a la tubería de producción en el punto más bajo y más alto de la carrera respectivamente, el conjunto de bombeo tendría que ser rígido y una fuerza aplicada a la varilla pulida tendría que manifestarse instantáneamente en el émbolo; pero dada la elongación de las varillas el movimiento de la bomba tiene un defasamiento respecto al de la varilla pulida.

La función de la biela y la manivela, es transformar el movimiento de rotación proporcionado por el motor, en un movimiento vertical recíprocante y además transmitir dicho movimiento al balancín, el cual, en uno de sus extremos, va unido a la manivela. En el otro extremo, va fijada la cabeza cuyo trabajo es soportar el cable colgador que a su vez sujeta a la varilla pulida y con ella a toda la sarta de varillas de succión.

El caballete tiene por objeto soportar el balancín sobre el cual recaen todos los esfuerzos del sistema.

Si las cargas del sistema fueran iguales en la carga ascendente y en la descendente, la operación sería más simple; pero como no es así, hay necesidad de introducir

un elemento denominado contrapeso.

El contrapeso tiene por objeto ayudar al motor a levantar la sarta en la carrera ascendente y en la descendente a que el motor siga recibiendo una carga constante. En conclusión lo que hace es que la carga aplicada al motor sea uniforme, desde luego, todo ello con una adecuada posición del contrapeso.

La varilla pulida es una pieza de acero con recubrimiento tipo espejo en toda su superficie, de sección circular uniforme y en la que en su extremo inferior se unen las varillas de succión.

En el extremo superior va sujeta del colgador con una brida y grampas. Su movimiento ascendente y descendente lo hace a través de un prensa-estopa para evitar la fuga de fluidos.

Los diámetros de varillas pulidas utilizados son:

1 - 1/8" ; 1 - 1/4" ; y 1 - 1/2" . Con longitudes de 8, 11, 16 y 22 pies, respectivamente.

El prensa - estopa es un cilindro de fierro colado, provisto de dos anillos de sello entre los cuales hay un juego de empaques de hule circulares de sección cuadrada y entre los cuales desliza la varilla pulida.

La potencia transmitida a la manivela y la reducción de la velocidad necesaria para la adecuada operación del sistema, debe hacerse sin que se produzcan choques en la bomba, y/o vibraciones asincrónicas que afectarían el - - buen funcionamiento del equipo.

La transmisión de fuerza del motor a la caja de engranes se logra por medio de poleas interconectadas con bandas "V". Los diámetros de éstas poleas pueden variarse para transmitir diferentes velocidades a la caja de engranes.

El reductor de velocidad está constituido por las siguientes partes:

Una cubierta metálica, engranes debidamente diseñados y fabricados para soportar la torsión y el trabajo pesado a que se someten; están sujetos por cojinetes y por flechas.

La función del motor es suministrar la energía mecánica a la instalación, la cual es transmitida a la bomba y usada para levantar el fluido.

El motor seleccionado para una instalación dada debe por supuesto, tener suficiente potencia para levantar el fluido en determinada cantidad y desde el nivel de trabajo en el pozo. Los motores de combustión interna usan como combustible petróleo diáfano, diesel, gasolina o gas natural. También hay motores eléctricos.

Una comparación de las ventajas y desventajas entre motores de combustión interna y eléctricos no se puede hacer sin considerar a la vez factores como la disponibilidad de redes de distribución de gas o de energía eléctrica y sus costos de operación.

El uso de motores eléctricos nos da la facilidad de medir exactamente la energía suministrada a la unidad y facilita el cálculo de eficiencia y costos.

Las varillas de succión van conectadas en la parte superior a la varilla pulida y en la inferior al pistón

de la Bomba. Estas están constituidas de aleaciones de acero con manganeso, sílice, níquel, cromo y molibdeno.

De las varillas de succión es muy importante la magnitud y el rango de las cargas, además del número de ciclos de imposición de carga. Todas las dificultades que resultan en las varillas durante el ciclo de bombeo, generalmente, se deben a que se sobrepasa el límite elástico del material y/o por corrosión.

En el caso límite para el acero, se determina por medio de una máquina, en la cual se prueba el material bajo dos condiciones de cargas, la tensión máxima y la compresión, y se ha encontrado que el esfuerzo recomendado de 10×10^6 ciclos de inversión de esfuerzos sin que falle el material, se puede tomar como el límite de cargas apropiado.

En resumen, la energía para la extracción en bombeo mecánico tiene la siguiente secuencia:

Se tiene un motor que trabaja a altas revoluciones (500 RPM) y el cual está conectado a la caja de engranes,

miento al jalar la sarta de varillas; sin embargo, para sacar el barril es necesario sacar toda la tubería de producción.

La bomba de inserción (Fig. 5), se corre dentro de la tubería de producción conectada directamente con la sarta de varillas como una unidad completa. En la parte inferior de la bomba está el ensamble de anclaje colocado previamente en la tubería de producción.

La bomba es retirada con un ancla mecánica; puede ser sacada a la superficie, sólo jalando las varillas, lo cual ofrece ventaja para su inspección y servicio, son menos susceptibles de dañarse durante la introducción al pozo, pero ofrecen menos áreas de trabajo para el pistón en el mismo tamaño de la tubería de producción que para una bomba de tubería.

Las partes principales de que está constituida una bomba subsuperficial son las siguientes:

Embolo

Válvula viajera

Válvula de pie.

El barril de la bomba puede ser seccionado o de una sola pieza y fabricado de diferentes aleaciones. Es un tubo rígido cuya superficie interior está perfectamente pulida y su longitud está comprendida entre 1.52 a 6.15^m. en función de las dimensiones o carrera del pistón. Los diámetros nominales son 2", 2¹/₂", 3".

El émbolo consiste de un cilindro hueco, de acero inoxidable,, pulido en su cara exterior. Va sujeto a la sarta de varillas en la parte superior por medio de rosca. Su longitud varía de 48" a 60" con diámetros efectivos de 1 1/4" 1 3/4", 2", 2 1/4", 2 1/2". 3", 3 1/4".

Al espacio comprendido entre el émbolo y el cilindro se le llama ajuste de la bomba y varía entre 0.02" y - - 0.03", según el tipo de fluido que maneje ó las impurezas que contenga, como son parafinas o arenas.

Las válvulas viajeras y de pie están expuestas al -- continuo paso del fluido; constan de un asiento que con - la canica efectúa el cierre en el momento adecuado; ade--

más tiene una jaula con orificios que permiten el paso -
del fluido y limitan el movimiento de la canica.

La válvula viajera va colocada en el pistón, y la de
pie está situada en el extremo inferior del cilindro de -
la bomba.

Ciclos de operación de la Bomba.

Para poder explicar el ciclo de bombeo se partirá --
desde el momento en que el émbolo comienza su carrera as-
cendente.

Cuando el émbolo va hacia arriba, con la válvula via-
jera cerrada, se crea un espacio de menor presión entre -
ésta y la válvula de pie; originando con ello la apertura
de ésta última y permitiendo el paso del aceite al inte--
rior de la bomba.

Al cambiar el sentido del movimiento del émbolo, au-
menta la presión en el espacio entre la válvula viajera y
la de pie; provocando el cierre de la última al continuar
descendiendo el émbolo; la presión existente en el cuerpo

de la bomba aumentará hasta igualar a la ejercida por el fluido contra la válvula viajera para que finalmente se - provoque la apertura de ésta y los fluidos se desplacen a la tubería de producción, a un nivel arriba de la bomba.

Las bombas de inserción presentan ventajas respecto a las de tubería, pues el émbolo junto con el barril de - trabajo forman una unidad, y su diseño permite que en caso de reparación o inspección, sacar la bomba completa a la superficie sin necesidad de sacar la tubería de producción ya que sale junto con las varillas de succión. Al - terminar la intervención, se introduce nuevamente la bomba anclandola en la parte inferior de la tubería de producción.

La bomba de tipo tubería va unida al extremo infe--- rior de la tubería de producción; se instala en pozos que no presentan problemas frecuentes, pues en caso de reparación habrá necesidad de sacar la sarta de varillas con el pistón y además la tubería de producción junto con el barril de la bomba; desventaja considerable por la pérdida de tiempo.

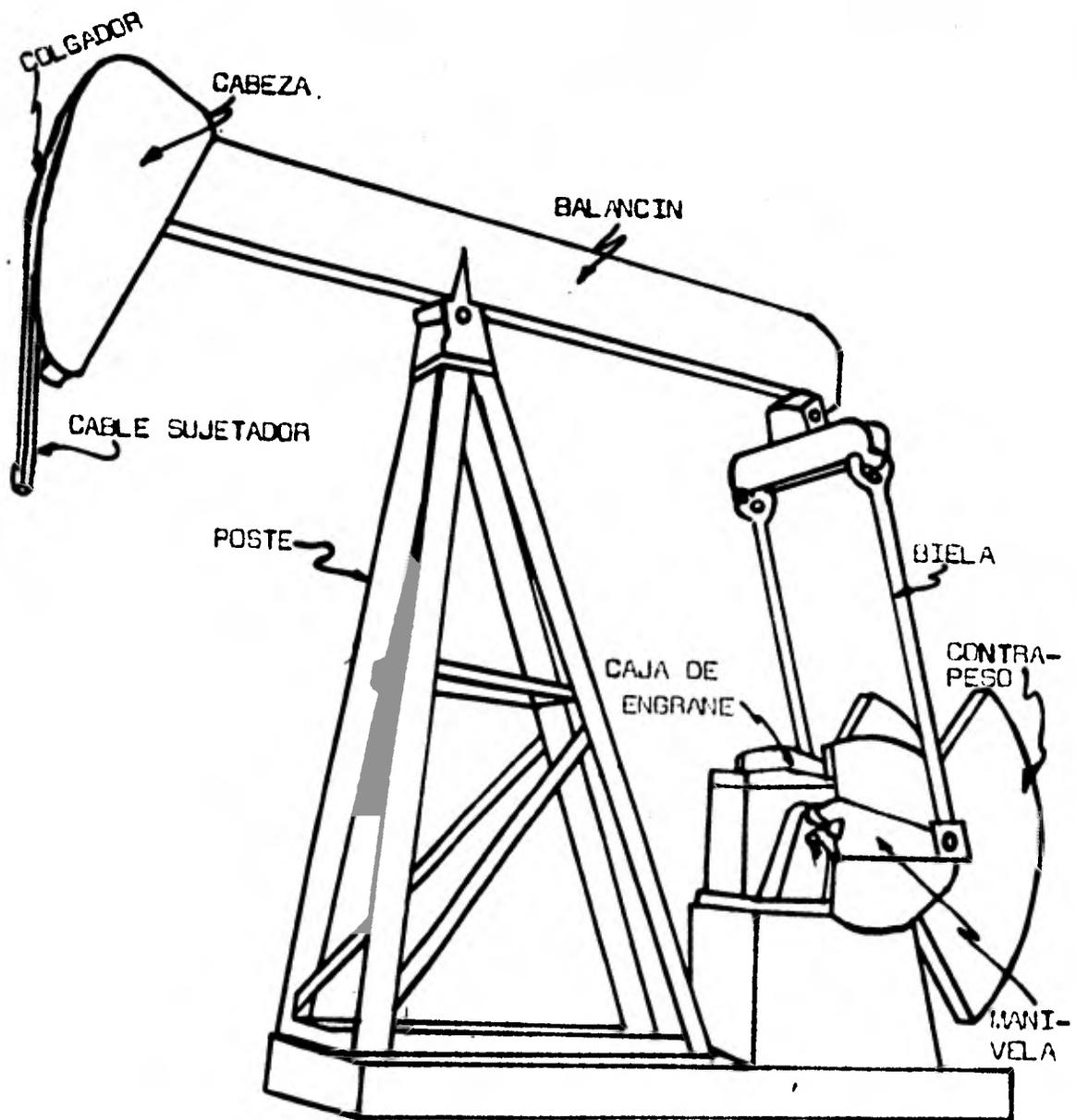
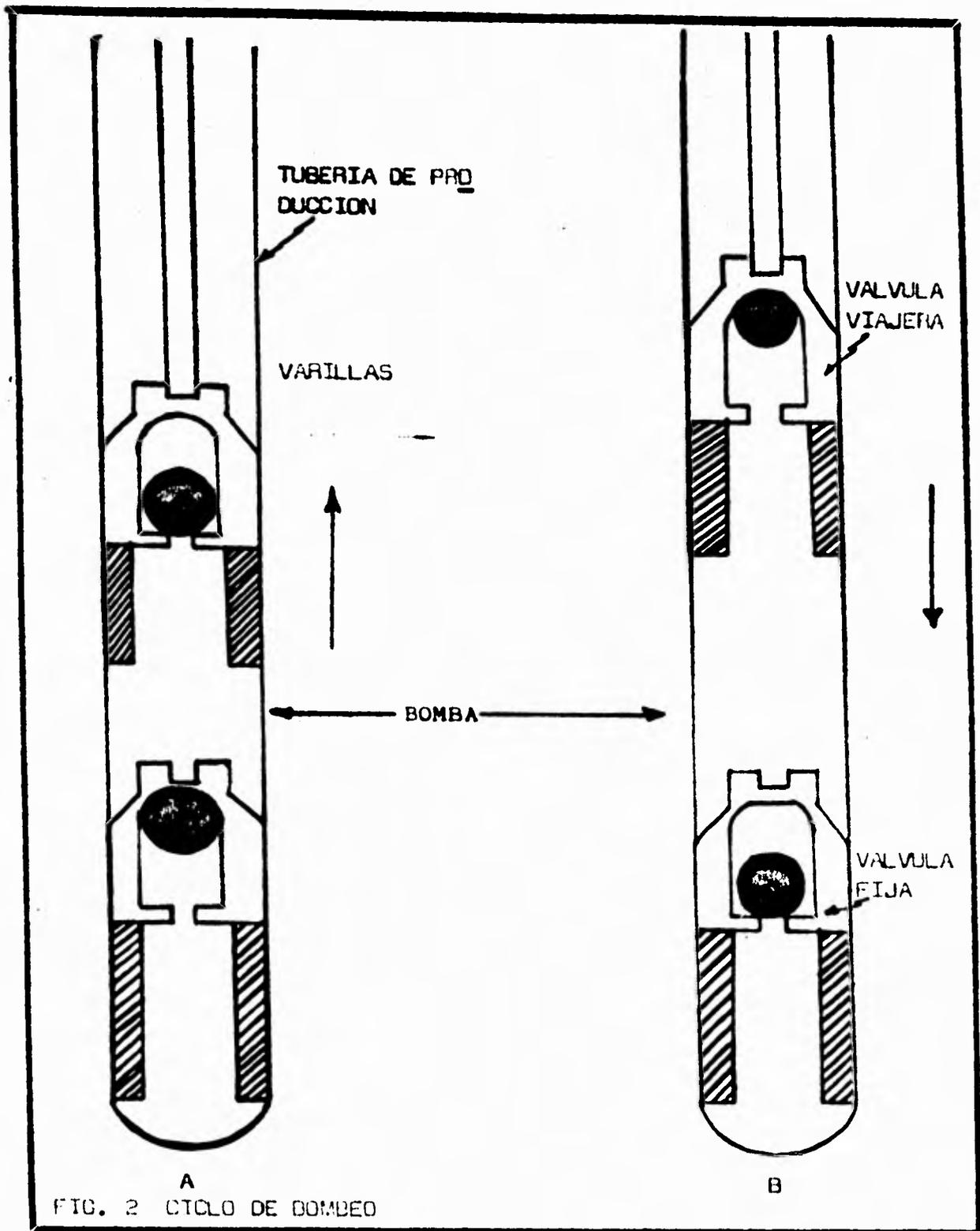


FIG. 1 EQUIPO SUPERFICIAL DE BOMBEO MECANICO.



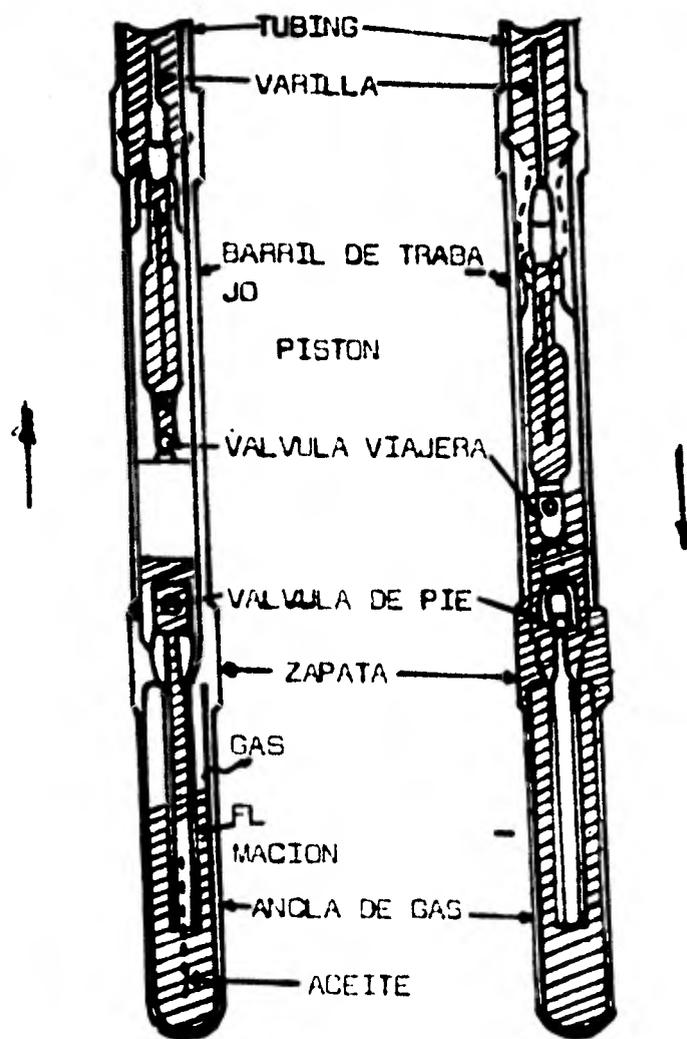


FIG. 3 BOMBA SUBSUPERFICIAL MOSTRANDO LA LOCALIZACION DE LAS VALVULAS DE PIE Y VIAJERA EN LA CARRERA DE SUBIDA (IZQUIERDA) Y CARRERA DE BAJADA (DERECHA)

BOMBEO NEUMATICO

Es el sistema artificial de producción que utiliza - la energía contenida en el gas comprimido que penetra en la tubería de producción y que extrae el aceite, ya sea, - por aereamiento de la columna, por arrastre de partículas por el gas o por expansión del mismo.

Para que el sistema sea eficiente hay que analizar - en forma conjunta todos los siguientes factores:

- a) Presión de fondo fluyendo.
- b) Diámetro de la tubería de producción y tubería de re--
vestimiento.
- c) Características de los fluidos.
- d) Presión disponible de gas.
- e) Disponibilidad de gas.
- f) Relaciones gas - aceite de formación.
- g) Relaciones agua - aceite.

El Bombeo Neumático puede ser de flujo continuo o in
termittente.

Bombeo Neumático Continuo.

Este sistema es similar al flujo natural; las operaciones consisten en forzar gas comprimido dentro del espacio anular con una presión ligeramente mayor que le permite entrar en la tubería de producción y aerar la columna.

A la altura de la válvula operante, éste gas se convierte en parte de la corriente de aceite y gas de la formación, continuando así hasta la superficie.

Otra alternativa es inyectar la alimentación de gas en el extremo superior de la tubería de producción haciendo fluir la producción del pozo a la superficie por el espacio anular entre las tuberías de producción y adema. El gas introducido así dentro de la corriente ascendente de fluido se introduce al aceite, aligera o aerea la columna de éste y en su esfuerzo para expansionarse, arrastra el aceite consigo a la superficie.

Se aplica a pozos agotados que han declinado notablemente su producción, a pozos fluyentes que por alguna razón dejaron de fluir.

Compresoras, válvulas de inyección, cámaras de acumulación y tuberías de producción adicionales, forman parte del equipo de sistema de Bombeo Neumático.

Para un gasto determinado constante, si la presión - del yacimiento disminuye, el volúmen de gas inyectado será mayor.

Factores que afectan la eficiencia del bombeo neumático.

Una gran variedad de factores diferentes influyen en la eficiencia del bombeo neumático. Entre los más importantes están las características del yacimiento, características de los fluidos, diámetro de la tubería de producción y presión del gas de inyección.

Ventajas del bombeo neumático continuo.

Tiene muchas ventajas como son; un amplio rango de - operación, se pueden manejar tanto altos como bajos gas--tos. Opera continuamente y con bajo costo de operación. No hay partes móviles en el pozo, por lo tanto hay poco desgaste y los intervalos para cambio de válvulas pueden

ser hasta de dos años. Es adaptable a pozos profundos o desviados. Desarrollando fuerza para operar varios pozos en una planta central de compresoras, podemos lograr mayor eficiencia total en el empleo de la energía consumida.

Desventajas del bombeo neumático continuo.

La planta de tratamiento y compresión y las redes de distribución de gas, hacen que el sistema sea costoso. No es adaptable para manejar producciones pequeñas características de los últimos años de la vida productiva, por lo que eventualmente debe reponerse por algún método de elevación.

La turbulencia que provoca el gas al entrar a la tubería de producción puede ocasionar emulsiones (aceite - agua) que se corrigen agregando inhibidores en la corriente de gas de inyección; y si en ésta existen compuestos de azufre, las tuberías de producción y ademe del pozo se destruyen rápidamente por la acción química. La presencia de parafinas y/o carbonatos reducen la vida útil de las instalaciones.

Bombeo Neumático Intermitente.

Cuando un pozo que se ha equipado para operación de Bombeo Neumático ha declinado en productividad a tal grado que ya no hay fluido suficiente disponible para sostener el flujo continuo sin circular un volumen excesivo de gas, es posible continuar la operación del pozo por flujo intermitente en vez de continuo.

El Bombeo Neumático Intermitente consiste en un cese periódico del flujo; así el fluido en la tubería de producción es levantado en forma de baches por la inyección del gas.

Durante el período de cese del flujo se impone una contrapresión relativamente pequeña a la roca de depósito de modo que el nivel del fluido sube a un nivel pre-establecido para levantar un nuevo bache de líquido hasta la superficie con la inyección de gas.

En el viaje del bache a la superficie, éste es penetrado parcialmente por el gas, lo que provoca un colgamiento de líquido que reduce la eficiencia de la instala-

ción.

Los ciclos del Bombeo Neumático Intermitente se con trolan desde la superficie con válvula de aguja o con un interruptor y en el fondo por válvulas de inyección in-- termitente, cuya característica principal es que tiene - un puerto grande de entrada de gas y la amplitud de la - válvula conveniente para la extracción del bache de lí-- quido con la mínima relación gas inyectado - líquido.

Ventajas del Bombeo Neumático Intermitente.

El Bombeo Neumático Intermitente tiene algunas venta jas muy bien definidas cuando se compara con el Bombeo -- Neumático continuo para la operación de pozos pocos pro-- fundos.

Para producciones diarios de 150 a 300 barriles por pozo por día, la elevación con gas intermitente puede ope-- rar de 30 a 50% menos de gas de inyección que operando - con Bombeo Neumático continuo.

Con relaciones promedio más bajas de gas de salida -

aceite, hay menos arrastre de fracciones ligeras de fluido. Con cada ciclo, el aceite es en su mayor parte elevado a la superficie delante del gas, hay menos aereación del aceite y si existe agua hay menos tendencia a formar emulsiones persistentes.

La presión del gas inyectado requerida aumenta necesariamente con la profundidad y disminuye la eficiencia de elevación.

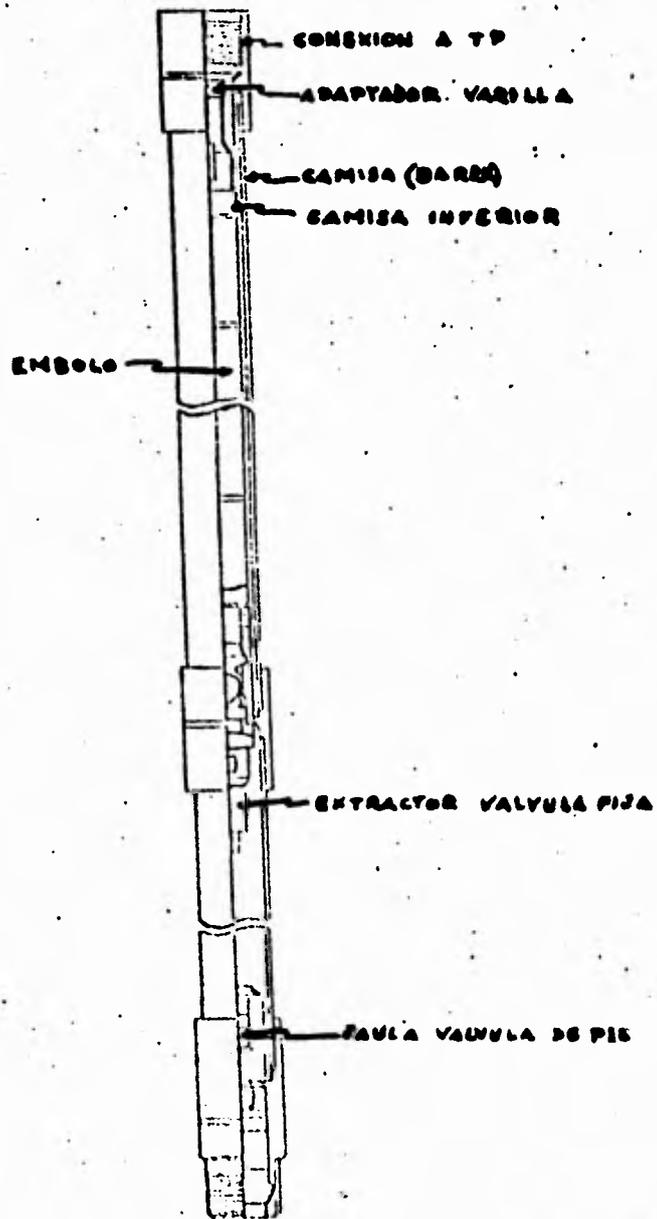


FIG. 4. BOMBA DE TUBERIA

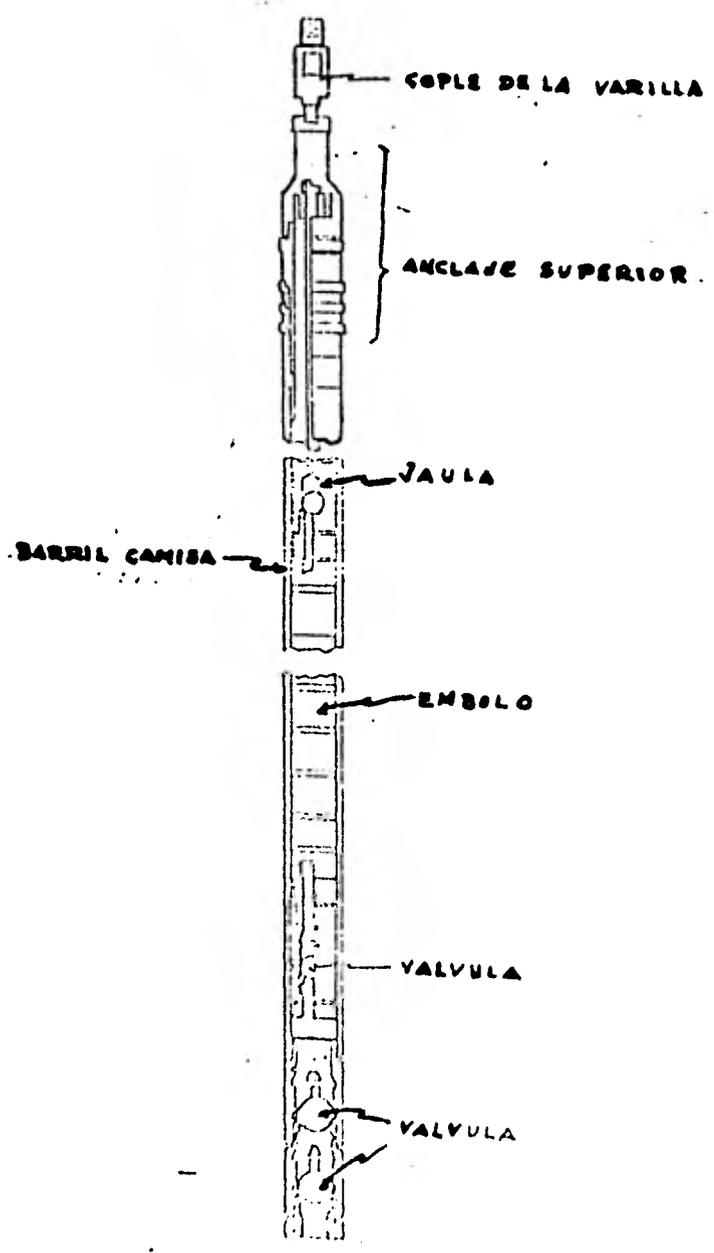


Fig 5 BOMBA DE INSERCION

SISTEMA MIXTO:

A continuación se hará el análisis de la combinación de los métodos Bombeo Neumático y Bombeo Mecánico; para aprovechar la energía del gas de la formación y mejorar el rendimiento del equipo.

Se presenta un procedimiento para determinar los valores de las variables que se tienen en el bombeo de pozos; al utilizar el sistema de bomba de desplazamiento positivo subsuperficial accionada desde la superficie por una unidad de bombeo, mediante una sarta de varillas.

Con el procedimiento de cálculo descrito se determinarán valores precisos de:

- a) La carga máxima en la varilla pulida.
- b) La tensión máxima en las varillas de succión.
- c) El efecto de contrabalanceo conveniente.
- d) La carga desbalanceada.
- e) El par máximo reductor.
- f) La disminución de la carrera por elongación de las va

rillas y contracción de la tubería.

- g) La carrera efectiva del pistón de la bomba.
- h) La producción real del crudo.
- i) La potencia requerida.

El procedimiento de cálculo implica, primero, la determinación de valores constantes que se presentan en el pozo en cuestión, y segundo, la introducción de éstos valores en fórmulas generales para obtener las cifras buscadas.

Diseño del Bombeo Mecánico Convencional (basado en - EPN Sociedad Anónima de México).

Las formulas empleadas son del dominio técnico petrolero; afectadas con los factores necesarios para obtener los resultados en las unidades deseadas.

Para llevar a cabo los cálculos, se requiere conocer una serie de datos relacionados con el pozo, con la bomba subsuperficial y con las varillas de succión:

- a) Del Pozo. Nivel del líquido, diámetro de la tubería - de producción y gravedad específica del crudo (con referencia al agua).
- b) De la bomba subsuperficial. Profundidad a que se va a anclar, diámetro de trabajo de las copas o del pistón y la longitud de la carrera.
- c) De las varillas de succión. El diámetro nominal de ellas o las combinaciones de varios diámetros. Si se opta por el uso de combinación de varillas de distintos diámetros, las constantes que aparecen en este instructivo en las tablas 6,7, 8, 9, 10 y 13; han sido -- calculadas presuponiendo una distribución ideal de las distintas varillas, de acuerdo con la tabla número 11. Variaciones a esta distribución del orden del 10% afectan tan poco los resultados que las diferencias se pueden despreciar.

Es necesario, como primera tentativa, fijar un número de emboladas por minuto para poder correr todos los cálculos. Se debe tomar en cuenta que las emboladas máximas - por minuto de las unidades balanceadas con contrapesos en

las manivelas debe ser 20 y 12 emboladas por minuto para las balanceadas con contrapesos en la vigueta principal.

Procedimiento de Cálculo.

A) Datos de operación. Datos relativos al pozo, bomba y las varillas de succión.

B) Datos obtenidos de las tablas 1 a 15.

Es recomendable localizar todos los datos necesarios de esta sección antes de pasar a los cálculos. Estos datos están contenidos en las tablas, que están organizadas como sigue:

Tablas No. 1 al 5 inclusive: cada una de las tablas se refiere a un diámetro nominal dado de varillas de succión y contiene datos del peso de las varillas y de la columna de líquido de acuerdo con el diámetro de la bomba subsuperficial.

Tablas No. 6 a 10 inclusive: Para el caso en que se use combinación de diferentes diámetros de varillas de

succión, Cada una de éstas tablas están calculadas con - una distribución ideal de los distintos diámetros de varillas según la tabla No. 11. De estas tablas se obtienen también datos del peso de las varillas y de la columna de líquido, de acuerdo con el diámetro de la bomba subsuperficial.

Tabla No. 11: Distribución de la longitud de cada - tamaño de varilla, dado como porcentaje de la longitud to tal, de acuerdo a la combinación de varillas que se tenga y de acuerdo al diámetro de la bomba subsuperficial. Con esta distribución se logra que la varilla superior de cada tamaño está sujeta a la misma carga.

Tabla No. 12: En esta tabla encuentra el área de la sección en el diámetro nominal de las varillas de succión

Tabla No. 13: Area promedio de las varillas de succión cuando hay combinación de varillas. Aquí también se ha considerado que la distribución de los distintos tamaños de varillas se ha hecho conforme a la tabla No. 11.

Tabla No. 14: En esta tabla se encuentra el área de la sección de las paredes de la tubería de producción.

Tabla No. 15: En ésta tabla se encuentra el área de trabajo de las copas o el pistón de la bomba subsuperficial.

C) Cálculos. Se hacen substituyendo los valores determinados o localizados, en las fórmulas anotadas en ésta sección de las hojas de cálculo.

A) Datos de Diseño

Nivel del líquido en el pozo	H (m)= 1150
Profundidad de la bomba	L (m)= 1350
Diámetro de la tubería	(pulg.)=2 7/8
Diámetro de la bomba subsuperficial	D(pulg.)=2 3/4
Carrera	S(pulg.)= 42
Diámetro de las varillas de succión	(Pulg.)=3/4, 7/8
Densidad del crudo	g = 0.8
Emboladas por minuto	E P M = 19

B) Datos obtenidos de las tablas 1 a 15

De las tablas 1 a 10

Peso de la sarta de varillas con coples, en el aire	w(kg/m)=3.044
---	---------------

Efecto de flotación de las varillas, $W_1(\text{Kg/m})=0.3835$
en agua

Peso neto de la columna anular del
líquido ($g = 1$) $O_n(\text{Kg/m})=3.4465$

De la tabla 12:

Sección de las varillas de mayor --
diámetro $AV(\text{máx.}) = 3.88$
 CM^2

De la tabla 13:

Sección promedio de la combinación-
de varillas $Am (\text{máx.}) = 4.21$
 (cm^2)

De la tabla 14:

Sección de las paredes del tubo $At (\text{cm}^2) = 11.7$

De la tabla 15:

Area del pistón de la bomba $AB (\text{cm}^2) = 38.30$

C) Cálculos

1.- Peso de la columna de aceite.

$$O_t = O_n \times H \times g$$

2.- Peso de las varillas de succión en el aire.

$$W_t = W \times L$$

3.- Carga estática en la varilla pulida

$$P_s = O_t \times W_t$$

4.- Factor de aceleración de Mills

$$a = 1 + \frac{S (\text{ pulg. }) \times (\text{ EPM })^2}{70,500}$$

5.- Carga dinámica máxima en la varilla pulida

$$P_{\text{máx}} = a \times P_s$$

6.- Tensión máxima en las varillas de succión

$$E_{\text{máx}} = \frac{P_{\text{máx}}}{A_v_{\text{máx}}}$$

7.- Efectos de contrabalanceo conveniente.

$$C = W_t + 0.5 \times O_t - 0.5 \times W_1 \times L \times g$$

8.- Carga desbalanceada

$$P_D = P_{\text{máx}} - C$$

9.- Par máximo reductor

$$T_{\text{máx}} = P_D (\text{ Lbs }) \times 0.5 S (\text{ pulg. })$$

10.- Elongación de las varillas de succión.

$$\Delta Lv = \frac{OT \times H}{Am \times 2.1 \times 10^4}$$

11.- Contracción de la tubería.

$$\Delta Lt = \frac{OT \times H}{At \times 2.1 \times 10^4}$$

12.- Disminución de la carrera.

$$\Delta s = \Delta Lv + \Delta Lt$$

13.- Sobrecarrera.

$$Ss = 2.08 \times 10^{-14} \times 100 (L)^2 \times 2.54 S \times (EPM)^2$$

14.- Carrera efectiva

Con la tubería anclada $Se_1 = 2.54 S - \Delta Lv + Ss$

Con la tubería sin anclar $Se_2 = 2.54 S - \Delta s + Ss$

15.- Producción real

$$Q = Se (m) \times A_B (cm^2) \times EPM \times 0.144 E$$

SI E = 0.9

SI E = 0.8

SI E = 0.7

Potencia Necesaria.

Las fórmulas que aquí se emplean dan sólo resultados aproximados, ya que en el campo petrolero se presentan - condiciones muy variables en la vida productiva de un pozo, inclusive dentro de un ciclo de bombeo, como son la - presencia ocasional de gas, la depresión del nivel libre del crudo, la variable presencia de agua, etc.

Sin embargo estas fórmulas se han venido usando con éxito durante muchos años, por lo que, aunque son de deri vación empírica, no se debe titubear en aplicarlas para - obtener resultados prácticos, con la confianza de que el resultado tendrá un factor de seguridad conservador.

Si se emplean motores eléctricos como fuentes de potencia, es relativamente sencillo introducir instrumentos de medición en el circuito eléctrico que nos permitan medir con precisión la potencia que se está consumiendo.

El empleo de un dinamómetro también nos permite medir la potencia del área de la tarjeta.

La secuencia de cálculo es la siguiente:

1) Calcular los Hp Hidráulicos (HPh)

$$HPh = \frac{Q \times 1000 \text{ g} \times L}{6.48 \times 10^6}$$

En donde:

Q = Producción de crudo, en m³/ día.

g = Gravedad específica del crudo (agua = 1)

L = Profundidad de la bomba, en m.

2) Calcular los HP consumidos en vencer la fricción.

(HPf).

$$HPf = \frac{0.125 W_p \times 5.08 S \times EPM}{4.5 \times 10^5}$$

En donde:

W_p = Peso de las varillas en el aire, Kg.

S = Carrera de la varilla pulida, pulg.

EPM = Emboladas por minuto

3) Calcular los HP requeridos en la varilla pulida (HPvp)

sumando $HP_h + HP_f$

$$HP_{vp} = HP_h + HP_f$$

En donde:

HP_h = Potencia hidráulica

HP_f = Potencia por fricción.

4) Determinar los HP nominales (HP_{nom}) de la unidad a 20

EPM según:

$$HP_{nom} = \frac{\text{Par máximo reductor de la unidad}}{4960}$$

5) Relacionar los HP de la varilla pulida con los HP nominales para encontrar un factor de utilización.

$$\text{Factor de utilización} = \frac{\text{HP}_{vp}}{\text{HP}_{nom}}$$

- 6) Haciendo uso de la gráfica No. 1, entrando con el factor $\text{HP}_{vp}/\text{HP}_{nom}$ determinar el factor de eficiencia de la unidad.
- 7) Dividir los HP requeridos en la varilla pulida (paso 3) entre el factor de eficiencia de la unidad determinado en el paso 6, para determinar la potencia que se requiere para mover la unidad HP_R .

$$\text{HP}_R = \frac{\text{HP}_{vp}}{\text{FACTOR DE EFICIENCIA DE LA UNIDAD.}}$$

Este valor de potencia nos permite seleccionar el motor adecuado.

El Sistema Mixto de Bombeo Neumático y Bombeo Mecánico, que se propone en éste trabajo es conveniente para pozos con alta relación gas - aceite, a los cuales es necesario colocarles ancla de gas; con éste dispositivo se permite el paso de gas al espacio anular.

Este gas en lugar de ser enviado a la superficie es comprimido por la misma presión del yacimiento e inyectado a la tubería de producción arriba de la bomba aereando la columna de líquido y por tanto haciéndola menos densa.

La distribución de válvulas debe hacerse según la forma convencional para un aparejo de Bombeo Neumático.

Fórmulas empleadas en el diseño de Bombeo Neumático.

$$H_1 = \frac{(P \text{ máx.} - 50) - P \text{ sup (TP)}}{G_s}$$

En donde:

H_1 = Profundidad de la válvula No. 1

$P_{\text{máx}}$ = Presión máxima

P_{sup} = Presión Superficial de la tubería de producción.

G_s = Gradiente Estático.

$$H_2 = H_1 + \frac{P_{\text{sol}} + G_u (H_1) - P_{\text{sup}} (TP)}{G_s}$$

En donde:

H_2 = Profundidad de la válvula No. 2

H_1 = Profundidad de la válvula No. 1

P_{so_1} = Presión superficial de operación de la válvula No. 1

G_u = Gradiente de diseño en función de la tubería --
usada.

$P_{sup} (TP)$ = Presión superficial de la tubería de pro-
ducción.

G_s = Gradiente Estático.

$$H_n = H_{n-1} + \frac{P_{son-1} + G_u (H_{n-1}) - P_{sup} (TP)}{G_s}$$

En donde:

H_n = Profundidad de de cualquier válvula

H_{n-1} Profundidad de la válvula anterior.

P_{son-1} = Presión superficial de operación de la válvula anterior.

$G_u(H_{n-1})$ = Gradiente de diseño en función de la tubería usada, a la profundidad de la válvula anterior.

Psup(TP) = Presión superficial de la tubería de producción.

Gs = Gradiente Estático.

A continuación se presentan las tablas de datos y resultados.

	D Diámetro del pistón de la bomba	VARILLAS		COLUMNA DE LIQUIDO	
		W Peso de varillas con coples en el aire	W _l Efecto de flotación de las varillas con coples, en agua g=1.00	O Peso bruto columna de liquido g=1.00	O _n Peso neto columna anular de liquido O _n =O-W _l g=1.00
	pulgadas	Kg/m.	Kg/m.	Kg/m.	Kg/m.
TABLA No. 1 VARILLAS DE SUCCION DE 5/8"	3/4	1.75	0.2230	0.2850	0.0620
	15/16			0.4415	0.2215
	1			0.5065	0.2835
	1 1/16			0.5715	0.3485
	1 1/4			0.7920	0.5690
	1 1/2			1.1400	0.9170
	1 3/4			1.5510	1.3260
	2			2.0260	1.8030
	2 1/4			2.5700	2.3470
	2 7/16			3.0090	2.7860
	2 1/2			3.1650	2.9420
	2 3/4			3.8300	3.6070
	3 3/4			7.1220	6.8990
TABLA No. 2 VARILLAS DE SUCCION DE 3/4"	3/4	2.43	0.3090	0.2850	---
	15/16			0.4415	0.1355
	1			0.5065	0.1975
	1 1/16			0.5715	0.2625
	1 1/4			0.7920	0.4830
	1 1/2			1.1400	0.8310
	1 3/4			1.5510	1.2120
	2			2.0260	1.7170
	2 1/4			2.5700	2.2610
	2 7/16			3.0090	2.7000
	2 1/2			3.1650	2.8560
	2 3/4			3.8300	3.5210
	3 3/4			7.1220	6.8130
TABLA No. 3 VARILLAS DE SUCCION DE 7/8"	3/4	3.53	0.4490	0.2850	---
	15/16			0.4415	---
	1			0.5065	0.0575
	1 1/16			0.5715	0.1225
	1 1/4			0.7920	0.3430
	1 1/2			1.1400	0.6910
	1 3/4			1.5510	1.1020
	2			2.0260	1.5770
	2 1/4			2.5700	2.1210
	2 7/16			3.0090	2.5600
	2 1/2			3.1650	2.7160
	2 3/4			3.8300	3.0810
	3 3/4			7.1220	6.6730
4					
5					

	D Diámetro del pistón de la bomba	VARILLAS		COLUMNA DE LIQUIDO	
		W Peso de varillas con coples en el aire	W _l Efecto de flotacion de las varillas con coples, en agua g=1.00	O Peso bruto columna de liquido g=1.00	O _n Peso neto columna anular de liquido O _n =O-W _l g=1.00
		pulgadas	Kg/m.	Kg/m.	Kg/in.
TABLA No. 4 VARILLAS DE SUCCION DE 1"	3/4	4.28	0.5450	0.2850	---
	15/16			0.4415	---
	1			0.5065	---
	1 1/16			0.5715	0.0265
	1 1/4			0.7920	0.2470
	1 1/2			1.1400	0.5950
	1 3/4			1.5510	1.0060
	2			2.0260	1.4810
	2 1/4			2.5700	2.0250
	2 7/16			3.0090	2.4640
	2 1/2			3.1650	2.6200
	2 3/4			3.8500	3.2850
	3 3/4			7.1220	6.5770
4	8.1100	7.5650			
5	12.6500	12.1050			
TABLA No. 5 VARILLAS DE SUCCION DE 1 1/8"	3/4	5.11	0.6890	0.2850	---
	15/16			0.4415	---
	1			0.5065	---
	1 1/16			0.5715	---
	1 1/4			0.7920	0.1030
	1 1/2			1.1400	0.4510
	1 3/4			1.5510	0.8620
	2			2.0260	1.3370
	2 1/4			2.5700	1.8810
	2 7/16			3.0090	2.3200
	2 1/2			3.1650	2.4760
	2 3/4			3.8500	3.1410
	3 3/4			7.1220	6.4350
4	8.1100	7.4210			
5	12.6500	11.9610			

	D Diámetro del pistón de la bomba	VARILLAS		COLUMNA DE LIQUIDO	
		W Peso de varillas con coples en el aire	W ₁ Efecto de flotación de las varillas con coples, en agua g=1.00	O Peso bruto columna de liquido g=1.00	O _n Peso neto columna anular de liquido O _n =O-W ₁ g=1.00
		pulgadas	Kg/m.	Kg/m.	Kg/m.
TABLA No. 6 VARILLAS DE SUCCION DE 5/8" y 3/4"	3/4	1.935	0.2460	0.2850	0.0390
	15/16	1.950	0.2480	0.4445	0.1965
	1	1.958	0.2490	0.5065	0.2575
	1 1/16	1.962	0.2495	0.5715	0.3220
	1 1/4	1.962	0.2495	0.7920	0.5425
	1 1/2	2.017	0.2560	1.1400	0.8840
	1 3/4	2.056	0.2615	1.5510	1.2895
	2	2.100	0.2670	2.0260	1.7590
	2 1/4	2.155	0.2740	2.5700	2.2960
	2 7/16	2.191	0.2774	3.0090	2.7316
	2 1/2	2.203	0.2810	3.1650	2.8840
	2 3/4	2.272	0.2890	3.8300	3.5410
	3 3/4			7.1220	
	4				
5					
TABLA No. 7 VARILLAS DE SUCCION DE 5/8", 3/4" y 7/8"	3/4	2.246	0.2860	0.2850	—
	15/16	2.268	0.2890	0.4445	0.1555
	1	2.306	0.2935	0.5065	0.2130
	1 1/16	2.320	0.2960	0.5715	0.2755
	1 1/4	2.376	0.3025	0.7920	0.4895
	1 1/2	2.459	0.3150	1.1400	0.8270
	1 3/4	2.572	0.3270	1.5510	1.2240
	2	2.694	0.3430	2.0260	1.6830
	2 1/4	2.829	0.3610	2.5700	2.2090
	2 7/16			3.0090	
	2 1/2			3.1650	
	2 3/4			3.8300	
	3 3/4			7.1220	
	4				
5					
TABLA No. 8 VARILLAS DE SUCCION DE 3/4" y 7/8"	3/4	2.680	0.3410	0.2850	—
	15/16	2.694	0.3430	0.4445	0.1015
	1	2.704	0.3445	0.5065	0.1620
	1 1/16	2.708	0.3448	0.5715	0.2267
	1 1/4	2.728	0.3473	0.7920	0.4447
	1 1/2	2.762	0.3520	1.1400	0.7880
	1 3/4	2.801	0.3565	1.5510	1.1945
	2	2.844	0.3620	2.0260	1.6640
	2 1/4	2.895	0.3685	2.5700	2.2015
	2 7/16	2.929	0.3730	3.0090	2.6360
	2 1/2	2.951	0.3755	3.1650	2.7895
	2 3/4	3.014	0.3835	3.8300	3.4465
	3 3/4	3.322	0.4220	7.1220	6.7000
	4				
5					

	D Diámetro del pistón de la bomba	VARILLAS		COLUMNA DE LIQUIDO	
		W Peso de varillas con coples en el aire	W ₁ Efecto de flotación de las varillas con coples, en agua g = 1.00	O Peso bruto columna de liquido g = 1.00	O _n Peso neto columna anular de liquido O _n = O - W ₁ g = 1.00
		pulgadas	Kg/m.	Kg/m.	Kg/m.
TABLA No. 9 VARILLAS DE SUCCION DE 3/4" 7/8" y 1"	3/4	2.975	0.3785	0.2850	—
	15/16	3.007	0.3820	0.4115	0.0625
	1	3.019	0.3840	0.5065	0.1225
	1 1/16	3.042	0.3870	0.5715	0.1845
	1 1/4	3.074	0.3915	0.7920	0.1005
	1 1/2	3.143	0.4000	1.1400	0.7400
	1 3/4	3.225	0.4110	1.5510	1.1400
	2	3.320	0.4225	2.0260	1.6035
	2 1/4	3.421	0.4350	2.5700	2.1350
	2 7/16	3.512	0.4460	3.0090	2.5630
	2 1/2	3.545	0.4520	3.1650	2.7130
	2 3/4	3.675	0.4670	3.8300	3.3630
	3 3/4			7.1220	
	4				
5					
TABLA No. 10 VARILLAS DE SUCCION DE 7/8" y 1"	3/4	3.698	0.4695	0.2850	—
	15/16	3.696	0.4760	0.4115	—
	1	3.698	0.4705	0.5065	0.0360
	1 1/16	3.698	0.4705	0.5715	0.1010
	1 1/4	3.711	0.4720	0.7920	0.3200
	1 1/2	3.724	0.4745	1.1400	0.6655
	1 3/4	3.730	0.4750	1.5510	1.0760
	2	3.763	0.4790	2.0260	1.5470
	2 1/4	3.785	0.4820	2.5700	2.0880
	2 7/16	3.805	0.4845	3.0090	2.5245
	2 1/2	3.809	0.4850	3.1650	2.6200
	2 3/4	3.875	0.4935	3.8300	3.3365
	3 3/4	3.985	0.5070	7.1220	6.6150
	4	3.970	0.5050	8.1100	7.6050
5	4.194	0.5110	12.6500	12.1160	

TABLA No. 11
Porcentajes y pesos de combinación de varillas

D Diámetro pistón de la bomba	5/8" y 3/4"			5/8", 3/4" y 7/8"				3/4" y 7/8"			3/4", 7/8" y 1"				7/8" y 1"		
			1m.					1m.			1m.			1m.			1m.
	5/8"	3/4"	5/8" y 3/4"	5/8"	3/4"	7/8"	5/8" 3/4" y 7/8"	3/4"	7/8"	3/4" y 7/8"	3/4"	7/8"	1"	3/4" 7/8" y 1"	7/8"	1"	7/8" y 1"
pulgadas	%	%	Kg/m.	%	%	%	Kg/m.	%	%	Kg/m.	%	%	%	Kg/m.	%	%	Kg/m.
3/4	72.70	27.30	1.933	37.89	22.79	19.52	2.216	76.99	23.01	2.690	63.33	17.74	18.93	2.973	70.14	20.85	3.688
13/16	70.43	29.55	1.950	34.41	24.71	20.88	2.268	73.62	24.38	2.698	61.12	18.96	19.92	3.007	70.14	21.87	3.694
1	69.60	30.40	1.958	33.10	25.36	21.54	2.305	73.12	24.88	2.704	60.28	19.42	20.30	3.019	72.23	22.23	3.698
1-1/16	68.68	31.32	1.962	31.79	26.14	22.07	2.320	71.55	25.45	2.708	59.37	19.92	20.71	3.042	72.49	22.61	3.698
1-1/4	68.44	31.56	1.962	46.95	28.70	24.35	2.376	72.69	27.31	2.728	56.58	21.36	22.06	3.074	76.13	23.87	3.711
1-1/2	60.75	39.25	2.017	39.44	32.76	27.80	2.459	69.71	30.29	2.762	51.59	24.20	24.21	3.143	74.12	25.88	3.724
1-3/4	55.03	44.97	2.056	40.62	37.90	31.88	2.572	66.20	33.80	2.801	45.71	27.28	26.78	3.223	71.76	28.24	3.730
2	48.37	51.63	2.100	20.34	43.10	36.96	2.694	62.35	37.65	2.843	39.30	30.88	29.72	3.320	69.01	30.99	3.763
2-1/4	40.90	59.10	2.151	8.77	49.16	41.87	2.829	57.57	42.43	2.895	32.04	35.45	32.31	3.421	65.91	34.09	3.785
2-7/16	34.73	65.27	2.191					53.77	46.23	2.929	25.89	38.25	35.86	3.512	63.56	36.64	3.803
2-1/2	32.33	67.67	2.208					52.43	47.57	2.951	25.74	39.45	36.81	3.545	62.41	37.56	3.809
2-3/4	23.13	76.87	2.272					46.97	53.03	3.014	14.61	41.43	40.91	3.673	58.59	41.41	3.873
3-3/4								18.82	81.18	3.322					49.64	60.16	3.983
4															41.50	58.50	3.983
5															12.00	88.00	4.194

TABLA No. 12
Secciones en cm²
de varillas de Succión

Diámetro	A _v Area de la sección en el diámetro nominal de las varillas de succión, cm ²
5/8"	1.97
3/4"	2.83
7/8"	3.88
1"	5.06
1 1/8"	6.40

TABLA No. 13

Area de la sección promedio de las varillas cuando hay combinación de varillas, según la distribución de la Tabla No. 11 y siguiendo la fórmula:

$$A_m = A_{v1} \times \left(\frac{\%}{100}\right)_1 + A_{v2} \times \left(\frac{\%}{100}\right)_2 + A_{v3} \times \left(\frac{\%}{100}\right)_3$$

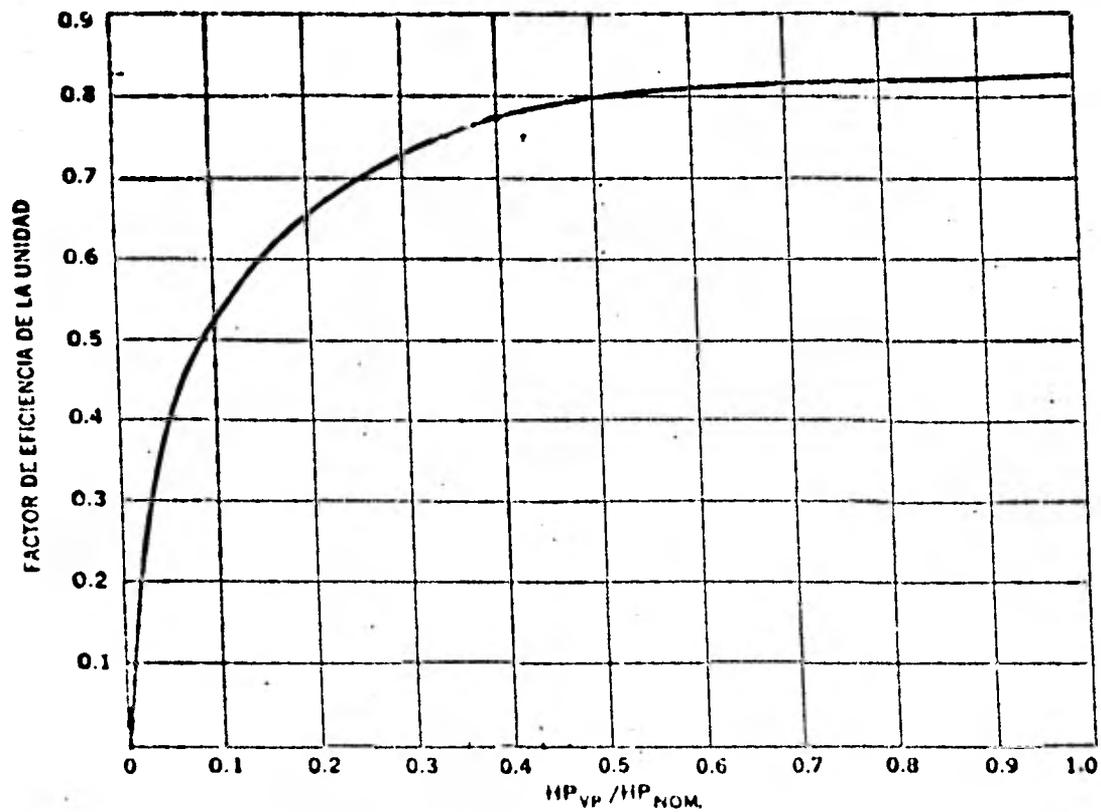
D Diámetro del pistón de la bomba	5/8" y 3/4"	5/8", 3/4", 7/8"	3/4" y 7/8"	3/4", 7/8" y 1"	7/8" y 1"
	A _m	A _m	A _m	A _m	A _m
pulgadas.	cm ²	cm ²	cm ²	cm ²	cm ²
3/4	2.21	2.54	3.08	3.45	4.13
13/16	2.23	2.58	3.11	3.49	4.14
1	2.24	2.61	3.11	3.50	4.14
1 1/16	2.24	2.62	3.12	3.51	4.15
1 1/4	2.25	2.68	3.13	3.57	4.16
1 1/2	2.32	2.79	3.16	3.61	4.19
1 3/4	2.36	2.91	3.20	3.73	4.21
2	2.42	3.05	3.24 ✓	3.82 ✓	4.25
2 1/4	2.49	3.20	3.29	3.91	4.28
2 7/16	2.54	---	3.32	4.03	4.31
2 1/2	2.55	---	3.34	4.07	4.32
2 3/4	2.65	---	3.40	4.21	4.36
3 1/4	---	---	3.69	---	4.59
4	---	---	---	---	4.57
5	---	---	---	---	4.92

TABLA No. 14
Sección de las paredes de la tubería de producción

Tubería	Diámetro Interior	A₁ Sección de la pared
pulgadas	pulgadas	cm²
1.000	1.610	5.15
2 3/8	2.011	7.47
	1.995	8.12
2 7/8	2.441	11.70
3 1/2	3.068	14.55
	2.992	16.68
	2.922	18.95
4	3.548	17.25
4 1/2	3.958	23.25

TABLA No. 15
Area de trabajo del pistón o las copas de la bomba sub-superficial

Diámetro del pistón o las copas de la bomba sub-superficial		A₂ Area del pistón
pulgadas	cm	cm²
3/4	1.905	2.85
1 5/16	2.38	4.45
1	2.54	5.065
1 1/16	2.699	5.715
1 1/4	3.175	7.912
1 1/2	3.81	11.40
1 3/4	4.445	15.51
2	5.08	20.26
2 1/4	5.715	25.70
2 7/16	6.191	30.09
2 1/2	6.35	31.65
2 3/4	6.985	38.30
3 1/4	8.225	71.22
4	10.160	81.10
5	12.700	126.50



GRAFICA No. 1.—FACTOR DE EFICIENCIA DE LA UNIDAD DE BOMBEO.
 HP_{VP} = CABALLOS REQUERIDOS EN LA VARILLA PULIDA
 HP_{NOM} = CABALLOS NOMINALES DE LA UNIDAD A 20 EPM.

D A T O S

		RGA (L ³ /M ³)		
		0	100	400
H	(m)	1150		
L	(M)	1350		
T.P.	(pulg.)	2 7/8		
D	(pulg.)	2 3/4		
S	(pulg.)	42		
	(pulg.)	3/4, 7/8		
	(Mezcla)			
\bar{g}		0.8	0.489	0.196
EPII		19		
W	(kg/m)	3.044		
W ₁	(kg/m)	0.3835		
D _n	(kg/m)	3.4465		
Λ_v (max)	(cm ²)	3.88		
Λ_m	(cm ²)	4.21		
Λ_t	(cm ²)	11.7		
Λ_B	(cm ²)	38.30		

R E S U L T A D O S

	RGA (M^3/M^3)		
	0	100	400
Ps (Kg)	7280	6047	4886
Pmax (Kg)	8845	7348	5937
E _{max} (Kg/cm ²)	2280	1893	1530
C (Kg)	5487.7	4951	4447
Pd (Kg)	3358-	2396	1490
Tmax (1b-in)	155148	110707	68838
ALv (cm)	41.24	25	10
ALt (cm)	14.84	9	3.6
AS (cm)	56.085	34	13.7
SS (cm)	14.60	14.60	14.60
SE (cm)	80.03	96	111
Q (M ³ /D)	67.09	80	93.2
Par Max Reductor (1b-in)	180000		
HPn (HP)	—	—	—
HPf (HP)	—	—	—
HPvp	15.22	12	8.23
HPn	—	—	—
HP/HPn	0.419	0.34	0.227
HP(R)	19.51	16.8	12.29

RECOMENDACIONES

Se recomienda comprobar la bondad de este sistema --
utilizando como fuente de energía el motor eléctrico ECO-
NOPAC, el cual nos permite cambiar fácilmente el rango de
potencia.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- John F. Kendrick and Paul D. Cornelius
"The Sucker-Rod pump as a Problem in Elasticity"
Trans A.I.M.E. 1937
Bombeo Mecánico
- 2.- A.P.I. Drilling Practice
"Plunger Travel of oil - Well Pumps"
1937
Bombeo Mecánico
- 3.- The Oil and Gas Journal
"Calculation of Load and Stroke in Oil - Well Pumping -
Rods"
July 1942
Bombeo Mecánico
- 4.- The Petroleum Engineer
"Graphic Method of analyzing Dynamometer Cards"
September 1936
Bombeo Mecánico
- 5.- International Oil. Emory N. Kemler
"Study of Sucker Rods"
April 1941
Bombeo Mecánico
- 6.- A.P.I. Drilling and Production Practice
"Economics of Pumping"
1935
Bombeo Mecánico
- 7.- Selección de Unidades de Bombeo
E.P.N. Sociedad Anónima, de México, D. F.
Bombeo Mecánico

8.- Lester Charles Uren
"Ingeniería de Producción de Petróleo"
Bombeo Neumático

11 - Letter Charles B. ...
"Organization of Production in ..."
Robert M. ...