

12 Eigen.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**SISTEMA ARTIFICIAL DE BOMBEO MECANICO
APLICADO A POZOS PETROLEROS.**

**TRABAJO ESCRITO
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO PETROLERO
P R E S E N T A :
JOSE LOMELI SERRANO**

México, D. F.

1981



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

INDICE

- 1. - INTRODUCCION**
- 2. - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**
- 3. - DESARROLLO**
 - 3.1 Descripción del método
 - 3.2 Descripción del equipo superficial
 - 3.3 Descripción del equipo subsuperficial
 - 3.4 Descripción del ciclo de bombeo
 - 3.5 Diseño de una instalación
 - 3.5.1 Descripción de los factores
 - 3.5.2 Expresiones teóricas utilizadas en el diseño de una instalación
 - 3.6 Ejemplo del diseño de una instalación
- 4. - PRIMER ANEXO. PROGRAMA DE COMPUTO.**
- 5. - SEGUNDO ANEXO. TABLAS.**

INTRODUCCION

Un pozo productor de aceite pasa por diferentes etapas en su vida productiva. Generalmente en su etapa inicial el pozo fluye por su propia energía y cuando por las características del yacimiento o la producción el pozo no tiene energía suficiente para que el fluido llegue a la superficie, es necesario proporcionar energía adicional mediante los métodos de recuperación secundaria y/o los métodos artificiales de producción. Estos son: el bombeo neumático, el bombeo mecánico, el bombeo hidráulico y el bombeo eléctrico.

En este trabajo se describirán las partes más importantes del equipo de BOMBEO MECANICO, como también un procedimiento de cálculo para seleccionar los diversos componentes de una de estas instalaciones, auxiliados por un programa de cómputo con opción para calcular: gasto de hidrocarburos, emboladas por minuto necesarias, carrera de la varilla pulida o el diámetro de la bomba subsuperficial, conociendo los datos relacionados con el pozo, la bomba subsuperficial y las varillas de succión.

CONCLUSIONES

Se concluye que el bombeo mecánico es bueno para:

Pozos aislados

Pozos de baja RGA

Pozos de producción reducida

Pozos de tubería de revestimiento con diámetro reducido.

Para un diseño eficiente es necesario desarrollar varias alternativas para seleccionar de entre ellas la que nos proporcione la eficiencia máxima de bombeo.

RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar el programa de cómputo que se desarrolla en este trabajo, o uno similar, dado que es una herramienta poderosa que permite fácilmente desarrollar las alternativas que se mencionan en las conclusiones.

DESCRIPCION DEL METODO.

El bombeo mecánico es un procedimiento de simple elevación de los hidrocarburos por medio de una bomba colocada en el fondo del pozo, la cual es accionada por medio de una sarta de varillas movidas por una unidad mecánica superficial. El conjunto está diseñado para producir un movimiento reciprocante vertical en la bomba.

Para efectuar un buen diseño de una instalación es necesario conocer las partes que la integran, así como la función que cada una desempeña. Aunque la descripción de las partes se hace por separado, el diseño debe hacerse integralmente.

A grandes rasgos, una unidad de bombeo mecánico la integran: el equipo superficial y el equipo subsuperficial.

DESCRIPCION DEL EQUIPO SUPERFICIAL.

El equipo superficial lo forman todos los elementos que se instalan fuera del pozo, los cuales son: (Fig. 1)

BASE: Es un elemento de concreto armado, provisto de unos espárragos distribuidos de acuerdo a las dimensiones del

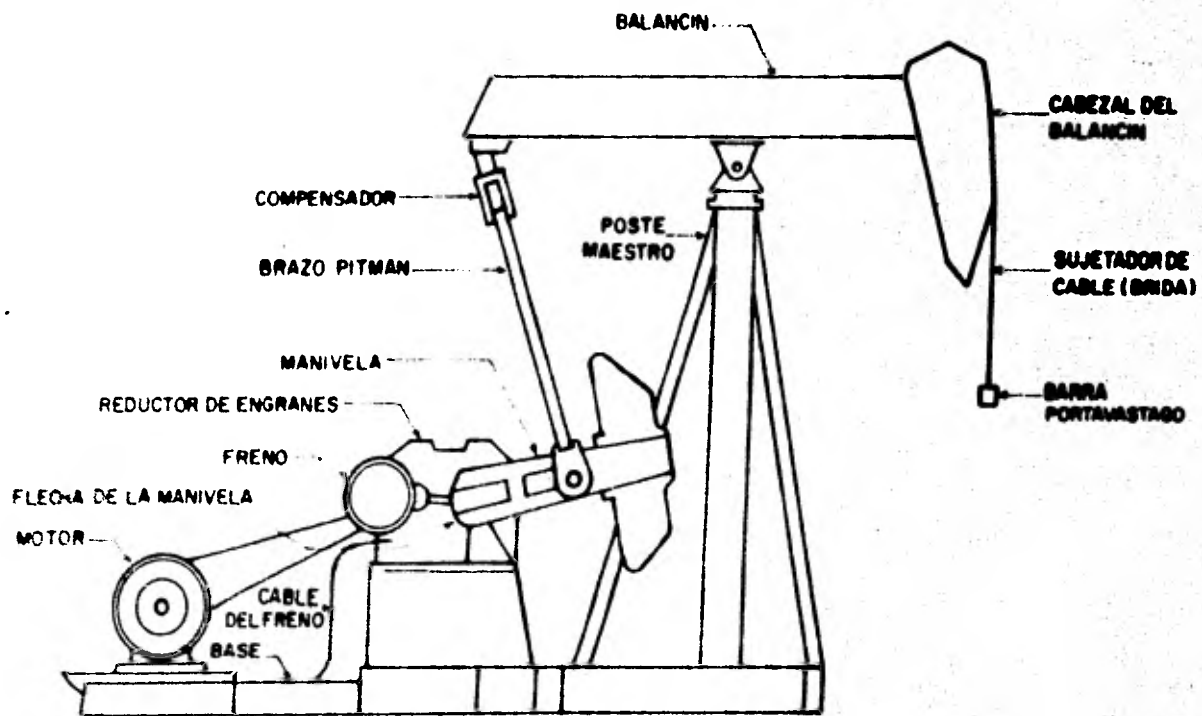


FIG. 1.- UNIDAD SUPERFICIAL DE BOMBEO

equipo, con los cuales se unirá éste con la base. Su función es distribuir las cargas del equipo superficial uniformemente sobre el terreno.

MOTOR: Es la parte del equipo que proporciona la energía necesaria para llevar los fluidos desde el fondo del pozo hasta la superficie. Este puede ser de combustión interna o de corriente eléctrica. La selección de uno u otro tipo de motor se hace tomando en cuenta la energía que se dispone en el pozo.

REDUCTOR DE VELOCIDAD: Es una caja de engranes que tiene como función cambiar las altas revoluciones del motor - - (4000 RPM) a la velocidad adecuada para el bombeo (20 RPM). Para su selección es necesario determinar previamente el par máximo a que estarán sujetos los engranes.

BIELA -MANIVELA: Es un conjunto que convierte el movimiento circular de la flecha de la caja de engranes, en recíprocante del balancín.

BALANCIN: Es una viga metálica que se apoya en el poste maestro para transmitir el movimiento recíprocante a la varilla pulida. Forma una pieza con la cabeza, la cual por su forma peculiar, hace que la varilla pulida se mueva en forma recíprocante vertical.

POSTE MAESTRO: Es un triplicé metálico que sirve de soporte al balancín. Su función es transmitir la carga que soportará el balancín a la base.

CONTRAPESOS: Son piezas de hierro que mantienen trabando al motor con una carga uniforme, alargando de esta forma la vida de la unidad. Esta función también la puede desempeñar un cilindro de aire comprimido, en cuyo caso es necesario instalar un compresor para mantener la presión interna de éste.

DESCRIPCION DEL EQUIPO SUBSUPERFICIAL.

El equipo subsuperficial lo integran todas las partes que van dentro del pozo, como son: (Fig. 2)

BOMBA SUBSUPERFICIAL: Es la parte del equipo que tiene como función elevar el fluido a la superficie. Las bombas contienen cuatro elementos esenciales: (Fig. 3)

Barril de trabajo: Es un cilindro metálico hueco terminado a superficie de espejo en su interior. Dentro de él va el émbolo.

Émbolo: Es una unidad metálica terminada a superficie de

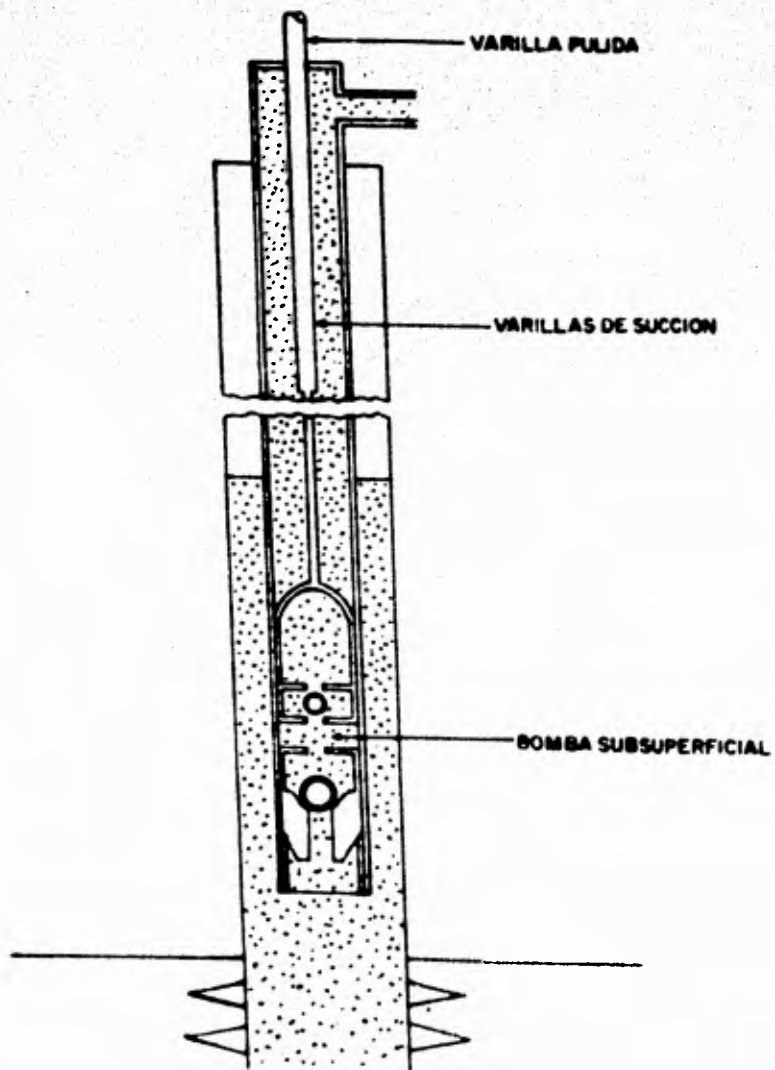


FIG. 2. - ESQUEMA DEL EQUIPO SUBSUPERFICIAL

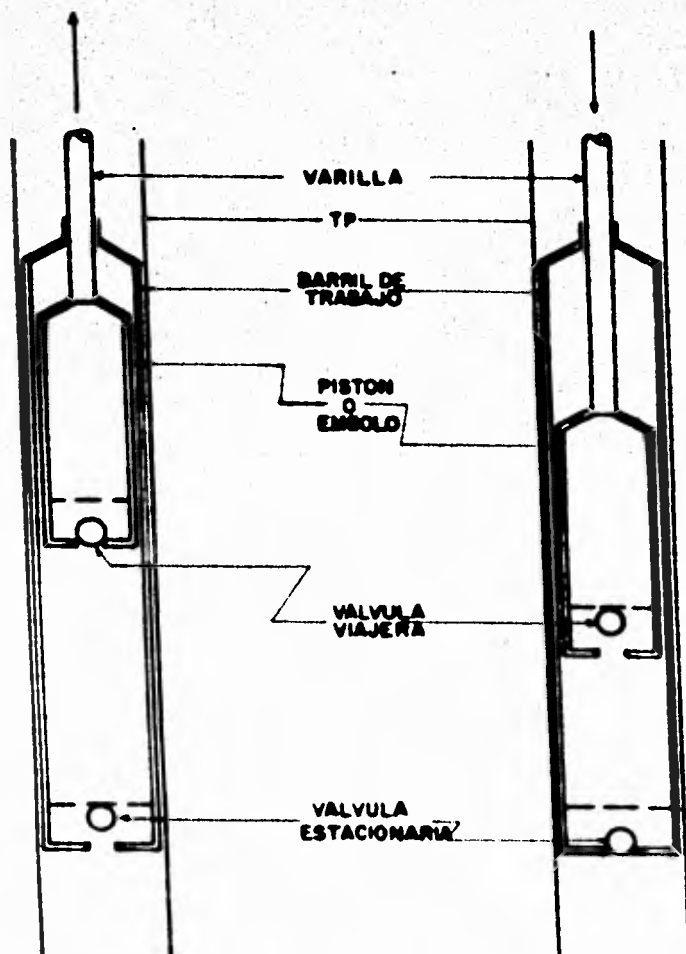


FIG. 3.- BOMBA SUBSUPERFICIAL MOSTRANDO LA LOCALIZACION DE LAS VALVULAS ESTACIONARIA Y VIAJERA EN LA CARRERA ASCENDENTE (IZQ.) Y EN LA CARRERA DESCENDENTE (DER.)

espejo exteriormente. Su función es obligar a que los fluidos de la formación se introduzcan en el barril y de éste, pasen a la tubería de producción para llevarlos a la superficie.

Válvula viajera: Esta válvula permite el paso de los fluidos del interior del barril hacia la tubería de producción e impide el paso en sentido inverso. Se instala en la parte móvil de la bomba.

Válvula de pie: Permite el paso de los fluidos del pozo, al interior del barril y lo impide en sentido inverso. Se instala en la parte fija de la bomba.

VARILLAS DE SUCCION: Fabricadas en forma cilíndrica, de acero con aleaciones de magnesio, níquel, cromo, molibdeno, etc., a fin de que tengan la resistencia requerida a la tensión y corrosión. Su función es transmitir la energía del equipo superficial a la bomba.

VARILLA PULIDA: Sirve de unión entre el equipo superficial y el equipo subsuperficial. Su fabricación es similar a la de las varillas de succión, sólo que se termina a superficie de espejo, con el fin de evitar las fugas de fluido y el desgaste de los holes del prensa estopa a través del cual se moverá,

Las bombas subsuperficiales para bombeo mecánico se pueden clasificar en:

BOMBAS DE TUBERÍA DE REVESTIMIENTO: Estas bombas van ancladas a tubería de revestimiento. Son aplicables en la producción de grandes volúmenes de fluido, ya que tienen mayor capacidad que cualquier otro tipo de bombas. Su eficiencia se reduce con la presencia de gas, dado que la totalidad de éste pasa a través de la bomba.

BOMBAS DE TUBERÍA DE PRODUCCIÓN: En estas bombas el barril de trabajo forma parte de la tubería de producción, por lo que ofrece un área de trabajo para el pistón, mayor que las incertables, aunque menor que las de tubería de revestimiento. Como deben sacarse las varillas de succión y la tubería de producción para reparación o mantenimiento de las piezas desgastadas, su instalación es recomendable para profundidades medias y volúmenes altos de producción. Son eficientes en pozos con liberación de gas, ya que el aceite se extrae por la tubería de producción y el gas puede escapar por el espacio anular; también se puede utilizar en pozos con aceite viscoso.

BOMBAS DE INSERCIÓN: Las bombas de inserción se in-

roducen justo con las varillas de succión dentro de la tubería de producción. Tienen la ventaja de que son más fáciles de llevar a la superficie para su inspección y mantenimiento, ya que las partes que están sujetas a desgaste se llevan a la superficie con sólo sacar las varillas de succión; pero tienen menos área de trabajo para el émbolo en el mismo diámetro de tubería de producción que para una bomba de tubería de producción. No son aplicables para fluidos viscosos.

DESCRIPCION DEL CICLO DE BOMBEO.

Durante la carrera ascendente la columna hidrostática la soporta el pistón de la bomba subsuperficial, causando el cierre de la válvula viajera, obligando a que se desplace el fluido a través de la tubería de producción hasta la superficie. Este mismo movimiento del pistón provoca una disminución de presión arriba de la válvula de pie, lo que ocasiona la apertura de ésta, permitiendo el paso del fluido de la formación al interior de la bomba. Al iniciarse la carrera descendente el pistón baja empujado por el peso de las varillas de succión. Como consecuencia la válvula viajera se abre para permitir el paso de los fluidos a la tubería de producción. El ciclo de bombeo se cierra al terminar la carrera descendente.

DISEÑO DE UNA INSTALACION.

El procedimiento que se seguirá en este trabajo es el recomendado por "Equipos Petroleros Nacionales, S.A." dado a conocer en su publicación "Selección de Unidades de Bombeo", por el ingeniero G.O. Saavedra, (1969) en el que se muestra un método práctico para la determinación de las variables que se presentan en el bombeo de pozos petroleros.

Las tablas empleadas en el manual mencionado se reproducen en el segundo anexo.

OBTENCION DE LOS FACTORES.

Los valores de los factores que se emplearán en el cálculo se obtienen de las tablas 1 a 15 como sigue:

Con el diámetro o combinación de diámetro apropiados de varillas de succión, se selecciona la tabla correspondiente, de la 1 a la 10, y con el diámetro de la bomba se determinan los valores de:

1. - PESO DE LA SARTA DE VARILLAS CON COPLES EN EL AIRE: En la columna marcada con W (kg/m).

2. - EFECTO DE FLOTACION DE LAS VARILLAS EN EL AGUA ($g=1.00$): En la columna marcada con W_1 (kg/m).

3. - PESO NETO DE LA COLUMNA ANULAR DE LIQUIDO ($g=1.00$): En la columna marcada con O_n (kg/m).

4. - AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL DE LAS VARILLAS DE MAYOR DIAMETRO: Con el diámetro máximo de varillas se entra a la tabla 12 y se obtiene el valor de A_v (max) (cm^2).

5. - AREA DE LA SECCION PROMEDIO DE LA COMBINACION DE VARILLAS: Con los diámetros de las varillas y el diámetro de la bomba se entra en la tabla 13 y se obtiene el valor de A_m (cm^2). Cuando el diámetro de las varillas es uniforme entonces $A_m = A_v$.

6. - AREA DE LA SECCION DE LAS PAREDES DE LA TUBERIA DE PRODUCCION: Conociendo el diámetro interior y exterior de la tubería de producción se entra a la tabla 14 para obtener el valor de A_t (cm^2).

7. - AREA DEL PISTON DE LA BOMBA: Con el diámetro de la bomba se entra a la tabla 15 para obtener el valor de A_B (cm^2).

Estos valores se emplearían en las fórmulas generales para obtener los valores buscados, por lo que es importante mantener las unidades que aquí se anotan, ya que los factores empleados son los apropiados para éstas.

FORMULAS GENERALES UTILIZADAS EN EL CALCULO DE UNA INSTALACION.

8. - PESO TOTAL DE LA COLUMNA DE ACEITE (O_T): Se obtiene multiplicando el peso neto de líquido (O_n) por la profundidad del nivel de trabajo (H) y por la densidad del aceite del pozo en estudio (g).

$$O_T = O_n \times H \times g \text{ (kg)} \quad (1)$$

9. - PESO DE LAS VARILLAS DE SUCCION (W_T): Se obtiene multiplicando el peso promedio de las varillas en el aire por metro (W), por la profundidad de la bomba (L).

$$W_T = W \times L \text{ (kg)} \quad (2)$$

10. - CARGA ESTATICA EN LA VARILLA PULIDA (P_s): Es la suma de la columna de aceite (O_T) y el peso total de las varillas de succión (W_T).

$$P_s = O_T + W_T \text{ (kg)} \quad (3)$$

11. FACTOR DE ACELERACION DE MILLS (α): Si las varillas estuvieran estáticas o se movieran uniformemente, la fuerza que se debería aplicar en la varilla pulida sería igual a la carga estática. Pero como las varillas están sujetas a una aceleración se produce una carga adicional por aceleración. El factor de aceleración por el que se debe multiplicar la carga estática para obtener la carga por aceleración es:

$$\alpha = \frac{a'}{g} \quad (4)$$

donde:

α : factor de aceleración.

a' : aceleración de las varillas de succión.

g : aceleración de la gravedad.

Como el movimiento de las varillas se asemeja al movimiento armónico simple, se analizará este movimiento.

Cuando una partícula gira con velocidad angular constante en un círculo, el movimiento es armónico simple. La posición de la partícula es la proyección de ésta sobre el diámetro vertical y se puede calcular como:

$$y = r \operatorname{sen}(wt) \quad (5)$$

donde:

y: posición de la partícula.

r: radio de la circunferencia.

w: velocidad angular de la partícula.

t: tiempo de desplazamiento.

wt: ángulo que forma el radio con la horizontal (rad).

Derivando dos veces la ecuación (5) con respecto al tiempo

$$\ddot{y} = - r w^2 \text{ sen}(wt) \quad (6)$$

La máxima aceleración se obtiene cuando $\text{sen}(wt) = 1$ y como este es el valor que aquí interesa se tiene que:

$$\ddot{y} = - r w^2 \quad (7)$$

El signo menos de la ecuación anterior junto con el valor del seno indican el sentido de la aceleración, por lo que se puede tomar el valor absoluto, ya que lo que interesa es el valor máximo de la aceleración, quedando entonces:

$$y = r w^2 \quad (8)$$

o bien

$$\ddot{y} = \frac{v^2}{r} \quad (9)$$

donde:

\ddot{y} : aceleración de las varillas.

V_p : velocidad tangencial de la partícula.

r : radio de la circunferencia.

y como

$$V_p = 2 \pi r \text{ EPM} \quad (10)$$

substituyendo (10) en (9) se tiene

$$y = \frac{(2 \pi r \text{ EPM})^2}{r} \quad (11)$$

y sabiendo que

$$g = 9.81 \text{ (kg/seg}^2\text{)} \quad (12)$$

$$r = S/2 \quad (13)$$

donde:

S : carrera de la varilla pulida.

substituyendo (11), (12) y (13) en (4)

$$\alpha = \frac{2 \pi^2 S \text{ EPM}^2}{9.81} \quad (14)$$

Como la longitud de la carrera de la varilla pulida está dada en pulgadas, la velocidad del émbolo en emboladas por mi_

nuto y la aceleración de la gravedad en metros por segundo al cuadrado, substituyendo las constantes de conversión y efectuando operaciones:

$$\alpha = \frac{S \text{ EPM}^2}{70500} \quad (15)$$

que es el factor de carga por aceleración. El factor de aceleración de Mills es:

$$a = 1 + \frac{S \text{ EPM}^2}{70500} \quad (16)$$

12. - CARGA DINAMICA MAXIMA EN LA VARILLA PULIDA (P_{\max}): Al subir y bajar el pistón durante el ciclo de bombeo se mueven junto con él la columna líquida y la sarta de varillas; por esto para obtener la carga dinámica máxima en la varilla pulida se multiplica la carga estática por el factor de aceleración de Mills.

$$P_{\max} = P_s \times a \text{ (kg)} \quad (17)$$

13. - TENSION MAXIMA EN LAS VARILLAS DE SUCCION (e_{\max}): Es el esfuerzo máximo a la tensión, a que estarán sometidas las varillas por unidad de área transversal. Se obtiene dividiendo la carga dinámica máxima en la varilla pulida (P_{\max})

entre la sección de varilla de mayor diámetro ($A_v(\max)$) por ser éstas las que soportan la máxima carga:

$$\sigma_{\max} = \frac{P_{\max}}{A_v(\max)} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (18)$$

Este valor no debe exceder la resistencia a la tensión de las varillas (2100 kg/cm^2).

14. - EFECTO DE CONTRABALANCEO (C): Es el efecto que deben producir los contrapesos para cumplir con su función, es decir, mantener trabajando al motor a una carga uniforme, almacenando energía en la carrera descendente para utilizarla en la carrera ascendente del ciclo de bombeo, es decir:

$$W_{\max} - C = C - W_{\min} \quad (19)$$

La carga máxima (W_{\max}) se obtiene durante el viaje ascendente de las varillas y es igual a la carga de la columna de fluido (O_T), más el peso de las varillas de succión en el aire (W_T), más la máxima carga debida a la aceleración, más la fuerza de fricción.

$$W_{\max} = O_T + W_T + W_T \alpha + F \quad (20)$$

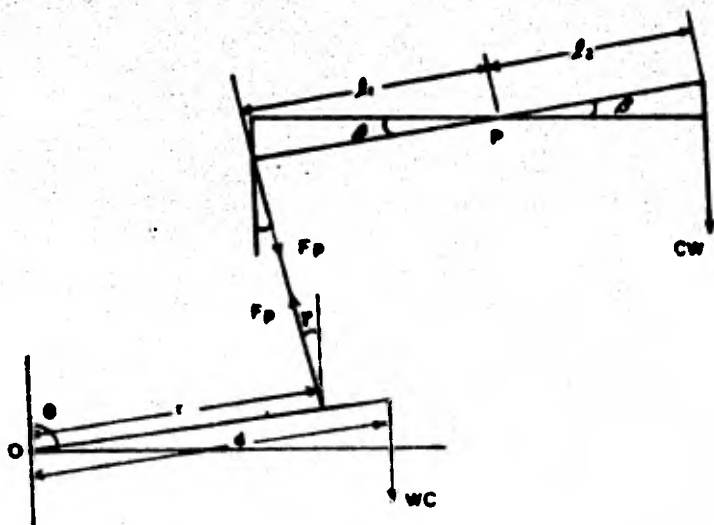


FIG. 4.-EFECTO DE CONTRABALANCEO DE LOS CONTRAPESOS

d = Distancia del eje de la manivela al centro de gravedad del contrapeso.

F_p = Fuerza en el brazo pitman, la cual por efecto de los contrapesos siempre es tensión.

l_1, l_2 = Distancias respectivas del punto "P" a los extremos del balancín.

O = Eje de la manivela.

P = Balero del balancín o cojinete central.

r = Distancia del eje de la manivela a la conexión del brazo pitman.

β = Angulo entre el balancín y la horizontal en un tiempo determinado.

γ = Angulo que forma el brazo pitman con la vertical.

θ = Angulo que forma la manivela con la horizontal.

La carga mínima en la varilla puidón (W_{min}) es la que ocurre en la carrera descendente y es igual a: el peso de las varillas de succión en el aire, menos la carga máxima debida a la aceleración, menos la carga por el efecto de flotación, menos la fuerza de fricción.

$$W_{min} = W_T - W_T \alpha - W_1 \times L \times g \quad (21)$$

ahora despejando "C" de la expresión (19)

$$C = 0.5 (W_{max} + W_{min}) \quad (22)$$

substituyendo (20) y (21) en (22) tenemos:

$$C = 0.5 (O_T + W_T + W_T \alpha + W_T - W_T \alpha - W_1 \times L \times g + F - F) \quad (23)$$

$$C = W_T + 0.5 O_T - 0.5 W_1 \times L \times g \quad (24)$$

15. - LA CARGA DESBALANCEADA (P_D): Es la carga que no contrarresta el efecto de contrabalanceo, y se obtiene así:

$$P_D = P_{max} - C \quad (25)$$

16. - PAR MAXIMO DEL REDUCTOR DE VELOCIDAD - -
(T_{max}): Como las unidades de bombeo se valorizan de acuerdo al

por máximo permisible en la unidad reductora de velocidad, es conveniente calcular éste parámetro. Para sencillez del cálculo se supondrá que la distancia del apoyo de la vigueta a la unión con la manivela es igual a la distancia de la vigueta a la cabeza del balancín, la carga dinámica en la varilla pulida (P_{max}) se transmite a la manivela mediante el brazo "Pitman", el cual estará sujeto al máximo esfuerzo cuando éste se encuentra en posición vertical. El torque neto con respecto al punto "O" (Fig. 4) que es el eje de la unidad es:

$$T = P_{max} r \text{ sen } \theta - C r \text{ sen } \theta$$

como:

$$r = S/2$$

$$T = (P_{max} - C) S/2 \text{ sen } \theta$$

El par máximo se tiene cuando $\text{sen } \theta = 1$ por máximo en la unidad reductora es:

$$T_{max} = PD \times 0.5 \times S \quad (28)$$

La carrera efectiva del émbolo es la longitud que se desplaza el émbolo dentro del barril, de ella dependerá el volumen de aceite desplazado. Aunque depende en forma significativa de la carrera de la varilla pulida, ambas difieren porque tanto las

varillas de succión como la tubería de producción se alargan y contraen, debido a las cargas que soportan, además hay que considerar una sobrecarrera del émbolo como resultado de la aceleración.

A continuación se desarrollan unas expresiones teóricas para determinar el alargamiento de las varillas y la tubería de producción como también la sobrecarrera del émbolo.

Recordando lo dicho en el ciclo de bombeo las válvulas viajera y estacionaria se abren y cierran alternativamente, por lo que la carga de fluido se transfiere de la tubería de producción a las varillas de succión, provocando con ello deformaciones elásticas, tanto en la tubería de producción como en las varillas de succión.

Para una deformación elástica hay una relación constante entre el esfuerzo aplicado al cuerpo y la deformación resultante; lo que se expresa de la siguiente manera:

$$E = \frac{\text{esfuerzo}}{\text{deformación}} \quad (29)$$

donde:

E: módulo de elasticidad, característico del material.

El esfuerzo se define como la fuerza aplicada por unidad de área, entonces:

$$\text{esfuerzo} = \frac{\text{fuerza}}{\text{área}} \quad (30)$$

La deformación es un cambio de longitud, por tanto:

$$\text{deformación} = \frac{e}{L} \quad (31)$$

donde:

e: elongación

L: longitud original

Como la deformación se da en centímetros y la longitud en metros, la ecuación (31) con las mismas unidades queda:

$$\text{deformación} = \frac{e}{100 L} \quad (32)$$

substituyendo (30) y (32) en (29) se tendrá:

$$E = \frac{F}{A} \frac{100 L}{e} \quad (33)$$

donde:

F: fuerza aplicada

A: área transversal del cuerpo

entonces la elongación de cualquier cuerpo es:

$$\epsilon = \frac{100 F L}{A E} \quad (34)$$

17. - ELONGACION DE LAS VARILLAS DE SUCCION (ΔL_v): durante la carrera ascendente, cuando la vlvula viajera está cerrada y la estacionaria abierta, la carga de la columna de fluido la soportan las varillas de succión, lo cual le provoca una elongación.

Como la columna de fluido es la fuerza aplicada:

$$F = O_T = O_n \times H \times g \quad (35)$$

y la sección transversal de las varillas de succión es " A_m " y el módulo de elasticidad $E = 2.1 \times 10^6$, la ecuación (34) queda:

$$\Delta L_v = \frac{O_T \times L}{A_m \times 2.1 \times 10^4} \quad (36)$$

donde:

ΔL_v : elongación de las varillas de succión.

18. - ELONGACION DE LA TUBERIA DE PRODUCCION - -
(ΔL_p): durante la carrera descendente la vlvula estacionaria - abre y la viajera cierra; por tanto, si la tubería de producción no está anclada, el peso de la columna de fluido lo soporta la tubería, lo cual le produce una elongación. De acuerdo a la fórmula (34), la fuerza aplicada es O_T , la sección de la tubería de produc

ucción es " A_T ", por tanto:

$$\Delta L_T = \frac{O_T \times L}{A_T \times 2.1 \times 10^4} \quad (37)$$

19. - DISMINUCION DE LA CARRERA (S): tanto la elongación de las varillas de succión como la elongación de la tubería de producción, contribuyen a la disminución de la carrera del émbolo por lo que la disminución de la carrera es la suma de las elongaciones.

$$\Delta S = \Delta L_V + \Delta L_T \quad (38)$$

Hay que tomar en cuenta que cuando la tubería de producción está anclada, no sufre alargamiento, por esta razón debe depreciarse el término de elongación de la tubería de producción.

20. - SOBRECARRERA DEL EMBOLO (S_D): como complemento de la elongación de las varillas causadas por la carga del fluido, hay que considerar también la elongación de las varillas por su propio peso, es decir la carga estática en la varilla pulida y la carga debida a la aceleración.

$$F = W_T + W_T \alpha \quad (39)$$

y además como:

$$W_T = A_m \times L \times \rho \quad (40)$$

El peso de las varillas varía desde cero en la parte inferior, hasta W_T en la parte superior de la sarta.

En promedio el peso de las varillas tiende a causar una elongación de $W_T/2$. Esto equivale a considerar que la masa completa de las varillas está concentrada a la mitad de la longitud total de la sarta $L/2$.

Por lo que tomando en cuenta la expresión (34), la elongación de las varillas debida a la propia carga al final de la carrera descendente será igual a:

$$e_d = \frac{L}{2} \frac{W_T + W_T \alpha}{A_m \times 2.1 \times 10^4} \quad (41)$$

De la misma forma la elongación de las varillas al final de la carrera ascendente será igual a:

$$e_s = \frac{L}{2} \frac{W_T - W_T \alpha}{A_m \times 2.1 \times 10^4} \quad (42)$$

Como las cargas de aceleración son en dirección contraria una de la otra, la sobrecarrera del émbolo será igual a la elongación de las varillas al final de la carrera descendente menos, la elongación de las varillas al final de la carrera ascendente.

$$S_s = e_d - e_a \quad (43)$$

substituyendo (41) y (42) en (43)

$$S_s = L \frac{W_T \alpha}{\Delta m \times 2.1 \times 10^4} \quad (44)$$

substituyendo (12) y (40) en (44) y cambiando a unidades consistentes queda la ecuación:

$$S_s = 2.08 \times 10^{-14} \times (100L)^2 \times 2.54 \times S \times EPM^2 \quad (45)$$

21. - CARGA EFECTIVA DEL EMBOLO (S_2): para obtener este parámetro se debe tener presente si la tubería está anclada o no. En el primer caso no se toma en cuenta la elongación de la tubería de producción y es igual a la carrera de la varilla pu lida, menos la elongación de las varillas de succión, más la sobrecarrera:

$$S_2 = 2.54 \times S - \Delta L_v + S_s \quad (46)$$

Mientras que para el segundo caso si se toma en cuenta el alargamiento de la tubería, luego la carrera efectiva es igual a la carrera de la varilla pulida, menos la disminución de la carrera, más la sobrecarrera:

$$S_e = 2.54 \times S - S + S_g \quad (47)$$

22. - PRODUCCION DE ACEITE (Q): para obtener el volumen desplazado en un día basta con multiplicar la carrera efectiva por el área del pistón de la bomba por las emboladas por minuto y por la eficiencia de bombeo quedando entonces la expresión:

$$Q = S_e \text{ (cm)} \times A_B \text{ (cm}^2\text{)} \times \text{EPM} \times E$$

Las unidades de este producto son cm^3/min y como se necesitan en $\text{m}^3/\text{día}$ se hacen los cambios correspondientes, quedando:

$$Q(\text{m}^3/\text{día}) = S_e(\text{m}) \times A_B(\text{cm}^2) \times \text{EPM} \times 0.144 \times E \quad (48)$$

23. - VELOCIDAD SINCRONICA: Todos los materiales -- transmiten los esfuerzos que sobre ellos se aplican, a la veloci_

dad del sonido en dicho material, a esto se le llama frecuencia natural del material. Cuando en el bombeo de pozos la velocidad de bombeo (EPM) coincide con la frecuencia natural de la sarta de varillas, se dice que dicha velocidad es sincrónica. Esta velocidad causa la rotura de las varillas de succión, por esta razón es conveniente vigilar que no opere el equipo en esta condición.

Considerando una sarta de varillas (Fig. 5) de longitud "L" anclada en el punto "p", que es el prensa-estopa, el punto "b" corresponde a la posición del émbolo.

Si se comunica un esfuerzo en el punto "p" éste viajará al punto "b" a la frecuencia natural de las varillas, donde se reflejará. Si la curva reflejada refuerza a la curva transmitida se tiene velocidad sincrónica.

Cuando la curva reflejada y la curva transmitida suman vectorialmente cero se tiene una velocidad asincrónica ideal.

El caso más simple de refuerzo, esto es, la primera presencia de un reforzamiento estará presentado por:

$$L = \frac{\lambda}{4}$$

o bien

$$\lambda = 4 L \quad (49)$$

donde:

λ : longitud de onda del impulso transmitido y reflejado

L: longitud de la sarta de varillas.

La velocidad de transmisión del refuerzo "v" es igual a la frecuencia del movimiento de la curva "f" multiplicada por la longitud de la onda " λ "

$$v = f \lambda$$

o bien

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (50)$$

igualando las expresiones (49) y (50) y despejando "f":

$$f = \frac{v}{4 L} \quad (51)$$

Suponiendo que la velocidad de transmisión del esfuerzo en las varillas es igual a 4816 m/seg, que es la velocidad de transmisión del sonido en el acero, y substituyendo éste valor en la expresión (51) se tiene:

$$f = \frac{72240}{L} \quad (52)$$

La expresión anterior de la frecuencia natural de las varillas en vibraciones por minuto; es decir, si el impulso fuera transmitido a una frecuencia "f" y la velocidad de bombeo es "EPM" emboladas por minuto, las varillas deberán estar vibrando a su frecuencia natural y estar en resonancia.

Si t_1 es el tiempo requerido para que un impulso viaje a través de la distancia "L" a una velocidad "v".

$$L = v t_1 \quad (53)$$

Si la velocidad de bombeo es EPM_1 y el tiempo de transmisión del impulso es t_1 entonces las varillas vibrarán a su frecuencia natural.

$$EPM_1 = \frac{72240}{L} \quad (54)$$

substituyendo la expresión (53) en la (54)

$$EPM_1 = \frac{72240}{v t_1} \quad (55)$$

Cuando la velocidad de bombeo es EPM_2 y el tiempo de transmisión del impulso es t_2 que es igual a $2t_1$ se impartirá un impulso a las varillas, cuando el impulso previo ha viajado a la distancia $2L$ y la varilla todavía está en resonancia, esto es:

$$EPM_2 = \frac{72240}{v \cdot t_2} = \frac{72240}{2 \cdot v \cdot t_1} \quad (56)$$

En general "EPM" representa una velocidad sincrónica de bombeo si:

$$EPM = \frac{72240}{n \cdot L} \quad (57)$$

siendo "n" cualquier número entero.

Así pues lo que debe evitarse es una velocidad sincrónica; por tanto, lo que se debe buscar es que el valor de "n" en la expresión (57) sea lo más alejado de un número entero.

$$n = \frac{72240}{EPM \cdot L} \quad (58)$$

POTENCIA: Para determinar la potencia del motor se deben realizar varios cálculos como:

24. - **POTENCIA HIDRAULICA (HP_H):** La potencia para elevar el fluido del fondo del pozo hasta la superficie, es lo que se llama potencia hidráulica, que es una manifestación del gasto útil de energía, la cual se calcula de la manera siguiente:

$$HP_H = \frac{Q \times 1000 \times g \times L}{6.48 \times 10^6} \quad (59)$$

donde:

Q: gasto en m³/día

g: densidad del aceite

L: profundidad de la bomba (m)

HP_H: potencia hidráulica

25. - POTENCIA POR FRICCIÓN (HP_f): es la energía necesaria para vencer la fricción de la bomba subsuperficial y la varilla pulida:

$$HP_f = \frac{0.125 W_T \times 5.08 S \times EPM}{4.5 \times 10^5} \quad (60)$$

donde:

W_T : peso de las varillas en el aire (kg)

S: carrera de la varilla pulida (pulg.)

EPM: emboladas por minuto

26. - POTENCIA REQUERIDA EN LA VARILLA PULIDA

(HP_{VP}): Es la suma de las potencias hidráulicas (HP_H) y por fricción (HP_f):

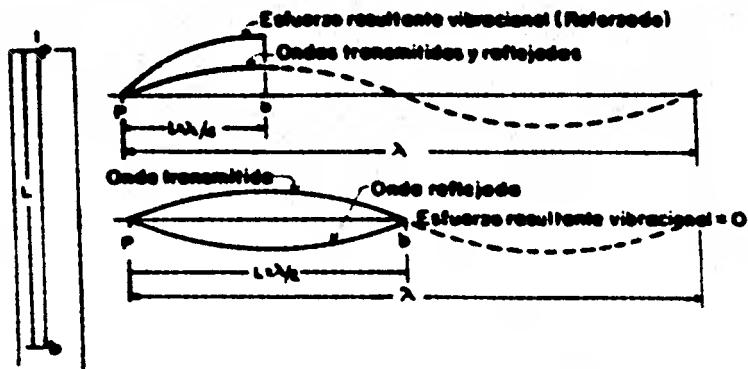
$$HP_{VP} = HP_H + HP_f \quad (61)$$

donde:

HP_{VP}: potencia requerida en la varilla pulida

HP_H: potencia hidráulica

HP_f: potencia por fricción



- p = Origen del impulso transmitido.
- b = Punto de reflexión del impulso.
- L = Longitud de las varillas.
- λ = Longitud de la onda de impulso.
(Transmitido y reflejado)

FIG. 5.- RELACION ENTRE LA LONGITUD DE LA SARTA DE VARILLAS Y LA LONGITUD DE ONDA DE IMPULSO PARA VELOCIDAD DE BOMBEO SINCRONICA (SUPERIOR) Y VELOCIDAD NO SINCRONICA (INFERIOR).

27. - POTENCIA NOMINAL DE LA UNIDAD (HP_{nom}): Ha -
biendo seleccionado la unidad reductora de velocidad, calcular la
potencia nominal conociendo el par máximo que soporta la uni -
dad de esta forma:

$$HP_{nom} = \frac{\text{Par máximo del reductor de la unidad}}{4960} \quad (62)$$

28. - FACTOR DE UTILIZACION (X): Este factor indica la
fracción que se está utilizando de la unidad, y se calcula:

$$X = \frac{HP_{vp}}{HP_{nom}} \quad (63)$$

29. - FACTOR DE EFICIENCIA DE LA UNIDAD (y) : Este
factor indica la eficiencia con que trabajará la unidad de acuer -
do al factor de utilización, puede calcularse así:

$$y = A(\text{Log}(1+X)) + B(\log(2+X^2)) + X^{1/2} + C(\log(3+X^3) + X^{3/2} + 3) \quad (64)$$

donde:

$$A = 1.35591$$

$$B = 1.67599$$

$$C = 0.70813$$

X: factor de utilización

y: factor de eficiencia de la unidad

30. - POTENCIA NECESARIA (HP_R): Es la potencia que necesita desarrollar el motor para que se produzca el gasto deseado bajo las condiciones que se han fijado, se obtiene:

$$HP_R = \frac{HP_{VP}}{\text{factor de eficiencia de la unidad}} \quad (65)$$

Con este valor de potencia se puede seleccionar el motor adecuado.

EJEMPLO:

En un pozo en que se va a implantar el bombeo mecánico se tienen los siguientes:

Datos

H = 1000 metros

D_t = 2 7/8 pulgada

g = 0.85

L = 1200 metros

D = 1 1/2 pulgada

S = 42 pulgada

DVS = 5/8 y 3/4 pulgada

EPM = 16

Incógnitas.

Q : gasto de aceite

HP_R: potencia necesaria en el motor

Solución.

Verificar velocidad asincrónica.

$$\frac{72240}{16 \times 1200} = 3.76$$

Como "n" es diferente de un entero se tiene velocidad asincrónica.

OBTENCION DE LOS FACTORES.

Con los diámetros de las varillas de succión seleccionamos la tabla correspondiente, de la 1 a la 10. En nuestro caso la tabla No. 6. Y con el diámetro de la bomba subsuperficial (D) se obtiene:

1. - PESO DE VARILLAS CON COPLER EN EL AIRE:

$$W = 2.017 \text{ (kg/m)}$$

2. - EFECTO DE FLOTACION DE LAS VARILLAS:

$$W_1 = 0.256 \text{ (kg/m)}$$

3. - PESO NETO DE LA COLUMNA DE LIQUIDO:

$$O_n = 0.884 \text{ (kg/m)}$$

4. - AREA MAXIMA DE LAS VARILLAS: con los diámetros de las varillas se busca en la tabla 12 este valor.

$$A_{v(\text{máx})} = 2.85 \text{ (cm}^2\text{)}$$

5. - AREA PROMEDIO DE VARILLAS: si hay combinación de varillas se entra con estos diámetros y el diámetro de la bomba se entra en la tabla 13.

$$A_m = 2.32 \text{ (cm}^2\text{)}$$

6. - SECCION DE LAS PAREDES DE LA TUBERIA DE PRODUCCION: de la tabla 14 se obtiene el valor, con los diámetros interior y exterior.

$$A_t = 11.7 \text{ (cm}^2\text{)}$$

7. - AREA DE PISTON DE LA BOMBA: con el diámetro de la bomba subsuperficial se entra en la tabla 15

$$A_B = 11.4 \text{ (cm}^2\text{)}$$

C A L C U L O S

8. - PESO TOTAL DE LA COLUMNA DE ACEITE:

$$O_T = 0.884 \times 1000 \times 0.85 = 751 \text{ kg}$$

9. - PESO DE LAS VARILLAS DE SUCCION:

$$W_T = 2.017 \times 1200 = 2420 \text{ (kg)}$$

10. - CARGA ESTATICA EN LA VARILLA PULIDA:

$$P_s = 751 + 2420 = 3171 \text{ (kg)}$$

11. - FACTOR DE ACELERACION DE MILLS:

$$a = 1 + \frac{42 \times 16^2}{70500} = 1.1525$$

12. - CARGA DINAMICA MAXIMA EN LA VARILLA PULIDA:

$$P_{\max} = 1.1525 \times 3171 = 3655 \text{ (kg)}$$

13. - TENSION MAXIMA EN LAS VARILLAS DE SUCCION:

$$s_{\max} = \frac{3655}{2.85} = 1282 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

14. - EFECTO DE CONTRABALANCEO:

$$C = 2420 + 05(751) - 0.5(0.256 \times 1200 \times 0.85) = 2665 \text{ (kg)}$$

15. - CARGA DESBALANCEADA:

$$P_D + 3655 - 2665 = 990 \text{ (kg) (2178 (lb))}$$

16. - PAR MAXIMO DEL REDUCTOR DE VELOCIDAD:

$$T_{\max} = 2178 \times 0.5 \times 42 = 45738 \text{ (pulg-lbs)}$$

17. - ELONGACION DE LAS VARILLAS DE SUCCION:

$$L_v = \frac{751 \times 1000}{2.32 \times 2.1 \times 10^4} = 15.41 \text{ (cm)}$$

18. - ELONGACION DE LA TUBERIA DE PRODUCCION:

$$L_t = \frac{751 \times 1000}{11.7 \times 2.1 \times 10^4} = 3.1 \text{ (cm)}$$

19. - DISMINUCION DE LA CARRERA:

$$S = 15.41 + 3.1 = 18.51 \text{ (cm)}$$

20. - SOBRECARRERA DEL EMBOLO:

$$S_g = 2.08 \times 10^{-14} \times (100 \ 1200)^2 \times 2.54(42) \times 16^2 = 8.22 \text{ (cm)}$$

21. - CARRERA EFECTIVA DEL EMBOLO:

$$S_e = 2.54(42) - 15.41 + 8.22 = 99.81 \text{ (cm)}$$

22. - PRODUCCION DE ACEITE:

$$Q = 0.9981 \times 11.4 \times 16 \times 0.144(0.8) = 20.9725 \text{ (m}^3/\text{día.)}$$

POTENCIA.

23. - POTENCIA HIDRAULICA:

$$HP_H = \frac{20.9725 \times 1000 \times 0.85 \times 1200}{6.48 \times 10^6} = 3.301$$

24. - POTENCIA POR FRICCION:

$$HP_f = \frac{0.125 \times 2420 \times 5.08 \times 42 \times 16}{4.5 \times 10^5} = 2.29$$

25. - POTENCIA REQUERIDA EN LA VARILLA PULIDA:

$$HP_{vp} = 3.301 + 2.29 = 5.591$$

26. - POTENCIA NOMINAL DE LA UNIDAD:

$$HP_{nom} = \frac{57000}{5960} = 11.49$$

27. - FACTOR DE UTILIZACION

$$x = \frac{5.591}{11.49} = 0.4866$$

28. - FACTOR DE EFICIENCIA DE LA UNIDAD: Obtenido de la gráfica.

$$y = 0.8028$$

29. - POTENCIA NECESARIA EN EL MOTOR:

$$HP_R = \frac{5.591}{0.79} = 7.077$$

A continuación se presenta un programa de cómputo como auxiliar para obtener las alternativas necesarias para el diseño de una unidad de bombeo mecánico, quedando al usuario el análisis de las alternativas que de él se obtengan y de esta manera seleccionar la unidad más económica que se ajuste a las necesidades específicas de cada caso particular.

INSTRUCTIVO.

El presente instructivo tiene como finalidad proporcionar la documentación necesaria para el manejo del programa de cálculo para la selección de unidades de bombeo mecánico.

En este programa al fijarse los valores de los demás datos puede calcularse la producción de aceite o la carrera de la bomba o las emboladas por minuto necesarias o el diámetro de la bomba subsuperficial.

Auxilian en el cálculo tres subrutinas denominadas DDVS, DAT y DDBS. La subrutina DDVS determina el diámetro de las varillas de sección en el caso que sea necesario; ya que estas varillas se fabrican únicamente en cinco diámetros.

La subrutina DAT selecciona el área de la sección transversal de la tubería de producción teniendo como datos el diámetro exterior e interior de ésta.

La subrutina DDBS selecciona el diámetro del émbolo de la bomba subsuperficial en el caso que deba hacerse.

NOMENCLATURA.

A continuación se presenta el significado de cada una de las variables empleadas en el programa en el orden de aparición ya sea como dato de entrada o de salida limitándose únicamente a ellos.

- H = profundidad del nivel de trabajo
- E = eficiencia de bombeo
- TP = diámetro exterior de la tubería de producción pg.
- DI = diámetro interior de la tubería de producción pg.
- G = densidad del aceite gr/ec
- L = profundidad de la bomba m
- D1 = diámetro menor de las varillas de succión (primer diámetro) pg.
- D2 = diámetro medio de las varillas de succión (segundo diámetro) pg.

D3 = diámetro mayor de las varillas de succión (tercer diámetro) pg.

FEM = número que indica el tipo de balanceo de la unidad

1.0 balanceada con contrapesos en la manivela

2.0 balanceadas con contrapesos en el balancín

ANCLA = número que indica si está o no está anclada la bomba.

1.0 bomba anclada

2.0 no está anclada la bomba

NOR = Número que indica si hay que seleccionar el diámetro de las varillas.

0 calcúlese el diámetro de varillas.

1 el diámetro de varillas es dato.

D = Diámetro del pistón de la bomba subsuperficial (pg)

EPM = Embolados por minuto

Q = Producción de aceite $m^3/día$

S = Carrera de la varilla pulida Pg.

J = Número que indica que es lo que se va a calcular

1 cálculo del gasto

2 cálculo de emboladas por minuto

3 cálculo de la carrera de la varilla pulida

4 cálculo del diámetro del pistón de la bomba

- W = Peso de varillas con coples en el aire por unidad de longitud kg/m
- WI = Efecto de flotación de las varillas por unidad de longitud
- ON = Peso de la columna anular de líquido por unidad de longitud kg/m cm g = 1.0
- AV = Área transversal de las varillas de succión de mayor diámetro cm²
- AM = Área transversal media de las varillas de succión cm²
- AT = Área de la sección transversal de la tubería de producción cm²
- AB = Área del pistón de la bomba cm²
- OT = Peso total de la columna anular de líquido kg.
- WT = Peso total de las varillas con coples en el aire kg.
- PS = Carga estática en la varilla pulida. kg.
- A = Factor de aceleración de Mills.
- PMAX = Carga dinámica máxima en la varilla pulida kg.
- EMAX = Tensión máxima en las varillas de succión kg/cm²
- C = Efecto de contrabalanceo kg.
- PD = Carga desbalanceada kg.
- TMAX = Par máximo requerido en el reductor pg-lb
- DELTLV = Elongación de las varillas cm.
- DELTLT = Elongación de la tubería de producción cm.
- DELTS = Disminución de la carrera cm.

- SS** = Sobrecarrera del émbolo de la bomba cm.
- SE** = Carrera efectiva de la bomba cm.
- Q** = Producción de aceite m³/día
- TMAPI** = Par máximo del reductor (API) seleccionado
- HPH** = Potencia hidráulica HP
- HPF** = Potencia por fricción HP
- HPVP** = Potencia requerida en la varilla pulida HP
- HPNOM** = Potencia nominal de la unidad de bombeo HP
- FACUT** = Factor de utilización de la unidad
- FEFI** = Factor de eficiencia de la unidad
- HPR** = Potencia requerida en el motor

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		Y								H				
										E				
										P				
										I				
										G				
				L										
				D1						D2			D3	
									F	E	M			
							A	N	C	L	A			
	NOR													
										D				
										EP	M			
										Q				
										S				
		J												

Real perfore el punto decimal
Real perfore el punto decimal
Real perfore el punto decimal
Real perfore el punto decimal
Real perfore el punto decimal
Entero cargado a la derecha
Reales perfore el punto decimal
Real perfore el punto decimal
Real perfore el punto decimal
Entero cargado a la derecha
Real perfore el punto decimal
Real perfore el punto decimal
Real perfore el punto decimal
Real perfore el punto decimal
Entero cargado a la derecha

Coloque tarjeta en blanco que indica la terminación.

DIMENSION: M(15,5,10)

DATA ((M(1,J,K),I=1,15),J=1,5),K=1,10)/15=1.75,15=0.223,0.062,0.2
1215,0.2A35,0.3485,0.569,0.917,1.328,1.803,2.347,2.786,2.942,3.007,
26.899,0.0,0.0,30=1.97,15=2.43,15=0.399,0.0,0.1354,0.1975,0.2625,0.
3481,0.831,1.242,1.717,2.261,2.7,2.856,3.521,6.813,0.0,0.0,30=2.85,
415=3.35,15=0.449,0.0,0.0,0.3575,0.1225,0.343,0.891,1.102,1.577,2.1
521,2.56,2.716,3.381,6.673,0.0,0.0,30=3.84,15=4.28,15=0.545,0.0,0.0
6,0.0,0.0265,0.247,0.595,1.006,1.081,2.025,2.864,2.52,3.285,6.577,7
7.565,12.105,30=5.06,15=5.41,15=0.689,0.0,0.0,0.0,0.0,103,0.851,0
8.862,1.337,1.841,2.32,2.476,4.141,6.433,7.421,11.961,30=6.4,1.935,
91.05,1.054,2=1.462,2.017,2.054,2.1,2.153,2.191,2.208,2.272,3=0.0,0
0.246,0.248,0.244,2=0.2495,0.256,0.2615,0.267,0.274,0.2774,0.281,0.
1289,3=0.0,0.037,0.1965,0.2575,0.322,0.5025,0.884,1.2895,1.759,2.24
26,2.7316,2.884,3.541,3=0.0,15=2.45,2.21,2.23,2=2.23,2.25,2.32,2.36
3,2.42,2.49,2.54,2.55,2.65,3=0.0,2.246,2.268,2.306,2.32,2.32,2.32,2.33
4,2.572,2.694,2.829,4=0.0,286,0.289,2.2935,0.29,0.3125,0.313,0.3
527,0.343,0.361,7=0.0,0.1555,0.213,0.2755,0.4805,0.27,1.28,1.28,0.3
62.209,8=0.0,15=3.88,2.54,2.54,2.61,2.62,2.68,2.7,2.71,3.15,3.2,2.6
70,0.2.68,2.698,2.704,2.708,2.728,2.762,2.801,2.81,2.815,2.825,2.8
851,3.044,3.322,2=0.0,0.341,0.343,0.3435,0.3448,0.347,0.347,0.347
9,0.362,0.3685,0.373,0.3755,0.3835,0.422,3=0.0,0.1015,0.142,0.2227,
50,4447,0.788,1.1945,1.664,2.2015,2.636,2.7895,3.0065,3.2,2.7,2.15=0
13.88,3.08,2=3.11,3.12,3.13,3.14,3.2,3.24,3.29,3.32,3.34,4,4,3.69,2
2=0.0,2.475,3.007,3.019,3.042,3.074,3.143,3.225,3.32,3.421,3.512,3.
3545,3.675,3=0.0,0.3745,0.382,0.384,0.387,0.3915,0.3,0.411,0.4225,0
4.435,0.444,0.452,0.467,4=0.0,0.0625,0.1225,0.1845,0.4005,0.74,1.14

5.1.6035,2.135,2.561,2.713,3.363,300,0.1505,06,3.85,3.40,3.5,3.51,3
 6.57,3.64,3.73,3.82,3.90,4.05,4.07,4.21,300,0,3.648,3.696,2.1.604,3
 7.711,3.724,3.73,3.763,3.785,3.805,3.809,3.875,3.955,3.97,4.100,0,4
 8.095,0.47,200,4705,0.472,0.4705,0.475,0.470,0.442,0.1445,1.045,0.00
 035,0.507,0.505,0.534,200,0,0.036,0.101,0.32,0.655,1.076,1.567,2.0
 444,2.5245,2.62,3.3365,0.615,7.605,12.116,1505,06,1.15,200,10,0.15,
 10.16,4.19,0.21,4.25,4.28,4.31,4.32,4.36,0.50,4.57,1.127

100 F00M4T11,01

101 F00M4T1151

102 F00M4T1121

103 F00M4T115,51

REAFES,10034

REAFES,10036

REAFES,10031P

REAFES,10031E

REAFES,1003E

REAFES,1013E

C

C TIZI ES EL DIAMETRO DE LAS VARILLAS

C

C	N	HEM 1	DIAM 2	DIAM 3
C	1	5/8		
C	2	5/4		
C	3	7/8		
C	4	1		
C	5	1 1/8		
C	6	5/8	3/4	
C	7	5/8	3/4	7/8

C

C 1 5/8

C 2 5/4

C 3 7/8

C 4 1

C 5 1 1/8

C 6 5/8 3/4

C 7 5/8 3/4 7/8

C M 3/4 7/8

C 9 3/4 7/8 1

C 10 7/8 1

ESCOJA EL VALOR DE x MAS CONVENIENTE Y PONGALO COMO DATO

RESOLV. 103101, 02, 03

SELECCION DEL VALOR DE EMPLEADOS POR NINGUN

FORMA 1. BALANCEADA CON CONTRAPESOS EN LA FORMA DE UN M

FORMA 2. BALANCEADA CON CONTRAPESOS EN LA FORMA DE UN M

EL MISMO VALOR DE EMPLEADOS POR NINGUN

RESOLV. 103101, 02, 03

ESTA CLASE LA FORMA

FORMA 1. FORMA ANCLADA

FORMA 2. EN ESTA ANCLADA LA FORMA

RESOLV. 103101, 02, 03

ESTE

ES COMO EL DIAMETRO DE LAS VARILLAS

FORMA 1. PARA SU CALCULO EL DIAMETRO DE LAS VARILLAS

FORMA 2. EL DIAMETRO DE LAS VARILLAS ES DATO

READ(5,102)HOB

C

READ(5,100)D

READ(5,100)EPM

READ(5,100)D

READ(5,100)S

C

101 SE CALCULA

C

C

101 CALCULO DEL GASTO

C

102 CALCULO DE LAS EMPUJAS POR MINUTO CERRADAS

C

103 CALCULO DE LA CARRERA

C

104 CALCULO DEL DIAMETRO DE LA BOMBA

C

SEE READ(5,102)H

101,10,1000 TO 8000

102,10,1000 TO 150

103,101

101 FORMATEO(1,777,700,CALCULO DEL DIAMETRO DE LA BOMBA)

102,5000

100 500/750*EPM*0,1000*100

0,500*1000/6,7550/2,50

150 CALL 00000,1)

101,10,0000 TO 8000

100,7550*(2,500*100)

CALL 00000,01,01)

30 100,10,1000 TO 50

100(100),2,5

2 10000,5000

500 FORMATEO(1,777,700,CALCULO DEL DIAMETRO DE LA BOMBA)


```
GO TO 70
25 S=(SE+DELTU)/(2.5*(1.0+2.0*(L+L*EPM+EPH*(E-10)))
GO TO 70
200 SF=2.5*(S
      0000
      TOL=0.01
      0100.0
      EPM=0.0
      EPH=0.100,0/(40*(0.14*(E+SE)
20 FPM2=EPH
  IF(I1,EG,1)GO TO 22
  IF(I1,EG,2)GO TO 22
70 IF(EFPM,EG,1,0)GO TO 20
  PALA=12.0
  GO TO 21
20 PALA=20.0
21 IF(IJ,EG,2)GO TO 29
  IF(EPM,IF,PALA)GO TO 22
  WRITE(6,504)
503 FORMAT(///,25X,'***LAS EMBOLADAS NO SON LAS CORRECTAS***')
22 A=1.0*(S*EPM**2)/70500.0
  PMAX=A*PS
  EMAX=PMAX/AV
  IF(PMR,EG,0)GO TO 61
  IF(IJ,EG,2)GO TO 62
  IF(EMAX,LE,2100.0)GO TO 62
  WRITE(6,501)
501 FORMAT(///,25X,'***LOS RESULTADOS DE ESTE PROGRAMA SON FUERTE OSOO
  *)
  GO TO 62
```

```
61 IF (EMAX,LE,2100.0)GO TO 67
   IF (K,NE,10)GO TO 50
   WRITE(6,501)
62 CONT=(OT-4)*LOG)/2.0
   PD=(PMAH-C)*2.2
   TMAX=PD*5/2.0
   SS=(2.0A+2.50*5*(L*EPM)**2)*IF-10
   A1=2.50*5*SS
   IF (A,NE,1.0)GO TO 65
   SE=AT-DELTS
   GO TO 66
65 SE=AT-DELTV
66 G=(SP*OR*EPM*0.100E)/100
   IF (J,NE,2)GO TO 5030
   IF ((R5(00-0)),LE,TOL)GO TO 70
   EPM=(00-01)/(0-01)*(EPM2-EPM1)+EPM1
   EPM1=EPM2
   Q1=Q
   GO TO 28
29 IF (EPM,GT,PALA)WRITE(6,503)
   IF (EMAX,GT,2100.0)WRITE(6,501)
5030 N1=1
   N0=1
   WRITE(6,502)M,L,S,G,EPM,E,T,D1,D,K
502 FORMAT(///,20X,'M',F15.7,' METROS',///,20X,'L',F17.9,' METROS',//
1,20X,'S',F15.7,' PULGADAS',///,20X,'G',F15.7,///,10X,'EPM',F15.7
2,///,20X,'E',F15.7,///,19X,'T',F15.7,' PULGADAS',///,19X,'D1',F1
35.7,' PULGADAS',///,20X,'D',F15.7,' PULGADAS',///,20X,'K',17)
   WRITE(6,551)K,M,L,ON,AV,AV,AT,AR,OT,RT,PS,A,PMAH,EMAX,C,PD,TMAX,DEL
ITLV,DELTV,DELTS,SS,SE,0
```

```
551 FORMAT(///,20X,'WB',F15.7,' KILOG/METRO',//,19X,'WB',F15.7,' KI  
ILOG/METRO',//,19X,'ONB',F15.7,' KILOG/METRO',//,19X,'AVB',F15.7,'  
2 CM2',//,19X,'AMB',F15.7,' CM2',//,19X,'ATB',F15.7,' CM2',//,19  
3X,'ANB',F15.7,' CM2',//,19X,'OTB',F15.7,' KILOGRAMOS',//,19X,'WT  
4B',F15.7,' KILOGRAMOS',//,19X,'PSB',F15.7,' KILOGRAMOS',//,20X,'  
5AB',F15.7,//,17X,'PMAXB',F15.7,' KILOGRAMOS',//,17X,'EMAXB',F15.7  
6,' KILOG/CM2',//,20X,'CB',F15.7,' KILOGRAMOS',//,19X,'PDB',F15.7  
7,' LIRAS',//,17X,'TMAXB',F15.7,' PULGADAS-LIRAS',//,15X,'DELTV  
8B',F15.7,' CM',//,15X,'DELTVB',F15.7,' CM',//,16X,'DELTVB',F15.  
97,' CM',//,19X,'SSB',F15.7,' CM',//,19X,'SEB',F15.7,' CM',//,20  
8X,'QB',F15.7,' M3/20 MMS')
```

TMAP1=1.25*TMAX

MPMB=1000*GAL/(6.48*1E6)

MPFB=0.125*105.0005*FPM/(4.5*1E5)

MPV=MPMB*MPF

MPNOM=TMAP1/4960.0

FACUT=MPV/MPNOM

XFACUT

FFF1=1.3559*(ALOG10(1+Y1))+1.67599*(ALOG10(2+Y2))+SORT(Y1)*2)-0.

170*13*(ALOG10(3+Y3))+3*SURT(Y+Y+Y))

MPB=MPV/FFF1

WRITE(6,570)TMAP1,MPM,MPF,MPV,MPNOM,FACUT,FFF1,MPB

```
570 FORMAT(///,16X,'TMAP1',F15.7,///,18X,'MPMB',F15.7,///,18X,'MPFB',F1  
15.7,///,17X,'MPV',F15.7,///,16X,'MPNOM',F15.7,///,16X,'FACUT',F15  
2.7,///,17X,'FFF1',F15.7,///,18X,'MPB',F15.7)
```

GO TO 901

1500 PRINT 1550,4,1,0,5,41,04,AV,AM

```
1550 FORMAT(////,20X,'KB',13.5X,'TB',13.5X,'OB',F7.4,///,15X,'AB',F7.4  
1.2X,'WB',F7.4,2X,'ONB',F7.4,2X,'AVB',F7.4,2X,'AMB',F7.4)
```

901 GO TO 311

4000 CALL EXIT

• END

SUBROUTINE DDYS(D1,D2,D3,NOR,K)

IF(NOR.EQ.1)GO TO 16

D2=0.

D3=0.

IF(K.EQ.0)GO TO 5

IF(K.EQ.1)GO TO 17

IF(K.EQ.6)GO TO 1A

IF(K.EQ.7)GO TO 19

IF(K.EQ.8)GO TO 20

IF(K.EQ.9)GO TO 21

1A IF(D1=0.475)1,2,3

2 IF(D2.EQ.1.)GO TO 4

K=3

RETURN

21 D1=1.

D2=1.125

D3=0.

4 K=10

RETURN

1 IF(D1=0.625)5,6,7

6 IF(D2.EQ.0.75)GO TO 8

5 D1=0.625

K=1

RETURN

8 IF(D3.EQ.0.475)GO TO 9

17 D2=0.75

K=6

RETURN

19 D3=0.475

9 K=7

RETURN

RETURN

7 IF (D2.EQ.0.875) GO TO 10

K=2

RETURN

10 IF (D3.EQ.1.) GO TO 11

19 D1=0.75

D2=0.875

D3=0.

K=4

RETURN

20 D3=1.

11 K=9

RETURN

3 IF (D1=1.125) 12,13,14

13 K=5

RETURN

12 K=4

RETURN

14 WRITE (6,15)

15 FORMAT (///,20X,'REVISÉ LOS DIÁMETROS DE LAS VARILLAS')

RETURN

END

SUBROUTINE DAT(TP,DT,AT)

IF(TP.EQ.1.0.AND.DT.EQ.1.6)GO TO 1
IF(TP.EQ.2.375.AND.DT.EQ.2.64)GO TO 2
IF(TP.EQ.2.375.AND.DT.EQ.1.995)GO TO 3
IF(TP.EQ.2.375.AND.DT.EQ.2.40)GO TO 4
IF(TP.EQ.3.5.AND.DT.EQ.3.068)GO TO 5
IF(TP.EQ.3.5.AND.DT.EQ.2.992)GO TO 6
IF(TP.EQ.3.5.AND.DT.EQ.2.927)GO TO 7
IF(TP.EQ.4.0.AND.DT.EQ.3.548)GO TO 8
IF(TP.EQ.4.5.AND.DT.EQ.3.954)GO TO 9
CONTINUE

10 PRINT(1000000.00,1E21) 'ALL LOG DATES OF TP V DT'S

- 1 AT=1.15
DT=1.00
- 2 AT=1.47
DT=1.00
- 3 AT=1.92
DT=1.00
- 4 AT=11.7
DT=1.00
- 5 AT=10.35
DT=1.00
- 6 AT=16.48
DT=1.00
- 7 AT=16.45
DT=1.00
- 8 AT=17.25
DT=1.00
- 9 AT=23.25
DT=1.00


```
SUBROUTINE DDMS(D,I)
  IF(D=2.0)1,2,3
2 18A
  RETURN
1 IF(D=1.0625)4,5,6
5 18B
  RETURN
4 IF(D=0.9375)7,8,9
8 18C
  RETURN
7 IF(D=0.75)10,11,12
11 18D
  RETURN
10 D=0.75
  GO TO 11
12 D=0.9375
  GO TO 8
9 IF(D=1.0)13,14,15
14 18E
  RETURN
13 D=1.0
  GO TO 14
15 D=1.0625
  GO TO 5
6 IF(D=1.5)16,17,18
17 18F
  RETURN
16 IF(D=1.25)19,20,21
20 18G
```

RETURN

19 D=1.5

GO TO 20

21 D=1.5

GO TO 17

1A IF(D=1.75)22,23,24

23 I=7

RETURN

22 D=1.75

GO TO 23

24 D=2.0

GO TO 2

3 IF(D=2.75)25,26,27

26 I=12

RETURN

25 IF(D=2.4375)24,29,30

29 I=10

RETURN

2A IF(D=2.25)31,32,33

32 I=9

RETURN

31 D=2.25

GO TO 32

33 D=2.4375

GO TO 29

30 IF(D=2.5)34,35,36

35 I=11

RETURN

34 D=2.5

GO TO 35

36 082,75

GO TO 26

27 IF(0=0,0137,35,34

34 1814

RETURN

37 IF(0=3,75)00,01,02

01 1815

RETURN

00 083,75

GO TO 41

02 084,0

GO TO 38

39 IF(0=1,00)3,04,15

04 1816

RETURN

03 085,0

GO TO 40

05 180

RETURN 50

50 FORNATE(777,200, *PREVISE LOS DATOS EL DIAMETRO ES MUY GRANDE)

DETER

END

CALCULO DEL GASTO

HE	1000.0000000	METROS
LE	1050	METROS
SE	42.0000000	PULGADAS
IE	0.8500000	
EP	10.0000000	
FE	0.8000000	
TE	2.4750000	PULGADAS
ME	2.2410000	PULGADAS
NE	1.5000000	PULGADAS
SE	4	
	2.0170000	KILOG/METRO
SE	1.2500000	KILOG/METRO
ME	1.5000000	KILOG/METRO
AE	2.8500000	CM2
ME	2.3200000	CM2
ME	11.7000000	CM2
ME	11.4000000	CM2
ME	751.1000000	KILOGRAMOS
ME	2117.4500000	KILOGRAMOS
ME	2960.2500000	KILOGRAMOS
AE	1.1525100	
ME	4300.0000000	KILOGRAMOS
ME	1167.2000000	KILOGRAMOS
ME	2370.3000000	KILOGRAMOS
ME	2000.0000000	KILOGRAMOS
ME	1200.0000000	KILOGRAMOS

DELTVR	15.4228283	CM
DELTVR	3.0582011	CM
DELTVR	18.4810258	CM
SSR	6.2627875	CM
SEB	97.5199282	CM
OR	20.4980529	M3/24 MRS

1-APR	53564.9234520
APR	2.4225385
APR	2.0082844
APR	4.8362251
APR	10.7903794
APR	0.0073243
APR	0.7900733
APR	6.1103000

CALCULO DE ENROLADAS POR MINUTO NECESARIAS

MB	1000.0000000	METROS
LB	1050	METROS
SB	42.0000000	PULGADAS
GB	0.4500000	
EPMB	15.9075207	
FB	0.8000000	
TPB	2.4750000	PULGADAS
DPB	2.4610000	PULGADAS
DB	1.5000000	PULGADAS
AB	4	
	2.0170000	PILOG/METRO
	0.2560000	PILOG/METRO
	0.4870000	PILOG/METRO
	2.8500000	CM2
	2.3200000	CM2
	11.7000000	CM2
	11.4000000	CM2
	751.4000000	KILOGRAMOS
	2117.8500000	KILOGRAMOS
	2260.2500000	KILOGRAMOS
	1.1524634	
	3306.7060000	KILOGRAMOS
	1160.2477331	KILOG/CM2
	2370.3100000	KILOGRAMOS
	2080.2712063	LIRAS
	42245.6970120	PULGADAS-LIRA

DELTLB	15.4228203	CM
DELTLB	3.0582011	CM
DELTSB	14.9410256	CM
SSB	6.2600130	CM
SFB	97.5179006	CM
S	20.0491227	13/24 HNS

SSB	43567.1212660
SSB	2.4220068
SSB	2.0071765
SSB	0.8406233
SSB	10.7970067
SSB	0.0073152
SSB	0.7901700
SSB	0.1154122

CALCULO DE LA CARRERA DE LA BOMBA

MB	1000.0000000	METROS
LB	1050	METROS
SB	42.0000000	PULGADAS
GB	0.8500000	
EP/S	15.9075207	
ES	0.8000000	
TPS	2.8750000	PULGADAS
OPS	2.4010000	PULGADAS
OS	1.5000000	PULGADAS
KS	0	
MS	2.0170000	KILOG/METRO
NIS	0.2500000	KILOG/METRO
ONS	0.0800000	KILOG/METRO
AVS	2.2500000	CM ²
AVS	2.3200000	CM ²
ATS	11.7000000	CM ²
ANS	11.4000000	CM ²
OTS	751.4000000	KILOGRAMOS
OTS	2117.4500000	KILOGRAMOS
PSB	2069.2500000	KILOGRAMOS
AS	1.1524035	
PHAS	3306.7060303	KILOGRAMOS
PHAS	1160.2477331	KILOG/CM ²
CS	2379.3100000	KILOGRAMOS
PDS	2040.2712063	LITRAS
THAS	42045.6970134	PULGADAS-LITRA

DELTA	14.4220243	CV
DELTA	3.0502011	CM
DELTA	14.4810254	CM
SSB	6.2609130	CM
SSB	97.5174006	CM
SSB	20.44091077	M3/24 M29

TABLE	53557.121266P
MPHS	2.4220069
MPHS	2.0074765
MPHS	0.8300233
MPHS	10.7974067
MPHS	0.4073152
MPHS	0.7900700
MPHS	6.1141122

DELTVB	15.8228283	CV
DELTLB	3.0587011	CV
DELTSB	18.4810254	CV
SSB	4.2608139	CV
SFB	97.5176896	CV
UB	20.8804427	3/28 WBS

THATB	53557.1212448
WDB	2.0220068
WFB	2.0079765
WVDB	4.8800243
WVFB	10.7378067
WDBB	0.4473152
WVBB	0.7900700
WVBB	6.1334122

	VARILLAS			COLUMNA DE LIQUIDO	
	O	W	W ₁	O	O _n
	Diámetro del piston de la bomba	Peso de varillas con coples en el aire	Efecto de flotación de las varillas con coples, en agua g=1.00	Peso bruto columna de liquido g=1.00	Peso neto columna anular de liquido O _n = O - W ₁ 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	0.2250	0.2850	0.0620
	15/16			0.4445	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	1.3280
	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
	4				
5					
TABLA No. 2 VARILLAS DE SUCCION DE 3/4"	3/4	2.43	0.3090	0.2850	—
	15/16			0.4445	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	1.2420
	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			2.8300	3.5210
	3 3/4			7.1220	6.8130
	4				
5					
TABLA No. 3 VARILLAS DE SUCCION DE 7/8"	3/4	3.53	0.4490	0.2850	—
	15/16			0.4445	—
	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	3.3810
	3 3/4			7.1220	6.6730
	4				
5					

	D Diámetro del plástic de la bomba	VARILLAS		COLUMNA DE LIQUIDO	
		W Peso de varillas con captos ca el aire	W ₁ Efecto de flotación de las varillas con captos, en agua g=1.00	O Peso bruto columna de liquido g=1.00	O ₁ Peso neto columna anular de liquido O ₁ =O-W ₁ g=1.00
		pulgadas	Kg/m.	Kg/m.	Kg/m.
TABLA No. 4 VARILLAS DE SUCCION DE 1"	3/4	4.28	0.5450	0.2850	—
	15/16			0.4445	—
	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			3.8300	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	5.41	0.6890	0.2850	—
	15/16			0.4445	—
	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	1.3570
	2 1/4			2.5700	1.8810
	2 7/16			3.0090	2.3200
	2 1/2			3.1650	2.4760
	2 3/4			3.8300	3.1410
	3 3/4			7.1220	6.4330
4	8.1100	7.4210			
5	12.6500	11.9610			

	Ø Diámetro del pasador de la bomba	VARILLAS		COLUMNA DE LIQUIDO	
		W Peso de varillas con coples en el aire	W ₁ Efecto de rotación de las varillas con coples, en agua a 1.00	Ø Peso bruto columna de liquido a 1.00	Ø ₁ Peso neto columna anular de liquido Ø ₁ = Ø - W ₁ a 1.00
		pulgadas	Kg/m.	Kg/m.	Kg/m.
TABLA No. 6 VARILLAS DE SUCCION DE 5/8" y 3/4"	3/4	1.933	0.2460	0.2830	0.0390
	15/16	1.930	0.2480	0.4443	0.1963
	1	1.938	0.2490	0.3065	0.2373
	1 1/16	1.962	0.2493	0.3715	0.3220
	1 1/4	1.962	0.2493	0.7920	0.3423
	1 1/2	2.017	0.2560	1.1400	0.8840
	1 3/4	2.056	0.2613	1.5310	1.2893
	2	2.100	0.2670	2.0260	1.7390
	2 1/4	2.153	0.2740	2.5700	2.2360
	2 7/16	2.191	0.2774	3.0090	2.7316
	2 1/2	2.208	0.2810	3.1630	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	0.2830	—
	15/16	2.268	0.2890	0.4443	0.1533
	1	2.306	0.2933	0.3065	0.2130
	1 1/16	2.320	0.2960	0.3715	0.2733
	1 1/4	2.376	0.3023	0.7920	0.4893
	1 1/2	2.439	0.3130	1.1400	0.8270
	1 3/4	2.572	0.3270	1.5310	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			3.1630	
	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	0.2830	—
	15/16	2.698	0.3430	0.4443	0.1013
	1	2.704	0.3443	0.3065	0.1620
	1 1/16	2.708	0.3448	0.3715	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	0.3563	1.5310	1.1943
	2	2.813	0.3620	2.0260	1.6640
	2 1/4	2.893	0.3683	2.5700	2.2013
	2 7/16	2.929	0.3730	3.0090	2.6380
	2 1/2	2.951	0.3733	3.1630	2.7893
	2 3/4	3.044	0.3813	3.8300	3.4463
	3 3/4	3.322	0.4320	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	0.4445	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	0.4005
	1 1/2	3.144	0.4000	1.1400	0.7400
	1 3/4	3.224	0.4110	1.5510	1.1400
	2	3.320	0.4225	2.0260	1.6055
	2 1/4	3.421	0.4350	2.5700	2.1550
	2 7/16	3.512	0.4460	3.0090	2.5630
	2 1/2	3.545	0.4520	3.1650	2.7150
	2 3/4	3.675	0.4670	3.8500	3.3600
	3			4.1220	
	4				
	5				
TABLA No. 10 VARILLAS DE SUCCION DE 7/8" y 1"	3/4	3.688	0.4695	0.2850	—
	15/16	3.696	0.4700	0.4445	—
	1	3.698	0.4705	0.5065	0.0560
	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	3.750	0.4750	1.5510	1.0760
	2	3.765	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	0.4955	3.8500	3.3655
	3 1/4	3.985	0.5070	7.1220	6.6150
	4	3.970	0.5050	8.1100	7.6050
	5	4.194	0.5340	12.6500	12.1160

TABLA No. 12
Secciones en cm²
de varillas de Succión

Diámetro	A _v Área de la sección en el diámetro nominal de las varillas de succión, cm ²
5/8"	1.97
3/4"	2.85
7/8"	3.98
1"	5.06
1 1/8"	6.40

TABLA No. 13

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

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

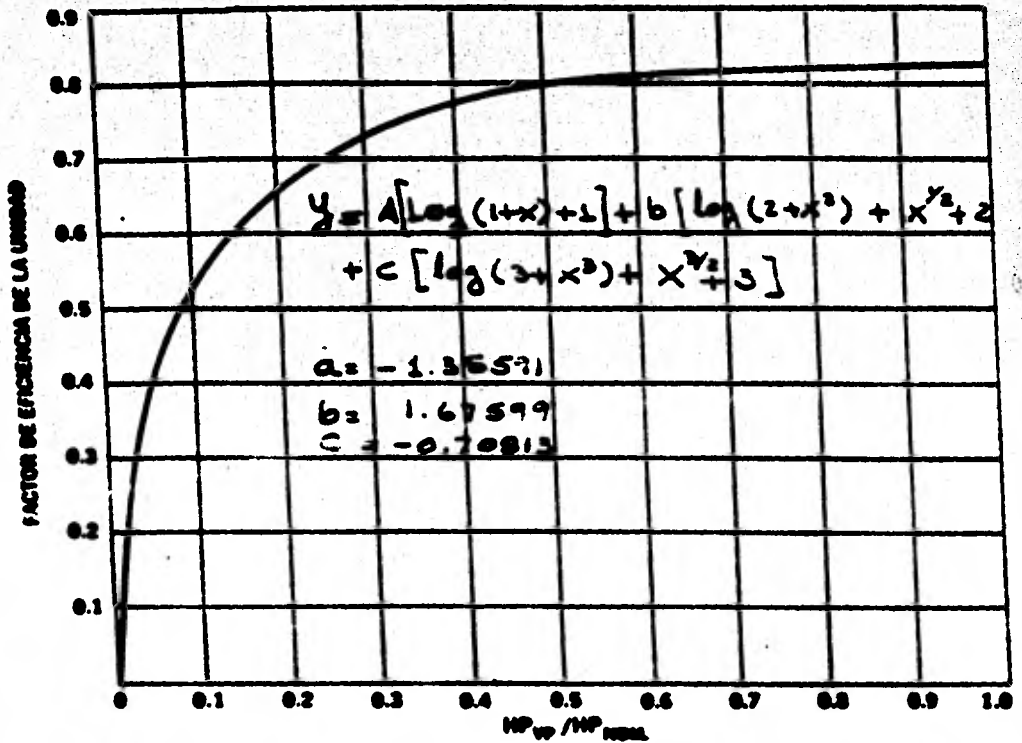
D Diámetro del pistón de la bomba	5/8" y 3/4"	5/8", 3/4", 7/8"	3/4" y 7/8"	3/4", 7/8" y 1"	7/8" y 1"
	A _m	A _m	A _m	A _m	A _m
pulgadas.	cm ²	cm ²	cm ²	cm ²	cm ²
3/4	2.21	2.54	3.08	3.15	4.13
1 5/16	2.21	2.58	3.11	3.49	4.14
1	2.24	2.61	3.11	3.50	4.14
1 1/16	2.24	2.62	3.12	3.51	4.15
1 1/4	2.25	2.68	3.13	3.57	4.16
1 1/2	2.32	2.79	3.16	3.64	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	3.94	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	Díámetro Interior	A ₁ Sección de la pared
pulgadas	pulgadas	cm ²
1.900	1.610	5.15
2 3/8	2.041	7.47
	1.995	8.42
2 7/8	2.441	11.70
3 1/2	3.068	14.35
	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

Díámetro del pistón o las copas de la bomba sub-superficial		A _B Area del pistón
pulgadas	cm	cm ²
3/4	1.915	2.85
15/16	2.38	4.445
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 5/4	4.145	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 5/8	6.985	38.40
3 1/4	8.525	71.22
4	10.160	81.10
5	12.700	126.90



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.

