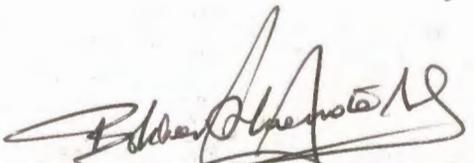


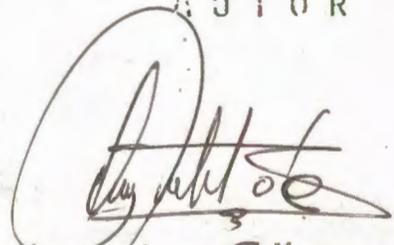
1977

'DISEÑO DE INSTALACIONES DE BOMBEO MECANICO PARA POZOS
DE LA PENINSULA DE SANTA ELENA''

DIRECTOR DE TESIS


ING. BOLIVAR MIRANDA A.

AUTOR


JULIO ANDRES MORTOLA I.

ASOCIACION DE ESTUDIANTE DE
INGENIERIA DE GEOLOGIA MINAS
Y PETROLEOS A E I G M P - E S P O L

BIBLIOTECA



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

FACULTAD DE MINERIA
Y PETROLEOS

DECLARACION EXPRESA:

DECLARO QUE: Hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis son de mi exclusiva responsabilidad y que el patrimonio intelectual de la misma corresponde a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL.

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL).

**ASOCIACION DE ESTUDIANTE DE
INGENIERIA DE GEOLOGIA MINAS
Y PETROLEOS AEIGMP-ESPOL**



**BIBLIOTECA FICT.
ESPOL**

AGRADECIMIENTO

A la ESCUELA SUPERIOR POLI
TECNICA DEL LITORAL, que
me brindó la oportunidad
de realizarme.

Al ING. BOLIVAR MIRANDA A.,
Director de Tesis, quien
supo guiarme acertadamen
te en el desarrollo de es
te trabajo.

ASOCIACION DE ESTUDIANTE DE
INGENIERIA DE GEOLOGIA MINAS
Y PETROLEOS A E I G M P - E S P O L



BIBLIOTECA FIC I
ESPOL

Al ING. MARCO TRUJILLO V.,
Jefe Regional de Hidro
carburos en la Penínsu
la, por las facilidades
brindadas durante la rea
lización de esta Tesis.

DEDICATORIA

T
622-3382
MOR

Con todo cariño a mis padres:

JULIO ANDRES MORTOLA C.

MARIA ANTONIETA ITURRALDE

quienes con abnegación y desinterés han hecho posible la culminación de esta etapa. BIBLIOTECA

A mis hermanos

ASOCIACION DE ESTUDIANTE DE
INGENIERIA DE GEOLOGIA MINAS
& PETROLEOS A E I G M P - E S P O L



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	1
INTRODUCCION	3
I. REVISION DE LITERATURA	5
II. CONSIDERACIONES TEORICAS	7
2.1. La carrera neta del pistón	7
2.2. Diseño de sarta de varillas	16
2.3. Cargas en el Vástago pulido	19
2.4. Contrabalance y torque	23
2.5. Potencia del Motor	25
III. APLICACION PRACTICA DEL DISEÑO	26
3.1. Diseño para pozos	26
3.1.1. Método Marsh, Coberly y Asociados.	26
3.1.2. Método API	73
3.1.3. Diagramas de los dife rentes diseños.	112
IV. DISCUSION DE LOS RESULTADOS	120
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	123
5.1. Conclusiones	123
5.2. Recomendaciones	124
VI. APENDICE	
6.1. Operación y equipos de bombeo mecánico.	127



	Pág.
6.1.1. El ciclo de bombeo	127
6.1.2. Equipo superficial	130
6.1.3. Equipo de subsuelo	139
6.1.4. Equipo auxiliar	155
6.2. Control de pozos	159
6.2.1. El Dinamómetro	160
6.2.2. Interpretación de las Cartas Dinamométricas	162
VII. NOMENCLATURA	172
VIII. REFERENCIAS	176

BIBLIOTECA



**FACULTAD DE CIENCIAS
DE MINAS Y PETRÓLEO**



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

RESUMEN

Los diseños de instalaciones de bombeo mecánico que aparecen en el presente trabajo, se han efectuado para pozos de petróleo de baja producción, aplicando los métodos de Marsh, Coberly y Asociados; y API.

Debido al estado obsoleto de las unidades de servicio, las cuales se utilizan para producir por "swab", el programa establecido para este método de producción no se llevaba a cabo en un cien por ciento, redundando esto en un decrecimiento de la producción mensual, por lo que se establecía como solución, el tomar determinados pozos de "swab" y hacerlos producir por medio del sistema de bombeo mecánico, pero utilizando unidades portátiles debido a no contar con muchas de ellas.

Dichas unidades, trabajarían en cada pozo una vez cada ocho días aproximadamente, en función de un programa establecido.

Al diseñar las instalaciones de bombeo mecánico que trabajarían con unidades portátiles (varios diseños se presentan aquí), se tomó como limitación que los pozos de "swab" escogidos para producir por bombeo mecánico, deberían tener condiciones parecidas a fin de que la misma unidad de bom-



BIBLIOTECA
ESPOL

beo pueda trabajar en cada pozo de manera rotativa, tomando especial cuidado, en las cargas que soportaría dicha unidad, al entrar en cada pozo.

También se presentan algunos diseños con unidades de bombeo mecánico estacionarias.

Para los casos expuestos anteriormente, se ha efectuado el diseño por los dos métodos aplicando diversas variaciones, a fin de encontrar la instalación que reúna las mejores condiciones para el trabajo.

Los resultados de los dos métodos difieren en algo, especialmente en lo referente a cargas, torque máximo y contrabalance; notándose que los valores obtenidos por el método API se encuentran más cercanos a la realidad.

El uso del dinamómetro se considera indispensable para el control del buen mantenimiento del equipo ya que, los excesivos costos de extracción se deben por lo general a fallas mecánicas.

Con una buena interpretación de las cartas dinámicas se puede efectuar las correcciones necesarias a fin de conseguir un bombeo más eficiente y económico.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

INTRODUCCION

Los pozos de petróleo, pueden ser clasificados de acuerdo al método con que ellos son capaces de producir.

Cuando la presión del yacimiento es suficientemente elevada como para poder llevar el fluido a superficie, nos hallamos en presencia de un pozo fluyente.

Terminado dicho período, el yacimiento se encontrará en condiciones de producir intermitentemente un pozo o no producirlo, por lo que es necesario transmitir desde superficie al fondo del pozo, la energía necesaria para el levantamiento del fluido. Esto, se consigue por medios artificiales, uno de los cuales, es el bombeo mecánico que, a través de la sarta de varillas transmite a la bomba de subsuelo, la energía generada por un motor eléctrico o de combustión interna.

En la Península de Santa Elena la producción de petróleo por el sistema de bombeo mecánico se efectúa en alrededor de 130 pozos de los campos que forman las secciones Carpet y Gau-tivo.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

El levantamiento artificial por el sistema de bombeo mecánico es reconocido como el más importante en el campo de

la producción de petróleo pues, el 80 al 85 por ciento de los pozos que son producidos por medios artificiales en el mundo, utilizan unidades de bombeo mecánico. Este reconocimiento se debe a las facilidades que lleva consigo la operación, si se efectúa el diseño correcto y el mantenimiento apropiado de la instalación.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

I. REVISION DE LITERATURA

Aunque normalmente se utiliza una válvula de pie⁽⁹⁾, es buena práctica instalar dos en una unidad. Esto se fundamenta en que después de que una válvula deja de ser útil - por abrasión, erosión y corrosión, la otra permanece en buenas condiciones y de este modo se dilata el cierre del pozo.

En la mayoría de los pozos de bombeo⁽¹¹⁾, los fluidos son considerados como no corrosivos, a pesar de que es reconocido que esta extremada condición no existe, es por esto que se ha establecido el uso amplio de varillas de bombeo de acero al carbono.

En pozos superficiales⁽¹¹⁾, donde las cargas de fluido y varillas, se comportan como una masa concentrada, una carta dinamométrica de superficie es suficiente para determinar las cargas; mas en pozos profundos, un diagnóstico visual de esta naturaleza no siempre es posible debido al comportamiento elástico de las varillas.

Slonneger⁽¹⁾ expuso la idea de que las velocidades sincrónicas de bombeo son un posible factor en los daños maturos de las varillas.

Aunque esta idea ha acaparado la atención de muchas au



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

toridades en el campo de bombeo mecánico, el acuerdo no es unánime, suscitándose muchas discusiones sobre este punto. Sin embargo, cuando ocurren daños en las varillas inexplicablemente, es deseable comparar la velocidad de bombeo con la frecuencia natural de la sarta de varillas, debido a posibles condiciones de sincronismo.

Delgado⁽⁷⁾ en su trabajo sobre varillas recomienda el uso de llaves hidráulicas o de aire para asegurarse de un buen ajuste para todos los tamaños de éstas. Las llaves automáticas deben ser calibradas de tal manera que produzcan el desplazamiento circunferencial recomendado. La calibración debe chequearse cada 1000 pies y debe efectuarse recalibradas para cada tamaño de varillas.

El diseño de acuerdo al método API⁽³⁾ se basa en correlaciones de datos que se obtuvieron a partir de investigaciones efectuadas por la "Sucker Rod Pumping Research Incorporated" trabajo efectuado para la American Petroleum Institute (API).



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

II. CONSIDERACIONES TEORICAS

Los parámetros, cuyos fundamentos teóricos se tratarán a continuación, son los que revisten mayor importancia dentro del diseño de instalaciones de bombeo mecánico, ya que, en función de ellos, se efectúa un chequeo con la producción requerida de fluido y las instalaciones propuestas previamente al diseño.

Se presentan también para cada parámetro las fórmulas usadas tanto en el método de Marsh, Coberly y Asociados como en el método API.

1. LA CARRERA NETA DEL PISTON ^(1,3)

En cada ciclo de bombeo, la longitud de carrera del pistón de la bomba de subsuelo, es diferente a la longitud de carrera del vástago pulido, pues, tanto las varillas como la tubería de producción, sufren elongaciones periódicas debido a que la carga de fluido es transferida alternadamente a éstas, siendo por lo tanto, el viaje del pistón menor que el del vástago pulido.

Otro factor que influye en la carrera neta del pistón, es la elasticidad de la sarta de varillas, la cual, influye dada por la aceleración, causa cierto incremento en el desplazamiento de aquel, lo que se conoce como sobrecarrera.



BIBLIOTECA

ESPOL

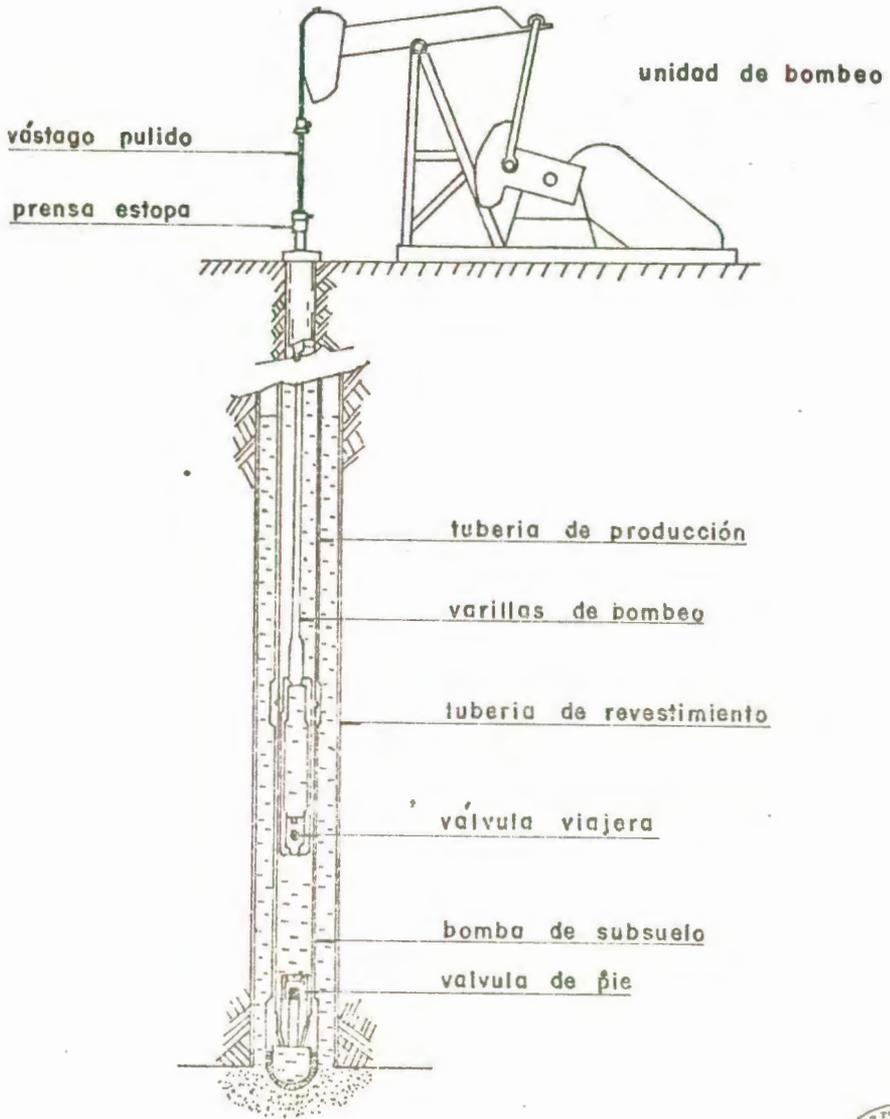


FIG. 2 - 1 INSTALACION DE BOMBEO MECANICO



Durante la carrera descendente, la válvula de pie de la bomba de subsuelo se encuentra cerrada y la válvula viajera está abierta por lo que la carga del fluido incide sobre la tubería de producción, causando el alargamiento de ella.

Al comienzo de la carrera ascendente la válvula viajera se cierra y la sarta de varillas sufren un alargamiento debido a que ha tomado la carga del fluido, mientras que, la válvula de pie se abre volviendo la tubería de producción a su posición original.

Esto, trae como consecuencia que el barril de la bomba se mueva hacia arriba y debido a la elongación de las varillas, el pistón se mueva hacia abajo, de lo que se deduce que: la longitud efectiva de la carrera del pistón es igual a la carrera del vástago pulido aumentada por los efectos de sobrecarrera del pistón y disminuída por la elongación de las varillas y tubería de producción. Por lo tanto:

$$S_p = S + e_p - (e_t + e_r) \quad (2-1)$$

donde:

S_p = longitud efectiva de la carrera del pistón.

S = longitud de la carrera del vástago pulido.

e_p = elongación neta debido a la aceleración (sobrecarrera del pistón).

e_t = elongación de la tubería de producción.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

e_r = elongación de las varillas.

El valor de e_t se considerará tan solo cuando la tubería de producción se encuentre colgando libremente, mas nó, cuando se halle anclada cerca del extremo inferior.

El valor de e_p es necesario calcularlo especialmente cuando las velocidades de bombeo son mayores de 10 (s.p.m.)

La ecuación general:

$$e = \frac{5.20 \text{ GDA}_p L}{EA} \text{ pulgadas} \quad (2-2)$$

nos dá la elongación para cualquier miembro que tiene un área seccional A.

Donde:

5.20 = constante

G = gravedad específica del fluido

D = profundidad del nivel del fluido en pies

A_p = Area del pistón en pulgadas

L = profundidad de asentamiento de la bomba en pies

E = módulo de elasticidad

Específicamente la elongación de la tubería de producción e_t será:

$$e_t = \frac{5.20 \text{ GDA}_p L}{E A_t} \text{ pulgadas}$$



BIBLIOTECA FICT
ESPOL 3)

donde:

A_t = área seccional de la pared de la tubería de producción en pulgadas.

Para una sarta de varillas uniformes:

$$e_r = \frac{5.20 \text{ GDA}_p L}{E A_r} \text{ pulgadas} \quad (2-4)$$

donde:

A_r = área transversal de las varillas en pulgadas.

En el caso de tener una sarta de varillas telescópicas, la ecuación general deberá aplicarse para cada sección; por lo que:

$$e_1 = \frac{5.20 \text{ GDA}_p L_1}{E A_1} \quad e_2 = \frac{5.20 \text{ GDA}_p L_2}{E A_2} \quad (2-5)$$

donde:

e_1 = elongación de L_1 pies de varillas de área seccional A_1

e_2 = elongación de L_2 pies de varillas de área seccional A_2

luego el alargamiento total de las varillas sería:

$$e_r = \frac{5.20 \text{ GDA}_p}{E} \left(\frac{L_1}{A_1} + \frac{L_2}{A_2} + \text{-----} \right) \quad (2-6)$$



BIBLIOTECA FICT

Además del alargamiento que sufren las varillas, se debe a

la carga del fluido; se producen elongaciones que resultan de su carga propia y sería, el peso muerto de las varillas - más la carga por aceleración. Esta elongación trae como consecuencia lo que se denomina sobreviaje del pistón y que se formula a continuación como:

$$e_p = \frac{40.8 L^2 \alpha}{E} \text{ pulgadas} \quad (2-7)$$

donde:

40.8 = constante

L = profundidad de asentamiento de la bomba en pies.

α = factor de aceleración

E = Módulo de elasticidad

El valor de α puede ser calculado por medio de la fórmula:

$$\alpha = \frac{SN^2}{70500} \quad (2-8)$$

o por medio de la figura (3-3).

En la obtención de la fórmula (2-7) no ha sido considerada la geometría de la unidad, ni la existencia de una sarta telescópica, pues dicha fórmula sería muy compleja para propósitos prácticos.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Algunos autores prefieren usar el valor de 32.8 en lugar de 40.8, por considerarlo más "empíricamente" correcto para u-

na unidad de promedio geométrico, pero, el uso de cualquiera de dichas constantes en la ecuación (2-7) dan valores de sobreviaje del pistón que varían en un 25%, diferencia que no afecta en forma considerable el cálculo de la carrera neta del pistón.

Al reemplazar las ecuaciones (2-3), (2-4) y (2-7) en (2-1) se obtiene:

$$S_p = S + \frac{40.8 L^2 \alpha}{E} - \frac{5.20 G D A_p L}{E} \left(\frac{1}{A_t} + \frac{1}{A_r} \right) \text{ pulgadas} \quad (2-9)$$

que es la fórmula para calcular la carrera neta del pistón cuando se tiene una sarta de varillas uniforme.

La carrera neta del pistón cuando se usa una sarta teles cópica, se determina reemplazando las ecuaciones (2-3), (2-6) y (2-7) en la ecuación (2-1)

$$S_p = S + \frac{40.8 L^2 \alpha}{E} - \frac{5.20 G D A_p}{E} \left[\frac{L}{A_t} + \frac{L_1}{A_1} + \frac{L_2}{A_2} + \dots \right] \text{ pulgadas} \quad (2-10)$$

que es la ecuación de Marsh y Coberly.

En todos los casos, se considera que el módulo de elasticidad del acero $E = 30 \times 10^6$ psi y la tubería de producción se encuentra suspendida desde la cabeza del pozo. En el caso de que se encuentra anclada, es necesario despreciar los términos que incluyen A_t en las ecuaciones (2-9) y (2-10).



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

El método API usado en el presente trabajo incluye para el cálculo de S_p una fórmula altamente simplificada y basada en la experiencia, pero bastante acertada para la aplicación práctica. Dicha fórmula es:

$$S_p = \left[(SP/S) \times S \right] - \left[F_o \times \frac{1}{K_t} \right] \quad (2-11)$$

donde:

S_p = carrera neta del pistón de la bomba en pulg.

SP/S = se calcula a partir de la Fig. 3-5

S = carrera del vástago pulido en pulgs.

F_o = carga diferencial de fluido en el área total del pistón, en libras.

$\frac{1}{K_t}$ = constante elástica para la porción de tubería no anclada pulgs/libra, donde:

K_t representa la carga en libras requerida para a largar una pulgada, la porción de tubería no ancla da entre el ancla y la bomba.

Examinando la fórmula (2-11) nos daremos cuenta que la contracción de la tubería causada por la transferencia de la carga de fluido desde la válvula de pié a la válvula viajera es restada del cálculo de la carrera del pistón.



Con el valor de S_p se puede calcular la producción a obtenerse que para el método de Marsh Coberly y Asociados **ESPOL**

BIBLIOTECA FIC

ESPOL

$$q = K S_p N E_v \text{ Bbls/día} \quad (2-12)$$

donde:

K = constante de la bomba en Bbls/día/pulg/spm

S_p = carrera neta del pistón, en pulgs.

N = velocidad de bombeo, en spm

E_v = eficiencia volumétrica de la bomba, en %

El método API calcula en cambio el desplazamiento de la bomba como:

$$PD = 0.1166 S_p N D^2 \text{ Bbls/día} \quad (2-13)$$

donde:

0.1166 = constante

S_p = carrera neta del pistón, en pulgs.

N = velocidad de bombeo en spm

D = diámetro del pistón de la bomba, en pulgs.

La ecuación (2-13) es equivalente a la ecuación (2-12) ya que el valor $0.1166 \times D^2$ es la constante K de la bomba.

Para calcular la producción a obtenerse, por medio del método API, deberá multiplicarse al valor obtenido en la ecuación 2-13, el valor de E_v que es asumido en función de las características de operación.



2.2. DISEÑO DE SARTA DE VARILLAS^(1, 3, 4)

En el diseño de sarta de varillas telescópicas del método Marsh, Coberly y Asociados, la longitud de cada sección de varillas se las selecciona de tal manera que la tensión de trabajo en la parte superior de ellas es igual para cada sección.

La carga del fluido en el pistón y el peso de las varillas nos proporcionan la fuerza que causa dicha tensión.

Al diseñar las varillas se hacen 4 suposiciones o asunciones:

1. La carga del fluido actúa sobre el área total del pistón.
2. La gravedad específica del fluido del pozo es 1.00
3. Sólo se consideran condiciones estáticas.
4. La bomba se encuentra asentada al nivel dinámico del fluido.

Al representar con R_1 la sección de varillas de longitud L_1 pies, área transversal A_1 pulgs² y peso $M_1 \frac{\text{lbs}}{\text{pie}}$; R_2 la sección de varillas de longitud L_2 pies, área transversal A_2 , pulgs² y peso $M_2 \frac{\text{lbs}}{\text{pie}}$; etc. se tiene, que la parte fraccional de la longitud total L de la sarta será:



$$R_1 = \frac{L_1}{L} \quad \text{y} \quad R_2 = \frac{L_2}{L} \quad (2-14)$$

donde:

$$L = L_1 + L_2$$

Tomando en cuenta que la carga del fluido será: $0.433 LA_p$ libras; entonces: la tensión en el tope de la sección más baja será:

$$\frac{0.433 LA_p + L_1 M_1}{A_1} = \frac{0.433 LA_p + LR_1 M_1}{A_1} \quad (2-15)$$

y la tensión en el tope de la sección mas alta será:

$$\frac{0.433 LA_p + L_1 M_1 + L_2 M_2}{A_2} = \frac{0.433 LA_p + LR_1 M_1 + LR_2 M_2}{A_2} \quad (2-16)$$

si las tensiones en los topes de las secciones son iguales se tiene que:

$$\frac{0.433 A_p + R_1 M_1}{A_1} = \frac{0.433 A_p + R_1 M_1 + R_2 M_2}{A_2}$$



BIBLIOTECA FICP-17
ESPOL

Para la selección de tamaños de varillas y pistones, la longitud de cada sección puede determinarse haciendo uso de la ecuación (2-17) considerando además que:

$$R_1 + R_2 = 1 \quad (2-18)$$

Para una sarta de 4 secciones, la ecuación (2-17) deberá complementarse con:

$$\frac{0.433 A_p + R_1 M_1}{A_1} = \frac{0.433 A_p + R_1 M_1 + R_2 M_2 + R_3 M_3}{A_3} \quad (2-19)$$

y

$$\frac{0.433 A_p + R_1 M_1}{A_1} = \frac{0.433 A_p + R_1 M_1 + R_2 M_2 + R_3 M_3 + R_4 M_4}{A_4} \quad (2-20)$$

debiendo considerarse en lugar de la ecuación (2-18); la ecuación:

$$R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 1 \quad (2-21)$$

Para diseñar una sarta telescópica de 2 secciones; R_3 y R_4 son cero y para una sarta de 3 secciones R_4 es cero.

En la tabla (3-8) se encuentran tabulados los valores de R para todas las probables combinaciones de tamaño de varillas.



Es necesario chequear la tensión máxima con la tensión disponible de las varillas a ser usadas, esto se hace por medio del cálculo de la máxima tensión en el tope de la sarta que es la carga máxima en el vástago pulido dividido para el área transversal de la sección tope de las varillas; dicha tensión será también la tensión máxima que probablemente se encontrará en cualquier punto bajo el tope.

La tabla 3-17 a usarse en el método API presenta las diferentes combinaciones y porcentajes de cada sección de varillas de una sarta telescópica que se pueden utilizar en función del diámetro del pistón escogido.

2.3. CARGAS EN EL VASTAGO PULIDO^(1,3)

Los factores que influyen a formar la carga neta en el vástago pulido son: 1) el peso muerto de las varillas; 2) carga del fluido, 3) cargas debido a la aceleración de las varillas, 4) fuerzas de flotación que actúan sobre las varillas sumergidas en el fluido; y 5) fuerzas de fricción.

Además existen cargas vibracionales y cargas por aceleración del fluido que se levanta, pero estas son despreciables.

En el método Marsh, Coberly & Asociados:

El peso muerto de la sarta de varillas está dado por:

$$W_r = ML \quad \text{lbs.} \quad (2-22)$$

donde:

M = peso de las varillas por pie en lbs/pie

L = longitud total de la sarta en pies



BIBLIOTECA FICT

Para el caso de una sarta telescópica, el peso **ESPOL** será:

$$W_r = M_1 L_1 + M_2 L_2 + \dots \quad (2-23)$$

donde: M_1 = peso por pie de la sección más profunda en lb/pie

L_1 = longitud de la sección de varillas más profunda en pies.

M_2 = peso por pie de la sección de varillas instaladas a continuación de la más profunda en lbs/pie

L_2 = longitud de la sección de varillas instaladas encima de la sección más profunda, en pies.

El método API hace uso de la siguiente fórmula para el cálculo del peso muerto de las varillas, ya sea en el diseño sencillo o telescópico:

$$W = W_r \times L \quad \text{lbs.} \quad (2-24)$$

donde:

W = peso muerto de las varillas

W_r = peso por pie de las varillas en lbs/pie

L = longitud total de la sarta en pies

La aplicación de la fórmula anterior se hace posible tanto para el diseño sencillo o telescópico porque en este método el valor de W_r es el peso promedio por pie de la combinación de varillas escogida, dicho valor está tabulado en la tabla 3-17.

La carga del fluido, es el peso de la columna de fluido que soporta el pistón, por lo que, el volumen de la columna que tiene por base el pistón, y como altura la sarta de varillas será:

$$\text{Volumen} = \frac{L \times A_p}{144} \quad \text{pies}^3$$

donde:

L = longitud de la sarta de varillas, en pies

A_p = Area del pistón, en pulg²

Si se asume que la densidad de las varillas es 490 lbs/



BIBLIOTECA FICT
ESPOL
(2-25)

pie³, el volumen de la sarta de éstas será:

$$\text{Volumen} = \frac{\text{peso}}{\text{densidad}} = \frac{W_r}{490} \text{ pies}^3 \quad (2-26)$$

donde:

$$W_r = \text{peso muerto de las varillas en lbs.}$$

El volumen de fluido se obtiene sustrayendo de la ecuación (2-25) el volumen ocupado por las varillas, ecuación (2-26):

$$\text{Volumen del fluido} = \frac{L A_p}{144} - \frac{W_r}{490} \text{ pies}^3 \quad (2-27)$$

la densidad del fluido de gravedad específica G es; 62.4 G lbs/pie³, luego la carga del fluido será:

$$W_f = 62.4 G \left[\frac{L A_p}{144} - \frac{W_r}{490} \right] \text{ lbs.} \quad (2-28)$$

$$W_f = 62.4 G \left[(L A_p) - (0.294 W_r) \right] \text{ lbs.} \quad (2.29)$$

La carga debido a la aceleración de las varillas estaría dada por el peso muerto de las varillas influenciado por un factor de aceleración α .:

$$\text{carga de aceleración máxima} = W_r \alpha$$

$$\text{carga de aceleración mínima} = - W_r \alpha$$

La fuerza de flotación en las varillas, que es el peso del fluido desplazado por ellas es:

$$\text{fuerza de flotación} = - \left(\frac{W_r}{490} \right) 62.4 G$$

$$= - 0.127 W_r G$$

(2-30)



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Lascargas por fricción no pueden ser predichas matemáticamente y solo se estiman por medio de las cartas dinamométricas, por lo que generalmente el valor F (carga por fricción) es despreciado.

Por lo tanto la máxima carga en el vástago pulido que se presenta tan solo durante la carrera ascendente es:

$$W_{\max} = W_f + W_r + W_r \alpha$$

$$W_{\max} = W_f + W_r (1 + \alpha) \text{ lbs.} \quad (\text{Ec. de Mills}) \quad (2-31)$$

y la mínima carga en el vástago pulido que ocurre en la carrera descendente será:

$$W_{\min.} = W_r - W_r \alpha - 0.127 W_r G$$

$$W_{\min.} = W_r \left[1 - \alpha - (0.127 G) \right] \text{ Lbs.} \quad (2-32)$$

El método API aplica para la carga máxima, la siguiente fórmula:

$$PPRL = W_{rf} + \left[(F_1/S_{kr}) \times S_{kr} \right] \text{ Lbs.} \quad (2-33)$$

donde:

W_{rf} = Peso total de las varillas en fluido

F_1 = Factor de carga máxima

S_{kr} = Libras de carga necesaria para alargar la sarta total de varillas una cantidad igual a la **ESPOL** ra del vástago pulido S .

y para la carga mínima:

$$MPRL = W_{rf} - \left[(F_2/S_{kr}) \times S_{kr} \right] \text{ Lbs.} \quad (2-34)$$



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

donde: F_2 = Factor de carga mínima

2.4. CONTRABALANCE Y TORQUE ^(1, 3)

La función primaria del sistema de contrabalance, es la de almacenar energía en la carrera descendente cuando la carga en el vástago pulido es baja; y, la de dar energía en la carrera ascendente cuando la carga en el vástago es alta, distribuyendo uniformemente las cargas y torques que debe sustentar el motor primario.

El efecto de contrabalance ideal c_i será tal, que el motor primario acarreará las mismas cargas promedias en la carrera ascendente y descendente, por lo que:

$$W_{\max} - c_i = c_i - W_{\min}.$$

El efecto de contrabalance ideal es:

$$c_i = 0.50 (W_{\max} + W_{\min}) \text{ lbs.}$$

pero $W_{\max} = W_f + W_r (1 + \alpha) \text{ lbs.}$

y $W_{\min} = W_r \left[1 - \alpha - (0.127 G) \right] \text{ Lbs.}$

$\therefore c_i = 0.5 W_f + W_r (1 - 0.127 G) \text{ Lbs.}$



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

De la ecuación anterior se deduce que el efecto de contrabalance ideal se balancea con un medio de la carga del fluido más el peso de las varillas en el fluido.

La fórmula para el efecto de contrabalance usada en el método API es:

$$CBE = 1.06 (W_{rf} + \frac{1}{2} F_0) \quad \text{Lbs.} \quad (2-36)$$

El cálculo de torque se encuentra estrechamente relacionado con el diseño de contrabalance, ya que las unidades de bombeo son construídas en función del torque permisible máximo del engranaje reductor.

La ecuación para el torque máximo a esperarse en una determinada instalación está dada por:

$$T_p = (W_{max} - 0.95 c_i) \left(\frac{S}{2}\right) \quad \text{Lbs-Pulg.} \quad (2-37)$$

El valor de 0.95 aplicado al efecto de contrabalance ideal (c_i) se hace necesario, ya que en la práctica la unidad puede ser contrabalanceada con un margen del 5 al 10% del valor ideal.

La fórmula aplicada por el método API para este fin es:

$$PT = (2T/S_{kr}^2) \times S_{kr} \times \frac{S}{2} \times T_a \quad (2-38)$$

donde:

$(2T/S_{kr}^2)$ = factor adimensional de torque

T_a = constante de ajuste de torque para valores de **BIBLIOTECA FICT**
diferentes de 0.3 **ESPOL**



2.5. POTENCIA DEL MOTOR^(1,3)

Al calcular la potencia del motor necesaria para hacer trabajar la unidad de bombeo, se debe considerar dos cargas de potencia: a) el caballaje de vapor hidráulico H_h , que es el consumo útil de energía debido al levantamiento del fluido desde el pozo y dado por:

$$H_h = 7.36 \times 10^{-6} q GL \quad hp \quad (2-39)$$

y b) la pérdida de energía por fricción en el espacio comprendido entre la bomba y el vástago pulido dada por:

$$H_f = 6.31 \times 10^{-7} W_r SN \quad hp \quad (2-40)$$

La suma de H_h y H_f sería la potencia necesaria en el vástago pulido pero, debido a que existen pérdidas de potencia en la unidad de bombeo, es necesario asumir un factor de seguridad que la experiencia indica como: 1.5

Por lo tanto el caballaje total para el motor primario será:

$$H_b = 1.5 (H_h + H_f)$$

El método API se limita a calcular los caballos de vapor necesarios en el vástago pulido sin incluir un factor de seguridad.

La fórmula aplicada al caso es:

$$PRHP = (F_3/S_{kr}) S_{kr} \times S \times N \times 2.53 \times 10^{-6} \quad hp \quad (2-42)$$

donde: F_3/S_{kr} = Factor adimensional de potencia.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

II. APLICACION PRACTICA DEL DISEÑO

1. DISEÑO PARA POZOS

En el presente capítulo se efectúa el diseño de instalación de bombeo mecánico para pozos productores de petróleo ubicados en la Península de Santa Elena.

Los métodos aplicados tienen la misma información básica a fin de lograr establecer las diferencias, ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

El diseño efectuado en cada pozo presenta diversas alternativas aplicando determinadas variantes, de tal manera que los pozos A, B, C y D puedan ser producidos con una misma unidad de bombeo (Lufkin B - 16D - 53 - 24) la cual trabajaría en forma rotativa en dichos pozos según un programa preparado en función de pruebas de producción, instalándose en ellos una vez cada 8 días. Este sistema de producción, ha sido adoptado debido a la carencia de equipos de producción - por pistoneo (swab).

Los subsiguientes diseños contemplan el uso de unidades de bombeo estacionarias.

1. Método Marsh, Coberly y Asociados^(1, 2, 4, 5)

Al presentar el desarrollo detallado de este método, se podrá apreciar dos etapas bien definidas: la primera, refe



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

rente a la obtención de los datos necesarios para el diseño, sean éstos conocidos o asumidos; y la segunda que comprende el procedimiento para el cálculo.

El método se presentará aplicado al pozo A caso N° 1.

A. Datos Necesarios

Los datos necesarios para el cálculo son los siguientes:

1. Producción actual, q ; en B/D

En el caso de rediseño de instalaciones, este dato se hace indispensable para el cálculo del desplazamiento de la bomba o potencial del pozo (V).

2. Desplazamiento teórico de la bomba o potencial del pozo; $V = 12$ B/D.

Si el diseño es efectuado por primera vez en un determinado pozo, el valor de V está dado directamente por el potencial del pozo obtenido por medio de pistoneo o "swab", cuyo valor es más cercano a la realidad que el calculado en la fórmula $V = \frac{q}{E_v}$ B/D ya que el valor de la eficiencia volumétrica de la bomba, E_v ; es asumido y difícilmente real, cuando no se tiene un conocimiento amplio operacional del campo.

3. Gravedad específica del fluido; $G = 0.909$.

Si no es posible obtener este dato, se puede asumir como igual a 1.00, pues todas las tablas a usarse están elaboradas para un fluido con esa gravedad específica.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

4. Nivel del fluido, $D = 1770$ pies

El nivel de fluido puede ser asumido a la profundidad de asentamiento de la bomba cuando no puede ser obtenido, como sucede en el presente caso.

5. Profundidad de asentamiento de la bomba, $L = 1770$ pies
Para todos los casos la bomba se instalará a la mayor profundidad posible debido a la baja producción de los pozos.6. Eficiencia volumétrica de la bomba, $E_v = 80\%$ B. Procedimiento de Cálculo

1. De no haberse obtenido el valor de (V) directamente por pistoneo, deberá calcularse según la fórmula:

$$V = \frac{q}{E_v} \quad B/D$$

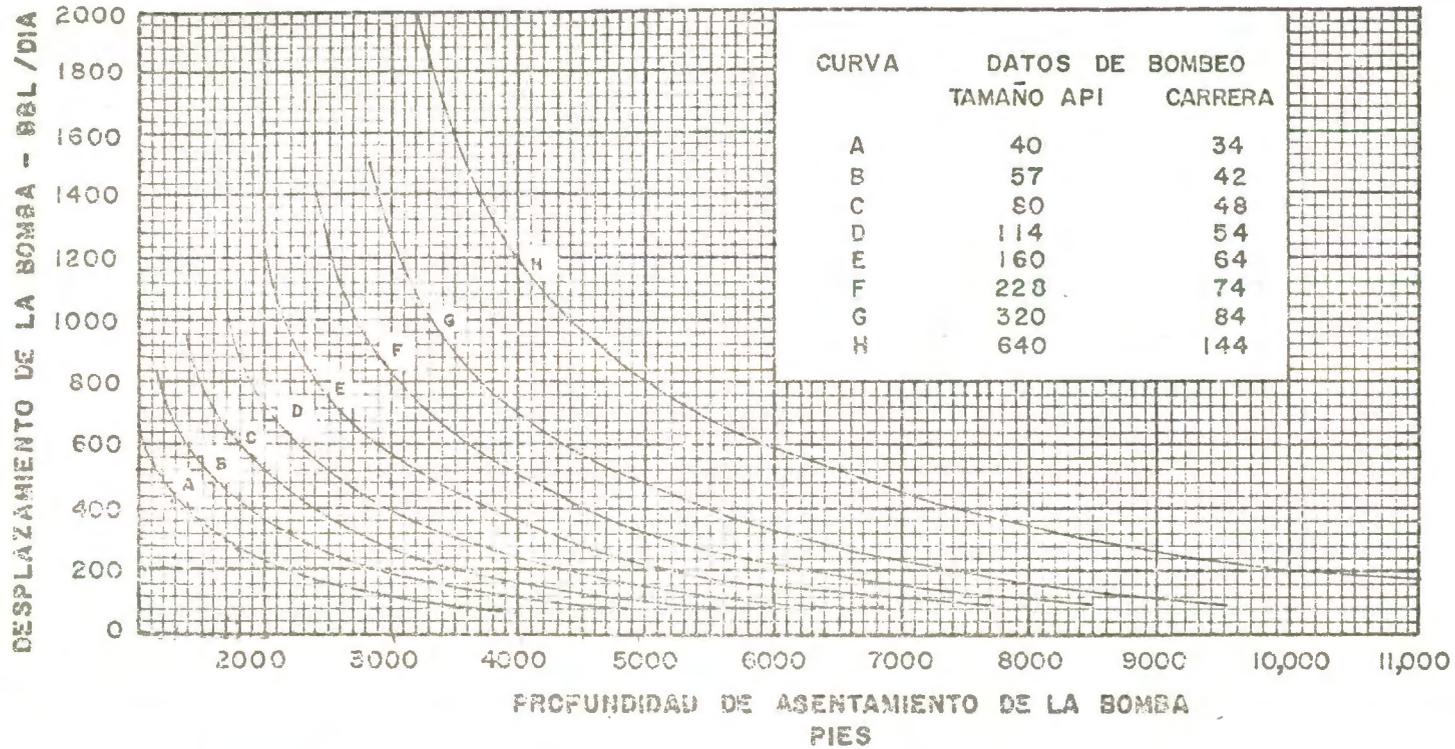
Para nuestro caso específico se tiene que $V = 12$ B/D

2. Con el valor $V = 12$ B/D, y la profundidad de asentamiento de la bomba $L = 1770$ pies, se entra en la Figura 3-1 a fin de seleccionar la unidad de bombeo.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Los valores de V y L inciden en un punto del área inferior a la línea A, de dicha figura, por lo que la unidad a escogerse será aquella que tenga un tamaño igual o menor que 40 API. Tomando en cuenta la posición del punto a que nos referimos anteriormente, se puede seleccionar una de las unidades más pequeñas desde las tablas 3-1 ó 3-3. La unidad escogida según la tabla 3-3



BIBLIOTECA
ESPOL



SELECCION DE LA UNIDAD DE BOMBEO Y LONGITUD DE CARRERA

ESPECIFICACIONES PARA LA UNIDAD DE BOMBEO BALANCEADA EN LAS
MANIVELAS

Designación de la Unidad
Capacidad de Vástago pulido, Lbs.
Longitudes de carrera, pulgadas
Balancin
Bielas
Colgador
Manivelas
Desbalance estructural

C-912D-356-168 C-640D-356-168	C-912D-305-168 C-640D-305-168	C-912D-427-144 C-640D-427-144	C-912D-356-144 C-640D-356-144	C-640D-304-144 C-456D-304-144
35,600	30,500	42,700	35,600	30,400
168, 145, 124, 102	168, 145, 124, 102	144, 124, 106, 83	144, 124, 106, 83	144, 124, 106, 83
36" x 230 Lbs.	33" x 220 Lbs.	36" x 230 Lbs.	33" x 220 Lbs.	33" x 200 Lbs.
8" I-Beam				
1 7/8" x 40'-2"	1 1/4" x 39'-6"	1 7/8" x 38'-2"	1 7/8" x 38'-2"	1 1/4" x 37'-6"
94110B	94110B	94110B	94110B	94110B
-1500 Lbs.	-1500 Lbs.	-650 Lbs.	-650 Lbs.	-520 Lbs.

Designación de la Unidad
Capacidad de Vástago Pulido, Lbs.
Longitudes de carrera, pulgadas
Balancin
Bielas
Colgador
Manivelas
Desbalance estructural

C-640D-253-144 C-456D-253-144	C-912D-427-120 C-640D-427-120	C-640D-365-120 C-456D-365-120	C-640D-304-120 C-456D-304-120	C-456D-256-120 C-320D-256-120
25,300	42,700	36,500	30,400	25,600
144, 124, 106, 83	120, 105, 90, 74	120, 105, 90, 74	120, 102, 85, 67	120, 102, 85, 67
30" x 172 Lbs.	33" x 220 Lbs.	30" x 190 Lbs.	30" x 172 Lbs.	27" x 160 Lbs.
8" I-Beam			6" I-Beam	
1 1/4" x 37'-6"	1 3/8" x 37'-2"	1 3/8" x 37'-2"	1 1/4" x 31'-6"	1 1/8" x 31'-6"
94110B	94110B	94110B	8495B	8495B
-400 Lbs.	570 Lbs.	570 Lbs.	-120 Lbs.	55 Lbs.

BIBLIOTECA FIC1
ESPOL



ESPECIFICACIONES PARA LA UNIDAD DE BOMBEO BALANCEADA EN LAS
MANIVELAS

Designación de la Unidad
 Capacidad de Vástago Pulido, Lbs.
 Longitudes de carrera, pulgadas
 Balancin
 Bielas
 Colgador
 Manivelas
 Desbalance estructural

C-456D-213-120 C-320D-213-120	C-640D-365-100 C-456D-365-100	C-456D-298-100 C-320D-298-100	C-456D-256-100 C-320D-256-100	C-456D-298-86 C-320D-298-86
21,300	36,500	29,800	25,600	29,800
120, 102, 85, 67	100, 85, 70, 56	100, 85, 70, 56	100, 85, 70, 56	86, 74, 61, 48
27" x 145 Lbs.	30" x 172 Lbs.	27" x 160 Lbs.	27" x 145 Lbs.	24" x 145 Lbs.
6" I-Beam				
1 1/8" x 31'-6"	1 3/8" x 32'-2"	1 1/4" x 31'-6"	1 1/8" x 31'-6"	1 1/4" x 31'-6"
8495B	8495B	8495B	8495B	8495B
0 Lbs.	620 Lbs.	550 Lbs.	500 Lbs.	1000 Lbs.

Designación de la Unidad
 Capacidad de Vástago Pulido, Lbs.
 Longitudes de Carrera, Pulgadas
 Balancin
 Bielas
 Colgador
 Manivelas
 Desbalance estructural

C-320D-246-86 C-228D-246-86	C-320D-212-86 C-228D-212-86	C-320D-246-74 C-228D-246-74	C-228D-200-74 C-160D-200-74	C-228D-173-74 C-160D-173-74
24,600	21,200	24,600	20,000	17,300
86, 74, 61, 48	86, 74, 62, 51	74, 64, 54, 44	74, 64, 54, 44	74, 62, 51, 39
24" x 120 Lbs.	24" x 100 Lbs.	24" x 100 Lbs.	24" x 94 Lbs.	24" x 84 Lbs.
5" I-Beam				
1 1/2" x 31'-6"	1 1/8" x 25'-6"	1 1/8" x 23'-10 1/2"	1" x 23'-10 1/2"	1" x 20'-10 1/2"
8495B	7475B	7475B	7475B	6465D
800 Lbs.	450 Lbs.	800 Lbs.	800 Lbs.	450 Lbs.

BIBLIOTECA FIC
ESPOL



ESPECIFICACIONES PARA LA UNIDAD DE BOMBEO BALANCEADA EN LAS
MANIVELAS

Designación de la Unidad
 Capacidad de Vástago Pulido, Lbs.
 Longitudes de carrera, pulgadas
 Balancin
 Bielas
 Colgador
 Manivelas
 Desbalance estructural

C-228D-200-64 C-160D-200-64	C-160D-169-64 C-114D-169-64	C-160D-143-64 C-114D-143-64	C-160D-169-54 C-114D-169-54	C-114D-133-54 C-80D-133-54
20,000	16,900	14,300	16,900	13,300
64, 54, 44, 34	64, 54, 44, 34	64, 52, 40, 28	54, 44, 34, 24	54, 45, 36, 27
24" x 84 Lbs.	24" x 84 Lbs.	18" x 70 Lbs.	18" x 70 Lbs.	18" x 60 Lbs.
5" I-Beam	4" I-Beam			
1" x 20'-10½"	1" x 19'-2"	1" x 17'-8"	1" x 16'-2"	¾" x 15'-2"
6468B	6468B	5456B	5456B	4850B
800 Lbs.	550 Lbs.	360 Lbs.	500 Lbs.	330 Lbs.

Designación de la Unidad
 Capacidad de Vástago Pulido, Lbs.
 Longitudes de carrera, pulgadas
 Balancin
 Bielas
 Colgador
 Manivelas
 Desbalance estructural

C-114D-119-54 C-80D-119-54	C-114D-133-48 C-80D-133-48	C-80D-109-48 C-57D-109-48	C-80D-95-48 C-57D-95-48	C-80D-109-42 C-57D-109-42
11,900	13,300	10,900	9,500	10,900
54, 45, 36, 27	48, 40, 32, 24	48, 37, 25	48, 37, 25	42, 32, 22
18" x 55 Lbs.	16" x 58 Lbs.	16" x 45 Lbs.	16" x 40 Lbs.	16" x 45 Lbs.
4" I-Beam				
¾" x 15'-2"	¾" x 14'-2"	¾" x 14'-2"	¾" x 14'-2"	¾" x 12'-0"
4850B	4850B	4246B	4246B	4246B
330 Lbs.	440 Lbs.	320 Lbs.	320 Lbs.	500 Lbs.

ESPECIFICACIONES PARA LA UNIDAD DE BOMBEO BALANCEADA EN LAS
MANIVELAS

Designación de la Unidad
Capacidad de Vástago Pulido, Lbs.
Longitudes de carrera, pulgadas
Balancin
Bielas
Colgador
Manivelas
Desbalance estructural

C-57D-89-42 C-40D-89-42	C-57D-76-42 C-40D-76-42	C-57D-89-36 C-40D-89-36	C-40D-67-36 C-25D-67-36	C-40D-56-36 C-25D-56-36
8,900	7,600	8,900	6,700	5,600
42, 33, 23	42, 33, 23	36, 28, 20	36, 28, 20	36, 28, 20
16" x 36 Lbs.	14" x 34 Lbs.	14" x 34 Lbs.	12" x 31 Lbs.	12" x 27 Lbs.
3" I-Beam				
$\frac{3}{4}$ " x 12'-0"	$\frac{3}{4}$ " x 12'-6"	$\frac{3}{4}$ " x 11'-0"	$\frac{5}{8}$ " x 11'-0"	$\frac{5}{8}$ " x 11'-0"
3644B	3644B	3644B	3644B	3644B
150 Lbs.	150 Lbs.	275 Lbs.	275 Lbs.	275 Lbs.

Designación de la Unidad
Capacidad de Vástago pulido, Lbs.
Longitudes de carrera, pulgadas
Balancin
Bielas
Colgador
Manivelas
Desbalance estructural

C-40D-67-30 C-25D-67-30	C-25D-53-30	C-25D-43-30	C-25D-53-24
6,700	5,300	4,300	5,300
30, 20	30, 20	30, 20	24, 16
12" x 27 Lbs.	10" x 25 Lbs.	10" x 21 Lbs.	10" x 21 Lbs.
3" I-Beam			
$\frac{5}{8}$ " x 11'-0"	$\frac{1}{2}$ " x 11'-0"	$\frac{1}{2}$ " x 11'-0"	$\frac{1}{2}$ " x 8'-0"
2436B	2436B	2436B	2436B
150 Lbs.	150 Lbs.	150 Lbs.	200 Lbs.

BIblioteca FICT
ESPOL



T A B L A N º 3-2

DATOS DE CONTRABALANCE EN LAS MANIVELAS

UNIT	C-912D-356-168 C-912D-305-168 C-610D-356-168 C-610D-305-168	C-912D-427-144 C-912D-356-144 C-610D-427-144 C-610D-356-144	C-640D-304-144 C-456D-304-144	C-640D-253-144 C-456D-253-144	C-912D-427-120 C-640D-427-120 C-610D-365-120 C-156D-365-120	C-640D-304-120 C-456D-304-120	C-456D-256-120 C-320D-256-120	C-456D-213-120 C-320D-213-120
STROKE.....	163"	144"	144"	144"	120"	120"	120"	120"
Structural Unbalance*	-1,500 Lbs.	-650 Lbs.	-520 Lbs.	-400 Lbs.	570 Lbs.	-120 Lbs.	55 Lbs.	0 Lbs.
CRANKS	94110B	94110B	94110B	94110B	94110B	8495B	8495B	8495B
* C'Bal., Cranks Only	4,135	5,920	6,050	6,170	8,350	5,415	5,590	5,535
4 No. OORO Counterweights.....	18,485	23,490	23,620	23,740	29,150			
4 No. OOS Aux. Weights.....	22,815	28,770	28,900	.....	35,420			
4 No. OOD Aux. Weights.....	27,145	34,050	.....	.....	41,690			
4 No. ORO Counterweights.....	16,675	21,250	21,380	21,509	26,490	20,215		
4 No. OL Aux. Weights.....	18,570	23,565	23,695	23,815	29,230	22,555		
4 No. OS Aux. Weights.....	20,830	26,330	26,460	.....	32,510	25,165		
4 No. OD Aux. Weights.....	24,985	31,410	.....	.....	38,530	.....	
4 No. OARO Counterweights.....	15,205	18,835	18,965	19,085	23,650	18,115	18,290	18,235
4 No. OL Aux. Weights.....	17,100	21,150	21,280	21,400	26,390	20,430	20,605	20,550
4 No. OAS Aux. Weights.....	18,475	22,835	22,965	23,085	28,390	22,045	22,220	.....
4 No. OAD Aux. Weights.....	21,745	26,835	26,965	.....	33,130	25,975	.....	.....
4 No. IRO Counterweights.....	12,315	15,920	16,050	16,170	20,260	15,245	15,420	15,365
4 No. 2L Aux. Weights.....	13,540	17,420	17,550	17,670	21,975	16,755	16,930	16,875
4 No. 1S Aux. Weights.....	14,830	18,995	19,125	19,245	23,840	18,265	18,440	18,385
4 No. 1D Aux. Weights.....	17,345	22,070	22,200	22,320	27,480	21,285	21,460	.....
4 No. 2RO Counterweights.....	10,935	14,240	14,370	14,490	18,200	13,595	13,770	13,715
4 No. 2L Aux. Weights.....	12,160	15,725	15,855	15,975	19,955	15,090	15,265	15,200
4 No. 2S Aux. Weights.....	13,375	17,220	17,350	17,470	21,730	16,525	16,700	16,645
4 No. 2D Aux. Weights.....	15,815	20,200	20,330	20,450	25,260	19,485	19,660	19,575
4 No. 3RO Counterweights.....	9,610	12,600	12,730	12,850	16,275	12,040	12,215	12,160
4 No. 2L Aux. Weights.....	10,820	14,075	14,205	14,325	18,020	13,520	13,695	13,640
4 No. 3AS Aux. Weights.....	11,965	15,490	15,610	15,730	19,685	14,900	15,065	15,010
4 No. 3D Aux. Weights.....	13,830	17,780	17,910	18,030	22,405	17,170	17,345	17,290
4 No. 4RO Counterweights.....	8,095	10,770	10,900	11,020	14,190	10,255	10,430	10,375
4 No. 3L Aux. Weights.....	8,815	11,610	11,740	11,860	15,095	11,100	11,275	11,220
4 No. 3S Aux. Weights.....	9,690	12,720	12,850	12,970	16,410	12,210	12,385	12,330
4 No. 4L Aux. Weights.....	10,975	14,290	14,420	14,540	18,270	13,775	13,950	13,895
4 No. 5RO Counterweights.....	7,170	9,460	9,590	9,710	12,530	8,975	9,150	9,095
4 No. 5L Aux. Weights.....	7,885	10,295	10,425	10,545	13,520	9,820	9,995	9,940
4 No. 5S Aux. Weights.....	8,675	11,210	11,340	11,460	14,605	10,750	10,905	10,850
4 No. 5CD Aux. Weights.....	10,180	12,960	13,090	13,210	16,680	12,485	12,660	12,605

BIBLIOTECA FICT
ESPOL



DATOS DE CONTRABALANCE EN LAS MANIVELAS

UNIT	C-640D-365-100 C-456D-365-160	C-456D-298-100 C-320D-299 100	C-456D-256-100 C-320D-256-100	C-456D-298-86 C-320D-298-86	C-320D-246-86 C-228D-246-86	C-320D-212-86 C-228D-212-86	C-320D-246-74 C-228D-246-74 C-228D-200-74 C-160D-200-74	C-228D-173-74 C-160D-173-74
STROKE	100"	100"	100"	86"	86"	86"	74"	74"
Structural Unbalance*	820 Lbs.	550 Lbs.	500 Lbs.	1000 Lbs.	800 Lbs.	450 Lbs.	600 Lbs.	450 Lbs.
CRANKS	8495B	8495B	8495B	8495B	8495B	7478B	7478B	6468B
C'Bal., Cranks Only.....	7,270	7,200	7,150	8,730	8,530	4,730	5,750	4,020
4 No. ORO Counterweights.....	25,070							
4 No. OL Aux. Weights.....	27,845							
4 No. OS Aux. Weights.....	30,970							
4 No. OARO Counterweights.....	22,550	22,480	22,430	26,470				
4 No. OL Aux. Weights.....	25,330	25,260	25,210	29,700				
4 No. OAS Aux. Weights.....	27,270	27,200	.....	.....		
4 No. OAD Aux. Weights.....	31,990	.....	.....	.....	
4 No. 1RO Counterweights.....	19,100	16,030	18,950	22,460	22,260			
4 No. 2L Aux. Weights.....	20,915	20,845	20,795	24,570	24,570			
4 No. 1S Aux. Weights.....	22,730	22,560	22,610	20,680	.....		
4 No. 1D Aux. Weights.....	25,350	26,290	.....	.....	.....
4 No. 2RO Counterweights.....	17,120	17,050	17,000	20,150	19,950	13,430	15,810	
4 No. 2L Aux. Weights.....	18,995	18,835	18,785	22,225	22,025	15,065	17,700	
4 No. 2S Aux. Weights.....	20,640	20,570	20,520	24,240	24,040	16,540	19,410	
4 No. 2D Aux. Weights.....	24,160	24,090	24,040	28,330	.....	19,650	23,010	
4 No. 3CRO Counterweights.....	15,220	15,150	15,100	17,980	17,780	11,850	13,985	10,970
4 No. 2L Aux. Weights.....	16,995	16,925	16,875	20,045	19,845	13,480	15,870	12,440
4 No. 3BS Aux. Weights.....	18,640	18,570	18,520	21,960	21,760	14,900	17,510	13,815
4 No. 3D Aux. Weights.....	21,390	21,320	21,270	25,150	.....	17,340	20,335	16,175
4 No. 5ARO Counterweights.....	13,090	13,020	12,970	15,485	15,285	10,900	11,845	9,190
4 No. 5L Aux. Weights.....	14,105	14,035	13,985	16,665	16,465	10,950	12,945	10,100
4 No. 5A Aux. Weights.....	15,440	15,370	15,320	18,215	18,015	12,110	14,285	11,270
4 No. 5AD Aux. Weights.....	17,320	17,250	17,200	20,405	20,205	13,205	16,245	12,855
4 No. 6CRO Counterweights.....	11,545	11,475	11,425	13,700	13,500	8,620	10,250	7,845
4 No. 6L Aux. Weights.....	12,560	12,490	12,440	14,880	14,680	9,570	11,350	8,765
4 No. 6C Aux. Weights.....	13,675	13,585	13,535	16,155	15,955	10,540	12,470	9,735
4 No. 6CD Aux. Weights.....	15,765	15,695	15,645	18,610	18,410	12,460	14,600	11,825
4 No. 6R Counterweights.....		10,515	10,465	12,580	12,380	7,760	9,255	7,010
4 No. 6L Aux. Weights.....		11,140	11,090	13,305	13,105	8,330	9,915	7,570
4 No. 6 Aux. Weights.....		11,765	11,715	14,030	13,830	8,900	10,575	8,130
5 No. 5 Aux. Weights.....		13,015	12,965	15,480	15,280	10,040	11,895	9,250
4 No. 7R Counterweights.....		9,310	9,260	11,185	10,985	6,670	7,995	5,940
4 No. 7L Aux. Weights.....		9,785	9,735	11,735	11,535	7,105	8,495	6,370
4 No. 7 Aux. Weights.....		10,260	10,210	12,285	12,085	7,540	9,000	6,800
8 No. 7 Aux. Weights.....		11,210	11,160	13,385	13,185	8,410	10,005	7,660



T A B L A N^o3-2 (Cont.)

DATOS DE CONTRABALANCE EN LAS MANIVELAS

UNIT	C-228D-200-64 C-160D-200-64	C-160D-169-64 C-114D-169-64	C-160D-143-64 C-114D-143-64	C-160D-169-54 C-114D-169-54	C-114D-133-54 C-114D-119-54 C-80D-133-54 C-80D-119-54	C-114D-133-48 C-80D-133-48	C-80D-109-48 C-80D-95-48	C-57D-109-48 C-57D-95-48
STROKE	64"	64"	64"	54"	54"	48"	48"	48"
Structural Unbalance*	800 Lbs.	550 Lbs.	360 Lbs.	500 Lbs.	330 Lbs.	440 Lbs.	320 Lbs.	320 Lbs.
CRANKS	6468B	6468D	5456B	5456B	4850B	4850B	4246B	4246B
C'Bal., Cranks Only	4,880	4,630	2,590	3,100	2,790	3,210	2,120	2,120
4 No. 3CRO Counterweights.....	12,710	12,460	8,565	10,075				
4 No. 2L Aux. Weights.....	14,510	14,260	9,995	11,745				
4 No. 3HS Aux. Weights.....	16,075	15,825	11,135	13,075				
4 No. 3D Aux. Weights.....	18,775	.....	13,195	15,475				
4 No. 5ARO Counterweights.....	10,780	10,530	7,230	8,520	7,330	8,310	8,820	6,620
4 No. 5L Aux. Weights.....	11,810	11,590	8,090	9,520	8,185	9,275	7,485	7,485
4 No. 5A Aux. Weights.....	13,170	12,920	9,115	10,720	9,180	10,390	8,460	8,460
4 No. 5AD Aux. Weights.....	15,095	14,845	10,630	12,490	10,620	12,010	9,930	.....
4 No. 5CRO Counterweights.....	9,250	9,000	5,010	7,130	6,190	7,040	5,510	5,510
4 No. 5L Aux. Weights.....	10,310	10,090	6,990	8,130	7,045	8,000	6,375	6,375
4 No. 5C Aux. Weights.....	11,410	11,160	7,745	9,120	7,875	8,935	7,145	7,185
4 No. 5C+5L Aux. Weights.....	12,470	12,220	8,605	10,120	8,730	9,835	8,050	8,050
4 No. 5CD Aux. Weights.....	13,570	13,320	9,450	11,110	9,560	10,830	8,860	.....
4 No. 6R Counterweights.....	8,295	8,045	5,309	6,260	5,480	6,240	4,815	4,815
4 No. 6L Aux. Weights.....	9,935	8,685	5,810	6,855	5,990	6,815	5,325	5,325
4 No. 6 Aux. Weights.....	9,575	9,325	6,320	7,450	6,500	7,300	5,835	5,835
8 No. 6 Aux. Weights.....	10,855	10,605	7,340	8,640	7,520	8,540	6,555	6,555
4 No. 7R Counterweights.....	7,075	6,825	4,345	5,150	4,550	5,190	3,895	3,895
4 No. 7L Aux. Weights.....	7,565	7,315	4,740	5,610	4,950	5,640	4,295	4,295
4 No. 7 Aux. Weights.....	8,055	7,805	5,135	6,070	5,350	6,090	4,695	4,695
8 No. 7 Aux. Weights.....	9,035	8,785	5,925	6,990	6,150	6,990	5,495	5,495

BIBLIOTECA FICT
ESPOL



T A B L A N°3-2 (Cont.)

DATOS DE CONTRABALANCE EN LAS MANIVELAS

UNIT	C-80D-109-42	C-57D-109-42	C-57D-89-42 C-57D-76-42	C-40D-89-42 C-40D-76-42	C-57D-89-36	C-40D-89-36 C-40D-67-36 C-40D-56-36 C-25D-67-36 C-25D-56-36	C-40D-67-30 C-25D-67-30 C-25D-53-30 C-25D-43-30	C-25D-53-24
STROKE	42"	42"	42"	42"	36"	36"	30"	24"
Structural Unbalance*	500 Lbs.	500 Lbs.	150 Lbs.	150 Lbs.	275 Lbs.	275 Lbs.	150 Lbs.	200 Lbs.
CRANKS	4246B	4246B	3644B	3644B	3644B	3644B	2436B	2436B
C'Bal., Cranks Only.....	2,560	2,560	1,620	1,620	1,990	1,990	1,370	1,725
4 No. 5A RO Counterweights.....	7,690	7,690						
4 No. 5L Aux. Weights.....	8,575	8,575						
4 No. 5A Aux. Weights.....	9,790	9,790						
4 No. 5C RO Counterweights.....	6,430	6,430	5,120	5,120	6,070	6,070		
4 No. 5C Aux. Weights.....	7,415	7,415	6,350	6,350	7,155	7,155		
4 No. 5C Aux. Weights.....	8,345	8,345	6,920	6,920	8,170	8,160		
4 No. 5C+5L Aux. Weights.....	9,330	9,330	.....	.....	.....	.....
4 No. 5CD Aux. Weights.....	10,260	.....	.....	.....	.....	.....
4 No. 6R Counterweights.....	5,640	5,640	4,540	4,540	5,400	5,400	4,400	
4 No. 6L Aux. Weights.....	6,225	6,225	5,095	5,095	6,045	6,045	4,970	
4 No. 6 Aux. Weights.....	6,810	6,810	5,650	5,650	6,690	6,600	5,540	
8 No. 6 Aux. Weights.....	7,930	7,980	6,760	.....	7,980	.....	.....
4 No. 7R Counterweights.....	4,590	4,590	3,550	3,550	4,240	4,240	3,400	4,265
4 No. 7L Aux. Weights.....	5,045	5,045	3,990	3,990	4,750	4,750	3,960	4,840
4 No. 7 Aux. Weights.....	5,600	5,500	4,430	4,430	5,260	5,260	4,320	.....
4 No. 7+7L Aux. Weights.....	5,555	5,955	4,970	4,870	5,770	5,770	4,780	.....
8 No. 7 Aux. Weights.....	6,410	6,410	5,310	.....	6,290	.....	.....	.....

BIBLIOTECA FICT
ESPOL



ESPECIFICACIONES PARA LA UNIDAD DE BOMBEO BALANCEADA EN LA VIGA

UNIT	B-57D-109-48	B-57D-109-42	B-40D-89-42	B-40D-76-42	B-40D-89-36	B-25D-67-36	B-25D-67-30	B-25D-53-30	B-25D-53-24	B-16D-53-30	B-16D-53-24	B-10D-27-30	B-6D-21-24
Polished Rod Cap., #	10,900	10,900	8,900	7,600	8,900	6,700	6,700	5,300	5,300	5,300	5,300	2,700	2,100
Stroke Lengths, Ins.	48, 36	42, 32	42, 32	42, 32	36, 28	36, 24	30, 20	30, 25	24, 20	30, 25	30, 24	30, 24	24, 20
Walking Beam.....	16"x45 Lbs.	16"x45 Lbs.	16"x36 Lbs.	14"x34 Lbs.	14"x34 Lbs.	14"x34 Lbs.	12"x27 Lbs.	10"x25 Lbs.	10"x21 Lbs.	10"x25 Lbs.	10"x21 Lbs.	8"x17 Lbs.	6"x12 Lbs.
Equalizer Bearing....	BRONZE BUSHED, OIL BATH TYPE												
Center Bearing.....	BRONZE BUSHED, OIL BATH TYPE												
Crank Pin Bearings..	SPHERICAL ROLLER BEARINGS												
Wireline Hanger.....	1/4"x14'-0"	3/8"x12'-6"	3/4"x12'-0"	3/4"x12'-6"	3/4"x11'-0"	3/4"x11'-0"	3/4"x11'-0"	1/2"x8'-0"	1/2"x8'-0"	1/2"x8'-0"	1/2"x8'-0"	1/2"x8'-0"	1/2"x6'-8"
*1" thick Beam Wts., #	150	150	150	125	125	125	125	100	100	100	100	90	75
No. of Beam Weights.	EFFECTIVE COUNTERBALANCE AT POLISHED ROD, LBS.												
0.....	400	550	420	420	550	300	320	170	265	170	265	100	50
1.....	700	880	710	660	830	520	555	345	470	345	470	235	170
2.....	1000	1265	995	895	1105	740	785	515	670	515	670	365	290
3.....	1300	1530	1280	1130	1380	965	1015	685	870	685	870	495	501
4.....	1595	1850	1560	1385	1650	1170	1240	850	1065	850	1065	620	520
5.....	1890	2165	1835	1595	1915	1380	1465	1015	1280	1015	1260	745	630
6.....	2180	2480	2110	1825	2180	1590	1685	1175	1445	1175	1445	870	740
7.....	2490	2790	2380	2050	2440	1795	1905	1330	1635	1330	1635	990	845
8.....	2760	3100	2650	2275	2760	2060	2120	1485	1820	1485	1820	1110	950
9.....	3045	3405	2915	2495	2955	2260	2335	1645	2000	1645	2000	1225	1050
10.....	3325	3710	3120	2715	3210	2400	2545	1795	2175	1795	2175	1340	1150
11.....	3605	4010	3440	2930	3460	2595	2750	1940	2350	1940	2350	1450	1250
12.....	3885	4300	3700	3145	3705	2790	2955	2090	2525	2090	2525	1560	1345
13.....	4160	4595	3955	3360	3950	2980	3155	2220	2690	2220	2690	1670	1410
14.....	4435	4890	4210	3570	4160	3170	3355	2375	2855	2375	2855	1775	1530
15.....	4705	5180	4460	3790	4430	3355	3550	2520	3015	2520	3015	1880	1620
16.....	4975	5470	4710	3985	4665	3540	3745	2665	3175	2665	3175	1980	1705
17.....	5240	5755	4955	4150	4900	3720	3935	2815	3330	2815	3330	2080	
18.....	5505	6040	5195	4390	5150	3900	4125	2960	3485	2960	3485	2175	
19.....	5775	6320	5435	4550	5360	4075	4310	3050	3635	3050	3635		
20.....	6025	6600	5670	4790	5565	4245	4490	3180	3785	3180	3785		
21.....	6290	6875	5905	4985	5810	4415	4670	3300	3925	3300	3925		
22.....	6535	7150	6135	5190	6030	4570	4845	3425	4065	3425	4065		
23.....	6785	7420	6365	5370	6250	4745	5020	3545	4205	3545	4205		
24.....	7035	7695	6590	5560	6465	4905	5190	3660	4340	3660	4340		
25.....	7290	7970	6815	5745	6680	5065	5360	3780		3780			
26.....	7545	8245	7035	5930	6890	5220	5525	3890		3890			
27.....	7795	8520	7255	6110	7100	5375		4000		4000			
28.....	8045												
29.....	8295												
30.....	8545												



fué: B - 16D - 53 - 24

3. Desde la misma tabla 3-3 se selecciona la longitud de carrera del vástago pulido, $S = 24$ pulgs.
4. Para determinar los valores de ϕ_t , ϕ_p , ϕ_r , y N ; deberá usarse los valores encontrados en tablas ⁽¹⁾ similares a la Tabla 3-4 siempre que el tamaño de la unidad de bombeo mecánico sea mayor que 40 API.

Es de hacer notar que, en una situación particular, dichos valores deben ser ajustados si se estima conveniente, ya que en determinados casos las tablas sirven solo de guía para el diseño.

Cuando la unidad de bombeo mecánico es menor que 40 API es preferible asumir los datos.

$$\phi_t = 2 \frac{3}{8} \text{ O.D. pulgs.}$$

$$\phi_p = 1 \frac{1}{4} \text{ pulgs.}$$

$$\phi_r = \frac{5}{8} \text{ y } \frac{3}{4} \text{ pulgs.}$$

$$N = 8 \text{ spm}$$



BIBLIOTECA FIC1
ESPOL

Con la unidad escogida (spm) y la profundidad de la bomba se entra en la figura 3-2 ^(2,5) a fin de determinar si la velocidad escogida es sincrónica; de ser así, deberá cambiarse la velocidad a otra asincrónica.

5. A partir de las tablas 3-5 y 3-6 se obtiene:

$$A_t = 1.304 \text{ pulg}^2$$

T A B L A N° 3-4

DATOS DE DISEÑO PARA UNIDADES API 40 CON CARRERA
DE 34 Pulg.

Profundidad de la bomba Pies	Tamaño del pistón Pulg.	Tamaño de la tubería de producción Pulg.	Tamaño de las varillas Pulg.	Velocidad de bombeo golpes/min.
1000-1100	$2 \frac{3}{4}$	3	$\frac{7}{8}$	24 - 19
1100-1250	$2 \frac{1}{2}$	3	$\frac{7}{8}$	24 - 19
1250-1650	$2 \frac{1}{4}$	$2 \frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	24 - 19
1650-1900	2	$2 \frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	24 - 19
1900-2150	$1 \frac{3}{4}$	$2 \frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	24 - 19
2150-3000	$1 \frac{1}{2}$	2	$\frac{5}{8}$ - $\frac{3}{4}$	24 - 19
3000-3700	$1 \frac{1}{4}$	2	$\frac{5}{8}$ - $\frac{3}{4}$	22 - 18
3700-4000	1	2	$\frac{5}{8}$ - $\frac{3}{4}$	21 - 18

ESPOL
MEXICANA FCI



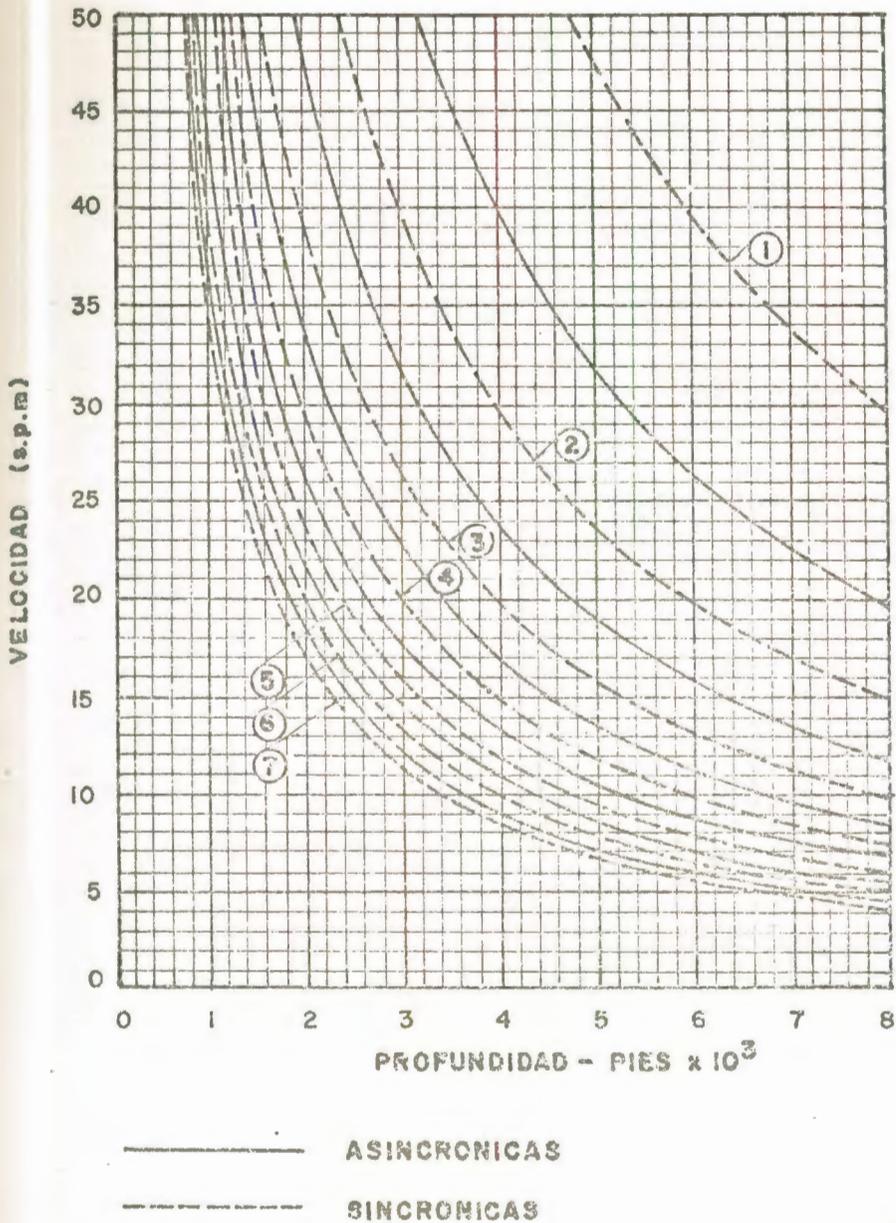


FIG. 3 - 2 DETERMINACION DE VELOCIDADES SINCRONICAS Y ASINCRONICAS



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

T A B L A N° 3-5

DATOS DE TUBERIA DE PRODUCCION

Tamaño nominal Pulg.	Diámetro exterior Pulg.	Peso Lb/Pie	Area del espe- sor (At) (Pulg ²)
1 $\frac{1}{2}$	1.900	2.90	0.800
2	2.375	4.70	1.304
2 $\frac{1}{2}$	2.875	6.50	1.812
3	3.500	9.30	2.590
3 $\frac{1}{2}$	4.000	11.00	3.077
4	4.500	12.75	3.601

BIBLIOTECA FIC
ESPOL



DATOS DE PISTONES

Diámetro (pulg.)	Area (Ap) Pulg. ²	Constante de la bomba (k) Bbls/día/pulg./spm
1	0.785	0.116
1 $\frac{1}{16}$	0.886	0.131
1 $\frac{1}{4}$	1.227	0.182
1 $\frac{1}{2}$	1.767	0.262
1 $\frac{3}{4}$	2.405	0.357
1 $\frac{25}{32}$	2.488	0.369
2	3.142	0.466
2 $\frac{1}{4}$	3.976	0.590
2 $\frac{1}{2}$	4.909	0.728
2 $\frac{3}{4}$	5.940	0.881
3 $\frac{3}{4}$	11.045	1.639
4 $\frac{3}{4}$	17.721	2.630

BIBLIOTECA FIC
ESPOL



$$A_p = 1.227 \quad \text{pulg}^2$$

$$k = 0.182 \quad \text{B/D/pulg/spm}$$

correspondientes a los diámetros de tubería y pistón obtenidos en el numeral 4 de la parte B.

6. Desde la tabla 3-7 se obtiene el área seccional (A_r) en pulg^2 y el peso (M) en lbs/pie de las varillas a usarse. En el caso de que se seleccione una combinación telescópica, las áreas serán designadas como $A_1, A_2 \dots$ con sus respectivos pesos: $M_1, M_2 \dots$

Entonces:

$$\text{Para } \phi_r = 5/8": A_1 = 0.307 \text{ pulg}^2 \quad M_1 = 1.16 \text{ lbs/pie}$$

$$\text{Para } \phi_r = 3/4": A_2 = 0.442 \text{ pulg}^2 \quad M_2 = 1.63 \text{ lbs/pie}$$

En la tabla 3-8 se hallan las fórmulas necesarias para encontrar el porcentaje de cada sección de varillas de una columna telescópica para cualquier combinación, donde:

$$R_1 = 0.759 - 0.0896 \times A_p = 0.649$$

$$R_2 = 0.241 + 0.0896 \times A_p = 0.351$$



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

La longitud en pies de cada sección de varillas sería:

$$L_1 = L \times R_1 = 1770 \times 0.649 = 1149 \text{ pies de varillas de } 5/8"$$

$$L_2 = L \times R_2 = 1770 \times 0.351 = 621 \text{ pies de varillas de } 3/4"$$

7. El valor del factor de aceleración α se lo puede obtener desde la Fig. 3-3⁽²⁾ o más exactamente aplicando la fórmula:

T A B L A N^o 3-7

DATOS DE VARILLAS

Tamaño de varilla Pulg.	Area Pulg. ²	Peso Lb/pie
$\frac{1}{2}$	0.196	0.72
$\frac{5}{8}$	0.307	1.16
$\frac{3}{4}$	0.442	1.63
$\frac{7}{8}$	0.601	2.16
1	0.785	2.88
$1\frac{1}{8}$	0.994	3.64

BIBLIOTECA FICT
ESPOL



DATOS PARA DISEÑO DE SARTA TELESCOPICA DE VARILLAS

Tamaño de varillas, pulg.

Valor de R

$\frac{1}{2} - \frac{5}{8}$	$R_1 = 0.739 - 0.154A_p$
	$R_2 = 0.261 + 0.154A_p$
$\frac{5}{8} - \frac{3}{4}$	$R_1 = 0.759 - 0.0896A_p$
	$R_2 = 0.241 + 0.0896A_p$
$\frac{3}{4} - \frac{7}{8}$	$R_1 = 0.786 - 0.0566A_p$
	$R_2 = 0.214 + 0.0566A_p$
$\frac{7}{8} - 1$	$R_1 = 0.814 - 0.0375A_p$
	$R_2 = 0.186 + 0.0375A_p$
$\frac{5}{8} - \frac{3}{4} - \frac{7}{8}$	$R_1 = 0.627 - 0.1393A_p$
	$R_2 = 0.199 + 0.0737A_p$
	$R_3 = 0.175 + 0.0655A_p$
$\frac{3}{4} - \frac{7}{8} - 1$	$R_1 = 0.664 - 0.0894A_p$
	$R_2 = 0.181 + 0.0478A_p$
	$R_3 = 0.155 + 0.0416A_p$
$\frac{3}{4} - \frac{7}{8} - 1 - 1 \frac{1}{8}$	$R_1 = 0.582 - 0.1110A_p$
	$R_2 = 0.158 + 0.0421A_p$
	$R_3 = 0.137 + 0.0364A_p$
	$R_4 = 0.123 + 0.0325A_p$

INDUSTRIA FCT
ESPOL



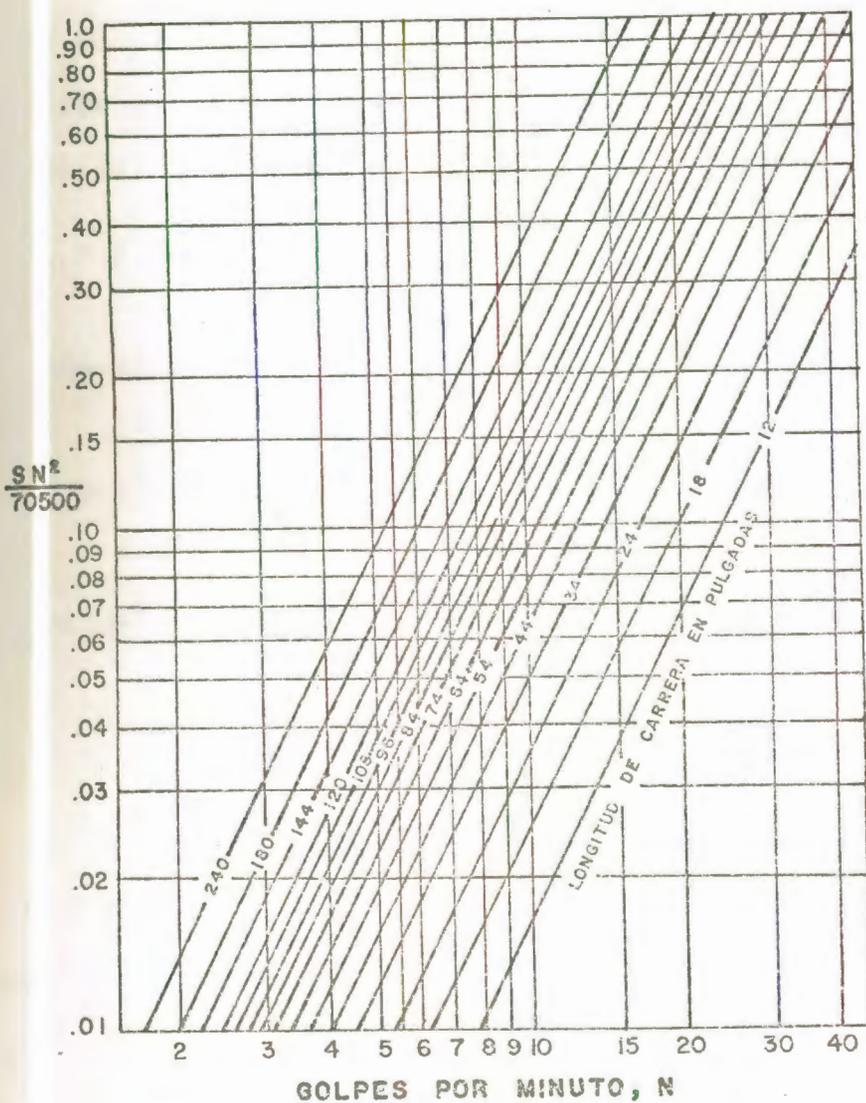


FIG. 3-3, FACTOR DE ACELERACION



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

$$\alpha = \frac{SN^2}{70500} = \frac{24 \times 8^2}{70500} = 0.022$$

8. Para calcular el valor de la longitud de la carrera efectiva del pistón se aplicará para el caso de sarta sencilla, la fórmula:

$$S_p = s + \frac{40.8 L^2 \alpha}{E} - \frac{5.20 GDA_p L}{E} \left[\frac{1}{A_t} + \frac{1}{A_r} \right] \text{ pulg.}$$

y para sarta telescópica de varillas que es nuestro caso:

$$S_p = s + \frac{40.8 L^2 \alpha}{E} - \frac{5.20 GDA_p}{E} \left[\frac{L}{A_t} + \frac{L_1}{A_1} + \frac{L_2}{A_2} + \dots \right] \text{ pulg.}$$

$$S_p = 24 + \frac{40.8 \times (1770)^2 \times 0.022}{30 \times 10^6} - \frac{5.20 \times 0.909 \times 1770 \times 1.227}{30 \times 10^6}$$

$$\left[\frac{1770}{1.304} + \frac{1149}{0.307} + \frac{621}{0.442} \dots \right]$$

$$S_p = 21.87 \text{ Pulgs.}$$

9. Luego el volumen de petróleo producido será:

$$q = K S_p N E_v = 0.182 \times 21.87 \times 8 \times 0.8 = 25.47$$

BIBLIOTECA FICT
ESPOL

B/D

Al comparar este volumen con el potencial del pozo (12 B/D) se nota que el diseño en lo referente a producción, cubre los requerimientos necesarios. En caso de no ser así, deberá efectuarse ajustes en los numerales 2,3, 4 y repetir los pasos 5 al 9.

10. Calcular el peso muerto de las varillas de la siguiente manera:

a. Cuando la sarta es simple el peso está dado por:

$$W_R = ML \quad \text{Lbs.}$$

b. Para sarta telescópica:

$$W_R = M_1L_1 + M_2L_2 + \dots \quad \text{Lbs.}$$

$$W_R = 1.16 \times 1149 + 1.63 \times 621 + \dots$$

$$W_R = 2345 \text{ Lbs}$$

11. Calcúlese el peso del fluido a partir de la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} W_f &= 0.433 G \left[(LA_p) - (0.294 W_R) \right] \quad \text{Lbs.} \\ &= 0.433 \times 0.909 \left[(1770 \times 1.227) - (0.294 \times 2345) \right] \\ &= 583 \text{ Lbs} \end{aligned}$$

12. Peso o carga máxima será:

$$\begin{aligned} W_{\max} &= W_f + W_R (1 + \alpha) \\ &= 583 + 2345 (1 + 0.022) \\ &= 2980 \text{ Lbs} \end{aligned}$$



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

La unidad B-16D-53-24 soporta una carga máxima de 5300 lbs por lo que podemos continuar con el diseño. En caso de que W_{\max} hubiera sido mayor que 5300 lbs. se tendría que diseñar una sarta de varillas de menor peso o en su defecto, seleccionar una unidad de bombeo de mayor capacidad.

13. La carga mínima se calcula según:

$$\begin{aligned} W_{\min} &= W_R \left[1 - \alpha - (0.127 G) \right] \quad \text{Lbs.} \\ &= 2345 \left[1 - 0.022 - (0.127 \times 0.909) \right] \\ &= 2023 \text{ Lbs.} \end{aligned}$$

14. La tensión máxima se calcula según la fórmula siguiente⁽⁴⁾ o por medio de la Fig. 3-4.

$$\frac{W_{\max}}{A} = \frac{2980}{0.442} = 6742 \quad \text{Psi}$$

15. La tensión mínima se halla por medio de la Fig. 3-4 o por la fórmula:

$$\frac{W_{\min}}{A} = \frac{2023}{0.442} = 4577 \quad \text{psi}$$

Estas tensiones así obtenidas y el rango en que varían deben chequearse con la tabla 3-9 a fin de escoger el tipo de varilla a usarse, para este caso deberá ser de acero al carbono o sea varilla tipo C.

16. El efecto de contrabalance ideal será:

$$\begin{aligned} c_i &= 0.5 W_f + W_r \left[1 - (0.127 G) \right] \quad \text{Lbs} \\ &= 0.5 \times 583 + 2345 \left[1 - (0.127 \times 0) \right] \\ &= 2367 \quad \text{Lbs} \end{aligned}$$



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

17. Desde las tablas 3-2 o 3-3 se seleccionan los pesos necesarios para obtener el contrabalance ideal con una tolerancia de $\pm 5\%$

Para nuestro caso específico en la tabla 3-3 se busca la columna referente a la unidad de bombeo mecánico LUF KIN B-16D-53-24 donde se hallará que 11 contrapesos nos proveerán de 2350 lbs que equivale a un 99% del efecto de contrabalance ideal. A fin de encontrar el número -

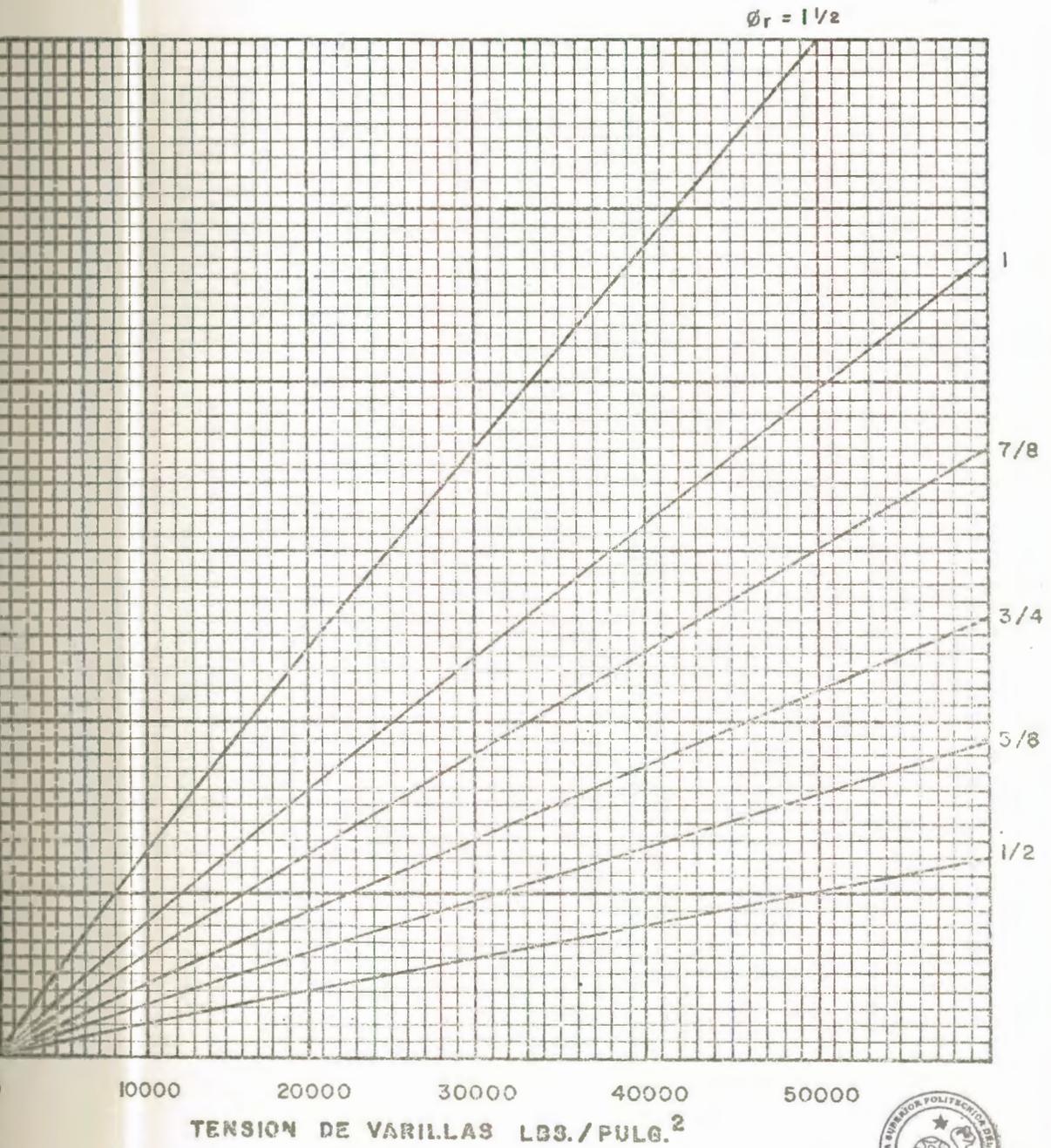


FIG. 3-4 CONVERSION DE CARGA / TENSION



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

LIMITES DE TOLERANCIA RECOMENDADOS PARA VARILLAS DE
BOMBEO

Tipo de varilla	Acero grado	*Límite de tolerancia fluidos corrosivos, lbs/pulg ² .		**Límite de tolerancia en fluidos no corrosivos pa ra rangos de tensión lbs/pulg ² .		
		Con H ₂ S	Sin H ₂ S	60%	60%	30%
Acero al Carbono	C1033			30.000		
	C1035			30.000		
	C1036			30.000		
	C1038			30.000		
	C1039			30.000		
	C1040			30.000		
	C1042			30.000		
	C1043			30.000		
	Aleación de acero	Mn1335				30.000	40.000
NI-Cr3310						40.000
NI-Cr (Mayari)		22.000	30.000		30.000	40.000
NI-Mo4620		22.000	30.000		30.000	40.000
NI-Mo4621		22.000	30.000		30.000	40.000
NI-Mo4800					30.000	40.000
Series		22.000				

* Fluidos corrosivos tratados efectivamente con inhibidores
límites deben ser considerados no corrosivos.

Los rangos de tensión están dados como un porcentaje de
la máxima tensión de trabajo.

* ESPOL



de pesos necesarios para una unidad de bombeo de contrabalance en las manivelas, se utiliza la tabla 3-2 y se procede como se indica en el ejemplo siguiente.

La unidad de bombeo mecánico Lufkin C-80D-109-42 con 4 contrapesos N^o 6R pesos auxiliares N^o 6L y 2 pesos auxiliares N^o 6 tendrá en la longitud de carrera de 42" un efecto de contrabalance de:

$$5640 + \frac{3}{4} (6225 - 5640) + \frac{1}{2} (6810 - 5640) = 6664 \text{ Lbs.}$$

Con la misma combinación de pesos, el efecto de contrabalance en la carrera de 32" de longitud será:

$$(6640 - 500) \times \frac{42}{32} + 500 = 8590 \text{ Lbs.}$$

En la tabla 3-2 el desbalance estructural con signo negativo (-) indica que el balancin está pesado en el extremo que da al pozo. El desbalance estructural sin el signo negativo indica que el balancin está pesado en el extremo que dá a la caja de engranajes.

18. Calcúlese el torque máximo según:

$$\begin{aligned} T_p &= (W_{\max} - 0.95 C_i) \frac{S}{2} \text{ , Lbs-pulg.} \\ &= (2980 - 0.95 \times 2367) \frac{24}{2} \\ &= 8776 \text{ Lbs-pulg.} \end{aligned}$$



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

La unidad escogida resiste un torque máximo de 25000 lbs-pulg por lo que el valor hallado se encuentra dentro del rango permisible.

19. Calcule la potencia hidráulica por medio de la fórmula:

$$\begin{aligned} H_h &= 7.36 \times 10^{-6} q G L \quad \text{h.p.} \\ &= 7.36 \times 10^{-6} \times 25.47 \times 0.909 \times 1770 \\ &= 0.30 \text{ hp} \end{aligned}$$

20. Calcular la potencia por fricción aplicando:

$$\begin{aligned} H_f &= 6.31 \times 10^{-7} W_r \text{ SN} \quad \text{hp} \\ &= 6.31 \times 10^{-7} \times 2345 \times 24 \times 8 \\ &= 0.28 \text{ hp} \end{aligned}$$

21. La potencia necesaria será:

$$\begin{aligned} H_b &= 1.5 (H_h + h_f) \\ &= 1.5 (0.30 + 0.28) \\ &= 0.87 \text{ hp} \end{aligned}$$

A continuación se presentan en forma tabulada, los cálculos efectuados en los diferentes diseños de instalación y posteriormente un modelo de formato donde se pueden realizar fácilmente dichos cálculos.

Los casos que presentan asteriscos (*) en las tablas 3-10 a 3-16 y 3-19 a 3-25 son los escogidos para aplicarlos en el campo, por considerarlos los más convenientes y aquellos que se encuentran en los diagramas de las 3-13 a 3-19.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

(Método: Marsh, Coberly y Asociados)

POZO: A

Caso N°	V B/D	G	D pies	L pies	E_v %	U. B. M.	S pulg.	ϕ_t pulg.	ϕ_p pulg.
1*	12	0.909	1770	1770	80	B-16D-53-24	24	$2\frac{3}{8}$	$1\frac{1}{4}$
2	12	0.909	1770	1770	80	B-16D-53-24	30	$2\frac{3}{8}$	$1\frac{1}{4}$

Caso N°	ϕ_r pulg.	N spm	A_t pulg ²	A_p pulg ²	K B/D/pulg/spm	A_r pulg ²	M lbs/pie
1*	$5\frac{1}{8}$	8	1.304	1.227	0.182	0.307	1.16
	$3\frac{1}{4}$					0.442	1.63
2	$5\frac{1}{8}$	8	1.304	1.227	0.182	0.307	1.16
	$3\frac{1}{4}$					0.442	1.63

ESPOL



DISEÑO DE INSTALACIONES DE BOMBEO MECANICO
(Método: Marsh, Coberly y Asociados)

POZO: A

Caso N°	R	L _n pies	α	S _p pulg.	q B/D	W _r Lbs.	W _f Lbs.	W _{max} Lbs.	W _{min.} Lbs.
1*	0.649	1149	0.022	21.87	25.47	2345	583	2980	2023
	0.351	621							
2	0.649	1149	0.027	27.89	32.49	2345	583	2991	2011
	0.351	621							

Caso N°	T _{Nmax} Lpc.	T _{Nmin} Lpc	C _i Lbs.	Contrapesos N° Lbs.		T _p Lbs-pulg.	H _n hp	H _f hp	H _b hp
1*	6742	4577	2367	11	2350	8776	0.30	0.28	0.87
2	6767	4550	2367	11	2350	11135	0.38	0.36	1.11

BIBLIOTECA FCT
ESPOL



DISEÑO DE INSTALACIONES DE BOMBEO MECANICO

(Método: Marsh, Coberly y Asociados)

POZO: B

Caso N°	V B/D	G	D pies	L pies	E_v %	U. B. M.	S pulg.	ϕ_t pulg.	ϕ_p pulg.
1	17	0.914	2190	2190	80	B-16D-53-24	24	$2\frac{3}{8}$	$1\frac{1}{4}$
2*	17	0.914	2190	2190	80	B-16D-53-24	24	$2\frac{3}{8}$	$1\frac{1}{4}$

Caso N°	ϕ_r pulg.	N spm	A_t pulg ²	A_p pulg ²	K B/D/pulg/ spm	A_r pulg ²	M lbs/pie
1	$\frac{5}{8}$	7	1.304	1.227	0.182	0.307	1.16
2*	$\frac{5}{8}$	12	1.304	1.227	0.182	0.307	1.16

DISEÑO DE INSTALACIONES DE BOMBEO MECANICO
(Método: Marsh, Coberly y Asociados)

POZO: B

Caso N°	R	L _n pies	α	S _p pulg.	q B/D	W _r Lbs.	W _f Lbs.	W _{max} Lbs.	W _{min} Lbs.
1	-	-	0.017	2036	20.75	2540	768	3351	2202
2*	-	-	0.049	2057	35.94	2540	768	3432	2121

Caso N°	T _{Nmax} Lpc	T _{Nmin} Lpc	C _i Lbs.	Contrapesos N° Lbs.	T _p Lbs-pulg.	H _n hp	H _f hp	H _b hp
1	10915	7173	2630	12 2525 1 100	10230	0.30	0.27	0.86
2*	11179	6909	2630	12 2525 1 100	11202	0.53	0.46	1.49



DISEÑO DE INSTALACIONES DE BOMBEO MECANICO

(Método: Marsh, Coberly y Asociados)

POZO: C

Caso N°	V B/D	G	D pies	L pies	E_v %	U. B. M.	S pulg.	ϕ_t pulg.	ϕ_p pulg.
1*	8	0.966	2010	2010	80	B-16D-53-24	24	$2\frac{3}{8}$	$1\frac{1}{4}$
2	8	0.966	2010	2010	80	B-16D-53-24	24	$2\frac{3}{8}$	$1\frac{1}{2}$

Caso N°	ϕ_r pulg.	N spm	A_t pulg ²	A_p pulg ²	K B/D/pulg/spm	A_r pulg ²	M Lbs/pie
1*	$5\frac{1}{8}$	8	1.304	1.227	0.182	0.307	1.16
2	$5\frac{1}{8}$	8	1.304	1.767	0.262	0.307	1.16

BIBLIOTECA FICT
ESPOL

DISEÑO DE INSTALACIONES DE BOMBEO MECANICO

(Método: Marsh, Coberly y Asociados)

POZO: C

Caso N°	R	L _n pies	α	S _p pulg.	q B/D	W _r Lbs.	W _f Lbs.	W _{max} Lbs.	W _{min} Lbs.
1*	-	-	0.022	20.78	24.20	2332	745	3128	1995
2	-	-	0.022	19.31	32.38	2332	1199	3582	1995

Caso N°	T _{Nmax} Lpc	T _{Nmin} Lpc	C _i Lbs.	Contrapesos		T _p Lbs-pulg.	H _h hp	H _f hp	H _b hp
				N°	Lbs.				
1*	10189	6498	2418	11	2350	9970	0.35	0.28	0.95
				1	100				
2	11668	6498	2645	12	2525	12831	0.46	0.28	1.11
				1	100				

BIBLIOTECA FICT
ESPOL

DISEÑO DE INSTALACIONES DE BOMBEO MECANICO

(Método: Marsh, Coberly y Asociados)

POZO: D

Caso N°	V B/D	G	D pies	L pies	E _v %	U. B. M.	S pulg.	φ _t pulg.	φ _p pulg.
1*	10	0.972	2060	2060	80	B-16D-53-24	24	2 ³ / ₈	1 ¹ / ₄
2	10	0.972	2060	2060	80	B-16D-53-24	24	2 ³ / ₈	1 ¹ / ₄

Caso N°	φ _r pulg.	N spm	A _t pulg ²	A _p pulg ²	K B/D/pulg/spm	A _r pulg ²	M Lbs/pie
1*	5 8	8	1.304	1.227	0.182	0.307	1.16
2	5 8	8	1.304	1.227	0.182	0.307	1.16
	3 4					0.442	1.63

BIBLIOTECA FICT
ESPOL



DISEÑO DE INSTALACIONES DE BOMBEO MECANICO

(Método: Marsh, Coberly y Asociados)

POZO: D

Caso N°	R	L _n pies	α	S _p pulg.	q B/D	W _r Lbs.	W _f Lbs.	W _{max.} Lbs.	W _{min.} Lbs.
1*	-	-	0.022	20.59	24.00	2390	768	3210	2042
2	0.650 0.350	1339 721	0.022	20.90	24.34	2728	726	3514	2331

Caso N°	T _{Nmax} Lpc	T _{Nmin} Lpc	C _i Lbs.	Contrapesos		T _p lbs-pulg.	H _h hp	H _f hp	H _b hp
				N°	Lbs.				
1*	10456	6651	2479	11	2350	10259	0.35	0.29	0.96
				1	100				
2	7950	5274	2754	13	2690	10772	0.36	0.33	1.0
				1	100				

BIBLIOTECA FICT
ESPOL

DISEÑO DE INSTALACIONES DE BOMBEO MECANICO

(Método: Marsh, Coberly y Asociados)

POZO: E

Caso N°	V E/D	G	D pies	L pies	E_v %	U. B. M.	S pulg.	ϕ_t pulg.	ϕ_p pulg.
1	14	0.91	4380	4380	80	C-57D-109-42	22	$2\frac{3}{8}$	$1\frac{1}{4}$
2*	14	0.91	4380	4380	80	C-57D-109-42	32	$2\frac{3}{8}$	$1\frac{1}{2}$
3	14	0.91	4380	4380	80	C-57D-109-42	32	$2\frac{3}{8}$ Anclado	$1\frac{1}{2}$

Caso N°	ϕ_r pulg.	N spm	A_{t2} pulg ²	A_{p2} pulg ²	K B/D/pulg/spm	A_r pulg ²	M Lbs/pie
1	$\frac{3}{4}$	10	1.304	1.227	0.182	0.442	1.63
2*	$\frac{5}{8}$	12	1.304	1.767	0.262	0.307	1.16
	$\frac{3}{4}$					0.442	1.63
	$\frac{7}{8}$					0.601	2.16
3	$\frac{5}{8}$	12	1.304	1.767	0.262	0.307	1.16
	$\frac{7}{8}$					0.442	1.63
	$\frac{3}{4}$					0.601	2.16



T A B L A N° 3-14 (Cont.)
 DISEÑO DE INSTALACIONES DE BOMBEO MECÁNICO
 (Método: Marsh, Coberly y Asociados)

POZO: E

Caso N°	R	L _n pies	α	S _p pulg.	q B/D	W _r Lbs.	W _f Lbs.	W _{max} Lbs.	W _{min} Lbs.
1	-	-	0.031	11.55	16.81	7139	1291	8651	6093
2*	0.380	1664	0.065	16.40	41.25	7023	2235	9725	5763
	0.329	1441							
	0.291	1275							
3	0.380	1664	0.065	20.50	51.56	7033	2235	9725	5763
	0.329	1441							
	0.291	1275							

Caso N°	T _{Nmax} Lpc	T _{Nmin} Lpc	C _i Lbs.	Contrapesos N° Lbs.	T _p Lbs-pulg.	H _h hp	H _f hp	H _b hp
1	19572	13785	6960	2 N°5 ARO 6886	22429	0.49	0.99	2.22
2*	16181	9589	7338	4 N°6 R 7246	44062	1.21	1.70	4.37
3	16181	9589	7338	4 N°6 R 7246	44062	1.51	1.70	4.82

DISEÑO DE INSTALACIONES DE BOMBEO MECANICO

(Método: Marsh, Coberly y Asociados)

POZO: F

Caso N°	V B/D	G	D pies	L pies	E_V %	U.B.M.	S pulg.	ϕ_t pulg.	ϕ_p pulg.
1*	40	0.961	2100	2400	80	B-25D-53-30	25	$2\frac{3}{8}$	1.25
2	40	0.961	2100	2400	80	B-25D-53-30 6 B-16D-53-30	30	$2\frac{3}{8}$	1.5
3	40	0.961	2100	2400	80	B-25D-53-30	30	$2\frac{3}{8}$	1.5

Caso N°	ϕ_r pulg.	N spm	A_t pulg ²	A_p pulg ²	K B/D/pulg/spm	A_r pulg ²	M Lbs/pie
1*	5	13	1.304	1.227	0.182	0.307	1.16
2	1	9	1.304	1.767	0.262	0.196	0.72
3	5	13	1.304	1.767	0.262	0.307	1.16
	5					0.307	1.16
	3					0.442	1.63



DISEÑO DE INSTALACIONES DE BOMBEO MECANICO

(Método: Marsh, Coberly y Asociados)

POZO: F

Caso N°	R	L _n pies	α	S _p pulg.	q B/D	W _r Lbs.	W _f Lbs.	W _{max} Lbs.	W _{min} Lbs.
1*	-	-	0.060	21.32	40.35	2679	898	3738	2191
2	0.467	1120	0.034	23.02	43.42	2291	1485	3854	1934
	0.533	1280							
3	0.60	1440	0.072	25.18	68.61	3235	1369	4837	2607
	0.40	960							

Caso N°	T _{Nmax} Lpc	T _{Nmin} Lpc	C _i Lbs.	Contrapesos N° Lbs.	T _p Lbs-pulg.	H _h hp	H _f hp	H _b hp
1*	12176	7137	2802	17 2785	13451	0.69	0.55	1.86
2	12554	6299	2754	17 2785	18565	0.74	0.39	1.70
3	10943	5898	3525	23 3545	22324	1.16	0.80	2.94

BIBLIOTECA FICT
ESPOL

DISEÑO DE INSTALACIONES DE BOMBEO MECANICO

(Método: Marsh, Coberly y Asociados)

POZO: G

Caso N°	V B/D	G	D pies	L pies	E _v %	U. B. M.	S pulg.	φ _t pulg.	φ _p pulg.
1	66	0.904	2300	2300	80	C-25D-53-30	30	2 $\frac{3}{8}$	1.5
2*	66	0.904	2300	2300	80	C-25D-53-30	30	2 $\frac{3}{8}$	1.5
3	66	0.904	2300	2300	80	C-25D-53-30	30	2 $\frac{3}{8}$	1.5

Caso N°	φ _r pulg.	N spm	A _t pulg ²	A _p pulg ²	K B/D/pulg/spm	A _r pulg ²	M Lbs/pie
1	5/8	13	1.304	1.767	0.262	0.307	1.16
	3/4					0.442	1.63
2*	5/8	13	1.304	1.767	0.262	0.307	1.16
3	1/2	14	1.304	1.767	0.262	0.196	0.72
	5/8					0.307	1.16

BIBLIOTECA FIC1
ESPOL



DISEÑO DE INSTALACIONES DE BOMBEO MECANICO

(Método: Marsh, Coberly y Asociados)

POZO: G

Caso N°	R ₁	L _n pies	α	S _p pulg.	q B/D	W _r Lbs.	W _f Lbs.	W _{max} Lbs.	W _{min} Lbs.
1	0.601	1375	0.07	25.19	68.63	3103	1234	4554	2529
	0.399	925							
2*	-	-	0.07	24.61	67.00	2668	1284	4138	2175
3	0.467	1074	0.083	23.44	69.00	2196	1338	3716	1762
	0.533	1226							

Caso N°	T _{Nmax} Lpc	T _{Nmin} Lpc	C _i Lbs.	Contrapesos N° Lbs.	T _p Lbs-pulg.	H _h hp	H _f hp	H _b hp
1	10303	5722	3365	4 N°7R 3400	20359	1.05	0.76	2.71
2*	13465	7085	3004	2 N°6R 3055 2 N°6L	19263	1.02	0.65	2.50
3	12104	5739	2613	2 N°6 2 N°6R 2485 2 N°6L	18505	1.05	0.58	2.45

BIBLIOTECA FIC
ESPOL



DISEÑO

SISTEMAS CONVENCIONALES DE BOMBEO MECANICO

COMPañIA:	CAMPO:	POZO:
PROVINCIA:	PAIS:	FECHA:

DATOS CONOCIDOS Y/O ASUMIDOS:

Producción actual, q :	B/D (Para casos de rediseño)
Gravedad Específica del fluido, G :	
Nivel del fluido, D :	pies.
Profundidad de la bomba, L :	pies.
Eficiencia volumétrica de la bomba, E_v :	%
Desplazamiento de la bomba, V : (o potencial del pozo)	B/D (por pistoneo)

PROCEDIMIENTO DE CALCULOS:

1. $V = q/E_v = \quad \div \quad = \quad$ B/D (para casos de rediseño)

2. U.B.M.: (Fig. 3-1 y Tabla 3-3)

3. S : pulg. (Tabla 3-3)

4. (Tabla 3-4)

$N = \quad$ s.p.m. $\phi_p = \quad$ pulg.

$\phi_t = \quad$ pulg. $\phi_r = \quad$ pulg.

En caso de que la U.B.M. sea de tamaño API menor que 40, los datos de este numeral deberán ser asumidos.

5. $A_t = \quad$ pulg² (Tabla 3-5)

$A_p = \quad$ pulg² (Tabla 3-6)

$K = \quad$ B/D/pulg./s.p.m. (Tabla 3-6)



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

DISEÑO DE VARILLAS

6. (Tabla 3-7)

a. Sarta sencilla de varillas

$$A_r = \text{pulg}^2 \quad M = \text{Lbs/pie}$$

b. Sarta telescópica de varillas

$$\begin{array}{llll} A_1 = & \text{pulg}^2 & M_1 = & \text{lbs/pie} \\ A_2 = & \text{pulg}^2 & M_2 = & \text{lbs/pie} \\ A_3 = & \text{pulg}^2 & M_3 = & \text{lbs/pie} \\ A_4 = & \text{pulg}^2 & M_4 = & \text{lbs/pie} \end{array}$$

(Tabla 3-8)

$$\begin{array}{llll} R_1 = & - (& \times A_p) = & - (\quad \times \quad) = \\ R_2 = & + (& \times A_p) = & + (\quad \times \quad) = \\ R_3 = & + (& \times A_p) = & + (\quad \times \quad) = \\ R_4 = & + (& \times A_p) = & + (\quad \times \quad) = \end{array}$$

$$L_1 = L \times R_1 = \quad \times \quad = \quad \text{pies}$$

$$L_2 = L \times R_2 = \quad \times \quad = \quad \text{pies}$$

$$L_3 = L \times R_3 = \quad \times \quad = \quad \text{pies}$$

$$L_4 = L \times R_4 = \quad \times \quad = \quad \text{pies}$$

CALCULO DE S_p Y q :

$$7. \alpha = S \times N^2 / 70500 = \quad \times \quad / 70500 =$$

(6 Fig. 3-3)

BIBLIOTECA FICT
ESPOL

8. a. Para sarta sencilla de varillas

$$S_p = S + \frac{40.8 L^2 \alpha}{E} - \frac{5.20 G D A_p L}{E} \left[\frac{1}{A_t} + \frac{1}{A_r} \right]$$

$$S_p = + \frac{40.8 \times \times}{30 \times 10^6} - \frac{5.20 \times \times \times \times}{30 \times 10^6} \left[\quad + \quad \right] =$$

$S_p =$ pulg.

b. Para sarta telescópica de varillas:

$$S_p = S + \frac{40.8 L^2 \alpha}{E} - \frac{5.20 G D A_p}{E} \left[L/A_t + L_1/A_1 + L_2/A_2 + \dots \dots \dots \right] \text{pulg.}$$

$$S_p = + \frac{40.8 \times \times}{30 \times 10^6} - \frac{5.20 \times \times \times}{30 \times 10^6} \times$$

$$\left[\text{---} + \text{---} + \text{---} + \text{---} + \text{---} \right] = \text{pulg.}$$

9. $q = K S_p N E v = \quad \times \quad \times \quad \times \quad = \quad \text{B/D}$

Si el valor de q, no satisface los requerimientos, efectuar los ajustes pertinentes en los numerales 2, 3, 4 y repetir los pasos 5 al 9.

CALCULO DE CARGAS:

10. a. Para sarta sencilla:

$W_r = M L$ Lbs.

$W_r = \quad \times \quad = \quad \text{Lbs.}$

b. Para sarta telescópica:

$W_r = M_1 L_1 + M_2 L_2 + \dots \dots \dots$ Lbs.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

$$= (\quad x \quad) + (\quad x \quad) + (\quad x \quad) + (\quad x \quad)$$

$$+ (\quad x \quad)$$

$$W_R = \quad \text{Lbs.}$$

$$11. \quad W_f = 0.433 G \left[(L A_p) - (0.294 W_R) \right] \text{ Lbs.}$$

$$= 0.433 x \left[(\quad x \quad) - (0.294 x \quad) \right]$$

$$= \quad \text{Lbs.}$$

$$12. \quad W_{\max} = W_f + W_R (1 + \alpha) \quad \text{Lbs.}$$

$$= \quad + \quad (1 + \quad)$$

$$= \quad \text{Lbs.}$$

Comparar con la carga máxima que soporta la unidad.

$$13. \quad W_{\min} = W_R \left[1 - \alpha - (0.127 G) \right]$$

$$= \left[1 - \quad - (0.127 x \quad) \right]$$

$$= \quad \text{Lbs.}$$

TENSIONES EN LAS VARILLAS

14. Tensión máxima: (Fig. 3-4) δ

$$W_{\max}/A = \quad /$$

$$= \quad \text{Psi.}$$

15. Tensión mínima: (Fig. 3-4) δ

$$W_{\min}/A = \quad /$$

$$= \quad \text{Psi.}$$

Comparar valores y rango con Tabla 3-9 para el tipo de varillas a ser usadas.



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

CALCULO DE CONTRABALANCE IDEAL:

$$\begin{aligned}
 16. C_i &= (0.5 W_f) + W_r \left[1 - (0.127 G) \right] \\
 &= (0.5 \times \quad) + \left[1 - (0.127 \times \quad) \right] \\
 &= \quad \text{Lbs.}
 \end{aligned}$$

$$17. N^{\circ} \text{ de contrapesos (Tablas 3-2 \& 3-3):}$$

Lbs.

$$\begin{aligned}
 18. T_p &= \left[W_{\max} - (0.95 C_i) \right] (S/2) \\
 &= \left[\quad - (0.95 \times \quad) \right] \times (\quad / 2) \\
 &= \quad \text{Lbs-pulg.}
 \end{aligned}$$

Chequear con el torque disponible de la unidad

POTENCIA NECESARIA DEL MOTOR

$$\begin{aligned}
 19. H_h &= 7.36 \times 10^{-6} q G L \\
 &= 7.36 \times 10^{-6} \times \quad \times \quad \times \\
 &= \quad \text{h.p.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 20. H_f &= 6.31 \times 10^{-7} W_r S N \\
 &= 6.31 \times 10^{-7} \times \quad \times \quad \times \\
 &= \quad \text{h.p.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 21. H_D &= 1.5 (H_h + H_f) \\
 &= 1.5 (\quad + \quad) \\
 &= \quad \text{h.p.}
 \end{aligned}$$

2. Método API (2,3,4,5,6,7)

Los datos aplicados en el método de Marsh, Coberly y Asociados serán usados en este método recomendado por el Instituto Americano del Petróleo.

La secuencia a seguirse para llevar a cabo el diseño de instalación, se presentará aplicándola al caso N^o 1 del pozo A.

A. Regístrese los datos necesarios para el diseño:

a. Desplazamiento requerido de la bomba, o potencial del



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

pozo, $q:12$ Bbls/día.

- b. Nivel del fluido, $H:1770$ pies
- c. Profundidad de asentamiento de la bomba, $L = 1770$ pies
- d. Diámetro de la tubería de producción; $\phi_t: 2 \frac{3}{8}$.

Especifique si la tubería se anclará o no.

- e. Diámetro del pistón; $D: 1.25$ pulgadas
- f. Gravedad específica del fluido; $G: 0.909$
- g. Desde las tablas 3-1 o 3-3 se selecciona la unidad a usarse y la longitud de carrera S .

Para este diseño se usará la unidad de bombeo mecánico Lufkin B-16D-53-24 con longitud de carrera $S = 24$ pulg.

- h. La velocidad de bombeo $N: 8$ spm se la ha tomado en función de las velocidades utilizadas en otros pozos del mismo campo y con potenciales aproximados. El valor de N debe ser chequeado en la Fig. 3-2 a fin de verificar si la velocidad es asincrónica; de no serlo cambiar la velocidad.
- i. Desde la tabla 3-17 y en función del diámetro del pistón se escoge la sarta de varillas. Para el presente diseño se usará: 65.6% de varillas de $5/8"$ 34.4% de varillas de $3/4"$.

B. Regístrese los factores siguientes:

Desde la tabla 3-17:



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

T A B L A N.º 3-17

DATOS DE VARILLAS Y BOMBA

Varilla N.º	Diámetro del pistón Pulg. D	Peso de las var. lbs/pie W _r	Constante de elast. Pulg/lb-pie E _r	Factor de fre- cuencia F _c	Sarta de varillas % de cada sección						
					1 ¹ / ₈	1	7/8	3/4	5/8	1/2	
44	Todos	0.726	1.990 x 10 ⁻⁶	1.000							100.0
54	1.06	0.892	1.697 x 10 ⁻⁶	1.128					40.5		59.5
54	1.25	0.914	1.659 x 10 ⁻⁶	1.139					45.9		54.1
54	1.50	0.948	1.597 x 10 ⁻⁶	1.142					54.5		45.5
54	1.75	0.990	1.525 x 10 ⁻⁶	1.130					64.6		35.4
54	2.00	1.037	1.442 x 10 ⁻⁶	1.095					76.2		23.8
55	Todos	1.135	1.270 x 10 ⁻⁶	1.000					100.0		
64	1.06	1.116	1.441 x 10 ⁻⁶	1.224				28.1	33.1		38.8
64	1.25	1.168	1.368 x 10 ⁻⁶	1.222				31.8	37.5		30.7
64	1.50	1.250	1.252 x 10 ⁻⁶	1.191				37.7	44.5		17.8
64	1.75	1.347	1.116 x 10 ⁻⁶	1.137				44.7	52.7		2.6
65	1.06	1.291	1.150 x 10 ⁻⁶	1.085				31.3	68.7		
65	1.25	1.306	1.138 x 10 ⁻⁶	1.093				34.4	65.6		
65	1.60	1.330	1.119 x 10 ⁻⁶	1.103				39.2	60.8		
65	1.75	1.359	1.097 x 10 ⁻⁶	1.111				45.0	55.0		
65	2.00	1.392	1.071 x 10 ⁻⁶	1.114				51.6	48.4		
65	2.25	1.429	1.042 x 10 ⁻⁶	1.110				59.0	41.0		
65	2.50	1.471	1.010 x 10 ⁻⁶	1.097				67.4	32.0		
65	2.75	1.517	0.974 x 10 ⁻⁶	1.074				76.6	23.4		
66	Todos	1.634	0.883 x 10 ⁻⁶	1.000					100.0		

BIBLIOTECA FCI
ESPOL



T A B L A N° 3-17 (Continuación)

Varilla N°	Diámetro del pistón Pulg. D	Peso de las varillas lbs/pie W _R	Constante de elasticidad Pulg/lb-pie E _R	Factor de fre- cuencia F _C	Sarta de Varillas % de cada sección					
					1 1/8	1	7/8	3/4	5/8	1/2
75	1.06	1.511	1.030 x 10 ⁻⁶	1.168			22.6	26.1	51.3	
75	1.25	1.548	1.006 x 10 ⁻⁶	1.179			24.8	28.6	46.6	
75	1.50	1.606	0.969 x 10 ⁻⁶	1.185			28.3	32.6	39.1	
75	1.75	1.674	0.924 x 10 ⁻⁶	1.180			32.4	37.4	30.2	
75	2.00	1.754	0.874 x 10 ⁻⁶	1.160			37.2	42.8	20.0	
75	2.25	1.843	0.816 x 10 ⁻⁶	1.128			42.5	49.2	8.3	
76	1.06	1.787	0.822 x 10 ⁻⁶	1.061			25.9	74.1		
76	1.25	1.798	0.818 x 10 ⁻⁶	1.066			27.8	72.2		
76	1.50	1.816	0.811 x 10 ⁻⁶	1.073			30.9	69.1		
76	1.75	1.836	0.803 x 10 ⁻⁶	1.080			34.3	65.7		
76	2.00	1.861	0.793 x 10 ⁻⁶	1.087			38.5	61.5		
76	2.25	1.888	0.782 x 10 ⁻⁶	1.094			43.1	56.9		
76	2.50	1.919	0.770 x 10 ⁻⁶	1.096			48.3	51.7		
76	2.75	1.953	0.756 x 10 ⁻⁶	1.096			54.1	45.9		
76	3.75	2.121	0.690 x 10 ⁻⁶	1.043			82.5	17.5		
77	Todos	2.224	0.649 x 10 ⁻⁶	1.000			100.0			
85	1.06	1.709	0.957 x 10 ⁻⁶	1.237		15.9	17.7	20.1	46.3	
85	1.25	1.780	0.919 x 10 ⁻⁶	1.250		17.9	19.9	22.5	39.7	
85	1.50	1.893	0.858 x 10 ⁻⁶	1.242		21.0	23.4	26.5	29.1	
85	1.75	2.027	0.786 x 10 ⁻⁶	1.218		24.8	27.5	31.0	16.7	
85	2.00	2.181	0.703 x 10 ⁻⁶	1.180		30.0	32.3	36.3	2.4	
86	1.06	2.008	0.757 x 10 ⁻⁶	1.127		19.3	21.9	58.8		
86	1.25	2.035	0.748 x 10 ⁻⁶	1.136		20.7	23.5	55.8		
86	1.50	2.079	0.733 x 10 ⁻⁶	1.148		23.0	26.0	51.0		
86	1.75	2.130	0.716 x 10 ⁻⁶	1.157		25.6	29.0	45.4		

BIBLIOTECA FIC
ESPOL



Varilla N.º	Diámetro del pistón Pulg. D	Peso de las varillas lbs/pié W _R	Constante de elasticidad Pulg./lb-pié E _R	Factor de fre- cuencia F _C	Sarta de varillas % de cada sección					
					1 1/8	1	7/8	3/4	5/8	1/2
86	2.00	2.190	0.696 x 10 ⁻⁶	1.162		28.7	32.5	38.8		
86	2.25	2.257	0.674 x 10 ⁻⁶	1.158		32.1	36.5	31.4		
86	2.50	2.334	0.650 x 10 ⁻⁶	1.146		35.8	41.6	22.6		
86	2.75	2.415	0.621 x 10 ⁻⁶	1.125		40.3	45.6	14.1		
87	1.06	2.375	0.615 x 10 ⁻⁶	1.048		22.3	77.7			
87	1.25	2.384	0.613 x 10 ⁻⁶	1.051		23.5	76.5			
87	1.50	2.397	0.610 x 10 ⁻⁶	1.055		25.5	74.5			
87	1.75	2.414	0.606 x 10 ⁻⁶	1.061		27.9	72.1			
87	2.00	2.432	0.602 x 10 ⁻⁶	1.066		30.6	69.4			
87	2.25	2.453	0.598 x 10 ⁻⁶	1.072		33.7	66.3			
87	2.50	2.477	0.592 x 10 ⁻⁶	1.077		37.2	62.8			
87	2.75	2.503	0.586 x 10 ⁻⁶	1.082		41.0	59.0			
87	3.75	2.632	0.558 x 10 ⁻⁶	1.082		60.0	40.0			
87	4.75	2.800	0.520 x 10 ⁻⁶	1.035		84.7	15.3			
88	Todos	2.904	0.497 x 10 ⁻⁶	1.000		100.00				
96	1.06	2.264	0.698 x 10 ⁻⁶	1.181	14.8	16.7	19.7	48.8		
96	1.25	2.311	0.685 x 10 ⁻⁶	1.203	16.0	17.8	21.0	45.2		
96	1.50	2.385	0.664 x 10 ⁻⁶	1.215	17.7	19.9	23.3	39.1		
96	1.75	2.472	0.639 x 10 ⁻⁶	1.218	19.9	22.0	25.9	32.2		
96	2.00	2.572	0.610 x 10 ⁻⁶	1.213	22.1	24.8	29.2	23.9		
96	2.25	2.686	0.577 x 10 ⁻⁶	1.197	24.9	27.7	32.6	14.8		
96	2.813	2.813	0.540 x 10 ⁻⁶	1.168	27.9	31.0	36.6	4.5		
97	2.601	2.601	0.576 x 10 ⁻⁶	1.103	17.0	19.1	63.9			
97	2.622	2.622	0.572 x 10 ⁻⁶	1.109	18.0	20.1	61.9			
97	2.653	2.653	0.568 x 10 ⁻⁶	1.117	19.3	21.9	58.8			

ARBUZUAGA
ESPOLI



T A B L A N° 3.-17 (Continuación)

Varilla N°	Diámetro del pistón Pulg. D	Peso de las varillas lbs/pié W_r	Constante de elasticidad Pulg/lb-pié E_r	Factor de fre- cuencia F_c	Sarta de varillas % de cada sección					
					1 1/8	1	7/8	3/4	5/8	1/2
97	1.75	2.696	0.558×10^{-6}	1.125	21.4	23.8	54.8			
97	2.00	2.742	0.549×10^{-6}	1.132	23.4	26.2	50.1			
97	2.25	2.795	0.539×10^{-6}	1.139	25.8	28.9	45.3			
97	2.50	2.853	0.528×10^{-6}	1.144	28.5	31.7	39.8			
97	2.75	2.918	0.515×10^{-6}	1.143	31.4	35.0	33.6			
97	3.75	3.239	0.453×10^{-6}	1.108	45.9	51.2	2.9			
98	1.75	3.086	0.472×10^{-6}	1.046	23.6	76.4				
98	2.00	3.101	0.470×10^{-6}	1.050	25.5	74.5				
98	2.25	3.118	0.468×10^{-6}	1.054	27.7	72.3				
98	2.50	3.136	0.465×10^{-6}	1.058	30.1	69.9				
98	2.75	3.157	0.463×10^{-6}	1.063	32.3	67.2				
98	3.75	3.259	0.449×10^{-6}	1.076	46.0	51.0				
98	4.75	3.393	0.431×10^{-6}	1.070	63.3	36.7				
99	Todos	3.676	0.393×10^{-6}	1.000	100.0					

1. Peso promedio por pie de la sarta de varillas en el aire, $W_r: 1.306$ Lbs/pie
2. Constante elástica para las varillas, $E_r = 1.138 \times 10^{-6}$ pulg/Lb-pie.
3. Factor de frecuencia $F_c: 1.093$
4. Desde la tabla 3-18 se halla el valor de la constante elástica de la tubería de producción $E_t: 0.307 \times 10^6$ pulg/Lb-pie.

C. Calcule las variables siguientes:

5. Carga diferencial de fluido sobre el área total del pistón:

$$\begin{aligned}
 F_o &= 0.340 \times G \times D^2 \times H && \text{Lbs.} \\
 &= 0.340 \times 0.909 \times 1.5625 \times 1770 \\
 &= 855 \text{ Lbs.}
 \end{aligned}$$

6. Constante elástica de la sarta total de varillas.

$$\begin{aligned}
 1/K_r &= E_r \times L && \text{pulg/lb.} \\
 &= 1.138 \times 10^{-6} \times 1770 \\
 &= 2.01 \times 10^{-3} && \text{pulg/lb.}
 \end{aligned}$$

7. Las libras de carga necesaria para alargar la sarta de varillas una cantidad igual a la longitud de la sarta

S está dada por:

$$\begin{aligned}
 S_{kr} &= \frac{S}{1/K_r} && \text{Lbs.} \\
 &= \frac{24}{2.01 \times 10^{-3}} = 11940 \text{ Lbs.}
 \end{aligned}$$



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

T A B L A N°3-18

DATOS DE TUBERIA DE PRODUCCION

Diámetro de Tubería	Diámetro exterior en Pulg.	Diámetro interior en Pulg.	Area Pulg. ²	Constante Elástica Pulg./lb-pié
1.900	1.900	1.610	0.800	0.500×10^{-6}
2 ³ / ₈	2.375	1.995	1.304	0.307×10^{-6}
2 ⁷ / ₈	2.875	2.441	1.812	0.221×10^{-6}
3 ¹ / ₂	3.500	2.992	2.590	0.154×10^{-6}
4	4.000	3.476	3.077	0.130×10^{-6}
4 ¹ / ₂	4.500	3.958	3.601	0.111×10^{-6}

BIBLIOTECA FIC
ESPOL



$$8. \quad F_0/S_{kr} = \frac{855}{11940} = 0.072$$

$$9. \quad N/N_0 = \frac{N \times L}{245000}$$

$$= \frac{8 \times 1770}{245000}$$

$$= 0.058$$

$$10. \quad N/N_0' = \frac{N/N_0}{F_c}$$

$$= \frac{0.058}{1.093}$$

$$= 0.053$$

11. La constante elástica de la porción de tubería no anclada está dada por:

$$1/K_t = E_t \times L \quad \text{pulg/Lb.}$$

$$= 0.307 \times 10^{-6} \times 1770$$

$$= 5.43 \times 10^{-4} \text{ pulg/Lb.}$$



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

D. La carrera efectiva del pistón S_p , y el desplazamiento de la bomba, PD se calcula de la siguiente manera:

12. Desde la figura 3-5 y partiendo con el valor de N/N_0' hasta encontrar la línea correspondiente al valor F_0/S_{kr} se puede determinar S_p/s : 0.93

13. La carrera efectiva del pistón está dada por:

$$S_p = \left[(S_p/s) \times s \right] - \left[F_0 \times 1/K_t \right] \quad \text{pulg.}$$

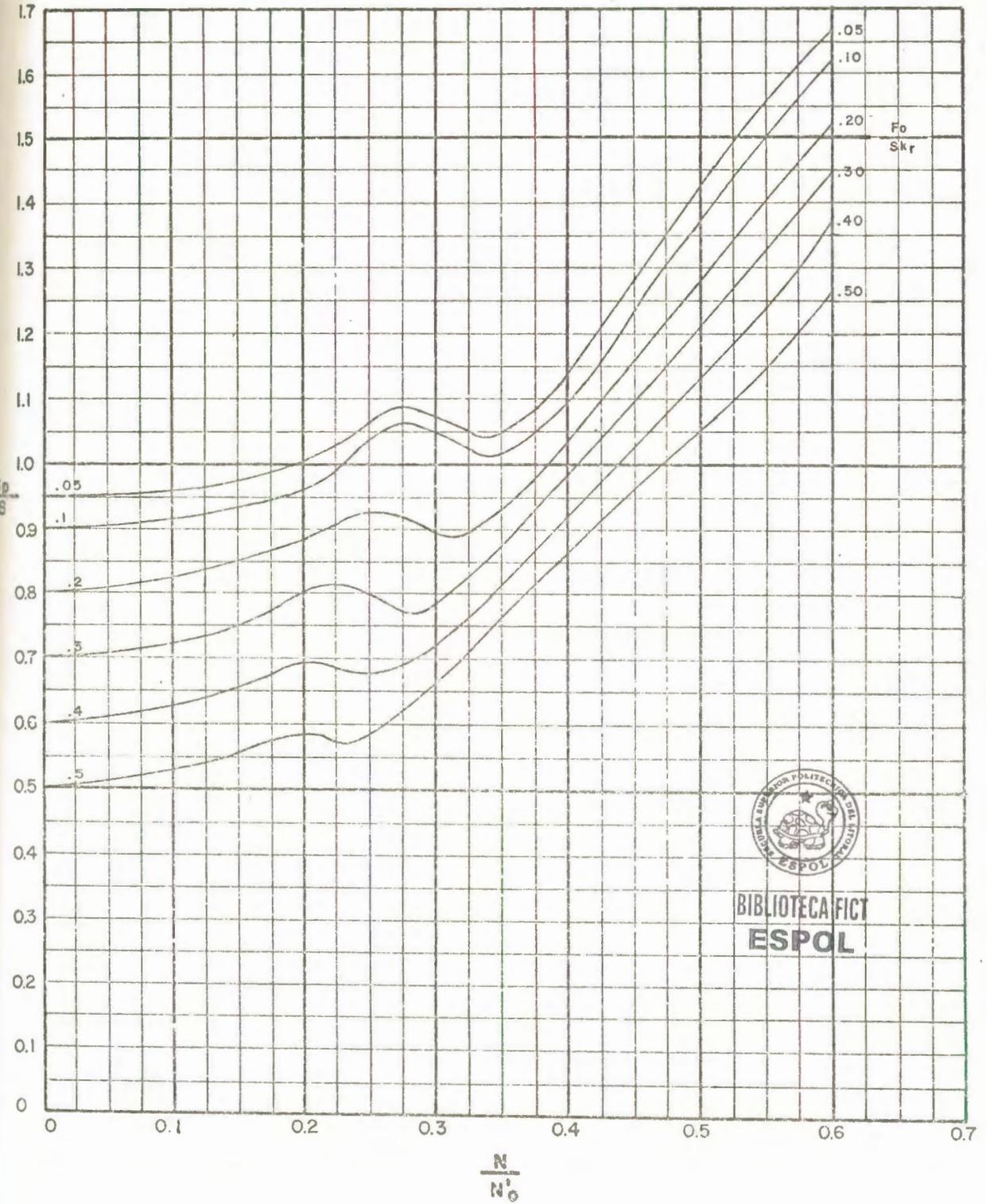


FIG.3-5 $\frac{S_p}{S}$, FACTOR DE CARRERA DEL PISTON

$$S_p = \left[0.93 \times 24 \right] - \left[855 \times 5.43 \times 10^{-4} \right]$$

$$= 21.85 \text{ pulg.}$$

14. El desplazamiento de la bomba será:

$$PD = 0.1166 \times S_p \times D \times N^2 \quad \text{Bbls/día}$$

$$= 0.1166 \times 21.85 \times 8 \times 1.5625$$

$$= 31.84 \text{ Bbls/día}$$

Si el desplazamiento calculado de la bomba no satisface los requerimientos, se tendrá que efectuar los ajustes apropiados en los datos asumidos y repetir los pasos desde el numeral 1 al 14.

E. Determine:

15. El peso total de la sarta de varillas en el aire según la fórmula:

$$W = W_r \times L \quad \text{Lbs.}$$

$$= 1.306 \times 1770$$

$$= 2312 \quad \text{Lbs.}$$

16. El peso total de la sarta de varillas en fluido se da

$$W_{rf} = W \left[1 - (0.128 \times G) \right] \text{ Lbs.}$$

$$= 2312 \left[1 - (0.128 \times 0.909) \right]$$

$$= 2043 \text{ Lbs.}$$

$$17. \quad W_{rf}/S_{kr} = \frac{2043}{11940} = 0.171$$

F. Registre los factores:

$$18. \quad F1/S_{kr} = 0.093$$



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

Este valor se obtiene desde la Fig. 3-6 conociendo N/N_0 y F_0/S_{kr}

19. Desde la Fig. 3-7 se halla:

$$F_2/S_{kr} = 0.012$$

20. Desde la Fig. 3-8 obtenemos:

$$2T/S_{kr}^2 = 0.080$$

21. $F_3/S_{kr} = 0.082$

Este factor es obtenido a partir de la fig. 3-9.

22. La constante de ajuste de torque, T_a ; para valores de W_{rf}/S_{kr} diferentes de 0.3 se obtiene del siguiente modo:

Desde la Fig. 3-10 y con los valores de N/N_0 y F_0/S_{kr} se determina el porcentaje de ajuste, que para este caso es 14%. Como $W_{rf}/S_{kr} = 0.171$, se tiene que:

$$0.3 - 0.171 = 0.129 \text{ (decremento)}$$

como el ajuste es para cada incremento o decremento de 0.1 se tiene:

$$1.29 \times 14\% = 18.06$$

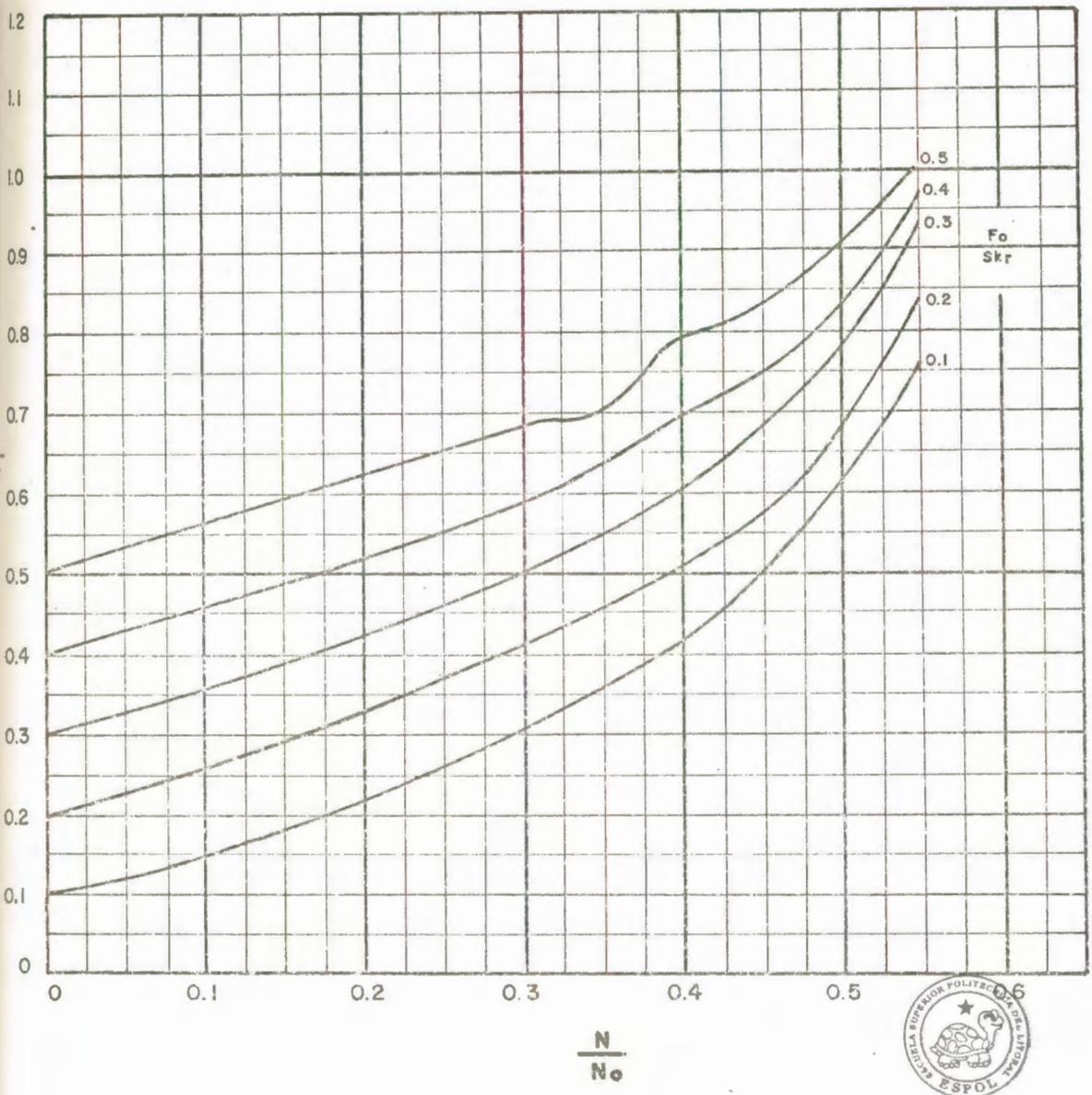
Por lo que:

$$T_a = 1.00 - 0.18 = 0.82$$

Si 0.129 hubiera sido un incremento sobre el valor de $W_{rf}/S_{kr} = 0.3$, entonces 0.18 tendría que ser sumado a



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

FIG.3-6 $\frac{F_1}{Skr}$ CARGA MAXIMA EN EL VASTAGO PULIDO

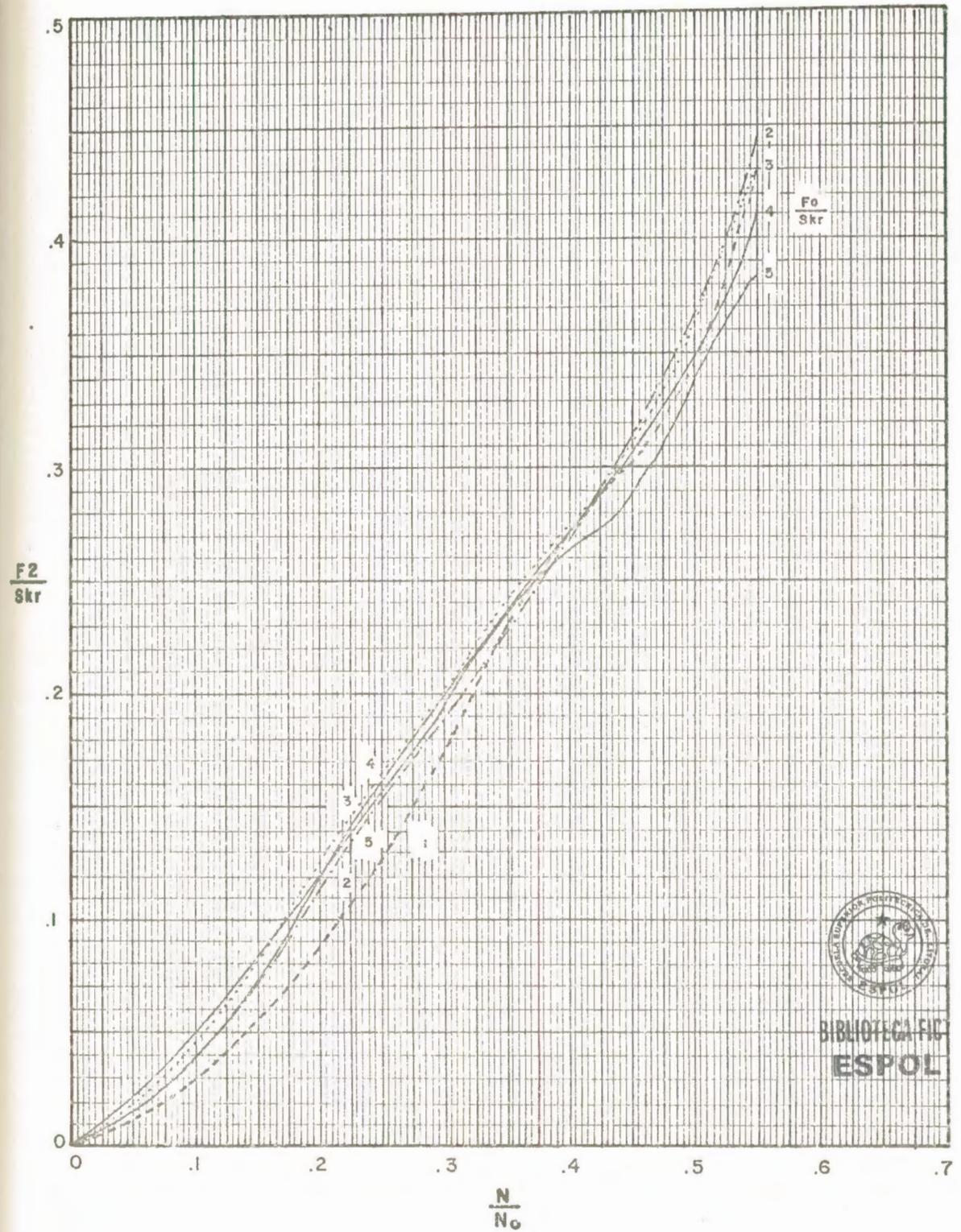


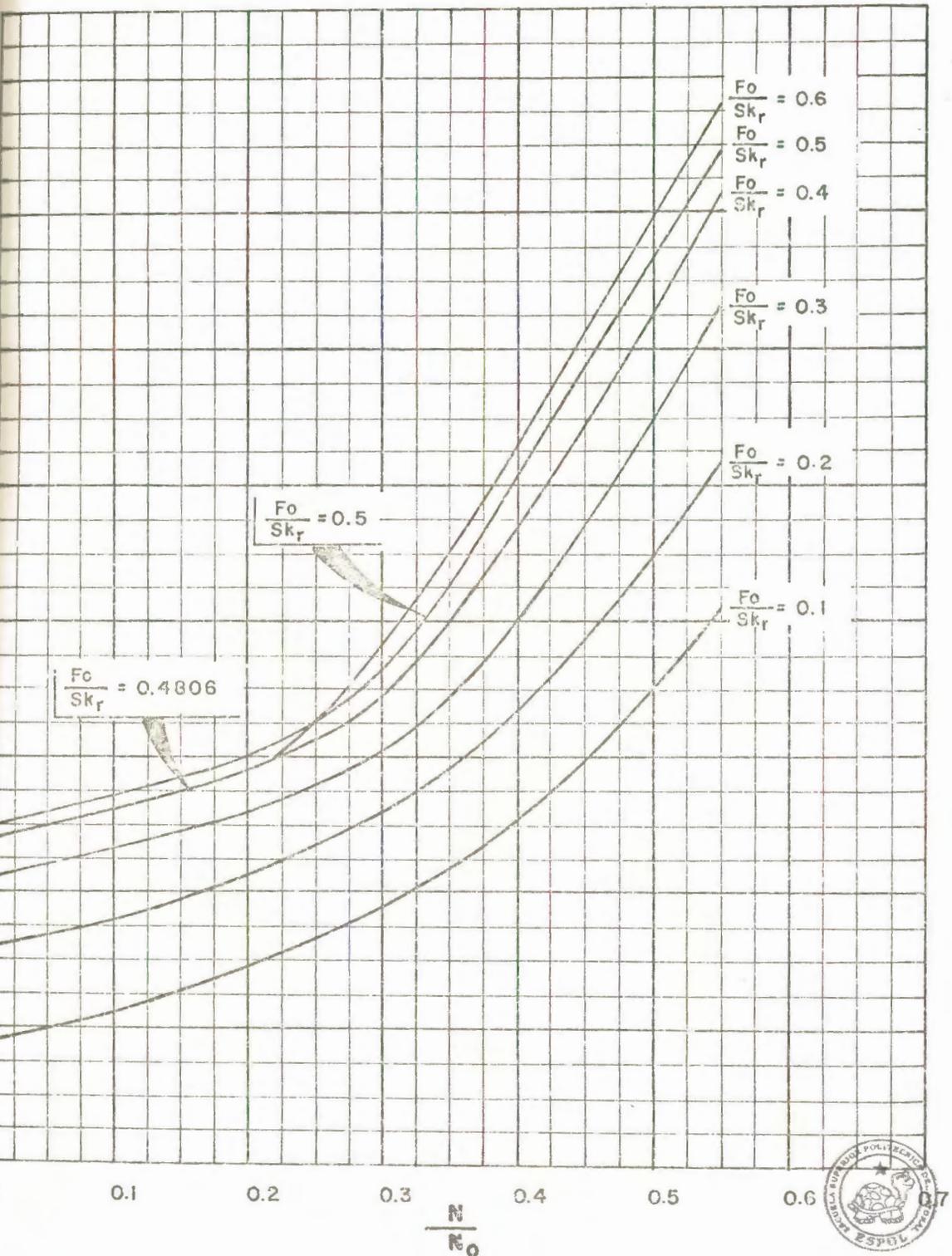
FIG. 3-7 $\frac{F_2}{Skr}$, CARGA MINIMA EN EL VASTAGO PULIDO



FIG. 3-8 $\frac{2T}{S^2kr}$ TORQUE MAXIMO



BIBLIOTECA FICT
ESPOL



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

FIG. 3-9 $\frac{F_3}{S k_r}$, POTENCIA EN EL VASTAGO PULIDO

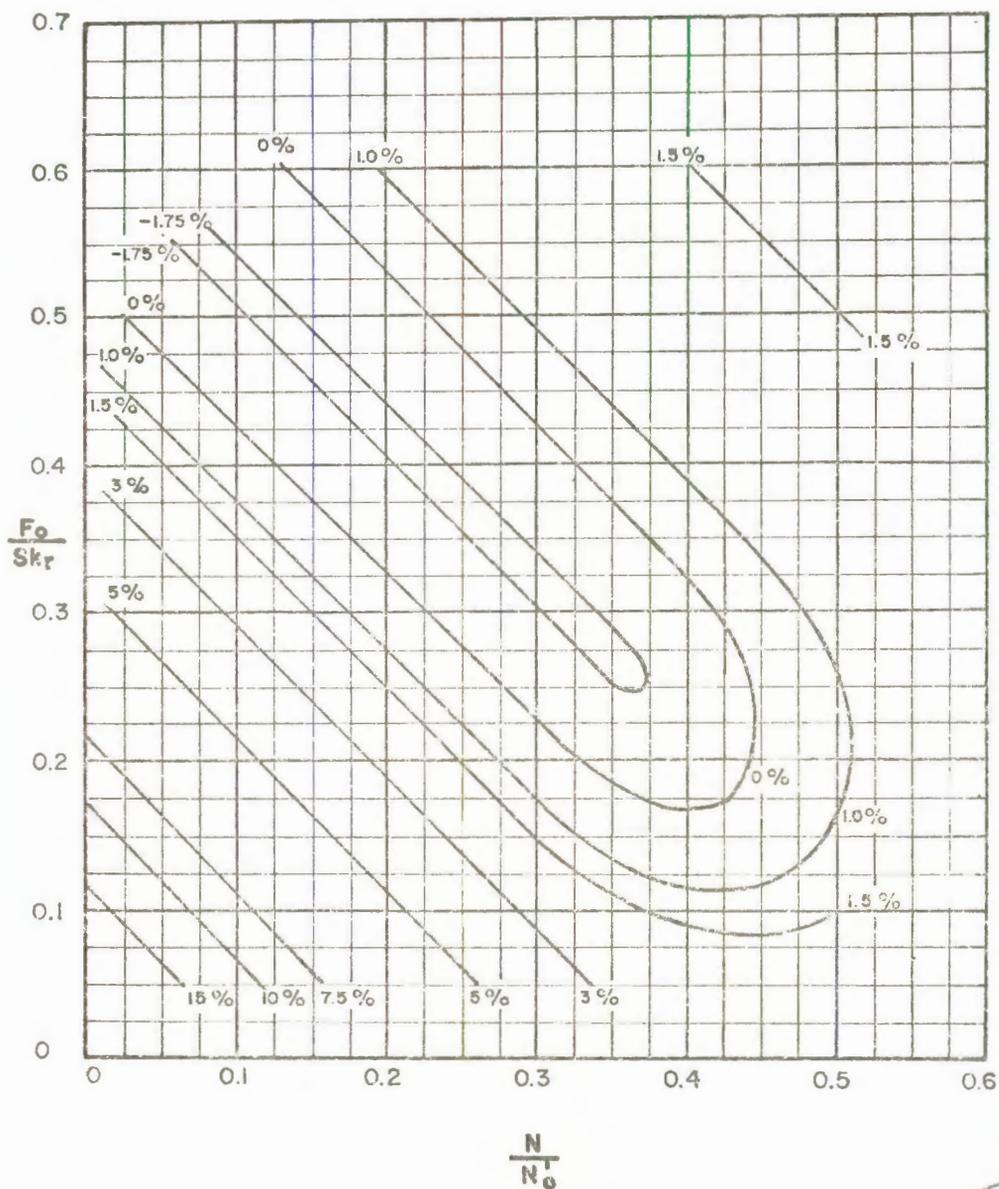


FIG. 3-10 T_o , AJUSTE DE TORQUE MAXIMO PARA VALORES DE $\frac{W_{rf}}{Sk_r}$ DIFERENTES A 0.3



BIBLIOTECA FICTA
ESPOL

1.00, para encontrar el valor de T_a .

G. Hallar la solución para las características de operación:

23. La carga máxima en el vástago pulido está dada por:

$$\begin{aligned} \text{PPRL} &= W_{rf} + \left[(F_1/S_{kr}) \times S_{kr} \right] \text{ Lbs.} \\ &= 2043 + \left[0.093 \times 11940 \right] \\ &= 3153 \text{ Lbs.} \end{aligned}$$

24. La carga mínima en el vástago pulido será:

$$\begin{aligned} \text{MPRL} &= W_{rf} - \left[(F_2/S_{kr}) \times S_{kr} \right] \text{ Lbs.} \\ &= 2043 - \left[0.012 \times 11940 \right] \\ &= 1900 \text{ Lbs.} \end{aligned}$$

25. El torque máximo en lb-pulg.:

$$\begin{aligned} \text{PT} &= (2T/S_{kr}^2) \times S_{kr} \times \frac{S}{2} \times T_a \text{ Lb-pulg.} \\ &= 0.08 \times 11940 \times 12 \times 0.82 \\ &= 9399 \text{ lb-pulg.} \end{aligned}$$

26. Potencia en el vástago pulido

$$\begin{aligned} \text{PRHP} &= (F_3/S_{kr}) \times S_{kr} \times S \times N \times 2.53 \times 10^{-6} \text{ h.p.} \\ &= 0.082 \times 11940 \times 24 \times 8 \times 2.53 \times 10^{-6} \\ &= 0.48 \text{ h.p.} \end{aligned}$$

27. Efecto de contrabalance requerido:

$$\begin{aligned} \text{CBE} &= 1.06 (W_{rf} + 1/2 F_0) \text{ Lbs.} \\ &= 1.06 (2043 + 4275) \\ &= 2619 \text{ Lbs.} \end{aligned}$$



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

En este punto concluye el diseño según el método API, pero, puede determinarse el número de pesos a instalarse siguiendo la explicación del numeral 17 de la parte B del método Marsh, Coberly y Asociados.

Para el presente diseño se necesitan 13 pesos que dan un total de 2690 Lbs. A fin de determinar el tipo de varillas que se usarán, se recomienda aplicar el siguiente método haciendo uso de la tabla 3-7.

28. Tensión o esfuerzo máximo:

$$\begin{aligned} T_{\max} &= \frac{PPRL}{A_r} \quad \text{Lb/pulg}^2 \\ &= \frac{3153}{0.442} \\ &= 7133 \quad \text{Lbs/pulg}^2 \end{aligned}$$

29. La tensión o esfuerzo mínimo está dada por la fórmula

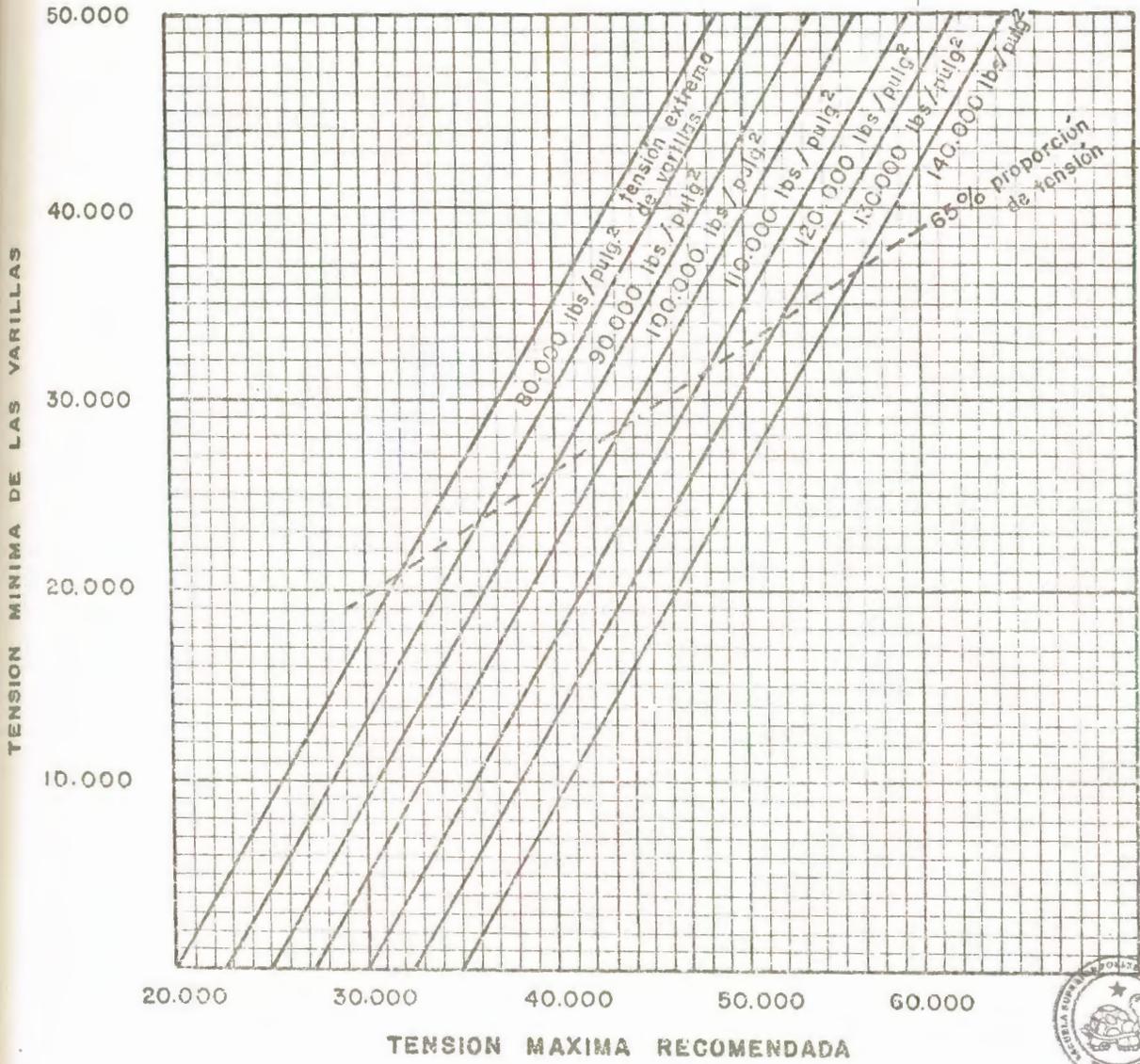
$$\begin{aligned} T_{\min} &= \frac{HPRL}{A_r} \quad \text{Lbs/pulg}^2 \\ &= \frac{1900}{0.442} = 4299 \quad \text{Lbs/pulg}^2 \end{aligned}$$



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

30. A partir de la figura 3-11 y con el valor de la tensión mínima hallada, se puede encontrar la tensión máxima recomendada para la varilla escogida.

En este caso tomaremos varillas de 90000 lbs/pulg² de tensión extrema encontrando que la tensión máxima re



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

FIG. 3 - II CORRECCION DEL RANGO DE CARGA

comendada es 25000 lbs/pulg² cuando el pozo funciona en condiciones ideales pero, para pozos de la península se aplicará un 80% de factor de servicio.

$$25000 \text{ Lb/pulg}^2 \times 0.80 = 20000 \text{ Lbs/pulg}^2$$

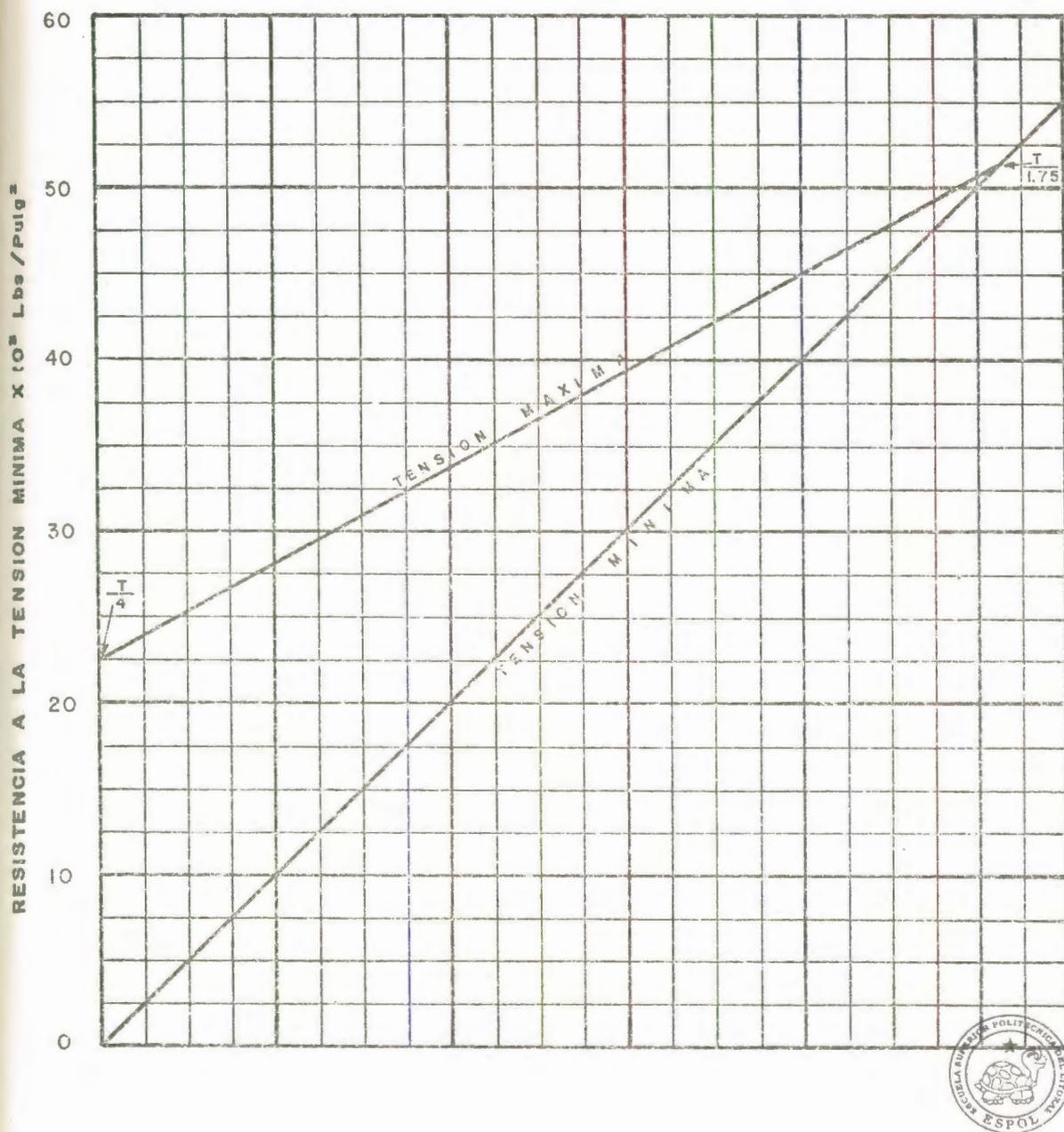
que es la tensión máxima recomendable y superior a la hallada de 7133 Lbs/pulg².

31. La comprobación del rango de cargas se puede efectuar a partir del Diagrama modificado de Goodman de la Fig. 3-12.

A continuación se presentan los cálculos tabulados de los diferentes diseños y luego un formato que puede ser usado para efectuar dichos cálculos.



BIBLIOTECA FIC1
ESPOL



BIBLIOTECA FICT
ESPOL
 VARILLAS

FIG. 3-12 DIAGRAMA MODIFICADO DE GOODMAN PARA CLASE "C" ($T=90000$ Lbs/Pulg²)

(Método API)

POZO: A

Caso N ^o	q B/D	H pies	L pies	ϕ_t pulg.	D pulg.	G	U. B. M.	S pulg.	N spm	Varillas ϕ'' %		W _r Lbs/pie
1*	12	1770	1770	2 $\frac{3}{8}$	1.25	0.909	B-16D-53-24	24	8	$\frac{5}{8}$	65.6	1.306
										$\frac{3}{4}$	34.4	
2	12	1770	1770	2 $\frac{3}{8}$	1.25	0.909	B-16D-53-24	30	8	$\frac{5}{8}$	65.6	1.306
										$\frac{3}{4}$	34.4	

Caso N ^o	E _r x 10 ⁻⁶ pulg/Lb-pie	F _c	E _t x 10 ⁻⁶ pulg/Lb-pie	F _o Lbs.	$\frac{1}{K_r}$ x 10 ⁻³ pulg/Lb.	Skr Lbs.	$\frac{F_o}{Skr}$	$\frac{N}{N_o}$	$\frac{N}{N_o'}$
1*	1.138	1.093	0.307	855	2.01	11940	0.072	0.058	0.053
2	1.138	1.093	0.307	855	2.01	14925	0.055	0.058	0.053

(Método API)

POZO: A

Caso N°	$\frac{1}{Kt} \times 10^{-4}$ pulg/Lbs.	$\frac{S_p}{S}$	S_p pulg.	PD B/D	W Lbs.	W_{rf} Lbs.	$\frac{W_{rf}}{S_{kr}}$	$\frac{F_1}{S_{kr}}$	$\frac{F_2}{S_{kr}}$	$\frac{2T}{S^2_{kr}}$	$\frac{F_3}{S_{kr}}$	T_a
1*	5.43	0.93	21.85	31.84	2312	2043	0.171	0.093	0.012	0.080	0.082	0.82
2	5.43	0.949	28.00	40.81	2312	2043	0.137	0.08	0.011	0.067	0.064	0.755

Caso N°	PPRL Lbs.	MPRL Lbs.	PT Lbs-pulg.	PRHP hp	CBE Lbs.	Contrapesos N° Lbs.	T_{max} Lbs/pulg ²	T_{min} Lbs/pulg ²	T_{max} recomendada Lbs/pulg ²
1*	3153	1900	9399	0.48	2619	13 2690	7133	4299	20000
2	3237	1879	11325	0.58	2619	13 2690	7342	4251	20000



DISEÑO DE INSTALACION DE BOMBEO MECANICO

(Método API)

POZO: B

Caso N°	q B/D	H pies	L pies	ϕ_t pulg.	D pulg.	G	U.B.M.	S pulg.	N spm.	Varillas ϕ'' %		W_r Lbs/pie
1	17	2190	2190	$2\frac{3}{8}$	1.25	0.914	B-16D-53-24	24	7	$\frac{5}{8}$	100	1.135
2*	17	2190	2190	$2\frac{3}{8}$	1.25	0.914	B-16D-53-24	24	12	$\frac{5}{8}$	100	1.135

Caso N°	$E_r \times 10^{-6}$ pulg/lb-pie	F_c	$E_t \times 10^{-6}$ pulg/Lb-pie	F_o Lbs.	$\frac{1}{K_r} \times 10^{-3}$ pulg/lb.	S_{kr} Lbs.	$\frac{F_o}{S_{kr}}$	$\frac{N}{N_o}$	$\frac{N}{N_o'}$
1	1.27	1.00	0.307	1063	2.78	8633	0.123	0.063	6.72
2*	1.27	1.00	0.307	1063	2.78	8633	0.123	0.107	6.72

BIBLIOTECA FICT
ESPOL



T A B L A N° 3-20 (Cont.)

DISEÑO DE INSTALACION DE BOMBEO MECANICO

(Método API)

POZO: B

Caso N°	$\frac{1}{Kt} \times 10^{-4}$ pulg/lb.	$\frac{S_p}{S}$	S_p pulg.	PD B/D	W Lbs.	W_{rf} Lbs.	$\frac{W_{rf}}{Skr}$	$\frac{F_1}{Skr}$	$\frac{F_2}{Skr}$	$\frac{2T}{S^2kr}$	$\frac{F_3}{Skr}$	T_a
1	6.72	0.888	20.60	26.27	2486	2195	0.254	0.15	0.016	0.115	0.119	0.996
2*	6.72	0.90	20.89	45.67	2486	2195	0.254	0.175	0.034	0.134	0.130	0.997

Caso N°	PPRL Lbs.	MPRL Lbs.	PT Lbs/pulg.	PRHP hp	CBE Lbs.	Contrapesos N° Lbs.	T_{max} Lbs/pulg ²	$T_{min.}$ Lbs/pulg ²	T_{max} recomendada Lbs/pulg ²
1	3490	2057	11866	0.44	2890	14 2855	11368	6700	21200
2*	3706	1901	13840	0.82	2890	14 2855	12072	6192	20960



POZO: C

Caso N°	q B/D	H pies	L pies	t pulg	D pulg.	G	U. B. M.	S pulg.	N spm	Varillas ϕ " %	W_r Lbs/pie
1*	8	2010	2010	$2\frac{3}{8}$	1.25	0.966	B-16D-53-24	24	8	$\frac{5}{8}$ 100	1.135
2	8	2010	2010	$2\frac{3}{8}$	1.50	0.966	B-16D-53-24	24	8	$\frac{5}{8}$ 100	1.135

Caso	$E_r \times 10^{-6}$ pulg/Lb-pie	F_c	$E_t \times 10^{-6}$ pulg/Lb-pie	F_o Lbs.	$\frac{1}{K_r} \times 10^{-3}$ pulg/lb	Skr Lbs.	$\frac{F_o}{Skr}$	$\frac{N}{N_o}$	$\frac{N}{N_o'}$
1*	1.270	1.00	0.307	1030	2.55	9412	0.109	0.066	0.066
2	1.270	1.00	0.307	1485	2.55	9412	0.157	0.066	0.066

POZO: C

Caso N°	$\frac{1}{KT} \times 10^{-4}$ pulg/lbs.	$\frac{S_p}{S}$	S_p pulg.	PD B/D	W Lbs.	W_{rf} Lbs.	$\frac{W_{rf}}{Skr}$	$\frac{F_1}{Skr}$	$\frac{F_2}{Skr}$	$\frac{2T}{S^2kr}$	$\frac{F_3}{Skr}$	T_a
1*	6.17	0.90	20.96	30.50	2281	1999	0.212	0.130	0.016	0.108	0.107	0.912
2	6.17	0.855	19.60	41.13	2281	1999	0.212	0.188	0.019	0.140	0.141	0.932

Caso N°	PPRL Lbs.	MPRL Lbs.	PT Lbs/pulg.	PRHP	CBE Lbs.	Contrapesos N° Lbs.	T_{max} Lbs/pulg ²	T_{min} Lbs/pulg ²	T_{max} recomendada Lb/pulg ²
1*	3223	1848	1124	0.49	2664	12 2690	10498	6020	20800
2	3768	1820	14737	0.64	2906	14 2855	12274	5928	20800

DISEÑO DE INSTALACION DE BOMBEO MECANICO

(Método API)

POZO: D

Caso N°	q B/D	H pies	L pies	ϕ t pulg.	D pulg.	G	U. B. M.	S pulg.	N spm	Varillas ϕ " %	W_r Lbs/pie
1*	10	2060	2060	$2\frac{3}{8}$	1.25	0.972	B-16D-53-24	24	8	$\frac{5}{8}$ 100	1.135
2	10	2060	2060	$2\frac{3}{8}$	1.25	0.972	B-16D-53-24	24	8	$\frac{5}{8}$ 65.6 $\frac{3}{4}$ 34.4	1.306

Caso N°	$E_r \times 10^{-6}$ pulg/lb-pie	F_c	$E_t \times 10^{-6}$ pulg/lb-pie	F_o Lbs.	$\frac{1}{K_r} \times 10^{-3}$ pulg/lbs.	Skr lbs.	$\frac{F_o}{Skr}$	$\frac{N}{N_o}$	$\frac{N}{N_o}'$
1*	1.27	1.00	0.307	1062	2.62	9160	0.116	0.067	0.067
2	1.138	1.093	0.307	1062	2.34	10255	0.103	0.067	0.061

BIBLIOTECA ICT
ESPOL



T A B L A N º 3 - 22 (Cont.)
 DISEÑO DE INSTALACION DE BOMBEO MECANICO
 (Método API)

POZO: D

Caso N ^o	$\frac{1}{Kt} \times 10^{-4}$ pulg/lbs.	$\frac{S_p}{S}$	S _p pulg.	PD B/D	W lbs.	W _{rf} Lbs.	$\frac{W_{rf}}{Sk_r}$	$\frac{F_1}{Sk_r}$	$\frac{F_2}{Sk_r}$	$\frac{2T}{S^2kr}$	$\frac{F_3}{Sk_r}$	T _a
1*	6.32	0.89	20.69	30.10	2338	2047	0.223	0.145	0.017	0.113	0.113	0.926
2	6.32	0.91	21.16	30.80	2690	2355	0.230	0.125	0.017	0.103	0.118	0.926

Caso N ^o	PPRL Lbs.	MPRL Lbs.	PT Lbs/pulg.	PRHP hp	CBE Lbs.	Contrapesos N ^o Lbs.	T _{max} lbs/pulg ²	T _{min.} Lbs/Pulg ²	T _{max} recomendada Lbs/pulg ²
1*	3375	1891	11502	0.50	2733	13 2690	10993	6160	20800
2	3637	2181	11738	0.59	3059	15 3015	8228	4924	20320

DISEÑO DE INSTALACION DE BOMBEO MECANICO

(Método API)

POZO: E

Caso Nº	q B/D	H pies	L pies	φt pulg.	D pulg.	G	U. B. M.	S pulg.	N spm	Varillas		W _r Lb/pie
										φ"	%	
1	14	4380	4380	2 $\frac{3}{8}$	1.25	0.91	C-57D-109-42	22	10	$\frac{3}{4}$	100	1.634
2*	14	4380	4380	2 $\frac{3}{8}$	1.50	0.91	C-57D-109-42	32	12	$\frac{5}{8}$	39.1	1.606
										$\frac{3}{4}$	32.6	
										$\frac{7}{8}$	28.3	
3	14	4380	4380	2 $\frac{3}{8}$	1.50	0.91	C-57D-109-42	32	12	$\frac{5}{8}$	39.1	1.606
				Anclada						$\frac{3}{4}$	32.6	
										$\frac{7}{8}$	28.3	

Caso Nº	E _r x 10 ⁻⁶ pulg/lb-pie	F _c Lbs.	E _t x 10 ⁻⁶ pulg/lbs-pie	F _o Lbs.	$\frac{1}{K_r}$ x 10 ⁻³ pulg/lbs.	Skr Lbs.	$\frac{F_o}{Skr}$	$\frac{N}{No}$	$\frac{N}{No'}$
1	0.883	1.00	0.307	2117	3.87	5685	0.37	0.178	0.178
2*	0.969	1.185	0.307	3049	4.244	7540	0.40	0.214	0.180
3	0.969	1.185	-	3049	4.244	7540	0.40	0.214	0.180

BIBLIOTECA FICHA
ESPOL

DISEÑO DE INSTALACION DE BOMBEO MECANICO
(Método API)

POZO: E

Caso N°	$\frac{1}{Kt} \times 10^{-3}$ pulg/lb.	$\frac{S_p}{S}$	S_p pulg.	PD B/D	W Lbs.	Wrf Lbs.	$\frac{Wrf}{Skr}$	$\frac{F_1}{Skr}$	$\frac{F_2}{Skr}$	$\frac{2T}{S^2kr}$	$\frac{F_3}{Skr}$	T_a
1	1.34	0.712	12.83	23.37	7157	6323	1.11	0.475	0.103	0.314	0.270	0.955
2*	1.34	0.680	17.66	55.60	7034	6215	0.824	0.530	0.132	0.340	0.295	0.934
3	0	0.680	21.76	68.50	7034	6215	0.824	0.530	0.132	0.340	0.295	0.934

Caso N°	PPRL Lbs.	MPRL Lbs.	PT Lb-pulg.	PRHP hp	CBE Lbs.	Contrapesos N° Lbs.	T_{max} Lbs/pulg ²	$T_{min.}$ Lbs/pulg ²	T_{max} recomendada Lbs/pulg ²
1	9023	5737	18753	0.85	7824	2 N°5 ARO. 7827	20414	12980	24000
2*	10211	5220	38310	2.16	8204	2 N°5 L 4 N°6 R 8014 4 N°6 L	16990	8686	22000
3	10211	5220	38310	2.16	8204	4 N°5 R 8014 4 N°6 L	16990	8686	22000

(Método API)

POZO: F

Caso Nº	q B/D	H pies	L pies	ϕ_t pulg.	D pulg.	G	U. B. M.	S pulg.	N spm	Varillas		W _r Lbs/pie
										ϕ "	%	
1*	40	2100	2400	$2\frac{3}{8}$	1.25	0.961	B-25D-53-30	25	13	$\frac{5}{8}$	100	1.135
2	40	2100	2400	$2\frac{3}{8}$	1.50	0.961	B-25D-53-30 6 B-16D-53-30	30	9	$\frac{1}{2}$	45.5	0.948
3	40	2100	2400	$2\frac{3}{8}$	1.50	0.961	B-25D-53-30	30	13	$\frac{5}{8}$	60.8	1.33
										$\frac{3}{4}$	39.2	

Caso Nº	$E_r \times 10^{-6}$ pulg/lb-pie	F _c	$E_t \times 10^{-6}$ pulg/lb-pie	F _o Lbs.	$\frac{1}{K_r} \times 10^{-3}$ pulg/lb	Skr Lbs.	$\frac{F_o}{Skr}$	$\frac{N}{N_o}$	$\frac{N}{N_o'}$
1*	1.27	1.00	0.307	1072	3.048	8202	0.13	0.127	0.127
2	1.597	1.142	0.307	1544	3.83	7833	0.197	0.088	0.077
3	1.119	1.103	0.307	1544	2.68	11194	0.138	0.127	0.115



(Método API)

POZO: F

Caso N°	$\frac{1}{Kt} \times 10^{-4}$ pulg/lbs.	$\frac{S_p}{S}$	S_p pulg.	PD B/D	W Lbs.	W _{rf} Lbs.	$\frac{W_{rf}}{Skr}$	$\frac{F_1}{Skr}$	$\frac{F_2}{Skr}$	$\frac{2T}{S^2kr}$	$\frac{F_3}{Skr}$	T _a
1*	7.37	0.89	21.46	50.81	2724	2389	0.29	0.20	0.046	0.149	0.143	0.9936
2	7.368	0.82	23.46	55.39	2275	1995	0.255	0.26	0.032	0.078	0.072	0.9939
3	7.37	0.89	25.56	87.17	3192	2799	0.25	0.208	0.046	0.156	0.145	0.968

Caso N°	PPRL Lbs.	MPRL Lbs.	PT Lb/pulg.	PRHP hp	CBE Lbs.	Contrapesos N° Lbs.	T _{max} lbs/pulg ²	T _{min.} lbs/pulg ²	T _{max} recomendada Lbs/pulg ²
1*	4029	2012	15178	0.96	3100	19 3050	13124	6554	21120
2	4032	1744	21020	0.94	2933	18 2920	12749	5681	20720
3	5127	2284	24858	1.60	3782	25 3780	11600	5167	20480

DISEÑO DE INSTALACION DE BOMBEO MECANICO

(Método API)

POZO: G

Caso N°	q E/D	H pies	L pies	φt pulg.	D pulg.	G	U. B. M.	S pulg.	N spm	Varillas φ" %	W _r lbs/pie
1	66	2300	2300	2 $\frac{3}{8}$	1.50	0.904	C-25D-53-30	30	13	5 $\frac{5}{8}$ 60.8	1.330
										3 $\frac{3}{4}$ 39.2	
2*	66	2300	2300	2 $\frac{3}{8}$	1.50	0.904	C-25D-53-30	30	13	5 $\frac{5}{8}$ 100	1.335
3	66	2300	2300	2 $\frac{3}{8}$	1.50	0.904	C-25D-53-30	30	14	1 $\frac{1}{2}$ 45.5	0.948
							6 C-25D-43-30			5 $\frac{5}{8}$ 54.5	

Caso N°	E _r x 10 ⁻⁶ pulg/lb-pie	F _c	E _t x 10 ⁻⁶ pulg/lb-pie	F _o Lbs.	$\frac{1}{K_r}$ x 10 ⁻³ pulg/lbs.	S _{kr} Lbs.	$\frac{F_o}{S_{kr}}$	$\frac{N}{N_o}$	$\frac{N}{N_o'}$
1	1.119	1.103	0.307	1591	2.57	11673	0.136	0.122	0.111
2*	1.270	1.00	0.307	1591	2.92	10274	0.155	0.122	0.122
3	1.59		0.307	1591	3.673	8168	0.195	0.131	0.115

BIBLIOTECA ACT
ESPOL



DISEÑO DE INSTALACIONES DE BOMBEO MECANICO

(Método API)

POZO: G

Caso N°	$\frac{1}{Kt} \times 10^{-4}$ pulg/lbs.	$\frac{S_p}{S}$	S_p pulg.	PD B/D	W Lbs.	W_{rf} Lbs.	$\frac{W_{rf}}{Skr}$	$\frac{F_1}{Skr}$	$\frac{F_2}{Skr}$	$\frac{2T}{S^2kr}$	$\frac{F_3}{Skr}$	T_a
1	7.061	0.887	25.49	86.93	3059	2705	0.23	0.20	0.043	0.149	0.144	0.953
2*	7.061	0.873	25.22	86.01	2611	2309	0.225	0.245	0.047	0.166	0.155	0.956
3	7.061	0.840	24.08	88.00	2180	1928	0.236	0.275	0.058	0.204	0.185	0.968

Caso N°	PPRL Lbs.	MPRL Lbs.	PT lb-pulg.	PRHP hp	CBE Lbs.	Contrapesos N° Lbs.	T_{max} lb/pulg ²	$T_{min.2}$ lb/pulg ²	T_{max} recomendada Lbs/pulg ²
1	5040	2203	24862	1.66	3710	4 N°7 R 3745 3 N°7 L	11402	4984	20400
2*	4826	1826	24457	1.57	3291	4 N°7 R 3400	15720	5948	20800
3	4174	1454	24194	1.60	2887	3 N°7 R 2780 2 N°7 L	13596	4736	20160

BIBLIOTECA FIC I
ESPOL



CALCULO DE DISEÑO PARA SISTEMAS CONVENCIONALES
DE BOMBEO MECANICO
(Método API)

COMPAÑIA:	CAMPO:	POZO:
PROVINCIA:	PAIS:	FECHA:

Desplazamiento requerido de la bomba, PD: Bbls/día.

Nivel del fluido, H: pies

Profundidad de la bomba, L: pies.

Diámetro de la tubería de producción, ϕ_t : . Está anclada? NO - SI

Diámetro del pistón, D: pulgadas.

Gravedad Específica del fluido, G:

Unidad de Bombeo, U.B.M.: (Tabla 3-3)

Longitud de carrera, S: pulg. (Tabla 3-3)

Velocidad de bombeo, N: s.p.m. Comprobar con (Fig. 3-2)

Varillas de succión: (Tabla 3-17)

REGISTRO DE FACTORES

1. $W_r =$ Lbs/pie (Tabla 3-17)
2. $E_r =$ $\times 10^{-6}$ pulg/Lb-pie (Tabla 3-17)
3. $F_c =$ (Tabla 3-17)
4. $E_t =$ $\times 10^{-6}$ pulg/Lb-pie (Tabla 3-18)

CALCULO DE VARIABLES NO DIMENSIONALES

5. $F_o = 0.340 \times G \times D^2 \times H = 0.340 \times$ \times \times =
6. $1/K_r = E_r \times L =$ $\times 10^{-6} \times$ = pulg/lb.
7. $Sk_r = S \div 1/K_r =$ \div = Lbs.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL
Lbs.

8. $F_O/Sk_r = \quad \div \quad =$
9. $N/No = N \times L \div 245.000 = \quad \times \quad \div 245.000 =$
10. $N/No' = N/No \div F_C = \quad \div \quad =$
11. $1/k_t = Et \times L = \quad \times \quad = \quad \text{pulg/Lbs.}$

SOLUCION PARA S_p Y PD

12. $S_p/S = \quad (\text{Fig. 3-5})$
13. $S_p = \left[(S_p/S) \times S \right] - \left[F_O \times 1/k_t \right]$
 $= \quad \times \quad - \quad = \quad \text{pulg.}$
14. $PD = 0.1166 \times S_p \times N \times D^2 = 0,1166 \times \quad \times \quad \times \quad = \quad \text{Bbls.}$

Si el desplazamiento calculado de la bomba no es satisfactorio, efectuar los ajustes apropiados en los datos asumidos y repetir los pasos desde 1 al 14.

DETERMINACION DE PARAMETROS NO DIMENSIONALES

15. $W = W_r \times L = \quad \times \quad = \quad \text{Lbs.}$
16. $W_{rf} = W \left[1 - (0.128 \times G) \right] = \left[1 - (0,128 \times \quad) \right] = \quad \text{Lbs.}$
17. $W_{rf}/Sk_r = \quad \div \quad =$

REGISTRO DE FACTORES NO DIMENSIONALES

18. $F_1/Skr = \quad (\text{Fig. 3-6})$
19. $F_2/Skr = \quad (\text{Fig. 3-7})$
20. $2I/S^2kr = \quad (\text{Fig. 3-8})$
21. $F_3/skr = \quad (\text{Fig. 3-9})$



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

$$22. T_a = \quad \quad \quad (\text{Fig. 3-10})$$

SOLUCION PARA LAS CARACTERISTICAS DE OPERACION

$$23. \text{PPRL} = W_{rf} + \left[(F_1 / S_{kr}) \times S_{kr} \right]$$

$$= \quad + \left[\quad \times \quad \right] = \quad \text{Lbs.}$$

$$24. \text{MPRL} = W_{rf} - \left[(F_2 / s_{kr}) \times S_{kr} \right] = \quad - \left[\quad \times \quad \right] = \quad \text{Lbs.}$$

$$25. \text{PT} = (2T / S^2_{kr}) \times S_{kr} \times S / 2 \times T_a$$

$$= \quad \times \quad \times \quad \times \quad = \quad \text{Lbs-pulg.}$$

$$26. \text{PRHP} = (F_3 / S_{kr}) \times S_{kr} \times S \times N \times 2,53 \times 10^{-6}$$

$$= \quad \times \quad \times \quad \times \quad \times \quad \times 10^{-6} = \quad \text{H.P.}$$

$$27. \text{CBE} = 1.06 (W_{rf} + 1/2 F_0)$$

$$= 1.06 \times (\quad + \quad) = \quad \text{Lbs.}$$

$$28. A_r: \quad (\text{Tabla 3-7})$$

$$T_{\max} = \frac{\text{PPRL}}{A_r} = \frac{\quad}{\quad} = \quad \text{Lbs/pulg}^2$$

$$29. T_{\min} = \frac{\text{MPRL}}{A_r} = \frac{\quad}{\quad} = \quad \text{Lbs/pulg}^2$$

$$30. T_{\max} \text{ recomendable} = \quad (\text{Fig. 3-11})$$

$$31. \text{Verificar la } T_{\max} \text{ y } T_{\min} \text{ con (Fig. 3-12)}$$

OBSERVACIONES:



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

3. Diagramas de los diferentes diseños

En los diagramas que a continuación se presentan se puede observar la instalación definitiva de subsuelo de acuerdo al sistema de producción por bombeo mecánico.

En ellos constan la tubería de revestimiento y de producción con sus diámetros, grado, peso y longitud al igual que todos los accesorios. Se indica también el diámetro y longitud de los diferentes tipos de varillas de succión instalados y las profundidades a que los disparos en la tubería de revestimiento, fueron efectuados.

Con literales se indican las especificaciones de las tuberías y varillas, señalándose con numerales, los accesorios instalados.



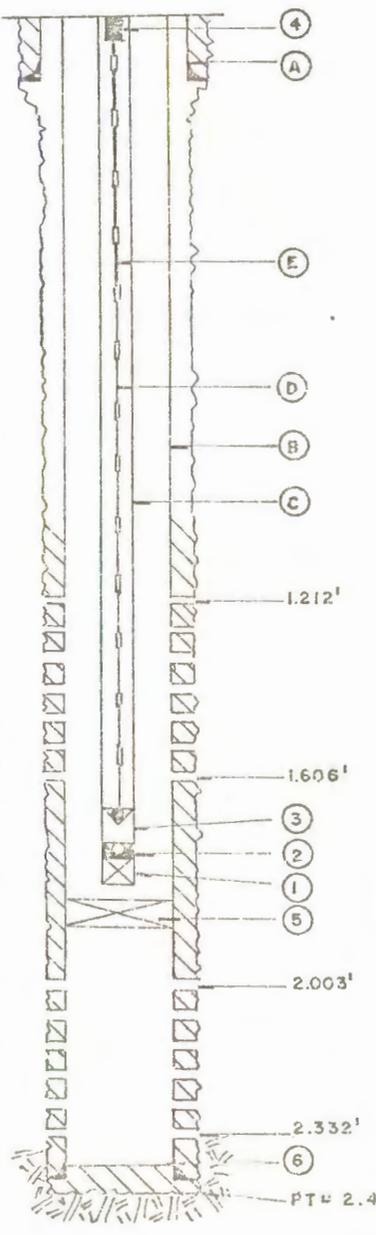
BIBLIOTECA FICT
ESPOL

FIGURA 3-13
 DIAGRAMA DE INSTALACION DE SUBSUELO

CAMPO:

POZO: A Caso N^o 1

FECHA:

Tuberías y Varillas de bombeo	Arreglo, disparos, tapones, etc.	Accesorios
<p>Tubería de Revestimiento:</p> <p>A. ϕ: $9\frac{5}{8}$ pulg. Grado: J-55 Peso : 32 lbs/pie En : 126 pies</p> <p>B. ϕ: $5\frac{1}{2}$ pulg. Grado: J-55 Peso : 14 lbs/pie En : 2413.24 pies</p> <p>Tubería de Producción</p> <p>C. ϕ: $2\frac{3}{8}$ pulg. Grado: J-55 Peso : 4.7 lbs/pie 8 hilos EUE Longitud: 1770 pies</p> <p>Varillas de Bombeo Clase: C</p> <p>D. ϕ: $\frac{5}{8}$ pulg. Longitud: 1150 pies</p> <p>E. ϕ: $\frac{3}{4}$ pulg. Longitud: 608 pies</p>	 <p>The diagram shows a vertical well installation. It features an outer casing (A) and an inner production tubing (B). A pump rod string (C) is attached to the production tubing. The pump rod string consists of several sections: a polished rod (D), a pump handle (E), and a pump rod (F). The diagram includes depth markers in feet: 1.212', 1.606', 2.003', 2.332', and PT 2.428'. Labels A through F indicate specific components or sections of the well.</p>	<p>Accesorios en tubería de Producción.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Trampa de gas tipo "Poorboy" $2\frac{3}{8}$" x 30' 2. Zapato $2\frac{3}{8}$" x 1' 3. Bomba Monarch FWB 2" x $1\frac{1}{4}$" x 8' en 1770' 4. Vástago pulido 9' x 1" <p>Tapones y Otros Accesorios.</p> <ol style="list-style-type: none"> 5. Tapón de cemento a 1825' 6. Collar flotante a 2388' <p>OBSERVACIONES: Luz: 24 Pies</p>



BIBLIOTECA FIC. ESPOL

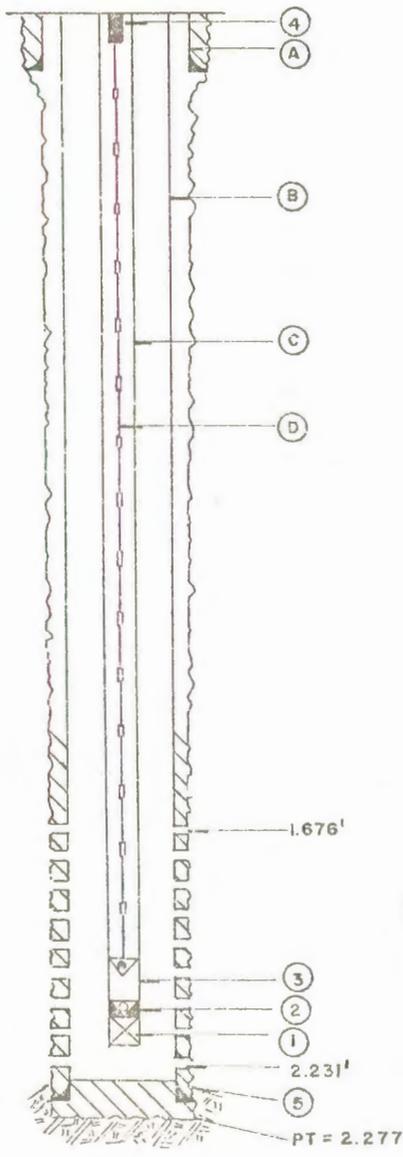
FIGURA 3-14

DIAGRAMA DE INSTALACION DE SUBSUELO

CAMPO:

POZO: B Caso N^o 2

FECHA:

Tuberías y Varillas de bombeo	Arreglo, disparos, tapones, etc.	Accesorios
<p>Tubería de Revestimien<u>to</u>:</p> <p>A. ϕ: $8\frac{5}{8}$ pulg. Grado: J-55 Peso : 28 lbs/pie En : 117 pies</p> <p>B. ϕ: $4\frac{1}{2}$ pulg. Grado: J-55 Peso : 9.5 lbs/pie En : 2245 pies</p>	 <p>The diagram shows a vertical well installation. It features an outer casing (A) and an inner production tubing (B). Various components are labeled with letters and numbers: 4 (gas trap), A (casing), B (casing), C (zapato), D (pump), 1.676' (depth), 3 (collar), 2 (float valve), 1 (plug), 2.231' (depth), 5 (plug), and PT = 2.277' (total depth).</p>	<p>Accesorios en tu<u>bería</u> de produ<u>cción</u>.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Trampa de gas tipo "Poor boy" $2\frac{3}{8}$" x 30' 2. Zapato $2\frac{3}{8}$" x 1' 3. Bomba Monarch RWB 2" x $1\frac{1}{4}$" x 8' en 2190' 4. Vástago Pulido 9' x 1" <p>Tapones y otros Accesorios.</p> <ol style="list-style-type: none"> 5. Collar flotan<u>te</u> a 2245' 6. 7. <p>OBSERVACIONES:</p> <p>Luz: 24 pies</p>
<p>Tubería de Producción</p> <p>C. ϕ: $2\frac{3}{8}$ pulg. Grado: J-55 Peso : 4.7 lbs/pie 8 hilos EUE Longitud: 2190 pies</p>		
<p>Varillas de Bombeo</p> <p>Clase: C</p> <p>D. $\frac{5}{8}$ pulg. Pies : 2178</p> <p>E. ϕ Pies :</p> <p>F. ϕ</p>		

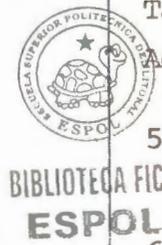
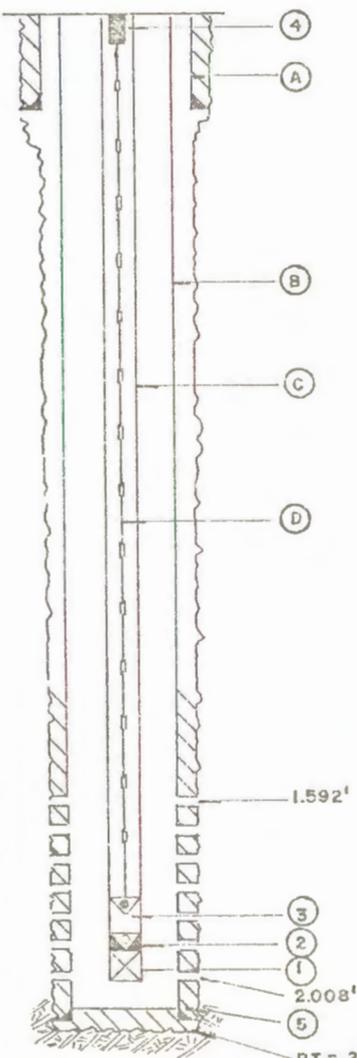


FIGURA 3-15
DIAGRAMA DE INSTALACION DE SUBSUELO

CAMPO:

POZO: C Caso N^o 1

FECHA:

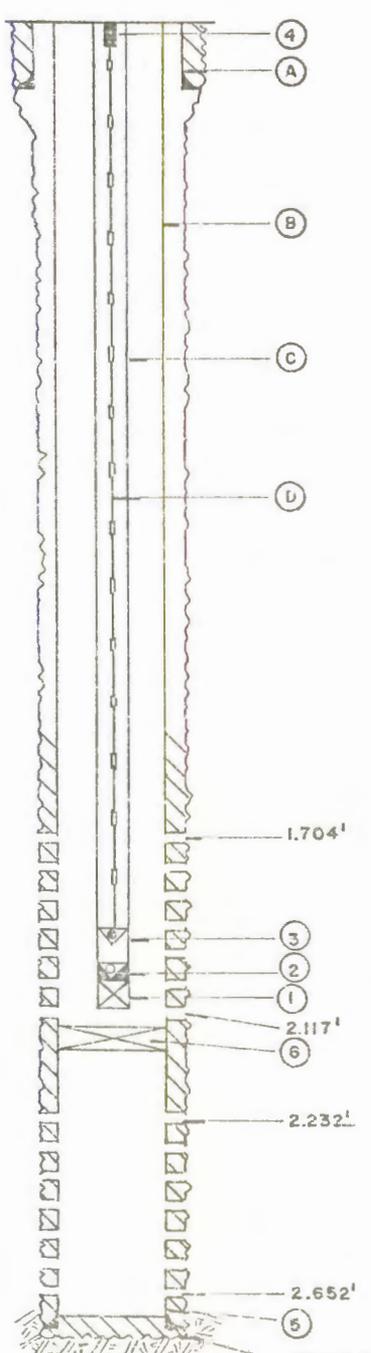
Tuberías y Varillas de Bombeo	Arreglo, Disparos, tapones, etc.	Accesorios
<p>Tubería de Revestimiento.</p> <p>A. ϕ : $9\frac{5}{8}$ pulg. Grado: J-55 Peso : 32 lbs/pie En : 220 pies</p> <p>B. ϕ : $5\frac{1}{2}$ pulg. Grado: J-55 Peso : 14 lbs/pie En : 2074 pies</p> <p>Tubería de producción</p> <p>C. ϕ : $2\frac{3}{8}$ pulg. Grado: J-55 Peso : 4.7 lbs/pie 8 hilos EUE Longitud: 2010 pies</p> <p>Varillas de Bombeo Clase: C</p> <p>D. ϕ : $\frac{5}{8}$" Longitud: 1998 pies</p> <p>E. ϕ Pies:</p>	 <p>The diagram shows a vertical well installation. It features an outer casing (A) and an inner production tubing (C). A pump rod string (D) is attached to the bottom of the production tubing. The casing is secured with cement at the top. The production tubing is secured with cement at the bottom. The pump rod string is secured with a float collar (E) at the bottom. The diagram includes depth markers: 1.592' from the top to the start of the production tubing, 2.008' from the top to the bottom of the production tubing, and PT = 2.078' from the top to the bottom of the pump rod string. Labels A, B, C, D, and E are placed at various points along the wellbore.</p>	<p>Accesorios en tubería de producción.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Trampa de gas tipo "Poor boy" $2\frac{3}{8}$" x 30' 2. Zapato $2\frac{3}{8}$" x 1' 3. Bomba Monarch RWB 2" x $1\frac{1}{4}$" x 8' en 2010' 4. Vástago pulido 1" x 9' <p>Tapones y otros Accesorios</p> <ol style="list-style-type: none"> 5. Collar flotante a 2066' 6. <p>OBSERVACIONES: Luz: 25 pies</p>



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

FIGURA 3-16
 DIAGRAMA DE INSTALACION DE SUBSUELO

CAMPO: POZO: D Caso N^o 1 FECHA:

Tuberías y Varillas de Bombeo	Arreglo, Disparos, Tapones, etc.	Accesorios
<p>Tubería de Revestimiento.</p> <p>A. ϕ: $8\frac{5}{8}$" Grado: J-55 Peso: 28 lbs/pie En: 135 pies</p> <p>B. ϕ: $4\frac{1}{2}$ pulg. Grado: J-55 Peso: 9.5 lbs/pie En: 2693.62 Pies</p> <p>Tubería de Producción</p> <p>C. ϕ: $2\frac{3}{8}$ pulg. Grado: J-55 Peso: 4.7 Lbs/pie 8 hilos EUE Longitud: 2060 pies</p> <p>Varillas de Bombeo</p> <p>Clase: C</p> <p>D. ϕ: $\frac{5}{8}$ pulg. Pies: 2049'</p> <p>E. ϕ Pies</p>	 <p>The diagram shows a vertical well installation. It features an outer casing (A) and an inner production tubing (B). A pump rod string (C) is attached to the bottom of the production tubing. The pump rod string consists of several sections, with the bottom section (D) being a 5/8 inch diameter rod. The total length of the pump rods is 2049 feet. The production tubing is 2693.62 feet long. The casing is 135 feet long. The well is 29 feet deep. The diagram includes depth markers: 1.704', 2.117', 2.232', 2.652', and PT = 2.711'. Labels A, B, C, D, and E point to different components of the well.</p>	<p>Accesorios en tubería de producción.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Trampa de gas tipo "Poor boy" $2\frac{3}{8}$" x 30' 2. Zapato $2\frac{3}{8}$" x 1' 3. Bomba Monarch RWB 2" x $1\frac{1}{4}$" x 8' en 2060' 4. Vástago pulido $1\frac{1}{4}$" x 8' 5. Tapones y otros Accesorios 6. Collar flotante en 2680.69' 7. Tapón en 2120' <p>OBSERVACIONES: Luz: 29 pies</p>



BIBLIOTECA FIC
 ESPOL

FIGURA 3-17

DIAGRAMA DE INSTALACION DE SUBSUELO

CAMPO: POZO: E Caso N° 2 FECHA:

Tuberías y Varillas de Bombeo	Arreglo, Disparos, Tapones, etc.	Accesorios
<p>Tubería de Revestimiento</p> <p>A. ϕ: $9\frac{5}{8}$ pulg.</p> <p>Grado: J-55</p> <p>Peso : 32 lbs/pie</p> <p>En : 285'</p> <p>B. ϕ: $5\frac{1}{2}$ pulg.</p> <p>Grado: J-55</p> <p>Peso : 14 lbs/pie</p> <p>En : 4441 pies</p>		<p>Accesorios en tubería de producción.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Trampa de gas tipo "Poorboy" $2\frac{3}{8}$" x 30' 2. Zapato $2\frac{3}{8}$" x 1' 3. Bomba Monarch RWB 2" x $1\frac{1}{2}$" x 8' en 4380' 4. Vástago Pulido 9' x $1\frac{1}{4}$"
<p>Tubería de Producción</p> <p>C. ϕ: $2\frac{3}{8}$ pulg.</p> <p>Grado: J-55</p> <p>Peso : 4.7 lbs/pie</p> <p>8 hilos EUE</p> <p>Longitud: 4380'</p> <p>Varillas de Bombeo</p> <p>Clase: C</p> <p>D. ϕ: $\frac{5}{8}$ pulg.</p> <p>Pies: 1650</p> <p>E. ϕ: $\frac{3}{4}$ pulg.</p> <p>Pies: 1450</p> <p>F. ϕ: $\frac{7}{8}$ pulg.</p> <p>Pies: 1268</p>		<p>Tapones y otros Accesorios</p> <ol style="list-style-type: none"> 5.  6. BIBLIOTECA FICX ESPOL <p>OBSERVACIONES:</p> <p>Luz: 30 pies</p>

FIGURA 3-18

DIAGRAMA DE INSTALACION DE SUBSUELO

CAMPO:

POZO: F Caso N^o 1

FECHA:

Tuberías y Varillas de Bombeo	Arreglo, Disparos, Tapones, etc.	Accesorios
<p>Tubería de Revestimiento.</p> <p>A. ϕ: $8\frac{5}{8}$ pulg.</p> <p>Grado: J-55</p> <p>Peso : 28 lbs/pie</p> <p>En : 152 Pies</p> <p>B. ϕ : $4\frac{1}{2}$ pulg.</p> <p>Grado: J-55</p> <p>Peso : 9.5 lbs/pie</p> <p>En : 2576 Pies</p>	<p>The diagram shows a vertical well casing and production tubing. The casing is labeled with 'A' and 'B' at different sections. The production tubing is labeled with 'C' and 'D'. Various components are numbered 1 through 5. Depth markers are provided: 2.131', 2.548', and PT = 2.602'.</p>	<p>Accesorios en tubería de producción.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Trampa de gas tipo "Poor boy" $2\frac{3}{8}$" x 30' 2. Zapato $2\frac{3}{8}$" x 1' 3. Bomba Monarch RWA 2" x $1\frac{1}{4}$" x 10' en 2400' 4. Vástago Pulido $1\frac{1}{4}$" x 8'
<p>Tubería de Producción</p> <p>C. ϕ : $2\frac{3}{8}$ pulg.</p> <p>Grado: J-55</p> <p>Peso : 4.7 lbs/pie</p> <p>8 hilos EUE</p> <p>Longitud: 2400'</p> <p>Varillas de bombeo</p> <p>Clase: C</p> <p>D. ϕ : $\frac{5}{8}$ pulg.</p> <p>Pies: 2387'</p> <p>E. ϕ</p> <p>Pies:</p>		<p>Tapones y Otros Accesorios</p> <ol style="list-style-type: none"> 5. Collar flotante en 2564' 6. 7. <p>OBSERVACIONES:</p> <p>Fondo actual: 2535' debido a producción de arena.</p> <p>Luz: 104 pies</p>

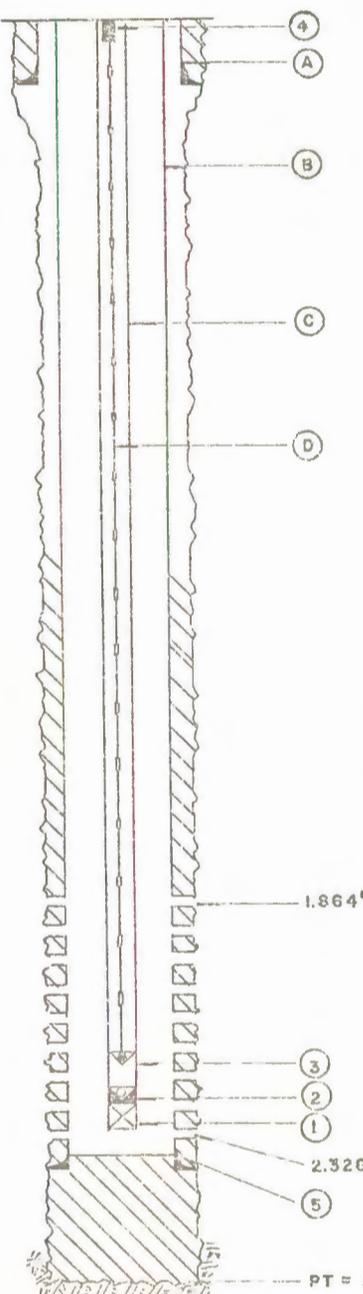
FIGURA 3-19

DIAGRAMA DE INSTALACION DE SUBSUELO

CAMPO:

POZO:G Caso N^o 2

FECHA:

Tuberías y Varillas de bombeo	Arreglo, Disparos, tapones, etc.	Accesorios
<p>A. ϕ: $8\frac{5}{8}$ pulg. Grado: J-55 Peso : 28 lbs/pie En : 131.53 pies</p> <p>B. ϕ: $4\frac{1}{2}$ pulg. Grado: J-55 Peso : 9.5 lbs/pie En : 2375 pies</p>	 <p>The diagram shows a vertical well casing and tubing assembly. It is divided into sections labeled A through F. Section A is the top casing, B is the main casing, C is a section of tubing, and D is another section of tubing. Below D are sections E and F, which are likely part of the production tubing. Depth markers are provided: 131.53' for the top of section A, 2375' for the bottom of section D, 2326' for the bottom of section F, and a total depth of 2517' (PT) at the bottom. A gas trap (Poorboy) is located near the top, and a pump (Monarch) is installed in section C. A float collar is located in section F. The well is surrounded by a concrete pad.</p>	<p>Accesorios en tubería de producción.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Trampa de gas tipo "Poorboy" $2\frac{3}{8}$" x 30' 2. Zapato $2\frac{3}{8}$" x 1' 3. Bomba Monarch RWB 2" x $1\frac{1}{2}$" x 10' en 2300' 4. Vástago Pulido 1" x 8' <p>Tapones y otros Accesorios</p> <ol style="list-style-type: none"> 5. Collar flotante en 2354.25' 6. <p>OBSERVACIONES: Luz: 23.25'</p>
<p>Tubería de producción</p> <p>C. ϕ: $2\frac{3}{8}$ pulg. Grado: J-55 Peso : 4.7 lbs/pie 8 hilos EUE Longitud: 2300 pies</p> <p>Varillas de bombeo</p> <p>Clase: C</p> <p>D. ϕ: $5\frac{5}{8}$ pulg. Pies: 2287'</p> <p>E. ϕ Pies:</p> <p>F. ϕ Pies:</p>		



IV. DISCUSION DE RESULTADOS

La presente discusión estará encaminada a la comparación de los resultados obtenidos en cada uno de los métodos en los cuales, se han aplicado las mismas variaciones. Para el efecto se presentan tabulados en resumen dichos resultados. (Tabla N^o 4-1).

Donde:

S_p : longitud de carrera neta del pistón

q : producción de fluido a obtenerse

PD: desplazamiento de la bomba

W_{max} , PPRL: carga máxima en el vástago pulido

W_{min} , MPRL: carga mínima en el vástago pulido

T_p , PT: torque máximo en el engranaje reductor

C_i , CBE: contrabalance necesario

En los dos métodos, los valores obtenidos para S_p (columna 1) son aproximadamente iguales, notándose tan solo, una mínima variación.

A fin de establecer una comparación entre los valores de q (producción a obtenerse) y PD (desplazamiento de la bomba) (columna 2), se deberá multiplicar los resultados de PD por la eficiencia volumétrica de la bomba E_v , con lo cual se establecerá que los valores obtenidos son muy cercanos.

Los valores de carga máxima (columna 3) son mayores en el método API en un porcentaje que varía del 3 al 8% y la carga



BIBLIOTECA FIC1
ESPOL

POZO	CASO	(1) METODOS		(2) METODOS		(3) METODOS		(4) METODOS		(5) METODOS		(6) METODOS		(7) METODOS	
		MC	API	MC	API	MC	API	MC	API	MC	API	MC	API	MC	API
		S _p pulg.	S _p pulg.	q B/D	PD B/D	W _{max} Lbs.	PPRL Lbs.	W _{min} Lbs.	MPRL Lbs.	T _p Lbs-pulg	PT lbs-pulg.	C _i Lbs.	CBE Lbs.	H _b hp	PRHP hp
A	1	21.87	21.85	25.47	31.48	2980	3153	2023	1900	8776	9399	2367	2619	0.87	0.48
	2	27.89	28.00	32.49	40.81	2991	3237	2011	1879	11135	11325	2367	2619	1.11	0.58
B	1	20.36	20.60	20.75	26.27	3351	3490	2202	2057	10230	11860	2630	2890	0.86	0.44
	2	20.57	20.89	35.94	45.67	3432	3706	2121	1901	11202	13840	2630	2890	1.49	0.82
C	1	20.78	20.96	24.20	30.50	3128	3223	1995	1848	9970	11124	2418	2664	0.95	0.49
	2	19.31	19.60	32.38	41.13	3582	3768	1995	1820	12831	14737	2645	2906	1.11	0.64
D	1	20.59	20.69	24.00	30.10	3210	3375	2042	1891	10259	11502	2479	2733	0.96	0.50
	2	20.90	21.16	24.34	30.80	3514	3637	2331	2181	10772	11738	2754	3059	1.00	0.59
E	1	11.55	12.83	16.81	23.37	8651	9023	6093	5737	22429	18753	6960	7824	2.22	0.85
	2	16.40	17.66	41.25	55.60	9725	10211	5763	5220	44062	38310	7338	8204	4.37	2.16
	3	20.50	21.76	51.56	68.50	9725	10211	5763	5220	44062	38310	7338	8204	4.82	2.16
F	1	21.32	21.46	40.35	50.81	3738	4029	2191	2012	13451	15178	2802	3100	1.86	0.96
	2	23.02	23.46	43.42	55.39	3854	4032	1934	1744	18565	21020	2754	2933	1.70	0.94
	3	25.18	25.56	68.61	87.17	4837	5127	2607	2284	22324	24868	3525	3785	2.94	1.60
G	1	25.19	25.49	68.63	86.93	4554	5040	2529	2203	20359	24862	3365	3710	2.71	1.66
	2	24.85	25.22	67.00	86.01	4138	4826	2175	1826	19263	24457	3004	3291	2.50	1.57
	3	24.85	25.22	69.00	88.00	3715	4174	1762	1454	18505	24194	2613	2887	2.45	1.60



mínima (columna 4) para este mismo método, es menor en un rango entre 6 y 10% comparada con los valores respectivos obtenidos en el método Marsh y Asociados, lo que trae como consecuencia que el rango de cargas en el método API sean mayores.

A excepción del Pozo E, el torque máximo (columna 5) también se presenta mayor según el método API siendo para todos los casos el contrabalance necesario (columna 6); mayor para el mismo método: estos valores y los de carga máxima - del método API nos permiten seleccionar con mayor seguridad, la unidad de bombeo mecánico a instalarse.

Existe una grandiferencia entre los valores obtenidos en la columna 7, ya que el método Marsh y Asociados, calcula la potencia necesaria del motor que tiene que ser mayor a la potencia necesaria en el vástago pulido calculada en el método API debido a que, la primera incluye alguna pérdida de potencia en la unidad de bombeo mecánico.



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. CONCLUSIONES

1. Al utilizar una sarta de varillas telescópicas, se logra disminuir las tensiones máximas y mínimas y dar mayor rigidez a la sarta evitando posibles rozamientos de ella, con la tubería de producción.
2. La utilización de tubería de producción anclada, trae como consecuencia una mayor producción de fluido, debido a que se incrementa la carrera neta del pistón.
3. El rango de cargas es mejorado con la disminución del tamaño del pistón o por la disminución de la velocidad de bombeo.
4. Al incrementar la longitud de carrera del vástago pulido, se logra obtener, un aumento en el factor de aceleración y producción de fluido, debido al lógico incremento de la carrera neta del pistón, pero se presenta como desventaja que, el torque máximo, la carga máxima y la potencia necesaria para el motor también se hacen mayores.
5. A medida que la velocidad de bombeo (N) es mayor **ESPOL**-
tienen las mismas ventajas y desventajas que en el numeral anterior con la diferencia de que el valor de la carrera neta del pistón aumenta en pequeña proporción influenciado



BIBLIOTECA FICT

ESPOL

tan solo por la mayor aceleración.

6. Los valores de torque y tensión máxima varían directamente con el diámetro del pistón.

2. RECOMENDACIONES

1. La elección de la unidad de bombeo mecánico está relacionada con las cargas que ésta debe soportar durante el ciclo de bombeo, por lo tanto la capacidad de la unidad seleccionada no debe estar por debajo de las cargas que posiblemente se tengan. Por el contrario debe incluirse un rango de seguridad.
2. El uso del dinamómetro a fin de efectuar el control del buen mantenimiento del equipo y las características de producción de un pozo, se hace indispensable; ya que, una vez interpretados correctamente los datos obtenidos en los diagramas dinamométricos, sirven para realizar una práctica de bombeo más eficiente y económica, pues, son las fallas mecánicas, los principales responsables de los excesivos costos de extracción.
3. Cualquier tendencia a mejorar la eficiencia de operación, no deberá efectuarse acelerando el funcionamiento del equipo en procura de mayor producción ya que, significaría en muchos casos, cargas innecesarias en la estructura y posible fatiga en las varillas. Es preferible un pistoneo largo y lento.



BIBLIOTECA PICT
ESPOL

4. El "golpe de fluido" que acorta la vida de las varillas por doblamiento, puede ser evitado con el uso de menor desplazamiento de la bomba, o anclas de gas.
5. Debe usarse el pistón más pequeño capaz de mantener la producción a fin de evitar cargas innecesarias para las varillas.
6. A fin de efectuar mediciones con "sonolog" se hace necesario que las salidas laterales de la cabeza del pozo, se encuentren por lo menos a 4" sobre el terreno y de estar cerradas, tengan neoplos y una válvula de diámetro concordante.
7. El contrapeso debe ser chequeado periódicamente a medida que las condiciones de operación cambien.
8. La base de cemento donde se asentará la unidad de bombeo mecánico debe estar bien consolidada y nivelada para evitar posibles vibraciones que a la larga producen ruptura de las varillas.
9. El equipo superficial debe ser centrado para lo cual, una práctica segura muy utilizada consiste, **ESPOL** ar una plomada desde el extremo de la "cabeza de caballo" de la unidad de bombeo mecánico y hacerla coincidir con el centro de la tubería de producción.



BIBLIOTECA FICT

ESPOL

10. Es recomendable la utilización del método API debido a que en una gran mayoría de los cálculos se ha encontrado que los valores calculados por este método han sido razonables al compararlos con los valores medidos, sin embargo, en determinados casos dichos valores no deben ser siempre iguales a la predicción del rendimiento del sistema de bombeo mecánico.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

VI. APENDICE

1.1. OPERACION Y EQUIPOS DE BOMBEO MECANICO

El principio de producir petróleo por medio de una bomba de subsuelo accionada por una unidad de bombeo, que actúa desde la superficie por medio de varillas, se ha conocido probablemente desde hace 2000 años. Durante los últimos 40 años el progreso en las instalaciones de bombeo ha ido en paralelo con el progreso en invenciones y mejoramiento de nuevos materiales, herramientas y maquinarias, teniendo como resultado en la actualidad, instalaciones de bombeo relativamente eficientes. Por esta razón, más del 80% de los pozos que necesitan medios artificiales para producir, utilizan unidades de bombeo.

1.1. El Ciclo de Bombeo ⁽⁸⁾

El petróleo es bombeado por medio de un pistón provisto de una válvula viajera que se mueve hacia arriba y abajo dentro de un cilindro pulido llamado barril de bomba, el cual posee en el fondo una válvula de pie. El pistón es accionado por medio de la sarta de varillas que se extienden hasta la superficie. La parte superior de estas varillas, está sujeta a un vástago pulido que se mueve hacia arriba o abajo por medio de la unidad de bombeo que imparte el movimiento recíprocante, siendo los componentes de dicha unidad los mis-



BIBLIOTECA FICTICIA
ESPOL

mos en casi todas ellas, variando tan solo el diseño.

El ciclo de bombeo consta de cuatro etapas a saber:

× PRIMERA ETAPA: Pistón moviéndose hacia abajo al final de la Carrera.

El fluido fluye hacia arriba a través de la válvula viajera la cual se encuentra abierta y, el peso de la columna de fluido en la tubería de producción lo soporta la válvula de pié que se encuentra cerrada. Si la presión fluyente de fondo fuera más grande que el peso de la columna de fluido, la válvula de pié estaría abierta y el pozo se encontraría fluyendo o posiblemente agitándose (Fig. 6-1a).

× SEGUNDA ETAPA: Pistón moviéndose hacia arriba al comienzo de la Carrera.

La válvula viajera está cerrada, consecuentemente la carga de la columna de fluido ha sido transferida desde la tubería de producción o la sarta de varillas. La válvula de pié abre tan pronto como la presión bajo ella exceda a la de encima; el momento en que esto ocurre (durante la carrera ascendente), depende del volumen existente entre la válvula viajera y la de pié al final de la carrera descendente y el porcentaje de gas libre en el fluido atrapado en ese volumen (Fig. 6-1b).



BIBLIOTECA FICT

× TERCERA ETAPA: Pistón moviéndose hacia arriba al **ESPOI** de la Carrera.

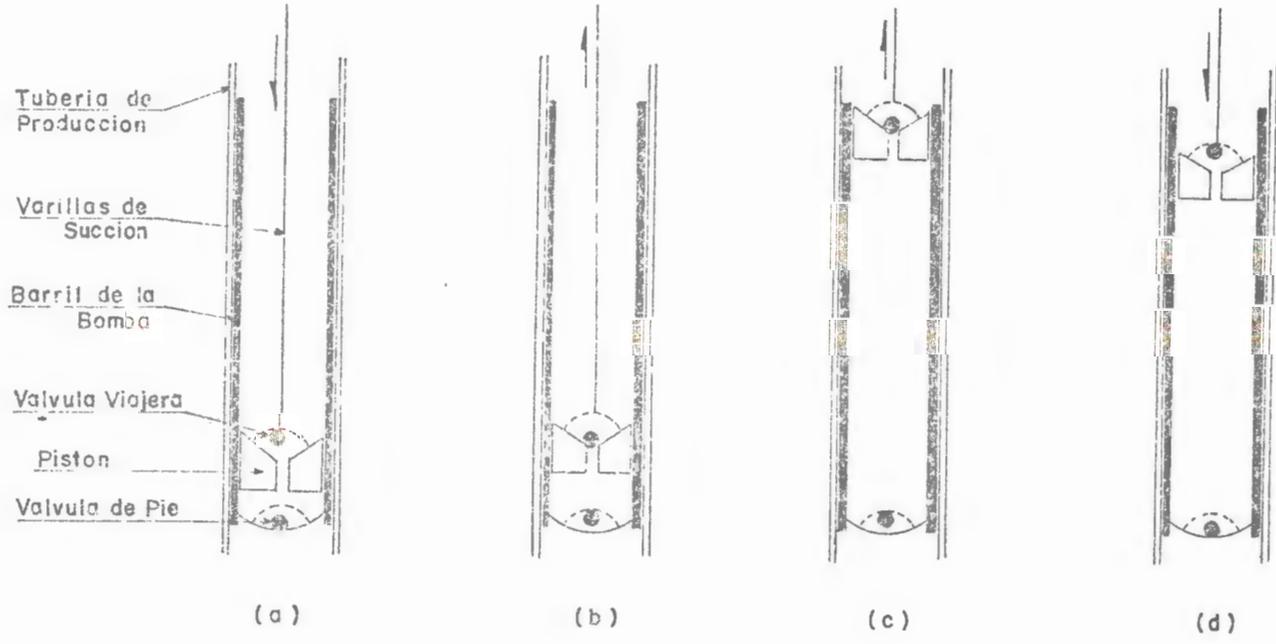


FIG. 6-1 EL CICLO DE BOMBEO



La válvula de pié debe estar abierta cuando el pozo es tá produciendo, permitiendo así, el aporte de la formación a la tubería de producción. La válvula viajera se encuentra cerrada y la producción es entregada a las líneas de superficie. (Fig. 6-1c).

x CUARTA ETAPA: Pistón moviéndose hacia abajo al comienzo de la carrera.

La válvula de pié está cerrada por el incremento de pre sión resultante, de la compresión de los fluidos en el volumen existente entre la válvula de pié y la válvula viaje ra.

Esta última se encuentra abierta en la Fig. 6-1d, pero el momento en que en realidad se abre durante la carrera descendente, depende del porcentaje de gas libre existente en el fluido. Para que la válvula viajera abra, la pre sión bajo ella debe ser mayor que la presión existente encima (Fig. 6-1d).

1.2. Equipo Superficial

El equipo superficial del sistema de extracción por bom beo mecánico, tiene por objeto transferir energía para el bombeo del fluido del pozo, desde el motor primario a la sarta de varillas, estando compuesto por las siguientes par



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

tes:

A. Unidad de bombeo

B. Motor primario

* A. La UNIDAD DE BOMBEO (6,7,9)

La unidad de bombeo cambia el movimiento rotatorio del motor primario a movimiento recíproco en las varillas de bombeo, reduciendo a la vez, la velocidad del motor primario a una velocidad de bombeo deseada, obteniéndose las siguientes ventajas:

1. Mejor adaptación a varios tipos, condiciones y calidad de petróleo.
2. Son aptas para producir casi cualquier volumen de petróleo.
3. Aproximadamente un 90 a 95% de la energía que se aplica al eje del balancín se convierte en movimiento útil ascendente y descendente.
4. La bomba de subsuelo puede ser colocada a diferente profundidad o puede cambiarse de tamaño según la capacidad de producción del pozo.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

5. Se puede utilizar en condiciones muy variables de producción porque es el sistema de bombeo más flexible, ya que se puede efectuar fácilmente:

- a) La variación de la unidad con respecto a los RPM de la máquina.
- b) La variación de la longitud de carrera del movimiento recíproco.
- c) La unidad puede ser detenida en cualquier posición por medio del uso de un freno y embrague.

La unidad de bombeo tipo convencional se compone propiamente de: una estructura de soporte, del balancín, las bielas, la cigüeña, el engranaje reductor y de otro equipo relacionado como el cargador de varillas, freno, etc.



BIBLIOTECA FICT
ESPOE

El eje motor del reductor de velocidades hace rotar la cigüeña; por medio de los pasadores que este contiene, los miembros laterales de las bielas se aseguran a ella. El extremo de la biela que está asegurada a la

cigueña tiene movimiento rotatorio, mientras que el otro extremo, que está asegurado al balancín actúa en forma recíproca, proporcionando la fuerza para operarlo.

El balancín descansa sobre un cojinete central - encima del poste maestro, el cual suministra el punto central de giro del balancín. En el extremo del balancín opuesto a los brazos de biela, se encuentran - la cabeza de caballo y el colgador de cable de alambre. La barra portavarillas o grampa se coloca en el colgador en el que a su vez pende el vástago pulido. Del vástago pulido se suspende la última varilla de la sarta. Estas unidades son contrapesos laterales, se encuentran disponibles desde el tamaño C-25D-53-24 al C-912D-356-168. Otra unidad convencional es aquella que tiene los contrapesos en un extremo de balancín y se las puede adquirir en tamaños desde: B-6D-21-24 al B-57D-109-48.

Un componente fundamental dentro de la unidad de bombeo es el reductor de velocidades, el cual por medio de la transmisión por banda en V se conecta el motor



BIBLIOTECA FISI
ESPOL

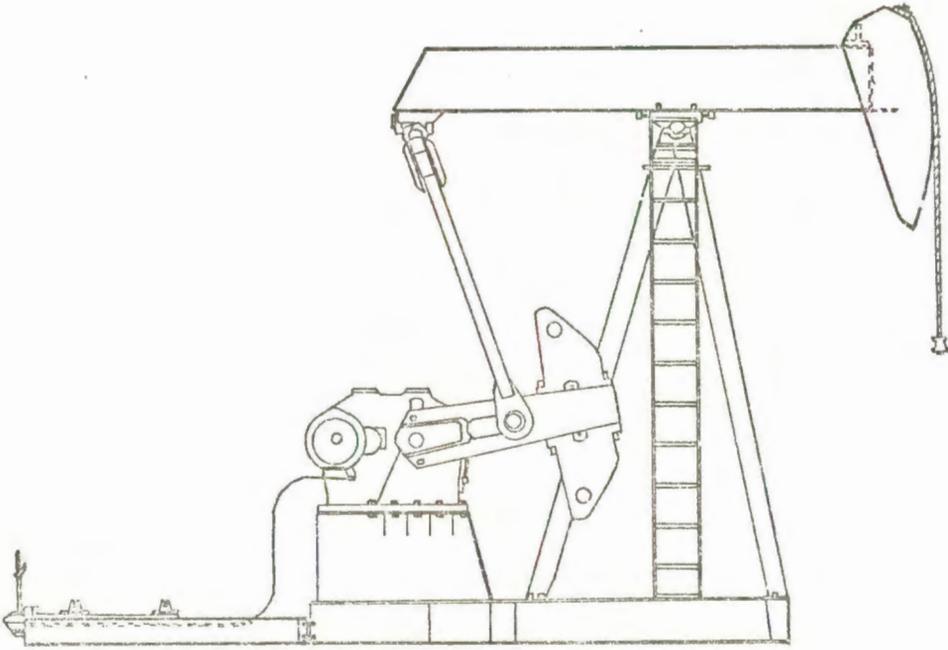


FIG. 6-2 UNIDAD DE BOMBEO DE CONTRABALANCE EN LAS MANIVELAS

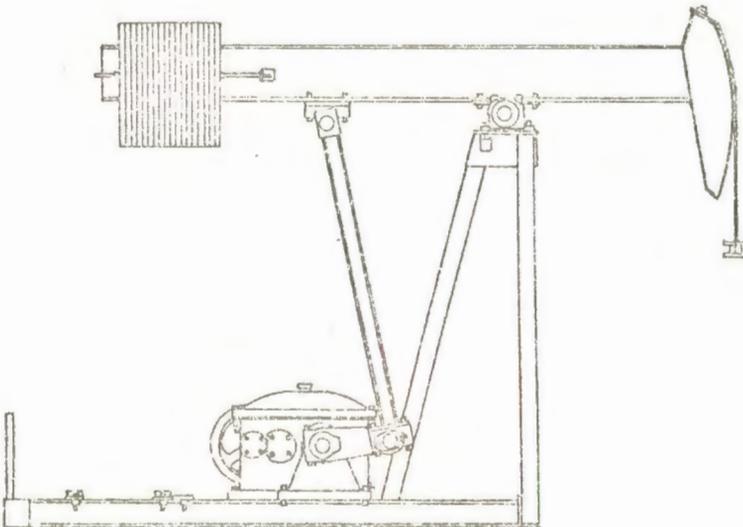


FIG. 6-3 UNIDAD DE BOMBEO DE CONTRABALANCE EN EL BALANCIN



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

rio, a fin de hacer trabajar la unidad. Al reductor de velocidad, se lo designa a veces como caja de engranajes o caja de cambios; los engranajes de "espina de pescado" del reductor de velocidades son fresados con tolerancias sumamente pequeñas, por lo que se hace necesario operarlos de acuerdo a esta consideración.

El reductor de velocidad es el tipo de reducción doble, aunque también se usan reductores de simple y triple reducción. La función es reducir la velocidad del motor primario a un valor menor que sea apropiado para operar la unidad, logrando a la vez, una ventaja mecánica correspondiente en lo que se refiere a fuerza motriz.

Es posible reducir la velocidad sobre o bajo el cambio proporcionado por la razón de engranajes, seleccionando las poleas para las bandas en V del motor y del eje motriz de la caja de engranajes.

La lubricación se puede efectuar con aceite mineral de grado 90 SAE o en su defecto aceite de motor de grado SAE 40 o 50.



BIBLIOTECA FICT

ESPOL

Otro tipo de unidad es la de montaje frontal MARK unitorque, en la cual se consigue una reducción en el torque máximo de hasta un 40% al combinar el torque producido por la unidad al torque requerido por el pozo, también

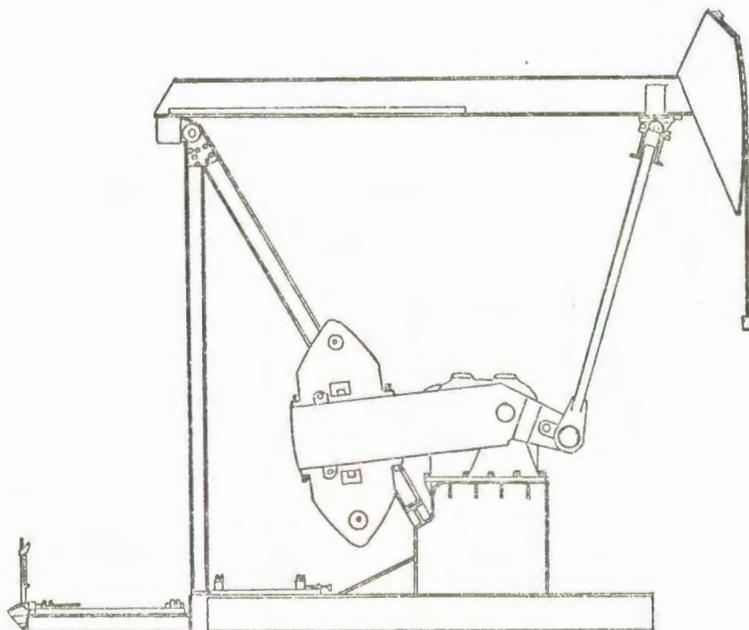


FIG. 6-4 UNIDAD DE BOMBEO MARK II

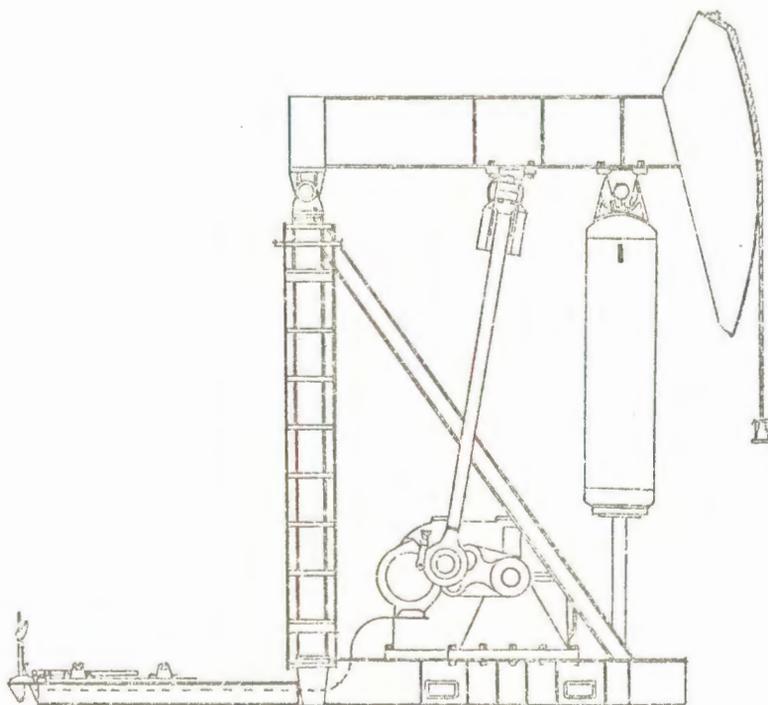


FIG. 6-5 UNIDAD DE BALANCEO POR AIRE

BIBLIOTECA FICT
ESPOL

reduce la carga máxima y la potencia necesaria. Este sistema da como resultado una carga uniforme en el motor y reductor. Los tamaños de estas unidades varían desde el M-114 D-143-64 al M-912D-356-168.

Este tipo de unidad es generalmente usado en pozos profundos, y para producir grandes volúmenes de petróleo.

Otro modelo es el del tipo neumático, el cual emplea un amortiguador de aire comprimido con cilindro compensador, en vez de contrapeso a fin de compensar la carga entre la carrera ascendente y la descendente del ciclo de bombeo. Las ventajas principales de este sistema son:

- 1) La unidad es más compacta que una ordinaria de la misma capacidad; y
- 2) El efecto de balanceo se puede cambiar según las necesidades, ajustando la presión del cilindro.

Designaciones de las Unidades de Bombeo

A fin de designar las unidades de bombeo se debe seguir el siguiente orden:

a. Tipo de la unidad de bombeo

A = Unidad neumática

B = Unidad de contrabalance en el balancín



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

C = Unidad de contrabalance en las manivelas
 CB = Unidad de contrabalance en el balancín y en las manivelas.

M = Unidad Mark II. unitorque.

b. Torque máximo en miles de Pulg-Lbs.

c. Especificación del reductor.

D = Reductor de reducción doble.

S = Reductor de reducción simple.

T = Reductor de reducción triple

d. Carga en el vástago pulido en cientos de libras.

e. Longitud de la carrera en pulg.

Así por ejemplo la unidad:

C - 228 D - 246 - 74

es una unidad de contrabalance en las manivelas con un torque permisible de 228000 pulg-lbs., con reductor de doble reducción, una carga máxima permisible de 24600 lbs. y longitud de carrera de 74 pulgadas.

Estas especificaciones de la unidad de bombeo, deberán ser siempre chequeadas con los datos obtenidos en el diseño de instalación, a fin de no sobrepasar los valores máximos permitidos por la unidad.



BIBLIOTECA FICT
 ESPOL

B. EL MOTOR PRIMARIO ^(1,9)

La función del motor primario es la de abastecer energía a la instalación mecánica, que es transmitida a la bomba de subsuelo y usada en el levantamiento del fluido.

El motor seleccionado para una determinada instalación, debe tener suficiente potencia de salida a fin de levantar el fluido del pozo a una rata deseada. Los motores utilizados en bombeo mecánico son de combustión interna (a gas o gasolina) o eléctricos.

Las ventajas o desventajas en el uso de cada tipo de estos motores no se puede efectuar si no se considera antes, los factores relacionados con abastecimientos y costos de gas y los de la energía eléctrica.

Según el tipo de base, el motor se monta en rieles con el fin de lograr el ajuste correcto de las correas en V, que sirven de transmisión al reductor de velocidades, tanto la polea del motor como la del reductor deben encontrarse alineadas.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

3. Equipo de Subsuelo

El equipo de subsuelo lo conforman la bomba de subsuelo y la sarta de varillas de succión; todas ellas en conjunto con el equipo superficial actúan a fin de levantar el fluido del

pozo por medio de la tubería de producción, en cuyo fondo se asienta la bomba.

* A. BOMBAS DE SUBSUELO ^(4, 7, 11, 12)

En forma simple se realiza la esencia de la operación de los diferentes tipos de bombas de subsuelo. La bomba se sumerge debajo del nivel del fluido del pozo y durante el pistoneo hacia arriba, el movimiento del émbolo crea una caída de presión en la válvula de pié permitiendo el paso del fluido, de la formación al interior del barril. Al terminarse este pistoneo, la flexión dentro del barril de la bomba se iguala a la presión de la formación, permitiendo que la bola de la válvula de pié cierre debido a su propio peso. Al comenzar la carrera descendente (pistoneo hacia abajo) la bola de la válvula viajera que se encuentra en el pistón, se levanta permitiendo el paso del fluido del barril de la bomba hacia la tubería de producción.



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

Los tipos básicos de bombas y la designación de sus especificaciones son los siguientes:

TIPO DE BOMBA	BARRIL CON PARED GRUESA	BARRIL CON CAMISA	BARRIL CON PARED DELGADA
Bombas de varillas			
Barril est. anclaje Sup.	RHA	RLA	RWA
Barril est. anclaje Inf.	RHB	RLB	RWB
Barril viajero anclaje Inf.	RHT	RLT	RWT
Bombas de Tubería	TH	TL	TW

La designación completa de las bombas incluye:

- 1) Diámetro nominal de la tubería;
- 2) Diámetro interior del cilindro (básico)
- 3) Tipo de bomba, incluyendo tipo de cilindro y ubicación, y tipo de conjunto de asiento.
- 4) Longitud del cilindro.
- 5) Longitud del pistón; y
- 6) Longitud total de extensiones, cuando son usadas.

XX-XXX-X-X-X-X-X-X-X =

XX: Diámetro de la tubería	15 - 1.900" O.D.
	20 - 2 ³ / ₈ " O.D.
	25 - 2 ⁷ / ₈ " O.D.
	30 - 3 ¹ / ₂ " O.D.

XXX: Diámetro interior del cilindro (básico)	106 - 1 ¹ / ₁₆ "
	125 - 1 ¹ / ₄ "
	150 - 1 ¹ / ₂ "
	175 - 1 ³ / ₄ "
	200 - 2"
	225 - 2 ¹ / ₄ "
	250 - 2 ¹ / ₂ "
	275 - 2 ³ / ₄ "

X: Tipo de bomba: R = insertable

T = Tubular

X: Tipo de cilindro: H = Cilindro de pared gruesa.

L = Cilindro con camisa

W = Cilindro de pared delgada.



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

- | | |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| X: Ubicación del conjunto de anclaje. | A = Superior |
| | B = Inferior |
| | T = Inferior, cilindro móvil. |
| X: Tipo de conjunto de anclaje | C = Tipo a copas |
| | M = Tipo mecánico. |
- X: Longitud de cilindro en pies
- X: Longitud nominal del pistón en pies.
- X: Longitud total de las prolongaciones, en pies

Además de esta designación, es necesario para el comprador, proveer la siguiente información adicional:

- a. Material del cilindro o camisa.
- b. Material del pistón.
- c. Tolerancia del pistón (luz, ajuste)
- d. Material de la válvula.
- e. Longitud de cada prolongación.



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

A continuación se discutirá cada uno de los tipos de bomba:

a) Bombas Insertables (Fig. 6 -6a)

1. Barril estacionario-anclaje superior

Dentro de esta clasificación entran las bombas RHA, RWA y RLA.

El fluido es descargado inmediatamente sobre el an

claje superior y evita que la arena y otros materiales se acumulen en la bomba. El barril actúa como "ancla de gas" para mejor separación del gas. En la carrera descendente, la válvula de pié soporta la columna de fluido lo que a veces causa que los barriles se rajen en el cuerpo o en el área roscada. Este tipo de bombas no debe usarse en pozos más profundos de los 5000 pies.

Ventajas:

1. Bomba excelente para pozos con problemas de arena.
2. Bomba buena para pozos gaseosos.
3. Excelente para pozos de bajo nivel de fluido.
4. La válvula viajera en la parte inferior permite bombear desde más cerca del fondo del pozo.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Desventajas:

1. No recomendable para pozos profundos.
2. Pobre empaquetadura en pistón, para escapes.

3. Más costosa que los del tipo de barril viajero.

2. Barril estacionario-Anclaje inferior (Fig. 6-6b)

Corresponde a este tipo, las bombas RHB, RWB y RLB.

El anclaje inferior evita fallas a profundidades mayores de 5000'. La válvula de pié es generalmente más grande que la válvula viajera y el fluido producido tiene que pasar a través de esta menor abertura de válvula, pero cualquier volumen de gas liberado inducido por este diferencial no afectará la operación de la bomba.

Ventajas:

1. Puede ser usada en pozos profundos.
2. Menos apta a rupturas por presión que otros tipos standard.
3. Buena para pozos con el nivel de fluido bajo.

Desventajas:

1. Arena y otras materias puede depositarse alrededor de la bomba.
2. El barril está sujeto a sedimentación y corrosión.



INSTITUTO FIC
75901

3. Barril viajero-Anclaje Inferior (Fig. 6 - 6c)

Son las bombas tipo: RHT, RWT, y RLT

En este tipo de bombas, el barril viaja y el émbolo permanece fijo. El barril es conectado a la varilla de bombeo a través de una conexión y de una válvula viajera grande. La válvula de pié se conecta directamente en la parte superior del émbolo estacionario. El émbolo está soportado por un tubo largo que está conectado en el fondo del soporte o asiento. La acción del fluido en el fondo del barril viajero, evita la depositación de arena en la bomba.

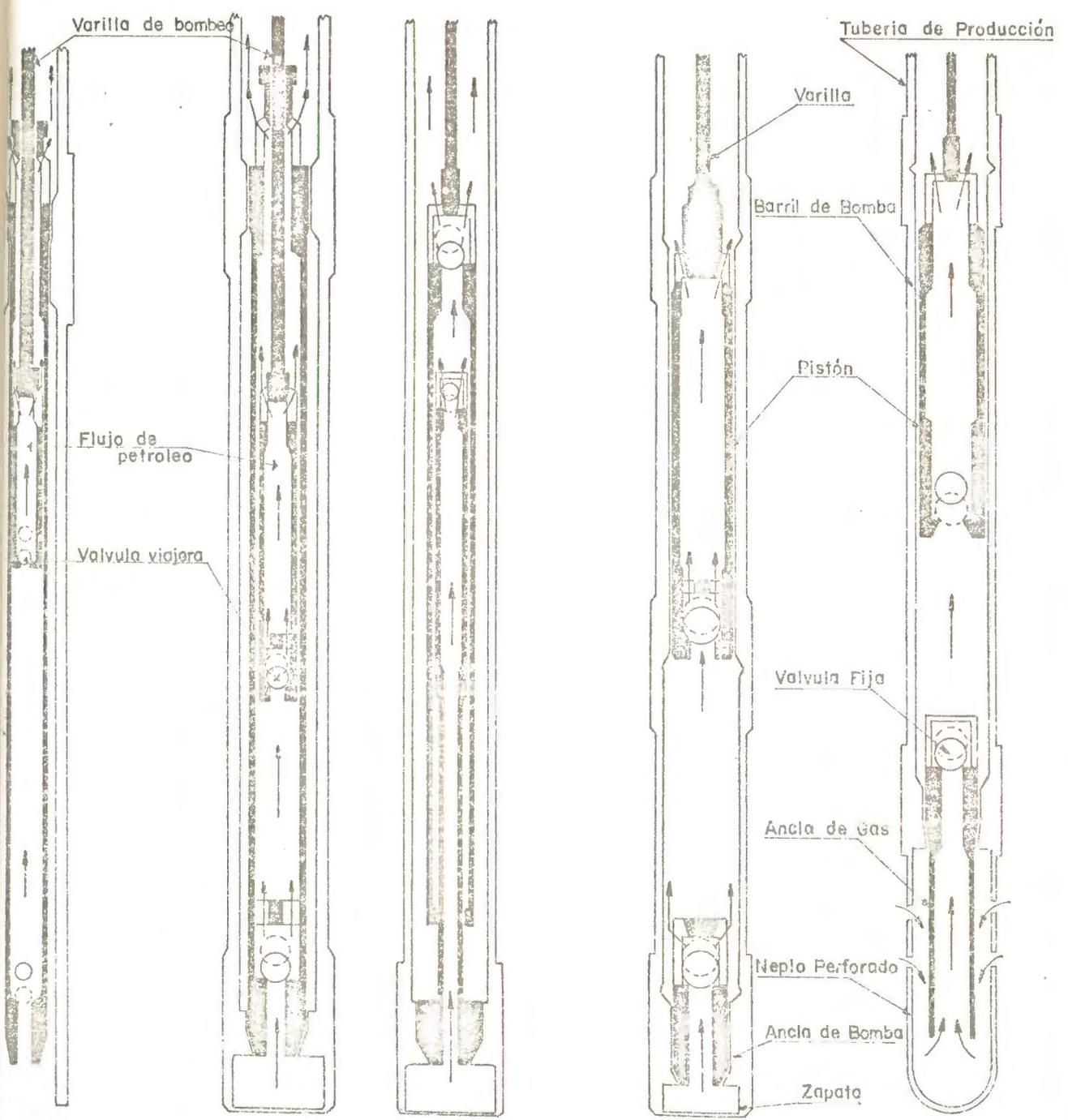
Para que el fluido llegue al barril, debe atravesar el largo tubo anclado. Debido a esto y a que la válvula de piés es pequeña y la rata de compresión relativamente menor, la bomba no es recomendable en problemas de gas.

Ventajas:

1. La agitación evita la depositación de arena en la bomba.
2. El anclaje inferior evita la posibilidad de falla del barril.
3. Buena para pozos intermitentes ya que la bola de la jaula superior se asienta cuando la bomba deja de funcionar, manteniendo la arena fuera de la bomba.



BIBLIOTECA EIL
ESPOL



RWA - RLA

RWB - RLB

RWT - KLT

TW - TL

TWE - TLE

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

0.6-6 BOMBAS DE SUBSUELO QUE MUESTRAN LA NOMENCLATURA API

Desventajas:

1. No recomendable en un pozo con gas por la reducción del pasaje de fluido.
2. No muy buena en pozos profundos ni en carreras largas porque el tubo que sostiene el émbolo tiende a doblarse.

b) Bombas Tubulares (Fig. 6-6d,e)

De este tipo son las bombas TH, TW y TL.

Estas bombas dan mayor capacidad de bombeo que las insertables para la misma dimensión de tubería. El barril de la bomba y la válvula de pie son instalados como parte de la tubería. El fluido es producido por la tubería y el gas por el espacio anular de la tubería de revestimiento.

Estas bombas se fabrican en una selección bastante amplia de materiales y se halla disponibles en los siguientes tamaños:

- 1 $3/4$ " para tubería de 2"
- 2 $1/4$ " para tubería de 2 $1/2$ "
- 2 $3/4$ " para tubería de 3"
- 3 $3/4$ " para tubería de 4"



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

Ventajas:

1. Permite la producción de grandes volúmenes de fluido, ya que el barril es parte de la sarta de tubería

permitiendo el uso de pistones grandes.

2. Adaptable para producir fluídos viscosos.

Desventajas:

1. La tubería tiene que ser sacada para reparar el ba
rril de la bomba.

2. Es posible dañar el pistón al bajarlo para su ins-
talación.

c) Bombas de Tubería de Revestimiento



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

Estas bombas son utilizadas para la producción en grandes volúmenes. El fluído es producido a través de la tubería de revestimiento y no se utiliza tubería de producción. Son instaladas en las varillas de bombeo. Cuando la bomba alcanza la profundidad deseada de ancla a la tubería de revestimiento. Puede también utilizarse tubería vieja para bajar e instalar la bomba y packer. De esta manera la tubería sirve de guía para las varillas, evitando el desgaste de la tubería de revestimiento, permitiendo también el uso de mayor fuerza para desprender el packer al sacar la bomba.

Este tipo de bomba no es recomendable para usar en pozos muy gaseosos ya que toda la producción de gas debe pasar por la bomba. Vienen en tamaños de 2 1/4", 2 1/2",

2 $\frac{3}{4}$ ", 3 $\frac{1}{2}$ ", 3 $\frac{3}{4}$ " y 4 $\frac{3}{4}$.

Ventajas:

1. Producción de altos volúmenes.
2. Se elimina el costo de tubería de producción.

Desventajas:

1. Si no se utiliza tubería, el roce de las varillas con la tubería de revestimiento puede desgastar esta última.
2. Muy deficiente en presencia de gas.

B. LAS VARILLAS DE BOMBEO^(7,9)

En la producción de petróleo por bombeo mecánico, las varillas de succión son una herramienta esencial de la cual se abusa en demasía, y el hecho de que continúa funcionando a pesar del abuso, hace que muchos consideren necesario preocuparse por ellas.



En un año, las varillas de un pozo pueden completar más de diez millones de ciclos de bombeo, pueden estar raspando contra la tubería en un pozo torcido, estar expuestas a diferentes cargas o a uno o más tipos de corrosión durante el período de trabajo del pozo, y sin embargo las únicas veces en que ellas reciben atención es cuando se han roto.

BIBLIOTECA ECI
ESPOL

A fin de poder conseguir una mayor duración de las va
rillas, debe seguirse determinadas reglas que a continua
ción se exponen:

Durante el transporte y almacenaje se deberá:

1. Colocar las varillas en capas. La capa inferior esta-
rá sobre una superficie plana; de no ser posible esto,
deberán estar sostenidas por cuatro apoyos a lo largo
de ellas.
2. Para arreglar la segunda capa; colocar dos tiras de
madera atravezada sobre la primera capa cerca de los
extremos y cuatro más a intervalos regulares en toda
la longitud.
3. Las tiras de madera serán de un grosor tal, que no per
mitan tocarse los extremos de la capa anterior con la
siguiente.
4. Usar protectores para las roscas.
5. Si las varillas son cargadas o descargadas por medio
de grúa, hay que ensamblarlas con empaque de madera pe
sada de tal manera que, las varillas no rocen entre sí
y no se pandeen cuando se levantan.
6. Si las varillas han sido usadas y se van a almacenar -
temporalmente, limpiarlas y protegerlas con una capa
de petróleo liviano no corrosivo a fin de evitar la co
rrosión.



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

Durante la instalación o extracción de las varillas de bombeo en o desde el pozo, y a fin de conseguir una vida más larga de ellas, se sugiere:

1. No martillar las espigas o cajas
2. Apretar las varillas suficientemente.
3. Mantener limpias las roscas.
4. No deben ser arrastradas hasta el pozo ya que las espigas o roscas se ensucian con tierra o se pueden dañar por contacto o golpes con otros objetos de metal.
5. Si las varillas se van a colocar horizontalmente al sacarlas del pozo, deberán sostenerse adecuadamente a lo largo de toda su extensión.
6. Las varillas deberán ser bajadas a menor velocidad cuando se calcula que la primera llega al nivel del fluido dentro del pozo. Es muy fácil "torcer" las varillas al llegar al fluido del pozo a una velocidad alta.
7. Usar elevadores de tamaño adecuado.

Con el objeto de que los fabricantes de varillas se adhieran a los standard del API, el Instituto Americano del Petróleo estableció un método para marcar las varillas en las cuales debe constar lo siguiente:

1. La identificación del fabricante.



BIBLIOTECA FIC:
ESPOL

2. El diámetro nominal de la varilla, en pulgadas.
3. El monograma API
4. El grado, sea c o k
5. La marca de código para indicar la fecha de fabricación o el grado de acero de que fué confeccionada.

Dicha información aparece en los extremos cuadrados de las varillas, donde se colocan las llaves para su ajuste.

Las varillas se fabrican en longitudes de 25' y 30' a sí como pequeñas de $1\frac{1}{3}'$, 2', 3', 4', 6', 8', 10' y 12' siendo estas últimas usadas para espaciar la bomba de la grampa del vástago pulido a la distancia exactamente deseada.



- Las varillas son fabricadas en tres clases a
- BIBLIOTECA TÉCNICA
ESPOL**
- CLASE "K".- Son varillas de níquel-molibdeno, resistentes a la corrosión. La tensión mínima es de 82.000 psi.
 - CLASE "C".- Son varillas de combinación de carbono manganeso, usados en trabajo pesado y medio, la inhibición contra la corrosión es bastante efectiva. La tensión de esfuerzo mínimo es de 90.000 psi. La mayoría de los pozos usan este tipo de varilla; y
 - CLASE "D".- Se usan donde no se alcanza a usar la varilla tipo C y son fabricados de una aleación níquel-cromo-

Moly. Se usan por lo general en pozos de alto volumen de producción. La tensión mínima es de 115.000 psi.

4. Equipo Auxiliar

El equipo auxiliar se compone de:

- A. Separadores de gas/petróleo en el subsuelo (ancla de gas) ; y
- B. Anclas de tubería



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Y A. ANCLAS DE GAS (7,9)

Siempre que hay producción de petróleo, hay producción de gas, el cual puede encontrarse en forma de gas libre, gas arrastrado en el petróleo o gas retenido en solución en el petróleo. En cualquier caso a fin de no reducir a un mínimo la eficiencia volumétrica de la bomba, se debe efectuar la separación del gas del petróleo, antes de que éste entre en la bomba, lo que se consigue con el uso de las anclas de gas o separadores de gas, cuyo objeto es reducir a un mínimo la entrada de gas en la bomba para mantener una eficiencia de separación relativamente alta (80%). No todas las anclas de gas pueden mantener esa eficiencia por razones inherentes al diseño de las mismas, pero el mecanismo de separación - consiste en desviar en 180° el flujo de gas-petróleo a través del espacio anular entre el tubo de succión y el ancla.

Los tipos más utilizados son:

1. Ancla Tipo Natural (Fig. 6-7a)

Consiste de un tubo de aproximadamente 30' de largo con perforaciones en la parte inferior, éste hace las veces de tubo de succión. Cuando la bomba vá colocada dentro del ancla a la altura o debajo de las perforaciones, se la llama ancla de INMERSION.

2. Ancla "Poor Boy" (Fig. 6-7b)

Formada de un tubo con tapón en el fondo de 30' de longitud pero con las perforaciones en la parte superior. Dentro del tubo se utiliza un tubo de succión de aproximadamente 20' de largo el cual cuelga de la parte inferior de la bomba de subsuelo.

El tipo modificado (Fig. 6-7c) consiste de un tubo de diámetro exterior mayor que el de la sarta de tubería y provee mayor velocidad en el espacio anular para el escape de gas habiendo también mayor separación gravedad.

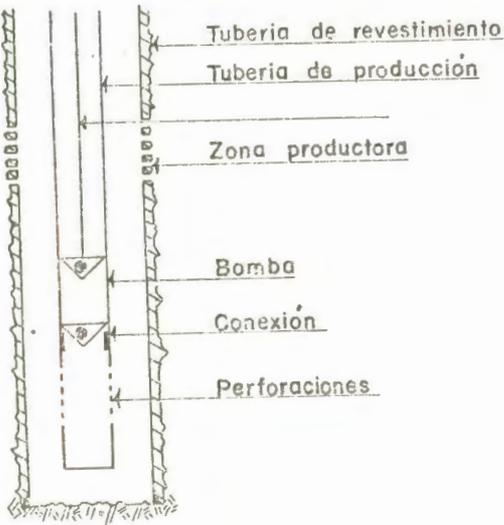
3. Ancla de Empaquetadura (Fig. 6-7d)

Aquí se invierte el flujo del líquido. Este sistema, permite que el fluido suba hasta una sección de presión más baja, para que luego el fluido baje hasta la succión de la bomba. El fluido aumenta su velocidad



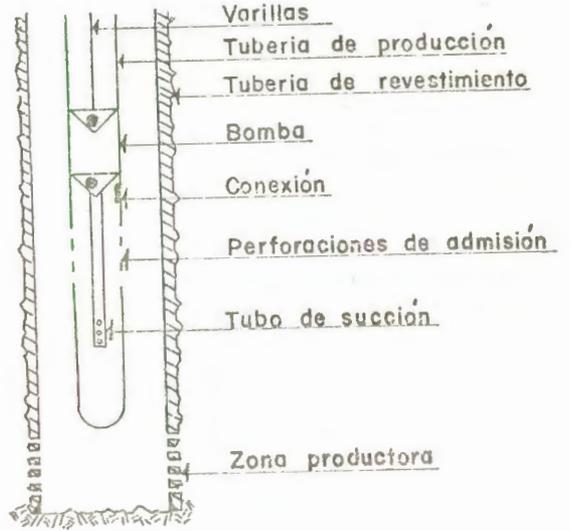
**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

51



(a)

ANCLA TIPO NATURAL



(b)

ANCLA "POOR BOY"

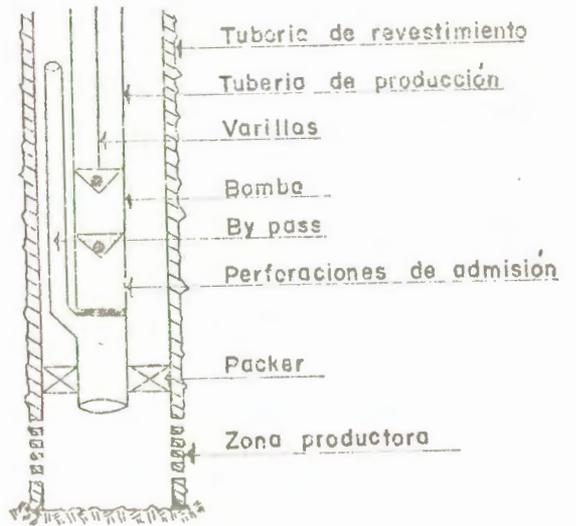


BIBLIOTECA FICT
ESPOL



(c)

ANCLA "POOR BOY" MODIFICADA



(d)

ANCLA DE EMPAQUETADURA

FIG. 6-7 DIFERENTES TIPOS DE ANCLAS DE GAS

al pasar por el ancla, causando liberación de gas antes de que el fluido baje a la succión de la bomba. Su desventaja es que el costo es mayor ya que necesita de un packer de tensión.

Para la instalación y construcción de las anclas de gas se sugiere lo siguiente:

- a. El ancla de gas debe colocarse cerca de la bomba.
- b. El área de pasaje de fluido hacia abajo debe ser lo más amplio posible para aminorar la velocidad del petróleo.
- c. La longitud del tubo de succión no debe ser mayor de 20' pero debe almacenar un volumen igual o mayor al volumen de entrada a la bomba durante una carrera.
- d. Hasta 250 B/D de producción se puede usar un tubo de 1".
- e. El área de perforaciones en el tubo de succión debe tener un área mínima de 4 veces el área de la válvula estacionaria.
- f. El área de las perforaciones en el ancla de gas debe ser 2 veces el área anular entre el ancla y el tubo de succión y 4 veces si los fluidos precipitan parafina o escala.

B. ANCLAS DE TUBERIA ^(1,7)

Tienen como objetivo evitar el movimiento de la tubería de producción mientras el equipo está funcionando.

Existen diferentes tipos a saber:

1. Anclas a tensión

El tipo de ancla es el mejor para prevenir el movimiento de la tubería y el que menos fallas presenta. Evita el pandeo de la tubería consiguiéndose con esto, menor desgaste del equipo e incremento de la eficiencia de bombeo.



Dentro de esta clasificación existen los siguientes tipos:

- a. Ancla a Tensión por compensación.- Se asienta automáticamente a la tubería de revestimiento a la profundidad requerida al moverse la tubería hacia abajo durante la acción de bombeo. A fin de extraerla, se gira la tubería hacia la derecha,
- b. Ancla a tensión simple.- Este tipo de ancla se recomienda debido a que es más económica que las otras. Su anclaje se efectúa rotando $1/4$ de vuelta a la izquierda y luego se hala hasta aplicar la tensión necesaria.

c. Ancla a tensión con apresador.- Este tipo tiene un mecanismo extra que agarra la tubería en caso de que se rompa, evitando que caiga al fondo. La operación para su instalación y extracción es la misma que para el ancla a tensión simple.

2. Ancla a compresión

Este tipo de ancla aunque detiene el movimiento de la tubería no evita el pandeo de ella durante la carrera ascendente.

3. Ancla Hidráulica

Son instaladas por medio de presión hidráulica.

4. Packers de producción

Se usan cuando es necesario la separación entre el espacio anular y la zona de producción, generalmente los pozos que tienen esta instalación sufren problemas de interferencia de gas ya que éste tiene que pasar por la bomba.

Los packers pueden ser adquiridos de 2 tipos: a compresión y a tensión siendo más recomendables los segundos. Su instalación se efectúa operando al igual que las anclas del mismo tipo.

Las ventajas del uso de las anclas de tubería son las siguientes:



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

- a. Las cargas máximas en el vástago pulido son menores, pues se evita el pandeo de la tubería de producción.
- b. Mayor longitud de la carrera efectiva del pistón y por lo tanto se logra mayor producción.
- c. Se evita el desgaste de la tubería y varillas producido por el roce entre ellas, y especialmente en las uniones por su roce con la tubería de revestimiento.

Las desventajas se exponen a continuación:

- a. Se usa más equipo dentro del pozo con el riesgo de pescas por falla de esta herramienta.
- b. Aumentan los problemas debido a corrosión o incrustaciones.



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

6.2. CONTROL DE POZOS

El correcto planeamiento del control de pozos producidos artificialmente trae como consecuencia una operación más económica, prevención de fallas de equipos, aumento del volumen producido y correcta determinación del diseño a instalarse.

Bajo esta idea se ha perfeccionado a través de los últimos años una serie de instrumentos que en conjunto constituyen las herramientas necesarias de quienes tienen a su car-

go un campo productor.

Además de los controles de producción, las cargas que se producen en los pozos pueden ser medidas a través del dinamómetro, ofreciendo un medio para analizar problemas de pozos que producen por medio de bombeo mecánico.

A partir de este análisis se puede obtener información que verifique los datos teóricos del diseño y que permita introducir correcciones y mejoras para aumentar la eficiencia del sistema de bombeo y en consecuencia obtener la máxima producción a un mínimo costo durante la vida de un pozo.

2.1 El Dinamómetro^(1,7)



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

El dinamómetro es una herramienta de medición que permite obtener el diagrama dinamométrico que es por definición un registro continuo de todas las fuerzas actuantes a lo largo del eje del vástago pulido, en cualquier instante de terminado durante una carrera completa de bombeo.

Existen diferentes tipos de dinamómetros: electrónicos, hidráulicos y mecánicos:

a. Dinamómetro electrónico

Consiste de un medidor electrónico de cargas y de un medidor de desplazamiento, los cuales están conectados a

dos canales de un amplificador electrónico que registra las cargas y desplazamientos en una carta durante todo el ciclo de bombeo.

Los datos obtenidos, son sometidos a un estudio matemático con computadora electrónica, que permite calcular las verdaderas condiciones al fondo del pozo.

b. Dinamómetros hidráulicos

El dinamómetro F. LEUTER es un aparato que mide las cargas sobre el vástago, con presión hidráulica y puede ser instalado rápidamente en cada pozo sin necesidad de detener su marcha, de manera tal, que la bomba de profundidad no se descargue con un pano antes de efectuar la medición, es decir, no se alteren las condiciones de trabajo.

Este dinamómetro da un registro de cargas y posición.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

c. Dinamómetros mecánicos

El más comunmente usado es el Dinamómetro Johnson-Fagg y es un instrumento que registra la deflexión de un anillo de acero, debido a las cargas existentes en el vástago pulido. La deflexión del anillo es proporcional a la carga, la cual se registra en un tambor por medio de una pluma que construye un gráfico sobre el papel de la carta.

Este tipo de dinamómetro, mide y registra las cargas de -

bombeo en cualquier punto del ciclo, mide el efecto de contrabalance en el vástago pulido, indica cuando la válvula viajera abre durante la carrera descendente, da una indicación del peso del fluido y la estabilidad de la operación de bombeo registrando también, las cargas necesarias que son la causa de numerosas fallas mecánicas.



Interpretación de Cartas Dinamométricas

BIBLIOTECA FICT

ESPOL

El dinamómetro registra un diagrama de cargas vás tago pulido y de su recorrido, ya que no se trata de un mo vimiento uniforme. Los caminos recorridos por el vástago - pulido en la unidad de tiempo son distintos, así en el pun to muerto superior e inferior, la velocidad es igual a ce- ro siendo máxima en la mitad de la carrera. El dinamómetro no solo mide las cargas estáticas, sino también los esfuer zos dinámicos que pueden aparecer en el ciclo de bombeo.

Al considerar un sistema de bombeo ideal, es decir donde

- a) El pozo es bombeado lentamente; b) no existen esfuerzos de vibración ni de fricción; c) al comienzo de la carrera - ascendente, la válvula de pié se abre y la válvula viajera cierra instantáneamente; d) al comienzo de la carrera des- cendente, la válvula de pié cierra y la válvula viajera abre instantáneamente; y e) la longitud de las varillas no varía debido a la transferencia de carga de fluido, la carta dina

mométrica tendría la forma que se muestra en la Fig. 6-8

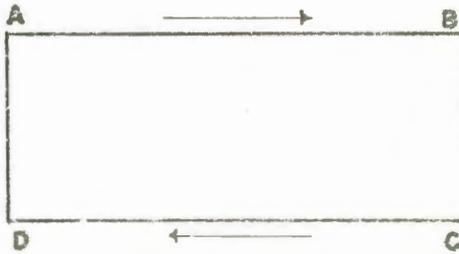


FIG. 6-8 CARTA DINAMO METRICA IDEAL

Donde:

- AB: Representa la carrera ascendente en donde la carga en el vástago pulido es debido a la carga del fluido mas el peso de las varillas en el fluido.
- BC: Final de la carrera ascendente, la carga es transferida inmediatamente a la válvula de pié.
- CD: Representa la carrera descendente donde la carga en el vástago pulido se debe solo al peso de las varillas en el fluido.
- DA: Final de la carrera descendente y la carga es transferida inmediatamente a la válvula viajera.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

A continuación procederemos a analizar el trazado de una carta dinamométrica de un pozo de bombeo normal y una vez en conocimiento de su significado, pasaremos a describir los casos típicos de problemas de pozos en bombeo que pueden detectarse a través de estas cartas.

Al observar la Fig. 6-9, donde está graficado una carta dinamométrica, nos daremos cuenta que la escala vertical - representa la carga en el vástago pulido y la escala horizontal llamada deflexión, representa la longitud de la carrera.

Analizando la carta tenemos:

En el punto (1) el vástago pulido ha terminado la carrera descendente comenzando la carrera ascendente, en este momento la válvula viajera cierra y el vástago pulido comienza a ascender por lo que se consigue un aumento de carga que se registra entre los puntos (1) y (2). Desde el punto (2) las varillas sufren una elongación ya que se ha tomado toda la carga de fluido, por lo que entre los puntos - (2) y (3) se registrará un decrecimiento de la carga. Como las varillas van hacia arriba se incrementa la carga debido a la aceleración, llegando a un punto máximo en el punto (4). A partir de éste y hasta el (5) el vástago pulido desacelera obteniéndose un decrecimiento de la carga en dicho vástago. En el punto (5) la carrera ascendente ha finalizado. Entre los puntos (5) y (6) las varillas comienzan a descender, por lo que hay un inmediato descenso de la carga debido a que la carga del fluido se transfiere a bería de producción, lo que significa que la válvula se abrió al comienzo de la carrera descendente.



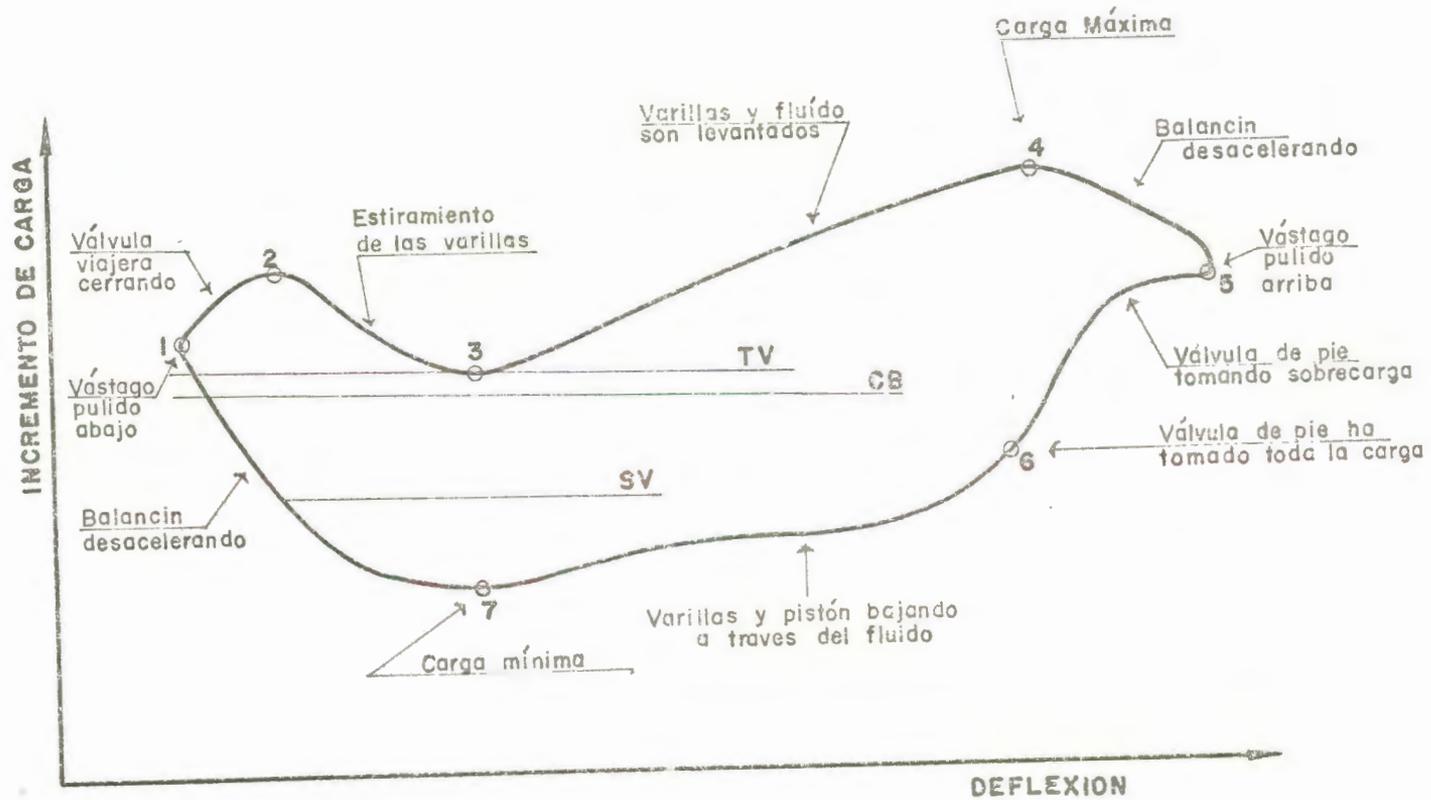


FIG. 6-9 CICLO DE BOMBEO TIPICO



punto (6), la válvula de pié ha tomado toda la carga del fluido y hay un marcado decremento de la carga en el vástago pulido. El punto (7) representa la carga mínima y desde este punto hasta (1) la aceleración decrece dando como resultado un incremento de carga en el vástago pulido.

La línea Tv representa la carga en la válvula viajera y SV la carga en la válvula de pié.

La línea CB demuestra que la instalación se encuentra correctamente contrabalanceada, ya que dicha línea está a igual distancia entre las cargas máxima y mínima. Los problemas típicos que se presentan en pozos de bombeo mecánico y que pueden ser analizados mediante las cartas dinamo-métricas, son las siguientes:

a. Pérdida en la válvula móvil, TV (Fig. 6-10 a)

A fin de determinar este problema la unidad de bombeo se frena en los 3/4 de la carrera ascendente y el cordón del dinamómetro es movido intermitentemente una vez por segundo. La línea registrada representa el peso de las varillas más el peso del fluido sobre el pistón, pero si la carga del fluido es transferida desde el pistón a la válvula de pié, la carta dinamométrica registrará una disminución en la carga.



b. Pérdida en la válvula de pié, SV. (Fig. 6-10b)

Al parar las varillas cerca del final de la carrera descendente, la válvula viajera se encuentra abierta y la de pié cerrada. El cordón del dinamómetro se lo hala rápidamente a intervalos de un segundo y se registra una línea que representa el peso muerto de las varillas en el fluido. Si la válvula de pié está operando satisfactoriamente, la línea registrada estará en el mismo plano vertical pero, en el caso de que exista pérdida, la carga se incrementará ya que existirá una transferencia de fluido a la sarta de varillas.

c. Golpeteo de fluido (Fig. 6-10c)

Se debe al choque del pistón contra el fluido de la bomba durante la carrera descendente, lo cual es registrado inmediatamente junto con la disminución de carga sobre el vástago. Esta situación se debe a un llenado parcial de la bomba durante la carrera ascendente. Ello, puede ser el resultado de la baja productividad del peso de una entrada restringida en la bomba.



El diagrama dinamométrico mostrará la pérdida instantánea de peso en forma de una línea casi vertical. En muchos casos, la paralización del bombeo, requerido para la instalación del dinamómetro, dará a la bomba suficien

BIBLIOTECA FICT
ESPOL

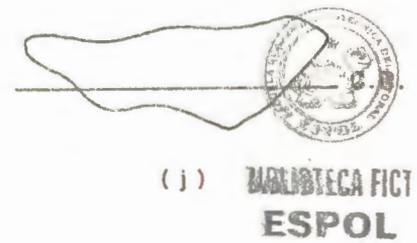
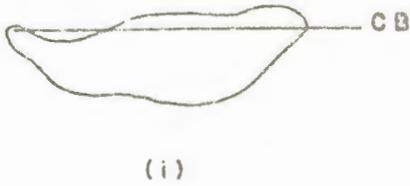
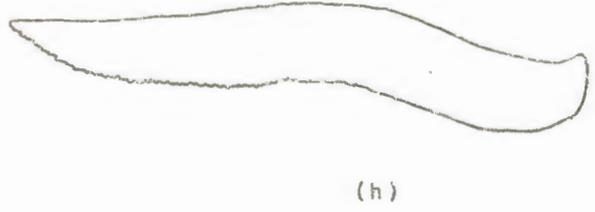
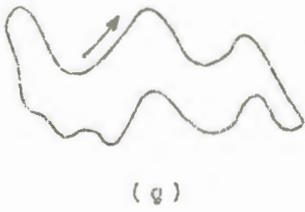
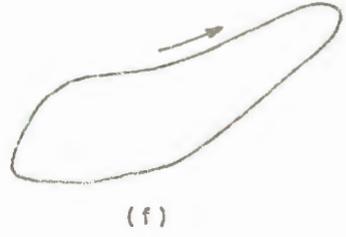
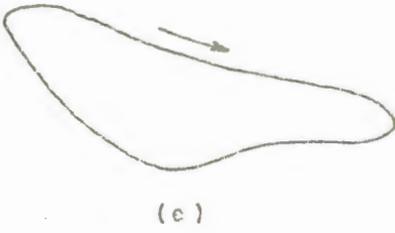
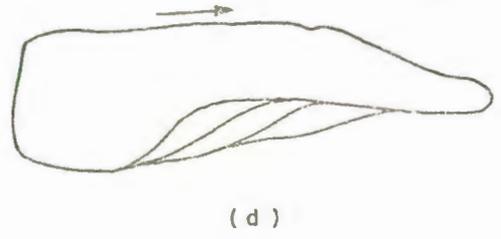
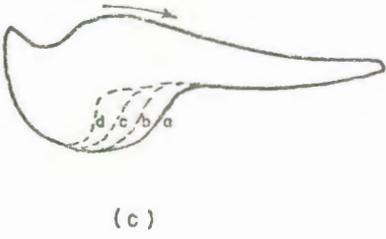
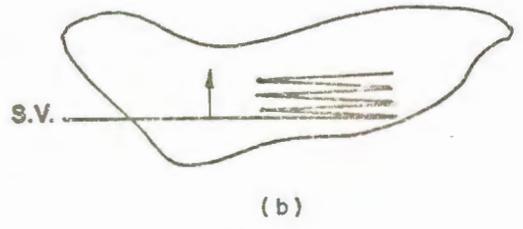
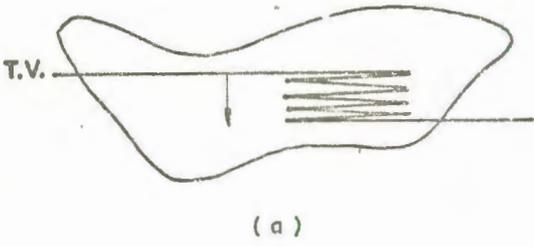


FIG. 6-10 PROBLEMAS TÍPICOS EN BOMBEO MECÁNICO

te tiempo para llenarse.

Una serie de registros a través de sucesivas carreras, una vez que el pozo haya reiniciado su bombeo, determinará un estado progresivo de "golpeteo de fluido" hasta su estabilización.

d. Interferencia de gas (Fig. 6-10d)

Este problema es ocasionado por el gas libre que ocupa una porción de la cámara de la bomba; puede resultar - del gas que se libera de la solución a medida que el - fluido atravieza la válvula móvil, o del gas libre que penetra en la bomba, junto con el fluido, mientras, el pistón desciende, el gas se comprime y la válvula móvil permanece cerrada hasta que se ejerza suficiente presión por parte de la mezcla gas-líquido o líquido solamente, para vencer la carga sobre la válvula. La curva de compresión de gas se reconoce porque la disminución de carga no es tan instantánea, así mismo las cargas - son variables y se producen varias curvas cuando registra la carta.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

e. Sobrerecorrido (Fig. 6-10e)

El sobrerecorrido puede producirse por velocidades altas de bombeo. La acción de resorte de las varillas, causan que el émbolo viaje a mayor rapidez que el vástago

pulido; ésto, dá como resultado cargas que disminuyen durante la carrera ascendente y aumentan durante la carrera descendente.

f. Bajo recorrido (Fig. 6-10f)

El bajo recorrido puede producirse por fricción excesiva en el émbolo o varillas, debido a la presencia de parafina, por bomba atrancada o tubería torcida. El bajo recorrido se puede detectar porque la carga durante la carrera ascendente sigue aumentando.

g. Pistón con movimiento irregular (Fig. 6-10 g)

Esto sucede cuando el pistón se pega parcialmente a las paredes del barril de la bomba debido a la presencia de arena en el fluido. En pozos poco profundos esta anomalía puede ser detectada tocando el vástago pulido.



h. Fricción (Fig. 6-10 h)

Estos casos se presentan generalmente cuando el pistón de la bomba no trabaja suavemente a lo largo del barril, apareciendo la curva característica de fricción durante la carrera descendente.

i. Sobrebalance y bajo balance. (Fig. 6-10 i,j)

Un pozo está sobrebalanceado cuando la línea CB en la carta dinamométrica se registra sobre la mitad superior

**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

entre la carga máxima y mínima (Fig. 6-10 i), y estará bajobalanceado cuando dicha línea se registra en la mi tad inferior entre las cargas máxima y mínima como lo demuestra la Fig. 6-10j, esto es solucionado con la - disminución o aumento de pesos en la unidad.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

VII. NOMENCLATURA

- A_1, A_2, \dots : Areas transversales de secciones individuales de una sarta telescópica de varillas, pulgs²
- A_r : Refiérese a A_1, A_2, \dots, \dots , pulgs²
- A_p : Area transversal del pistón, pulgs²
- A_t : Area transversal de la pared de la tubería de producción, pulgs²
- C_i : Efecto de contrabalance ideal, lbs.
- CBE : Contrapeso requerido, lbs.
- D : Profundidad del nivel dinámico del fluido, pies.
- D : Diámetro del pistón, pulgs. (Método API)
- E : Módulo de elasticidad para el acero, psi.
- E_v : Eficiencia volumétrica de la bomba, %
- E_r : Constante elástica de las varillas, pulgs/lb-pie.
- E_t : Constante elástica de la tubería de producción pulgs/lb-pie.
- F_c : Factor de frecuencia
- F_o : Carga de fluido diferencial en el área total - del pistón, Lbs.
- F_1 : Factor de máxima carga.
- F_2 : Factor de carga mínima
- F_3 : Factor de potencia



- G : Gravedad específica del fluido producido
- H : Levantamiento neto, pies
- H_b : Potencia necesaria del motor, h.p.
- H_f : Pérdida de potencia friccional en el subsuelo; h.p.
- H_h : Potencia hidráulica; h.p.
- K : Constante de la bomba: Bbls/día/pulg/s.p.m.
- L : Longitud de la sarta de varillas, pies
- L₁, L₂, ... : Longitudes de secciones individuales de una sarta de varillas telescópicas, pies
- L_n : Refiérese a L₁, L₂, ..., pies
- M : Peso unitario de las varillas, lbs/pie
- M₁, M₂, ... : Pesos unitarios de las secciones individuales de una sarta telescópica de varillas, lbs/pie
- MPRL : Carga mínima en el vástago pulido, lbs.
- N : Velocidad de bombeo, spm
- N₀ : Frecuencia natural de la sarta simple de varillas, spm.
- N₀' : Frecuencia natural de la sarta de varillas telescópicas, spm.
- PD : Desplazamiento de la bomba, Bbls/día.
- PPRL : Carga máxima en el vástago pulido, Lbs.
- PT : Torque máximo, Lb-Pulg.
- PRHP : Potencia requerida en el vástago pulido, h.p.
- q : Tasa de producción, Bbls/día



BIBLIOTECA FIC.

ESPOL



BIBLIOTECA FIC.

ESPOL

- R_1, R_2, \dots : Longitudes de secciones individuales de una sarta de varillas telescópica expresada como fracción de la longitud total de la sarta.
- R : Refiérese a R_1, R_2, \dots
- S : Longitud de carrera del vástago pulido, pulgs.
- S_p : Longitud efectiva de la carrera del pistón, pulgs.
- S_{kr} : Carga necesaria para alargar la sarta total de varillas, una cantidad igual a la carrera del vástago pulido, Lbs.
- T : Torque de manivela, Lb-Pulg.
- T_p : Torque máximo en el engranaje reductor, pulg-Lb.
- T_a : Constante de ajuste de torque para valores de W_{rf}/S_{kr} diferentes a 0.3
- T_{max} : Tensión máxima, Lbs/pulg²
- T_{min} : Tensión mínima, Lbs/pulg²
- U.B.M. : Unidad de bombeo mecánico
- V : Desplazamiento de la bomba, Bbls/día
- W : Peso total de las varillas en el aire, Lbs
- W_r : Peso unitario promedio de las varillas en el aire, Lbs/pie (Método API)
- W_{rf} : Peso total de las varillas en fluido, Lbs.
- W_f : Carga del fluido, Lbs.
- W_{max} : Carga máxima en el vástago pulido, Lbs.
- W_{min} : Carga mínima en el vástago pulido, Lbs.



BIBLIOTECA FICTICIA
ESPOL

- W_r : Peso de la sarta de varillas, Lbs. (método Marsh, Coberly y Asociados)
- α : Factor de aceleración.
- $\frac{1}{K_r}$: Constante elástica de la sarta de varillas, pulg/Lb.
- $\frac{1}{K_t}$: Constante elástica de la porción de la sarta de tubería no anclada, pulgs/lb.
- T_v : Válvula viajera
- S_v : Válvula de pié

VIII. REFERENCIAS

1. B. CRAFT, W. HOLDEN y D. GRAVES, Well Design: Drilling and Production. 1962.
2. BETHLEHEM STEEL Company. Sucker Rod Handbook
3. API Recommended Practice for Design Calculations For Sucker Rod Pumping Systems (Conventional Units). API RP 11L 2ª Edición. Marzo de 1972.
4. Simposium de Varillas de Bombeo realizado en EE.UU. 1969.
5. Pumping Well Problems in Focus. DOUGLAS O JOHNSON. Johnson - Fagg Engineering.
6. LUFKIN FOUNDRY AND MACHINE COMPANY. Lufkin Equipment of Advanced Design. 1966-67.
7. G. DELGADO. Modernos Conceptos y sus Aplicaciones sobre Bombeo Mecánico de Pozos Petrolíferos. Lufkin Overseas Corporation S.A. Venezuela 1971.
8. T.E.W. NIND. Principles of Oil Well Production.
9. GULF OIL COMPANY - Latin America. Curso de Producción de Petróleo y Gas. 1971.
10. J.H. RUSSELL, Jr. Interpretation of Dynamometer Cards Gulf Oil Corporation. Houston.
11. F. CHECA, Ing. A.E.O. Folleto sobre Bombeo Mecánico.
12. ZABA, DOHERTY. Practical Petroleum Engineers Handbook. 4ª Edición. 1956

BIBLIOTECA FI
ESPOL