

201, 26



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

UTILIZACION DEL BOMBEO MECANICO COMO
ALTERNATIVA PARA LA EXPLOTACION DEL
AREA CHICONTEPEC

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO PETROLERO
P R E S E N T A :
ANDRES PEREZ DEL ANGEL



México, D. F.

1987



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

	Página.
INTRODUCCION	1
RESUMEN	3
CAPITULO I "Conceptos generales".	
I.1 Localización	5
I.2 Características del yacimiento.	
I.3 Descripción del equipo de bombeo mecánico y su funcionamiento	16
1.- Motor principal de la unidad	16
2.- Caja reductora de engranes	24
3.- Equipo superficial o unidad superficial	24
4.- Sarta de varillas de succión	30
5.- Bomba subsuperficial	36
CAPITULO II " Diseño del sistema de bombeo mecánico".	
II.1 Método tradicional	43
II.2.1 Parámetros utilizados.	43
II.2.2 Secuencia de cálculo	61
II.2 Método API.	
II.2.1 Parámetros utilizados	65
II.2.2 Secuencia de cálculo	68

CAPITULO III " Aplicación del bombeo mecánico en los pozos del área de Chicontepec".	77
CAPITULO IV " Análisis económico".	92
COMPARACION CON OTROS SISTEMAS DE EXPLOTACION.	101
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	124
NOMENCLATURA.	129
REFERENCIAS.	133
APENDICE.	135

INTRODUCCION.

Cuando un yacimiento disminuye su presión no tiene energía suficiente, para llevar los fluidos de la formación hasta la superficie para su tratamiento; una forma de adicionar energía a los pozos es mediante la instalación de un sistema artificial de producción que se seleccionará de acuerdo a las características de la formación, el tipo de aceite que se tenga, la profundidad del intervalo productor, al índice de productividad de cada pozo, etc.

Los sistemas artificiales de producción que se pueden instalar en un pozo son: Bombeo Neumático, Bombeo Hidráulico, - Bombeo Electrocentrífugo, Bombeo Mecánico entre otros.

El análisis de cada uno de ellos es muy extenso, por lo que en este trabajo sólo se analizará el bombeo mecánico como alternativa para explotar el área Chicontepec, la cual tiene las características que posteriormente se describirán.

Actualmente el área está siendo explotada mediante el Bombeo Neumático, sin embargo el empleo de este sistema artificial aunque ha dado buenos resultados; en algunos campos, tiene la inconveniencia de que no se tiene el suficiente gas para - abastecer la red de distribución, el gas que se inyecta necesita tratamiento pues el sistema operará con gas seco.

El Bombeo Mecánico se puede aplicar a todos los cam -

pos si la desviación de los pozos y el gas de formación no presentan serios problemas al sistema.

Se hará un análisis económico del costo por electrificación del campo, por conversión de los pozos al sistema de bombeo mecánico, por costo del equipo, por mano de obra y se determinará el volumen de aceite que se obtendrá por la conversión - al nuevo sistema, en función de estos parámetros se determinará su rentabilidad y el tiempo en que se recupere la inversión.

R E S U M E N

De los ochenta y dos pozos perforados en el campo Tajín, de la formación Chicontepec, se analizó su historia de producción de cada uno de ellos, así como los resultados de los fracturamientos.

Posteriormente se determinaron el tipo de Unidad de Bombeo Mecánico y equipo Subsuperficial, la Fuerza Motriz para operar las mismas, con esto se definieron las bases del proyecto de electrificación de la totalidad de los pozos del campo, seleccionándose una Subestación Eléctrica con capacidad de 1,500 KVA.

Se estimó una inversión inicial por electrificación por pozo de \$14,448,600.00* M.N., por lo cual es relativamente bajo con respecto al costo de intervención del equipo de Reparación que convertirá los pozos al Sistema Artificial de Bombeo Mecánico.

El costo total de la obra para ochenta y dos pozos, se estima en \$12,417,700,000.00 M.N., en éste se incluye el costo por concepto de electrificación del campo Tajín de \$1,184,790,000.00 - M.N.

Se sugiere una primera etapa para la cual el costo para cuarenta pozos se estima en \$6,325,610,000.00 M.N.

≡ Cifras referidas a Junio de 1987.

Como actualmente se cuenta con equipo completo para convertir los 40 pozos y operarlos, el costo de la inversión inicial total, se reduce a \$3,305,960,000.00 M.N., en la cual se incluye el costo por concepto de electrificación de \$346,126,000.00 M.N. y costo por conversión de los cuarenta pozos al Sistema Artificial de Bombeo Mecánico en \$ 2,459,840,000.00 M.N.

I.1 LOCALIZACION

La cuenca del Chicontepec⁽¹⁾ está localizada en la porción Central-Este de la República Mexicana, en la región Tampico - Misantla y su superficie es de 11,300 Km.² fig.(1).

Contiene un paleocanal fig.(2), es decir, un cañon de 123 Km. de longitud y 25 Km. de amplitud en promedio, con superficie de 3,300 Km.²; se formó aproximadamente hace 65 millones de años cuando los sedimentos preexistentes de los periodos Paleoceno, Cretácico y Jurásico fueron erosionados. Posteriormente el paleocanal fué rellenado alternativamente con sedimentos arcillosos y arenosos en el periodo Eoceno, en los que se acumuló una enorme cantidad de hidrocarburos. El volumen potencial estimado es de 106 mil millones de barriles y su reserva probada, es decir, el volumen que puede extraerse comercialmente es de aproximadamente 17,400 millones de barriles. La profundidad promedio de la cuenca es de 1800 metros.

(1) Referencias al final.

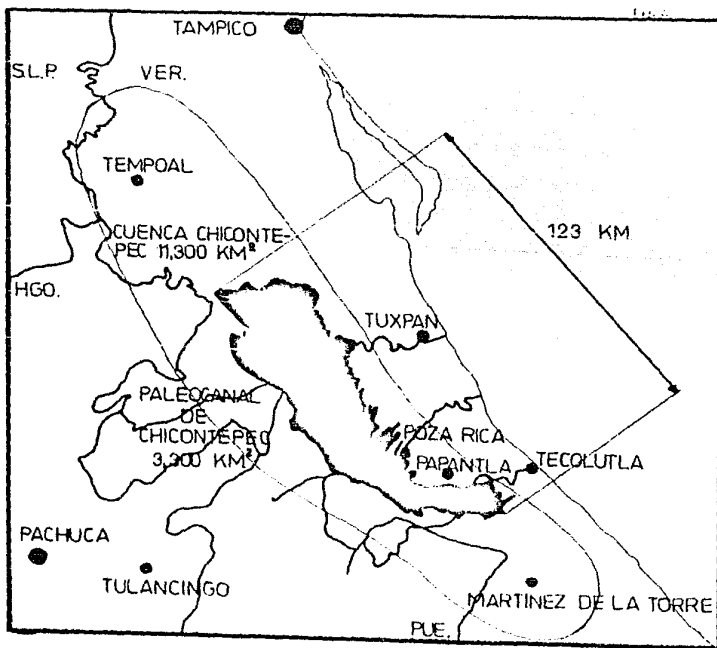


FIG. 1 UBICACION DEL PALEOCANAL

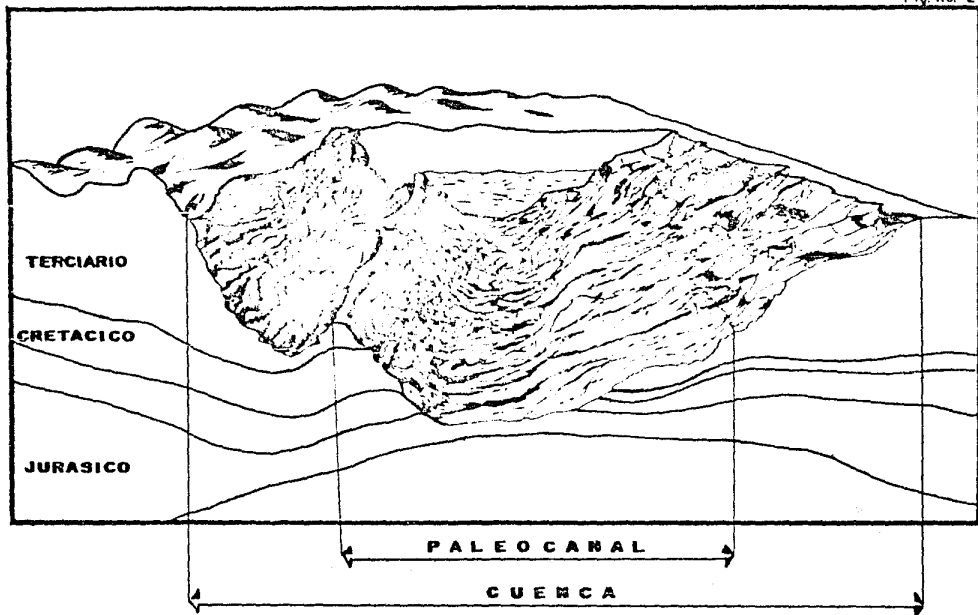


FIG. 2 SECCION TRANSVERSAL DEL PALEOCANAL.

1.2 CARACTERISTICAS DEL YACIMIENTO. (2)

Debido a la complejidad que presenta el área Chicontepec en cuanto a su composición litológica, se analizará únicamente los núcleos cortados en los pozos Tajín 341, 366, 636, 637 y 691 - presentando su composición mineralógica a las diferentes profundidades a que fueron cortadas y las características petrolísticas que se midieron en el laboratorio de yacimientos de Poza Rica, Ver.

Del análisis efectuado se obtuvieron los siguientes resultados:

INFORMACION DEL MUESTREO

Pozo:	Tajín 336
Tipo de núcleo:	De barril
Distrito:	Poza Rica
Zona:	Centro
Fecha de corte del primer núcleo:	Marzo de 1982

DISTRIBUCION DE LOS NUCLEOS

Núcleo (No.)	Intervalo (mBR)	Long. (m)	Recup. (%)	Recup. (%)	Salinidad (ppm)	Formación
1	1786-1795	9.0	100	35 000	Chicontepec Inf.	
2	1795-1304	9.0	100	35 000	" "	
3	1804-1813	9.0	100	35 000	" "	
4	1813-1822	9.0	100	35 000	" "	
5	1822-1831	9.0	100	35 000	" "	
6	1831-1840	9.0	100	35 000	" "	

DESCRIPCION LITOLOGICA

- Núcleo No. 1.- Arenisca calcárea color gris claro, bien cementada con horizontes de lutitas.
- Núcleo No. 2 - Arenisca calcárea color gris claro, grano medio bien cementada, con intercalaciones de lutita a renosa y calcárea gris claro a oscuro.
- Núcleo No. 3.- IDEM
- Núcleo No. 4.- IDEM
- Núcleo No. 5.- Lutita calcárea color gris claro, blanda, con fragmentos líticos y esporádicas intercalaciones de arenisca calcárea gris claro, de grano fino bien cementada.
- Núcleo No. 6.- Marga café claro a gris verdoso con intercalaciones delgadas a luminares de bentonita gris verdoso.

De las pruebas de desplazamiento agua - aceite se obtuvieron los siguientes resultados promedio:

ϕ	(%)	=	4.9575
K	(mD)	=	0.6360237
K_a	a Swr (mD)	=	6.035
K_w	a Sor (mD)	=	1.6775
Swr	(%)	=	46.225
Sor	(%)	=	21.775
μ_o	(cp)	=	10.73
μ_w	(cp)	=	0.886

INFORMACION DEL MUESTREO

Pozo: Tajín 341
 Tipo de núcleo: De barril
 Distrito: Poza Rica
 Zona: Centro
 Fecha de corte del primer núcleo: Enero de 1981

DISTRIBUCION DE LOS NUCLEOS

Núcleo (No.)	Intervalo (mbMR)	Long. Recup. (m)	Recup. (%)	Salinidad (ppm)	Formación
4	1368-1377	9.0	100	35 000	Chicontepec Sup
5	1377-1385	8.0	100	35 000	" "
6	1385-1390	3.5	87	35 000	" "
7	1390-1394	4.0	100	35 000	" "
8	1505-1514	9.0	100	35 000	" "
10	1577-1586	9.0	100	35 000	Chicontepec Medio
11	1586-1595	5.9	66	35 000	" "
12	1602-1611	9.0	100	35 000	" "
13	1611-1620	6.0	66	35 000	" "
18	1689-1697	6.0	75	35 000	" "
19	1697-1715	18.0	100	35 000	" "
20	1715-1727	12.0	100	35 000	" "
22	1744-1762	18.0	100	35 000	Chicontepec Inf.
23	1762-1780	3.2	18	35 000	" "
24	1780-1798	18.0	100	35 000	" "
25	1798-1816	18.0	100	35 000	" "
26	1816-1834	18.0	100	35 000	" "
27	1834-1852	18.0	100	35 000	" "
28	1852-1870	18.0	100	35 000	" "
29	1870-1872	2.0	100	35 000	" "

DESCRIPCION LITOLÓGICA

En general, los núcleos están constituidos por alternancia de arenisca gris claro, calcárea y lutita con presencia de partes arenosas y calcáreas.

De las pruebas de desplazamiento agua - aceite se obtuvieron - los siguientes resultados promedio .

ϕ (%)	=	5.74
K (mD)	=	4.584
Ko a Swr (mD)	=	7.126
Kw a Sor (mD)	=	7.122
Swr (%)	=	32.96
Sor (%)	=	20.166
μ_o (cp)	=	5.925
μ_w (cp)	=	0.665

INFORMACION DEL MUESTREO

Pozo: Tajín 366
 Tipo de núcleo: De barril
 Distrito: Poza Rica
 Zona: Centro
 Fecha de corte del primer núcleo: Junio de 1981

DISTRIBUCION DE LOS NUCLEOS

Núcleo (No.)	Intervalo (mbMa)	Long. Recup. (m)	Recup. (%)	Salinidad (ppm)	Formación
1	1942-1951	6.8	75	35 000	Chicontepec Inf.
2	1951-1960	9.0	100	35 000	" "
3	1960-1969	9.0	100	35 000	" "

DESCRIPCION LITOLOGICA

Los tres núcleos están constituidos por alternancia de arenisca - gris claro de grano fino a medio, bien cementada y lutita arenosa semicompacta.

Resultados obtenidos del laboratorio de yacimiento.

σ (%) = 8.122
 K (mb) = 4.23
 Sor (%) = 21.775

INFORMACION DEL MUESTREO

Pozo: Tajín 636
 Tipo de núcleo: De barril
 Distrito: Poza Rica
 Zona: Centro
 Fecha de corte del primer núcleo: Noviembre de 1961

DISTRIBUCION DE LOS NUCLEOS

Núcleo (No.)	Intervalo (mbMR)	Long. Recup. (m)	Recup. (%)	Salinidad (ppm)	Formación
2	1472-1479	7.0	100	35 000	Chicontepec Medio
4	1965-1704	9.0	100	35 000	" "
5	1770-1777	7.0	100	35 000	Chicontepec Inf.
6	1777-1790	13.0	100	35 000	" "
7	1790-1797	7.0	100	35 000	" "
8	1815-1832	17.0	100	35 000	" "
9	1832-1841	9.0	100	35 000	" "

DESCRIPCION LITOLOGICA

- Núcleo No. 4.- Arenisca calcárea de grano fino a medio, con cuarzo y granos de feldespato, en una matriz microcristalina de calcita.
- Núcleo No. 5.- Lutita gris verdoso, ligeramente arenosa y calcárea con pequeñas intercalaciones de arenisca gris verdoso.
- Núcleo No. 6.- Arenisca calcárea de grano fino a medio, con gran cantidad de arcilla y granos de feldespato.
- Núcleo No. 7.- Arenisca gris verdoso de grano medio, bien cementada, con delgadas bandas de gilsonita y escasas in-

tercalaciones de lutita gris verdoso ligeramente arenosa.

Núcleo No. 8.- Sedimento de arenisca calcárea formada por gran cantidad de cuarzo, feldespatos y calcita en una matriz arcillosa laminada.

Núcleo No. 9.- Arenisca calcárea de grano fino a medio, con gran cantidad de arcilla y granos de pedernal.

Resultados obtenidos del laboratorio de yacimientos.

δ	(%)	=	5.28
K	(md)	=	0.175

INFORMACION DEL MUESTREO

Pozo: Tajín 637
 Tipo de núcleo: De barril
 Distrito: Poza Rica
 Zona: Centro
 Fecha de corte del primer núcleo: Agosto de 1981

DISTRIBUCION DE LOS NUCLEOS

Núcleo (No.)	Intervalo (mbMR)	Long. (m)	Recup. (%)	Salinidad (ppm)	Formación
1	1518-1527	9.0	100	35 000	Chicontepec Medio
2	1527-1536	9.0	100	35 000	" "
3	1591-1600	9.0	100	35 000	" "
4	1631-1639	6.0	75	35 000	" "
6	1791-1798	5.6	80	35 000	Chicontepec Inf.
7	1841-1850	9.0	100	35 000	" "

DESCRIPCION LITOLOGICA

Los núcleos están constituidos por areniscas calcáreas de grano fi no a medio, con alternancia de Lutita arenosa gris claro.

Resultados obtenidos del laboratorio de yacimientos.

σ (%) = 5.841
 K (md) = 0.3845

INFORMACION DEL MUESTREO

Pozo: Tajín 691
Tipo de núcleo: De barril
Distrito: Poza Rica
Zona: Centro
Fecha de corte del primer núcleo: Mayo de 1981

DISTRIBUCION DE LOS NUCLEOS

Núcleo (No.)	Intervalo (mbMR)	Long. Recup. (m)	Recup. (%)	Salinidad (ppm)	Formación
1	1495-1503	8.0	100	35 000	Chicontepec Medio
2	1537-1546	9.0	100	35 000	" "
3	1565-1574	9.0	100	35 000	" "
4	1680-1689	9.0	100	35 000	" "
5	1785-1794	9.0	100	35 000	Chicontepec Inf.
6	1794-1803	9.0	100	35 000	" "
7	1835-1844	9.0	100	35 000	" "
8	1865-1874	9.0	100	35 000	" "

DESCRIPCION LITOLOGICA

En general, los núcleos están constituidos por alternancia de arenisca gris verdoso de grano fino a medio, bien cementada y lutita arenosa semiconpacta gris claro.

De las pruebas de desplazamiento agua - aceite se obtuvieron -
los siguientes resultados promedio:

δ	(%)	=	5.79
K	(mD)	=	0.9179
Ko a Swr	(mD)	=	19.5
Kw a Sor	(mD)	=	3.345
Swr	(%)	=	38.3
Sor	(%)	=	19.0
H_o	(CP)	=	9.1
H_w	(CP)	=	0.995

I.3 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO MECÁNICO Y SU FUNCIONAMIENTO.

La unidad de bombeo mecánico está constituida de cinco partes principalmente, las cuales son: (3).

- 1.- Motor principal de la unidad.
- 2.- Caja reductora de engranes.
- 3.- Equipo superficial o unidad superficial.
- 4.- Sarta de varillas de succión.
- 5.- Bomba subsuperficial.

I.3.1.- Motor principal de la unidad.

El motor es el elemento que transforma la energía eléctrica o energía potencial en movimiento rotatorio, el cual es a su vez transmitido a la unidad superficial para que adquiera el movimiento oscilatorio. Existe en el mercado diferentes tipos y tamaños de motores, de los cuales se selecciona el motor más adecuado.

El motor seleccionado para una instalación, debe poseer la potencia necesaria para hacer funcionar la unidad de bombeo mecánico; entiéndase como funcionamiento de la unidad de bombeo mecánico, al movimiento ascendente y descendente que realiza " La Cabeza de Caballo " que a su vez hará funcionar la bomba subsuperficial mediante la sarta de varillas de succión.

El motor principal de la unidad de bombeo, (4) puede -

ser de combustión interna o eléctrico. Los motores de combustión interna son comunmente de dos clases.

- a) Motores de baja velocidad.
- b) Motores de alta velocidad.

Los motores de baja velocidad, son aquellos que tienen uno o más cilindros y operan a una velocidad de cigüel menor de 750 revoluciones por minuto:

Los motores de alta velocidad, son aquellos que tienen normalmente cilindros múltiples con una velocidad de cigüel mayor de 750 revoluciones por minuto.

Los motores se clasifican en seis tipos.

- 1.- Motores de gas, simples a baja velocidad con cilindros gemelos que operan con dos ciclos.
- 2.- Motores de gas de baja velocidad, cilindro simple de cuatro ciclos.
- 3.- Motores de gas de alta velocidad, cilindro múltiple de cuatro ciclos.
- 4.- Motores de diesel o aceite combustible de baja velocidad.
- 5.- Motores de diesel de alta velocidad.
- 6.- Motores eléctricos.

Los motores de combustión interna son construidos en dos ciclos de operación .

- a) Carrera de dos ciclos.
- b) Carrera de cuatro ciclos.

CARRERA DE DOS CICLOS.

Esta completa su ciclo de trabajo en únicamente dos carreras del pistón o una revolución del cigüeñal. las cuales son:

- a) de compresión.
- b) de potencia.

El número de carreras de potencia por revolución es - proporcional al número de cilindros.

Normalmente un motor de dos ciclos para determinado - desplazamiento y velocidad, desarrolla 1.6 veces la potencia de un motor de cuatro ciclos.

CARRERA DE CUATRO CICLOS.

Esta completa el ciclo de trabajo en cuatro tiempos - de pistón o una cada dos revoluciones del cigüeñal, las cuales son:

- 1) Succión.
- 2) Compresión.
- 3) Potencia.
- 4) Escape.

Los motores de cuatro ciclos son construidos en versiones de baja y alta velocidad, el mecanismo de cada uno es esencialmente el mismo. El motor de cuatro ciclos está constituido de pistones principales, de manera que las varillas de conexión estén sujetas directamente al pistón. Las válvulas de admisión y escape son necesarias y están montadas en el cilindro guía o en el block y actúa por varillas de levas o empuje. Para éste motor se necesita frecuentemente cambio o limpieza del aceite.

Los motores de baja velocidad de cuatro ciclos, son generalmente diseñados con cilindros simples verticales u horizontales.

Los motores de alta velocidad de cuatro ciclos, son generalmente de cilindros múltiples, tienen cuatro ó seis cilindros y operan a velocidades mayores de 2000 revoluciones por minuto.

SELECCION DEL MOTOR.

Para la selección adecuada del motor se requiere el conocimiento de:

- 1.- Requerimientos de potencia.
- 2.- Posibilidades del cambio de cargas.
- 3.- Tipo de combustible a emplear.
- 4.- Tipo de motores.
- 5.- Vida esperada de la instalación.

- 6.- Tipo de instalación.
- 7.- Límite de operación práctica.
- 8.- Compañías de servicio.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE MOTORES DE GAS DE DOS CICLOS DE BAJA VELOCIDAD.

VENTAJAS.

- 1.- Larga vida debido al movimiento lento de las partes - simples.
- 2.- Construcción extrafuerte con base y empaque para se - llar en caso de usar gases de combustión.
- 3.- Rotación uniforme del cigüeñal debido al impulso de ca - da cilindro.
- 4.- La operación del motor es gobernada por compensación - de cambios de cargas con variación de velocidades.
- 5.- Mantenimiento mínimo, porque no tiene válvulas o ins - trumentos delicados.
- 6.- Tiene sistemas de seguridad.
- 7.- Tamaños disponibles para los requerimientos de la uni - dad de bombeo.
- 8.- El motor puede ser examinado separándolo de la unidad de bombeo.

DESVENTAJAS.

- 1.- El costo de potencia es mayor que el motor de alta ve - locidad.

- 2.- El peso por potencia es mayor que el motor de alta velocidad.
- 3.- Únicamente funciona con gas natural o gas doméstico no utiliza gasolina.
- 4.- No es recomendable para instalaciones portátiles.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE MOTORES DE CUATRO CICLOS DE ALTA VELOCIDAD.

VENTAJAS.

- 1.- Bajo costo inicial.
- 2.- Amplio rango de velocidad y potencia.
- 3.- Ideal para instalaciones portátiles.
- 4.- Adecuado para servicio intermitente.
- 5.- Seguro en su instalación.
- 6.- Requiere espacio pequeño para su instalación
- 7.- Opera con diferentes combustibles.

DESVENTAJAS.

- 1.- Gran variación de velocidad en el ciclo de bombeo.
- 2.- Corta vida por desgaste de las partes móviles.
- 3.- Alta contaminación por productos de la combustión.
- 4.- Mantenimiento constante debido a que las partes pequeñas requieren ajustes.
- 5.- Su reparación requiere de mecánicos especializados.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE MOTORES DE DIESEL (DE DOS O CUATRO -
CICLOS).

VENTAJAS.

- 1.- Proporciona la potencia cuando no se cuenta con gas o energía eléctrica.
- 2.- El combustible no es explosivo y puede ser transportado fácilmente.
- 3.- Bajo costo de combustible.

DESVENTAJAS.

- 1.- Alto costo inicial.
- 2.- Requiere demasiado mantenimiento con personal especializado.

MOTORES ELECTRICOS.

Estos motores varían de instalaciones pequeñas con motores de corriente directa (d-c), (generalmente alimentados por una planta generadora pequeña), a motores de fase simple de potencia fraccional con motores de corriente alterna (a-c).

Cuando se dispone de energía eléctrica de tres fases, se debe preferir su empleo porque se adapta a los requerimientos de carga del pozo, bajo costo inicial, operación suave, silenciosa y con velocidad de deslizamiento[#] que varía con la carga.

Hay muchas clasificaciones y normas para motores tipo jaula de ardilla acordados por ASA (American Standard Association) y NEMA (National Electric Manufacturers Association).

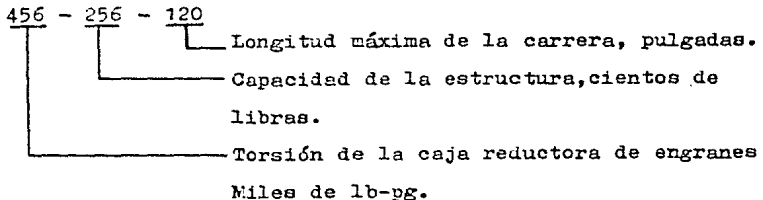
En general los motores son clasificados por características de diseño, voltaje, tipo de enchufe, aislamiento y resistencia a la temperatura.

1.3.2 CAJA REDUCTORA DE ENGRANES.

Una caja reductora de engranes, es utilizada para convertir la energía de alta velocidad y baja torsión del motor principal a energía utilizable a baja velocidad y alta torsión. Se utiliza una relación de reducción mayor de 30 a 1. De manera que si la velocidad de entrada es de 300 ó 600 revoluciones por minuto, la velocidad de salida o velocidad de bombeo será de 10 ó 20 emboladas por minuto.

La forma de transmitir la velocidad del motor a la caja reductora de engranes, es mediante un juego de bandas que son fácilmente cambiadas o ajustadas a la velocidad requerida por la unidad.

Para seleccionar las unidades de bombeo, es necesario determinar la probable torsión máxima a la que van a estar sujetos los engranes de la caja reductora de engranes. Las cajas reductoras tienen números marcados y se leen:



1.3.3. EQUIPO SUPERFICIAL O UNIDAD SUPERFICIAL.

El objetivo principal de la unidad superficial, es de

convertir el movimiento rotatorio de la flecha del motor a un movimiento ascendente y descendente de "la cabeza de caballo". La unidad está compuesta generalmente de los siguientes elementos:

- a) Grampa de la unidad.
- b) Cable de acero.
- c) Cabeza de caballo.
- d) Balancín.
- e) Poste Sansón.
- f) Bielas.
- g) Manivelas.
- h) Contrapesos.

- a) Grampa de la unidad.

La grampa es el elemento que soporta a la sarta de varillas de succión, la cual a su vez se encuentra suspendida por un cable de acero.

- b) Cable de acero.

Es el elemento que soporta a la sarta de varillas de succión; deberá tener la suficiente resistencia a la tensión para soportar el peso de toda la sarta de varillas y la del fluido del pozo a producir.

- c) Cabeza de caballo.

Su función es, dada su geometría, mantener a la sarta de varillas de succión en posición vertical tanto en el movimiento ascendente como en el descendente.

d) Balancín.

Es una barra que actúa como palanca, sobre la cual se aplica una fuerza, en un extremo de ella se encuentra "la cabeza de caballo" y en el otro extremo si se trata de la unidad convencional la unión con las bielas, pero si se trata de la unidad Mark II o de la unidad aerobalanceada se encontrará apoyada en el poste Sansón. En la unidad convencional el balancín está apoyado en el poste Sansón entre "la cabeza de caballo" y la unión con las bielas. En la unidad Mark II las bielas se encuentran unidas a el balancín cerca de la cabeza de caballo. El balancín deberá ser lo suficientemente fuerte para no romperse ni doblarse, es decir, deberá permanecer rígido ante la acción de las cargas impuestas (peso de la sarta de varillas, peso del fluido del pozo, cargas por aceleración etc.).

e) Poste Sansón.

El poste Sansón sirve de apoyo al balancín, puede estar al otro extremo de la cabeza de caballo (unidad Mark II o unidad aerobalanceada) o entre la unión del balancín con las bielas y la cabeza de caballo (unidad convencional), de hecho el balancín descansa sobre el poste sansón y su movimiento ascendente y descendente se debe a la fuerza transmitida por las bielas.

f) Bielas.

Las bielas están unidas en un extremo al balancín y en el otro a la manivela, al girar ésta última en círculos concéntricos, hacen que las bielas se muevan en forma ascendente y descendente que es el mismo movimiento que tendrá el balancín por estar unido a las bielas.

g) Manivelas.

Es un elemento que está acoplado a la caja reductora de engranes, en su cuerpo tiene varias perforaciones en las cuales se unen las bielas, es decir, las bielas se pueden unir a la manivela en cualquiera de sus perforaciones, con lo cual se puede obtener una mayor o menor longitud de carrera de la varilla pulida, al colocar las bielas en perforaciones mas alejadas del centro se tendrá mayor longitud de carrera de la varilla pulida, por lo contrario si se colocan las bielas mas cerca del centro de la manivela se tendrá menor longitud de carrera de la varilla pulida (al girar la manivela sus perforaciones describen círculos concéntricos).

h) Contrapesos.

Son masas de hierro que se colocan en la manivela, para compensar la diferencia de cargas que existe en el viaje de la sarta de varillas de succión, es decir, durante la carrera ascendente el motor principal de la unidad tendrá que desarrollar cierta potencia, para poder elevar la sarta de varillas de

suceción con un peso W_r y el fluido producido por el pozo con un peso W_f , sin embargo en la carrera descendente ya no se tendrá fluido, puesto que fue descargado y la sarta de varillas descenderá por su propio peso, lo que sugiere que no se requiere ninguna potencia del motor, eso indica que el motor pasa de desarrollar una cierta potencia a otra potencia mínima o nula, lo cual lo dañaría puesto que deberá operar dentro de cierto intervalo de trabajo. Para balancear la diferencia de cargas, se colocan los contrapesos, con lo cual se dice que la unidad está contrabalanceada.

Puesto que los contrapesos están unidos a la manivela describirán un movimiento igual a esta, así cuando se inicia la carrera ascendente, los contrapesos se encuentran en la parte superior del círculo de giro descrito por su movimiento y al terminar dicha carrera se encuentran en la parte inferior de su círculo de giro.

Cuando la unidad superficial eleva las varillas de succión desde el fondo del pozo hasta la parte superior, se entrega energía potencial al sistema, es decir, el motor principal de la unidad desarrollará cierta potencia para poder elevar la sarta de varillas de succión y los fluidos del pozo, al mismo tiempo que esto sucede, los contrapesos descienden de la parte superior a la parte inferior de su círculo de giro, al iniciarse la carrera descendente de las varillas de succión, el motor principal de la unidad, ahora deberá desarrollar la potencia necesaria para poder llevar a los contrapesos de la parte

inferior a la parte superior de su círculo de giro. El peso de los contrapesos es igual al peso de la sarta de varillas, más - la mitad del peso del fluido del pozo $W_f/2$, ($W_r + W_f/2$). Con lo cual se logra que el motor principal de la unidad entregue una potencia uniforme durante el ciclo de bombeo.

Cabe mencionar que el contrabalanceo ideal no se consigue, puesto que las fuerzas de torsión no son constantes, debidas a las cargas de vibración, al efecto de alargamiento de las varillas, a la variación de cargas sobre las varillas, etc.

VARILLA PULIDA.

La unión entre el equipo superficial y el equipo sub superficial, se hace por medio de la varilla pulida, su superficie exterior se encuentra perfectamente lisa, para que pase a través del estopero con una fricción mínima.

1.3.4 SARTA DE VARILLAS DE SUCCION. (5)

La sarta de varillas es el elemento que transfiere la energía del equipo superficial al subsuperficial, está constituida por varillas de succión.

El constituyente básico de las varillas de succión de acero es el hierro (Fe); la mayoría contiene cerca del 90%, sin embargo el (Fe) puro haría las varillas demasiado suaves y frágiles, por lo que se le añaden diferentes metales para aumentar su resistencia.

Las varillas que contienen Mn, C, P, S y Si, la combinación de estos elementos se le conoce con el nombre de carbón-acero.

Las aleaciones para las varillas de succión se limita a los siguientes elementos: Mn, Si, Ni, Cr, Mo y Cu.

CARBON (C), Es el elemento esencial en el acero, por su aumento o disminución en las varillas es posible alcanzar mayor o menor resistencia.

Una de las principales ventajas de los elementos aleadores, es que aumentan la resistencia del acero, disminuyendo el contenido de carbón (C).

MANGANESO (Mn), actúa como desoxidante, combinado con azufre (S)

hace al acero menos quebradizo, así como más duro y más resistente a la corrosión.

SILICON (Si), es muy útil como desoxidante en acero de alto grado de refinamiento, la mayor parte de las varillas de succión contiene cerca de 0.15 a 0.35 % de éste elemento.

NIQUEL (Ni), tiene un efecto endurecedor en el acero, cuando se tienen pozos con producción de agua, está normalmente saturada con H_2S (ácido sulfhídrico), el cual tiene un efecto de picar y hacer quebradizas las varillas, lo cual se elimina con adición de Níquel.

CROMO (Cr), forma un carburo estable y contribuye considerablemente en la dureza del acero, mejora la resistencia a la corrosión de acero en el aire y con otros medios ambientes, se encuentra en altos porcentajes en todos los aceros de tipo inoxidable.

MOLIBDENO (Mo), es uno de los elementos aleadores más potentes y resistentes, pero no puede considerarse tan efectivo como el carbón.

COBRE (Cu), su efecto en la dureza es mayor si se proporciona en pequeñas cantidades cerca del 0.65 %.

Pruebas de laboratorio indican que la vida de las varillas es de aproximadamente 15 meses (10 millones de viajes -

completos a una velocidad de 15 carreras por minuto).

En pozos con más de 3500 pies de profundidad; el empleo de sarta de varillas combinadas es necesario, debido a que a cierta profundidad las varillas de menor diámetro pueden soportar el peso del resto de las varillas sin ningún problema, lo que redundaría en un menor peso sobre la varilla pulida y ahorro económico, ya que las varillas de menor diámetro son más económicas que las varillas de mayor diámetro, comúnmente se utilizan dos o tres tamaños de varillas en una sarta.

El API en su publicación RF11L⁽⁶⁾ describe la sarta de varillas de acero combinadas como una sarta 76 a 66 o un número similar. Por ejemplo, varillas 76 indican dos varillas combinadas de 7/8 de pulgada, y 6/8 de pulgada, varillas No. 85 indican cuatro varillas de 1", 7/8", 6/8", y 5/8" de pulgada, varillas No. 77 indican una sola varilla de 7/8 de pulgada.

El API RF11L recomienda porcentajes de varillas y sus tamaños a utilizar y dimensiones de la bomba. Estos porcentajes son designados para sartas, que tendrán las mismas cargas de fatiga en la parte superior de cada varilla, cuando se bombea a la máxima capacidad de carga. La tabla 1.1 presenta algunas combinaciones de sarta de varillas.

DATOS DE VARILLAS Y BOMBAS

TABLA 1.1

vered. 1	Diam. embudo % 2	Peso varilla lb/pe 3	Constante elastica Pp/10. psi 4	Factor frecuencia Fz 5	Sorteo de varillas - % de cada tamaño				11	
					1 1/2 6	2 7	7/8 8	3/4 9		5/8 10
44	a11	0.726	1.790x10 ⁻⁶	1.000	----	----	----	----	----	100.0
54	1.06	0.908	1.668x10 ⁻⁶	1.138	----	----	----	----	44.6	55.40
54	1.25	0.929	1.655x10 ⁻⁶	1.140	----	----	----	----	49.5	50.50
54	1.50	0.957	1.584x10 ⁻⁶	1.127	----	----	----	----	56.4	43.60
54	1.75	0.990	1.525x10 ⁻⁶	1.122	----	----	----	----	64.6	35.40
54	2.00	1.027	1.460x10 ⁻⁶	1.096	----	----	----	----	73.7	26.30
54	2.25	1.067	1.391x10 ⁻⁶	1.061	----	----	----	----	83.4	16.60
54	2.50	1.108	1.318x10 ⁻⁶	1.023	----	----	----	----	93.5	6.50
56	a11	1.135	1.270x10 ⁻⁶	1.000	----	----	----	----	----	100.0
64	1.06	1.64	1.182x10 ⁻⁶	1.229	----	----	----	33.3	33.1	33.50
64	1.25	1.211	1.119x10 ⁻⁶	1.215	----	----	----	37.2	35.9	26.90
64	1.50	1.275	1.122x10 ⁻⁶	1.184	----	----	----	42.1	43.4	17.30
64	1.75	1.341	1.141x10 ⁻⁶	1.145	----	----	----	47.4	45.2	7.40
65	1.06	1.307	1.136x10 ⁻⁶	1.098	----	----	----	34.4	55.6	-----
65	1.25	1.321	1.127x10 ⁻⁶	1.104	----	----	----	37.3	62.7	-----
65	1.50	1.343	1.110x10 ⁻⁶	1.110	----	----	----	41.8	58.2	-----
65	1.75	1.369	1.090x10 ⁻⁶	1.114	----	----	----	46.9	53.1	-----
65	2.00	1.394	1.070x10 ⁻⁶	1.114	----	----	----	52.0	48.0	-----
65	2.25	1.426	1.045x10 ⁻⁶	1.110	----	----	----	58.4	41.6	-----
65	2.50	1.460	1.018x10 ⁻⁶	1.099	----	----	----	65.2	34.8	-----
65	2.75	1.497	0.990x10 ⁻⁶	1.082	----	----	----	72.5	27.5	-----
65	3.25	1.574	0.930x10 ⁻⁶	1.027	----	----	----	82.1	17.9	-----
66	a11	1.058	0.865x10 ⁻⁶	1.000	----	----	----	----	100.0	-----
75	1.06	1.566	0.997x10 ⁻⁶	1.191	----	----	27.0	27.4	45.6	-----
75	1.25	1.602	0.973x10 ⁻⁶	1.193	----	----	29.4	29.8	40.6	-----
75	1.50	1.674	0.935x10 ⁻⁶	1.189	----	----	33.3	33.3	33.3	-----
75	1.75	1.732	0.892x10 ⁻⁶	1.174	----	----	37.8	37.0	25.1	-----
75	2.00	1.803	0.847x10 ⁻⁶	1.151	----	----	42.4	42.3	16.3	-----
75	2.25	1.875	0.801x10 ⁻⁶	1.121	----	----	46.9	45.9	7.2	-----
76	1.06	1.902	0.818x10 ⁻⁶	1.072	----	----	28.5	71.5	-----	-----
76	1.25	1.814	0.812x10 ⁻⁶	1.077	----	----	30.0	69.4	-----	-----
76	1.50	1.813	0.804x10 ⁻⁶	1.082	----	----	33.8	66.2	-----	-----
76	1.75	1.835	0.795x10 ⁻⁶	1.088	----	----	37.5	62.5	-----	-----
76	2.00	1.869	0.785x10 ⁻⁶	1.093	----	----	41.7	58.3	-----	-----
76	2.25	1.908	0.774x10 ⁻⁶	1.096	----	----	46.5	53.5	-----	-----
76	2.50	1.934	0.764x10 ⁻⁶	1.097	----	----	50.8	49.2	-----	-----
76	2.75	1.967	0.751x10 ⁻⁶	1.094	----	----	56.5	43.5	-----	-----
76	3.25	2.039	0.723x10 ⁻⁶	1.078	----	----	66.7	31.3	-----	-----
76	3.75	2.119	0.690x10 ⁻⁶	1.047	----	----	82.3	17.7	-----	-----
77	a11	2.224	0.649x10 ⁻⁶	1.000	----	----	----	100.0	----	-----

CONTINUA TABLA 1.1

85	1.06	1.883	0.873x10 ⁻⁶	1.261	----	22.2	22.4	23.4	23.0	----
85	1.25	1.942	0.841x10 ⁻⁶	1.253	----	23.9	24.2	24.3	27.6	----
85	1.50	2.039	0.791x10 ⁻⁶	1.232	----	26.7	27.4	26.8	19.2	----
85	1.75	2.138	0.738x10 ⁻⁶	1.201	----	29.6	30.4	29.5	10.5	----
86	1.06	2.058	0.742x10 ⁻⁶	1.151	----	22.8	23.0	24.3	----	----
86	1.25	2.037	0.732x10 ⁻⁶	1.156	----	24.3	24.5	21.2	----	----
86	1.50	2.133	0.717x10 ⁻⁶	1.162	----	26.8	27.0	46.3	----	----
86	1.75	2.185	0.699x10 ⁻⁶	1.164	----	29.4	30.0	40.6	----	----
86	2.00	2.217	0.679x10 ⁻⁶	1.161	----	32.8	33.2	33.9	----	----
86	2.25	2.315	0.656x10 ⁻⁶	1.158	----	36.8	26.0	27.1	----	----
86	2.50	2.385	0.632x10 ⁻⁶	1.181	----	40.4	39.7	19.7	----	----
86	2.75	2.391	0.610x10 ⁻⁶	1.199	----	44.6	43.2	12.2	----	----
87	1.06	2.390	0.612x10 ⁻⁶	1.055	----	24.3	25.7	----	----	----
87	1.25	2.399	0.610x10 ⁻⁶	1.058	----	25.7	24.3	----	----	----
87	1.50	2.413	0.607x10 ⁻⁶	1.062	----	27.7	23.3	----	----	----
87	1.75	2.430	0.603x10 ⁻⁶	1.066	----	30.2	69.7	----	----	----
87	2.00	2.450	0.598x10 ⁻⁶	1.071	----	33.2	26.9	----	----	----
87	2.25	2.472	0.594x10 ⁻⁶	1.075	----	36.4	63.6	----	----	----
87	2.50	2.495	0.583x10 ⁻⁶	1.079	----	39.9	60.1	----	----	----
87	2.75	2.523	0.581x10 ⁻⁶	1.082	----	43.9	56.1	----	----	----
87	3.25	2.575	0.570x10 ⁻⁶	1.084	----	51.6	48.4	----	----	----
87	3.75	2.641	0.556x10 ⁻⁶	1.078	----	61.2	38.8	----	----	----
87	4.75	2.793	0.522x10 ⁻⁶	1.038	----	83.6	16.4	----	----	----
88	all	2.964	0.497x10 ⁻⁶	1.000	----	100.0	----	----	----	----
96	1.06	2.382	0.676x10 ⁻⁶	1.222	19.1	19.2	19.5	42.3	----	----
96	1.25	2.435	0.655x10 ⁻⁶	1.224	20.5	20.5	20.7	38.3	----	----
96	1.50	2.511	0.633x10 ⁻⁶	1.223	22.4	22.5	22.8	32.3	----	----
96	1.75	2.607	0.606x10 ⁻⁶	1.213	24.6	25.1	25.1	25.1	----	----
96	2.00	2.703	0.578x10 ⁻⁶	1.196	27.1	27.9	27.4	17.0	----	----
96	2.25	2.806	0.549x10 ⁻⁶	1.172	29.6	30.7	29.8	9.8	----	----
97	1.06	2.645	0.568x10 ⁻⁶	1.120	19.6	20.0	60.3	----	----	----
97	1.25	2.435	0.563x10 ⁻⁶	1.124	20.8	21.2	98.0	----	----	----
97	1.50	2.707	0.557x10 ⁻⁶	1.131	22.5	23.0	54.5	----	----	----
97	1.75	2.751	0.548x10 ⁻⁶	1.137	24.5	25.0	50.3	----	----	----
97	2.00	2.801	0.538x10 ⁻⁶	1.141	26.8	27.4	45.7	----	----	----
97	2.25	2.856	0.528x10 ⁻⁶	1.143	29.4	30.2	40.4	----	----	----
97	2.50	2.921	0.515x10 ⁻⁶	1.141	32.5	33.1	34.4	----	----	----
97	2.75	2.989	0.503x10 ⁻⁶	1.135	36.1	35.3	28.6	----	----	----
97	3.25	3.132	0.475x10 ⁻⁶	1.111	42.6	41.9	15.2	----	----	----
98	1.06	3.068	0.475x10 ⁻⁶	1.043	21.2	78.8	----	----	----	----
98	1.25	3.076	0.474x10 ⁻⁶	1.045	22.2	77.8	----	----	----	----
98	1.50	3.089	0.472x10 ⁻⁶	1.048	23.8	76.2	----	----	----	----
98	1.75	3.103	0.470x10 ⁻⁶	1.051	25.7	74.3	----	----	----	----
98	2.00	3.118	0.468x10 ⁻⁶	1.055	27.7	72.3	----	----	----	----
98	2.25	3.137	0.465x10 ⁻⁶	1.058	30.1	69.9	----	----	----	----
98	2.50	3.157	0.463x10 ⁻⁶	1.062	32.7	67.3	----	----	----	----
98	2.75	3.180	0.460x10 ⁻⁶	1.066	35.6	64.4	----	----	----	----

CONTINUA TABLA 1.1

98	3.25	3.231	0.453x10 ⁻⁶	1.071	42.2	57.8	----	----	----	----
98	3.75	3.289	0.445x10 ⁻⁶	1.074	43.7	50.3	----	----	----	----
98	4.75	3.412	0.428x10 ⁻⁶	1.064	65.7	43.3	----	----	----	----
99	all	3.676	0.393x10 ⁻⁶	1.000	100.0	----	----	----	----	----

					1 1/4	1 1/8	1	7/8	3/4	5/8
107	1.06	2.977	0.514x10 ⁻⁶	1.184	18.3	16.8	17.1	49.1	----	----
107	1.25	3.019	0.517x10 ⁻⁶	1.189	17.9	17.8	18.0	48.3	----	----
107	1.50	3.085	0.506x10 ⁻⁶	1.195	19.4	19.2	19.5	41.9	----	----
107	1.75	3.158	0.497x10 ⁻⁶	1.197	21.0	21.0	21.2	36.3	----	----
107	2.00	3.238	0.489x10 ⁻⁶	1.198	22.7	22.8	23.1	31.4	----	----
107	2.25	3.336	0.484x10 ⁻⁶	1.197	25.0	25.0	25.0	25.0	----	----
107	2.50	3.435	0.447x10 ⁻⁶	1.174	26.9	27.7	27.1	18.2	----	----
107	2.75	3.537	0.450x10 ⁻⁶	1.156	29.1	30.2	29.3	11.3	----	----
108	1.06	3.325	0.447x10 ⁻⁶	1.097	17.3	17.3	18.2	----	----	----
108	1.25	3.345	0.445x10 ⁻⁶	1.101	18.1	18.6	18.2	----	----	----
108	1.50	3.376	0.441x10 ⁻⁶	1.106	19.4	19.3	19.7	----	----	----
108	1.75	3.411	0.437x10 ⁻⁶	1.111	20.9	21.4	21.7	----	----	----
108	2.00	3.452	0.432x10 ⁻⁶	1.117	22.6	23.0	23.6	----	----	----
108	2.25	3.498	0.427x10 ⁻⁶	1.121	24.6	25.0	25.5	----	----	----
108	2.50	3.548	0.421x10 ⁻⁶	1.124	26.5	27.2	26.3	----	----	----
108	2.75	3.603	0.415x10 ⁻⁶	1.126	28.7	29.6	28.6	----	----	----
108	3.00	3.671	0.406x10 ⁻⁶	1.125	34.6	33.9	32.0	----	----	----
108	3.25	3.743	0.398x10 ⁻⁶	1.123	40.6	39.5	37.9	----	----	----
109	1.06	3.619	0.378x10 ⁻⁶	1.045	18.9	18.1	----	----	----	----
109	1.25	3.645	0.387x10 ⁻⁶	1.036	19.6	20.4	----	----	----	----
109	1.50	3.685	0.377x10 ⁻⁶	1.038	20.7	20.3	----	----	----	----
109	1.75	3.667	0.374x10 ⁻⁶	1.040	22.1	22.9	----	----	----	----
109	2.00	3.680	0.378x10 ⁻⁶	1.041	23.7	26.5	----	----	----	----
109	2.25	3.696	0.374x10 ⁻⁶	1.046	25.4	24.6	----	----	----	----
109	2.50	3.711	0.372x10 ⁻⁶	1.048	27.2	25.8	----	----	----	----
109	2.75	3.730	0.371x10 ⁻⁶	1.051	29.4	26.6	----	----	----	----
109	3.25	3.971	0.367x10 ⁻⁶	1.057	34.2	35.8	----	----	----	----
109	3.75	4.030	0.363x10 ⁻⁶	1.063	39.9	40.1	----	----	----	----
109	4.75	4.120	0.354x10 ⁻⁶	1.066	51.5	48.5	----	----	----	----

El máximo esfuerzo permisible para la sarta de varillas es:

$$\text{Máx. esfuerzo permisible, psi.} = \frac{\text{esfuerzo de tensión (psi)}}{4} + 0.5625(\text{mín. esf. permisible});$$

psi.

El máximo esfuerzo permisible de las varillas se ve afectado si el pozo contiene fluidos corrosivos. Si el fluido es muy corrosivo, el esfuerzo de las varillas permisible se reduce en 10% y en condiciones severas de corrosión se puede reducir - hasta un 40%. Para disminuir la corrosión se puede tratar con - inhibidores.

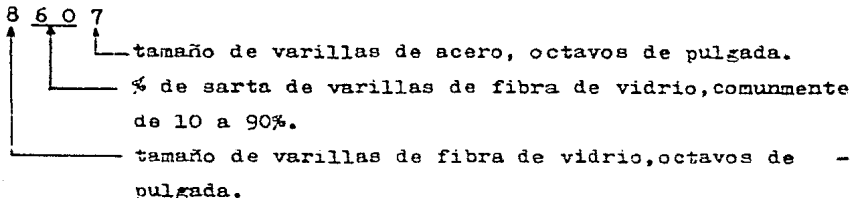
Propiedades mecánicas y químicas de la sarta de varillas.

grado	composición química	esfuerzo a la tensión, Psi.	
		mínimo	máximo
K	AISI 46XX	85,000	115,000
C	AISI 1,036	90,000	115,000
D	carbón o aleación	115,000	140,000

Sarta de varillas de fibra de vidrio.

La sarta de varillas de fibra de vidrio/acero, son aplicables a pozos profundos y/o corrosivos.

Sistema de clasificación para sarta de varillas de fibra de -
vidrio/acero.



Las varillas de fibra de vidrio, son fabricadas con un es -
fuerzo máxima a la tensión de 38000 psi. Esas varillas son clasi -
ficadas como grado K o con piñones y coples equivalentes para te -
ner la máxima resistencia a la corrosión. Los coples son clasi -
ficados como Rockwell C16-23 y pueden ser tratados químicamente
para obtener una superficie de alta resistencia.

Sarta de varillas flexibles. (7)

La sarta de varillas flexibles está hecha de 37 hilos de ace -
ro de alta resistencia a la tensión. Cada hilo es de 0.080 pul -
gadas de diámetro con un esfuerzo mínimo a la tensión de 240,000
psi. El Nylon que se utiliza tiene las propiedades de: resisten -
cia a aceites crudos, excelente resistencia a la abración, dure -
za, bajo desplazamiento, alto punto de flexibilidad. El diáme -
tro de la sarta es de 0.750 pulgadas, el peso por pie es de -
0.728 libras o menor para una varilla convencional de 3/4" de -
pulgada, el área total de la sección transversal del acero es -
de 0.186 pg^2 . La tensión máxima es de 42,000 libras, el módulo -

de elasticidad es de 24×10^6 psi. contra 29×10^6 psi. de las varillas convencionales y aproximadamente 14×10^6 psi. Para 6 hilos.

Las fallas más comunes se deben a la corrosión, lo que ocurre aproximadamente a los 14 meses, debido a la presión en la grampa sobre los hilos de las varillas, los cuales tienden a romperse y a corroerse. La mayoría de los problemas de la sarta de varillas flexibles, se atribuyen a los accesorios u otros equipos relacionados o herramientas, tanto superficiales como subsuperficiales.

Conexiones superficiales.

Son elementos que sirven de unión entre el equipo superficial y el subsuperficial, a la vez que sirven de control del pozo, (fig. 3).

Está compuesto de:

- 1.- Cabezal de tuberías del pozo.
- 2.- Válvulas laterales de compuerta.
- 3.- Estopero.
- 4.- Puergas.
- 5.- Líneas de descarga.

Estopero.

Su función es permitir el paso de la varilla pulida, redu

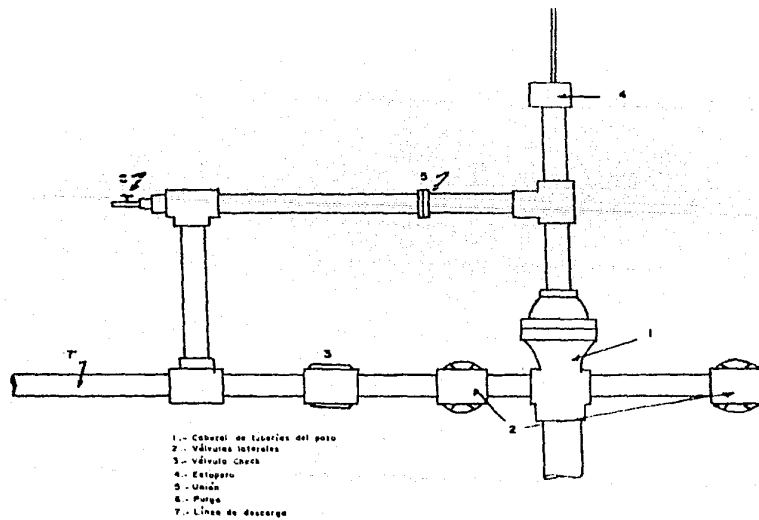


Fig. No. 3 ESQUEMA DE CONEXIONES SUPERFICIALES PARA POZOS DE BOMBEO MECANICO.

ciendo al mínimo junto con el empaque las fuerzas de fricción y al mismo tiempo evitar cualquier fuga de fluidos de la tubería de producción a la superficie.

1.3.5 BOMBA SUBSUPERFICIAL.

Su función principal es la de proporcionar energía a los fluidos provenientes del yacimiento, tal que puedan ser elevados hasta la superficie y poder ser recolectados o centralizados en una batería de separación o central de recolección para su futura transportación y/o transformación. Esta energía adicionalada al sistema se la proporciona la sarta de varillas de succión mediante un movimiento ascendente y descendente. Una bomba subsuperficial consta de las siguientes partes fig.(4).

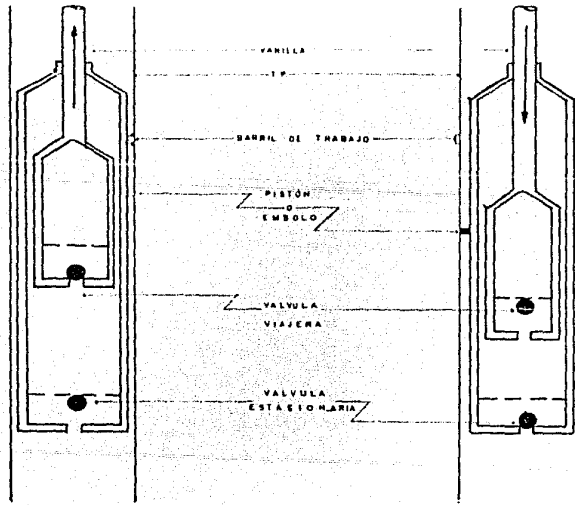
- a) Embolo.
- b) Barril de la bomba.
- c) Válvula viajera.
- d) Válvula de pie (válvula estacionaria).

La fig. (5) muestra el ciclo de bombeo.

En la fig.(5,a), la carrera descendente⁽³⁾ la carga del fluido sobre el émbolo hace que la válvula de pie o estacionaria caiga,caiga en su asiento, mientras que la válvula viajera abre, con lo cual el fluido que estaba en el barril de la bomba pase a la tubería de producción.

En la fig. (5.b), al iniciarse la carrera ascendente⁽³⁾ la carga del fluido sobre el émbolo, obliga a la válvula viajera a cerrarse, mientras que la presión de fondo fluyendo impulsa a

FIG. NO. 4 BOMBA SUBSUPERFICIAL.



Bomba subsuperficial mostrando la regulación de las válvulas a estacionaria y viajera en la carrera ascendente (izq.) y en la carrera descendente (der.)

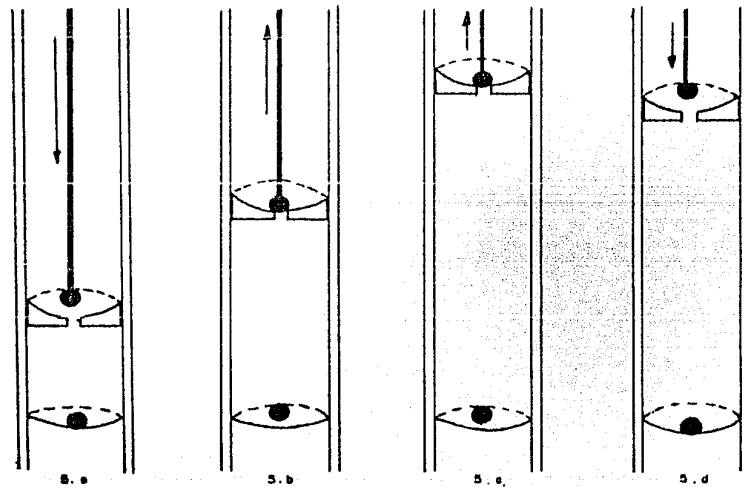


Fig. No. 5 CICLO DE BOMBEO

los fluidos del pozo a penetrar al barril de la bomba, con lo cual la válvula de pie abre.

En la fig. (5.c), al llegar el émbolo a la parte superior de la carrera ascendente (3) el barril de la bomba se encuentra lleno del fluido del pozo, la válvula viajera se encuentra cerrada y la válvula de pie abierta hasta un poco antes de que se inicie la carrera descendente.

En la fig. (5.d), al iniciarse la carrera descendente (3) la válvula viajera se abre para admitir los fluidos, mientras que la válvula de pie se cierra por el peso de la columna de fluidos.

Tipos de bombas subsuperficiales. (9).

Se pueden clasificar en tres grupos principales.

- 1.- Bombas de tuberías de revestimiento.
- 2.- Bombas de tuberías de producción.
- 3.- Bombas de incersión.

- 1.- Bombas de tuberías de revestimiento.

Se utilizan en la producción de grandes volúmenes de fluido ya que tiene mayor capacidad que cualquier otro tipo de bomba. Está anclada a la pared de la T.R. con un empacador y al instalar este tipo de bombas no se utiliza tubería de producción. Su eficiencia se reduce en pozos con alta producción de gas, la sarta de varillas limita su uso, son más costosas y más difícil su reparación, se emplean en pozos someros.

- 2.- Bombas de tuberías de producción.

Estas bombas pueden estar equipadas en la parte inferior del barril, con una zapata regular o bien con una zapata de extensión conectada al barril con un niple corto, este último arreglo es más conveniente, porque deja toda la longitud del barril disponible para el desplazamiento del símbolo, además que la arena u otros materiales que se acumulan en la parte inferior del barril no entran fácilmente a la bomba. Debido a que el fluido se produce por la tubería de producción; pueden ser eficientes para pozos que producen gas, ya que este gas puede escapar por el espacio anular, también se pueden utilizar en pozos que producen aceite viscoso, pues permiten el uso de barriles de mayor diámetro. Este tipo de bombas son generalmente para pozos con profundidades medias y con volúmenes altos de producción, debido a que para cambiar o reparar partes dañadas es necesario sacar la sarta de varillas y la tubería de producción.

Estas bombas se clasifican con respecto al diámetro de tubería de producción y son de:

- 1 1/4" para T.P. de 2" de diámetro.
- 1 1/4" para T.P. de 2 1/2" de diámetro.
- 2 3/4" " " " 3" " "
- 3 3/4" " " " 4" " "

3.- Bombas de incursión.

Las bombas de incursión son introducidas junto con las varillas dentro de la tubería de producción. Tiene la ven-

taja de que son muy fáciles de llevar a la superficie para su -
inspección y mantenimiento. No son adecuadas para bombear flui-
dos viscosos.

Hay tres tipos básicos de bombas de inserción.

- 1.- Bombas de barril fijo y anclaje superior.
- 2.- Bombas de barril fijo y anclaje inferior.
- 3.- Bombas de barril viajero y anclaje inferior.

- 1.- Bombas de barril fijo y anclaje superior.

El fluido es descargado inmediatamente arriba del an-
cla, lo que evita que arena u otros materiales caigan en el in-
terior de la bomba. Son adecuados para pozos que producen gas
no son recomendables en pozos profundos, debido a fallas por la
tensión y por la presión diferencial entre el interior y exte-
rior del barril de trabajo.

- 2.- Bombas de barril fijo y anclaje inferior.

Es adecuada para pozos profundos con nivel de fluido -
bajo. Opera con mayor eficiencia cuando trabaja con un separa-
dor subsuperficial del gas.

- 3.- Bombas de barril viajero y anclaje inferior.

En esta bomba el barril es el que se mueve y el émbolo
permanece fijo, el barril está conectado a las varillas por un
conector y la válvula viajera es grande en comparación de otros
tipos de bombas. No es adecuada para pozos que producen gas, -
pero si en pozos con arenamiento, ya que la acción turbulenta -

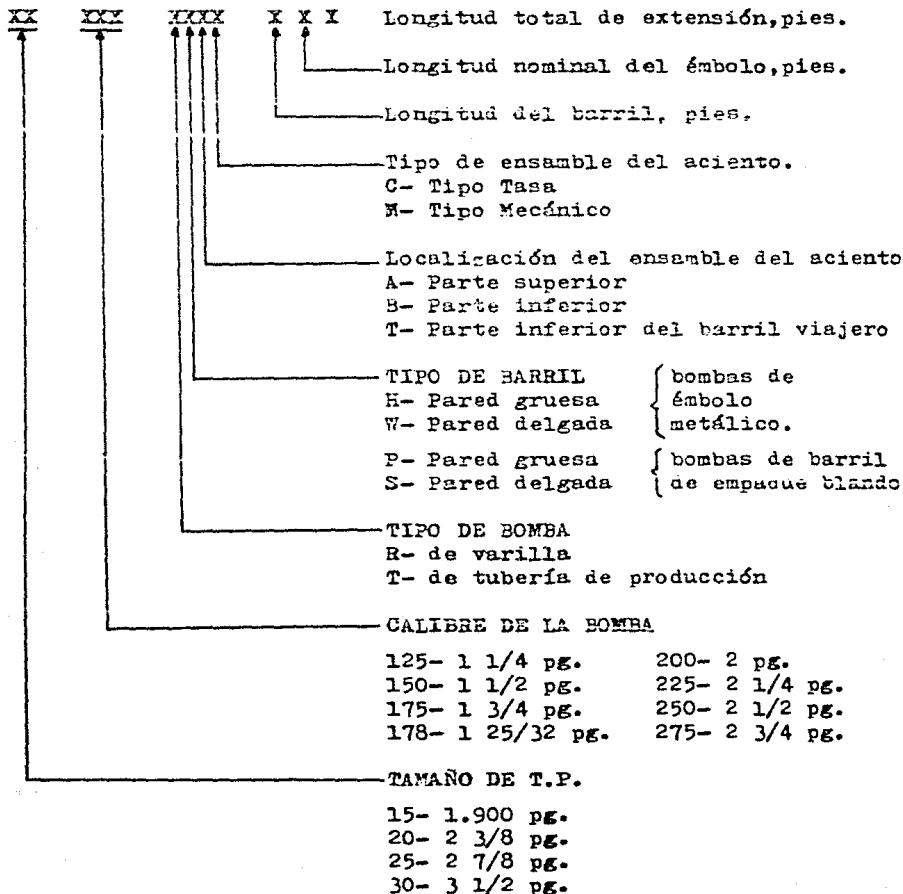
del fluido mantiene la arena en suspensión, no se debe usar en pozos profundos.

El tipo de bomba a utilizar en una instalación depende de : La producción esperada, profundidad a la que se va a instalar la bomba, eficiencia volumétrica de la bomba, viscosidad del fluido y cantidad de gas libre, entre otros factores.

Recomendaciones para todos los tipos de bombas.

- 1.- Ensamblar la bomba de tal manera que las válvulas de pie y viajera, queden lo más cerca posible en la carrera descendente pero sin hacer contacto.
- 2.- Emplear válvulas de pie lo mas grande posible, para reducir las caídas de presión del fluido a la entrada de la bomba.
- 3.- Cuando se tiene gas libre en cantidades apreciables se puede:
 - a) Colocar un separador de gas abajo de la bomba
 - b) Colocar la bomba abajo del intervalo productor.

CLASIFICACION API PARA TODOS LOS TIPOS DE BOMBAS UTILIZADAS EN OPERACIONES DE BOMBEO CONVENCIONAL (10)



TIPOS DE UNIDADES.

Los tipos de unidades de bombeo mecánico empleadas son las siguientes:

- a) Unidad convencional.
- b) Unidad Mark II.
- c) Unidad aerobalanceada.

- a) Unidad convencional, fig.6

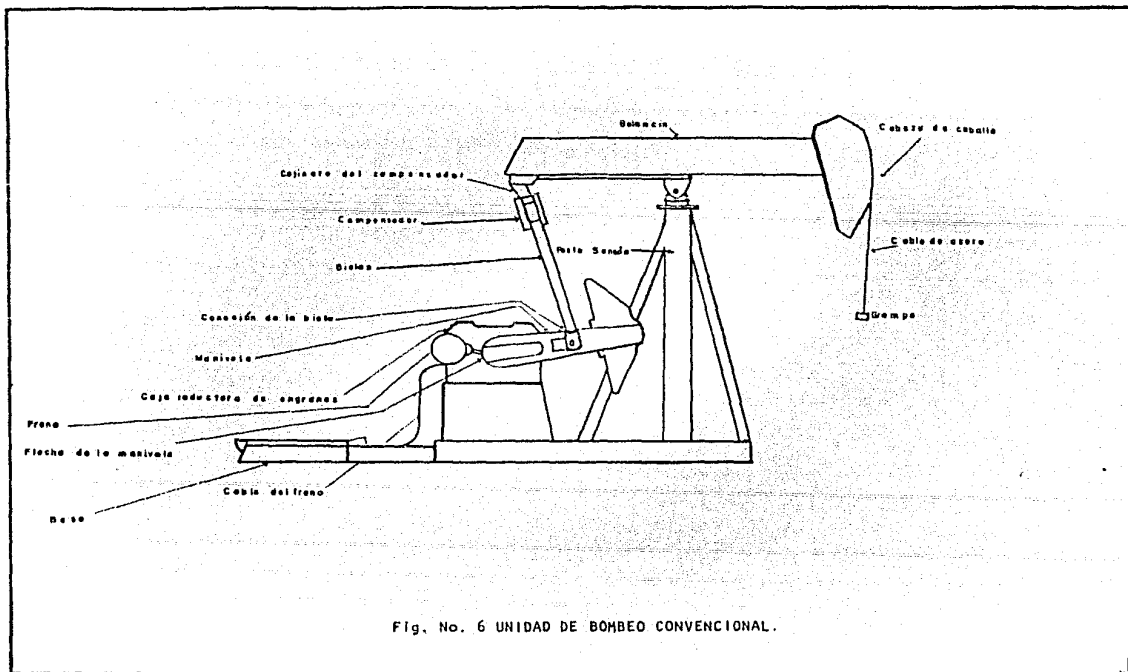
La unidad convencional es la más utilizada en el campo, en esta unidad el poste Sansón se encuentra entre la cabeza de caballo y la unión entre el balancín y las bielas.

- b) Unidad Mark II, fig.7

En esta unidad el poste Sansón se encuentra al otro extremo de la cabeza de caballo, las bielas se encuentran unidas al balancín entre la cabeza de caballo y el poste Sansón.

- c) Unidad aerobalanceada, fig.8

Este tipo de unidad se distingue por tener un barril de aire entre las bielas y la cabeza de caballo, el cual transfiere el movimiento ascendente y descendente al balancín .



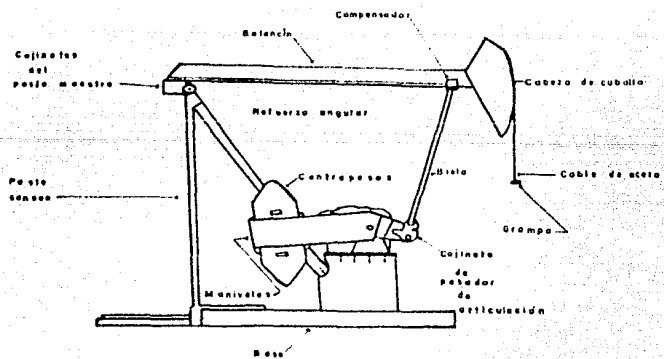


Fig. No. 7 UNIDAD DE BOMBEO MARK II

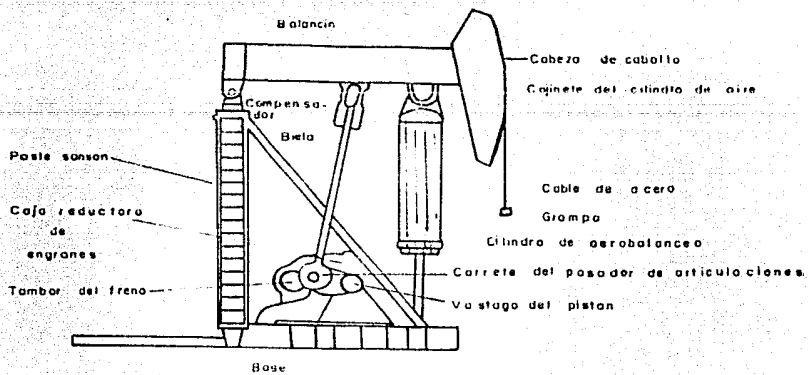


Fig. No. 8 UNIDAD DE BOMBEO AEROBALANCEADA.

CAPITULO II

DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO MECANICO

II.1 METODO TRADICIONAL⁽¹¹⁾

II.1.1 PARAMETROS UTILIZADOS.

FACTOR DE ACELERACION (α).

Para determinar la máxima carga por aceleración se multiplica el peso muerto de las varillas por el factor de aceleración, el cual está determinado para unidades convencionales:

$$\alpha = \frac{N^2 S}{70500} \dots \dots \dots (1)$$

CARRERA EFECTIVA DEL EMBOLO (Sp).

El volumen de aceite que se extrae en cada embolada es función del movimiento relativo del émbolo, con respecto al barril de trabajo de la bomba.

La carrera del émbolo y la carrera de la varilla pulida - son diferentes, debido a que las varilla de succión se elongan con respecto a la profundidad, además se tiene que considerar una sobrecarrera del émbolo resultante por los efectos de la aceleración.

La carrera del émbolo es disminuida por una cantidad igual a la suma de las elongaciones o deformaciones de la tubería de producción y de las varillas de succión debido a la carga de fluido.

La carrera efectiva del émbolo es igual a la longitud de carrera de la varilla pulida más la sobrecarrera del émbolo menos la pérdida en la carrera del émbolo, es decir:

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

Donde:

$$e_p = 40.8 \frac{L^2 \alpha}{E} \dots \dots \dots (3)$$

$$e_t = 5.20 \frac{\gamma D A_p L}{A_t E} \dots \dots \dots (4)$$

Pero si la sarta de varillas está compuesta de varias secciones de varillas de diferente diámetro la expresión (4) queda para cada sección:

$$e_1 = 5.20 \frac{D \text{ Ap } L_1}{A_1 E_1} \quad ; \quad e_2 = 5.20 \frac{D \text{ Ap } L_2}{A_2 E_2} \quad ; \text{ etc.}$$

Siendo e_1 la elongación de L_1 pies de varillas de área de sección transversal A_1 °

e_2 es la elongación de L_2 pies de varillas de área de sección transversal A_2 .

Por lo que para una deformación de varillas de varias secciones será:

$$e_t = 5.20 \frac{\gamma D \text{ Ap}}{E} \left[\frac{L_1}{A_1} + \frac{L_2}{A_2} + \dots \right] \dots (5)$$

$$\text{y } e_r = 5.20 \frac{\gamma D \text{ Ap } L}{A_r E}$$

Siendo A_r el área de la sección transversal de la varilla.

Para una sarta de varillas de diferentes secciones:

$$S_p = S + 40.8 \frac{\gamma L^2}{E} - \frac{5.2 \gamma D \text{ Ap}}{E} \left[\frac{L}{A_t} + \frac{L_1}{A_1} + \frac{L_2}{A_2} \dots \right] \dots (6)$$

En caso de varillas de succión de un solo diámetro, la expresión (6) se reduce a:

$$S_p = S + 40.8 \frac{L^2 \alpha}{E} - \frac{5.20 \gamma D A_p}{E} \left[\frac{1}{A_t} + \frac{1}{A_r} \right] \dots \dots (7)$$

Si la tubería está anclada $A_t = 0$

CARGAS EN LA VARILLA PULIDA.

La carga máxima a que está sujeta la varilla pulida, tiene gran influencia en la selección de la unidad de bombeo para u na instalación de bombeo mecánico.

Básicamente cinco factores influyen en la determinación de las cargas en la varilla pulida, las cuales son:

- 1.- Peso muerto de las varillas de succión.
- 2.- Carga de aceleración.
- 3.- Peso del fluido.
- 4.- Efecto de flotación.
- 5.- Fuerzas de fricción.

1.- La obtención del peso muerto de las varillas de succión, W_r ; se determina sumando el producto de la longitud de cada sección por el peso de esa sección, es decir.

$$W_r = M_1 L_1 + M_2 L_2 + \dots \dots \dots (8)$$

2.- La mínima y máxima carga por aceleración es igual al peso muerto de las varillas por la carga resultante de la acele -

ración

Carga máxima de aceleración = Wr

Carga mínima de aceleración = $-Wr$

EFEECTO DE FLOTACION.

El efecto de flotación de las varillas sumergidas en el fluido es igual al peso del fluido desplazado.

El volumen de fluidos desplazados es igual al volumen de las varillas, si la densidad del acero de las varillas es de 490 lb/pie^3 , el volumen de fluido desplazado será:

$$\begin{array}{l} \text{volumen de fluido} \\ \text{desplazado} \end{array} = \frac{\text{peso}}{\text{densidad}} = \frac{Wr}{490} \dots \dots (9)$$

La densidad del fluido desplazado (densidad relativa, γ^A) es de $62,4 \gamma^A \text{ (lb/pie}^3\text{)}$, por lo que el efecto de flotación es:

$$\text{efecto de flotación} = - 0.127 Wr\gamma^A \dots \dots \dots (10)$$

El signo negativo indica que el efecto de flotación es siempre hacia arriba.

4.- Peso del fluido.

Es el peso del fluido soportado por el émbolo. La columna

de fluido que tiene como base el área del émbolo A_p y la altura igual a la de la sarta de varillas L , en pies³ es:

$$\text{Volumen} = \frac{L * A_p}{144} \dots \dots \dots (11)$$

El volumen de fluido se obtiene restando de la expresión - (11), el volumen de fluido desplazado por las varillas:

$$\text{Volumen de fluido} = \frac{L A_p}{144} - \frac{W_r}{490} \dots \dots \dots (12)$$

El peso del fluido desplazado, W_f ; se obtiene multiplicando la densidad del fluido desplazado (62.4γ), por el volumen de fluido desplazado, quedando:

$$W_f = 0.433 \gamma (L A_p - 0.294 W_r) \dots \dots \dots (13)$$

El cual sólo tiene efecto durante la carrera ascendente, durante la carrera descendente $W_f = 0$.

5.- Fuerzas de fricción.

Son mínimas por lo que pueden ser despreciables para pozos completamente verticales.

La carga máxima sobre la varilla pulida, ocurre durante la carrera ascendente y es igual a la carga del fluido, más el peso muerto de las varillas, más la carga máxima debida a la ace

lización y la fuerza de fricción.

Puesto que las fuerzas de fricción son muy pequeñas, la carga máxima sobre la varilla pulida se obtiene por:

$$W_{m\acute{a}x.} = W_f + W_r (1 + \alpha) \dots \dots \dots (14)$$

La carga mínima sobre la varilla pulida, ocurre en la carreta descendente y es igual a el peso muerto de las varillas, menos la carga máxima debidas a la aceleración, menos la carga - por el efecto de flotación, menos la fuerza por fricción.

Como la fuerza de fricción es pequeña.

$$W_{m\acute{i}n.} = W_r [1 - (\alpha + 0.127 \gamma)] \dots \dots \dots (15)$$

DISEÑO DE LA SARTA DE VARILLAS.

Para diseñar la sarta de varillas se tienen las siguientes - opciones.

- 1.- Elegir longitudes de varillas, de tal manera que el esfuerzo unitario en la parte superior de cada sección sea el mismo.
- 2.- Elegir longitudes de manera que el esfuerzo unitario en la parte superior de cada sección, sea el máximo de trabajo permitido.

El primer método es el más empleado y su aplicación se muestra a continuación.

La fuerza causante del esfuerzo en cualquier punto de la sarta de varillas, es la carga del fluido sobre el émbolo más el peso de las varillas, abajo del punto en consideración.

Para simplificar el estudio se hacen cuatro suposiciones.

- 1.- Condiciones estáticas, es decir, se desprecian las cargas debidas a la aceleración.
- 2.- La densidad relativa del fluido es igual a uno.
- 3.- La carga del fluido actúa sobre el área total del émbolo
- 4.- Se supone que la bomba subsuperficial está anclada al nivel dinámico o de trabajo del fluido.

Para estas condiciones la carga del fluido es igual a $0.433 L Ap$.

Las longitudes de secciones individuales de una sarta combinada, se puede expresar como fracciones de la longitud total de la sarta de varillas, mediante la relación de la longitud de cada sección dividida entre la longitud total de la sarta de varillas, dicha relación se expresa por:

$$R_i = L_i/L \dots \dots \dots (16)$$

Siendo i = número o sección de la sarta de varillas combinadas

$$L = \sum_{i=1}^n L_i .$$

n = número total de secciones de sarta de varillas.

El esfuerzo en la parte superior de cada una de las secciones está dado por:

$$\frac{0.433 L A_p + \sum_{i=1}^n L_i M_i}{A_i} = \frac{0.433 L A_p + \sum_{i=1}^n L R_i M_i}{A_n} \dots (17)$$

Para determinar la longitud de cada sección se debe determinar la longitud de la primera sección y como los esfuerzos en la parte superior de cada sección son iguales, se deberá igualar el esfuerzo de la primera sección con el esfuerzo de la segunda, tercera, cuarta o cualquier otra sección de la sarta de varillas y obtener la longitud de cada una de las secciones, debiendo cumplir con la condición de que $R_i = 1$. Se deberá seleccionar previamente el diámetro de las varillas y el diámetro del símbolo de la bomba

Como paso final en el diseño de la sarta de varillas, es necesario verificar el máximo esfuerzo al que estarán sujetas las varillas contra el máximo esfuerzo permitido de trabajo.

Por ejemplo; si se tiene una sarta de varillas de cuatro secciones, como el esfuerzo en cada una de las secciones son iguales; la expresión de la primera sección con la de la cuarta es:

$$\frac{0.433 A_p + R_1 M_1}{A_1} = \frac{0.433 A_p + R_1 M_1 + R_2 M_2 + R_3 M_3 + R_4 M_4}{A_4}$$

El esfuerzo máximo en la parte superior de la sarta, es igual a la carga máxima $W_{m\acute{a}x.}$ a que estará sujeta la varilla pulida, dividida entre el rea A_n de la sección transversal de la varilla colocada en la parte superior de la sarta, que será la de mayor diámetro.

$$\text{Esfuerzo máximo} = \frac{W_{m\acute{a}x.}}{A_n} \dots \dots \dots (18)$$

Si la sarta de varillas ha sido analizada con las condiciones anteriores, entonces el máximo esfuerzo en la parte superior de la sarta, también será el máximo esfuerzo correspondiente a cualquier punto inferior de la misma sarta de varillas.

El máximo esfuerzo de trabajo de las varillas recomendados por los fabricantes, se ve disminuido por la presencia de agentes corrosivos o sulfuros en los fluidos del pozo. En fluidos no corrosivos las varillas resisten el máximo esfuerzo a que es tan sujetas sin ningún problema.

DESPLAZAMIENTO DE LA BOMBA SUBSUPERFICIAL.

El desplazamiento teórico de la bomba subsuperficial se obtiene con la siguiente expresión:

$$V = K_b S_p N \dots \dots \dots (19)$$

Donde K_b es la constante de bombeo y es independiente de las condiciones de operación en la superficie, los valores de esta constante para todos los diámetros de las bombas API, se observan en la tabla No. 11 del apéndice.

El desplazamiento de la bomba subsuperficial "V" es igual a la producción máxima esperada "q", entre la eficiencia volumétrica de la bomba (η_v).

$$V = \frac{q}{\eta_v} \dots \dots \dots (20)$$

PRODUCCION EN SUPERFICIE.

El valor o probable producción es igual al desplazamiento teórico de la bomba subsuperficial por la eficiencia volumétrica de la bomba.

$$q = V \eta_v \dots \dots \dots (21)$$

Sustituyendo la expresión (19) la ecuación (21) queda:

$$q = K_b S_p \bar{N} \eta_v \dots \dots \dots (22)$$

DISEÑO DEL CONTRABALANCEO (C1).

El efecto ideal del contrabalanceo (ci), teóricamente debe ser tal que el motor pueda llevar el mismo promedio de carga,

tanto en la carrera ascendente como en el descendente, es decir distribuir uniformemente las cargas y torsiones que deben ser -- sostenidos por el motor durante los ciclos de bombeo.

$$W_{\text{máx.}} - C_i = C_i - W_{\text{mín.}} \dots \dots \dots (23)$$

Despejando C_i de la ecuación (23)

$$C_i = 0.5 (W_{\text{máx.}} - W_{\text{mín.}}) \dots \dots \dots (24)$$

Sustituyendo las ecuaciones (14) y (15) en la ecuación (24)

$$C_i = 0.5 W_f + W_r (1 - 0.0635 Y) \dots \dots \dots (25)$$

La ecuación (25) representa el efecto de contrabalanceo y es igual a la mitad de la carga del fluido más el peso de las varillas sumergidas en el fluido.

CALCULO DE LA TORSION o PAR MAXIMO. (T)

Todas las unidades de bombeo mecánico se seleccionan de acuerdo a la torsión o par máximo permisible en la caja reductora de engranes.

El valor aproximado de la torsión instantánea en la caja reductora de engranes se obtiene por:

$$T = (W - C_i) (S/2) \text{ sen}\theta \dots \dots \dots (26)$$

Los valores máximos de la carga para las varillas "W" y - sen θ , son las cargas máximas en la varilla pulida $W_{m\acute{a}x.}$ y sen (90°) , que es uno, por lo que la torsión o par máximo en la caja reductora de engranes es:

$$T_p = (W_{m\acute{a}x.} - C_i) (S/2) \dots \dots \dots (27)$$

Se debe tener presente que nunca se logra el contrabalanceo ideal, la unidad de bombeo mecánico se logra contrabalancear en un 85% ó 90% del contrabalanceo ideal, por lo que la torsión o par máximo para un 80% del contrabalanceo ideal se obtiene con:

$$T_p = (W_{m\acute{a}x.} - 0.80 C_i) (S/2) \dots \dots \dots (28)$$

REDUCCION DE LA VELOCIDAD DEL MOTOR PRINCIPAL DE LA UNIDAD.

La potencia es transmitida de la polea del motor de diámetro d_e a la polea de la unidad de diámetro d_u por medio de bandas , si la velocidad del motor es revoluciones por minuto, N_e , la velocidad de las bandas es:

$$V_b = \pi d_e N_e \dots \dots \dots (29)$$

Y la velocidad de la polea de la unidad de bombeo es:

$$N_u = \frac{V_b}{\pi d_u} \dots \dots \dots (30)$$

Sustituyendo la ecuación (29) en la (30).

$$Nu = Ne \frac{d_e}{d_u} \dots \dots \dots (31)$$

Si la relación de engranes en la caja reductora de engranes es "Z", la velocidad de bombeo es:

$$N = \frac{Nu}{Z} \dots \dots \dots (32)$$

Sustituyendo la ecuación (31) en (32) se obtiene:

$$N = \frac{Nede}{Zd_u} \dots \dots \dots (33)$$

La ecuación 33 se emplea para obtener la velocidad de bombeo.

POTENCIA REQUERIDA POR EL MOTOR DE LA UNIDAD.

En el movimiento del fluido de la bomba subsuperficial a la superficie se deben considerar dos cargas de potencia.

- a) La potencia hidráulica para levantar el fluido, Hh; que es una manifestación de gasto útil de energía.

Suponiendo que la bomba está anclada al nivel dinámico o -

de trabajo del fluido y se desprecian los efectos de la presión en la tubería de producción, la potencia necesaria para realizar este trabajo es:

$$Hh = 7.36 * 10^{-6} q \gamma L_N \dots \dots \dots (34)$$

L_N es la elevación neta, la cual es la presión diferencial por la cual el fluido pasa de la bomba subsuperficial a la superficie expresada en pies de líquido producido.

Esta elevación define la profundidad a la que está anclada la bomba por los efectos de presión en el espacio anular, la cual es la diferencia entre la profundidad de la bomba y el nivel dinámico o de trabajo de fluido ($L-D$), en pies de fluido y representa una fuerza tendiente a levantar el fluido. También difiere por el efecto en la tubería de producción P_t , la cual es adicionada a la elevación, teniéndose una elevación equivalente por:

$$\frac{2.31 P_t}{\gamma}$$

La presión en la tubería de producción es una fuerza tendiente a evitar que el fluido sea elevado.

La elevación neta está dada por:

$$L_N = D + 2.31 P_t / \gamma \dots \dots \dots (35)$$

Por lo que la potencia hidráulica para levantar el fluido, ecuación (34) queda:

$$H_h = 7.35 \cdot 10^{-6} \rho L (\gamma D + 2.31 P_t) \dots \dots \dots (36)$$

POTENCIA POR FRICCIÓN (H_f).

Es una pérdida de presión por fricción de la bomba subeuperficial y la varilla pulida.

Cuando se tiene una bomba que trabaja a una velocidad de "N" emboladas por minuto, la potencia por fricción se obtiene - por:

$$H_h = 6.31 \cdot 10^{-7} W_r S N \dots \dots \dots (37)$$

La potencia total en la varilla pulida se obtiene sumando las potencias hidráulicas y por fricción:

$$H_T = H_h + H_f \dots \dots \dots (38)$$

La potencia al freno del motor de la unidad, debe suministrar la potencia necesaria a la varilla pulida y un factor de seguridad, que toma en cuenta la pérdida de potencia para garantizar su buen funcionamiento.

Un factor de seguridad aceptable es 1.5 por lo que la potencia al freno es:

$$H_b = 1.5 (H_h + H_f) \dots \dots \dots (39)$$

El valor de la potencia en la placa del motor, se ve reducido en muchos casos de su capacidad real por varias razones, como son: la altitud de un motor de gas o si se trata de un motor eléctrico por el calentamiento resultante, de las cargas cíclicas impuestas por el movimiento recíprocante de las varillas en el bombeo.

Para llevar a cabo el diseño de una instalación de bombeo mecánico se deben considerar los siguientes factores:

- 1.- Producción esperada.
- 2.- Elevación neta del fluido.

Se hacen también ciertas suposiciones a las condiciones del pozo, con lo que es posible preparar diagramas, con los cuales el número de cálculos necesarios en el diseño de una instalación se reducen.

Las suposiciones que generalmente se hacen son:

- 1.- Peso específico del fluido a levantar igual a uno (agua = 1).
- 2.- Nivel dinámico o de trabajo de fluido igual a la profundidad de la bomba subsuperficial.
- 3.- Si la eficiencia volumétrica no puede ser determinada se puede suponer de 80%.

Ejemplo de los diagramas que simplifican los problemas de diseño son la fig.9 y las tablas del 1 al 13 en el apéndice.

Estos diagramas son desarrollados esencialmente, usando las expresiones convencionales de bombeo mecánico y las suposiciones hechas anteriormente.

II.1.2 SECUENCIA DE CALCULO.

1.- Determinar la profundidad de la bomba subsuperficial.

$$L_B = D + \text{sumergencia.}$$

2.- Calcular el desplazamiento teórico de la bomba.

$$V = q / \eta v$$

3.- Con la profundidad y desplazamiento teórico de la bomba, en la fig. No. 9 se determina el tamaño API y la longitud de carrera de la unidad de bombeo.

4.- De las tablas 2 al 9 se seleccionan los diámetros de la tubería de producción, del émbolo de las varillas y la velocidad del bombeo correspondiente a la profundidad de la bomba subsuperficial.

5.- Seleccionar la velocidad de bombeo, cuidando de no caer en un movimiento sincrónico.

$$n = \frac{237\ 000}{N L_B}$$

6.- De la tabla No. 10 del apéndice, tomar el peso y área de las varillas seleccionadas.

7.- De la tabla No. 11 del apéndice para el diámetro del émbolo seleccionado tomar su área y constante de bomba.

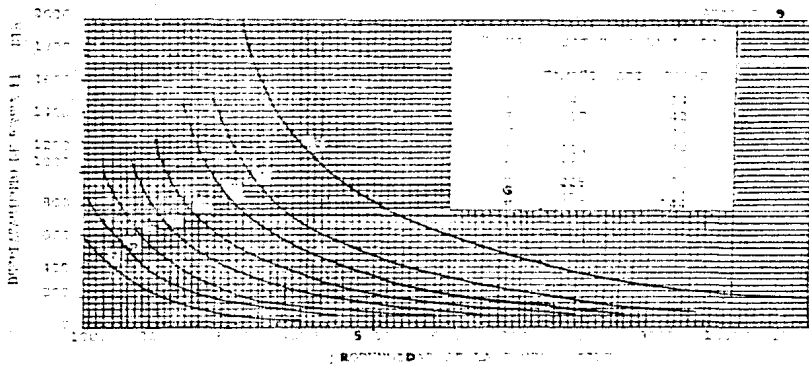


Fig. 10.1 GRÁFICA PARA SELECCIONAR LA UNIDAD DE TRABAJO Y UNIDAD DE TRABAJO

NOTA: PARA CONTINUAR CON ESTA GRÁFICA CONSULTAR APÉNDICE (CAPAS 1 & 13)

8.- De la tabla No. 12 del apéndice para el diámetro de la tubería de producción, tomar el área de la pared.

9.- Para la combinación de las varillas seleccionadas. Calcular la fracción de cada sección, utilizando la tabla No. 13 (del apéndice).

10.- Calcular la longitud de cada sección de la sarta, considerando varillas de 25 pies de longitud.

$$R_i = L_i/L \quad ; \quad R_1 = L_1/L \quad , \quad R_2 = L_2/L \quad , \quad R_3 = L_3/L, \text{ etc.}$$

11.- Calcular el factor de aceleración.

$$\alpha = \frac{N^2 S}{70500}$$

12.- Calcular la carrera efectiva del émbolo.

$$S_p = S + 40.8 \frac{\alpha L^2}{E} - 5.2 \frac{\gamma D A_p}{E} \left[\frac{L}{A_t} + \frac{L}{A_1} + \frac{L}{A_2} \dots \right]$$

13.- Determine la probable producción y compárela con la producción esperada.

$$q = K S_p N \eta v$$

14.- Calcular el peso muerto de las varillas.

$$W_r = W_1 L_1 + W_2 L_2 + \dots$$

15.- Calcular la carga del fluido.

$$W_f = 0.433 \gamma * (L_{Ap} - 0.294 W_r).$$

16.- Calcular la carga máxima en la varilla pulida.

$$W_{m\acute{a}x.} = W_f + W_r (1 + C)$$

17.- Calcular el esfuerzo máximo en la parte superior de la sarta y compararlo con el esfuerzo máximo de trabajo en las varillas.

18.- Calcular el efecto ideal de contrabalanceo.

$$C_i = 0.5 W_f + W_r (1 - 0.0635 \gamma).$$

19.- Suponiendo que el contrabalanceo de la unidad es del 80% del contrabalanceo ideal. Calcular la torsión o par máximo requerido.

$$T_p = (W_{m\acute{a}x.} - 0.80 C_i) (S/2)$$

20.- De la literatura de los fabricantes, seleccionar la unidad de bombeo de acuerdo al tamaño API y la torsión o par requerido.

2.1 Calcular la potencia al freno del motor de la unidad. Para lo cual es necesario conocer primero la potencia hidráulica y la potencia por fricción.

Potencia Hidráulica:

$$H_h = 7.36 \cdot 10^{-6} \cdot q \cdot \gamma \cdot L_N$$

Potencia por fricción:

$$H_f = 6.31 \cdot 10^{-7} \cdot W_r \cdot S \cdot N$$

Potencia al freno requerida por el motor:

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

22.- De la literatura de los fabricantes, obtener la relación de engranajes en la caja reductora de engranes y el diámetro de polea de la unidad de bombeo elegida y la velocidad del motor. Con los datos anteriores, calcular el diámetro de la polea del motor para tener la velocidad de bombeo requerida.

$$d_e = \frac{N \cdot Z \cdot d_u}{N_e}$$

II.2 METODO API.

II.2.1 PARAMETROS UTILIZADOS.

El método de diseño API RP 11 L está basado en correlaciones determinadas por R.D. Scraper of Phillips Petroleum Company. (11')

La siguiente información debe ser conocida o supuesta:

Nivel del fluido, D, pies.

Profundidad de colocación de la bomba, L, pies.

Diámetro interior de la tubería de producción, Di, pg.

Velocidad de bombeo, N, (emboladas por minuto).

Longitud de carrera, S, pg.

Diámetro del émbolo, De, pg.

Densidad relativa del fluido, (adimensional).

Tamaño y porcentaje de cada sección de varillas, pg. y % respectivamente.

Factores registrados en tablas:

Peso promedio de las varillas en el aire, W_r , lb/pie
(tabla 2.1, columna 3).

Constante de elasticidad de las varillas, E_r , (pg-lb/pie)
(tabla 2.1 columna 4).

Factor de frecuencia F_e (tabla 4.1 columna 5).

Constante de elasticidad de la tubería de producción, E_t
(pg-lb/pie), (tabla 4.2 columna 5).

Cálculo de las variables dimensionales.

Carga diferencial de fluido sobre el área completa del émbolo
(F_o).

$$F_o = 0.340 \gamma D^2 H \quad ; (\text{lb}).$$

Constante de elasticidad total de la sarta de varillas, $1/K_r$.

$$1/K_r = E_r L \quad ; (\text{pg/lb}).$$

Frecuencia natural de la varilla pulida (N_o), carreras por minuto, carrera efectiva del émbolo, S_p :

$$S_p = \left[(S_p/S) * S \right] - \left[F * 1/K_t \right] \quad ; (\text{pg.})$$

S_p/S se obtiene de la figura 4.1

Desplazamiento de la bomba, (P_D).

$$P_D = 0.1166 Sp N D^2 ; \text{ (bl/día)}$$

Peso total de las varillas en el fluido, W_{rf} .

$$W_{rf} = W_p (1 - 0.128 Y), \text{ (lb).}$$

Carga máxima sobre la varilla pulida, (FPRL).

$$FPRL = W_{rf} + \left[(F_1 / SKr) \right] ; \text{ (lb.)}$$

Carga mínima sobre la varilla pulida, (MPRL).

$$MPRL = W_{rf} - \left[(F_2 / SKr) SKr \right] ; \text{ (lb)}$$

Par de torsión máxima.

$$PT = (2T/S^2Kr) * SKr * S/2 * Ta ; \text{ (lb-pg.)}$$

Potencia en la varilla pulida.

$$PRHP = (F_3 / SKr) SKr S N 2.53 * 10^{-6} ; \text{ (Hp).}$$

Contrapeso requerido, (GBE).

$$GBE = 1.06 (W_{rf} + 1/2 F_o) ; \text{ (lb).}$$

II.2.2 SECUENCIA DE CALCULO

1.- El diseño de una instalación de bombeo mecánico por método API, requiere un procedimiento de ensalle y error, generalmente se requieren de tres pasos para el diseño de una instalación. Los tres pasos son:

a) Se debe hacer una selección preliminar de los componentes de la instalación.

b) Las características de operación de la instalación seleccionada preliminarmente son determinadas por fórmulas, tablas y gráficas.

c) El desplazamiento de la bomba y las cargas calculadas son comparadas con el volumen, relación de cargas, esfuerzos y otras limitaciones de la instalación seleccionada preliminarmente, verificando que las características de selección preliminar no carezcan o excedan (en gran medida) los requerimientos deseados.

2.- Con los datos o información supuesta se deben calcular los siguientes parámetros.

Carrera del émbolo, S_p , pulgadas .

Desplazamiento de la bomba, PD , barriles por día.

Carga Máxima sobre la varilla pulida, $PPRL$, libras.

Carga mínima sobre la varilla pulida, $MPRL$, libras.

Par de torsión en la caja reductora de engranes, FT, pulga
das - libra.

Potencia en la varilla pulida, PRHP.

Contrapesos requeridos, CBE, libras.

- 3.- De la tabla (2.1), utilice la designación de la sarta de -
varillas de succión (ver sección 1.3.4 capítulo I), colum-
na 1 en la columna 2 el diámetro del émbolo, tome el valor
de W_r , E_r y F_c de las columnas 3, 4 y 5 respectivamente. E_t
se toma de la tabla 2.2 columna 5, si la tubería de producc
ción está anclada $E_t=0$.
- 4.- El valor de $1/K_t = E_t / L$, si la tubería de producción está
anclada será igual a cero porque $E_t = 0$. El valor de $1/K_t$
se utiliza para calcular la carrera de la bomba en la par-
te inferior del pozo S_p , y para calcular el desplazamiento
de la bomba PD.
- 5.- Con los valores de F_o / SK_r y N/No' , obtenga el valor de -
 S_p/S de la figura 2.1 y obtenga S_p y PD en los pasos 13 y
14, comparar si el desplazamiento de la bomba para la se -
lección preliminar de los componentes de la instalación es
satisfactorio. Si no está dentro de los requerimientos re
petir del paso 1 al 14. Cuando el desplazamiento de la -
bomba calculado es aceptable, continuar con los cálculos.
- 6.- Con los valores calculados F_o/SK_r y N/No' , el valor de -
 F_1/SK_r (fig.2.2), F_2/SK_r (figura 2.3), $2T/S^2K_r$ (figura -

2.4), y F_a/SK_r (fig.2.5) son obtenidos de las curvas. Se puede emplear el valor de N/No' en las figuras 2.1 y 2.6 - para determinar Sp/S . Tóme el valor de T_a .

- 7.- Sustituya los valores obtenidos en las fórmulas y haga los pasos 23 a 27, comparandolos con las limitaciones impuestas en la selección preliminar de la instalación. Calcule el esfuerzo de las varillas de succión, para determinar si las longitudes de cada sección son aceptables.
- 8.- Para optimizar la selección de la instalación es necesario hacer más de una selección del equipo y cálculos de las condiciones de operación.

Se requiere como información mínima:

Nivel del fluido, pies D.

Profundidad de la bomba, L, pies.

Diámetro de TF. pg.

Velocidad de bombeo, N, emboladas por minuto.

Longitud de carrera, S, pulgadas.

Combinación de varillas de succión en porcentaje.

Diámetro del émbolo, De, pg.

Densidad relativa del fluido, γ .

PROCEDIMIENTO:

De las tablas 1.1 y 2.2

- 1.- W_r (tabla 1.1 columna 3)
- 2.- E_r (tabla 1.1 columna 4)
- 3.- F_c (tabla 1.1 columna 5)
- 4.- E_t (tabla 2.2 columna 5); si la tubería de producción está anclada $E_t = 0$.

Cálculos de variables adimensionales:

5.- $F_o = 0.340 \gamma D^2 H$ (lb)

6.- $1/K_r = E_r L$ (pg/lb)

7.- $SK_r = S/1/K_r$ (lb.)

8.- F_o/SK_r .

- 9.- $N/N_0 = NL/245000$
 10.- $N/N_0' = N/N / F_c$
 11.- $1/Kt = Et * L$; (pg./lb), si la tubería de producción está anclada $1/Kt = 0$.
 12.- Sp/S (fig.2.1)
 13.- $Sp = (S_T/S) S - F_0 * L/Et$, (pg.)
 14.- $PD = 0.1166 Sp \pi D^2$ (bl./día).

Si el desplazamiento de la bomba para la selección preliminar - de los componentes de la instalación, es satisfactorio continuar con los cálculos, si no está dentro de los requerimientos repetir el paso 1 al 14.

- 15.- $W = W_r L$ (lb)
 16.- $W_{rf} = W (1 - (0.125 \delta^4))$ (lb.)
 17.- W_{rf}/SKr .
 18.- F_1 /SKr (Fig. 2.2)
 19.- F_2 /SKr (fig. 2.3)
 20.- $2T/S^2Kr$ (fig. 2.4)
 21.- F_3 /SKr (fig. 2.5)
 22.- T_a (fig. 2.6)

Resolviendo para las características de operación.

- 23.- $PPRL = W_{rf} + (F_1/SKr) SKr$; (lb.)
 24.- $MPRL = W_{rf} - (F_2/SKr) SKr$; (lb.)
 25.- $PT = (2T/S^2Kr) SKr S/2 T_a$; (lb-pg)
 26.- $FRHP = (F_3/SKr) SKr S N 2.53 10^{-6}$
 27.- $CBE = 1.06 (W_{rf} + F_0/2)$; (lb.)

TABLA 4.2
DATOS DE T. P.

1	2	3	4	5
Tamaño T.P.	Diámetro Exterior Pg.	Diámetro Interior Pg.	Area Metal Pg ²	Constante de Elasticidad Pg/libra pie E _t
1.900	1.900	1.610	0.800	0.500 x 10 ⁻⁶
2 3/8	2.375	1.995	1.304	0.307 x 10 ⁻⁶
2 7/8	2.875	2.441	1.812	0.221 x 10 ⁻⁶
3 1/2	3.500	2.992	2.598	0.154 x 10 ⁻⁶
4	4.000	3.476	3.077	0.130 x 10 ⁻⁶
4 1/2	4.500	3.958	3.601	0.111 x 10 ⁻⁶

TABLA 4.3
VARILLAS DE SUCCION

1	2	3	4
Tamaño de varillas	Area de metal Pg^2	Peso de varillas en el aire lb/pie W_r	Constante de Elasticidad $Pg/\text{libra pie}$ E_r
1/2	0.196	0.72	1.990×10^{-6}
5/8	0.307	1.13	1.270×10^{-6}
3/4	0.442	1.63	0.883×10^{-6}
7/8	0.601	2.22	0.649×10^{-6}
1	0.785	2.90	0.497×10^{-6}
1 1/8	0.994	3.67	0.393×10^{-6}

TABLA 4.4
CONSTANTES DE BOMBAS

1	2	3	4
Diámetro del émbolo D	Diámetro del émbolo al cuadrado ps. ² D ²	Factor de car- ga de fluidos lb/pie (.340 D ²)	Factor de bomba (.1166 D ²)
1 1/16	1.1239	0.384	0.132
1 1/4	1.5625	0.531	0.182
1 1/2	2.2500	0.765	0.262
1 3/4	3.0625	1.041	0.357
2	4.0000	1.360	0.466
2 1/4	5.0625	1.721	0.590
2 1/2	6.2500	2.125	0.728
2 3/4	7.5625	2.571	0.881
3 3/4	14.0625	4.781	1.640
4 3/4	22.5625	7.671	2.630

Para fluidos con densidad relativa de 1.00

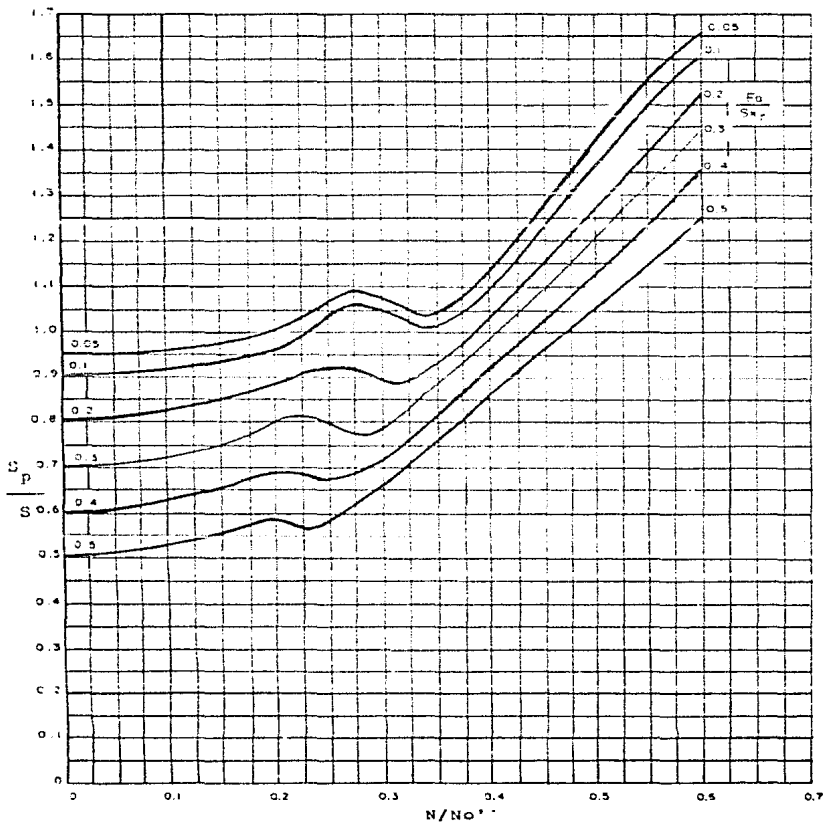


Fig. No. 2.1 $\frac{S_p}{S}$, FACTOR DE CARRERA DEL ENBOLO

UNICAMENTE PARA UNIDADES CONVENCIONALES

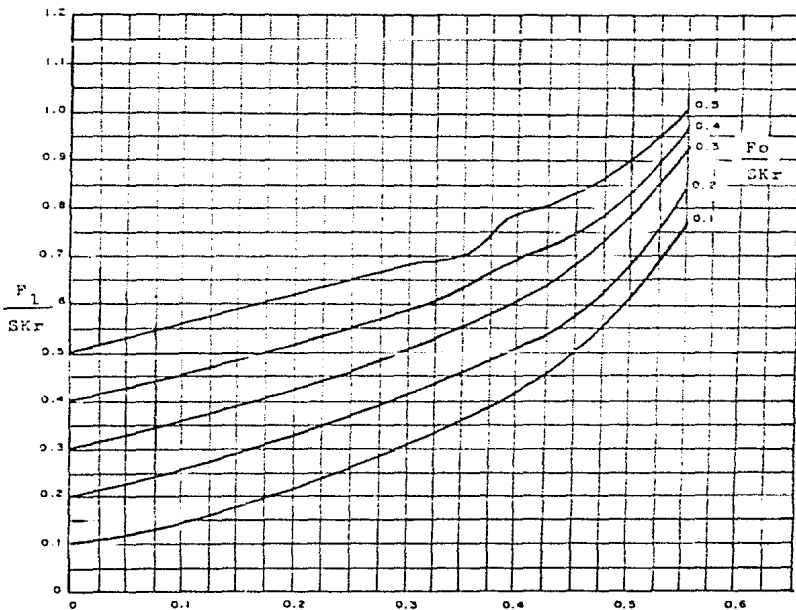


Fig.No. 2.2 $\frac{F_1}{SKr}$, CARGA PICO SOBRE LA VARILLA PULIDA.

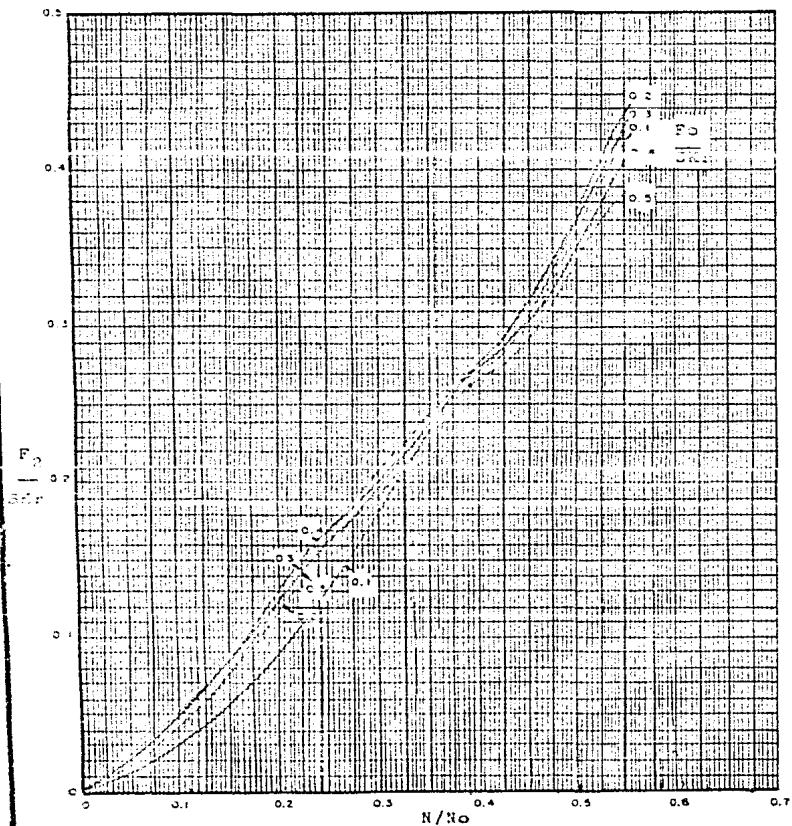
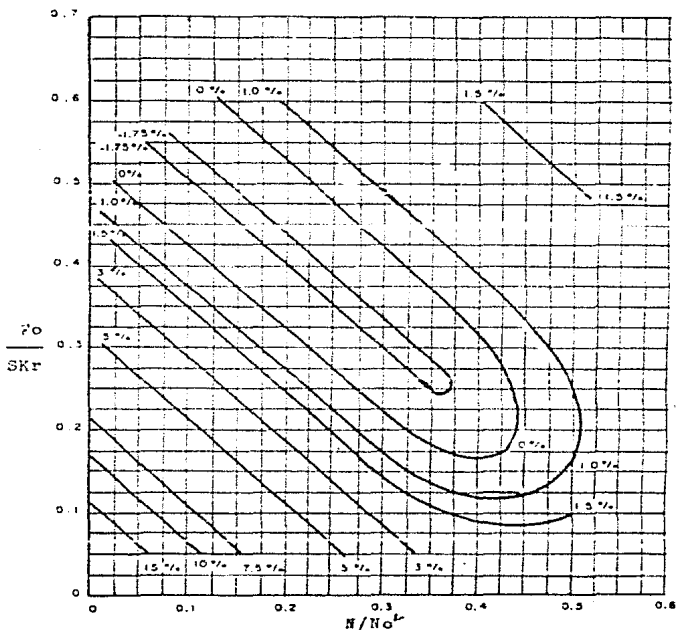


Fig.2.3 $\frac{F_c}{S_{Kr}}$,CARGA MINIMA SOBRE LA VARILLA PULIDA



MULTIPLICAR % INDICADO SOBRE LA CURVA POR $\left(\frac{W_{rf}}{SKr} - 0.3\right)$

0.1

POR EJEMPLO $W_{rf}/SKr = 0.60$
 $N/No = 0.200$ $Fo/SKr = 0.188$

AJUSTE = 3% POR CADA 0.1 INCREMENTÁNDOSE EN
 $W_{rf}/SKr > 0.3$

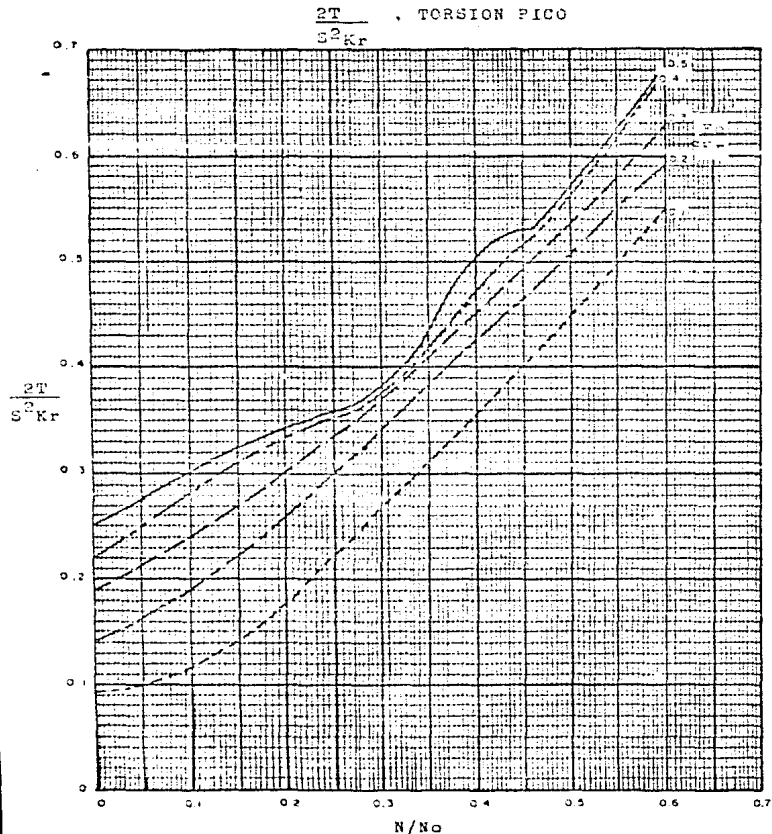
AJUSTE TOTAL = 3 x 3% = 9%

$T_b = 1.00 + 0.09 = 1.09$

NOTA: SI $\frac{W_{rf}}{SKr}$ ES MENOR QUE 0.3 EL AJUSTE ES NEGATIVO

Fig. No.2.4 T_b , AJUSTE PARA LA TORSION PICO

PARA VALORES DE $\frac{W_{rf}}{SKr} > 0.3$



TORSION PICO PARA VALORES DE $\frac{Wrc}{S K_r} = 0,3$ AJUSTE LA
TORSION PARA OTROS VALORES DE $\frac{Wrc}{S K_r}$.

Fig. No. 2.5 TORSION PICO

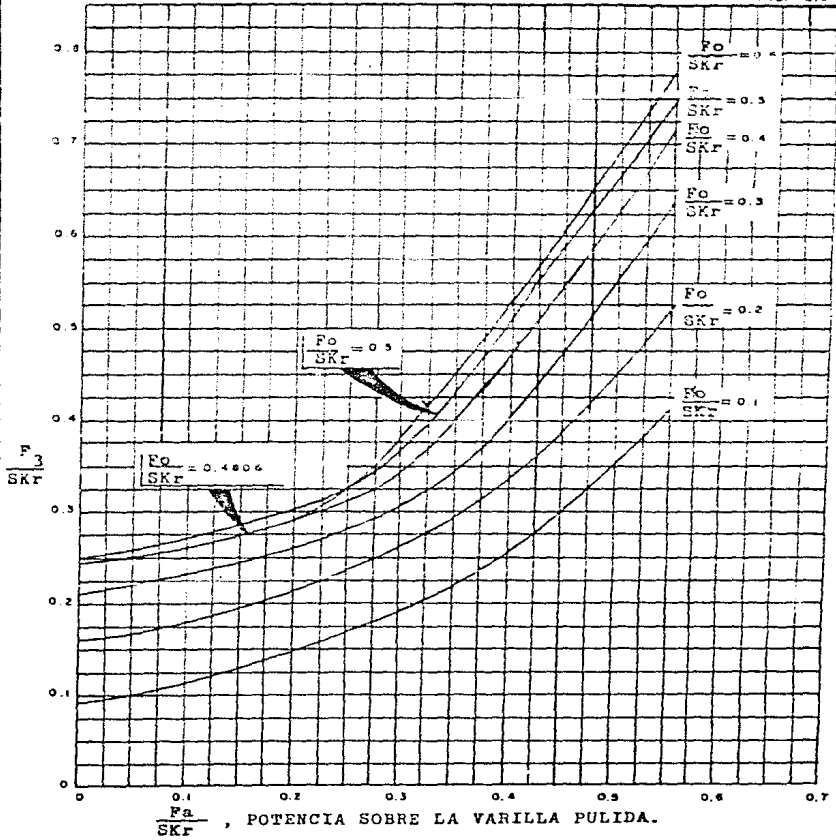


Fig. No. 2.6 POTENCIA SOBRE LA VARILLA PULIDA.

CAPITULO III

APLICACION DEL BOMBEO MECANICO EN LOS POZOS DEL AREA DE CHICONTEPEC.

Para hacer el diseño de las unidades de bombeo mecánico se tomaron las historias de producción de pozos del área Tajín en el Distrito de Poza Rica, Ver., los pozos a los que se les hizo el análisis para la selección de las unidades de bombeo mecánico son los Pozos Tajín 305 y Tajín 384, dichos pozos fueron fracturados y a continuación se presenta la historia y análisis de cada uno de ellos.

NOTA: En el apéndice se presentan los diseños de unidades de bombeo mecánico para dos pozos del sector Cacalilao en el Distrito Norte, en el área de Ebano S.L.P.

POZO TAJIN 383

Historia de producción.

mes	m ³ _o /día	R.G.A.
OCT./86	38	36
NOV./86	43	36
DIC./86	35	36
ENE./87	39	36
FEB./87	32	36
MAR./87	34	36
ABR./87	27	36
MAY./87	32	36
JUN./87	30	36
JUL./87	31	36
AGO./87	26	36
SEP./87	30	36
NOV./87	23	36

a) RGA. = $36 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}$

b) $q = 40 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} = 251 \text{ bl/día}$.

c) De un registro de producción, $Pwf = 112 \text{ Kg/cm}^2$

d) Profundidad = 1832 metros.

El pozo produce sin agua.

La densidad del aceite de este pozo es $\gamma = 0.88$ gr/cc.

El nivel dinámico o de trabajo del fluido "D" se determina en forma aproximada por:

$$D = 10 \text{ Pwf} / \gamma$$

$$D = 10 \cdot 112 / 0.88 = 1272 \text{ m.}$$

- 1.- Profundidad de la bomba subsuperficial:
de la tabla No. 1

$$\text{Sumergencia} = 450 \text{ m.}$$

$$LB = 1272 + 450 = 1722 \text{ m.} = 5648 \text{ pies}$$

- 2.- Desplazamiento de la bomba subsuperficial:

$$V = \frac{q}{\eta_v} = \frac{251}{0.70} = 360 \text{ bl/día}$$

- 3.- Tamaño API y longitud de carrera de la unidad de bombeo:

$$\text{como } LB = 5648 \quad \text{y} \quad V = 360 \text{ bl/día}$$

La gráfica No. 9 nos indica una unidad API - 228 y 74 pulgadas de carrera.

- 4.- De la tabla No. 7 se tiene:

$$Dp. = 1 \frac{3}{4} \text{ pg.} \quad Dtp. = 2 \text{ pg.} \quad Dvar. = 5/8, 3/4, 7/8$$

$$N = 18 \text{ a } 14 \text{ epm.}$$

5.- Velocidad de bombeo.

$$n = \frac{237\ 000}{5648 * 17} = 2.46$$

Es conveniente una velocidad de 17 rpm. ya que es una velocidad no sincrónica.

6.- De la tabla No. 10

Dvar (pg.)	Avar.(pg. ²)	#var.(lb/pie)
5/8	0.307	1.16
3/4	0.442	1.63
7/8	0.601	2.16

7.- De la tabla No. 11 del apéndice.

$$Dp = 1\ 1/4\ \text{pg.} \quad Ap = 1.227\ \text{pg.}^2 \quad K = 0.357\ \text{bl/dfa/pg/emb.}$$

8.- De la tabla No. 12

$$Dtp. = 2\ \text{pg.} \quad Atp. = 1.304\ \text{pg.}^2$$

9.- De la tabla No. 13

$$R_1 = 0.627 - 0.1393\ Ap$$

$$R_2 = 0.199 + 0.0737\ Ap$$

$$R_3 = 0.175 + 0.0655\ Ap$$

$$R_1 = 0.627 - 0.1393(1.227) = 0.456$$

$$R_2 = 0.199 - 0.0737(1.227) = 0.289$$

$$R_3 = 0.175 + 0.0655(1.227) = 0.255$$

$$L_1 = R_1 = 0.456 \quad 5648 = 2575$$

$$L_2 = R_2 = 0.289 \quad 5648 = 1632$$

$$L_3 = R_3 = 0.255 \quad 5648 = 1440$$

Ajustando L_i a un múltiplo de 25.

$$L_1 = 2575 \text{ pies.}$$

$$L_2 = 1625 \text{ pies}$$

$$L_3 = 1450 \text{ pies}$$

10.- Factor de aceleración.

$$\alpha = \frac{17^2 * 74}{70500} = 0.30$$

11.- Carrera efectiva del émbolo con la tubería de producción -
anclada.

$$S_p = 74 + \frac{40.8 (5648)^2 * 0.30}{30 * 10^6} - 5.2 \frac{0.88 * 4172 * 1.227}{30 * 10^6} \left[\frac{2572}{0.30} \right. \\ \left. + \frac{1625}{0.442} + \frac{1450}{0.601} \right]$$

$$S_p = 76 \text{ pg.}$$

12.- Probable producción.

$$q = 0.357 * 76 * 17 * 0.70$$

$$q = 322 \text{ bl/día.}$$

Por lo que si se puede obtener la producción 251 bl/día.

13.- Peso muerto de las varillas.

$$W_r = 2575 * 1.16 + 1625 * 1.63 + 1450 * 2.16$$

$$W_r = 8767 \text{ lb.}$$

14.- Carga del fluido.

$$W_f = 0.433 (5648 * 1.227 - 0.294 * 8767)$$

$$W_f = 1884 \text{ lb.}$$

15.- Carga máxima en la varilla pulida.

$$W_{m\acute{a}x.} = 1884 + 8767 (1 + 0.30)$$

$$W_{m\acute{a}x.} = 13281 \text{ lb.}$$

16.- Esfuerzo máximo en la parte superior de la sarta.

$$\text{Esf. máx.} = \frac{13281}{1.227} = 10823 \text{ lb.}$$

17.- Efecto ideal de contrabalanceo.

$$C_i = 0.5 * 1884 + 8767 (1 - 0.0635 * 0.88)$$

$$C_i = 9219 \text{ lb.}$$

18.- Torsión o par requerido.

$$T_p = (W_{\text{máx.}} - 0.80 \text{ Ci})S/2$$

$$T_p = (13281 - 0.80 \cdot 9219) \frac{74}{2} = 218,514 \text{ lb-pg}$$

19.- La unidad de bombeo API- 228 si es adecuada para la torsión requerida.

20.- Potencia requerida por el motor de la unidad.

Potencia hidráulica.

$$H_h = 7.36 \times 10^{-6} \times 360 \times 0.38 \cdot 5648$$

$$H_h = 13 \text{ Hp.}$$

Potencia por fricción.

$$H_f = 6.31 \times 10^{-7} \times 3767 \times 76 \times 17$$

$$H_f = 7 \text{ Hp.}$$

La potencia al freno requerida por el motor es:

$$H_b = 1.5 \cdot (13 + 7)$$

$$H_b = 30 \text{ Hp.}$$

21.- Diámetro de polea del motor de la unidad:

La unidad C - 228 D - 212 - 86 tiene una relación de engranes de 23.45 y poleas de 24.6 pg. la velocidad del motor es de 1200 r.p.m.

$$d_e = \frac{17 * 28.45 * 24.6}{1200} =$$

$$d_e = 10 \text{ pg.}$$

POZO TAJIN 305

Historia de producción.

mes	m ³ _o /día	R.G.A.
OCT/86	40	36
NOV./86	35	36
DIC./86	43	36
ENE./87	39	36
FEB./87	33	36
MAR./87	38	36
ABR./87	37	36
MAY./87	31	36
JUN./87	32	36
JUL./87	28	36
AGO./87	32	36
SEP./87	30	36
OCT./87	30	36
NOV./87	28	36

a) RGA. = 36 m³_g/m³_o

b) q = 50 m³_o/día (producción esperada).

c) de un registro de producción, Pwf = 120 Kg./cm.²

d) Profundidad = 1853 metros.

El pozo produce sin agua.

La densidad del aceite de este pozo es $\gamma = 0.914 \text{ gr./cc.}$
El nivel dinámico o de trabajo del fluido "D" se determina en forma aproximada por:

$$D = 10 \text{ Pwf./}\gamma$$

$$D = 10 \cdot 120 / 0.914 = 1313 \text{ m.}$$

- 1.- Profundidad de la bomba subsuperficial.
de la tabla No. 1

$$\text{Sumergencia} = 450 \text{ m.}$$

$$L_B = 1313 + 450 = 1763 \text{ m.} = 5782 \text{ pies.}$$

- 2.- Desplazamiento de la bomba subsuperficial.

$$V = \frac{q}{\gamma} = \frac{315}{0.70} = 450 \text{ bl/día.}$$

- 3.- Tamaño API y longitud de carrera de la unidad de bombeo.

$$\text{como } L_B = 5782 \text{ pies} \quad \text{y} \quad V = 450 \text{ bl/día.}$$

La gráfica No.9 nos indica una unidad API-640 y 144 pulgadas de carrera.

- 4.- De la tabla No.9 se tiene:

$$D_p = 1 \frac{3}{4} \text{ pg.} \quad D_{tp} = 2 \frac{1}{2} \text{ pg.} \quad D_{var.} = \frac{3}{4}, \frac{7}{8}, 1 \text{ pg.}$$

$$N = 14 \text{ a } 12 \text{ epm.}$$

5.- Velocidad de bombeo.

$$n = \frac{237\ 000}{5782 * 13} = 3.15$$

Es conveniente una velocidad de 13 epm. ya que es una velocidad no sincrónica.

6.- De la tabla No. 10

Dvar. (pg.)	Avar. (pg. ²)	Wvar. (lb/pie)
3/4	0.442	1.63
7/8	0.601	2.16
1	0.785	2.83

7.- De la tabla No. 11 del apéndice.

$$D_p = 1\ 3/4\ \text{pg.} \quad A_p = 2.405\ \text{pg.}^2 \quad K = 0.357\ \text{bl/día/pg/epm.}$$

8.- De la tabla No. 12

$$D_{tp} = 2\ 1/2\ \text{pg.} \quad A_{tp} = 1.812\ \text{pg.}^2$$

9.- De la tabla No. 13

$$R_1 = 0.644 - 0.0894\ A_p$$

$$R_2 = 0.181 + 0.0478\ A_p$$

$$R_3 = 0.155 + 0.0416\ A_p$$

$$R_1 = 0.644 - 0.0894(2.405) = 0.448$$

$$R_2 = 0.131 + 0.0478(2.405) = 0.295$$

$$R_3 = 0.155 + 0.0416(2.405) = 0.257$$

$$L_1 = R_1 \cdot 5782 = 2590$$

$$L_2 = R_2 \cdot 5782 = 1705$$

$$L_3 = R_3 \cdot 5782 = 1485$$

Ajustando L_i a un múltiplo de 25.

$$L_1 = 2600 \text{ pies.}$$

$$L_2 = 1700 \text{ pies.}$$

$$L_3 = 1475 \text{ pies.}$$

10.- Factor de aceleración.

$$C = \frac{13^2 * 144}{70500} = 0.34$$

11.- Carrera efectiva del émbolo con tubería de producción anclada.

$$S_p = 144 + \frac{40.8 (5782)^2 * 0.34}{30 * 10^6} * 5.2 + \frac{0.914 * 8258 * 2.405}{30 * 10^6} \left[\frac{2600}{0.442} + \frac{1700}{0.601} + \frac{1475}{0.785} \right]$$

$$S_p = 126 \text{ pg.}$$

12.- Probable producción.

$$q = 0.357 * 125 * 13 * 0.70$$

$$q = 409 \text{ bl/día.}$$

Por lo que si se pued obtener la producción de 350 bl/día.

13.- Peso muerto de las varillas.

$$W_r = 2600 * 1.63 + 1700 * 2.16 + 1475 * 2.38$$

$$W_r = 12158 \text{ lb.}$$

14.- Carga del fluido.

$$W_f = 0.433 (5782 * 2.405 - 0.294 * 12158)$$

$$W_f = 4473 \text{ lb.}$$

15.- Carga máxima sobre la varilla pulida.

$$W_{m\acute{a}x.} = 4473 + 12158(1 + 0.34)$$

$$W_{m\acute{a}x.} = 20764 \text{ lb.}$$

16.- Esfuerzo máximo en la parte superior de la sarta de varillas.

$$\text{Esf, m\acute{a}x.} = \frac{20764}{2.405} = 8679 \text{ lb.}$$

17.- Efecto ideal de contrabalanceo.

$$C_i = 0.5 * 4473 + 12158 (1 - 0.0635 * 0.914)$$

$$C_i = 15767 \text{ lb.}$$

18.- Torsión o par requerido.

$$T_p = (20872 - 0.80 * 15767)$$

$$T_p = 611,121 \text{ lb-pg.}$$

19.- La unidad API - 640 si es adecuada para la torsión requerida.

20.- Potencia requerida por el motor de la unidad.

Potencia hidráulica.

$$H_h = 7.36 * 10^{-6} * 450 * 0.914 * 5782$$

$$H_h = 17.5 \text{ Hp.}$$

Potencia por fricción.

$$H_f = 6.31 * 10^{-7} * 12158 * 126 * 13$$

$$H_f = 12.5 \text{ Hp.}$$

La potencia al freno requerida por el motor de la unidad es

$$H_b = 1.5(17.5 + 12.5)$$

$$H_b = 45 \text{ Hp.}$$

21.- Diámetro de polea del motor de la unidad.

La unidad C - 640 D - 305 - 168 tiene una relación de engranes 28.6 y polea 34 pg. la velocidad del motor es de 1200 r.p.m.

$$d_e = \frac{13 * 28.6 * 34}{1200}$$

$$d_e = 10.5 \text{ pg.}$$

CAPITULO IV

ANALISIS ECONOMICO (12)

La cuenca de Chicontepec fué detectada mediante la perforación de 1200 pozos en la década 1970-1980, desarrollandose algunos campos.

En Mayo de 1981, se hizo un anteproyecto y en Octubre de 1982 se modificó, proponiéndose la construcción de una red de distribución de gas seco para el Campo Tajín, dichos estudios sirvieron de base para ir definiendo y enfocando con mayor claridad las necesidades de dicho campo y los recursos necesarios a invertir para incrementar la producción de hidrocarburos.

En la actualidad en el distrito Poza Rica, no se tiene el gas necesario para operar los pozos, que están convertidos al sistema artificial de bombeo neumático.

Por tal motivo y en base a las pruebas positivas que se tuvieron, en la conversión al sistema artificial de bombeo mecánico

co del pozo Tajín 677, se aprobó convertir 82 pozos a este sistema, lo cual se llevará a cabo mediante dos etapas. En la primera se convertirán 40 pozos, que tienen las mejores características de explotación para bombeo mecánico.

Para la operación de este sistema es necesaria la energía eléctrica, para ello es necesario construir una subestación con capacidad de 1,500 KVA, 66,000/13,200 volts, líneas de transmisión a los pozos, estructuras para transformadores y tableros de control para cada uno de ellos.

La distribución de energía a los pozos, se llevará a través de cinco ramales principales, contruidos de cable de cobre calibre No. 6 que manejará 13,200 volts y estarán tendidos sobre estructuras convencionales, según las normas de la Comisión Federal de Electricidad.

Los 13,200 volts se considera el voltaje más adecuado para la distribución de la energía eléctrica a cada uno de los pozos, los cuales dispondrán de unidades superficiales que operen con motores eléctricos de 10 y 20 HP de 440 volts.

Debido a que el troncal de alta potencia (Contreras-Coatzacoatlán), pasa a 4.5 Km. aproximadamente de la batería Tajín 1, es necesario la construcción de una subestación eléctrica, la cual estará ubicada entre los pozos Tajín 383 y 365 y tendrán una capacidad total de 1,500 KVA para alimentar los 82 pozos, que se convertirán al nuevo sistema de explotación.

De acuerdo con las necesidades requeridas y cumplir con el objetivo, deberán instalarse tres transformadores trifásico, de 500 KVA, cada uno para recibir un voltaje de 66,000 volts y distribuirlos en los ramales principales con 13,200 volts.

Los transformadores estarán dotados de un equipo de protección, el cual consistirá de dos juegos de cuchillas fusibles cada uno, tanto para el lado primario como para el secundario.

Para eliminar las sobrecargas de tipo atmosférico, deberá instalarse un sistema de red de tierra conectada a los transformadores.

La parte estructural de la subestación, deberá construirse con postera de concreto, para soportar los accesorios eléctricos además será armada con cruces de fierro canal galvanizado.

Tanto las redes de distribución como la subestación, deberán construirse de acuerdo a las especificaciones del reglamento de obras e instalaciones eléctricas de la Republica Mexicana, el Código Nacional Eléctrico y las normas establecidas por la Comisión Federal de Electricidad.

ESTIMACION DE COSTOS (CIFRAS REFERIDAS AL MES DE JUNIO DE 1987)

COSTO DE INVERSION INICIAL POR POZO

EQUIPO NECESARIO POR POZO DE BOMBEO MECANICO COSTO EN PESOS

Unidad de bombeo mecánico M-111D-173-74	29,423,700.00
Motor Econopac con potencia de 10.6-20.9 HP	8,000,330.00
Varilla pulida de 1 1/2" x 22"	351,405.00

CONEXIONES EN EL ARBOL:

Estopero para varilla pulida 1 1/2"	761,378.00
Válvula de 2" WKM para 1,000 lb/pg ² de presión de trabajo	702,811.00
Preventor Ratigan para varilla pulida de 1 1/2"	702,811.00
2 válvulas de retención para 300 lb/pg ² de presión de trabajo.	163,989.00
Reducción botella de 3 a 2 7/8" 1,000 lb/pg ²	12,885.00
2 tee de 3" de 1,000 lb/pg ²	21,084.00
2 unidades de golpe 2" 3,000 lb/pg ²	133,534.00
Grampa para la varilla pulida	175,703.00
Base de concreto para anclaje de la unidad superficial	46,500.00

EQUIPO SUBSUPERFICIAL DE BOMBEO MECANICO

Zapata candado	117,135.00
----------------	------------

Bomba de inserción de 1 1/4" Sarget	
25-125 RNBW.	1,405,620.00
209 varillas de 25" x 3/4" (\$99,560.00/varilla)	20,809,100.00
93 varillas de 25" x 7/8" (\$117,135.00/varilla)	10,893,600.00
Válvula Charger tipo 327 para bomba de 1 1/4"	2,342,700.00
T O T A L	75,491,200.00

Costo total del equipo de bombeo mecánico
por pozo. \$ 75,491,200.00

COSTO POR CONCEPTO DE ELECTRIFICACION DE CAMPO TAJIN PARA
82 POZOS.

CONCEPTO	COSTO EN PESOS
TRONCAL PRINCIPAL	
Tendido desde la línea de alta tensión de 66 KV. de Contreras a las inmediaciones de los pozos Tajín 333-365 (4.5 Km. aprox.) (46,854,000.00/Km.)	\$ 210,843,000.00

REDES DE DISTRIBUCION.

Incluye 25 Km. aprox. de cable calibre No.6
y accesorios para 82 pozos (\$14,056,420.00/Km.) 351,410,500.00

SUBESTACION ELECTRICA.

a) Tres transformadores de 500 KVA	44,511,300.00
b) Seis interruptores	7,028,110.00

82 transformadores de 30 KVA (\$1,879,455.00/trans.)	154,162,000.00
Mano de obra	253,422,000.00
SUB-TOTAL	\$ 1021,370,000.00

Administración y supervisión técnica	163,415,000.00
Costo total de la electrificación para 32 pozos del campo Tajín	\$ 1184,497,000.00
Costo por electrificación por pozos	14,443,000.00

COSTO POR CONCEPTO DE INTERVENCION DEL EQUIPO DE REPARACION PARA CONVERSIONES AL SISTEMA DE BOMBEO MECANICO.

Con base a las estadísticas de conversiones recientes al sistema de bombeo mecánico, se ha considerado que se requiere de 6.8 días del equipo del D.R.T.P. a 8,782,500.00 pesos por día, sin considerar el fluido de control.

Costo por conversión a Bombeo Mecánico	61,495,500.00
--	---------------

COSTO DE LA INVERSION INICIAL PARA LA CONVERSION DE 82 POZOS AL SISTEMA ARTIFICIAL DE BOMBEO MECANICO.

Costo del equipo:	75,491,200.00
Costo por electrificación:	14,448,600.00
Costo por conversión a B.M.	61,495,900.00

Costo total de la inversión inicial por pozo \$ 151,436,000.00
Costo de la inversión inicial para 32 pozos \$12,417,700,000.00

COSTO POR CONCEPTO DE ELECTRIFICACION DEL CAMPO TAJIN PARA 40
POZOS DE LA PRIMERA ETAPA.

CONCEPTO	COSTO EN PESOS
TRONCAL PRINCIPAL:	
Tendido desde la línea de alta tensión de 66 KV de Contreras a las inmediaciones de los pozos Tajin 333-365 (4.5 Km.aprox.) (\$46,354,000.00/Km.)	\$ 210,843,000.00
SUBESTACION ELECTRICA.	
a) Tres transformadores de 500 KVA	\$ 445,113,000.00
b) Seis interruptores.	7,028,110.00
REDES DE DISTRIBUCION	
Incluye 15 Km. aprox.de cable calibre No.6 y accesorios para 40 pozos (\$ 14,056,000.00/Km.)	210,843,000.00
Cuarenta transformadores de 30 KVA (\$ 1,880,017.00/transformador)	75,200,700.00
Mano de obra.	180,985,000.00
SUB-TOTAL	\$ 729,412,000.00

Administración y supervisión técnica	116,713,000.00
Costo total de la electrificación para 40 pozos del campo Tajín	846,126,000.00
Costo por electrificación por pozo	75,491,200.00

COSTO DE LA INVERSION INICIAL PARA LA CONVERSION DE 40 POZOS
AL SISTEMA ARTIFICIAL DE BOMBEO MECANICO (PRIMERA ETAPA).

Costo del equipo:	21,153,100.00
Costo por electrificación:	75,491,200.00
Costo por conversión a B.M.	21,153,100.00

Costo total de la inversión inicial por pozo (primera etapa)	158,140,000.00
Costo de la inversión inicial para 40 pozos (primera etapa)	\$ 6,325,610,000.00

CONTANDO QUE SE TIENE EL EQUIPO DE LOS 40 POZOS PARA CONVERTIR
A BOMBEO MECANICO, LOS COSTOS SE REDUCEN OBTENIENDOSE LO SIGUIEN
TE:

Costo de la inversión inicial por pozo	82,642,100.00
Costo total de la inversión inicial	\$ 3,305,960,000.00

COSTO POR CONCEPTO DE ELECTRIFICACION DEL CAMPO TAJIN PARA 42
POZOS DE LA SEGUNDA ETAPA.

CONCEPTO

COSTO EN PESOS

REDES DE DISTRIBUCION

Incluye 10 Km. aprox.de cable calibre No.6
y accesorios para 42 pozos.

(\$ 14,056,200.00/Km.) \$ 140,562,000.00

Cuarenta y dos transformadores de 30 KVA.

(\$ 1,879,455.00/transformador) 78,960,800.00

Mano de obra

72,448,100.00

SUB-TOTAL

291,971,000.00

Administración y supervisión técnica

46,713,500.00

Costo total de la obra.

\$ 338,684,000.00

-COMPARACION CON OTROS SISTEMAS DE EXPLOTACION. (13)

Los pozos terminados en la formación Chicontepec, en general son pozos de baja producción, como consecuencia de la baja permeabilidad de la formación, por tal motivo el bombeo eléctrico y el bombeo neumático continuo, no son apropiados para manejar gastos tan bajos como los aportados por los pozos de Chicontepec.

En estas condiciones, los sistemas que se pueden considerar adecuados para explotar artificialmente los pozos del área Chicontepec, son el bombeo mecánico y el bombeo neumático intermitente, (No se considera el bombeo hidráulico).

A la fecha el desarrollo del área es incipiente, ya que en varios campos solo se han perforado el pozo exploratorio y uno o dos de desarrollo. Entre los principales campos del área Chicontepec que tienen un grado de desarrollo mayor, se encuentran: Presidente Alemán con 95 pozos perforados, Tajín con 82, Soledad con 79 y Miquetla con 74.

En este trabajo sólo se analizará la posibilidad de aplicar bombeo neumático intermitente o bombeo mecánico, para explotar artificialmente los campos mencionados anteriormente.

CAMPO SOLEDAD.

El campo Soledad actualmente se está explotando por bombeo -

neumático intermitente y para hacer una evaluación del sistema, se deben considerar las ventajas y desventajas de su aplicación.

El campo cuenta actualmente con 75 pozos en operación, de los cuales 20 son verticales y 15 direccionales. La producción media de los pozos es aproximadamente de 3 a 4 m³/día. De estos pozos sólo 5 son fluyentes y los demás se explotan artificialmente por bombeo neumático intermitente.

Condiciones medias de los pozos en este campo.

Prof. media del intervalo productor	1200 m.
Diámetro de la tubería de revestimiento	6 5/8 Pg.
Diámetro de la tubería de producción	2 7/8 Pg.
Agua producida	0-10%
Densidad del gas de inyección	0.76
Gasto de aceite	3-4 m ³ /día
Relación gas-líquido	300 m ³ /m ³
Presión disponible del gas de inyección	38 Kg/cm ²
Contrapresión en el cabezal del pozo	2-7 Kg/cm ²
Temperatura de la formación	55° C
Temperatura en la cabeza del pozo	34° C

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE APLICAR BOMBEO NEUMÁTICO INTERMITENTE

VENTAJAS.

Las ventajas de aplicar bombeo neumático intermitente a los pozos de este campo son las siguientes:

1.- Equipo e instalaciones en buenas condiciones.

Se dispone de las instalaciones necesarias para aplicar el sistema de bombeo neumático intermitente a los pozos, encontrándose en buenas condiciones de operación el equipo de -compresión y la red de distribución de gas.

2.- Presión adecuada del gas de inyección.

La presión del gas de inyección de 33 Kg/cm^2 es suficiente para operar eficientemente los aparejos de bombeo neumático.

3.- Aceite de baja viscosidad.

El aceite que se produce en el campo es aceite ligero de baja viscosidad, con lo que se logran buenas eficiencias de levantamiento con el sistema de bombeo neumático intermitente.

4.- Pozos someros.

La eficiencia de levantamiento de aceite en el sistema de bombeo neumático intermitente, es mayor a medida que disminuye la profundidad de los pozos. Como regla general puede estimarse que el resbalamiento del líquido es del orden del

7 % por cada 1000 pies de levantamiento, por lo que para estos pozos se espera un resbalamiento aproximado del 28 % o sea una recuperación del 72 % del bache inicial.

5.- Aceite limpio.

El aceite que produce el campo está limpio de sedimentos, azufre, polisulfuros o materiales de depósito como parafinas, carbonatos, etc. que pudieran obstruir el flujo en las tuerías de producción o líneas de escurrimiento.

6.- Ausencia de fluidos corrosivos.

A la fecha no se han manifestado en las instalaciones pro-
blemas serios causados por la corrosión, debido a que el -
contenido de gas sulfídrico y agua salada en el aceite es
muy bajo. Tampoco se ha detectado la presencia de bióxido
de carbono.

7.- Disponibilidad de gas.

El gas de formación que se produce en el campo, es suficien-
te para mantener el abastecimiento a la red de gas para bom
beo neumático intermitente.

DESVENTAJAS.

Entre las desventajas principales de aplicar el bombeo neumá
tico intermitente están las siguientes:

1.- Uso de gas húmedo.

El hecho de utilizar gas húmedo, como gas de inyección en

la red de bombeo neumático; han provocado una serie de problemas que han dado como resultado, una operación muy deficiente en el sistema de bombeo neumático. Entre estos problemas se pueden mencionar los siguientes:

- a) Obstrucción parcial o total de la válvula de aguja por la formación de hidratos o por los condensados del gas de inyección.

Este problema causa la reducción del número de ciclos por día, disminuyendo la producción del pozo o un cambio en la profundidad del punto de inyección, originándose una operación deficiente de la instalación. El caso crítico es cuando la obstrucción es total y el pozo deja de producir.

- b) Acumulación de condensados en la red de gas para bombeo neumático.

Este problema causa abatimiento en la presión del gas de inyección en el cabezal del pozo, lo que a su vez origina que el punto de inyección pase a la siguiente válvula superior, ocasionando una operación deficiente del aparejo de bombeo neumático. Para evitar la acumulación de líquidos en las tuberías, es necesario hacer corridas frecuentes de diablos, que para el caso de Soledad, es cada semana. Esto representa además del costo extra por las corridas de diablos, producción diferida del campo.

c) Fallas de las válvulas de bombeo neumático.

Cuando se utiliza gas húmedo como gas de inyección, ocurren fallas más frecuentes en los aparatos de bombeo neumático, debido a que los empaques anulares de las válvulas se cristalizan y se rompen fácilmente, por la presencia y peso de los condensados durante la inyección del gas.

d) Errores en la medición del gas de inyección.

Debido a la presencia de condensados, no es posible obtener mediciones precisas del gas de inyección. Esto trae como consecuencia que no se pueda establecer el volumen de gas de inyección correcto, para cada instalación.

2.- Capacidad de compresión limitada.

La capacidad de compresión del gas de inyección está restringida para abastecer el suministro a los pozos del campo Soledad; si el campo continúa desarrollándose habrá la necesidad de incrementarla.

3.- Lejanía y dificultades de acceso a los pozos.

El campo Soledad se encuentra alejado de la Cdad. de Poza Rica por lo que la atención a los pozos se dificulta, llegando a ser crítica para los equipos de reparación, en épocas de lluvias.

4.- Baja aportación de los pozos.

Debido a la baja producción de los pozos del campo Soledad no se les dedica a éstos la atención suficiente para operar los eficientemente, ya que tienen prioridad los pozos de ma yor producción.

5.- Falta de registradores de flujo.

Una consecuencia adicional a la baja producción de los pozos es que muy pocos de ellos, cuentan con aparatos registradores de flujo, ya que cuando se dispone de este equipo, normalmente se instala en pozos de mayor producción.

De las consideraciones anteriores se concluye que, el bombeo neumático intermitente es adecuado para explotar artificialmente el campo Soledad por las ventajas que ofrece, siempre y cuando se utilice gas seco en lugar de gas húmedo. Esto es muy importante, ya que el uso de gas húmedo puede afectar a tal grado el sistema, que puede convertirlo en un sistema inoperante, debido al creciente número de intervenciones a los pozos, por fallas de aparejos y por el excesivo mantenimiento que requieren las instalaciones superficiales, sin embargo, el cambio de gas húmedo a gas seco no es un problema sencillo, ya que para lograrlo se requiere la construcción de una planta para tratar al gas lo que puede representar una considerable inversión. Por otra parte, cada vez existen mayores restricciones en la utiliza

ción del gas para alimentar la red de bombeo neumático, por lo que es necesario definir si en un futuro se podrá disponer de suficiente gas para el bombeo neumático.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE APLICAR BOMBEO MECANICO AL CAMPO SOLIDIDAD.

VENTAJAS.

1.- Aceite de baja viscosidad.

El aceite de la formación por su grado de viscosidad, es susceptible de manejarse sin dificultad por la bomba subsuperficial.

2.- Pozos someros.

Se requieren unidades pequeñas del tipo convencional de bajo costo, debido a que los pozos son someros y a la baja aportación de fluidos.

3.- Aceite limpio.

Debido a que el aceite está libre de sedimentos, arena, polisulfuros o materiales de depósito como parafina, carbonatos, etc., se evitan los siguientes problemas al sistema:

a) Atascamiento del émbolo con el barril.

b) Rayaduras del émbolo y barril por la presencia de arena.

- c) Fugas a través de las válvulas por incrustación de sales, depósitos de parafinas o asentamiento de arena en los asientos de las válvulas.
- d) Adquisición de bombas de diseño especial para manejar arena o parafina. Esta condición de los fluidos del pozo representa una ventaja significativa, para la aplicación del sistema.

4.- Fluidos no corrosivos.

Puesto que no se manejan fluidos corrosivos dentro del pozo no es necesario adquirir equipo subsuperficial fabricado con acero especial, resistente a la corrosión. Esto, además de representar un ahorro en la compra del equipo, reduce el número de fallas de la sarta de varillas, se incrementa la vida útil del equipo y no hay necesidad de inyectar inhibidores de corrosión al pozo.

DESVENTAJAS.

1.- Alta relación gas-aceite.

Uno de los factores que se considera que afectaría severamente la operación del sistema, es la alta relación gas-aceite con que producen los pozos. Sin embargo existen varias formas de resolver el problema para que la bomba subsuperficial no maneje volúmenes excesivos de gas, que afectan severamente la eficiencia del sistema.

Una de ellas, quizá la mas efectiva y económica, es la de -
instalar la bomba subsuperficial abajo del intervalo produc -
tor, afin de crear un separador natural dentro del pozo; -
siempre y cuando éste sea factible.

Otra forma es la de instalar en la bomba subsuperficial, un
tipo de válvula circular, de la que ya se tienen resultados
positivos en los pozos del campo Poza Rica.

Una tercera opción sería la de instalar dentro del pozo un
separador de gas efectivo, como pudiera ser del tipo Guiber -
son.

2.- Pozos desviados.

Otra desventaja importante para el sistema es la existencia
de pozos desviados. Aunque en Poza Rica se tiene la expe -
riencia de haber aplicado con éxito el bombeo mecánico en -
pozos desviados, no puede hacerse extensivo al campo Sole -
dad, ya que el éxito o fracaso del sistema puede estar en
función del grado de desviación de los pozos.

3.- Carencia de instalaciones.

Debido a que el campo se ha venido explotando por bombeo -
neumático, en la actualidad no existen instalaciones orien -
tadas a aplicar el sistema de bombeo mecánico.

4.- Lejanía y dificultad es común para ambos sistemas.

Esta desventaja es común para ambos sistemas.

De lo anterior se observa, que el sistema de bombeo mecánico también puede aplicarse al campo Soledad, siempre y cuando pudiera controlarse el gas de formación para no afectar considerablemente su eficiencia y que la desviación de los pozos no llegara a ser crítica, que lo haría inoperante, por fallas frecuentes de la sarta de varillas. Es necesario someterlo a prueba en varios pozos desviados y de los resultados que se obtengan, concluir si resulta o no atractivo para aplicarlo en este campo.

Después de evaluar las ventajas y desventajas de los dos sistemas, se llega a las siguientes conclusiones:

- 1.- Es recomendable el bombeo neumático intermitente en el campo Soledad si:
 - a) Se utiliza gas seco en lugar de gas húmedo.
 - b) Se dispone de gas suficiente para alimentar la red de bombeo neumático.
 - c) La presión del gas de inyección se mantiene constante.
 - d) Se dispone del equipo necesario de medición y registro para operar correctamente las instalaciones.

- 2.- El sistema de bombeo mecánico será adecuado si:
 - a) se resuelve el problema del gas de formación.
 - b) Si la desviación de los pozos no afecta considerablemente el sistema.

CAMPO MIQUETLA.

De manera similar al campo Soledad, el campo Miquetla se explota actualmente por bombeo neumático intermitente. En este campo se han perforado 74 pozos todos ellos verticales.

Las condiciones medias de los pozos son las siguientes:

Profundidad media del intervalo productor	1200 m.
Diámetro de la tubería de revestimiento	6 5/8 pg.
Diámetro de la tubería de producción	2 7/8 pg.
Agua producida	0-5 %
Densidad del gas de inyección	0.65
Gasto de aceite	3 - 10 m ³ /día
Relación gas-líquido	150-400 m ³ /m ³
Presión disponible del gas de inyección	38.5 kg/cm ²
Contra presión en la cabeza	4 kg/cm ²
Temperatura de formación	58° C
Temperatura en la cabeza	26-36° C

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE APLICAR BOMBEO NEUMÁTICO AL CAMPO MIQUETLA.

VENTAJAS.

- 1.- Se dispone de gas seco para alimentar la red de bombeo neumático.
- 2.- La presión del gas de inyección de 33.5 kg/cm^2 , es suficiente para operar eficientemente los aparejos.
- 3.- Los pozos producen con alta relación gas-aceite.
- 4.- El aceite que produce el campo, es aceite ligero de baja viscosidad.
- 5.- No se produce arena, ni se presentan problemas de incrustación de sales, ni depositación de parafina.
- 6.- La red de bombeo neumático cuenta con todas las instalaciones necesarias.
- 7.- No se presentan problemas de corrosión, porque el contenido de gas sulfhídrico y el porcentaje de agua salada es muy bajo.
- 8.- Un alto porcentaje de los pozos, cuenta con el equipo superficial de control y medición.

- 9.- Se dispone de equipo de compresión en buen estado, para el manejo del gas de recolección de las baterías de separación.
- 10.- En caso de requerirse, se dispone de un abastecimiento adicional de gas húmedo a la red de gas.
- 11.- Se cuenta con personal capacitado para las instalaciones.
- 12.- No se tienen problemas de acceso a los pozos.
- 13.- Se dispone de un sistema de inyección de inhibidores de corrosión, para protección de líneas y equipo.

DESVENTAJAS.

- 1.- El gasoducto de abastecimiento y el anillo de bombeo neumático, tienen mas de 20 años de servicio.
- 2.- El anillo de bombeo neumático carece de las instalaciones necesarias para limpieza (corrida de diablos), lo que limita el uso de gas húmedo.
- 3.- Consecuentemente se presentan cambios en la presión de gas de inyección, causando un descontrol general al sistema de bombeo neumático.
- 4.- Inconsistencia en la operación de las compresoras de explotación, para el abastecimiento de gas al complejo petroquí-

mico.

- 5.- La descarga de los fluidos a los colectores con válvula de 7 vías, ocasiona altas contrapresiones en los cabezales del pozo, por el congestionamiento del fluido en ese punto.
- 6.- El suministro de gas a Poza Rica y San Andrés, constantemente limita el abastecimiento de gas al campo, ocasionando además del descontrol del sistema, producción diferida.
- 7.- No se dispone de vehículos de transporte suficientes, para dar la debida atención a los pozos.

De las ventajas y desventajas de aplicar el sistema de bombeo neumático en el campo Miquetla, se observa que son muchas - las ventajas que se tienen para que el sistema opere con eficiencia y que por el contrario las desventajas son circunstanciales y por lo tanto no se deben considerar para la evaluación del sistema.

Por lo que se concluye que el sistema de bombeo neumático intermitente implantado en el campo Miquetla, es adecuado para explotar el campo, y que las desventajas mencionadas, deben ser consideradas para mejorar la operación del sistema.

El bombeo mecánico es en forma similar al del campo Soledad, sólo que en este caso se tiene la ventaja adicional, que es la verticalidad de los pozos.

Se sugiere efectuar pruebas de bombeo mecánico en este campo, si el desarrollo total del mismo se va a hacer con pozos verticales.

En caso de que el gas de formación no represente un problema grave para el sistema, se tendrá la alternativa del bombeo mecánico para explotar el campo, ya que todos los demás factores son favorables a este sistema.

CAMPO TAJIN.

En este campo se han perforado 82 pozos, de los cuales, 42 - son direccionales y el resto verticales. 41 pozos son fluyentes, 16 semifluyentes y s6lamente al pozo 677 se ha instalado un equipo de bombeo mecánico.

Las condiciones medias de los pozos son las siguientes:

Profundidad media del intervalo productor	1400-1900 m.
Tubería de revestimiento	6 5/8 pg.
Tubería de producción	2 7/8 pg.
Agua de formación	0- 75 %
Gasto	1-23 m ³ /día
Relación gas líquido	60-30 m ³ /m ³
Densidad relativa del aceite	0.882
Viscosidad del aceite	90 cp. a 20°C
Contrapresión	3 - 5 kg/cm ²
Temperatura frente a la formación	70-85°C
Temperatura de flujo en el cabezal	28°C

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE APLICAR BOMBEO NEUMATICO AL CAMPO TAJIN.

VENTAJAS.

1.- Pozos de poca profundidad.

Como se indicó anteriormente, la eficiencia del sistema se incrementa a medida que disminuye la profundidad de los pozos.

2.- Aceite de baja viscosidad.

La viscosidad del aceite del campo Tajin es de 90 cp. a 20°C no representa ningún problema para el bombeo neumático intermitente.

3.- Aceite limpio.

El aceite que producen los pozos está libre de arena y sedimentos.

4.- Fluidos no corrosivos.

Los fluidos del yacimiento tienen un bajo contenido de gas sulfhídrico, por lo que se estima que no se presentarán en un futuro, problemas de incrustación.

5.- No se tiene depositación de parafina ni incrustaciones de sales.

DESVENTAJAS.

1.- Baja relación gas-aceite.

Los pozos producen actualmente con una relación gas-aceite de 60 a 30 m³/m³, la cual es insuficiente para satisfacer - con gas de formación, una red de bombeo neumático.

2.- Carencia de gas.

Actualmente en Poza Rica no se dispone de suficiente gas, - para explotar el campo Tajín por bombeo neumático.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE APLICAR BOMBEO MECANICO AL CAMPO TAJIN.

VENTAJAS.

Las ventajas de aplicar el sistema de bombeo mecánico al campo Tajin, son las mismas que se enumeran para el bombeo neumático. Una ventaja adicional para el bombeo mecánico, es la baja relación gas-aceite con que producen los pozos, lo que indica - que no se presentarán problemas de engasamiento de la bomba o interferencia de gas.

DESVENTAJAS.

La desventaja principal de aplicar bombeo mecánico a los pozos del Tajin, es la existencia de pozos direccionales. Este hecho es de fundamental importancia para el éxito o fracaso del sistema, por lo que se recomienda llevar a cabo la evaluación en condiciones críticas de desviación de los pozos, antes de decidir aplicar dicho sistema.

Por lo anteriormente expuesto, se observa que ambos sistemas son susceptibles de aplicarse y para el caso del bombeo neumático, se requiere la disponibilidad de gas seco, además del equipo e instalaciones necesarias.

Para el bombeo mecánico, es conveniente probarlo en aquellos pozos que presentan un ángulo de desviación mayor, con el propó

sito de que la evaluación del sistema se lleve a cabo en condiciones críticas. Si la desviación de los pozos no representa ningún problema, la mejor opción será definitivamente el bombeo mecánico.

CAMPO PRESIDENTE ALEMAN.

El campo tiene actualmente 95 pozos perforados, de los cuales, 88 son fluyentes. Se ha instalado aparejos de bombeo neumático a 6 pozos, pero solamente 2 de ellos se encuentran operando. De los 95 pozos, 34 son direccionales.

Las características de los fluidos y las condiciones medias de los pozos son:

Profundidad del intervalo productor	2300 m.
Tubería de revestimiento	6 5/8 pg.
Tubería de producción	2 7/8 pg.
Rango de gasto	2-10 m ³ /día
Viscosidad del aceite	341 cp. a 24° C
Agua producida	0 %
Relación gas-aceite	100-1000 m ³ /m ³
Presión de inyección del gas	60 kg/cm ²
Densidad relativa del gas de inyección	0.65
Contrapresión en la cabeza del pozo	6 kg/cm ²
Temperatura de la formación	94° C
Temperatura en la cabeza del pozo	25 - 30° C

El sistema de bombeo neumático se ha aplicado en varios pozos del campo Presidente Alemán, sin lograr resultados positivos, la causa principal es la alta viscosidad del aceite. El fenómeno que ocurre durante el levantamiento de la columna de aceite hacia la superficie, es un resbalamiento considerable del aceite por las paredes de la tubería, originando que el gas se canalice a través del bache de aceite, obteniendo recuperaciones muy bajas del bache inicial.

Por lo anterior se deduce que el bombeo neumático no debe aplicarse a este campo.

Ante esta situación, la única alternativa viable para explotar artificialmente el campo, es la implantación de bombeo mecánico.

Las dificultades que habrá que vencer, para el éxito de este sistema son: El problema de los pozos direccionales y la relación gas-aceite con que producen los pozos. La viscosidad del aceite, no representa problema alguno para el éxito del sistema.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después de analizar las ventajas y desventajas que presentan los sistemas de bombeo Neumático y Mecánico, se llegó a las siguientes conclusiones:

- 1.- El bombeo neumático intermitente se puede aplicar con éxito en los campos: Soledad, Miquetla y Tajín.
- 2.- El bombeo neumático intermitente no debe aplicarse al campo Presidente Alemán ya que este sistema es inadecuado para manejar aceite viscoso.
- 3.- El bombeo mecánico se puede aplicar con éxito en el campo Presidente Alemán si se resuelve el problema que causaría el gas de formación y la desviación de los pozos.
- 4.- El campo Tajín que produce con baja relación gas-aceite se puede explotar artificialmente por bombeo mecánico si la desviación de los pozos no representa un serio problema al sistema.
- 5.- Los campos Soledad y Miquetla son susceptibles de explotarse por bombeo mecánico si el gas de formación y la desviación de los pozos no causan un problema grave al sistema.

En el aspecto económico se observa que sí es rentable la conversión de los pozos al sistema artificial de bombeo mecánico.

co debido a la inversión para convertir 82 pozos al nuevo sistema se recupera en 139 días, para 40 pozos la inversión se recupera en 145 días.

Si se decide llevar a cabo la implantación del sistema se recomienda emplear Válvulas Chargin en aquellos pozos que presenten alto volumen de gas de formación.

Se recomienda hacer pruebas de bombeo mecánico en los campos antes de implantar el sistema.

Las pruebas se deberán hacer en aquellos pozos que tengan las condiciones de desviación más severas.

Al hacer una evaluación de las ventajas y desventajas que se tienen tanto en el sistema de bombeo neumático como en el bombeo mecánico se llegó a las siguientes conclusiones.

CAMPO SOLEDAD.

1.- Es recomendable el bombeo neumático intermitente en el campo Soledad si:

- a) Se utiliza gas húmedo en lugar de gas seco.
- b) Se dispone de gas suficiente para alimentar la red de bombeo neumático.
- c) La presión del gas de inyección se mantiene constante.
- d) Se dispone del equipo necesario de medición y registro para operar correctamente las instalaciones.

2.- El sistema de Bombeo Mecánico será adecuado si:

- a) Se resuelve el problema del gas de formación.
- b) Si la desviación de los pozos no afecta considerablemente el sistema.

CAMPO MIQUETLA.

El sistema artificial de bombeo neumático intermitente, implantado al Campo Miquetla es adecuado para su explotación y las desventajas encontradas son circunstanciales que deben ser consideradas para mejorar la operación del sistema.

En caso de que el gas de formación no represente un problema grave para el sistema, se tendrá la alternativa del bombeo mecánico para explotar el campo, ya que todos los demás factores son favorables a este sistema.

CAMPO TAJIN.

En éste campo ambos sistemas artificiales son susceptibles de aplicarse y para el caso del bombeo neumático, se requiere la disponibilidad de gas seco, además del equipo e instalaciones necesarias.

Si la desviación de los pozos no representa ningún problema, la opción será definitivamente el bombeo mecánico, para explotar este campo.

CAMPO PRESIDENTE ALEMAN.

Debido a la alta viscosidad del aceite, el sistema de bombeo neumático no se puede aplicar a este campo, debido al alto resbalamiento del aceite en las paredes de la tubería de producción, originando que el gas se canalice a través del aceite, obteniéndose recuperaciones muy bajas del bache inicial.

La única alternativa viable para explotar artificialmente el campo, es la implantación del bombeo mecánico.

Las dificultades que habrá que vencer, para el éxito de es

te sistema son: El problema de los pozos direccionales y la alta relación gas-aceite con que producen los pozos. La viscosidad del aceite no presenta ningún problema para el éxito del sistema.

NOMENCLATURA

- α = Factor de aceleración, adimensional.
- A_1, A_2 = Area transversal del primero y segundo tramo de la -
sarta de varillas, Pg^2 .
- A_p = Area completa del émbolo, Pg^2 .
- A_t = Area de la sección transversal del espesor de pared de
la tubería de producción, Pg^2 .
- A_r = Area de la sección transversal de la varilla, Pg^2 .
- C_i = Efecto ideal del contrabalanceo.
- C_{BE} = Contrapeso requerido, lb.
- D = Nivel dinámico o de trabajo del fluido, pies.
- D_e = Diámetro del émbolo, Pg .
- d_e = Diámetro de la polea del motor, Pg .
- d_u = Diámetro de la unidad, Pg .
- E = Módulo de elasticidad, 30×10^6 lb/ Pg^2 .
- E_r = Constante de elasticidad de las varillas, Pg -lb/pie ,
(tabla 2.1 columna 4).
- E_t = Constante de elasticidad de T.F. Pg -lb/pie, (tabla -
4.2 columna 5).
- e_1, e_2 = Elongación del primero y segundo tramo de varillas, -
pies.
- F_0 = Carga diferencial de fluido sobre el área completa -
del émbolo, lb.
- F_1 = Factor de la carga pico sobre la varilla pulida.
- F_2 = Factor de la carga mínima sobre la varilla pulida.
- F_3 = Factor de potencia sobre la varilla pulida.

- F_c = Factor de frecuencia, tabla 4.1 columna 5.
 = Densidad relativa del fluido desplazado.
- H_b = Potencia al freno requerida por el motor de la unidad Hp.
- H_f = Potencia por fricción, Hp.
- H_h = Potencia hidradlica para levantar el fluido, Hp.
- H_T = Potencia total en la varilla sulida, Hp.
- K'_b = Constante de bomba.
- K = Permeabilidad de la formación, mD.
- l/KR = Constante de elasticidad total de la sarta de varillas pg-lb.
- K_0 = Permeabilidad efectiva al aceite, mD.
- l/Kt = Constante de elasticidad, porción desanclada de la T.P. pg-lb.
- K_w = Permeabilidad efectiva al agua, mD.
- L = Longitud de la sarta de varillas de succión hasta la profundidad de la bomba, pies.
- L_1, L_2 = Longitud del primero y segundo tramo de varillas, pies
- L_N = Elevación neta, la cual es la presión diferencial, por la que el fluido pasa de la bomba subsuperficial a la superficie, expresada en pies de líquido producido.
- M_1, M_2 = Peso de cada una de las secciones de varillas, lb/pie.
- $MPRL$ = Carga mínima sobre la varilla pulida, lb.
- N = Velocidad de bombeo (emboladas por minuto).
- η_v = Eficiencia volumétrica de la bomba, %
- N_e = Velocidad del motor (revoluciones por minuto).
- N_o = Frecuencia natural del esfuerzo de la varilla pulida (carreras por minuto).

- No^o = Frecuencia natural de la sarta de varillas combinadas
(carreras por minuto).
- Nv = Velocidad de la polea de la unidad de bombeo, pies/seg.
- θ = Angulo entre la manivela y la biela que se supone ver
tical.
- φ = Porosidad de la formación, %
- Pt = Presión en la tubería de producción, lb/pg. ²
- P_D = Desplazamiento de la bomba, bl/día.
- PT = Torsión pico en la manivela, pg-lb.
- PPRL = Carga pico sobre la varilla pulida, lb.
- PRHP = Potencia en la varilla pulida, Hp.
- q = Producción máxima esperada, bl/día.
- Ri = Longitud de secciones individuales de una sarta de va
rillas combinadas, expresadas en fracción de la longi
tud total de la sarta de varillas, fracción.
- S = Longitud de carrera de la varilla pulida, pg.
- Sor = Saturación de aceite residual, %.
- Sp = Carrera efectiva del émbolo, pg.
- SKr = Libras de carga necesarias para la elongación total -
de la sarta de varillas en una cantidad igual a la ca
rrera de la varilla pulida, lb.
- Swr = Saturación de agua residual, %.
- T = Par máximo de torsión, pg-lb.
- Tp = Par máximo de torsión en la caja reductora de engranes
lb-pg.
- Ta = Constante de ajuste a la torsión para valores de -
Wrf/SKr mayores de 0.3 .
- V = Desplazamiento teórico de la bomba subsuperficial, bl.

- Vb = Velocidad de las bandas, pies/seg.
W = Carga máxima sobre la varilla pulida, lb.
Wr = Peso muerto de las varillas de succión, lb/pie (tabla
2.1, columna 3).
Wmáx. = Carga máxima sobre la varilla pulida, lb.
W min. = Carga mínima sobre la varilla pulida, lb.
wf = Peso del fluido desplazado, lb.
Z = Relación de engranes en la caja reductora de engranes
4o = Viscosidad del aceite, cp.
4w = Viscosidad del agua, cp.

REFERENCIAS.

- 1.- PEMEX. "Folleto Chicontepec", 1979.
- 2.- PEMEX, "Análisis petrofísico del área Chicontepec".
Departamento de yacimientos, Poza Rica, Ver.
Mayo de 1981.
- 3.- Brown, K.E.: "The technology of artificial lift methods".
Tulsa, Oklahoma, 1980, volumen 2a.
- 4.- THOMAS FRICK "Petroleum production handbook", vol. 1
MCGRAW-HILL BOOK COMPANY, INC. 1962.
- 5.- R.I. Watson, SPE-AIME, Cia. Shell de Venezuela, LTD. 1969.
- 6.- Richard F. Keelan, World Oil August 1, 1984.
Englenseer, the Moran Corp. Conroe, Texas.
- 7.- Leonard E. Wood, "The flexible sucker rod-and inovation in
pumping", America Petroleum Institute, 1968.
- 8.- Joy, R.F. and Coleman G.H. "Flexible pumping strand".
(TITLE: Flexible sucker rod in the works) 66 (29) 1238
oil and gas journal july 15, 1968.
- 9.- API, Recommended Practice for care an use of subsurface
pumps, API RP II AR (April 1968).

- 10.- Richard F. Keelan, Engineer, The Moran Corp. Conroe, Texas.
Word Oil, September 1984.
- 11.- Craft, B.C., Holden, W.R., and Graves, E.D.: "Well testing:
Drilling and Production", Prentice Hall, Inc,
Englewood Cliffs, N.J., (1962).
- 11'.- R.D. Schrop of Phillips Petroleum Company, Santa Barbara,
California, May, 1968.
- 12.- Lopez Diaz, Alfonso, " Bases para la electrificación del
campo Tajín", 1983.
- 13.- Zuñiga Fuente Horacio, " Selección del sistema artificial
de producción para los campos: Soledad, Miquetla,
Tajín y Presidente Alemán." ,1984.

A P E N D I C E

BATERIA:

Nombre que se le da al lugar donde se recibe, separa, almacena, mide y bombea al aceite procedente de los pozos de un campo petrolero.

CORROSION:

Es el desgaste sufrido por un metal debido a la reacción de este metal con el medio ambiente. El desgaste se efectúa a través de la formación de óxido en la superficie del elemento.

DESFLAZAMIENTO:

Es la diferencia entre la velocidad sincrónica de motor y la velocidad bajo la acción de una carga, se expresa comunmente como un porcentaje de la velocidad sincrónica. En un motor eléctrico tipo jaula de ardilla, si el motor llegara a la parte superior de la velocidad sincrónica o a la velocidad de rotación del campo magnético, por el flujo producido a través del vacío la corriente eléctrica no puede ser inducida en los conductores de la barra del rotor y no se desarrollará la torsión. Por esta razón cuando opera sin carga, no siempre se obtiene la velocidad sincrónica. El deslizamiento se incrementa con la carga.

$$\text{Deslizamiento (\%)} = \frac{\text{velocidad sincrónica} - \text{velocidad bajo la acción de una carga}}{\text{velocidad sincrónica}} \times 100$$

EMBOLADA:

Movimiento que efectúa el émbolo para desplazar el fluido que se introduce en el barril de la bomba, el número de veces que efectúa este movimiento en un minuto es la velocidad de bombeo.

PAR DE TORSION:

Se define como la fuerza que actúa en el extremo de un brazo de palanca multiplicado por la longitud de ese brazo y que tiende a producir una rotación y un trabajo. En bombeo mecánico el Par de Torsión se refiere al número de torsión en pulgadas - libra de fuerza aplicadas a la manivela por la flecha de la caja reductora de engranes, este Par de Torsión es producido por el jalón de la biela debido a las cargas del pozo y un efecto o puesto al contrabalanceo.

Básicamente la torsión neta de la caja reductora de engranes es la diferencia entre la torsión impuestas por las cargas del pozo y la impuesta por el contrabalanceo para cualquier posición de la manivela. La torsión neta máxima, es llamada torsión pico y su valor corresponde a aquel para la que está diseñada la caja reductora de engranes.

TENSION:

Es el esfuerzo al que está sometido un elemento por el peso soportado después de un punto determinado, este esfuerzo - tiende a elongar el elemento. El esfuerzo a la tensión se da en unidades de peso.

VARILLAS COMBINADAS:

Se entiende por sarta de varillas combinadas a una sarta de varillas de succión compuesta por varillas de diferente diámetro; varillas de mayor diámetro se colocan en la parte superior de la sarta y consecuentemente las de menor diámetro en la parte inferior de la sarta de varillas de succión.

TABLA No. 1

<u>PROFUNDIDAD DEL NIVEL DE TRABAJO</u>		<u>SUMERGENCIA</u>	
(m)	(pies)	(m)	(pies)
0 - 300	0 - 984	200	656
300 - 500	984 - 1640	250	820
500 - 700	1540 - 2296	300	984
700 - 1000	2296 - 3280	350	1148
1000 - 1400	3280 - 4592	400	1312
1400 - 2000	4592 - 6560	450	1476
2000 - más	6560 - más	500	1640

TABLA No. 2

UNIDAD 40 API CON 34 pg. DE CARRERA

<u>Profundidad de la bomba (pies)</u>	<u>Diám. del émbolo. (pg.)</u>	<u>Diám. de la tub. de prod. (pg.)</u>	<u>Diám. de la varilla (pg.)</u>	<u>velocidad de bombeo (epm)</u>
1000 - 1100	2 3/4	3	7/8	24 - 19
1100 - 1250	2 1/2	3	7/8	24 - 19
1250 - 1650	2 1/4	2 1/2	3/4	24 - 19
1650 - 1900	2	2 1/2	3/4	24 - 19
1900 - 2150	2 2/4	2 1/2	3/4	24 - 19
2150 - 3000	1 1/2	2	5/8 - 3/4	24 - 19
3000 - 3700	1 1/4	2	5/8 - 3/4	22 - 18
3700 - 4000	1	2	5/8 - 3/4	21 - 18

TABLA No. 3

UNIDAD 57 API CON 42 Pg. DE CARRERA

Profundidad de la bomba (pies)	Diám.del émbolo (Pg)	Diám. de la Tub.de Prod. (Pg)	Diám. de la varilla (Pg)	Velocidad de bombeo (epm)
1150 - 1300	2 3/4	3	7/8	24 - 19
1300 - 1450	2 1/2	3	7/8	24 - 19
1450 - 1850	2 1/4	2 1/2	3/4	24 - 19
1850 - 2200	2	2 1/2	3/4	24 - 19
2200 - 2500	1 3/4	2 1/2	3/4	24 - 19
2500 - 3400	1 1/2	2	5/8 - 3/4	23 - 18
3400 - 4200	1 1/4	2	5/8 - 3/4	22 - 17
4200 - 5000	1	2	5/8 - 3/4	21 - 17

TABLA No. 4

UNIDAD 80 API CON 48 Pg. DE CARRERA

1400 - 1550	2 3/4	3	7/8	24 - 19
1550 - 1700	2 1/2	3	7/8	24 - 19
1700 - 2200	2 1/4	2 1/2	3/4	24 - 19
2200 - 2600	2	2 1/2	3/4	24 - 19
2600 - 3000	1 3/4	2 1/2	3/4	23 - 18
3000 - 4100	1 1/2	2	5/8 - 3/4	23 - 18
4100 - 5000	1 1/4	2	5/8 - 3/4	21 - 17
5000 - 6000	1	2	5/8 - 3/4	19 - 17

TABLA No. 5

UNIDAD 114 API CON 54 Pg. DE CARRERA

<u>Profundidad de la bomba (pies)</u>	<u>Diám.del émbolo (Pg)</u>	<u>Diám. de la Tub.de Prod. (Pg)</u>	<u>Diám. de la varilla (Pg)</u>	<u>Velocidad de bombeo (epm)</u>
1700 - 1900	2 3/4	3	7/8	24 - 19
1900 - 2100	2 1/2	3	7/8	24 - 19
2100 - 2700	2 1/4	2 1/2	3/4	24 - 19
2700 - 3300	2	2 1/2	3/4	23 - 18
3300 - 3900	1 3/4	2 1/2	3/4	22 - 17
3900 - 5100	1 1/2	2	5/8 - 3/4	21 - 17
5100 - 6300	1 1/4	2	5/8 - 3/4	19 - 16
6300 - 7000	1	2	5/8 - 3/4	17 - 16

TABLA No. 6

UNIDAD 160 API CON 64 Pg. DE CARRERA

2000 - 2200	2 3/4	3	7/8	24 - 19
2200 - 2400	2 1/2	3	7/8	23 - 19
2400 - 3000	2 1/4	2 1/2	3/4 - 7/8	23 - 19
3000 - 3600	2	2 1/3	3/4 - 7/8	23 - 18
3600 - 4200	1 3/4	2 1/2	3/4 - 7/8	22 - 17
4200 - 5400	1 1/2	2	5/8-3/4-7/8	21 - 17
5400 - 6700	1 1/4	2	5/8-3/4-7/8	19 - 15
6700 - 7750	1	2	5/8-3/4-7/8	17 - 15

TABLA No. 7

UNIDAD 228 API CON 74 Pg. DE CARRERA

Profundidad de la bomba (pies)	Diám. del símbolo (Pg)	Diám. de la Tub.de Prod. (Pg)	Diám.de la varilla (Pg)	Velocidad de bombeo (epm)
2400 - 2600	2 3/4	3	7/8	24 - 20
2600 - 3000	2 1/2	3	7/8	23 - 18
3000 - 3700	2 1/4	2 1/2	3/4 - 7/8	22 - 17
3700 - 4500	2	2 1/2	3/4 - 7/8	21 - 16
4500 - 5200	1 3/4	2 1/2	3/4 - 7/8	19 - 15
5200 - 6300	1 1/2	2	5/8-3/4-7/8	18 - 14
6300 - 8000	1 1/4	2	5/8-3/4-7/8	16 - 13
8000 - 8500	1 1/16	2	5/8-3/4-7/8	14 - 13

TABLA No. 8

UNIDAD 320 API CON 84 Pg. DE CARRERA

2800 - 3200	2 3/4	3	7/8	23 - 18
3200 - 3600	2 1/2	3	7/8	21 - 17
3600 - 4100	2 1/4	2 1/2	3/4 - 7/8-1	21 - 17
4100 - 4800	2	2 1/2	3/4 - 7/8-1	20 - 16
4800 - 5600	1 3/4	2 1/2	3/4 - 7/8-1	19 - 16
5600 - 6700	1 1/2	2 1/2	3/4 - 7/8-1	18 - 15
6700 - 8000	1 1/4	2 1/2	3/4 - 7/8-1	17 - 13
8000 - 9500	1 1/16	2 1/2	3/4 - 7/8-1	14 - 11

TABLA No. 9

UNIDAD 640 API CON 144 Pg. DE CARRERA

<u>Profundidad de la bomba (pies)</u>	<u>Diám. del émbolo (Pg)</u>	<u>Diám. de la Tub.de Prod. (Pg)</u>	<u>Diám. de la Varilla (Pg)</u>	<u>Velocidad de bombeo (epm)</u>
3200 - 3500	2 3/4	3	7/8 1	18 - 14
3500 - 4000	2 1/2	3	7/8 1	17 - 13
4000 - 4700	2 1/4	2 1/2	3/4 - 7/8-1	16 - 13
4700 - 5700	2	2 1/2	3/4 - 7/8-1	15 - 12
5700 - 6600	1 3/4	2 1/2	3/4 - 7/8-1	14 - 12
6600 - 8000	1 1/2	2 1/2	3/4 - 7/8-1	14 - 11
8000 - 9600	1 1/4	2 1/2	3/4 - 7/8-1	13 - 10
9600 - 11000	1 1/16	2 1/2	3/4 - 7/8-1	12 - 10

TABLA No. 10

DATOS DE LAS VARILLAS

<u>DIAMETRO DE VARILLA (Pg)</u>	<u>A R E A (Pg²)</u>	<u>P E S O (Lbs/pie)</u>
5/8	0.307	1.16
3/4	0.442	1.63
7/8	0.601	2.16
1	0.785	2.88
1 1/8	0.994	3.64

TABLA No. 11

DATOS DEL EMBOLO DE LA BOMBA SUBSUPERFICIAL

<u>DIAMETRO</u> <u>(Pg)</u>	<u>A R E A</u> <u>(Pg²)</u>	<u>CONSTANTE DE LA BOMBA (K)</u> <u>Bls/día/Pulg/Embolada</u>
1	0.785	0.116
1 1/16	0.866	0.131
1 1/4	1.227	0.192
1 1/2	1.767	0.262
1 3/4	2.405	0.357
1 25/32	2.488	0.369
2	3.142	0.466
2 1/4	3.976	0.590
2 1/2	4.909	0.728
2 3/4	5.940	0.881
3 3/4	11.045	1.639
4 3/4	17.721	2.630

TABLA No. 12

DATOS DE LA TUBERIA DE PRODUCCION

<u>DIAMETRO INTERIOR</u> <u>(Pg)</u>	<u>DIAMETRO EXTERIOR</u> <u>O NOMINAL</u> <u>(Pg)</u>	<u>PESO</u> <u>(Lbs/pie)</u>	<u>AREA DE LA PARED</u> <u>(Pg²)</u>
1 1/2	1.900	2.90	0.800
2	2.375 2 3/8	4.70	1.304
2 1/2	2.785 2 7/8	6.50	1.812
3	3.500 3 1/2	9.30	2.590
3 1/2	4.000 4	11.00	3.017
4	4.500 4 1/2	12.75	3.601

TABLA No. 13

DATOS PARA EL DISEÑO DE SARTAS COMBINADAS

DIAMETRO DE VARILLAS COMBINADAS
(Pg)

VALORES DE "R"

5/8 - 3/4

$$R_1 = 0.759 - 0.0896 A_p$$

$$R_2 = 0.241 + 0.0896 A_p$$

3/4 - 7/8

$$R_1 = 0.786 - 0.0566 A_p$$

$$R_2 = 0.214 + 0.0566 A_p$$

7/8 - 1

$$R_1 = 0.814 - 0.0375 A_p$$

$$R_2 = 0.186 + 0.0375 A_p$$

5/8 - 3/4 - 7/8

$$R_1 = 0.627 - 0.1393 A_p$$

$$R_2 = 0.199 + 0.0737 A_p$$

$$R_3 = 0.175 + 0.0655 A_p$$

3/4 - 7/8 - 1

$$R_1 = 0.644 - 0.0894 A_p$$

$$R_2 = 0.181 + 0.0478 A_p$$

$$R_3 = 0.155 + 0.0416 A_p$$

3/4 - 7/8 - 1 - 1 1/8

$$R_1 = 0.586 - 0.1110 A_p$$

$$R_2 = 0.158 + 0.0421 A_p$$

$$R_3 = 0.137 + 0.0364 A_p$$

$$R_4 = 0.123 + 0.0325 A_p$$

POZO INTERNACIONAL 274-D

Historia de producción.

mes	aceite m^3_{o}	agua m^3_{g}	R.G.A. $\text{m}^3_{\text{g}}/\text{m}^3_{\text{o}}$
OCT./85	16	56	25
NOV./86	28	23	25
DIC./86	43	20	0
ENE./87	64	30	45
FEB./87	56	35	30
MAR./87	62	49	50
ABR./87	50	38	34
MAY./87	52	37	15
JUN./87	48	43	0
JUL./87	53	54	0
AGO./87	62	50	0

- a) $\text{RGA} = 30 \text{ m}^3_{\text{g}}/\text{m}^3_{\text{o}}$
 b) $q = 15 \text{ m}^3_{\text{o}}/\text{día} = 94 \text{ bl}/\text{día}$.
 c) de un registro de producción $P_{wf} = 16 \text{ kg}/\text{cm}^2$.
 d) Profundidad 469 m.

Nivel dinámico o de trabajo.

$$D = 10 \text{ Pwf}/\gamma^A = 10 * 16/0.95$$

$$D = 179 \text{ m.}$$

- 1.- Profundidad de la bomba subsuperficial:
de la tabla No. 1

$$\text{Sumergencia} = 250 \text{ m.}$$

$$\text{LB} = 169 + 250 = 419 \text{ m. } 1374 \text{ pies.}$$

- 2.- Desplazamiento de la bomba subsuperficial:

$$V = \frac{q}{\eta_v} = \frac{34}{0.70} = 134 \text{ bl/día.}$$

- 3.- Tamaño API y longitud de carrera de la unidad de bombeo:

$$\text{como LE} = 1374 \text{ pies}$$

$$V = 134 \text{ bl/día.}$$

La gráfica 2.1 nos indica una unidad API-40 y 34 pg. de carrera.

$$C - 40 D - 89 - 36$$

- 4.- De la tabla No. 2 se tiene:

$$D_p = 2 \frac{1}{4} \text{ pg.} \quad D_{tp} = 2 \frac{1}{2} \text{ pg.}^2 \quad D_{var.} = \frac{3}{4} \text{ pg.}$$

$$N = 24 - 19 \text{ r.p.m.}$$

- 5.- Velocidad de bombeo:

$$n = \frac{237 \text{ 000}}{1374 \times 20} = 8.62$$

Es conveniente una velocidad de 19 epm. ya que es una velocidad no sincrónica.

6.- De la tabla No. 10.

$$Dv = 3/4 \text{ pg.} \quad Av = 0.442 \text{ pg.}^2 \quad Wv = 1.63 \text{ lb/pie}$$

7.- De la tabla No. 11

$$Dp = 2 \ 1/4 \text{ pg.} \quad Ap = 3.976 \text{ pg.}^2 \quad K=0.59 \text{ bl/día/pg./emb.}$$

8.- De la tabla No. 12

$$Dtp. = 2 \ 1/2 \text{ pg.} \quad Atp. = 1.812 \text{ pg.}^2$$

9.- L - 1374 pies

10.- Factor de aceleración:

$$\alpha = \frac{(19)^2 \ 34}{70500} = 0.174$$

11.- Carrera efectiva del émbolo con la tubería de producción anclada.

$$Sp = 34 + \frac{40.8 \ (1374)^2 \ 0.174}{30 \times 10^6} - 5.2 \frac{0.95 \times 887 \times 3.976}{30 \ 10^6} \left[\frac{1374}{0.442} \right]$$

$$Sp = 34.15 \text{ pg.}$$

12.- Probable producción:

$$q = 19 * 0.70 * 0.59 * 34.15$$

$$q = 368 \text{ bl/día}$$

Por lo que la producción de 94 bl/día si se puede obtener.

13.- Peso muerto de las varillas:

$$W_r = 1374 * 1.63 = 2240 \text{ lb.}$$

14.- Carga del fluido:

$$W_f = 0.433 (1374 * 3.976 - 0.294 * 2240)$$

$$W_f = 2080 \text{ lb.}$$

15.- Carga máxima de la varilla pulida:

$$W_{m\acute{a}x.} = 2080 + 2240(1 + 0.174)$$

$$W_{m\acute{a}x.} = 4709 \text{ lb.}$$

16.- Esfuerzo máximo en la parte superior de la sarta:

$$\text{Esf. M\acute{a}x.} = \frac{4709}{0.442} = 10655 \text{ lb/pg.}^2$$

17.- Efecto ideal de contrabalanceo:

$$C_i = 0.5 * 2080 + 2240(1 - 0.0635 * 0.95)$$

$$C_i = 3144 \text{ lb.}$$

18.- Torsión o Par requerido:

$$T_p = (4709 - 0.95 * 3144) \frac{34}{2}$$

$$T_p = 29277 \text{ lb.}$$

19.- La unidad de bombeo API-40 si es adecuada para la torsión requerida.

20.- Potencia requerida por el motor de la unidad:

Potencia hidráulica:

$$H_h = 7.36 * 10^{-6} * 368 * 0.95 * 1374$$

$$H_h = 3.535 \text{ Hp.}$$

Potencia por fricción:

$$H_f = 6.31 * 10^{-7} * 2240 * 34 * 19$$

$$H_f = 0.913 \text{ Hp.}$$

La potencia al freno requerida por el motor es:

$$H_b = 1.5(3.535 + 0.913)$$

$$H_b = 6.6 \text{ Hp.}$$

21.- Diámetro de polea del motor de la unidad:

La unidad C-40D-89-36 con relación de engranes 29.2 tiene una polea de 20 pg. y 24 pg. la velocidad del motor eléctrico es de 1200 rpm.

$$d_e = \frac{19 * 29.2 * 34}{1200} = 9 \text{ pg.}$$

POZO SINCLAIR EMPIRE 275

Historia de producción.

mes	aceite m^3 o	agua m^3 g	R.G.A. m^3/m^3 o
OCT./86	41	15	19
NOV./86	54	36	31
DIC./86	75	50	32
ENE./87	86	0	81
FEB./87	81	0	12
MAR./87	124	58	32
ABR./87	130	47	13
MAY./87	140	30	
JUN./87	132	87	60
JUL./87	147	75	14
AGO./87	155	124	13

- a) $RGA = 32 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 b) $q = 20 \text{ m}^3/\text{dfa} = 126 \text{ bl}/\text{dfa}$
 c) de un registro de producción, $Pwf = 18 \text{ kg}/\text{cm}^2$.
 d) Profundidad 540 m.

Nivel dinámico o de trabajo:

$$D = 10 \text{ Pwf}/\lambda$$

$$D = 10 * 18 / 0.95$$

$$D = 190 \text{ m.}$$

- 1.- Profundidad de la bomba subsuperficial:
de la tabla No. 1

$$\text{Sumergencia} = 300 \text{ m.}$$

$$\text{LB} = 190 + 300 = 490 \text{ m.} = 1607 \text{ pies}$$

- 2.- Desplazamiento de la bomba subsuperficial:

$$V = \frac{q}{\eta_v} = \frac{125}{0.7} = 180 \text{ bl/día}$$

- 3.- Tamaño API y longitud de carrera de la unidad de bombeo:

$$\text{como LB} = 1607 \text{ pies} \quad \text{y} \quad V = 180 \text{ bl/día}$$

La gráf. 2.1 nos indica una unidad API - 40 y 34 pg. de carrera:

$$C - 40 \quad D - 89 - 36$$

- 4.- De la tabla No. 2 se tiene :

$$Dp = 2 \frac{1}{4} \text{ pg.}$$

$$Dtp. = 2 \frac{1}{2} \text{ pg.}$$

$$Dvar. = \frac{3}{4} \text{ pg.}$$

$$N = 24 - 19 \text{ r.p.m.}$$

5.- Velocidad de bombeo:

$$n = \frac{237000}{1607 * 20} = 7.37$$

La velocidad de 20 epm. es adecuada ya que no se tendrá una velocidad sincrónica.

6.- De la tabla No. 10

$$Dv = 3/4 \text{ pg.} \quad Av = 0.442 \text{ pg.}^2 \quad Wv = 1.63 \text{ (bl/pie)}$$

7.- De la tabla No. 11

$$Dp = 2 \ 1/4 \ \text{pg.} \quad Ap = 3.976 \ \text{pg.}^2 \quad K = 0.59 \ \text{bl/día/pg/emb.}$$

8.- De la tabla No. 12

$$Dtp = 2 \ 1/2 \ \text{pg.} \quad Atp = 1.812 \ \text{pg.}^2$$

9.- L = 1607 pies

10.- Factor de aceleración:

$$\alpha = \frac{(20)^2 * 34}{70500} = 0.19$$

11.- Carrera efectiva del émbolo con tubería de producción anclada.

$$Sp = 34 + \frac{40.8 (1607)^2 * 0.19}{30 * 10^6} - 5.2 \frac{0.95 * 623 * 3.976}{30 * 10^6} \left[\frac{1607}{0.442} \right]$$

$$Sp = 34.3 \text{ ps.}$$

12.- Probable producción:

$$q = 20 * 0.70 * 0.59 * 34.3$$

$$q = 283 \text{ bl/día.}$$

Si se puede obtener la producción de 126 bl/día

13.- Peso muerto de las varillas:

$$Wr = 1607 * 1.63 = 2619 \text{ lb.}$$

14.- Carga del fluido:

$$Wf = 0.433 * (1607 * 3.976 - 0.294 * 2619)$$

$$Wf = 2433 \text{ lb.}$$

15.- Carga máxima en la varilla pulida:

$$Wmáx. = 2433 + 2619 (1 + 0.19)$$

$$Wmáx. = 5550 \text{ lb.}$$

16.- Esfuerzo máximo en la parte superior de la sarta:

$$\text{Esf. máx.} = \frac{5550}{0.442} = 12556 \text{ lb/pg}^2$$

17.- Efecto ideal de contrabalanceo:

$$C_i = 0.5 \cdot 2433 + 2619 \cdot (1 - 0.0635 \cdot Y')$$

$$C_i = 3677 \text{ lbs.}$$

18.- Torsión o par requerido:

$$T_p = (5550 - 0.95 \cdot 3677) \frac{34}{2}$$

$$T_p = 34966 \text{ pg} - \text{lb.}$$

19.- La unidad de bombeo API - 40 si es adecuada para la torsión requerida.

20.- Potencia requerida por el motor de la unidad:

Potencia hidráulica:

$$H_h = 7.36 \cdot 10^{-6} * 126 * 0.95 * 1607$$

$$H_h = 1.41 \text{ Hp.}$$

Potencia por fricción:

$$H_f = 6.31 \times 10^{-7} \times 2619 \times 34 \times 20$$

$$H_f = 1.123 \text{ Hp.}$$

La potencia al freno requerida por el motor es:

$$H_b = 1.5 (1.41 + 1.123)$$

$$H_b = 3.75 \text{ Hp.}$$

21.- Diámetro de polea del motor de la unidad:

La unidad C - 40D - 89 36 tiene una relación de engranes de 29.2 y poleas de 20 pg y 24 pg. la velocidad del motor es de 1200 rpm.

$$d_e = \frac{20 \times 29.2 \times 20}{1200}$$

$$d_e = 10 \text{ pg.}$$