

01174

3

20

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
FACULTAD DE INGENIERIA

MODELO COMPUTARIZADO DE DISEÑO API EN POZOS DE BOMBEO MECANICO  
Mario Sagahon Juarez

TESIS

presentada a la division de estudios de  
posgrado de la

FACULTAD DE INGENIERIA

de la

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

como requisito para obtener

el grado de

MAESTRO EN INGENIERIA  
(PETROLERA)

TESIS CON  
FALLA Y E CRIGAN

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO DE 1989.



## **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.

## INDICE

### INTRODUCCION

#### CAPITULO I

##### SISTEMAS ARTIFICIALES DE PRODUCCION

Selección de un Sistema Artificial - 4 . Capacidad Productiva del pozo - 5 . Producción de Gas esperada - 5 . Profundidad de Bombeo - 6 . Flexibilidad - 6 . Espacio Superficial - 7 . Aceite Viscoso - 7 . Problemas Operativos - 8 .

#### CAPITULO II

##### EL SISTEMA DE PRODUCCION POR BOMBEO MECANICO

Movimiento del Sistema - 11 . Equipo Superficial - 13 . Motor Primario - 16 . Reductor de Velocidad - 17 . Contrapeso - 18 . Varillas de Succión - 20 . Diagrama de Goodman - 24 . Bomba Subsuperficial - 26 .

#### CAPITULO III

##### DISEÑO API DE UNIDADES DE BOMBEO MECANICO

Antecedentes del Método - 28 . Método API - 37 .

#### CAPITULO IV

##### MODELO COMPUTARIZADO DEL DISEÑO API DE UNIDADES DE BOMBEO MECANICO

Obtención de Parámetros Adimensionales - 46 . Programa de Cómputo - 52 . Índice de Optimización - 53 . Diseños con restricciones - 54 . Caso 1 Profundidad de Bombeo constante, Gasto variable - 59 . Caso 2 Profundidad de bombeo variable, gasto constante - 62 . Diseño sin restricciones en Torsión y Carga del Equipo superficial - 62 . Caso 3 Carrera variable, gasto constante y profundidad constante - 64 .

CAPITULO V

APLICACIONES A POZOS DEL CHICONTEPEC

Caso 4 Formación Chicontepec. Gasto constante, profundidad constante  
- 68 . Tablas de diseños (unidad superficial C-640-305-120) - 71 .

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APENDICE A

LISTADO DEL PROGRAMA DE COMPUTO

APENDICE B

METODO DE LA SECANTE

APENDICE C

FRECUENCIA NATURAL DE UNA VARILLA

## INTRODUCCION

Un sistema artificial de producción es un mecanismo que se instala en un pozo de petróleo, cuando su producción disminuye considerablemente o llega algunas veces a suspenderse. En general un sistema artificial realiza básicamente dos funciones: (1) Crear en el fondo del pozo una presión suficientemente baja, para que la formación productora aporte aceite; (2) Achicar el pozo.

La selección de un sistema artificial depende de varios factores, entre los que se pueden mencionar: capacidad productiva del pozo, producción de gas esperada, profundidad efectiva de bombeo, flexibilidad del sistema, espacio superficial disponible, viscosidad del aceite, problemas operativos, rentabilidad y servicios de apoyo.

En pozos someros y medio profundos (profundidad menor a 2500m) con gastos bajos (300 bls/día), el método de producción artificial más conveniente es el sistema de bombeo mecánico, el cual ha demostrado ser rentable en pozos con gastos de 10 bls/día (1.5 m<sup>3</sup>/d). El sistema de bombeo mecánico está compuesto básicamente por tres componentes principales: bomba subsuperficial, sarta de varillas y unidad superficial. Estos componentes están íntimamente relacionados entre sí, y deben estar correctamente diseñados, para que el sistema en conjunto opere adecuadamente.

El Instituto Americano de Petróleo (API) publicó un conjunto de prácticas recomendadas, para el diseño de instalaciones de bombeo mecánico. Estas recomendaciones de diseño se basan en 6 curvas, que dependen de variables adimensionales. El método API consiste en suponer un gasto con ciertas condiciones de operación, y por medio de las curvas obtener el gasto deseado de diseño. Este gasto debe ajustarse al gasto deseado. Por lo general debe hacerse más de un cálculo, para ajustar el gasto supuesto con el gasto deseado. Una vez ajustado el gasto, se procede a calcular los parámetros de diseño (carga máxima, carga mínima, contrabalanceo, torsión, esfuerzos en las varillas y potencia). Es decir el método API es por ensaye y error.

Si a lo anterior se le agrega, que cada cálculo preliminar va acompañado de 6 lecturas a curvas, es de esperarse que un diseño necesite de 3 a 4 veces el tiempo empleado por un método convencional de diseño, sin tomar en cuenta los errores de apreciación en las lecturas de las curvas. Esta inconveniencia del método API, lo limita y lo hace poco práctico, apesar de que dicho método es el que más se aproxima con mediciones de campo.

En esta tesis se desarrolló un programa de cómputo que efectúa el diseño de unidades de bombeo mecánico, según el método API. Dicho programa contiene información de las 6 curvas base del método, en

## Introducción

tablas de datos (de la 5 a la 10). Adicionalmente, se tiene un archivo que contiene los datos de diámetro de émbolo, porcentaje de varillas, factor de frecuencia, tipo de varilla API y peso de las varillas en el aire. Se consideraron 191 arreglos de área de émbolo-varillas, que son los recomendados por el API, en estos arreglos se contempla todos los valores de diámetro de émbolo y varillas existentes en la industria petrolera.

Los parámetros adimensionales  $Sp/S$ ,  $F1/Skr$ ,  $F2/Skr$ ,  $F3/Skr$ ,  $2T/S^2kr$  y  $Ta$ , se obtiene de las tablas discretizadas por medio de interpolaciones lineales evitando así la lectura manual de las 6 curvas base. Por otro lado se definió una función de gasto que tiene como raíz el gasto deseado de diseño, dicha raíz se obtiene utilizando el método de la secante. Este método converge rápidamente y no requiere el conocimiento previo de la derivada de la función. El gasto deseado de diseño, calculado de esta manera, resuelve el problema de emplear el método de ensaye y error. Los parámetros complementarios de diseño como son: constante elástica de varillas y tubería de producción, peso de las varillas en el fluido, potencia, etc. se obtienen con ecuaciones explícitas, no representando problemas de cálculo. El programa de cómputo realiza 191 diseños para una condición dada de operación, eliminando los arreglos de varilla-bomba que no cumplan el método API o que no alcancen el gasto deseado de diseño.

Dado que para una condición de operación pueden existir hasta 191 diseños, es necesario definir un parámetro que jerarquice los diseños desde un punto de vista técnico. Se define el índice llamado de optimización cuyo valor se incrementa cuando ocurre alguno de los eventos siguientes: incremento de gasto, disminución del esfuerzo máximo en la varilla pulida, disminución del rango de esfuerzos en la varilla pulida, disminución de la torsión y disminución de la potencia. El índice de optimización permite obtener los 10 mejores diseños de todos los posibles.

Los componentes de un sistema de bombas mecánicas tienen limitaciones físicas intrínsecas, debido a los materiales que lo componen. Una unidad superficial tiene limitaciones en torsión, carga máxima en la varilla pulida, carrera, contrabalanceo. También las varillas tienen limitaciones en esfuerzo máximo, diámetro, peso, etc. La bomba subsuperficial tiene limitaciones en área de émbolo y carrera.

Al tener en el programa de cómputo un valor negativo las variables  $TORMAX$  y  $LOADMAX$  que corresponden a torsión máxima y carga máxima en la varilla pulida respectivamente, no se eliminarán los diseños que excedan estos valores.

Se analizó el comportamiento del índice de optimización con respecto al gasto, manteniéndose constante la profundidad de bombeo y demás parámetros de diseño, encontrándose un gasto óptimo para las condiciones dadas. También se analizó el caso de profundidad variable de colocación de bomba, manteniendo el gasto constante, encontrándose que el índice de optimización aumenta conforme la profundidad de colocación de la bomba subsuperficial disminuye.

## Introducción

Utilizando un diseño sin restricciones, se obtuvo la unidad superficial mas adecuada para un pozo típico del campo Poza Rica, encontrandose también los datos de diseño en varillas, bomba subsuperficial y parámetros de la unidad superficial.

Finalmente se presenta un conjunto de tablas (de la 15 a la 62) para diseños aplicados a la unidad C-640-305-120, que resultó ser la de menor tamaño, y para pozos terminados en la formación Chicontepec. Estas tablas proporcionan los datos de los 10 mejores diseños, para gastos de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 m<sup>3</sup>/d y profundidades de 700, 900, 1100, 1400, 1600, 1800, 2000 y 2200 mts. Lo anterior representa 480 diseños, que contemplan todas las condiciones de gasto y profundidad encontradas en los pozos terminados en la formación Chicontepec.

## CAPITULO I

### SISTEMAS ARTIFICIALES DE PRODUCCION

Quando un pozo de aceite deja de producir, puede ser por dos motivos principales : (1) el intervalo productor de aceite esta agotado ; (2) la presión del yacimiento es insuficiente para levantar el aceite a la superficie. En el primer caso, el pozo puede tener presión suficiente para levantar el fluido, pero el alto porcentaje de agua producida, lo hace improductivo económicamente. En el segundo caso, que es el más frecuente, el pozo es productivo, sin embargo la presión del yacimiento es muy baja, y requiere de un sistema artificial de producción.

En general un sistema artificial de producción realiza básicamente dos funciones : (1) crear en el fondo del pozo una presión suficientemente baja, para que la formación productora aporte aceite a un gasto determinado, a ésta presión se le conoce como presión de admisión ; (2) achicar el pozo. Adicionalmente a las anteriores funciones, a un sistema artificial se le exige, suficiente presión de descarga a la batería, larga vida de duración, mínimo consumo de energía, rentabilidad, etc.

En la actualidad, es cada vez mayor el número de pozos que se convierten a algún método de producción artificial, es por eso que continuamente se prueban y desarrollan nuevos sistemas. Se han diseñado, por ejemplo, métodos específicamente para pozos productores de aceite muy viscoso. El problema de limitaciones en espacio superficial y tirantes de agua profundos, es un aspecto muy importante en pozos marinos. Un pozo puede tener diferentes métodos artificiales a lo largo de su vida productiva, por lo cual este punto debe considerarse desde antes de perforarlo.

#### SELECCION DE UN SISTEMA ARTIFICIAL.(ref. 1)

Para la selección del método artificial más adecuado, se debe tomar en cuenta varios factores como ; capacidad productiva del pozo, producción de gas esperada, profundidad efectiva de bombeo, flexibilidad del sistema, espacio superficial, viscosidad del aceite, problemas operativos, rentabilidad y servicios de apoyo. La jerarquización de todos estos factores mencionados, definirá la mejor opción del sistema artificial.

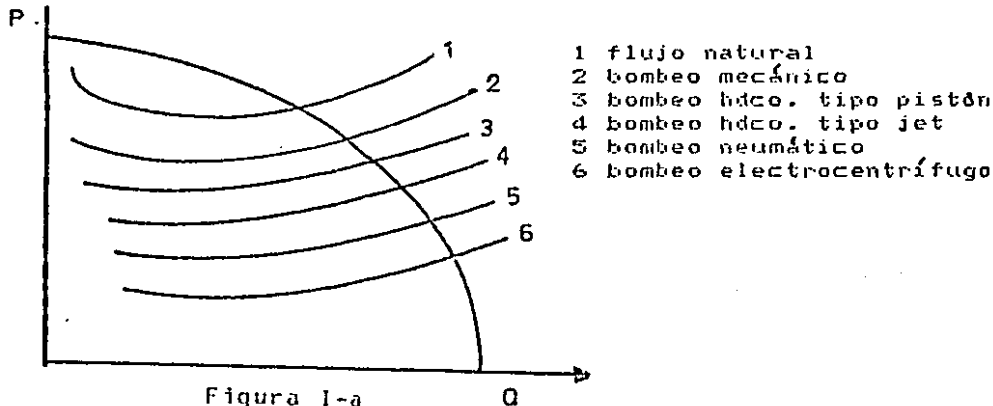
En contraparte de los factores se tienen los sistemas artificiales de producción conocidos:



- Bombeo mecánico
- Bombeo neumático (Gas Lift)
- Bombeo electrocentrífugo
- Bombeo hidráulico tipo pistón
- Bombeo hidráulico tipo jet
- Embolo viajero (pistón lift)

A continuación se describirán los factores más adecuados, junto con el análisis de cada uno de los métodos mencionados anteriormente.

CAPACIDAD PRODUCTIVA DEL POZO.- El gasto deseado es el factor más significativo, para la selección de un método artificial de producción. Es importante contar con los datos de producción necesarios, para construir la gráfica del índice de productividad (IPR) del pozo. Con esta gráfica se determina fácilmente la capacidad productiva del pozo, y puede verificarse que el gasto deseado, sea menor que el gasto máximo del pozo. Para hacer una buena comparación, entre los gastos obtenidos por los diferentes métodos de producción artificial, es necesario establecer, curvas de presión de admisión para cada método, mediante un análisis nodal. La intersección de cada una de estas curvas de presión, con la curva del IPR, mostrará el gasto para cada método en particular. En la figura I-a se muestra la forma de una curva típica.



PRODUCCION DE GAS ESPERADA.- El gas que pasa a través de un mecanismo de producción artificial, reduce considerablemente la cantidad de líquido producido, en todos los sistemas de bombeo, dejando así al bombeo neumático (gas lift), y el embolo viajero (pistón lift) como los sistemas más lógicos de usar.

En algunos sistemas se pueden presentar candados de gas, sin embargo, es una realidad que el volumen de gas aportado por el yacimiento se debe desplazar. El bombeo electrocentrífugo, pierde eficiencia cuando maneja un líquido que contenga tan solo un 10% de gas. Con altas

producciones de gas, el bombeo mecánico puede tener un candado de gas total. El bombeo hidráulico tipo pistón, no presenta candado de gas, pero debe desplazar el gas, y esto reduce la cantidad de líquido. El gas libre, también reduce la capacidad de las bombas tipo jet para manejar líquidos.

PROFUNDIDAD DE BOMBEO.- Una bomba debe colocarse a una distancia arriba del intervalo productor, tal que la presión hidrostática, ejercida por el fluido desde esa distancia ( en condiciones dinámicas ), sea igual a la presión de fondo fluyendo del pozo, a este punto se le conoce como punto efectivo de colocación. Hay muchas razones para colocar la bomba un poco abajo de este punto. Una de ellas es que la bomba, deberá estar lo suficientemente sumergida, para crear una presión bastante alta, que evite su cavitación.

La principal limitación en profundidad, para bombas electrocentrífugas, ha sido las altas temperaturas. Esta limitación se ha mejorado en algunas unidades, que actualmente operan en pozos geotérmicos (232 grados centígrados), sin embargo el motor es más pequeño y la vida del cable es mas corta, conforme la temperatura aumenta. La corrida del aparejo, debe realizarse con mucho cuidado para evitar roturas en el cable eléctrico.

En bombeo neumático, la principal desventaja es la disponibilidad de la presión de inyección del gas, para grandes profundidades, y el volumen de gas. En el bombeo intermitente, el resbalamiento del bache, puede consumir la mayor parte del bache original. Sin embargo, esto no ocurre si se utiliza junto con un pistón.

La bomba jet no es muy eficiente, cuando tiene que operar a grandes profundidades. También requiere un porcentaje mas alto de sumersión (20% por lo menos ), que otros sistemas. Sin embargo, algunas bombas colocadas a 3300m han llegado a producir hasta 300 b/d.

El método artificial más efectivo, para pozos de más de 3000m de profundidad, es el bombeo hidráulico tipo pistón. En los E.U. se han probado exitosamente, bombas colocadas a 3600m y algunas hasta 5400m , con gastos de 47-80 m<sup>3</sup>/d.

El bombeo mecánico, es el sistema mas usado en pozos someros y medio profundos, pero en profundidades mayores a 3200m, las cargas en el sistema son excesivas y lo hacen antieconómico.

El émbolo viajero no tiene limitación en profundidad, excepto el hecho de requerir suficiente presión en la IR, para desplazarlo desde el fondo hasta la superficie.

FLEXIBILIDAD.- La flexibilidad de un sistema artificial para cambiar el gasto, conforme las características del yacimiento varían, es un factor muy importante. El gasto original puede cambiar por las siguientes razones : (1) disminución de la productividad del pozo, debido a la reducción de la presión estática de fondo ; (2) incremento en la productividad del pozo, debido a algún método de recuperación secundaria ; (3) errores en los datos originales del pozo, o en correlaciones de flujo multifásico ; (4) excesiva producción de arena , conificación, etc.

El bombeo neumático ofrece un rango amplio de flexibilidad en gastos, siendo capaz de producir desde miles de barriles por día, hasta unos cuantos barriles por día. Para realizar esto, sólo se requiere de la instalación de más válvulas, para producir el gasto deseado. También

se requiere de un cambio de válvulas, cuando se necesita cambiar de bombeo continuo a intermitente.

En bombeo mecánico, la flexibilidad se limita solo a ciertas unidades, donde el cambio de carrera y velocidad de bombeo, es relativamente fácil.

Hasta hace poco las bombas electrocentrífugas eran las menos flexibles -de todos los sistemas artificiales- para cambiar el gasto, y solo podían operar a 3500 RPM en 50 ciclos, y 2915 RPM en 60 ciclos. La llegada del controlador de frecuencia, incremento la flexibilidad de estas bombas, y ahora se consideran muy flexibles, teniendo la capacidad de manejar un rango amplio de gastos.

La bomba jet es muy sensible a los cambios en gastos, y se debe diseñar con mucho cuidado, para que esté en el rango de gastos deseados. También es muy sensible a la contrapresión.

El émbolo viajero y el bombeo neumático intermitente, están limitados al número de ciclos por día. Los émbolos actualmente en servicio, viajan 3352m en 12 o 15 min. dando lo anterior un gasto máximo de 32 m3/d.

ESPACIO SUPERFICIAL.- La localización del pozo puede ser crítica para algunos sistemas artificiales. Así por ejemplo, el bombeo mecánico no se considera para pozos marinos, aunque numerosas unidades se encuentran en lugares como el lago maracaibo, en Venezuela.

El bombeo neumático, el electrocentrífugo y el hidráulico tipo pistón, son los sistemas mas aceptados en pozos marinos, donde la disponibilidad de espacio es crítica. La recuperación de las válvulas de bombeo neumático y las bombas hidráulicas, presentan ventajas importantes, teniendo el bombeo hidráulico la limitación de un gasto máximo de recuperación demasiado bajo. El uso del agua como fuerza motriz, en el bombeo hidráulico, elimina los riesgos de incendio. La bomba electrocentrífuga, no se encuentra lo suficientemente desarrollada, para efectuar operaciones de sacar el aparejo, aunque hay pozos marinos operando con este sistema. Si se solucionaran los problemas operativos, de sacar el aparejo de las bombas eléctricas, este sistema sería uno de los mejores métodos artificiales, para pozos marinos.

Al tener localizaciones de pozos en áreas urbanas, se requiere tomar en cuenta el medio ambiente, en muchas ocasiones las fuentes de energía, como compresoras para el bombeo neumático, o las facilidades en la superficie para el bombeo hidráulico, presentan un grave problema.

ACEITE VISCOSO.- La producción de aceites pesados se vuelve cada día más necesario. La mayor parte de los yacimientos con aceites pesados, se producen con el sistema de bombeo mecánico. Sin embargo el bombeo hidráulico ofrece, una manera efectiva de mezclar un aceite ligero con un aceite viscoso, reduciendo la viscosidad del aceite producido, aunque esta práctica debe tomarse con reservas.

La eficiencia de una bomba eléctrica se reduce considerablemente al manejar aceite viscoso, y por otro lado el bombeo neumático no parece ser muy atractivo, ya que el resbalamiento del fluido sería considerable.

El bombeo mecánico, sin embargo, es más utilizado que otros sistemas, para producir aceites viscosos.

**PROBLEMAS OPERATIVOS.** - Los problemas operativos como: arena, parafina, sarro, corrosión, emulsiones, temperatura y clima superficial; pueden ser críticos para muchos sistemas artificiales. La producción de arena causa problemas de erosión, en todos los sistemas de producción artificial. El bombeo neumático es el único método que no necesita, que el fluido con arena pase a través de su mecanismo (válvulas). La arena acumulada en la parte superior de una bomba, puede ocasionar problemas en la recuperación del mecanismo. La acumulación de parafina en la parte superior de la TP, árbol de válvulas o líneas de descarga, causará una contrapresión que reducirá la eficiencia, de cualquier mecanismo de producción artificial. El bombeo mecánico tiene una gran ventaja sobre otros métodos, cuando se presentan problemas de parafina, ya que las varillas efectúan un trabajo de raspado en el interior de la TP. En una bomba hidráulica, se puede circular un fluido con inhibidor a alta temperatura, para remover la parafina. El émbolo viajero automáticamente limpia el interior de la TP.

El sarro adherido a la TP, también reducirá el diámetro interior y además, reducirá la eficiencia. El bombeo neumático agrava la depositación de sarro. Prevenir el sarro con aditivos químicos, prolonga la vida del bombeo y mantiene una TP limpia.

La corrosión en un pozo, es causada por la electrolisis entre los diferentes tipos de metal con: ácido sulfhídrico, bióxido de carbono, agua salada; o la oxigenación de los metales. El ácido sulfhídrico es un gran problema, debido a que su acción acaba rápidamente con las varillas de succión, haciendo quebradizo el acero, y si las varillas están sometidas a grandes esfuerzos fallarán.

Es difícil anticiparse a los problemas de emulsiones, cuando se selecciona un sistema artificial. Las emulsiones ocasionan grandes pérdidas de presión en la TP.

Los pozos con temperaturas altas en el fondo, reducirán la vida operativa de algunos sistemas artificiales. El motor eléctrico y el cable conductor de corriente, presentan graves problemas con temperaturas altas. Cuando trabajan con temperaturas mayores a los 165 grados centígrados, se requieren sellos especiales en todo el equipo incluyendo empacador, tubería, cabezal, etc.

Un clima extremo puede influenciar la selección de un sistema artificial. Climas muy calientes, ocasionan sobrecalentamiento en el equipo superficial, requiriendo de sistemas especiales de enfriamiento. Por el contrario, los climas fríos causan congelamiento de combustible, y fragilización en las conexiones eléctricas; por lo que se hacen necesarios, sistemas de calefacción y aislantes especiales. El viento y el polvo también pueden ocasionar problemas de operación.

El personal técnico capacitado, es necesario en la operación de cualquier sistema artificial. El bombeo mecánico ofrece menos problemas operativos que cualquier otro tipo de sistema. En cambio los sistemas hidráulico, eléctrico y émbolo viajero, requieren de personal altamente capacitado. Otro aspecto importante, es el suministro de material y los equipos de apoyo. Si un sistema de producción artificial, no puede ser reparado con rapidez, entonces se debe seleccionar otro.

Los factores económicos más importantes, para seleccionar un sistema artificial son: inversión inicial, costos de operación, mantenimiento, vida útil del equipo, número de pozos operando con el sistema y vida productiva del pozo.

Finalmente se puede concluir que el sistema artificial de producción más idóneo, es aquel que requiere menor costo la extracción de un barril de aceite.

## CAPITULO II

### EL SISTEMA DE PRODUCCION POR BOMBEO MECANICO

El sistema de bombeo mecánico, también llamado de bombeo con varillas de succión, es utilizado en la gran mayoría de los pozos que producen por métodos artificiales en los E.L., representando un porcentaje del 65% del total. Es importante señalar que la mayoría de los pozos, incluidos en este porcentaje, son de muy baja producción (menos de 2 m<sup>3</sup>/D), probando el sistema de bombeo mecánico ser económico y rentable. En vista de esta gran aplicación, es necesario tener un conocimiento profundo, del proceso que se desarrolla en el sistema de bombeo, en contraste a esto, se tiene una comprensión mas bien superficial. Esto es debido a que el comportamiento del sistema en conjunto, es extremadamente complejo, a pesar de que el movimiento mecánico es simple. Esta complejidad del sistema, ha llevado al ingeniero petrolero a emplear fórmulas empíricas y semiempíricas, para diseñar y operar instalaciones de bombeo mecánico, teniendo que ajustar finalmente los datos con la experiencia de campo, para completar el diseño. La profundidad de bombeo, es una limitación económica del sistema de bombeo mecánico.

En términos generales, una instalación de bombeo mecánico esta compuesta por 3 partes principales : elequipo superficial, la sarta de varillas y la bomba subsuperficial. El buen funcionamiento de cada una de estas componentes, estan íntimamente relacionadas, y cualquier cálculo o diseño de una instalación, debe tomar en cuenta a todo el conjunto como una sola unidad.

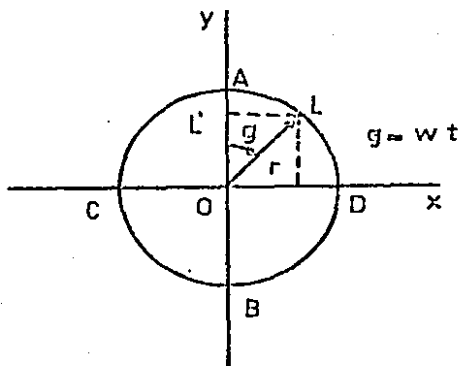


Figura 11-a

MOVIMIENTO DEL SISTEMA. (ref. 2)

El movimiento inicial en el sistema de bombeo mecánico, se genera en la manivela del reductor de velocidades, en la unidad superficial, y es del tipo rotatorio, que a su vez se transforma en movimiento lineal oscilatorio, por medio del brazo pitman y del balancín.

Además de reducir la velocidad, la unidad superficial, tiene como función principal transformar el movimiento rotatorio en lineal; la forma más simple de efectuar este proceso, es proyectar la imagen L' de un punto L, que gira alrededor de una circunferencia, sobre el eje vertical, así al girar el punto L (movimiento rotatorio), su imagen L' tendrá un movimiento lineal oscilatorio (Fig. II-a). Suponiendo que el punto L, se mueve a lo largo de una circunferencia de radio r, con velocidad angular constante  $\omega$  (por tanto el ángulo  $\theta = \omega t$ ), y sea L' la proyección del punto L. El punto L' se moverá periódicamente entre los puntos A y B, con un movimiento armónico simple, descrito por la siguiente ecuación:

$$L' = r \cos(\omega t) \quad \dots\dots(II-1)$$

Con la primera y segunda derivada de la ecuación II-1 se obtiene la velocidad (v') y aceleración (a') respectivamente, del punto L':

$$v' = r \omega \sin(\omega t) \quad \dots\dots(II-2)$$

$$a' = r \omega^2 \cos(\omega t) \quad \dots\dots(II-3)$$

En la Tabla 1, se puede observar el comportamiento del movimiento armónico simple del punto L', en los 4 puntos de interés:

Tabla 1

Angulo $\theta$ , grados.	Vel. del punto L'	acel. del punto L'
0	0	$r\omega^2$
90	$r\omega$	0
180	0	$-r\omega^2$
270	$-r\omega$	0

De la tabla 1, se concluye que la máxima aceleración se obtiene, en los puntos A y B, fig. II-a. Este resultado indica, que si el movimiento armónico simple, se recibe íntegro en la varilla pulida, se tendrá en esta última, una aceleración máxima en el inicio de las carreras ascendente y descendente.

En las unidades superficiales, el movimiento de la manivela se transmite por medio del brazo pitman al balancín, esta manera de

transmisión, provoca notables cambios al movimiento recibido en la varilla pulida, para explicar mejor estos cambios, considerese la Fig.II-b.

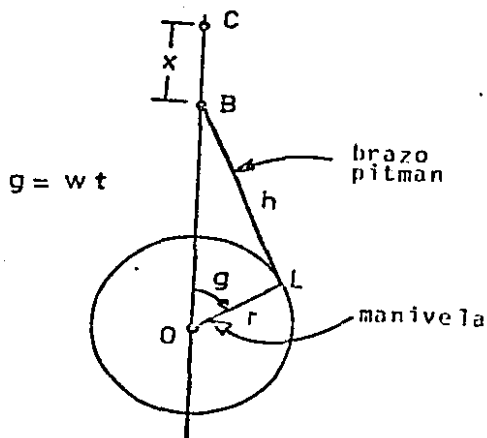


Fig. II-b

Suponiendo que el centro de la manivela ( punto O ), se encuentra localizado verticalmente abajo del punto de conexión del brazo pitman y la viga balancín ( punto B ), y además este punto se mueve a lo largo de una línea vertical, y no en un arco de circunferencia, que es el caso real. Aplicando la ley de los cosenos, al triángulo formado por los puntos OLB, se obtiene la siguiente ecuación :

$$h^2 = r^2 + (OB)^2 - 2 r (OB) \cos(wt) \dots (II-4)$$

Si  $x$  denota la distancia entre los puntos C y B, donde C es el punto superior e igual a  $r+h$ , y el tiempo se mide desde el instante en que la manivela y el brazo pitman, se encuentran en posición vertical y con la manivela verticalmente hacia arriba, la ecuación II-4 se transforma en:

$$h^2 = r^2 + ( h + r - x )^2 - 2r(h+r-x)\cos(wt) \dots(II-4)$$

despejando  $x$  en función del tiempo  $t$  se tiene:

$$x = h + r(1-\cos(wt)) - \sqrt{r^2 \cos^2 (wt) + (h^2 - r^2)} \dots(II-5)$$



Al derivar esta ecuación para obtener la velocidad y aceleración del punto B, se observa que los valores máximos y mínimos de estas variables, se comportan diferentes al movimiento armónico simple, en la tabla 2 se muestran dichos valores:

Tabla 2

Angulo $\theta$ , grados.	Vel. del punto B	Acel. del punto B
0	0	$rw^2(1 + r/h)$
90	$rw$	0
180	0	$rw^2(1 - r/h)$
270	$rw$	0

La diferencia con el movimiento armónico simple es el factor  $(1 \pm r/h)$ , en la aceleración del punto B con respecto al punto L'.

EQUIPO SUPERFICIAL.

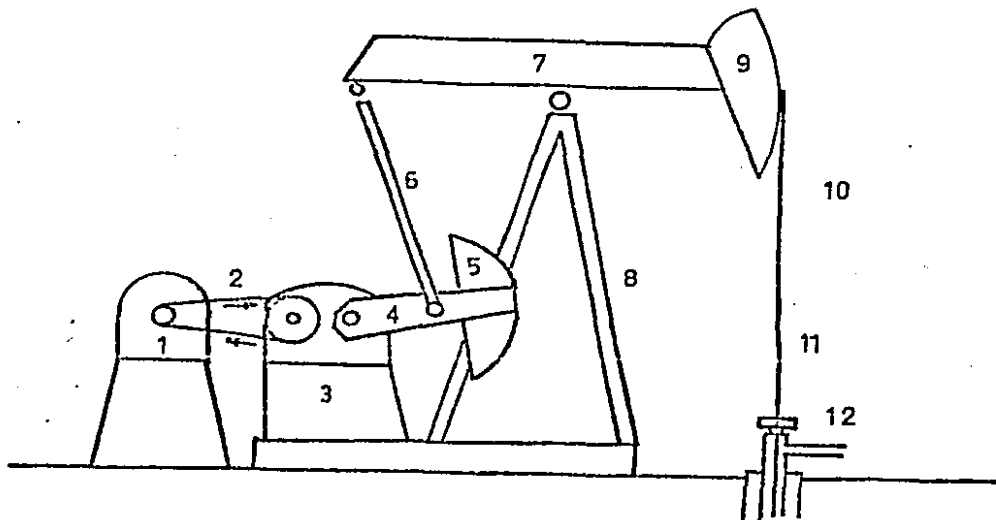


Fig. II-c

En la figura II-c, se muestra un arreglo típico de unidades superficiales con los principales componentes, los cuales se listan a continuación:

1. Motor primario
2. Banda "V"
3. reductor de velocidad
4. manivela
5. contrapeso
6. brazo pitman
7. viga-balancín
8. Poste maestro
9. cabeza de caballo
10. cable colgador
11. varilla pulida
12. estopero

Como se puede observar en la figura II-c, el movimiento rotatorio del motor primario se transmite hasta la manivela, por medio de la banda "V" y del reductor de velocidades, siendo convertido desde ese punto en movimiento oscilatorio lineal, por medio del brazo pitman y la viga-balancín. La cabeza de caballo y el cable colgador, aseguran el movimiento vertical de la sarta de varillas. La combinación varilla pulida y estopero, se usa para mantener un buen sello en la superficie.

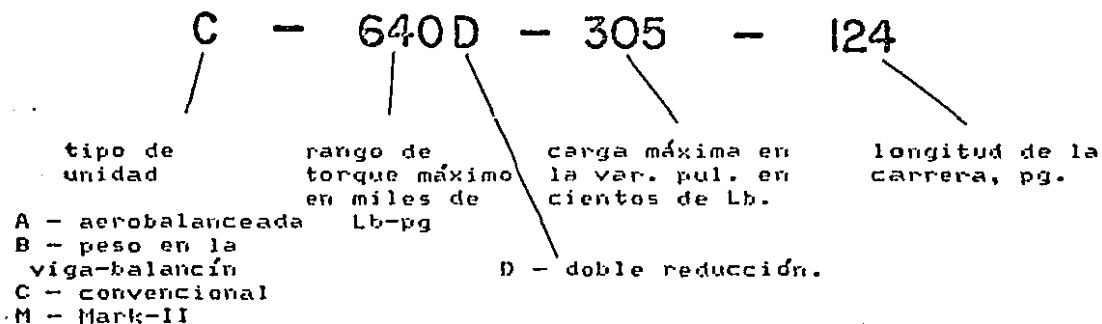


Fig. II-d

El Instituto Americano del Petróleo (API), estandarizó la nominación de las unidades superficiales, la tabla 3 (ref. 3) muestra esta clasificación, reproducida del API-Std-11E. De esta tabla, se basa el código del fabricante, por ejemplo, en una unidad convencional con código C-640D-305-124, la letra C se refiere a una unidad convencional. Los tres dígitos siguientes, 640, se refieren al máximo torque, según API, del reductor de velocidades en miles de Lb-pg; en este caso el torque máximo es 640,000 Lb-pg. La letra D, significa que el reductor de velocidad, es del tipo de doble reducción. Los siguientes 3 dígitos, 305, se refieren a la máxima capacidad de la estructura (carga máxima en la varilla pulida) en cientos de libras, en este caso es de 30,500 lb. Los últimos tres dígitos, 124, se refieren a la carrera máxima disponible en pulgadas de la unidad superficial. En la fig. II-d se explica con detalle el significado del código del fabricante.

TABLA 3 (ref. 3)

codigo	Torsion lb-pg	Carga Lb	Carrera pg	codigo	Torsion Lb-pg	Carga Lb	Carrera pg
6.4- 32- 16	6,400	3,200	16	320-213-06	320,000	21,300	86
6.4- 21- 24	6,400	2,100	24	320-256-100	320,000	25,600	100
10- 32- 24	10,000	3,200	24	320-305-100	320,000	30,500	100
10- 40- 20	10,000	4,000	20	320-213-120	320,000	21,300	120
16- 27- 30	16,000	2,700	30	320-256-120	320,000	25,600	120
16- 53- 30	16,000	5,300	30	320-256-144	320,000	25,600	144
25- 53- 30	25,000	5,300	30	456-256-120	456,000	25,600	120
25- 56- 36	25,000	5,600	36	456-305-120	456,000	30,500	120
25- 67- 36	25,000	6,700	36	456-365-120	456,000	36,500	120
40- 69- 36	40,000	8,900	36	456-256-144	456,000	25,600	144
40- 76- 42	40,000	7,600	42	456-305-144	456,000	30,500	144
40- 89- 42	40,000	8,900	42	456-365-160	456,000	36,500	160
48- 76- 48	48,000	7,600	48	640-305-120	640,000	30,500	120
57- 76- 42	57,000	7,600	42	640-256-144	640,000	25,600	144
57- 89- 42	57,000	8,900	42	640-305-144	640,000	30,500	144
57- 95- 48	57,000	9,500	48	640-365-144	640,000	36,500	144
57-107- 48	57,000	10,700	48	640-305-160	640,000	30,500	160
57- 76- 54	57,000	7,600	54	640-365-192	640,000	36,500	192
80-109- 48	80,000	10,900	48	912-427-144	912,000	42,700	144
80-133- 48	80,000	13,300	48	912-365-160	912,000	36,500	160
80-119- 54	80,000	11,900	54	912-365-160	912,000	36,500	160
80-133- 54	80,000	13,300	54	912-365-192	912,000	36,500	192
80-119- 64	80,000	11,900	64	912-427-192	912,000	42,700	192
114-133- 54	114,000	13,300	54	912-470-240	912,000	47,000	240
114-143- 64	114,000	14,300	64	912-427-216	912,000	42,700	216
114-173- 64	114,000	17,300	64	1200-427-160	1,200,000	42,700	160
114-143- 74	114,000	14,300	74	1200-427-192	1,200,000	42,700	192
114-119- 86	114,000	11,900	86	1200-427-216	1,200,000	42,700	216
160-173- 64	160,000	17,300	64	1200-470-240	1,200,000	47,000	240
160-143- 74	160,000	14,300	74	1200-470-300	1,200,000	47,000	300
160-173- 74	160,000	17,300	74	1824-427-192	1,824,000	42,700	192
160-203- 74	160,000	20,000	74	1824-427-216	1,824,000	42,700	216
160-173- 86	160,000	17,300	86	1824-470-240	1,824,000	47,000	240
220-173- 74	220,000	17,300	74	1824-470-300	1,824,000	47,000	300
220-200- 74	220,000	20,000	74	2560-470-240	2,560,000	47,000	240
220-213- 86	220,000	21,300	86	2560-470-300	2,560,000	47,000	300
220-246- 86	220,000	24,600	86	3640-470-240	3,640,000	47,000	240
220-173-100	220,000	17,300	100	3640-470-300	3,640,000	47,000	300
220-213-120	220,000	21,300	120				

#### MOTOR PRIMARIO.(ref. 4)

El motor primario suministra la energía a todo el sistema de bombeo mecánico, por esto la selección del tipo y tamaño de motor, es una decisión muy importante en el diseño de una instalación.

Es interesante señalar que el único trabajo útil realizado por el motor primario, es levantar el peso del aceite producido desde el nivel de trabajo hasta la superficie. Esta tarea requiere solo de una pequeña cantidad, de la energía necesaria para la operación de la instalación. El resto de la energía, se usa para vencer la resistencia interna de todo el sistema, desde el motor primario hasta la bomba subsuperficial.

Dos tipos básicos de motores primarios son utilizados en la actualidad, motores eléctricos y motores de combustión interna. La selección de cualquiera de los dos tipos, se fundamenta en varios factores. Uno de los más importantes, es la disponibilidad de la fuente de energía, pero también se tienen otros factores como: costo inicial y de mantenimiento, eficiencia, disponibilidad de personal capacitado, etc. Los motores de combustión interna, han sido desplazados gradualmente por motores eléctricos, debido a las mayores ventajas de estos últimos, sin embargo los motores de combustión interna tienen las ventajas siguientes: uso en áreas alejadas, fácil control de su velocidad, opera en variadas condiciones de carga, costo de combustible bajo.

Un motor eléctrico es una máquina que convierte, con alto grado de eficiencia, energía eléctrica en trabajo mecánico útil. Las características velocidad-torque de un motor eléctrico, determina su habilidad para responder, a las necesidades específicas de una particular aplicación. El motor de inducción tipo Jaula de ardilla, alimentado con corriente alterna, posee las características que lo hacen el candidato idóneo, para mover la instalación de bombeo mecánico. De los diferentes tipos de motores de inducción, tipo jaula de ardilla, disponibles en el mercado para mover instalaciones de bombeo, solo se utilizan los siguientes:

- (1) normal torque, normal corriente inicial;
- (2) alto torque, baja corriente inicial;
- (3) alto desplazamiento;
- (4) medio desplazamiento.

Los motores de ALTO TORQUE, ALTO DESPLAZAMIENTO y BAJO DESPLAZAMIENTO se caracterizan por tener altos torques iniciales, aunque entre ellos difieran en eficiencia, corriente inicial y otras características. El término desplazamiento (Slip), se refiere al decremento en velocidad del motor, desde la velocidad sin cargar a la velocidad del motor con toda la carga, expresada en porcentaje (%). Si la carga a que se somete un motor eléctrico, se encuentra entre su carga media y la

carga completa, la eficiencia del motor varía muy poco, pero si la carga se encuentra abajo del 50% de la carga total, la eficiencia disminuye considerablemente. Las principales ventajas de un motor eléctrico son: bajo costo inicial y de mantenimiento, fácilmente controlables con sistemas de automatización, resistentes a la intemperie, etc.

### REDUCTOR DE VELOCIDAD.

El motor primario proporciona energía en forma de alta velocidad y bajo torque, siendo necesario transformarla en energía con baja velocidad y alto torque, para que pueda aprovecharse en el bombeo con varillas de succión. El reductor de velocidad tiene como principal función realizar este proceso. La transmisión de energía y reducción de velocidad, debe llevarse a cabo suavemente, sin impartir golpes o vibraciones a la instalación. Los choques y vibraciones podrían perjudicar no solo la instalación superficial, si no también alterar las condiciones a que se somete la sarta de varillas, imponiéndoles esfuerzos mayores a los físicamente permisibles.

Cuando los motores primarios eran motores de vapor y máquinas de gas a bajas velocidades, y cuando la velocidad de bombeo era de 20 a 30 emboladas por minuto, el problema de transmisión y reducción de velocidad fue relativamente simple. Reducciones sencillas de bandas y cadenas, junto con adecuados radios de poleas y sprockets, dieron buenas soluciones. La llegada de motores primarios de alta velocidad y de velocidades de bombeo bajas, obligó a utilizar contra-flechas que permitieron una doble reducción de la velocidad, con bandas y cadenas. Estos reductores de velocidad, sin embargo, conservan las desventajas inherentes de una banda o cadena al descubierto. En el caso de bandas y poleas, había el problema de mantener la tensión adecuada, para evitar el deslizamiento o sobre-apriete de la misma. También había una baja eficiencia en la transmisión. En el caso de cadenas y sprockets, el problema era mantener una buena lubricación. La introducción de engranes helicoidales, llevo al desarrollo de los modernos reductores de velocidad, que proporcionan un rango amplio de cocientes de velocidad, y la facilidad de cambiar estos cocientes con el simple cambio de una polea, dando además una alta eficiencia a la transmisión. El reductor de velocidad esta compuesto por:

- (1) las flechas de alta y baja velocidad. La flecha de baja velocidad, esta conectada por medio de la manivela a la carga del pozo, y esta sometida a torsión e inclinación. La flecha de alta velocidad, esta sujeta a torsión e inclinación si el reductor, se conecta al motor primario por medio de la banda "V".
- (2) los cojinetes que estan sujetos a presión.
- (3) los engranes que estan sometidos a tension y desgaste.

- (4) El cárter que debe resistir presión. Un mal diseño del cárter, puede llevar a una pérdida de alineación de los engranes.
- (5) el sistema de lubricación.
- (6) El sistema de sello, que tiene la función de evitar fugas del lubricante, y eliminar la introducción de suciedad y otras materias extrañas al cárter.

La relación que obtiene el diámetro de la polea en el motor, para un tamaño dado de polea en el reductor de engranes, estando conectadas entre sí las dos poleas por una banda "V", esta expresada por:

$$d_m = R \cdot N \cdot d_u / N_m$$

donde:  $d_m$  = diámetro polea del motor, pg.  
 $R$  = Relación de engranes en la caja de velocidades  
 $N$  = velocidad de bombeo, E.P.M.  
 $d_u$  = diámetro polea en el reductor de engranes, pg.  
 $N_m$  = velocidad del motor, r.p.m.

CONTRA-PESOS.

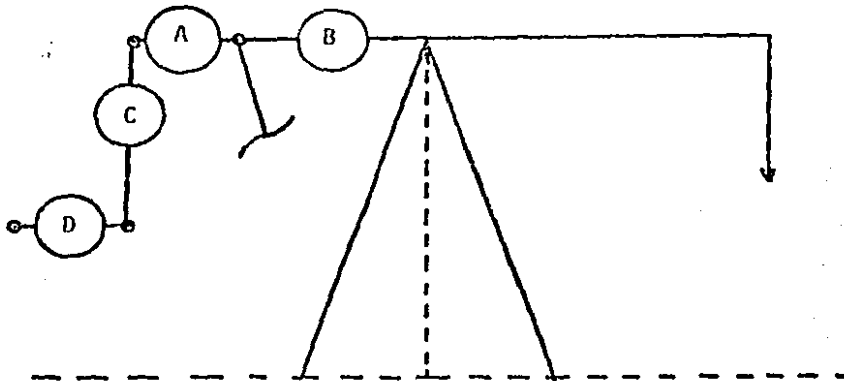


Fig. II-e

Prácticamente todo el trabajo de levantar el fluido, realizado por la bomba, se lleva a cabo durante la carrera ascendente del ciclo de bombeo. Durante esta fase del ciclo, toda la carga compuesta por el

peso del fluido y las varillas de succión, debe ser acelerada hacia arriba, desde la velocidad cero y ser levantada una distancia igual a la longitud de la carrera de la bomba. En contraste a esto, en la carrera descendente, la carga del fluido es transferida a la tubería de producción, el peso de las varillas de succión resulta negativa, y la caída de las varillas actúa como una fuerza de empuje. Si no fuera proporcionado algún medio para equilibrar esta diferencia de cargas, se tendrían condiciones de gran perjuicio a la instalación superficial.

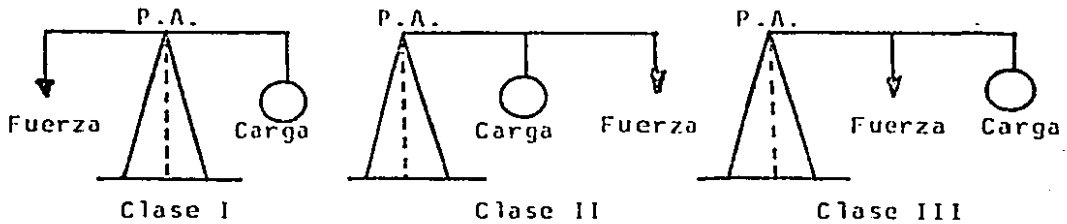
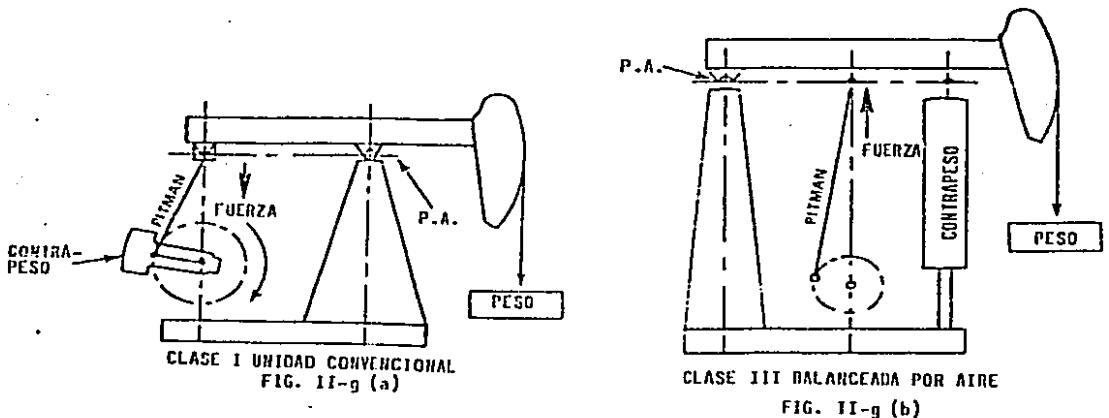


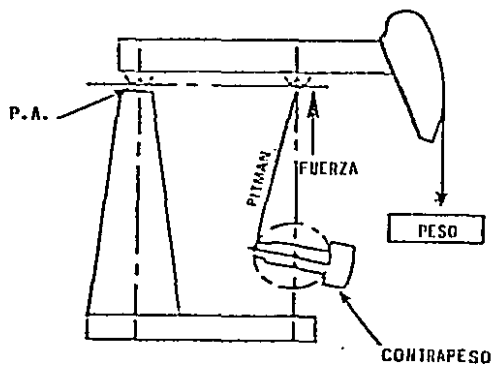
Fig. II-f

Desde el punto de vista del motor primario, se tendrá una demanda innecesariamente alta de energía en la carrera ascendente, mientras que en la carrera descendente no se necesitará energía. Esto causará que el motor primario modere su marcha en la carrera ascendente, y en la carrera descendente aumente su velocidad considerablemente. Desde el punto de vista de la transmisión, se tendrá un torque innecesariamente alto en la carrera ascendente. Los contrapesos, tienen como función distribuir uniformemente las cargas, torques y potencia, en las carreras ascendentes y descendentes.



Los contrapesos almacenan energía durante la carrera descendente, cuando la potencia requerida es baja, y descargan esta energía en la carrera ascendente, realizando parte del trabajo de levantar el peso del fluido y las varillas de succión. Un contrapeso adecuado en la instalación superficial, es probablemente el mecanismo más sencillo que se tiene, para operar convenientemente todo el sistema de bombeo. La manera más rápida de determinar, si una unidad está correctamente balanceada, es graficar la corriente que consume el motor eléctrico contra la posición de la varilla pulida. Los máximos de la corriente en la carrera ascendente y descendente deben ser iguales.

En la figura II-e, se muestra un diagrama de las posiciones más comunes de colocar los contrapesos en una instalación.



CLASE III MARK-II  
FIG. II-g (c)

Las letras A y B, representan posiciones de contrapesos en la viga-balancín, este tipo de instalación es de muy poco uso. Los contrapesos en las posiciones C y D, se llaman de tipo guía y saltamontes respectivamente.

La instalación superficial es un sistema de palancas, que esta caracterizado por tres componentes principales que son: un punto de apoyo (P.A.), carga y fuerza. En la figura II-f, se muestran las geometrías que pueden tener el sistema de palancas, las

cuales se denominan por clase I, II y III. En una instalación de bombeo mecánico, la geometría clase II, tendrá el gran inconveniente de una carrera demasiado pequeña, por lo que no se utiliza. Las geometrías clase I y III, se utilizan en el diseño de unidades superficiales, teniéndose en clase I la unidad convencional, y en clase III las unidades balanceadas por aire y mark II (fig. II-g).

#### VARILLAS DE SUCCION. (ref. 4)

Las varillas de succión, transmiten la energía desde la instalación superficial a la bomba subsuperficial. Antes de analizar las propiedades de las varillas, cabe mencionar que el material del que estan hechas es principalmente acero en un 90%. Como el acero en su estado puro es blando y débil, se mezclan otros componentes al acero empleado en la fabricación de las varillas de succión, para mejorar su fuerza, dureza y resistencia a la corrosión. Entre estas aleaciones se puede mencionar especialmente el carbón, manganeso o silicón, níquel, molibdeno y cobre. Las varillas de succión están sometidas en su movimiento cíclico, a golpes, vibraciones, esfuerzos, corrosión y fatiga. Las vibraciones afectan considerablemente a las varillas, por eso es conveniente tener un buen conocimiento de este fenómeno.



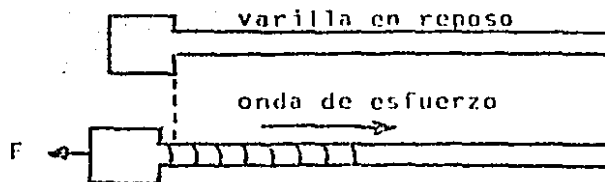


Fig. II-h

Cualquier material tiene una frecuencia natural de vibración, cuando se somete a una deformación por una fuerza exterior. Si se aplica una fuerza en un extremo fijo de una varilla, estando el otro extremo de la misma libre, una perturbación ondulatoria transmitirá la fuerza  $F$ , (Fig. II-h) y viajará a través de la varilla, con una rapidez igual a la velocidad del sonido en el material de la varilla, en forma de una onda longitudinal. En el extremo libre, la fuerza será reflejada y regresada al extremo fijo de la varilla, para ser reflejada nuevamente. Estableciéndose de esta manera, la vibración natural de la varilla. Debido a los efectos de fricción, la intensidad de la vibración disminuirá gradualmente hasta desaparecer. Si se aplica otro impulso a la varilla cuando esta vibrando todavía, la segunda perturbación podrá ayudar o interferir con la primera perturbación ondulatoria, aumentando o disminuyendo respectivamente, la intensidad de la fuerza. En el primer caso la vibración se denomina sincrónica, y en el segundo asincrónica. Dependiendo del ángulo de fase y la amplitud de la vibración, hay un número infinito de combinaciones, con las cuales las dos vibraciones pueden afectarse entre sí. Considerando los dos casos extremos: (1) Si a un sistema que vibra con cierta frecuencia y amplitud, se le adiciona otra vibración de la misma frecuencia y amplitud, exactamente en fase con la primera la vibración resultante tendrá una amplitud doble y frecuencia igual a la primera vibración; (2) Si a un sistema que vibra con cierta frecuencia y amplitud, se le adiciona otra vibración, de la misma frecuencia y amplitud, defasada 180 grados con respecto a la primera, entonces las dos vibraciones se cancelan entre sí. En el caso de las varillas de succión, se tienen presentes dos vibraciones:

- 1) La vibración debida al movimiento cíclico de las varillas de succión;
- 2) La vibración natural de la sarta de varillas.

En el sistema de bombeo mecánico, se debe buscar tener las condiciones asincrónicas, para evitar sobre-esfuerzos en las varillas de succión. Una varilla fija en un extremo y libre en el otro, tiene una frecuencia natural de vibración dada por la expresión

$$f_n = (2n + 1) a/4L \quad \dots\dots(II-6)$$

Donde:

- f = frecuencia de vibración.
- a = velocidad del sonido en el acero.
- L = longitud de la varilla.
- n = n-simo modo de vibración.

Cuando  $n = 0$ , se obtiene la frecuencia fundamental de vibración en la varilla. En el apéndice C, se presenta el procedimiento que lleva a obtener la ec. II-6.

Suponiendo que la velocidad de transmisión de un esfuerzo, en el acero es 4,816 m/seg, la expresión de la frecuencia natural (f) de vibración de las varillas de succión es:

$$f = 72,238/L \quad \dots\dots\dots(\text{II-7})$$

donde L, es la longitud de las varillas, en metros. Para una sarta de varillas de 1200m de largo, la frecuencia natural de vibración será  $72,238/1200 = 60.2$  emboladas por minuto (EPM). Si la frecuencia de bombeo es igual a la frecuencia natural, es decir igual a 60.2 E.P.M., se tendrán condiciones de vibración sincrónica.

Si los impulsos se adicionan a intervalos que sean iguales a la frecuencia natural de vibración, o a un múltiplo de esta, también se tendrán condiciones de vibración sincrónica. Las vibraciones que se adicionan con la misma frecuencia natural, se llaman vibraciones de primer orden. Estas son las mas graves, puesto que cada onda es aumentada por otra nueva. Las vibraciones que se adicionan con frecuencia igual a la mitad de la frecuencia natural, se les llama vibraciones de segundo orden. Las que son aumentadas con un tercio de la frecuencia natural, se les llama de tercer orden, etc. En el ejemplo anterior, las frecuencias con valores 30.1, 15.05, 7.52, etc. Emboladas por minuto, serán sincrónicas para una sarta de varillas de 1200m de largo, y las vibraciones serán de segundo, tercero, cuarto, etc. orden, respectivamente. Mientras que los puntos medios de las frecuencias sincrónicas, tienen los valores 45.15, 22.57, 11.30, 5.6, etc. y corresponden a las frecuencias asincrónicas de la sarta.

Las varillas de succión en pozos petroleros, trabajan bajo condiciones de esfuerzo cíclicos, ya que en la carrera ascendente cargan el fluido y en la carrera descendente caen libremente, por consiguiente tienen un esfuerzo máximo y un esfuerzo mínimo, denominandose rango a la diferencia de estos esfuerzos. El esfuerzo de una varilla, se define como la fuerza aplicada longitudinalmente, dividida entre su área transversal. En general, se ha encontrado que el máximo esfuerzo aplicado a las varillas de succión, debe ser menor a 30,000 Lb/pg<sup>2</sup>, este es el valor aproximado del límite de resistencia del acero. Sin embargo, como se tienen esfuerzos cíclicos, debe tomarse en cuenta el rango de esfuerzos (por medio del diagrama de Goodman), para el

diseño de las sargas. Un desprendimiento de varillas en un pozo petrolero, obliga a intervenir el mismo, para repararlo y regresarlo a producción, involucrando en este proceso, pérdida de producción y gastos de intervención. Es responsabilidad del ingeniero petrolero evitar al máximo estas fallas, mediante un adecuado diseño de sargas.

Suponiendo que una varilla se somete a repetidas aplicaciones de esfuerzo, sin exceder su límite permisible. En estas condiciones una posible falla de la varilla, puede ser debido al daño progresivo del material mejor conocido como fatiga. Las propiedades del material, que indican su resistencia a fallar en condiciones normales de carga, no son una medida satisfactoria de su resistencia a la fatiga, ya que el material bajo condiciones de carga repetitiva, puede fallar al aplicarle un esfuerzo mucho menor al esfuerzo máximo permisible. La propiedad de un material para resistir la falla por fatiga, se conoce como límite de resistencia, y se define como el esfuerzo máximo que puede aplicarse indefinidamente a un material, en condiciones de esfuerzos repetitivos, sin provocar falla.

El límite de resistencia de un material se determina en una máquina de prueba sometiendo dicho material a cargas repetitivas, de máxima tensión a máxima compresión. Las muestras se prueban disminuyendo gradualmente sus esfuerzos, hasta que se encuentra un esfuerzo bajo el cual la muestra soporta un número determinado de ciclos sin fallar. En el caso del acero, se ha encontrado que un esfuerzo que permite 10,000,000 de ciclos sin fallar, puede considerarse con gran seguridad como el límite de resistencia, y tiene un valor de 42,000 Lb/pg<sup>2</sup>. En otras palabras, este esfuerzo o cualquier menor que este, puede ser aplicado en 10 millones o un número indefinido de ciclos sin causar rotura. Las varillas de succión están garantizadas, por los fabricantes, a usarse en 10 millones de emboladas sin presentar fallas por fatiga. Cabe hacer notar, que en una instalación típica de bombeo mecánico se tiene una velocidad de 15 emboladas por minuto, y 10 millones de emboladas se completan en 15 meses aproximadamente.

Un factor adicional que afecta el servicio de una sarga de varillas, es el medio ambiente que lo rodea. Las varillas frecuentemente trabajan, en el interior de fluidos altamente corrosivos, como el agua salada y el ácido sulfhídrico. Los límites de resistencia y otras propiedades del acero en el aire, no pueden usarse en el diseño de las varillas de succión que trabajan en estos medios corrosivos. Es importante señalar que el tiempo de exposición de una varilla (bajo esfuerzo), a un medio corrosivo es de mucha importancia. Si en ciertas condiciones, las varillas pueden soportar 10 millones de emboladas sin fallar, el mismo esfuerzo provocara una falla en un número menor de emboladas, si el tiempo de exposición a un medio corrosivo es prolongado.

Se debe tomar en cuenta que, el máximo esfuerzo, el rango de esfuerzos y la velocidad de bombeo, a que pueda mantenerse una sarga sin que se presenten fallas frecuentes, limita (por razones económicas) la profundidad de bombeo y la capacidad del sistema.

Las varillas de succión únicamente se fabrican con diámetros fijos. Las disponibles en la industria petrolera son: 1/2", 5/8", 3/4", 7/8", 1", 1-1/8" y 1-1/4".

DIAGRAMA DE GOODMAN. (ref. 5)

El esfuerzo máximo a que debe someterse una varilla de un grado de acero determinado, esta definido por el diagrama de Goodman (modificado por API), y se conoce como esfuerzo máximo permisible. Básicamente este diagrama establece que cuando el esfuerzo máximo de la varilla, se incrementa, el rango de esfuerzos permisible debe disminuir. Asi también, el esfuerzo máximo no debe ser mayor que el esfuerzo máximo permisible.

$T/1.75$

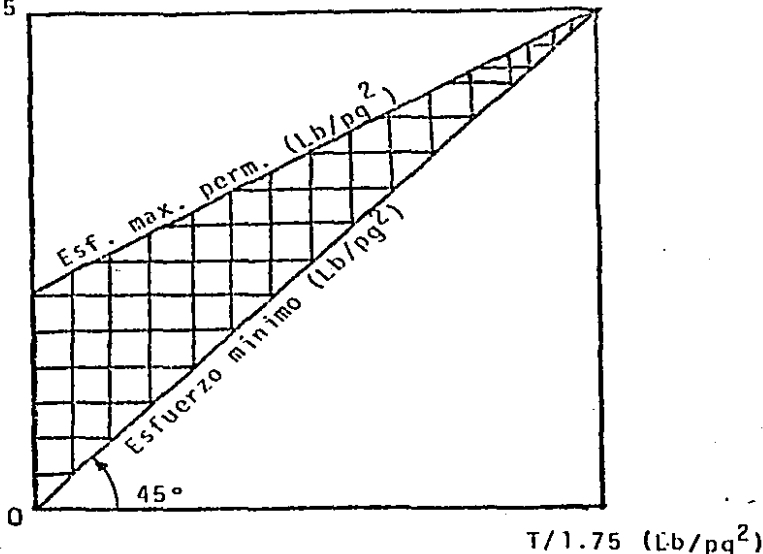


Fig. II-i

En la figura II-i, se muestra un diagrama de Goodman modificado por API, para varillas con un valor de  $T$  (  $Lb/pg^2$  ) en mínima resistencia a la tensión. En la tabla 3-a, se muestran los valores de  $T$ , para los diferentes grados de acero empleados en las varillas de succión.

Grado del acero	TABLA 3-a T resistencia a la tensión Lb/pg <sup>2</sup>	T/1.75 máximo esfuerzo permisible Lb/pg <sup>2</sup>
C	90,000	51,428
D	115,000	65,714
ELECTRA	130,000	74,285

Como puede observarse en la fig. II-i, cuando el esfuerzo mínimo es muy cercano al valor  $T/1.75$ , el esfuerzo máximo permisible es muy cercano al esfuerzo mínimo. El esfuerzo máximo de una sarta de varillas, debe de encontrarse en el área cuadrículada de la fig. II-i, y desde luego el esfuerzo mínimo sobre la línea a 45 grados. El esfuerzo máximo se calcula con la siguiente expresión:

$$\text{Esf. máx.} = (\text{carga máx. en la var. pulida}) / (\text{área de la varilla})$$

y el esfuerzo mínimo como:

$$\text{Esf. mín.} = (\text{carga mín. en la var. pulida}) / (\text{área de la varilla})$$

El máximo esfuerzo permisible viene dado por la siguiente ecuación:

$$\text{Esf. perm.} = (T/4 + 0.5625 \times \text{Esf. mín.}) F_s \quad \dots (II-8)$$

Donde:

- Esf. perm. = esfuerzo máximo permisible (Lb/pg<sup>2</sup>)
- Esf. mín. = esfuerzo mínimo (Lb/pg<sup>2</sup>)
- T = mínima resistencia a la tensión de las varillas (Lb/pg<sup>2</sup>)
- F<sub>s</sub> = Factor de servicio.

En el diseño de una sarta de varillas, el esfuerzo máximo de las varillas debe ser siempre menor que el esfuerzo permisible. F<sub>s</sub> es el factor que se debe considerar en el esfuerzo permisible, si el medio ambiente de trabajo de las varillas es corrosivo. Si el agua salada o el ácido sulfhídrico están presentes, el esfuerzo permisible debe reducirse por un factor de servicio adecuado, estos se muestran en la tabla 3-b.

TABLA 3-b

ambiente	grado C	grado D	Electra
no-corrosivo	1.0	1.0	1.0
agua salada	0.65	0.90	0.90
ácido sulfhídrico	0.50	0.70	0.70

BOMBA SUBSUPERFICIAL.(ref. 4)

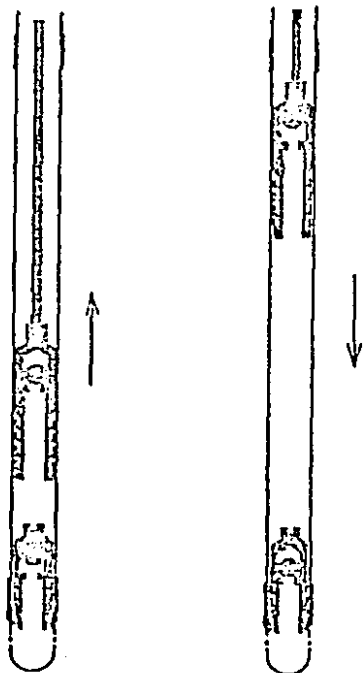


FIG.II-j

La bomba subsuperficial está compuesta por cuatro partes, barril, émbolo, válvula viajera y válvula de pie. Con la bomba sumergida en el fluido, lo cual es un requisito necesario para su operación. Para efectos de explicación, suponga que el fluido es incompresible, y considere la figura II-j, el movimiento ascendente del émbolo en el inicio de la carrera, cerrara la válvula viajera, debido al peso del fluido arriba del émbolo, que llena la TP. Al mismo tiempo, debido al movimiento del émbolo, se crea una disminución de presión debajo del émbolo, en el barril, que provocará la apertura de la válvula de pie, y permitiendo así el llenado del barril. Cuando el movimiento del émbolo es descendente, después de llegar al máximo de la carrera ascendente, el peso de la columna de fluido se transfiere a la válvula de pie, cerrandola. Al mismo tiempo abriendo la válvula viajera, permitiendo que el émbolo viaje hacia abajo, a través del fluido, iniciandose un nuevo ciclo.

Una de las características más importantes de este ciclo, es la transferencia de carga del fluido de TP a las varillas de succión,

en la carrera ascendente, y de las varillas a la TP en la carrera descendente. Por lo anterior, es recomendable tener la TP anclado a la TR. Este ciclo de bombeo esta idealizado, ya que en la práctica la presencia de gas en el barril, retrasa y/o adelanta la apertura y cierre de las válvulas. La presencia de material extraño en el fluido, como carbonatos, arenas, etc. calza las válvulas, provocando que nunca se cierran.

Debido a la transferencia de carga entre la TP y las varillas, las propiedades elásticas del acero, y del movimiento del sistema, es de esperar que la carrera de la bomba sea diferente, a la carrera de la varilla pulida en la superficie.

Las bombas subsuperficiales de bombeo mecánico, se pueden clasificar en dos grandes tipos: las bombas de TP y las bombas de inserción. En las bombas de TP, el barril y la válvula de pie, se colocan en el extremo inferior de la sarta y se bajan al pozo, como si formarían

parte de la tubería. En las bombas de inserción, las válvulas y el barril están ensambladas, y se bajan al pozo, dentro de la TP, como una parte integral de la sarta de varillas. La desventaja de las bombas de inserción, comparada con las bombas de TP, es que el diámetro del émbolo debe ser más pequeño, lo que limita la capacidad de la bomba. Los diámetros del émbolo, puede tener los siguientes valores: 1", 1-1/4", 1-1/2", 1-3/4", 2", 2-1/4", 2-1/2", 2-3/4", 3", 3-1/4", 3-3/4" y 4-3/4".

## CAPITULO III

### DISEÑO API DE UNIDADES DE BOMBEO MECANICO

#### ANTECEDENTES DEL METODO.(ref. 6)

En 1954 un grupo de usuarios y fabricantes de equipo de bombeo mecánico, emprendió un estudio profundo de los diferentes y complejos problemas, asociados con este método de producción artificial en pozos petroleros. Para controlar y dirigir este proyecto, se creó una organización no lucrativa llamada "Sucker Rod Pumping Research, Inc.", teniendo el apoyo del "Midwest Research Institute" de la Cd. de Kansas, para lograr los objetivos de la organización. Al inicio de la investigación, el Instituto de Kansas intentó estudiar el sistema de bombeo mecánico, mediante el uso de un modelo mecánico especialmente diseñado, que incluía todas las variables importantes del pozo. Aunque este modelo funcionó, no fué completamente satisfactorio. El modelo mecánico resultó difícil de usar y controlar, y los datos que se obtuvieron de el no pudieron ser correlacionados fácilmente. Lo que se hizo, sin embargo, proporcionó una mejor comprensión de la complejidad del sistema de bombeo mecánico.

El Instituto de Kansas, construyó posteriormente un modelo eléctrico análogo en una computadora, este modelo produjo una gran cantidad de datos, que fueron fácilmente correlacionados. Una vez terminado el proyecto, el reporte final fue enviado a todos los participantes, y al Instituto Americano del Petróleo (API). Schropp de la Cía. de petróleo Phillips, en Santa Bárbara Cal. hizo una destacada contribución a la industria petrolera, al condensar y volver a graficar el total de datos, contenidos en el reporte final del Instituto de Kansas, en 6 familias de curvas, que después fueron cedidas al API. Posteriormente el comité de estandarización del API, tomó el reporte y junto con las gráficas de Schropp, presentó un nuevo reporte en una forma más útil y conveniente. Este último, se adoptó como una práctica recomendada por el API, para el diseño de unidades convencionales de bombeo mecánico (API-RP-11L).

Una evaluación matemática del bombeo mecánico, para propósitos prácticos, debe desarrollar ecuaciones que expresen el movimiento y las condiciones, del esfuerzo en las varillas de succión. El desarrollo de estas ecuaciones, es matemáticamente complicado, debido a la dificultad de establecer las condiciones de frontera, que reflejen apropiadamente, la apertura y cierre de las válvulas de la bomba subsuperficial, cuando ellas mismas son función del movimiento del sistema, y de las condiciones de flujo del fluido que pasa a



a través de la bomba. El criterio generalmente usado, para diseñar unidades de bombeo mecánico, se basa en conceptos muy simplificados. Por lo tanto, las fórmulas derivadas, representan en promedio, las condiciones que ocurren en el sistema, y pueden ser predicciones falsas, especialmente si se trata de pozos profundos y velocidades de bombeo altas.

Muchos métodos de diseño, se han desarrollado suponiendo que la masa de las varillas, se concentra en un punto. Esto hace posible una simplificación matemática, en donde la ecuación de elasticidad (ecuación diferencial ordinaria), se usa para simular las características de la varilla de succión. Esta suposición es matemáticamente conveniente, pero elimina la analogía entre la varilla de succión real, y el modelo matemático usado para representar esta varilla. En realidad, la masa esta distribuida a lo largo de la sarta de varillas, y este hecho se debe incluir en cualquier modelo matemático real. De no hacer esta inclusión, los esfuerzos que viajan a lo largo de la varilla, no se tomarían en cuenta, y esto es una característica importante de un sistema real. Algunas técnicas para predecir el comportamiento de las varillas, han usado modelos apropiados, para representar las varillas de succión. Estas representaciones, requieren que la ecuación de onda (ecuación con derivadas parciales) describa el comportamiento de las varillas. Sin embargo, el uso de esta ecuación introduce nuevas dificultades matemáticas, la principal es que las ecuaciones en derivadas parciales son mas difíciles de resolver, otra dificultad, es la formulación de las condiciones de frontera, en los extremos de la sarta. El problema de las varillas de succión, tiene la particularidad de que, las condiciones de frontera, en la bomba subsuperficial, dependen del comportamiento de la sarta, mismo que también es parte de la solución del problema.

En el estudio del Instituto de Kansas, se simularon unidades de bombeo mecánico en una computadora. Se hicieron muchas corridas simulando un rango amplio de condiciones. Estas corridas se correlacionaron básicamente con dos parámetros adimensionales. Estos parámetros son la velocidad de bombeo adimensional ( $N/N_0'$ ), y el alargamiento adimensional de las varillas ( $F_0/Skr$ ). El uso de estos dos parámetros adimensionales, permitió que un juego completo de condiciones de bombeo se correlacionaran, sin tener que correr un número considerable de casos.

La velocidad adimensional de bombeo ( $N/N_0'$ ), es un índice muy importante del comportamiento de la sarta de varillas. Este parámetro, es el cociente de la frecuencia de fuerzas  $N$  (velocidad de bombeo), entre la frecuencia natural no amortiguada de las varillas  $N_0'$ . Esta última frecuencia, es inversamente proporcional al tiempo requerido para que un esfuerzo haga cuatro recorridos, a lo largo de la sarta de varillas. Así, la frecuencia natural no amortiguada  $N_0'$  se expresa:

$$N_0' = F_c a/4L \quad \dots\dots\dots(III-1)$$

Donde:

$F_c$  = factor de frecuencia (adim.)  
 $a$  = velocidad del sonido en el acero (pie/seg.)  
 $L$  = longitud de la varilla. (pie)  
 $N_0$  = frecuencia natural no amortiguada.

Para una sarta de varillas de diámetro constante, el factor de frecuencia  $F_c$ , es igual a 1. De consideraciones teóricas, se puede demostrar, que la frecuencia natural de una sarta de varillas telescopiadas (de varios diámetros), es más grande que el de una sarta uniforme de igual longitud. Así, para sarts telescopiadas, el factor de frecuencia  $F_c$ , tiene un valor ligeramente mayor que la unidad. En la tabla 4, se muestran los valores de  $F_c$  en diferentes sarts. La expresión que da la velocidad de bombeo adimensional  $N/N_0$  es:

$$N/N_0 = 4NL/(aF_c) \quad (III-2)$$

donde:

$N/N_0$  = velocidad de bombeo adimensional  
 $N$  = velocidad de bombeo (E.P.M.)

Es importante agregar que el factor de frecuencia  $F_c$ , depende del porcentaje de longitud, para un diámetro determinado, y del diámetro de la bomba superficial. La velocidad de propagación de un esfuerzo, en una varilla, tiene un valor de 17,000 pie/seg. y es igual a la velocidad del sonido en el acero. La velocidad del sonido en varillas largas y de diámetros reducidos, es generalmente más baja que en una varilla gruesa de acero de tamaño normal. Adicionalmente, el efecto de los coples en las varillas, puede causar un incremento en la densidad de las mismas, ocasionando una disminución en la velocidad de propagación. En la práctica, se ha encontrado un valor de la velocidad de propagación, igual a 16,300 pie/seg. Con este valor, la velocidad de bombeo adimensional se expresa como:

$$N/N_0 = NL/245,000 F_c \quad (III-3)$$

Otro parámetro adimensional importante, para describir el comportamiento de la sarta de varillas, es el alargamiento adimensional  $F_0/Skr$ . En este parámetro, se toma en cuenta la constante elástica  $k_r$  de las varillas. Para una sarta de varillas con diámetro constante, este parámetro está dado por:

$$k_r = EA/L \quad (III-4)$$

Donde:

$k_r$  = constante elástica de la sarta, y representa la carga (en libras) necesaria para alargar una pulgada, toda la sarta (Lb/pg).

TABLA 4

DATOS DE VARILLAS Y PUNDA.

diámetro de esbolo (pg)	tipo de varilla API	Peso de varillas pg/Lb-pie	Factor de Frecuencia adim.	Sarta de varillas, 2 de cada diámetro.			
				7/8"	3/4"	5/8"	1/2"
1.01	44	.72625	1	0	0	0	100
1.25	44	.72625	1	0	0	0	100
1.5	44	.72625	1	0	0	0	100
1.75	44	.72625	1	0	0	0	100
2	44	.72625	1	0	0	0	100
2.25	44	.72625	1	0	0	0	100
2.5	44	.72625	1	0	0	0	100
2.75	44	.72625	1	0	0	0	100
3.25	44	.72625	1	0	0	0	100
3.75	44	.72625	1	0	0	0	100
4.75	44	.72625	1	0	0	0	100
1.01	54	.928448	1.138	0	0	44.6	55.4
1.25	54	.9284652	1.14	0	0	49.5	50.5
1.5	54	.9566528	1.137	0	0	56.4	43.6
1.75	54	.9901511	1.122	0	0	64.6	35.4
2	54	1.027326	1.035	0	0	73.7	26.3
2.25	54	1.066952	1.061	0	0	83.4	16.6
2.5	54	1.108212	1.023	0	0	93.5	6.5
1.01	55	1.134766	1	0	0	100	0
1.25	55	1.134766	1	0	0	100	0
1.5	55	1.134766	1	0	0	100	0
1.75	55	1.134766	1	0	0	100	0
2	55	1.134766	1	0	0	100	0
2.25	55	1.134766	1	0	0	100	0
2.5	55	1.134766	1	0	0	100	0
2.75	55	1.134766	1	0	0	100	0
3.25	55	1.134766	1	0	0	100	0
3.75	55	1.134766	1	0	0	100	0
4.75	55	1.134766	1	0	0	100	0
1.01	64	1.163044	1.229	0	33.3	33.1	33.5
1.25	64	1.210613	1.715	0	37.2	35.9	26.9
1.5	64	1.275295	1.184	0	42.3	40.4	17.3
1.01	65	1.306524	1.098	0	34.4	65.6	0
1.25	65	1.321003	1.104	0	37.3	62.7	0
1.75	64	1.341202	1.145	0	47.4	45.2	7.4
1.5	65	1.343472	1.11	0	41.8	53.2	0
1.75	65	1.368936	1.114	0	46.9	53.1	0
2	65	1.3944	1.114	0	52	48	0
2.25	65	1.426355	1.11	0	58.4	41.6	0
2.5	65	1.460307	1.099	0	65.2	34.8	0
2.75	65	1.496756	1.082	0	72.5	27.5	0
1.01	75	1.565704	1.191	27	27.4	45.6	0
3.25	65	1.574646	1.037	0	83.1	11.9	0
1.25	75	1.603032	1.193	29.4	29.8	40.8	0
1.01	66	1.634063	1	0	100	0	0
1.25	66	1.634063	1	0	100	0	0

TABLE 4 (cont.)

DATOS DE VARILLAS Y FONDA.

diámetro de anillo (in)	tipo de varilla API	Peso de varillas pg/lb-pie	Factor de frecuencia adia.	Sarta de varillas, 1 de cada diámetro.			
				1"	7/8"	3/4"	5/8"
1.5	66	1.634063	1	0	0	100	0
1.75	66	1.634063	1	0	0	100	0
2	66	1.634063	1	0	0	100	0
2.25	66	1.634063	1	0	0	100	0
2.5	66	1.634063	1	0	0	100	0
2.75	66	1.634063	1	0	0	100	0
3.25	66	1.634063	1	0	0	100	0
3.75	66	1.634063	1	0	0	100	0
4.75	66	1.634063	1	0	0	100	0
1.5	75	1.662659	1.199	0	33.3	33.3	33.3
1.75	75	1.730159	1.174	0	37.8	37	25.1
1.01	76	1.802235	1.072	0	28.5	71.5	0
2	75	1.80267	1.151	0	42.4	41.3	16.3
1.25	76	1.814627	1.077	0	30.6	69.4	0
1.5	76	1.833509	1.082	0	33.8	66.2	0
1.75	76	1.855342	1.088	0	37.5	62.5	0
2.25	75	1.873226	1.121	0	46.9	45.8	7.2
2	76	1.880125	1.093	0	41.7	58.3	0
1.01	85	1.88362	1.261	22.2	22.4	22.4	33
2.25	76	1.90844	1.096	0	46.5	53.5	0
2.5	76	1.933822	1.097	0	50.8	49.2	0
1.25	85	1.94281	1.253	23.9	24.2	24.3	27.6
2.75	76	1.967457	1.094	0	56.5	43.5	0
3.25	76	2.039446	1.078	0	68.7	31.3	0
1.5	85	2.048853	1.232	26.7	27.4	26.8	19.2
1.01	86	2.055378	1.151	22.6	23	54.3	0
1.25	86	2.087469	1.156	24.3	24.5	51.2	0
3.75	76	2.119697	1.047	0	82.3	17.7	0
1.5	86	2.135629	1.162	26.8	27	46.3	0
1.75	85	2.137218	1.201	29.6	30.4	29.5	10.5
1.75	86	2.184742	1.164	29.4	30	40.6	0
1.01	77	2.224141	1	0	100	0	0
1.25	77	2.224141	1	0	100	0	0
1.5	77	2.224141	1	0	100	0	0
1.75	77	2.224141	1	0	100	0	0
2	77	2.224141	1	0	100	0	0
2.25	77	2.224141	1	0	100	0	0
2.5	77	2.224141	1	0	100	0	0
2.75	77	2.224141	1	0	100	0	0
3.25	77	2.224141	1	0	100	0	0
3.75	77	2.224141	1	0	100	0	0
4.75	77	2.224141	1	0	100	0	0
2	86	2.245202	1.161	32.8	33.2	33.9	0
2.25	86	2.315467	1.153	36.9	36	27.1	0
2.5	86	2.384324	1.138	40.6	39.7	19.7	0

TABLA 4 (cont.)

DAIOS DE VARILLAS Y RONDA.

diámetro de embolo (pg)	tipo de varilla API	Peso de varillas pg/lb-pie	Factor de Frecuencia adia.	Sarta de varillas, Y de cada diámetro.				
				1-1/4"	1-1/8"	1"	7/8"	3/4"
1.01	96	2.384914	1.222	0	19.1	19.2	19.5	42.3
1.01	87	2.389589	1.055	0	0	24.3	75.7	0
1.25	87	2.399122	1.058	0	0	25.7	74.3	0
1.5	87	2.412739	1.062	0	0	27.7	72.3	0
1.75	87	2.430441	1.066	0	0	30.3	69.7	0
1.25	96	2.435479	1.224	0	20.5	20.5	20.7	38.3
2	87	2.450186	1.071	0	0	33.2	66.8	0
2.75	86	2.455134	1.119	0	0	44.5	43.3	12.2
2.25	87	2.471974	1.075	0	0	36.4	63.6	0
2.5	87	2.495804	1.079	0	0	39.9	60.1	0
1.5	96	2.512099	1.223	0	22.4	22.5	22.8	32.3
2.75	87	2.523038	1.082	0	0	43.9	56.1	0
3.25	87	2.575464	1.084	0	0	51.6	48.4	0
1.75	96	2.609371	1.213	0	24.8	25.1	25.1	25.1
3.75	87	2.640827	1.078	0	0	61.2	38.8	0
1.01	97	2.642779	1.12	0	19.6	20	60.3	0
1.25	97	2.670603	1.124	0	20.8	21.2	58	0
2	96	2.703874	1.196	0	27.1	27.9	27.4	17.6
1.5	97	2.707551	1.131	0	22.5	23	54.5	0
1.75	97	2.747994	1.137	0	24.5	25	50.4	0
4.75	87	2.793339	1.038	0	0	83.6	16.4	0
2	97	2.797742	1.141	0	26.8	27.4	45.7	0
2.25	96	2.803053	1.172	0	29.6	30.7	29.8	9.8
2.25	97	2.856795	1.143	0	29.4	30.2	40.4	0
1.01	88	2.905	1	0	0	100	0	0
1.25	88	2.905	1	0	0	100	0	0
1.5	88	2.905	1	0	0	100	0	0
1.75	88	2.905	1	0	0	100	0	0
2	88	2.905	1	0	0	100	0	0
2.25	88	2.905	1	0	0	100	0	0
2.5	88	2.905	1	0	0	100	0	0
2.75	88	2.905	1	0	0	100	0	0
3.25	88	2.905	1	0	0	100	0	0
3.75	88	2.905	1	0	0	100	0	0
4.75	88	2.905	1	0	0	100	0	0
2.5	97	2.921568	1.141	0	32.5	33.1	34.4	0
1.01	10	2.973585	1.184	16.9	16.8	17.1	49.1	0
2.75	97	2.988937	1.135	0	36.1	35.3	28.6	0
1.25	107	3.019611	1.189	17.9	17.8	18	46.3	0
1.01	98	3.068580	1.043	0	21.2	78.8	0	0
1.25	98	3.076304	1.045	0	22.2	77.8	0	0
1.5	107	3.084883	1.195	19.4	19.2	19.5	41.9	0
1.5	98	3.08365	1.048	0	23.8	76.2	0	0
1.75	98	3.103312	1.051	0	25.7	74.3	0	0
2	98	3.118744	1.055	0	27.7	72.3	0	0
3.25	97	3.132543	1.111	0	42.9	41.9	15.2	0

TABLA 4 (cont.)

## DATOS DE VARILLAS Y BOMBA.

diámetro de esboto (pg)	tipo de varilla API	peso de varillas pg/Lb-pie	Factor de frecuencia adim.	Sarta de varillas, % de cada diámetro.			
				1-1/4"	1-1/3"	1"	7/8"
2.25	98	3.137264	1.058	0	30.1	69.9	0
2.5	98	3.157327	1.062	0	32.7	67.3	0
1.75	107	3.161866	1.197	21	21	21.2	36.9
2.75	98	3.179704	1.066	0	35.6	64.4	0
3.25	98	3.230632	1.071	0	42.2	57.8	0
2	107	3.230076	1.195	22.7	22.8	23.1	31.4
3.75	98	3.280506	1.074	0	49.7	50.3	0
1.01	100	3.325045	1.097	17.3	17.3	64.9	0
2.25	107	3.336211	1.107	25	25	25	25
1.25	100	3.341535	1.101	16.1	16.6	63.2	0
1.5	100	3.375564	1.106	19.4	19.9	60.7	0
1.75	100	3.41165	1.111	20.9	21.4	57.7	0
4.75	98	3.411968	1.064	0	65.7	34.3	0
2.5	107	3.431486	1.174	26.9	27.7	27.1	18.2
2	109	3.44087	1.117	22.6	23	54.3	0
2.25	100	3.499256	1.121	24.5	25	50.5	0
2.75	107	3.53706	1.156	29.1	30.2	29.3	11.3
2.5	100	3.547913	1.124	26.5	27.2	46.3	0
2.75	100	3.599477	1.126	28.7	29.6	41.6	0
1.01	99	3.676641	1	0	100	0	0
1.25	99	3.676641	1	0	100	0	0
1.5	99	3.676641	1	0	100	0	0
1.75	99	3.676641	1	0	100	0	0
2	99	3.676641	1	0	100	0	0
2.25	99	3.676641	1	0	100	0	0
2.5	99	3.676641	1	0	100	0	0
2.75	99	3.676641	1	0	100	0	0
3.25	99	3.676641	1	0	100	0	0
3.75	99	3.676641	1	0	100	0	0
4.75	99	3.676641	1	0	100	0	0
3.25	100	3.734077	1.123	34.6	33.9	31.6	0
1.01	109	3.839638	1.035	18.9	81.1	0	0
1.25	109	3.845675	1.036	19.6	80.4	0	0
1.5	109	3.855162	1.038	20.7	79.3	0	0
1.75	109	3.867236	1.04	22.1	77.9	0	0
3.75	100	3.873227	1.100	40.6	39.5	19.9	0
2	109	3.881035	1.043	23.7	76.3	0	0
2.25	109	3.895696	1.046	25.4	74.6	0	0
2.5	109	3.911219	1.048	27.2	72.8	0	0
2.75	107	3.930193	1.051	29.4	70.6	0	0
3.25	109	3.971539	1.057	34.2	65.8	0	0
3.75	109	4.020747	1.063	39.9	60.1	0	0
4.75	109	4.120789	1.066	51.5	48.5	0	0
1.01	1010	4.539063	1	100	0	0	0
1.25	1010	4.539063	1	100	0	0	0
1.5	1010	4.539063	1	100	0	0	0

TABLA 4 (cont.)

## DATOS DE VARILLAS Y BOMBA.

diámetro de embolo (pg)	tipo de varillas APT	Peso de varillas pg/Lb-pie	Factor de frecuencia adim.	Sarta de varillas, % de cada diámetro.			
				1-1/4"	1-1/8"	1"	7/8"
1.75	1010	4.539063	1	100	0	0	0
2	1010	4.539063	1	100	0	0	0
2.25	1010	4.539063	1	100	0	0	0
2.5	1010	4.539063	1	100	0	0	0
2.75	1010	4.539063	1	100	0	0	0
3.25	1010	4.539063	1	100	0	0	0
3.75	1010	4.539063	1	100	0	0	0
4.75	1010	4.539063	1	100	0	0	0

- E = constante elástica de las varillas, y representa el alargamiento (en pulgadas) ocasionado al aplicar una carga de una libra, a una varilla de un pie de longitud (pg/Lb-pie).
- A = área transversal, pg<sup>2</sup>.
- L = longitud de la sarta, pie.

En sartas de varillas telescopiadas, la constante elástica se calcula con la siguiente forma inversa:

$$1/kr = 1/E(L1/A1 + L2/A2 + \dots) \quad (III-5)$$

El parámetro Fo, representa la diferencia de cargas aplicadas en el área del émbolo de la bomba. S es la longitud de la carrera en la varilla pulida. El término completo Fo/Skr, da el alargamiento de las varillas, causado por el peso de los flúidos en condiciones estáticas, como un porcentaje de la carrera en la varilla pulida. Por ejemplo, considerese que :

$$Fo/Skr = 0.1$$

significa que la sarta se alargó el 10%, de la carrera en la varilla pulida, cuando se le aplicó el peso del flúido en condiciones estáticas. En velocidades de bombeo muy bajas, el sistema se aproxima a condiciones estáticas, y el alargamiento adimensional (Fo/Skr) se relaciona con la carrera de la bomba Sp como :

$$Sp/S = 1 - Fo/Skr \quad \dots\dots\dots(III-6)$$

En el modelo del Instituto de Kansas, se consideró que la tubería de producción está anclada, y que no existe movimiento de tubería durante el ciclo del sistema. Si la TP no está anclada, se tiene que corregir la carrera de la bomba. Esto es debido, a que la TP se acorta cuando el peso del flúido se transfiere a la sarta de varillas, y se alarga en la carrera descendente, cuando el peso del flúido se regresa a la TP. La corrección consiste en calcular la elongación de la TP, debida al peso del flúido, y esta cantidad restársela a la longitud de la carrera efectiva del émbolo. Esta es una corrección muy aproximada. En el modelo, se utilizó la geometría de la unidad convencional. Para unidades que presentan geometrías diferentes, la simulación no fue exacta y los valores calculados son aproximados. Sin embargo, el modelo da valores de carga máxima, carga mínima y carrera efectiva, razonablemente buenos. Los valores de torque, no serán buenas aproximaciones. Algunos fabricantes de unidades con geometrías distintas a la convencional, han sugerido modificaciones adecuadas al método API, para diseñar este tipo de unidades. El modelo, también considero que el motor primario era de



desplazamiento medio. Generalmente hablando, un motor de alto desplazamiento, ocasiona pequeños decrementos de carga máxima, y un ligero incremento en la carga mínima, pero también tiende a reducir la carrera efectiva; por lo tanto se puede introducir un error en los cálculos, si se usa un motor primario con características diferentes, al motor de desplazamiento medio. También se supuso, que no se tiene fricción en el estopero o en el barril de la bomba subsuperficial. Esto desde luego, es una consideración alejada de la realidad, sin embargo, los valores de fricción son mínimos y se pueden despreciar en el diseño.

La carta dinamométrica superficial, generada por el modelo en la computadora, es independiente del peso de la sarta de varillas. La forma de la carta, es la misma, y el peso de las varillas simplemente desplaza la carta hacia arriba o abajo, en relación a la línea del origen. El cálculo de los parámetros es muy simple, debido a que los valores de peso de fluido y cargas dinámicas, se obtienen en cálculos que son independientes del peso de las varillas, el peso de las mismas se adiciona al final. En el cálculo del torque, el peso de la sarta es importante para determinar, el torque aplicado a la unidad superficial. Todos los valores de torque se calcularon usando un peso de varillas de :

$$W_{rf}/S_{kr} = 0.3$$

Donde:  $W_{rf}$  = peso de la sarta en el fluido (Lb)

Si se usa una sarta con distinto peso al usado en el modelo, se tiene que hacer una corrección al torque máximo de diseño.

#### METODO API.(ref. 7)

El ingeniero que realiza el diseño de unidades de bombeo mecánico, debe de tomar en cuenta, que hay un número de condiciones de operación poco comunes, que podrían estar presentes en el pozo, y llevarlo a conclusiones engañosas en el cálculo del diseño. Algunas de estas condiciones son:

Pozos desviados

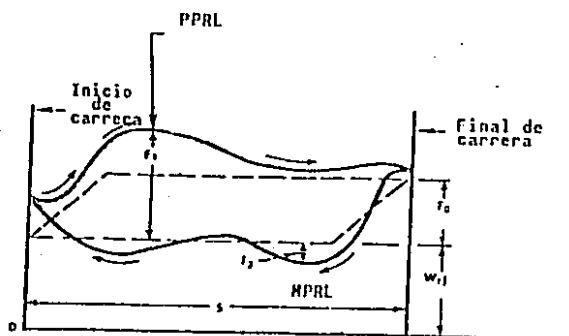
Fluidos demasiado viscosos

Excesiva producción de arena

Excesiva producción de gas

Sin embargo, en la mayoría de los casos, se ha encontrado que los valores calculados por el método, están en concordancia con los valores medidos. Varios grupos que realizaron medidas y pruebas en

forma independiente, han encontrado que este método, da mejores resultados que otros. Para entender mejor las formulas usadas, en la solución de los problemas del sistema de bombeo, considerese la Fig. III-a.



- Carta dinamo-métrica, en condiciones estáticas
- Carta dinamo-métrica, en condiciones dinámicas.
- Fo = Carga en el émbolo.
- F1 = Factor PPRL.
- F2 = Factor MPRL.
- PPRL = carga máxima en la v.p.
- MPRL = carga mínima en la v.p.
- Wrf = peso de la sarta.
- N = vel. de bombeo.
- S = carrera en la v.p.
- v.p. = varilla pulida.

Fig. III-a

en donde se muestra el comportamiento del sistema en dos situaciones que son:

a) Para condiciones estáticas, es decir, con velocidad de bombeo pequeña,  $N$  es aproximadamente igual a cero se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Carga máxima en la varilla pulida, PPRL} &= Wrf + F_0 \\ \text{Carga mínima en la varilla pulida, MPRL} &= Wrf \end{aligned}$$

b) Para condiciones dinámicas,  $N > 0$ , se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Carga máxima en la varilla pulida, PPRL} &= Wrf + F_1 \\ \text{Carga mínima en la varilla pulida, MPRL} &= Wrf - F_2 \end{aligned}$$

El método emplea las variables adimensionales independientes, siguientes:  $N/No$ ,  $F_0/Skr$  y  $N/No'$ . Donde  $N$  = velocidad de bombeo,  $No$  = velocidad de bombeo a la frecuencia natural de la sarta,  $No'$  = velocidad de bombeo a la frecuencia natural de la sarta telescopiada,  $S$  = carrera en la varilla pulida,  $kr$  = constante elástica de la sarta,  $N/No' = (N/No)/Fc$ , con  $Fc$  = factor de frecuencia de la sarta. Las variables adimensionales dependientes son:  $F_1/Skr$  = factor de carga máxima,  $F_2/Skr$  = factor de carga mínima,  $2T/S^2kr$  = factor de torque máximo,  $Sp/S$  = factor de carrera del émbolo,  $F_3/Skr$  = factor de potencia en la varilla pulida. Los valores de las variables dependientes, se muestran discretizadas en las tablas 5 a la 10. Esta última, corresponde a la corrección del torque máximo, cuando el peso de las varillas cumple la condición de  $Wrf/Skr = 0.3$ .

La solución al problema de diseño, se alcanza a través del método de ensayo y error. El método API necesita suponer un gasto inicial, esto se lleva a cabo dándole valores a los parámetros  $N$ ,  $S$ ,  $A_p$  donde  $A_p$  = área del émbolo. Estos parámetros se relacionan con la siguiente ecuación :

$$q = 0.1166 \times D^2 \times S \times N \quad (\text{III-7})$$

donde:

$q$  = Gasto, Bls/día.  
 $D$  = diámetro del émbolo, pg.  
 $S$  = longitud de la carrera, pg.  
 $N$  = velocidad de bombeo, E.P.M.

La carrera del émbolo  $S_p$ , se calcula con las variables adimensionales  $F_o/S_k r$  y  $N/No'$ , de ahí la necesidad de tener  $N$  y  $S$ . Con el valor de  $S_p$ , se calcula el gasto real de la bomba, y si este valor no coincide con el gasto deseado, debe suponerse otro gasto hasta encontrar el deseado.

Generalmente se requieren tres pasos para diseñar una instalación:  
(1) se hace una selección previa de componentes para la instalación;  
(2) por medio de fórmulas, gráficas y tablas se obtienen las características de operación de estos componentes y ; (3) las cargas y gastos calculados se comparan con volúmenes, rango de cargas, esfuerzos y otras limitaciones de la selección preliminar.

La mínima información que debe ser conocida (o supuesta), para el diseño de una instalación de bombeo mecánico es:

Nivel del fluido, pie.  
Profundidad de la bomba, pie.  
Velocidad de bombeo, E.P.M.  
Carrera superficial, pg.  
Diámetro del émbolo, pg.  
Densidad del fluido (agua = 1.0)  
Diámetro interior de la TP, pg.  
Propiedades de las varillas.  
    límite elástico, (Lb/pg<sup>2</sup>).  
    factor de servicio.

Con estos parámetros, el diseño calcula lo siguiente:

Carrera del émbolo, pg.  
Gasto en la bomba, Bls/día.

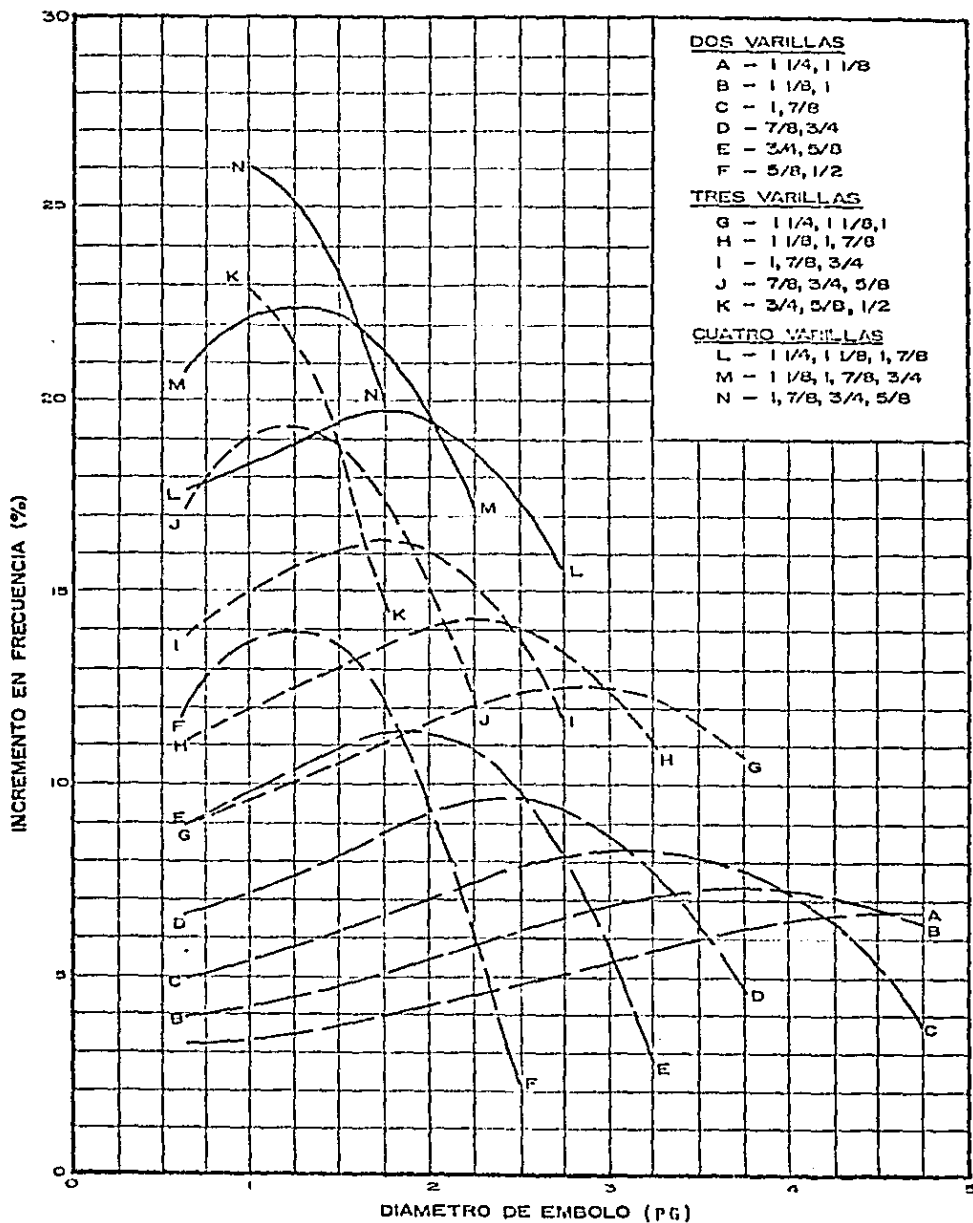


FIG. III-b

TABLA 4-a

CALCULOS PARA EL DISEÑO DE UNIDADES CONVENCIONALES DE BOMBEO MECANICO (ref. B)

OBJETIVO: Calcular  $S_p, Q, PPRL, MPRL, PT, CBE, FRHP$

DATOS CONOCIDOS O SUPUESTOS:

Nivel del fluido, H = \_\_\_\_\_ pie Vel. de bombes, N = \_\_\_\_\_ E.P.M. Area del embolo, D = \_\_\_\_\_ pg.  
 Prof. bomba, L = \_\_\_\_\_ pie Carrera, S = \_\_\_\_\_ pg Densidad (agua = 1.0), G = \_\_\_\_\_  
 TP d.e. \_\_\_\_\_ pg. esta anclada? Si No. Varillas: \_\_\_\_\_

DATOS OBTENIDOS DE LA TABLA 4 o ec. III-8.1

1.  $W_r =$  \_\_\_\_\_ 3.  $F_c =$  \_\_\_\_\_  
 2.  $E_r =$  \_\_\_\_\_ 4.  $E_t =$  \_\_\_\_\_

VARIABLES ADIMENSIONALES:

5.  $F_o = 0.34 \times G \times D^2 \times H = 0.34 \times$  \_\_\_\_\_  $\times$  \_\_\_\_\_  $\times$  \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ lb.  
 6.  $1/Kr = E_r \times l =$  \_\_\_\_\_  $\times$  \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ pg/Lb. 9.  $N/H_o = 111/245, CCB =$  \_\_\_\_\_  $\times$  \_\_\_\_\_ /245, CCB = \_\_\_\_\_  
 7.  $Skr = S / (1/Kr) =$  \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ = lb. 10.  $N/H_o^3 = (N/H_o) / F_c =$  \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_  
 8.  $F_o/Skr =$  \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ 11.  $1/Kt = E_t \times L =$  \_\_\_\_\_  $\times$  \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ pg/Lb

CALCULAR  $S_p$  y  $q$ :

12.  $S_p/S =$  \_\_\_\_\_ (tabla 5)  
 13.  $S_p = \{ (S_p/S) \times S \} - \{ F_o \times 1/Kt \} = \{$  \_\_\_\_\_  $\times$  \_\_\_\_\_  $\} - \{$  \_\_\_\_\_  $\times$  \_\_\_\_\_  $\} =$  \_\_\_\_\_ pg.  
 14.  $q = 0.1166 \times S_p \times N \times D^2 = 0.1166 \times$  \_\_\_\_\_  $\times$  \_\_\_\_\_  $\times$  \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ Bls/dia

Si no se obtiene el gasto deseado, se deben modificar uno o mas datos conocidos o supuestas y repetir los pasos 1 al 14. Cuando el gasto q, es el deseado, continuar con el calculo.

PARAMETROS ADIMENSIONALES:

15.  $W = W_r \times l =$  \_\_\_\_\_  $\times$  \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ lb. 17.  $W_r/Skr =$  \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_  
 16.  $W_f = W \times \{ 1 - (.128 \times G) \} =$  \_\_\_\_\_  $\times$   $\{ 1 - (.128 \times$  \_\_\_\_\_  $\} =$  \_\_\_\_\_ lb.

OBTENCION DE FACTORES ADIMENSIONALES:

18.  $F_1 / Skr =$  \_\_\_\_\_ (tabla 6) 20.  $2T/S^3kr =$  \_\_\_\_\_ (tabla 8)  
 19.  $F_2 / Skr =$  \_\_\_\_\_ (tabla 7) 21.  $F_3/Skr =$  \_\_\_\_\_ (tabla 9)  
 22.  $T_a =$  \_\_\_\_\_ (tabla 10)

CALCULO DE PARAMETROS DE OPERACION:

23.  $PPRL = W_f + \{ (F_1/Skr) \times Skr \} =$  \_\_\_\_\_ +  $\{$  \_\_\_\_\_  $\times$  \_\_\_\_\_  $\} =$  \_\_\_\_\_ lb.  
 24.  $MPRL = W_f - \{ (F_2/Skr) \times Skr \} =$  \_\_\_\_\_ -  $\{$  \_\_\_\_\_  $\times$  \_\_\_\_\_  $\} =$  \_\_\_\_\_ lb.  
 25.  $PT = (2T/S^3kr) \times Skr \times 5/2 \times T_a =$  \_\_\_\_\_  $\times$  \_\_\_\_\_ + \_\_\_\_\_  $\times$  \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ lb-pg  
 26.  $CBE = 1.06 \{ W_f + F_o/2 \} = 1.06 \times \{$  \_\_\_\_\_ + \_\_\_\_\_  $\} =$  \_\_\_\_\_ lb.  
 27.  $FRHP = (F_3/Skr) \times Skr \times S \times N \times 2.53 \times 10^8 =$  \_\_\_\_\_  $\times$  \_\_\_\_\_  $\times$  \_\_\_\_\_  $\times$  \_\_\_\_\_  $\times$  2.53  $\times$  10<sup>8</sup> = \_\_\_\_\_ h.p.

Carga máxima en la varilla pulida, Lb.

Carga mínima en la varilla pulida, Lb.

Torsión máxima en la manivela, Lb-pg.

Contrapesos, Lb.

Potencia en la varilla pulida, h.p.

Antes de proceder con el diseño, es importante señalar que el factor de frecuencia  $F_c$ , de una sarta telescopiada, se incrementa en un ligero porcentaje, que depende del área del émbolo, (ver Fig. III-b), y del porcentaje de varillas según su diámetro. En la tabla 4 se muestran los datos de varillas y bombas subsuperficiales, recomendadas por el API para el diseño de unidades de bombeo mecánico. Cabe mencionar, que en esta tabla están contenidos todos los valores de, área de émbolo y diámetros de varilla existente en el mercado. De esta tabla, se obtienen los parámetros de peso de varillas, constante elástica de las mismas, factor de frecuencia y porcentaje de varillas. Una hoja de cálculo típica de diseño, se muestra en la Fig. 4-a (ref.8).

La constante de elasticidad, de la tubería de producción, se obtiene por medio de la ley de Hooke y tiene la siguiente expresión :

$$E_t = 0.0000007/At \quad \dots\dots(III-8)$$

Donde :  $E_t$  = constante elástica de la TP (pg/ll-pie)  
 $A_t$  = área transversal de la TP, pg

Con la ecuación III-8 y los datos de la tabla 4, se calculan las variables adimensionales independientes, estos cálculos se indican en los puntos 1-11, de la hoja de cálculo mostrada en la Tabla 4-a. Con estos valores, se puede calcular el desplazamiento de la bomba subsuperficial  $S_p$ , y por lo tanto, el gasto en la bomba. Con los valores calculados de  $F_o/Skr$  y  $N/No'$ , se obtiene el valor  $S_p/S$  de la tabla 5, y se procede a calcular los puntos (13) y (14). Si el valor del gasto calculado en el punto 14, no se ajusta al deseado, de deben modificar algunos parámetros, y repetir los cálculos de nuevo. Cuando se logre obtener un gasto aceptable, se procede con los pasos 15, 16 y 17.

Los valores calculados de  $F_o/Skr$  y  $N/No'$ , sirven para obtener los parámetros de  $F1/Skr$  (tabla 6),  $F2/Skr$  (tabla 7),  $2T/S^2kr$  (tabla 8) y  $F3/Skr$  (tabla 9). Es necesario el valor de  $N/No'$ , para determinar  $S_p/S$  y  $T_a$ , de las tablas 5 a 10 respectivamente. Sustituyendo los valores apropiados en las ecuaciones, y realizando los cálculos en los puntos 23 hasta el punto 27, se tendrán los parámetros de diseño esperados. Estos resultados, se comparan con las limitaciones impuestas por los componentes iniciales, también se calcula el

TABLE 5

N/No	<u>Sp/S</u>						
	Fo/Skr						
	0	.1	.2	.3	.4	.5	.6
0	1.0	.9	.8	.7	.6	.5	.4
.05	1.0	.91	.81	.71	.61	.51	.41
.10	1.01	.92	.83	.72	.63	.53	.43
.15	1.02	.93	.85	.75	.65	.56	.47
.20	1.06	.96	.88	.80	.69	.58	.47
.25	1.1	1.03	.93	.80	.68	.58	.51
.30	1.09	1.05	.89	.78	.72	.66	.6
.35	1.1	1.01	.93	.85	.81	.76	.68
.40	1.18	1.1	1.04	.98	.92	.86	.78
.45	1.33	1.23	1.15	1.07	1.03	.96	.87
.50	1.48	1.37	1.27	1.21	1.13	1.05	.98
.55	1.60	1.50	1.40	1.33	1.24	1.15	1.07
.60	1.70	1.61	1.52	1.44	1.37	1.26	1.16

TABLE 6

N/No	<u>F1/Skr</u>						
	Fo/Skr						
	0	.1	.2	.3	.4	.5	.6
0	0	.1	.2	.3	.4	.5	.6
.05	0.02	0.12	0.23	0.33	0.43	0.53	0.63
.10	0.05	0.15	0.26	0.36	0.46	0.56	0.66
.15	.08	0.18	0.29	0.39	0.49	0.59	0.69
.20	0.12	0.22	0.33	0.43	0.52	0.62	0.72
.25	0.17	0.27	0.37	0.46	0.55	0.65	0.75
.30	0.21	0.31	0.41	0.50	0.59	0.68	0.78
.35	0.27	0.36	0.46	0.55	0.63	0.70	0.80
.40	0.34	0.42	0.51	0.61	0.70	0.79	0.87
.45	0.43	0.50	0.58	0.68	0.75	0.83	0.91
.50	0.55	0.62	0.68	0.78	0.83	0.90	0.98
.55	0.70	0.76	0.84	0.93	0.97	1.00	1.05
.60	0.83	0.90	0.99	1.06	1.10	1.13	1.16

TABLE 7

N/No	<u>F2/Skr</u>						
	Fo/Skr						
	0	.1	.2	.3	.4	.5	.6
0	0	0	0	0	0	0	0
.05	0.004	0.010	0.015	0.019	0.015	0.022	0.025
.10	0.015	0.028	0.039	0.045	0.039	0.050	0.055
.15	0.035	0.055	0.073	0.080	0.073	0.083	0.086
.20	0.065	0.088	0.115	0.125	0.120	0.119	0.120
.25	0.100	0.128	0.154	0.165	0.161	0.158	0.160
.30	0.155	0.175	0.192	0.201	0.200	0.195	0.200
.35	0.220	0.238	0.228	0.241	0.235	0.235	0.243
.40	0.260	0.271	0.269	0.275	0.270	0.263	0.270
.45	0.290	0.302	0.316	0.306	0.309	0.290	0.300
.50	0.340	0.349	0.368	0.364	0.350	0.339	0.340
.55	0.420	0.433	0.446	0.433	0.413	0.384	0.380
.60	0.490	0.490	0.490	0.475	0.450	0.420	0.410

TABLE 8

N/No	<u>2T/Skr</u>						
	Fo/Skr						
	0	.1	.2	.3	.4	.5	.6
0	0.050	0.090	0.140	0.190	0.220	0.250	0.260
.05	0.060	0.100	0.160	0.210	0.250	0.280	0.290
.10	0.080	0.110	0.190	0.240	0.280	0.310	0.310
.15	0.100	0.140	0.220	0.270	0.310	0.320	0.330
.20	0.130	0.180	0.260	0.300	0.330	0.340	0.345
.25	0.160	0.220	0.300	0.330	0.350	0.355	0.360
.30	0.200	0.260	0.340	0.370	0.370	0.380	0.385
.35	0.250	0.310	0.380	0.410	0.420	0.430	0.440
.40	0.290	0.350	0.420	0.450	0.470	0.500	0.515
.45	0.340	0.400	0.460	0.490	0.510	0.520	0.525
.50	0.380	0.450	0.500	0.530	0.560	0.560	0.565
.55	0.440	0.500	0.550	0.580	0.620	0.630	0.635
.60	0.490	0.550	0.600	0.640	0.670	0.680	0.685

TABLE 9

f3/Skr

fo/Skr

	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
0	0.200	0.160	0.090	0.055	0.029	0.005	-0.017
.05	0.180	0.120	0.065	0.040	0.015	-0.005	-0.017
.10	0.128	0.080	0.055	0.027	0.005	-0.017	-0.005
.15	0.100	0.065	0.040	0.015	-0.005	-0.017	0.003
.20	0.075	0.055	0.025	-0.005	-0.015	-0.005	0.011
.25	0.060	0.040	0.015	-0.005	-0.015	0.005	0.012
.30	0.050	0.025	0.005	-0.017	-0.005	0.011	0.013
.35	0.040	0.016	-0.005	-0.017	0.005	0.012	0.014
.40	0.030	0.012	-0.005	-0.005	0.011	0.013	0.015
.45	0.020	0.013	0	0.005	0.011	0.014	0.025
.50	0.025	0.015	0.009	0.011	0.013	0.015	0.025
.55	0.030	0.020	0.015	0.015	0.015	0.020	0.030
.60	0.030	0.020	0.020	0.015	0.020	0.030	0.050

M/No

M/No

TABLE 10

1a

fo/Skr

	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
0	0.025	0.090	0.160	0.210	0.240	0.250	0.240
0.05	0.030	0.100	0.170	0.220	0.250	0.260	0.250
0.10	0.040	0.100	0.170	0.230	0.260	0.270	0.260
0.15	0.045	0.125	0.190	0.245	0.275	0.280	0.275
0.20	0.055	0.145	0.215	0.260	0.280	0.300	0.280
0.25	0.070	0.170	0.230	0.280	0.315	0.325	0.325
0.30	0.090	0.195	0.250	0.305	0.340	0.360	0.375
0.35	0.115	0.220	0.290	0.340	0.400	0.425	0.450
0.40	0.150	0.250	0.330	0.400	0.470	0.510	0.525
0.45	0.160	0.300	0.395	0.470	0.550	0.580	0.615
0.50	0.225	0.350	0.450	0.550	0.625	0.670	0.690
0.55	0.290	0.415	0.520	0.630	0.715	0.750	0.780
0.60	0.370	0.490	0.615	0.720	0.800	0.825	0.860



esfuerzo en la varilla pulida, para determinar si esta en los rangos aceptables. Por lo general, mas de un diseño de condiciones de operación son necesarios, antes de seleccionar el óptimo.

La frecuencia natural de vibración de una sarta telescopiada, es ligeramente mayor, a la frecuencia natural de una sarta de igual longitud con diámetro constante. El cociente de estos dos valores, se conoce como factor de frecuencia  $F_c$ , y se expresa por :

$$N_o' = F_c N_o \quad \text{(III-9)}$$

Donde :  $N_o'$  = frecuencia natural de una sarta telescopiada de longitud  $L$ , (E.P.M.)  
 $F_c$  = factor de frecuencia.  
 $N_o$  = frecuencia natural, de una sarta con varillas de un solo diámetro y longitud total  $L$ , (E.P.M.)

Cualquier sarta de diámetro constante, tiene un factor de frecuencia  $F_c$ , igual a la unidad. Para encontrar, las frecuencias de vibración asincronas de una sarta, considere el siguiente ejemplo. Una sarta con longitud de 2000m, y con varillas API No. 64, diámetro de émbolo igual a 1.50 pg, tiene un  $F_c = 1.184$  (ver tabla 4) y le corresponden porcentajes de varilla  $3/4"$ -42.3% ,  $5/8"$ -40.4% y  $1/2"$ -17.3%. Tomando en cuenta que la velocidad del sonido a lo largo de una sarta unida con coples es de 4,968 m/seg, entonces la frecuencia natural de la sarta con diámetro constante, está dada por la ec. II-6 :

$$N_o = 74,695/L \quad \text{.....(II-6)}$$

donde:  $L$  = longitud total de la sarta, en metros

Sustituyendo valores, se obtiene,  $N_o = 74,695/2,000 = 37.3$  E.P.M. Para la sarta telescopiada, la frecuencia es :

$$N_o' = 1.184 \times 37.3 = 44.2 \text{ E.P.M.}$$

Las frecuencias de vibración sincronas de esta sarta son : 44.2, 22.1, 11.05, 5.5, 2.76, etc. y por lo tanto las frecuencias asincronas son: 33.15, 16.57, 8.28, 4.14, etc.

## CAPITULO IV

### MODELO COMPUTARIZADO DEL DISEÑO API DE UNIDADES DE BOMBEO MECANICO

En el método API, se toman en cuenta mucho más variables, que en los métodos convencionales de diseño, debido a esto es más difícil y laborioso hacer los cálculos. Para un ingeniero que no este familiarizado con el API-RP-11L, o con alguien que no lo use frecuentemente, le llevará de 3 a 4 veces, el tiempo necesario en hacer los cálculos del diseño de un método convencional. Aunque el método API, es mucho más aproximado que cualquier otro, hasta cierto punto, la dificultad de los cálculos es una limitación muy grande, e impide que sea utilizado universalmente. Así, el desarrollo de un programa de cómputo, se hace indispensable para resolver este problema.

A la fecha se han desarrollado programas de cómputo, para resolver este problema de diseño. Sin embargo, estos programas no han sido totalmente automatizados, es decir, despues de suministrar al programa los datos iniciales de diseño, es necesario proporcionar posteriormente, datos complementarios obtenidos de gráficas o tablas, para que el programa pueda continuar con el diseño. Aunque este procedimiento evita que el diseñador de instalaciones, realice los cálculos, sin embargo la lectura de datos en las gráficas o tablas, puede ocasionar graves errores de lectura. Los principales problemas para tener un proceso completamente automatizado, de diseño de unidades de bombeo mecánico en una computadora, se pueden resumir en dos : (1) El método API esta formado por 6 familias de curvas, que son la base de los cálculos del diseño, y la lectura de estas gráficas, se proporcionan al programa en forma conversacional ; (2) La obtención del gasto deseado de diseño, es por el método de ensayo y error, debido a que el gasto en la superficie depende del gasto de la bomba subsuperficial, que a su vez es función de la velocidad de bombeo. Un programa de cómputo para diseño de unidades, que evite solicitar lecturas de gráficas, y ademas que requiera la mínima información, es una necesidad imprescindible en la industria petrolera.

#### OBTENCION DE PARAMETROS ADIMENSIONALES (ref. 9)

El diseño API se aplica unicamente a unidades convencionales. Sin embargo, los fabricantes de unidades con geometrías distintas, han modificado los cálculos del método, para hacerlo extensivo a estas unidades. Estas modificaciones han probado estar en concordancia con las mediciones hechas en el campo. En la Fig IV-a, se muestra una hoja de cálculo para el diseño de unidades de bombeo mecánico, con

UNIDADES CONVENCIONALES

$$\begin{aligned}
 \text{PPRL} &= Wrf + (F1/Skr \times Skr) = \underline{\hspace{2cm}} + ( \underline{\hspace{2cm}} \times \underline{\hspace{2cm}} ) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ lb} \\
 \text{MPRL} &= Wrf - (F2/Skr \times Skr) = \underline{\hspace{2cm}} - ( \underline{\hspace{2cm}} \times \underline{\hspace{2cm}} ) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ lb} \\
 \text{CBL} &= 1.06 \times (Wrf + Fo/2) = 1.06 \times ( \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} ) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ lb} \\
 \text{PT} &= 2T/S^2K_r \times Skr \times S/2 \times Ta = \underline{\hspace{2cm}} \times \underline{\hspace{2cm}} \times \underline{\hspace{2cm}} \times \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ lb-pg} \\
 \text{PRHP} &= (F3/Skr) \times Skr \times S \times H \times 2.53 \times 10 = \underline{\hspace{2cm}} \times \underline{\hspace{2cm}} \times \underline{\hspace{2cm}} \times \underline{\hspace{2cm}} \times 2.53 \times 10 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ bp}
 \end{aligned}$$

UNIDADES BALANCEADAS POR AIRE

$$\begin{aligned}
 \text{PPRL} &= Wrf + Fo + .85 \times (F1/Skr \times Skr - Fo) = \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} + .85 \times ( \underline{\hspace{2cm}} \times \underline{\hspace{2cm}} - \underline{\hspace{2cm}} ) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ lb} \\
 \text{MPRL} &= \text{PPRL} - (F1/Skr + F2/Skr) \times Skr = \underline{\hspace{2cm}} - ( \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} ) \times \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ lb} \\
 \text{CBL} &= 1.06 \times (\text{PPRL} + \text{MPRL})/2 = 1.06 \times ( \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} ) / 2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ lb} \\
 \text{PT} &= 2T/S^2K_r \times Skr \times S/2 \times Ta \times .96 = \underline{\hspace{2cm}} \times \underline{\hspace{2cm}} \times \underline{\hspace{2cm}} \times \underline{\hspace{2cm}} \times .96 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ lb-pg}
 \end{aligned}$$

UNIDADES MARK-II

$$\begin{aligned}
 \text{PPRL} &= Wrf + Fo + .75 \times (F1/Skr \times Skr - Fo) = \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} + .75 \times ( \underline{\hspace{2cm}} - \underline{\hspace{2cm}} ) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ lb} \\
 \text{MPRL} &= \text{PPRL} - (F1/Skr + F2/Skr) \times Skr = \underline{\hspace{2cm}} - ( \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} ) \times \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ lb} \\
 \text{CBL} &= 1.04 \times (\text{PPRL} + 1.25 \times \text{MPRL})/2 = 1.04 \times ( \underline{\hspace{2cm}} + 1.25 \times \underline{\hspace{2cm}} ) / 2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ lb} \\
 \text{PT} &= (\text{PPRL} \times .93 - \text{MPRL} \times 1.2) \times S/4 = ( \underline{\hspace{2cm}} \times .93 - \underline{\hspace{2cm}} \times 1.2 ) \times \underline{\hspace{2cm}} / 4 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ lb-pg}
 \end{aligned}$$

Fig. 1V-a

geometrias convencionales, balanceadas por aire y Mark-II. En esta Figura, solo se muestran los calculos de diseño para obtener los valores de PPRL, MPRL, CBE, PT y PRHP. Los calculos de los puntos 1 al 22, son iguales a los mostrados en la hoja de calculo del metodo API de la Tabla 4-a. Los valores de las variables dependientes, se presentan en forma de tablas de datos (Tablas 5 a 10), y se muestran los valores discretizados, de las graficas basicas que da el API. Los valores de las variables adimensionales dependientes (F1/Skr, F2/Skr, F3/Skr, Sp/S, 2T/S<sup>2</sup>kr, Ta), se obtienen para cualquier valor de las variables independientes (N/No, N/No', Fo/Skr), por medio de una triple interpolacion lineal.

En la Figura IV-b, se muestra la forma de realizar una triple interpolacion lineal. El procedimiento, consiste en interpolar dos veces para localizar los puntos Z01 y Z23, y posteriormente utilizando estos dos puntos como apoyo, se interpola para localizar el punto Z.

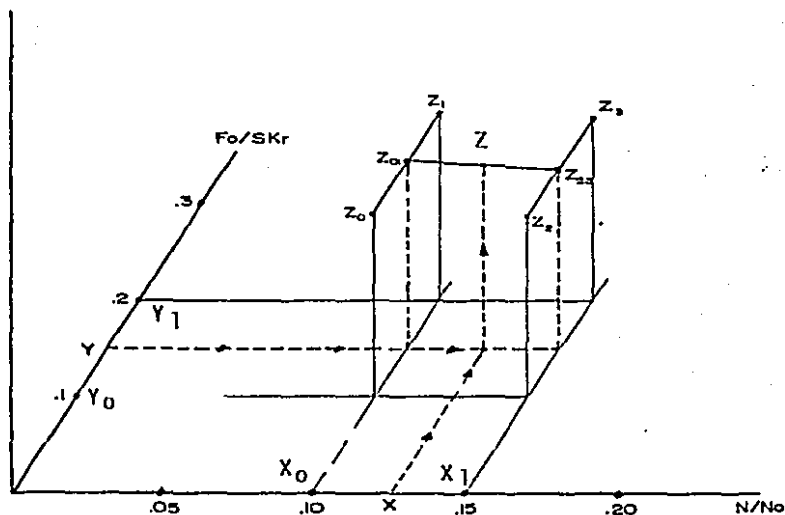


Fig. IV-b

Suponiendo que los valores X y Y sean conocidos, se desea encontrar el valor Z, utilizando interpolaciones lineales. Entonces de acuerdo a la figura IV-b, el valor Z esta dado por:

$$Z = ((Z23-Z01)/(X1-X0)) (X-X0) + Z01 \quad (IV-1)$$

donde:

$$Z23 = ((Z3-Z2)/(Y1-Y0)) (Y-Y0) + Z2$$

$$Z01 = ((Z1-Z0)/(Y1-Y0)) (Y-Y0) + Z0$$

Este procedimiento de interpolación, evita que un programa de cómputo, solicite datos de gráficas, basta con proporcionar los datos de las tablas, y calcular el valor de la variable dependiente correspondiente, por medio de la ecuación IV-1.

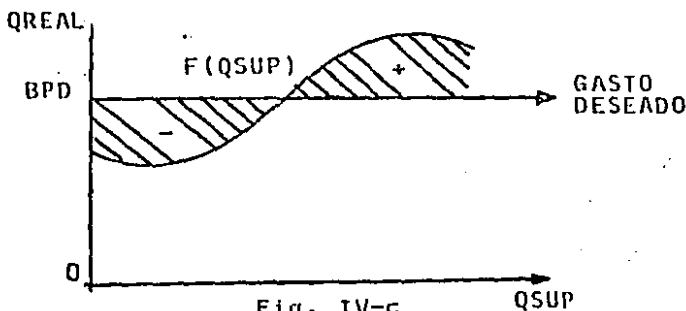


Fig. IV-c

Otro problema que se presenta en el método API, para lograr su automatización, es la obtención del gasto por el método de ensayo y error. El procedimiento consiste en suponer un gasto en la superficie ( esto implica conocer los valores de S, N y área de émbolo ), y calcular el desplazamiento real Sp, en la bomba subsuperficial. Cabe mencionar que Sp/S depende de las variables adimensionales Fo/Skr y N/No'. El procedimiento para obtener el gasto, consiste en multiplicar el factor Sp/S por el gasto supuesto QSUP, para obtener el gasto real QREAL de la bomba subsuperficial.

$$QREAL = QSUP (Sp/S)$$

En caso que QREAL sea diferente al gasto deseado, debe suponerse otro gasto las veces necesarias, hasta encontrar el gasto deseado. En términos generales, se puede definir una función de la siguiente manera :

$$QREAL = F(QSUP) \dots\dots\dots(IV-2)$$

Esta última expresión, indica que el gasto real es una función del gasto superficial (ver Fig. IV-c). Suponiendo que BPD denota el gasto deseado de diseño, se define una función llamada de trabajo y denotada por FX, como la diferencia del gasto real menos el gasto deseado de diseño, la función tiene la expresión siguiente :

$$FX = QREAL - BPD$$

$$FX = F(QSUP) - BPD \dots\dots\dots(IV-3)$$

La función FX, depende del gasto supuesto QSUP, y sus valores corresponden al área achurada de la figura IV-c.

La función FX de trabajo, se anula cuando el gasto real es igual al gasto supuesto de diseño, es decir en este punto se cumple lo siguiente:

$$FX = 0 \quad \Rightarrow \quad F(QSUP) = BPD$$

Este resultado indica que el QSUP tal que  $FX = 0$ , es el gasto en la superficie, que provocaría un gasto en la bomba subsuperficial igual al gasto deseado BPD. El problema de encontrar el gasto deseado, se reduce a encontrar la raíz de la función FX, definida por la ecuación IV-3.

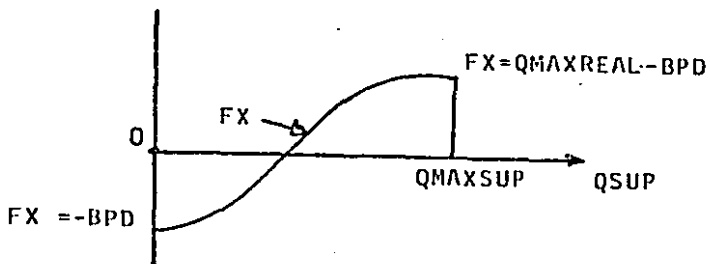


Fig. IV-d

El método mas apropiado, para encontrar la raíz de la función FX, es el de la secante. Este método no requiere del conocimiento previo, de la derivada explícita de la función FX. Sin embargo, el método necesita conocer el intervalo en el cuál la función tiene al menos una raíz, esto significa tener un rango de gastos supuestos, en los que se puede encontrar el gasto deseado de diseño. El menor gasto supuesto es cero, en este punto la función FX es igual a  $-BPD$ . Por otro lado, el mayor gasto que se puede suponer ( $QMAXSUP$ ), esta limitado por el método API, este valor se define como el máximo gasto que puede obtenerse, sin que el parámetro  $N/No'$  exceda a 0.6. Las gráficas del API, tienen un valor máximo de 0.6 en el parámetro  $N/No'$ . El máximo gasto supuesto, debe ser a una velocidad adimensional dada por la expresión siguiente :

$$N/No' = 0.6$$

Para un valor de  $N/No' > 0.6$ , el método API no es aplicable. Sustituyendo la expresión III-7, en la ecuación anterior, se tiene:

$$q = 0.6 No' (0.1166 S D^2)$$

Sustituyendo el valor de  $No' = Fc \ 245,000/L$ , en la expresión anterior se tiene :

$$q = QMAXSUP = 0.6(0.1166 S D^2 245,000 Fc)/L \dots(IV-4)$$

Esta última expresión, da el máximo gasto que se puede suponer (QMAXSUP), el correspondiente gasto real es QMAXREAL. Por lo tanto, el valor de la función en el punto Qmaxsup es  $FX = QMAXREAL-BPD$ . El método de la secante, utilizado para encontrar la raíz de la función FX, se explica en el apéndice B. Finalmente si QMAXREAL, es mayor que BPD el método API tampoco es aplicable, para el correspondiente gasto deseado de diseño BPD.

La constante elástica  $Er$ , de una sarta de varillas telescopiadas se obtiene utilizando la ley de Hooke y esta definida por la expresión:

$$Er = 0.0000004968(L1/D1^2 + L2/D2^2 + \dots + Ln/Dn^2)$$

Donde:

$Er$  = constante elástica de la sarta, (pg/Lb-pie).  
 $Dn$  = diámetro de la n-sima sarta, (pg).  
 $Ln$  = longitud de la n-sima sarta, (pie).  
 $L = L1 + L2 + \dots + Ln$  = longitud total de la sarta, (pie).

El peso de la sarta de varillas en el aire ( $Wr$ ), es una propiedad importante en cualquier diseño, y esta expresado por la siguiente ecuación :

$$Wr = 2.905(L1xD1^2 + L2xD2^2 + \dots + LnxDn^2)$$

Donde:

$Wr$  = peso de la sarta de varillas en el aire, (Lb).  
 $Dn$  = diámetro de la n-sima sarta, (pg).  
 $Ln$  = longitud de la n-sima sarta, (pie).  
 $L$  = longitud total de las sarta, (pie).

El resto de las propiedades de las varillas se obtienen de la tabla 4, estas son: área de émbolo, factor de frecuencia y porcentaje de las varillas.

La potencia hidráulica (HP), necesaria para producir un pozo de profundidad L y con gasto Q, viene dada por la expresión siguiente:

$$HP = q \times L \times F / 56,000$$

Donde:

HP = potencia hidráulica, (hp).

q = Gasto, (Bls/día).  
L = profundidad de la bomba, (pie).  
F = factor que depende del tipo de motor  
usado (1 = motor estandar, 1.24 = motor  
multicilíndrico)

PROGRAMA DE COMPUTO.(ref. 10)

Se desarrollo un programa de cómputo en lenguaje BASIC, que realiza el diseño de unidades de bombeo mecánico, en forma automatizada. Dicho programa lleva a cabo los diseños, tomando los datos de los renglones de la tabla 4, correspondientes a los valores de área de émbolo, factor de frecuencia y porcentaje de varillas. Estos datos, se leen del archivo interno llamado VARWR.RAN. Adicionalmente a estos datos, la información necesaria para efectuar los diseños es la siguiente:

Nombre del pozo.  
Gasto deseado, (Bls/día).  
Profundidad de la bomba, (pie).  
Densidad del fluido (agua = 1).  
Carrera de la unidad superficial, (pg).  
Torsión máxima en la unidad superficial, (Lb-pg).  
Carga máxima en la varilla pulida, (Lb).  
Geometría de la unidad (1=conv., 2=aerobal., 3=Mark-II)  
TP anclada ? ( 0 = si, 1 = no).  
tipo de motor ( 0 = estándar, 1 = multicilíndrico).  
Factor de servicio de las varillas (adim.)  
Límite de elasticidad de las varillas, (Lb/pg<sup>2</sup>).  
Tubería de producción, D.E. y D.I. (pg).

Con estos datos proporcionados por el usuario, la información contenida en el archivo interno VARWR.RAN, interpolaciones, obtención del gasto deseado por el método de la secante, y calculos necesarios para obtener las variable independientes primero, y después la dependientes, el programa realiza 191 diseños. Este número, corresponde a los renglones de la tabla 4. De estos 191 diseños,



habrá una cantidad de los mismos que no pueden realizarse, debido a las siguientes razones:

- Fuera del rango de aplicación del método API.
- Excede la carga máxima de la unidad superficial.
- Excede el torque máximo de la unidad superficial.
- Excede el esfuerzo máximo permisible en la v.p.

En la tabla 4, están contenidos los diámetros de émbolo existentes en el mercado (1.01", 1.25", 1.50", 1.75", 2.00", 2.25", 2.50", 2.75", 3.25" y 4.75"), y también los diámetros de varilla fabricadas (1-1/4", 1-1/8", 1", 7/8", 3/4", 5/8" y 1/2"). Por lo tanto, los diseños realizados por el programa, son todos los diseños posibles que se pueden obtener por el método API, para las condiciones especificadas de operación, que se proporcionaron al programa. Es importante señalar que el gasto, área de émbolo y carrera, definen la velocidad de bombeo. En el campo, la velocidad de bombeo es el parámetro más fácil de modificar, en la instalación superficial.

#### INDICE DE OPTIMIZACION.(ref. 9)

Para condiciones de operación específicas, existe un gran número de diseños, que cumplen con las recomendaciones del API. Al tener diferentes opciones de diseño, se presenta el problema de encontrar la mejor opción. Para resolver este problema, es necesario contar con un parámetro, que considere las condiciones de operación más importantes, y que permita la selección del mejor diseño. Este parámetro se define como índice de optimización, y se expresa de la manera siguiente:

$$\text{INDICE} = \text{BPD} / (\text{ADSTS} \times \text{ADSL} \times \text{ADTOR} \times \text{ADHP})$$

Donde:

- INDICE = índice de optimización, (Bls/día).
- BPD = gasto, (Bls/día).
- ADSTS = esfuerzo máximo adimensional definido como ( = esf.máx./esf.máx.perm.)
- ADSL = rango de esfuerzos adimensional definido como ( = (esf.máx.-esf.mín.)/(esf.máx.perm.-esf.mín.)).
- ADTOR = torque adimensional, ( = torsión máxima / torsión de la unidad superficial)
- ADHP = potencia adimensional ( = potencia en la v.p. /potencia hdca.)

El índice se define de esta manera, porque lo deseable en un diseño es obtener un máximo gasto, a un mínimo esfuerzo en la varilla pulida, mínimo rango de esfuerzos, mínimo torque en la manivela y

potencia mínima. Con esta definición del índice, en término de variables adimensionales, se obtiene la ventaja de tomar en cuenta un número indefinido de condiciones de operación, y de esta manera poder tener un parámetro que indique la mejor opción de diseño. Notese que el índice mayor, corresponde a la mejor opción de diseño, para las condiciones de operación especificadas.

En la Tabla 10-a, se muestra el resultado del programa de cómputo, en donde los parámetros subrayados, corresponden a los datos de entrada. Al final del listado se muestran las 10 mejores opciones de diseño, clasificadas de acuerdo al valor del índice de optimización. En las opciones de diseño, también se muestra el tiempo necesario para que la unidad, llegue a las 10 millones de emboladas.

Las geometrías de las unidades superficiales, tienen una apreciable influencia en las condiciones de operación, de un sistema de bombeo mecánico. En las Tablas 10-b, 10-c y 10-d se muestran los diseños de las tres geometrías existentes en el mercado, para las mismas condiciones de operación. El arreglo de varillas 1-1/4", 1-1/8", 1" y 7/8" asociado con un diámetro de émbolo igual a 1.75", es el que presenta el mayor valor de índice. La geometría de la unidad Mark-II, es la que presenta el mayor valor de índice de las tres geometrías, siguiendo en segundo lugar, la unidad aerobalanceada y finalmente la unidad convencional. Es importante señalar, que el mismo arreglo de varillas-bomba, presenta en las tres geometrías consideradas, el mayor valor de índice respectivamente, y por lo tanto es la mejor opción en las geometrías. Notese que la velocidad de bombeo es la misma en los tres casos.

#### DISEÑOS CON RESTRICCIONES.

Todo el sistema de bombeo mecánico, se puede considerar como un sistema de restricciones y cualidades. Una restricción es una limitación física, mientras que una cualidad es un parámetro de operación, que resulta de la restricción del sistema. La restricción se establece como condición previa al diseño, y debe ser respetada siempre, por las cualidades, en cualquier punto del diseño. En la figura IV-g, se muestra un esquema del procedimiento, de diseño de unidades de bombeo mecánico.

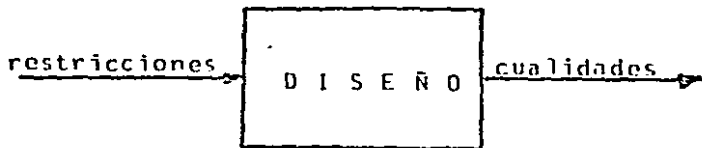


Fig. IV-g

La finalidad del diseño es encontrar las cualidades de operación, para que el mismo sea económico, y tenga una larga vida de operación.

TABLA 10 - a

POZO: poza rica 322

Gasto = 140 Bls/Dia FLUIDO de 1.00 gr/cc Prof. bomba = 8,200 pie IP AKIADA

RESTRICCIONES DE LA UNIDAD SUPERFICIAL tipo CONVENCIONAL

torsion max. = 640,000 lb-pg Carga max. = 30,500 lb Carrera = 144 pg

RESTRICCIONES DE LAS VARILLAS

limite de elasticidad = 115,000 lb/pg<sup>2</sup> Fact. Servicio = 0.70

OPCION # 1

Gasto real = 140 Bls/Dia la unidad dara 10,000,000 de emboladas en 2.3 años ( 1 año = 4,350,948 emboladas )

H = 8 e.p.m. Area embolo = 1.01 pg No. Var API = 96 Factor Frec. = 1.222 Esfuerzo permisible = 25,333 psi  
 Varillas : 1 1/8 pg ( 19.1 %) 1 pg ( 19.2 %) 7/8 pg ( 19.5 %) 3/4 pg ( 42.3 %)   
 PPEL = 25,070 lb NPEL = 13,143 lb PI = 543,997 lb-pg CBL = 19,775 lb esf.max = 25,241 psi esf.min = 13,228 psi  
 PESP = 14 h.p. Potencia hidr. = 40 h.p. indice de optimizacion = 462

OPCION # 2

Gasto real = 140 Bls/Dia la unidad dara 10,000,000 de emboladas en 3.2 años ( 1 año = 3,136,612 emboladas )

H = 6 e.p.m. Area embolo = 1.25 pg No. Var API = 96 Factor Frec. = 1.224 Esfuerzo permisible = 25,954 psi  
 Varillas : 1 1/8 pg ( 20.5 %) 1 pg ( 20.5 %) 7/8 pg ( 20.7 %) 3/4 pg ( 39.3 %)   
 PPEL = 25,412 lb NPEL = 14,716 lb PI = 521,251 lb-pg CBL = 20,971 lb esf.max = 25,565 psi esf.min = 14,604 psi  
 PESP = 11 h.p. Potencia hidr. = 37 h.p. indice de optimizacion = 576

OPCION # 3

Gasto real = 140 Bls/Dia la unidad dara 10,000,000 de emboladas en 3.3 años ( 1 año = 3,061,033 emboladas )

H = 6 e.p.m. Area embolo = 1.25 pg No. Var API = 107 Factor Frec. = 1.169 Esfuerzo permisible = 26,106 psi  
 Varillas : 1 1/4 pg ( 17.9 %) 1 1/8 pg ( 17.8 %) 1 pg ( 18.0 %) 7/8 pg ( 46.3 %)   
 PPEL = 30,263 lb NPEL = 18,638 lb PI = 531,046 lb-pg CBL = 25,442 lb esf.max = 24,660 psi esf.min = 15,190 psi  
 PESP = 12 h.p. Potencia hidr. = 38 h.p. indice de optimizacion = 598

LAS MEJORES OPCIONES SON:

opcion # 1 indice 598

H = 6 e.p.m. Area embolo = 1.25 pg No. Var API = 107 Factor Frec. = 1.169 Esfuerzo permisible = 26,106 psi  
 Varillas : 1 1/4 pg ( 17.9 %) 1 1/8 pg ( 17.8 %) 1 pg ( 18.0 %) 7/8 pg ( 46.3 %)   
 PPEL = 30,263 lb NPEL = 18,638 lb PI = 531,046 lb-pg CBL = 25,442 lb esf.max = 24,660 psi esf.min = 15,190 psi  
 PESP = 12 h.p. Potencia hidr. = 38 h.p.

opcion # 2 indice 576

H = 6 e.p.m. Area embolo = 1.25 pg No. Var API = 96 Factor Frec. = 1.224 Esfuerzo permisible = 25,954 psi  
 Varillas : 1 1/8 pg ( 20.5 %) 1 pg ( 20.5 %) 7/8 pg ( 20.7 %) 3/4 pg ( 39.3 %)   
 PPEL = 25,412 lb NPEL = 14,716 lb PI = 521,251 lb-pg CBL = 20,971 lb esf.max = 25,565 psi esf.min = 14,604 psi  
 PESP = 11 h.p. Potencia hidr. = 37 h.p.

opcion # 3 indice 462

H = 8 e.p.m. Area embolo = 1.01 pg No. Var API = 96 Factor Frec. = 1.222 Esfuerzo permisible = 25,333 psi  
 Varillas : 1 1/8 pg ( 19.1 %) 1 pg ( 19.2 %) 7/8 pg ( 19.5 %) 3/4 pg ( 42.3 %)   
 PPEL = 25,070 lb NPEL = 13,143 lb PI = 543,997 lb-pg CBL = 19,775 lb esf.max = 25,241 psi esf.min = 13,228 psi  
 PESP = 14 h.p. Potencia hidr. = 40 h.p.

TAMA 10 - b

POIG: POZA RICA 196

Gasto = 175 Bts/Día FLUIDO de 1.03 gr/cc Prof. Bocha = 6,500 pie TP AXLADA

RESTRICCIONES DE LA UNIDAD SUPERFICIAL tipo CONVENCIONAL

torsion max. = 640,000 lb-pg Carga max. = 42,700 lb Carrera = 144 pg

RESTRICCIONES DE LAS VARILLAS

Límite de elasticidad = 115,000 lb/pg<sup>2</sup> Fact. Servicio = 0.70

II	Ap	PPFL	MPFL	PI	(R)	estper	estmax	estmin	PPSP	HP	ans	INDICE	VARILLAS diametro (porcentaje)
1	10	1.01	17,823	7,026	451,996	12,627	23,647	22,693	8,945	16	41	1.9	720 1 ( 22.2%) / 7/8 ( 22.4%) / 3/4 ( 22.4%) / 5/8 ( 33.0%),
2	7	1.25	17,745	8,647	409,853	13,627	24,460	22,591	11,010	12	37	2.6	1,093 1 ( 23.9%) / 7/8 ( 24.2%) / 3/4 ( 24.3%) / 5/8 ( 27.6%),
3	5	1.50	19,652	9,836	429,376	15,035	25,056	21,259	12,524	10	35	3.5	1,046 1 ( 26.7%) / 7/8 ( 27.4%) / 3/4 ( 26.8%) / 5/8 ( 19.2%),
4	7	1.25	18,593	9,333	424,211	14,535	24,832	21,051	11,977	12	37	2.6	896 1 ( 24.3%) / 7/8 ( 24.5%) / 3/4 ( 31.2%),
5	5	1.50	19,737	10,330	434,482	15,609	25,334	25,129	13,152	10	35	3.6	952 1 ( 26.6%) / 7/8 ( 27.0%) / 3/4 ( 46.3%),
6	10	1.01	21,703	9,112	534,340	15,667	23,735	22,116	9,167	17	43	1.9	610 1-1/8 ( 19.1%), 1 ( 19.2%) / 7/8 ( 19.5%) / 3/4 ( 42.3%),
7	7	1.25	21,225	11,135	456,654	16,115	24,536	21,353	11,202	13	39	2.7	1,116 1-1/8 ( 20.5%), 1 ( 20.5%) / 7/8 ( 20.7%) / 3/4 ( 38.3%),
8	5	1.50	22,110	12,392	455,171	17,892	25,034	22,343	12,467	10	35	3.6	1,267 1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%) / 7/8 ( 22.8%) / 3/4 ( 32.3%),
9	4	1.75	24,077	13,553	518,385	19,442	25,415	24,222	15,431	9	35	4.7	963 1-1/8 ( 24.8%), 1 ( 25.1%) / 7/8 ( 25.1%) / 3/4 ( 25.1%),
10	7	1.25	23,054	12,255	490,947	18,040	24,930	23,194	12,329	13	39	2.7	845 1-1/8 ( 20.8%), 1 ( 21.2%) / 7/8 ( 21.0%),
11	5	1.50	23,471	13,413	465,053	19,077	25,433	23,613	13,494	10	36	3.7	1,075 1-1/8 ( 22.5%), 1 ( 23.0%) / 7/8 ( 23.0%),
12	4	1.75	24,391	14,122	520,453	20,233	25,719	25,142	14,739	9	34	4.8	863 1-1/8 ( 24.5%), 1 ( 25.0%) / 7/8 ( 25.0%),
13	7	1.25	25,432	14,054	530,436	20,157	24,635	20,727	11,454	13	39	2.7	1,030 1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.6%), 1 ( 18.0%) / 7/8 ( 46.3%),
14	5	1.50	25,844	15,475	485,127	21,365	25,091	21,063	12,612	10	36	3.7	1,435 1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%) / 7/8 ( 41.9%),
15	5	1.50	26,016	16,437	484,655	21,536	26,240	26,174	15,557	10	36	3.8	799 1-1/8 ( 23.8%), 1 ( 76.2%),
16	4	1.75	27,536	18,449	537,309	22,792	25,434	22,417	13,486	9	34	4.9	1,198 1-1/4 ( 21.0%), 1-1/8 ( 21.0%), 1 ( 21.2%) / 7/8 ( 36.9%),
17	3	2.00	29,742	17,097	621,721	24,363	25,612	24,240	13,955	9	34	6.0	805 1-1/4 ( 22.7%), 1-1/8 ( 22.8%), 1 ( 25.1%) / 7/8 ( 31.4%),
18	7	1.25	27,931	15,001	579,712	22,103	25,131	22,742	12,715	14	39	2.0	744 1-1/4 ( 18.1%), 1-1/8 ( 18.6%), 1 ( 63.2%),
19	5	1.50	27,425	16,995	580,067	23,128	25,579	22,666	13,651	11	36	3.8	1,133 1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.3%), 1 ( 48.7%),
20	4	1.75	29,120	17,831	541,699	24,307	25,847	25,732	14,532	9	34	5.0	1,057 1-1/4 ( 20.9%), 1-1/8 ( 21.4%), 1 ( 57.7%),
21	3	2.00	31,040	19,202	628,263	25,641	25,992	25,391	14,933	9	34	6.2	752 1-1/4 ( 22.6%), 1-1/8 ( 23.0%), 1 ( 54.3%),
22	5	1.50	31,160	19,587	552,123	26,035	26,431	25,347	15,939	11	37	3.9	774 1-1/4 ( 20.7%), 1-1/8 ( 19.3%),
23	4	1.75	31,993	20,358	553,195	27,059	26,659	26,074	16,591	9	35	5.1	837 1-1/4 ( 22.1%), 1-1/8 ( 77.9%),

LAS MEJORES OPCIONES SON:

INDICE	II	Ap	PPFL	MPFL	PI	(R)	estper	estmax	estmin	PPSP	HP	VARILLAS diametro (porcentaje)	
1	1,403	5	1.50	25,844	15,475	485,127	21,365	25,091	21,063	12,612	10	36	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%) / 7/8 ( 41.9%),
1	1,267	5	1.50	22,110	12,392	455,171	17,892	25,034	22,343	12,467	10	35	1-1/4 ( 22.4%), 1 ( 22.5%) / 7/8 ( 22.8%) / 3/4 ( 32.3%),
3	1,198	4	1.75	27,536	18,449	537,309	22,792	25,434	22,417	13,486	9	34	1-1/4 ( 21.0%), 1-1/8 ( 21.0%), 1 ( 21.2%) / 7/8 ( 36.9%),
4	1,133	5	1.50	27,835	16,995	520,067	23,128	25,579	22,666	13,651	11	36	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.3%), 1 ( 48.7%),
5	1,116	7	1.25	21,225	11,135	456,654	16,115	24,536	21,353	11,202	13	39	1-1/8 ( 20.5%), 1 ( 20.5%) / 7/8 ( 20.7%) / 3/4 ( 38.3%),
6	1,093	7	1.25	17,745	8,647	409,853	13,627	24,460	22,591	11,010	12	37	1 ( 23.9%) / 7/8 ( 24.2%) / 3/4 ( 24.3%) / 5/8 ( 27.6%),
7	1,075	5	1.50	24,471	13,413	465,053	19,077	25,433	23,613	13,494	10	36	1-1/8 ( 22.5%), 1 ( 23.0%) / 7/8 ( 23.0%),
8	1,057	4	1.75	29,120	17,831	541,699	24,307	25,847	25,732	14,532	9	34	1-1/4 ( 20.9%), 1-1/8 ( 21.4%), 1 ( 57.7%),
9	1,046	5	1.50	19,652	9,836	429,376	15,035	25,056	21,259	12,524	10	35	1 ( 26.7%) / 7/8 ( 27.4%) / 3/4 ( 26.8%) / 5/8 ( 19.2%),
10	1,030	7	1.25	25,432	14,054	530,436	20,157	24,635	20,727	11,454	13	39	1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.6%), 1 ( 18.0%) / 7/8 ( 46.3%),

- Eliminados por no encontrar gasto ( 0 %)
- Eliminados por no cumplir EPI ( 20 %)
- Eliminados por exceder Carga max ( 6 %)
- Eliminados por exceder MÓDULO DE ELASTICIDAD ( 22 %)
- Eliminados por exceder ESF MÓDULO DE ELASTICIDAD ( 40 %)

Total eliminados 89 % Total opciones 12 %

TABLA 10 - c

FOZO: FOZA FICHA 196

Gasto = 175 Bts/Dia FLUIDO de 1.00 gr/cc Prof. Licda = 6,568 pie TP ANCLADA

RESTRICCIONES DE LA UNIDAD SUPERFICIAL tipo GALATEADA POR AIRE

torsion max. = 640,000 lb-pg Carga max. = 42,700 lb Carrera = 144 pg

RESTRICCIONES DE LAS VARILLAS

Limite de elasticidad = 115,000 lb/pg<sup>2</sup> Fact. Servicio = 0.70

N	Ap	PFPL	MFPL	PT	CEL	esiper	esimax	esifon	FPFP	HP	INDICE	VARILLAS diametro (porcentaje)
1	10	1.01	17,107	8,310	433,916	12,411	23,733	21,732	6,054	16	41	799 1 ( 22.25), 7/8 ( 22.47), 3/4 ( 22.41), 5/8 ( 35.03),
2	7	1.25	17,271	8,176	393,459	13,497	24,224	21,950	10,410	12	37	1,190 1 ( 25.92), 7/8 ( 24.77), 3/4 ( 24.33), 5/8 ( 27.65),
3	5	1.52	18,470	9,432	412,631	14,736	24,677	23,337	12,075	10	35	1,120 1 ( 26.75), 7/8 ( 27.45), 3/4 ( 26.85), 5/8 ( 19.25),
4	7	1.25	19,370	8,609	401,165	14,425	24,541	23,538	11,216	12	37	979 1 ( 24.34), 7/8 ( 24.57), 3/4 ( 51.29),
5	5	1.50	19,361	9,955	417,036	15,537	25,116	24,652	13,675	10	35	1,027 1 ( 26.85), 7/8 ( 27.87), 3/4 ( 46.35),
6	10	1.01	21,074	8,202	522,526	15,516	23,574	21,381	8,252	17	43	1,677 1-1/8 ( 19.12), 1 ( 19.23), 7/8 ( 19.55), 3/4 ( 42.31),
7	7	1.25	20,654	10,564	432,523	16,545	24,310	20,779	10,627	13	39	1,214 1-1/8 ( 20.52), 1 ( 20.52), 7/8 ( 20.74), 3/4 ( 38.34),
8	5	1.50	21,701	11,524	436,765	17,653	24,872	21,632	12,657	10	35	1,363 1-1/8 ( 22.42), 1 ( 22.50), 7/8 ( 22.61), 3/4 ( 32.51),
9	4	1.75	23,729	13,633	437,573	19,467	25,276	23,872	13,031	9	35	1,433 1-1/8 ( 24.83), 1 ( 25.15), 7/8 ( 25.12), 3/4 ( 25.15),
10	10	1.01	23,501	9,076	574,531	17,171	25,728	23,442	9,151	18	44	1,979 1-1/8 ( 19.47), 1 ( 20.02), 7/8 ( 69.32),
11	7	1.25	22,411	11,611	471,539	18,032	24,725	22,526	11,691	15	39	1,724 1-1/8 ( 20.81), 1 ( 21.25), 7/8 ( 53.05),
12	5	1.50	23,627	12,963	446,451	19,077	25,262	23,166	13,646	10	35	1,159 1-1/8 ( 22.55), 1 ( 23.02), 7/8 ( 54.55),
13	4	1.75	24,625	13,756	499,626	20,742	24,773	24,773	15,839	9	34	1,438 1-1/8 ( 24.55), 1 ( 25.07), 7/8 ( 50.45),
14	10	1.01	25,766	10,487	638,865	19,173	23,455	20,959	6,483	20	45	1,549 1-1/4 ( 16.92), 1-1/8 ( 16.82), 1 ( 17.12), 7/8 ( 49.15),
15	7	1.25	24,721	13,353	503,219	20,185	24,410	20,156	10,333	15	39	1,122 1-1/4 ( 17.57), 1-1/8 ( 17.81), 1 ( 18.35), 7/8 ( 46.35),
16	7	1.25	25,307	13,515	524,841	20,576	25,479	25,459	13,597	14	39	1,614 1-1/8 ( 22.27), 1 ( 22.67),
17	5	1.50	25,367	14,993	485,722	21,394	24,933	23,674	12,224	10	35	1,507 1-1/4 ( 19.45), 1-1/8 ( 19.25), 1 ( 19.55), 7/8 ( 41.95),
18	5	1.50	25,517	14,937	455,250	21,341	24,642	25,671	15,027	10	35	826 1-1/8 ( 25.67), 1 ( 26.25),
19	4	1.75	27,117	16,661	515,817	22,635	25,279	22,181	12,030	9	34	1,253 1-1/4 ( 21.85), 1-1/8 ( 21.05), 1 ( 21.25), 7/8 ( 36.97),
20	3	2.03	29,397	16,754	596,852	24,450	25,502	23,959	13,655	9	34	879 1-1/4 ( 22.77), 1-1/8 ( 22.82), 1 ( 25.15), 7/8 ( 31.45),
21	7	1.25	27,109	14,685	534,534	22,214	24,676	22,936	12,066	14	39	2,015 1-1/4 ( 18.17), 1-1/8 ( 18.65), 1 ( 63.25),
22	5	1.50	27,307	16,469	468,065	22,410	22,257	13,422	11	36	3,8	1,221 1-1/4 ( 19.47), 1-1/8 ( 19.55), 1 ( 66.72),
23	4	1.75	28,704	17,415	520,831	24,445	25,715	23,793	14,193	9	34	1,151 1-1/4 ( 20.95), 1-1/8 ( 21.45), 1 ( 57.72),
24	3	2.03	30,485	17,423	483,152	25,762	25,877	25,673	14,607	9	34	1,602 1-1/4 ( 22.65), 1-1/8 ( 23.85), 1 ( 54.38),
25	7	1.25	30,669	17,233	621,059	25,370	25,614	24,924	11,013	15	40	533 1-1/4 ( 19.45), 1-1/8 ( 68.45),
26	5	1.50	30,495	18,953	530,059	26,289	26,207	24,654	15,446	11	37	839 1-1/4 ( 20.71), 1-1/8 ( 79.32),
27	4	1.75	31,537	19,732	531,053	27,362	26,512	26,762	16,220	9	35	699 1-1/4 ( 22.15), 1-1/8 ( 77.95),

LAS MEJORES OPCIONES SON:

INDICE	N	Ap	PFPL	MFPL	PT	CEL	esiper	esimax	esifon	FPFP	HP	VARILLAS diametro (porcentaje)
1	1,507	5	1.50	25,367	14,993	465,722	21,394	24,933	20,674	12,224	10	36 1-1/4 ( 19.45), 1-1/8 ( 19.25), 1 ( 19.55), 7/8 ( 41.95),
2	1,363	5	1.50	21,701	11,524	436,765	17,653	24,872	12,657	10	35 1-1/8 ( 22.42), 1 ( 22.50), 7/8 ( 22.61), 3/4 ( 32.51),	
3	1,220	4	1.75	27,117	16,661	515,817	22,635	25,279	22,181	13,030	9	34 1-1/4 ( 21.85), 1-1/8 ( 21.05), 1 ( 21.25), 7/8 ( 36.97),
4	1,221	5	1.50	27,307	16,469	468,065	22,410	22,257	13,422	11	36 1-1/4 ( 19.45), 1-1/8 ( 19.25), 1 ( 69.72),	
5	1,214	7	1.25	22,411	11,611	471,539	18,032	24,724	21,590	10,410	12	37 1 ( 25.92), 7/8 ( 24.77), 3/4 ( 24.33), 5/8 ( 27.65),
6	1,192	7	1.25	17,271	8,176	393,459	13,497	24,224	21,950	10,410	12	37 1 ( 25.92), 7/8 ( 24.77), 3/4 ( 24.33), 5/8 ( 27.65),
7	1,159	5	1.50	23,627	12,963	446,451	19,077	25,262	23,166	13,646	10	36 1-1/8 ( 22.55), 1 ( 23.02), 7/8 ( 54.55),
8	1,131	4	1.75	28,704	17,415	520,831	24,445	25,715	23,793	14,193	9	34 1-1/4 ( 20.95), 1-1/8 ( 21.45), 1 ( 57.72),
9	1,126	5	1.50	19,676	9,432	412,701	14,736	24,677	23,337	12,075	10	35 1 ( 26.75), 7/8 ( 27.45), 3/4 ( 26.85), 5/8 ( 19.25),
10	1,122	7	1.25	24,721	13,353	503,219	20,185	24,410	20,156	10,333	15	39 1-1/4 ( 17.97), 1-1/8 ( 17.81), 1 ( 18.35), 7/8 ( 46.35),

- Eliminados por no encontrar gasto ( 0 )
- Eliminados por no cumplir API ( 20 )
- Eliminados por exceder Carga Max ( 6 )
- Eliminados por exceder H2S-MAX ( 17 )
- Eliminados por exceder ESF MAX VAR ( 43 )

Total eliminados 86 % Total opciones 14 2

TABLA 10 - d

POZO: POZA RICA 196

Gasto = 175 Dls/Dia FLUIDO de 1.00 gr/cc Prof. Borha = 6,560 pie TP HCLADA

RESTRICCIONES DE LA UNIDAD SUPERFICIAL tipo MAX II

tension max. = 640,030 lb-pg Carga max. = 42,700 Lb Carrera = 144 pg

RESTRICCIONES DE LAS VARILLAS

Limite de elasticidad = 115,000 lb/pg<sup>2</sup> Fact. Servicio = 0.70

N	Ap	FPFL	MPFL	FT	CEL	esfmax	esfmin	FPSP	IP	ans	INDICE	VARILLAS diametro (porcentaje)	
1	10	1.01	16,630	5,832	321,617	12,439	23,849	21,174	7,426	13	33	1.9	1,165 1 (22.24), 7/8 (23.44), 3/4 (22.44), 5/8 (33.04),
2	7	1.25	16,957	7,861	228,109	13,927	24,026	21,559	10,009	9	20	2.6	2,115 1 (23.94), 7/8 (24.25), 3/4 (24.55), 5/8 (27.65),
3	5	1.50	18,482	9,295	218,670	15,610	24,261	22,007	11,775	8	28	3.5	2,171 1 (26.74), 7/8 (27.44), 3/4 (26.85), 5/8 (19.22),
4	10	1.01	18,164	6,350	333,119	13,522	25,295	23,051	8,036	13	33	1.9	850 1 (22.63), 7/8 (23.03), 3/4 (24.34),
5	7	1.25	18,024	8,463	237,895	14,875	24,363	22,249	10,775	10	30	2.6	1,733 1 (24.34), 7/8 (24.55), 3/4 (24.24),
6	5	1.50	19,111	9,734	220,611	16,236	24,950	24,353	12,356	8	28	3.6	1,923 1 (26.85), 7/8 (27.67), 3/4 (26.34),
7	10	1.01	20,467	7,956	367,105	15,550	25,154	28,591	7,641	14	34	1.9	1,035 1-1/8 (19.15), 1 (19.24), 7/8 (19.54), 3/4 (42.35),
8	7	1.25	20,273	10,185	238,848	17,161	24,159	20,796	10,244	10	30	2.7	2,296 1-1/8 (20.55), 1 (20.55), 7/8 (20.71), 3/4 (38.32),
9	5	1.50	21,429	11,712	211,492	18,756	24,764	21,529	11,703	8	28	3.6	2,676 1-1/8 (22.45), 1 (22.55), 7/8 (22.81), 3/4 (32.33),
10	4	1.75	22,497	12,771	224,930	20,519	25,184	25,639	12,819	7	28	4.7	2,198 1-1/8 (24.84), 1 (25.15), 7/8 (25.17), 3/4 (25.12),
11	10	1.01	22,636	8,491	393,943	17,216	23,957	22,745	8,452	15	35	1.9	732 1-1/8 (19.65), 1 (20.05), 7/8 (20.35),
12	7	1.25	21,901	11,152	252,666	18,699	24,555	22,114	11,250	10	31	2.7	1,778 1-1/8 (20.83), 1 (21.21), 7/8 (20.85),
13	5	1.50	22,730	12,672	213,599	20,076	25,145	22,867	12,748	8	28	3.7	2,479 1-1/8 (22.55), 1 (23.04), 7/8 (24.54),
14	4	1.75	24,381	13,512	232,537	21,461	25,478	24,528	13,594	7	28	4.8	2,071 1-1/8 (24.55), 1 (25.04), 7/8 (25.44),
15	10	1.01	25,034	9,647	420,395	19,232	23,251	20,378	7,682	16	36	1.9	657 1-1/8 (16.92), 1-1/8 (16.83), 1 (17.15), 7/8 (49.15),
16	7	1.25	24,264	12,636	255,670	20,593	24,260	19,775	10,552	11	31	2.7	2,392 1-1/8 (17.92), 1-1/8 (17.83), 1 (18.04), 7/8 (46.34),
17	7	1.25	24,610	13,018	268,237	21,263	25,252	24,959	13,097	11	31	2.8	1,243 1-1/8 (22.25), 1 (22.74),
18	5	1.50	25,049	14,639	284,454	22,538	24,056	20,415	11,924	6	29	3.7	3,556 1-1/8 (19.47), 1-1/8 (19.57), 1 (19.54), 7/8 (41.92),
19	4	1.75	25,124	14,634	212,267	22,539	25,910	25,336	14,692	8	29	3.8	1,949 1-1/8 (23.25), 1 (26.25),
20	5	1.75	26,859	15,832	216,585	24,223	25,156	21,690	12,877	7	28	4.9	3,039 1-1/8 (21.05), 1-1/8 (21.05), 1 (21.22), 7/8 (36.95),
21	3	2.00	27,168	16,524	262,272	25,538	25,428	23,771	13,467	7	28	6.0	2,026 1-1/8 (22.75), 1-1/8 (22.85), 1 (23.15), 7/8 (31.44),
22	10	1.01	27,822	10,640	453,218	21,513	23,603	22,675	8,834	17	37	2.0	597 1-1/4 (17.35), 1-1/8 (17.62), 1 (24.92),
23	7	1.25	26,578	14,274	273,172	23,079	24,766	21,661	11,634	11	32	2.3	1,716 1-1/4 (18.15), 1-1/8 (18.65), 1 (23.25),
24	5	1.50	26,968	16,118	205,256	24,495	25,297	21,971	13,176	9	29	3.8	2,923 1-1/4 (19.45), 1-1/8 (19.95), 1 (20.77),
25	4	1.75	29,426	17,137	211,384	25,921	25,634	25,167	15,767	7	29	5.0	2,835 1-1/4 (20.95), 1-1/8 (21.45), 1 (27.75),
26	3	2.00	30,446	17,654	255,482	27,326	25,650	24,813	14,412	7	27	6.2	1,923 1-1/4 (22.65), 1-1/8 (23.05), 1 (24.35),
27	7	1.25	30,653	16,570	269,666	26,413	25,449	24,497	13,520	12	32	2.3	1,166 1-1/4 (19.65), 1-1/8 (20.45),
28	5	1.50	30,693	18,553	285,171	27,705	26,078	24,526	15,118	9	29	3.9	2,215 1-1/4 (20.71), 1-1/8 (20.71),
29	4	1.75	31,233	19,578	199,051	28,979	26,414	25,454	15,972	7	28	5.1	2,448 1-1/4 (22.15), 1-1/8 (22.15),

LAS MEJORES OPCIONES SON:

N	Ap	FPFL	MPFL	FT	CEL	esfmax	esfmin	FPSP	IP	ans	INDICE	VARILLAS diametro (porcentaje)	
1	3,536	5	1.50	25,649	14,650	201,454	22,563	24,836	20,415	11,664	8	29	1-1/4 (19.45), 1-1/8 (19.25), 1 (19.55), 7/8 (41.95),
2	3,899	4	1.75	26,859	15,092	216,585	24,229	25,196	21,870	12,979	7	29	1-1/4 (21.05), 1-1/8 (21.05), 1 (21.22), 7/8 (36.92),
3	2,903	5	1.50	26,968	16,116	205,256	24,495	25,297	21,971	13,136	9	29	1-1/4 (19.45), 1-1/8 (19.95), 1 (20.77),
4	2,876	5	1.50	21,429	11,712	211,492	18,756	24,764	21,529	11,703	8	28	1-1/8 (22.45), 1 (22.55), 7/8 (22.85), 3/4 (32.34),
5	2,833	4	1.75	23,426	17,137	211,384	25,921	25,623	25,167	15,967	7	28	1-1/4 (20.95), 1-1/8 (21.45), 1 (27.75),
6	2,479	5	1.50	22,730	12,672	213,599	20,076	25,145	22,867	12,748	8	28	1-1/8 (22.55), 1 (23.05), 7/8 (24.55),
7	2,448	4	1.75	31,233	19,578	199,051	28,979	26,414	25,454	15,972	7	28	1-1/4 (22.15), 1-1/8 (22.15),
8	2,382	7	1.25	24,264	12,636	255,670	20,593	24,260	19,775	10,552	11	31	1-1/4 (17.92), 1-1/8 (17.83), 1 (18.04), 7/8 (46.34),
9	2,276	7	1.25	20,273	10,185	238,848	17,161	24,159	20,796	10,244	10	30	1-1/8 (20.55), 1 (20.55), 7/8 (20.71), 3/4 (38.32),
10	2,215	5	1.50	30,693	18,553	285,171	27,705	26,078	24,526	15,118	9	29	1-1/4 (20.71), 1-1/8 (20.71),

- Eliminados por no encontrar gasto ( 0 )
- Eliminados por no cumplir API ( 23 )
- Eliminados por exceder Carga max ( 5 )
- Eliminados por exceder HCLADA ( 1 )
- Eliminados por exceder ESF MAX VSP ( 5 )

Total eliminados 65 Total opciones 15

En el sistema de bombeo mecánico, se tienen la restricciones y cualidades siguientes:

RESTRICCIONES

CUALIDADES

Equipo superficial  
 -torsion máxima  
 -carga en la v.p.  
 -carrera  
 Varillas de succión  
 -límite elástico  
 -Diámetros  
 -Esfuerzo permisible  
 -Factor de servicio  
 Bomba subsuperficial  
 -diámetro de émbolo  
 Gasto  
 Profundidad de bombeo  
 Geometría  
 potencia del motor primario

Carga máx. en la v.p.  
 Carga mín. en la v.p.  
 Contrapesos  
 Torsión  
 Velocidad de bombeo  
 Esf. máx. en varillas  
 arreglo de varillas

Las cualidades, deben ser menores o iguales que sus correspondientes restricciones.

El gasto deseado y la profundidad de colocación de la bomba, son las restricciones más importantes en un diseño. Estos dos parámetros determinan el tipo de unidad superficial, varillas de succión y área de émbolo. El comportamiento del gasto y profundidad de bombeo, para condiciones de operación dadas, ayuda a definir la mejor opción de diseño, junto con el índice de optimización y el rango de esfuerzos en las varillas. Cabe mencionar que el esfuerzo permisible de una sarta de varillas (definido por el diagrama de Goodman), es la limitación más sensible a los valores de gasto y profundidad de bombeo, desde el punto de vista operativo.

Para analizar el comportamiento del índice, gasto, profundidad de bombeo y esfuerzo permisible, considerese el siguiente ejemplo de campo.

POZO: POZA RICA 196.

Profundidad: 2000m(6561 pie)

UNIDAD SUPERFICIAL: A-640-427-144.

VARILLAS: 1-1/8", 1", 7/8", 3/4"

Área de émbolo: 1.50"

LIMITE DE ELASTICIDAD: 115,000 Lb/In<sup>2</sup>

Factor de servicio: 0.70

CASO 1. Profundidad de bombeo constante, Gasto variable. (ref. 11)

Se efectuaron los diseños, para una profundidad de bombeo constante e igual a 2000m, y un rango de gastos de 10 b/d a 290 b/d. Los resultados de los diseños se muestran en la tabla 11. El comportamiento del índice de optimización vs gasto, se muestra en la

TABLA 11 (caso 1)

POZO: POZA RICA 196 UNIDAD: A-640-427-144  
 varillas: 115,000 Lb/pg<sup>2</sup> factor Servicio: 0.70 Prof: 2000 m (=6562 pie)  
 arreglo: 1-1/8", 1", 7/8" y 3/4" Ap = 1.50"

Gasto b/d	indice b/d	Esf. perm. Lb/pg <sup>2</sup>	Esf. max. Lb/pg <sup>2</sup>	Dif. esf. Lb/pg <sup>2</sup>	PT Lb-pg
10	226	25,783	19,620	6,163	312,683
50	905	25,639	20,097	5,542	333,322
100	1,329	25,384	20,785	4,599	365,219
150	1,410	25,057	21,488	3,569	409,254
200	1,281	24,669	22,220	2,441	468,948
250	1,095	24,229	23,111	1,118	540,167
275	1,022	24,008	23,574	434	573,719
290	982	23,875	23,856	19	593,447

TABLA 12 (caso 2)

POZO: POZA RICA 196 UNIDAD: A-640-427-144  
 VARILLAS: 115,000 Lb/pg<sup>2</sup> factor de servicio: 0.70 O = 280 b/d (32 m3/d)  
 arreglo: 1-1/8", 1", 7/8" y 3/4" Ap = 1.50"

Prof. m	indice b/d	Esf. perm. Lb/pg <sup>2</sup>	Esf. max. Lb/pg <sup>2</sup>	Dif. esf. Lb/pg <sup>2</sup>	PT Lb-pg
400	12,526	28,976	5,588	15,388	325,026
600	12,213	21,527	7,549	13,978	270,165
800	9,696	22,022	9,634	12,388	262,724
1000	7,875	22,491	11,758	10,733	278,817
1200	5,318	22,969	13,839	9,130	298,349
1400	3,991	23,429	15,899	7,530	319,958
1406	3,432	23,618	16,785	6,825	333,330
1600	2,817	23,850	17,958	5,892	351,322
1700	2,331	24,061	18,990	5,071	372,889
1800	1,827	24,272	20,854	4,218	403,930
1900	1,566	24,482	21,115	3,369	434,517
2000	1,281	24,669	22,220	2,441	468,948
2100	1,059	24,853	23,338	1,515	502,030
2200	806	25,035	24,442	593	533,019



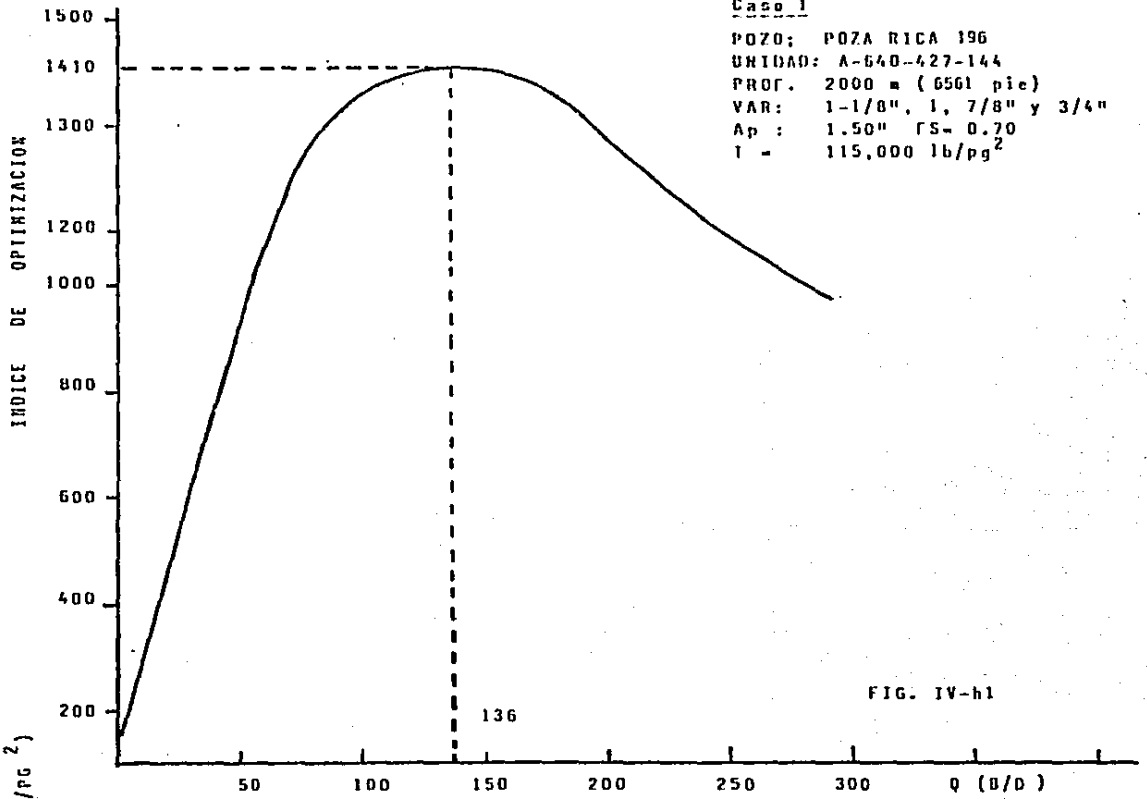
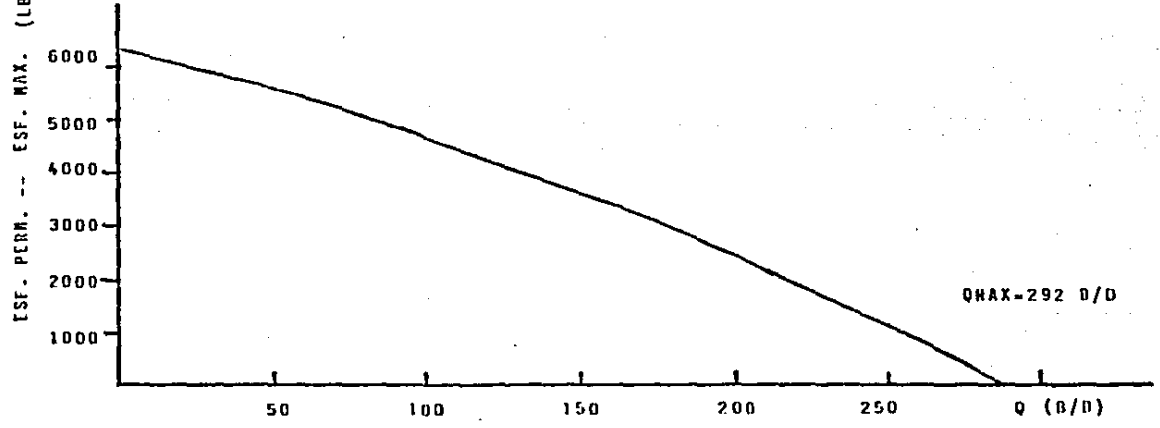


FIG. IV-h1



QHAX-292 D/D

FIG. IV-h2

figura IV-h1. De esta última gráfica se concluye que, el índice de optimización máximo tiene un valor de 1410, y le corresponde un gasto de 136 b/d. El comportamiento del rango de esfuerzos ( esf. max. perm. - esf. max. ) contra el gasto, se observa en la figura IV-h2. Cuando el rango de esfuerzos tiene un valor de cero, se alcanza el límite máximo de esfuerzos a que puede someterse una sarta, y en este punto se tiene:

$$\text{esf. máx. perm.} = \text{esf. máx. en la v.p.}$$

El arreglo de varillas 1-1/8", 1", 7/8" y 3/4", asociado con una área de émbolo igual a 1.50", resultó ser el único arreglo en permitir un gasto máximo de 292 b/d (figura IV-h2). Cabe hacer notar que la torsión máxima, esperada en la unidad superficial (  $\approx 593,447$  pg-Lb ) es menor que la torsión disponible en el reductor de velocidades (640,000 pg-Lb), y la limitación del gasto ( 292 b/d ) es debido a que para un gasto mayor se excedería el esfuerzo máximo permisible de las varillas de succión.

#### CASO 2. Profundidad de bombeo variable, gasto constante.

Los diseños se hicieron a un gasto constante e igual a 32 m<sup>3</sup>/d (200 b/d), con un rango de profundidades de 400m a 2500m. En la tabla 12 se muestran los resultados de los diseños efectuados. En forma similar al caso 1, se muestran en las Figs. IV-j1 y IV-j2, los comportamientos del índice de optimización y el rango de esfuerzos contra la profundidad respectivamente, para el mismo arreglo de varillas-diámetro de émbolo (1-1/8", 1", 7/8", 3/4" y diám. de émbolo = 1.50" ). Como puede observarse, con el gasto constante (32 m<sup>3</sup>/d) y la profundidad de bombeo aumentando, el índice de optimización disminuye hasta un valor mínimo de cero, correspondiendo una profundidad de 2300m (Figura IV-j2). Nuevamente la sarta de varillas, limita la profundidad de colocación de la bomba a 2640m (Figura IV-j1), debido al esfuerzo máximo permisible de la sarta.

#### DISEÑO SIN RESTRICCIÓN EN TORSIÓN Y CARGA, DEL EQUIPO SUPERFICIAL.

Las unidades superficiales tienen longitudes de carrera específicas, recomendadas por el API; en la tabla 3 se muestran los valores de carrera recomendados. Nótese que la carrera, la torsión máxima y la carga en la varilla pulida de la unidad superficial, tienen limitaciones en los valores que pueden tomar. Así por ejemplo, la unidad con longitud de carrera igual a 144", tiene un máximo valor en torsión de 912,000 Lb-pg, y una carga máxima en la varilla pulida de 42,700 Lb. Por lo mismo si se efectúa un diseño para unidades que tienen una carrera igual a 144", el máximo valor de torsión de diseño debe ser menor que 912,000 Lb-pg, puesto que no existe en el mercado alguna unidad con torsión mayor a este valor. Lo mismo ocurre para el valor de carga en la varilla pulida. En resumen, al dar la carrera, los valores de la torsión y la carga en la v.p. están determinados por la tabla 3.

CASO 2

POZO: POZA RICA 196

UNIDAD: A-640 - 427 - 3144

GASTO : 200 B/D (32 m<sup>3</sup>/D)

VAR: 1-1/8", 1", 7/8" y 3/4"

T = 115,000 lb/pg<sup>2</sup>

AP = 1.50" F.S = 0.70

INDICE DE OPTIMIZACION

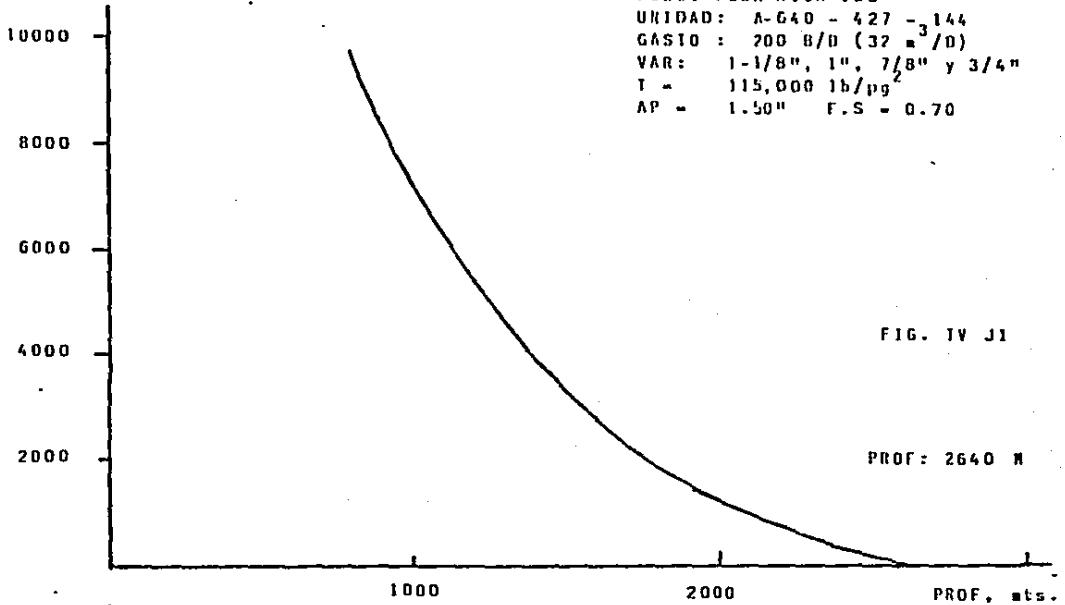


FIG. IV J1

PROF: 2640 M

ESF. PERM. - ESF. MAX. (LB/PG<sup>2</sup>)

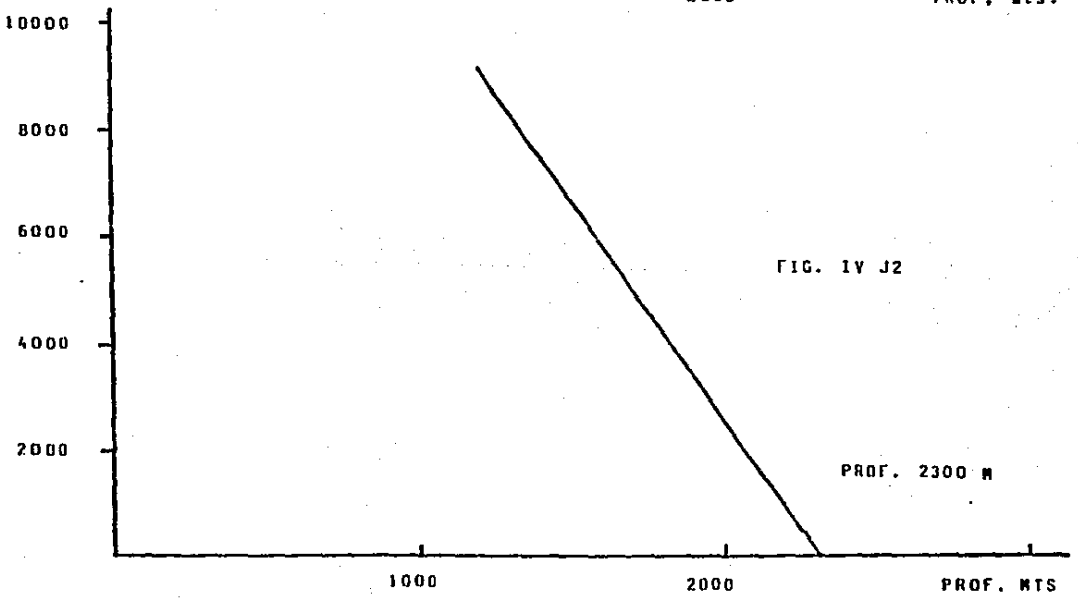


FIG. IV J2

PROF. 2300 M

La unidad superficial que se seleccione para operar en un pozo, debe ser la mas pequeña disponible, capaz de producir el gasto máximo del pozo. Esta unidad debe respetar las restricciones impuestas, a la torsión y carga en la v.p., y por supuesto al método API.

Como ejemplo, se hará el procedimiento para seleccionar la unidad superficial, con geometría Mark-II, que debe operar en el pozo POZA-RICA 70. Los datos del pozo se presentan a continuación:

POZO: POZA RICA 70.  
PRODUCCION: 28 m<sup>3</sup>/d ( = 176 B/d)  
FORMACION PRODUCTORA: tambora inferior.  
INTERVALO ABIERTO: 2145-2165.  
PROFUNDIDAD DE LA BOMBA: 2100m ( = 6898 pie)  
UNIDAD SUPERFICIAL: Mark-II

CASO 3. Carrera variable, gasto constante, profundidad constante.

Se consideraron todos los valores de carrera, mostrados en la tabla 3, para efectuar las corridas. Cada valor de carrera de esta tabla implicó realizar 191 diseños. No se eliminaron los diseños que excedieron valores de torsión o carga en la v.p., para poder determinar la unidad correspondiente. El procedimiento seguido fue efectuar los diseños, con valores de menor a mayor longitud de carrera. El primer diseño posible, que se encontró correspondió a la unidad M-320-213-86, teniendo un arreglo de varillas-diámetro de émbolo igual a 1", 7/8", 3/4", 5/8" y diám. émbolo = 1.25". En la tabla 13 se muestran los parámetros de diseño, para unidades con carrera mayor a 86", teniendo el mismo arreglo de varillas-diámetro de émbolo. En esta tabla se puede observar como el índice de optimización aumenta, conforme la longitud de la carrera aumenta. El esfuerzo máximo en la varilla pulida, por el contrario, disminuye junto con la velocidad de bombeo, resultado que era de esperarse. En las Figuras IV-k1 y IV-k2, se muestra el comportamiento del rango de esfuerzos contra la carrera y la torsión respectivamente. De estas gráficas, se concluye que la longitud mínima de carrera, que debe tener la unidad superficial, es de 76", y la torsión correspondiente en el reductor de velocidades, es de 191,000 Lb-pg.

TABLA 13 (caso 3)

POZO: POZA RICA 70 GEOMETRIA: MARK-II  
 GASTO: 28 m<sup>3</sup>/d (=176 b/d) Prof: 2100 m (=6880 pie)

Carrera pg	H EPM	PPRL lb	MPRL lb	PT Lb-pg	Esf.perm. Lb/pg <sup>2</sup>	Esf.max. Lb/pg <sup>2</sup>	dif. esf. Lb/pg <sup>2</sup>	indice
86	13	18,401	6,659	192,577	23,564	23,531	33	501
109	11	18,824	7,447	195,633	23,853	22,743	910	654
128	9	17,983	7,788	224,546	23,985	22,897	1,088	640
144	7	17,799	8,172	242,874	24,222	22,662	1,560	678
168	6	17,668	8,608	253,944	24,448	22,419	2,021	730
192	5	17,424	8,993	259,814	24,634	22,185	2,449	786
216	5	17,327	9,249	270,851	24,762	22,062	2,700	832
240	4	17,281	9,456	283,436	24,866	22,002	2,864	871
308	3	17,175	9,868	309,847	25,072	21,868	3,204	932

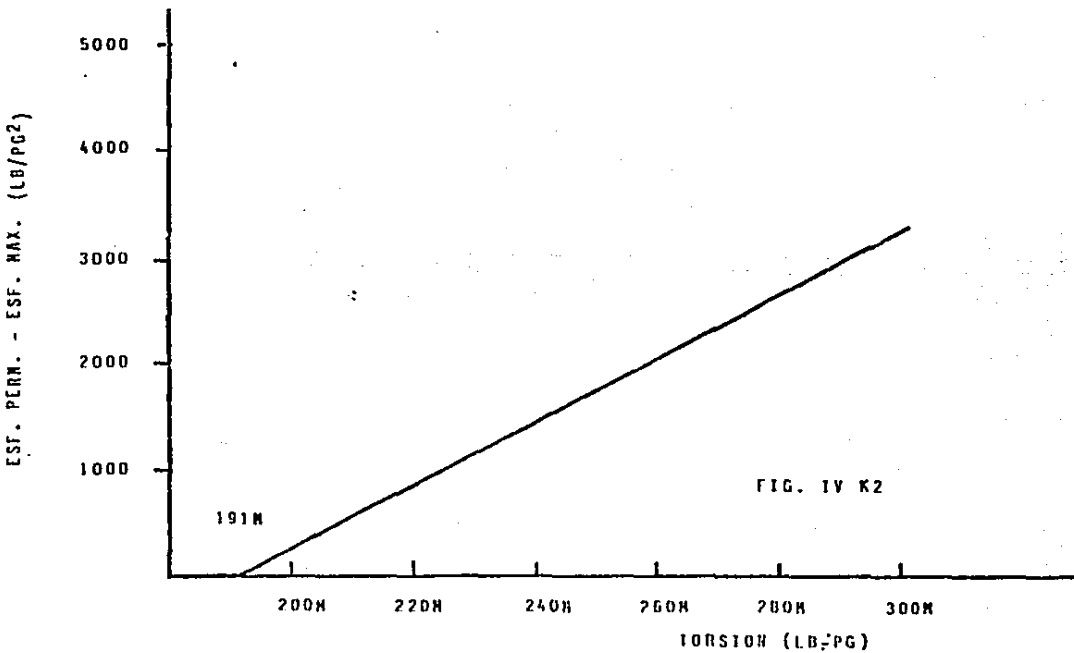
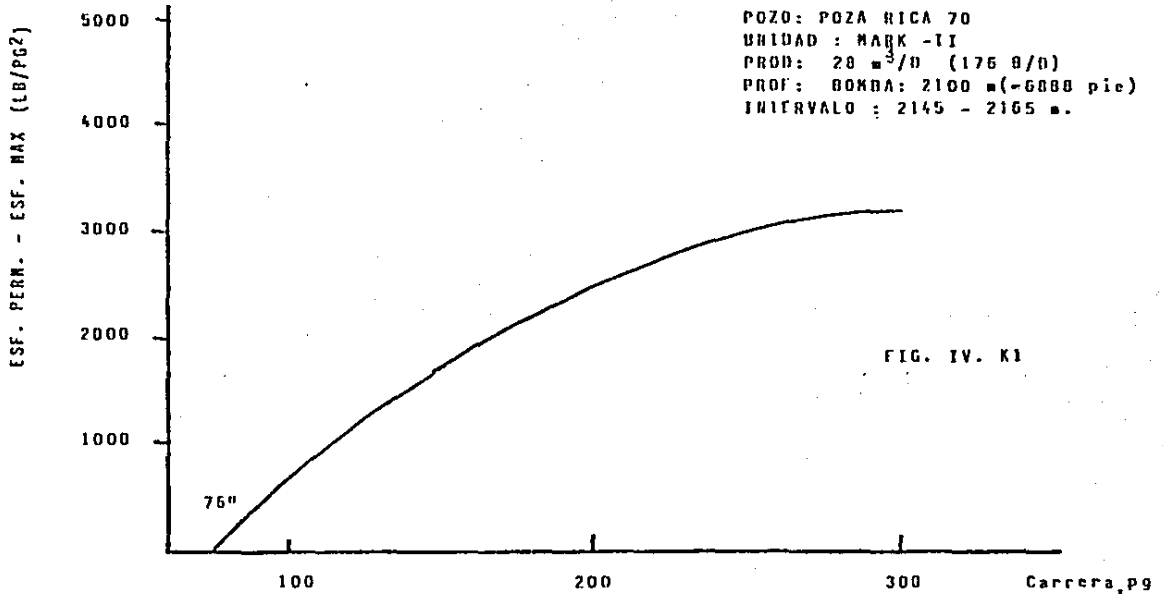
TABLA 14 (caso 4)

POZO: PALEOCANAL CHICOMTEPEC GEOMETRIA: CONVENCIONAL  
 GASTO: 38 m<sup>3</sup>/d (=168 b/d) Prof: 2400 m (=7213 pie)

Carrera pg	H EPM	PPRL lb	MPRL lb	Tarsian Lb-pg	Esf.perm. Lb/pg <sup>2</sup>	Esf.max. Lb/pg <sup>2</sup>	dif. esf. Lb/pg <sup>2</sup>	indice
74	15	29,883	13,147	314,174	24,344	24,289	55	485
86	13	29,383	13,312	388,953	24,397	23,947	450	529
108	10	28,688	13,922	448,889	24,593	23,374	1,219	648
128	9	28,588	14,412	530,996	24,758	23,299	1,451	647
144	8	28,299	14,955	607,782	24,924	23,063	1,861	674
168	6	27,895	15,481	676,181	25,093	22,734	2,359	742
192	6	27,626	15,899	738,987	25,227	22,515	2,712	792
216	5	27,373	16,294	800,331	25,354	22,309	3,045	846
240	4	27,291	16,548	880,051	25,435	22,242	3,193	875
308	4	27,078	17,117	1,083,163	25,618	22,035	3,583	930

CASO 3

POZO: POZA RICA 70  
UNIDAD : MARK -II  
PROD: 28 m<sup>3</sup>/D (176 B/D)  
PROF: 80MDA: 2100 m (-6888 pie)  
INTERVALO : 2145 - 2165 m.



## CAPITULO V

### APLICACIONES A POZOS DEL CHICONTEPEC

Debido al gran potencial petrolero, que tiene el paleocanal del chicontepec, por su volumen de reservas estimadas, y la baja producción de sus pozos, el sistema artificial de producción por bombeo mecánico, resulta especialmente adecuado, para usarse en este yacimiento.

El paleocanal de chicontepec, esta localizado en la porción norte del estado de veracruz, en la cuenca geológica denominada Tampico-Misantla, a unos 50 Kms. al oeste del puerto de Tuxpan. El origen de este paleocanal tuvo lugar durante el paleoceno, y se debió a la erosión, por corrientes submarinas, de los sedimentos del paleoceno, cretácico y del jurásico; posteriormente este cañon fue rellenado por gran volumen, de sedimentos arcillo-arenosos del tipo turbidítico, en forma alternada, correspondiente a las formaciones chicontepec inferior y chicontepec medio.

De los estudios realizados, de muestras obtenidas en pozos con objetivos mas profundos, que atraviezan el paleocanal (ref. 12), se ha definido una superficie con cuerpos arenosos, de aproximadamente 3,100 Km<sup>2</sup>. La profundidad de estos cuerpos areno-arcillosos del canal, varian desde casi 800m en la parte norte, hasta 2400m en la region sur cercana a Tecolutla, y a la fecha no se ha determinado la presencia de contactos agua-aceite o gas-aceite. El espesor poroso del paleocanal es muy variable, dependiendo de la ubicación del area considerada, ya que en la porción norte el espesor es del orden de los 100m únicamente, mientras que en su extremo occidental se han definido espesores de hasta 700m. El espesor transversal de las areniscas arcillosas dentro del paleocanal, varia de 0m en los bordes, hasta 700m en la parte central del canal. El paleocanal, tiene una longitud aproximada de 124 Kms., y los cuerpos arenosos se extienden con una anchura variable de 12 Kms., en la porción sur, y 25 Kms. en la porción Norte.

La porosidad de los cuerpos de areniscas, es predominantemente intergranular y varia entre 5% a 20%, del estudio de nucleos la porosidad promedio es del orden de 7%.

La producción de hidrocarburos del paleocanal se remonta al año de 1952, en el area conocida como Presidente Alemán, caracterizandose los pozos por su baja aportación, aun despues de su estimulación mediante fracturamiento hidráulico. Inicialmente los pozos aportan alrededor de 15 m<sup>3</sup>/d (90 b/d), declinando su producción hasta

## Cap. V - Aplicaciones a pozos del Chicontepec

estabilizarse, en la mayoría de los casos, en 4 m<sup>3</sup>/d ( 25 b/d).

En la actualidad, el paleocanal de Chicontepec no tiene ningún sistema de producción artificial operando a gran escala. Los pozos están terminados en agujero entubado, y tienen un aparejo de producción sencillo, consistente en tubería de producción franca con niple campana 30m arriba del intervalo productor. Al agotarse la producción de un intervalo abierto, este se abandona y se abre otro, debido principalmente a la falta de un sistema artificial de producción. Como se vió en el capítulo I, cuando se tienen pozos con producciones bajas y profundidades de colocación de bomba subsuperficial, de somera a medio profundas, el sistema de bombeo mecánico, es el más indicado de emplearse.

La selección de la unidad superficial, más adecuada para emplearse en el paleocanal, requiere de un análisis similar al realizado en el caso 3 del capítulo anterior. Los parámetros de operación, necesarios para realizar los diseños, que ayudan a seleccionar la unidad superficial deben ser los más críticos existentes, esto es así para que la unidad seleccionada, satisfaga los requerimientos de cualquier pozo. Las condiciones de operación, que se eligieron para seleccionar la unidad superficial son las siguientes:

Formación productora: PALEOCANAL CHICONTEPEC

Unidad superficial: CONVENCIONAL

Profundidad de bomba: 2200m (7218 pie)

GASTO: 30 m<sup>3</sup>/d (189 b/d)

Varillas: 1-1/4", 1-1/8", 1" y 7/8"

T = 115,000 Lb/pg<sup>2</sup>

Ap = 1.25"

F.S. = 0.70

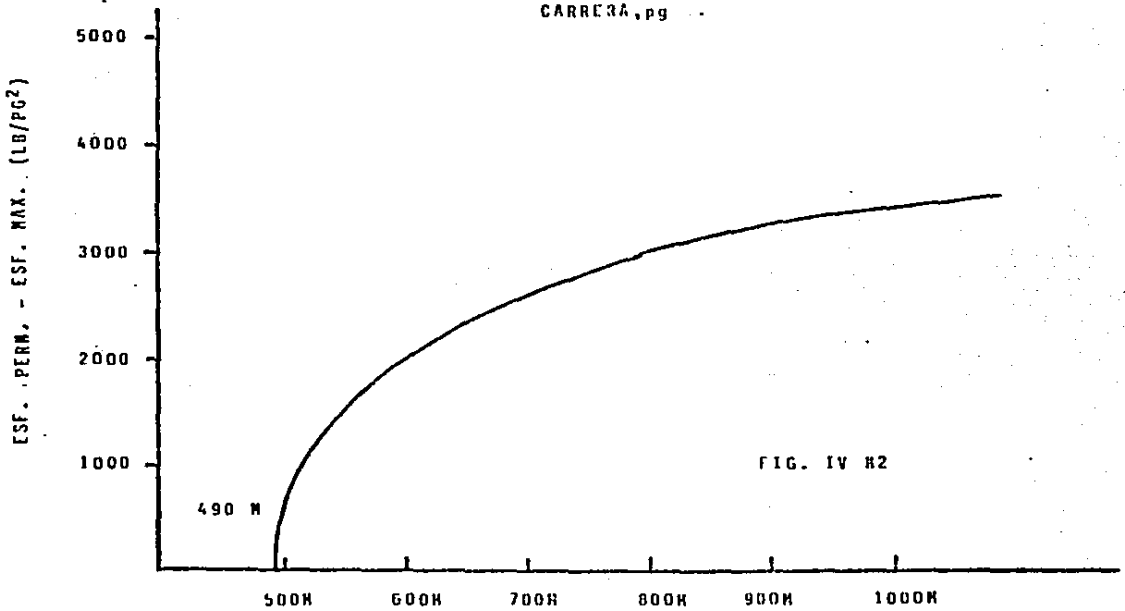
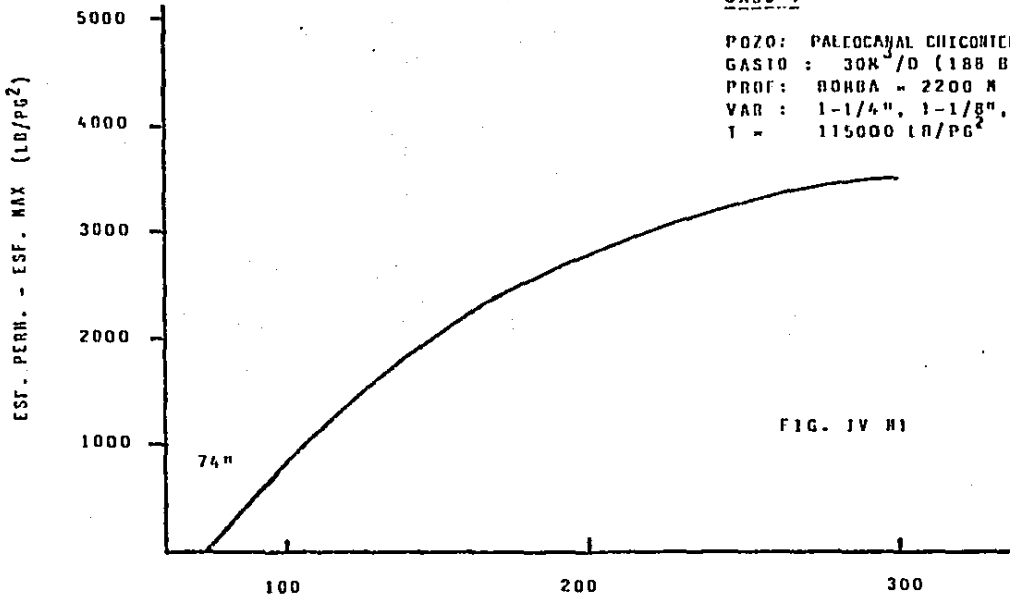
### - CASO 4. Area CHICONTEPEC. Gasto constante profundidad constante (ref.13)

En forma similar al caso 3, se consideraron todos los valores de carrera y se encontró que, para estas condiciones mencionadas, la unidad superficial C-640-305-120, es la de menor tamaño, capaz de obtener el gasto deseado (30 m<sup>3</sup>/d) a una profundidad de colocación de bomba igual a 2200m (7218 pie). El arreglo de varillas-bomba resulto ser de 1-1/4", 1-1/8", 1" y 7/8" con diámetro de árbol igual a 1.25". Como se muestra en la Fig. IV-m1, se puede tener una unidad con carrera igual a 74", como límite en esfuerzo máximo permisible de las varillas. Las unidades con carreras menores a 120, tienen capacidades de carga y/o torsión demasiado bajas, y esto las elimina como opciones para este caso. En la Fig. IV-m2, se observa que una unidad con torsión igual a 490,000 Lb-pg, es la mínima, para que el esfuerzo máximo en las varillas no exceda el máximo permisible.



CASO 4

POZO: PALEOCANAL CHICONTIPEC  
GASTO: 30M<sup>3</sup>/D (188 B/D)  
PROF: BOMBA = 2200 M (7218 PIC)  
VAR: 1-1/4", 1-1/8", 1" y 7/8"  
T = 115000 LR/PG<sup>2</sup>



## Cap. V - Aplicaciones a pozos del Chicontepec

Se obtuvieron tablas (de la 15 a la 62) de los 10 mejores diseños, para condiciones de gasto y profundidad de bomba, que se presentan en el paleocanal de Chicontepec. Las condiciones que se consideran son las siguientes:

formación productora: PALEOCANAL CHICONTEPEC  
Unidad Superficial: C-640-305-120.  
Fluido: agua (1.0 g/cm<sup>3</sup>)  
Tubería de producción: ANCLADA.  
Límite de elasticidad, (varillas): 115,000 Lb/pg<sup>2</sup>  
Factor de Servicio: 0.70 (ácido sulfhídrico)

Profundidad de bomba: 700, 900, 1100, 1400, 1600, 1800,  
2000 y 2200 mts.

Gasto: 30, 25, 20, 15, 10 y 5 m<sup>3</sup>/d.

A continuación se considera un ejemplo de aplicación de las tablas de diseños. Supongase que se tiene un pozo terminado en la formación Chicontepec y que produce 15 m<sup>3</sup>/día (94 Bls/día) de aceite, con 0% de agua. El intervalo productor es 1450-1480 y la profundidad de colocación de la bomba subsuperficial es de 1400 m (4593 pie). Se tiene en la superficie la unidad C-640-305-120 y se desea encontrar la mejor opción de diseño. En la tabla 35 se tienen las diez mejores opciones de diseño de acuerdo al índice de optimización, para la unidad superficial considerada. De esta tabla se escoge la opción #7, debido a que en el distrito Poza Rica -al que pertenece la mayor parte del área considerada- sólo se tienen varillas de 1"; 7/8" y 3/4" de diámetro. Entonces los parámetros de diseño serán:

Índice de optimización: 4.010  
velocidad de bombeo: 5 E.P.M.  
P.P.R.L. = 12,273 Lb ; M.P.R.L. = 7,672 Lb  
P.T. = 191,109 Lb-pg ; CBL = 10,156 Lb  
Esf. perm. = 23,971 Lb//pg<sup>2</sup>  
Esf. máx. = 15,627 Lb/pg<sup>2</sup>  
Esf. mín. = 9,769 Lb/pg<sup>2</sup> ; Potencia = 14 h.p.  
varillas: 1" (24.3%), 7/8" (24.5%) y 3/4" (51.2%).

TABLA 15

Gasto = 31 Bls/Dia (= 5 m <sup>3</sup> /d)											Prof. bomba = 2,297 pie (= 700 mts)										
INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PT	CRL	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)										
1	11,543	2	1.01	5,862	3,654	118,679	4,421	21,957	6,445	4,652	3	1	( 22.2%),	7/8	( 22.4%),	3/4	( 22.4%),	5/8	( 33.8%),		
2	11,178	2	1.01	3,440	2,245	79,837	2,891	22,126	7,782	5,883	3	3/4	( 33.3%),	5/8	( 33.1%),	1/2	( 33.5%),				
3	10,205	1	1.25	5,447	3,884	125,465	4,771	22,032	6,936	4,843	3	1	( 23.9%),	7/8	( 24.2%),	3/4	( 24.3%),	5/8	( 27.6%),		
4	9,795	2	1.01	4,365	3,079	104,725	3,746	22,110	7,262	5,048	3	7/8	( 27.0%),	3/4	( 27.4%),	5/8	( 45.6%),				
5	9,597	2	1.01	6,213	4,628	149,648	5,465	21,959	6,251	4,656	3	1-1/8	( 19.1%),	1	( 19.2%),	7/8	( 19.5%),	3/4	( 42.3%),		
6	9,486	1	1.25	6,528	4,772	154,544	5,817	22,815	6,567	4,608	3	1-1/8	( 20.5%),	1	( 20.5%),	7/8	( 20.7%),	3/4	( 33.3%),		
7	8,497	1	1.25	4,724	3,134	110,460	4,051	22,178	7,080	5,214	3	7/8	( 29.4%),	3/4	( 29.6%),	5/8	( 40.8%),				
8	8,491	2	1.01	2,077	1,747	68,831	2,351	22,366	9,371	5,691	3	5/8	( 44.6%),	1/2	( 55.4%),						
9	8,394	1	1.25	3,861	2,361	87,432	3,217	22,228	8,736	5,342	2	3/4	( 37.2%),	5/8	( 35.9%),	1/2	( 26.9%),				
10	8,257	1	1.25	7,811	5,919	189,628	7,057	22,824	6,366	4,824	3	1-1/4	( 17.9%),	1-1/8	( 17.8%),	1	( 18.0%),	7/8	( 46.3%),		

TABLA 16

Gasto = 63 Bls/Dia (= 10 m <sup>3</sup> /d)											Prof. bomba = 2,297 pie (= 700 mts)										
INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PT	CRL	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)										
1	14,849	3	1.25	5,789	3,715	134,148	4,771	21,997	7,371	4,738	5	1	( 23.9%),	7/8	( 24.2%),	3/4	( 24.3%),	5/8	( 27.6%),		
2	13,521	4	1.01	3,759	2,162	83,285	2,891	22,051	8,505	4,892	5	3/4	( 33.3%),	5/8	( 33.1%),	1/2	( 33.5%),				
3	12,988	4	1.01	5,564	3,533	131,127	4,421	21,896	7,834	4,499	6	1	( 22.2%),	7/8	( 22.4%),	3/4	( 22.4%),	5/8	( 33.0%),		
4	12,415	3	1.25	6,966	4,664	165,394	5,817	21,972	7,028	4,692	6	1-1/8	( 20.5%),	1	( 20.5%),	7/8	( 20.7%),	3/4	( 39.3%),		
5	12,327	3	1.25	4,082	2,297	93,481	3,217	22,171	9,234	5,196	5	3/4	( 37.2%),	5/8	( 35.9%),	1/2	( 26.9%),				
6	11,925	3	1.25	5,028	3,654	118,239	4,051	22,126	8,353	5,092	5	7/8	( 29.4%),	3/4	( 29.6%),	5/8	( 40.8%),				
7	11,577	2	1.50	6,349	3,946	144,983	5,263	22,183	8,083	5,024	5	1	( 26.7%),	7/8	( 27.4%),	3/4	( 26.8%),	5/8	( 19.2%),		
8	11,563	2	1.50	7,415	4,865	172,932	6,264	22,652	7,468	4,895	5	1-1/8	( 22.4%),	1	( 22.5%),	7/8	( 22.8%),	3/4	( 32.3%),		
9	11,151	4	1.01	4,805	2,921	115,977	3,746	22,039	7,994	4,261	6	7/8	( 27.0%),	3/4	( 27.4%),	5/8	( 45.6%),				
10	10,657	2	1.50	8,717	5,981	207,956	7,468	22,824	7,105	4,875	6	1-1/4	( 19.4%),	1-1/8	( 19.2%),	1	( 19.5%),	7/8	( 41.9%),		

TABLA 17

Gasto = 94 BIs/Dia (= 15 m3/d)

Prof. bomba = 2,297 pie (= 703 mts)

INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PI	CEL	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)
1	15,182	4	1.25	6,131	3,627	143,835	4,771	21,943	7,626	4,618	8 1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
2	13,948	4	1.25	4,381	2,232	99,774	3,217	22,114	9,732	5,050	7 3/4 ( 37.2%), 5/8 ( 35.9%), 1/2 ( 26.9%),
3	13,874	3	1.50	6,483	3,875	151,786	5,263	22,068	8,407	4,934	8 1 ( 26.7%), 7/8 ( 27.4%), 3/4 ( 26.8%), 5/8 ( 19.2%),
4	13,562	3	1.50	7,732	4,782	181,182	6,264	22,019	7,778	4,811	8 1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.8%), 3/4 ( 32.3%),
5	13,848	4	1.25	7,483	4,556	176,549	5,817	21,938	7,447	4,554	9 1-1/8 ( 20.5%), 1 ( 20.5%), 7/8 ( 20.7%), 3/4 ( 39.3%),
6	13,847	4	1.25	5,316	2,975	126,245	4,851	22,074	8,646	4,958	8 7/8 ( 29.4%), 3/4 ( 29.8%), 5/8 ( 48.8%),
7	12,215	3	1.50	9,111	5,633	217,974	7,428	22,813	7,426	4,794	9 1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
8	11,857	3	1.50	5,732	3,148	132,977	4,461	22,182	9,538	5,224	7 7/8 ( 33.3%), 3/4 ( 33.3%), 5/8 ( 33.3%),
9	11,695	2	1.75	8,345	5,819	192,178	6,887	22,113	8,395	5,058	7 1-1/8 ( 24.8%), 1 ( 25.1%), 7/8 ( 25.1%), 3/4 ( 25.1%),
10	11,555	2	1.75	9,614	6,894	225,655	7,979	22,888	7,835	4,956	8 1-1/4 ( 21.8%), 1-1/8 ( 21.0%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 36.9%),

TABLA 18

Gasto = 126 BIs/Dia (= 20 m3/d)

Prof. bomba = 2,297 pie (= 703 mts)

INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PI	CEL	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)
1	15,828	4	1.50	6,855	3,824	158,783	5,263	22,832	8,729	4,843	10 1 ( 26.7%), 7/8 ( 27.4%), 3/4 ( 26.8%), 5/8 ( 19.2%),
2	14,434	4	1.50	8,846	4,699	189,439	6,264	21,996	8,895	4,727	11 1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.8%), 3/4 ( 32.3%),
3	14,287	6	1.25	6,538	3,496	153,841	4,771	21,878	8,314	4,451	11 1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
4	13,661	5	1.25	4,562	2,137	187,149	3,217	22,829	10,322	4,836	10 3/4 ( 37.2%), 5/8 ( 35.9%), 1/2 ( 26.9%),
5	13,253	3	1.75	8,593	4,958	198,769	6,887	22,086	8,648	4,958	10 1-1/8 ( 24.8%), 1 ( 25.1%), 7/8 ( 25.1%), 3/4 ( 25.1%),
6	12,970	4	1.50	5,943	3,876	139,152	4,461	22,148	9,896	5,119	10 7/8 ( 33.3%), 3/4 ( 33.3%), 5/8 ( 33.3%),
7	12,911	3	1.75	9,918	6,814	233,496	7,979	22,855	8,877	4,931	11 1-1/4 ( 21.8%), 1-1/8 ( 21.0%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 36.9%),
8	12,774	4	1.50	9,594	5,784	228,164	7,488	21,931	7,745	4,714	12 1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
9	12,471	3	1.75	7,474	4,638	171,482	5,894	22,149	9,516	5,142	10 1 ( 29.6%), 7/8 ( 30.4%), 3/4 ( 29.5%), 5/8 ( 18.5%),
10	12,487	6	1.25	5,664	2,857	135,913	4,851	21,997	9,424	4,754	11 7/8 ( 29.4%), 3/4 ( 29.8%), 5/8 ( 48.8%),

TABLE 19

Gasto = 157 Bls/Dia (= 25 m<sup>3</sup>/d)

Prof. bomba = 2,297 pie (= 700 mts)

INDICE	N	Ap	PPPL	MPPL	PT	CBL	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)	
1	15,462	5	1.53	7,187	3,734	165,731	5,263	21,997	9,649	4,754	13	1 ( 26.7%), 7/8 ( 27.4%), 3/4 ( 26.8%), 5/8 ( 19.2%),
2	14,654	5	1.58	8,368	4,616	197,912	6,264	21,954	8,418	4,644	14	1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.6%), 3/4 ( 32.3%),
3	14,285	4	1.75	8,833	4,892	285,457	6,697	22,059	8,834	4,911	13	1-1/8 ( 24.8%), 1 ( 25.1%), 7/8 ( 25.1%), 3/4 ( 25.1%),
4	13,674	4	1.75	10,236	5,925	241,433	7,979	22,030	8,318	4,837	13	1-1/4 ( 21.8%), 1-1/8 ( 21.8%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 36.9%),
5	13,533	4	1.75	7,674	3,978	177,168	5,684	22,119	9,770	5,865	12	1 ( 23.6%), 7/8 ( 38.4%), 3/4 ( 23.5%), 5/8 ( 18.5%),
6	13,466	5	1.58	6,162	3,813	145,411	4,461	22,079	10,253	5,814	13	7/8 ( 33.3%), 3/4 ( 33.3%), 5/8 ( 33.3%),
7	12,855	5	1.58	5,134	2,297	119,494	3,638	22,162	11,615	5,174	12	3/4 ( 42.3%), 5/8 ( 48.4%), 1/2 ( 17.3%),
8	12,769	5	1.58	9,934	5,686	239,523	7,408	21,958	8,864	4,634	15	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
9	12,663	3	2.08	10,783	6,148	250,974	8,529	22,098	8,768	5,011	12	1-1/4 ( 22.7%), 1-1/8 ( 22.8%), 1 ( 23.1%), 7/8 ( 31.4%),
10	12,647	5	1.58	7,424	3,693	178,367	5,465	22,879	9,453	4,963	13	1 ( 26.8%), 7/8 ( 27.8%), 3/4 ( 46.3%),

TABLE 20

Gasto = 189 Bls/Dia (= 30 m<sup>3</sup>/d)

Prof. bomba = 2,297 pie (= 700 mts)

INDICE	N	Ap	PPPL	MPPL	PT	CBL	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)	
1	14,735	5	1.75	9,873	4,813	212,254	6,687	22,032	9,128	4,842	15	1-1/8 ( 24.8%), 1 ( 25.1%), 7/8 ( 25.1%), 3/4 ( 25.1%),
2	14,363	6	1.58	7,461	3,590	175,625	5,263	21,925	9,580	4,571	16	1 ( 26.7%), 7/8 ( 27.4%), 3/4 ( 26.8%), 5/8 ( 19.2%),
3	14,147	5	1.75	7,876	3,917	183,075	5,684	22,089	10,020	4,987	15	1 ( 23.6%), 7/8 ( 38.4%), 3/4 ( 23.5%), 5/8 ( 18.5%),
4	14,839	4	1.75	10,583	5,855	249,585	7,979	22,084	8,568	4,772	16	1-1/4 ( 21.8%), 1-1/8 ( 21.8%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 36.9%),
5	13,499	3	2.08	11,818	6,691	257,589	8,529	22,076	8,980	4,956	15	1-1/4 ( 22.7%), 1-1/8 ( 22.8%), 1 ( 23.1%), 7/8 ( 31.4%),
6	13,375	6	1.58	8,736	4,446	218,814	6,264	21,896	8,849	4,473	17	1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.6%), 3/4 ( 32.3%),
7	13,695	3	2.08	9,716	5,057	224,327	7,395	22,128	9,775	5,058	15	1-1/8 ( 27.1%), 1 ( 27.9%), 7/8 ( 27.4%), 3/4 ( 17.6%),
8	12,834	5	1.75	8,836	3,999	198,888	5,925	22,138	10,232	5,092	15	1 ( 29.4%), 7/8 ( 30.8%), 3/4 ( 48.6%),
9	12,658	6	1.58	6,465	2,686	154,056	4,461	22,816	10,758	4,802	15	7/8 ( 33.3%), 3/4 ( 33.3%), 5/8 ( 33.3%),
10	12,371	6	1.58	5,378	2,181	126,333	3,638	22,868	12,149	4,935	14	3/4 ( 42.3%), 5/8 ( 48.4%), 1/2 ( 17.3%),

TABLE 21

Gasto = 31 Bhs/Dia (= 5 m3/d)

Prof. bomba = 2,953 pie (= 900 mts)

INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PT	CRL	esfer	esmax	esmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)
1	9,396	2	1.01	6,371	4,718	115,659	5,684	22,459	8,112	6,637	3 1 ( 22.2%), 7/8 ( 22.4%), 3/4 ( 22.4%), 5/8 ( 33.0%),
2	8,457	2	1.01	4,337	2,693	88,180	3,717	22,786	9,812	6,556	3 3/4 ( 33.3%), 5/8 ( 33.1%), 1/2 ( 33.5%),
3	8,871	2	1.01	7,689	5,979	143,613	7,052	22,493	7,856	6,815	4 1-1/8 ( 19.1%), 1 ( 19.2%), 7/8 ( 19.5%), 3/4 ( 42.3%),
4	7,843	2	1.01	5,492	3,911	182,439	4,816	22,697	9,138	6,583	3 7/8 ( 27.8%), 3/4 ( 27.4%), 5/8 ( 45.6%),
5	7,697	1	1.25	6,911	4,981	124,743	6,134	22,582	8,880	6,240	3 1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
6	7,389	1	1.25	8,274	6,151	158,726	7,478	22,562	8,324	6,183	3 1-1/8 ( 28.5%), 1 ( 28.5%), 7/8 ( 28.7%), 3/4 ( 39.3%),
7	6,734	2	1.01	6,900	5,143	138,253	6,152	22,703	8,786	6,548	4 1 ( 22.6%), 7/8 ( 23.0%), 3/4 ( 54.3%),
8	6,693	1	1.25	9,891	7,632	182,128	9,873	22,574	8,651	6,228	3 1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.8%), 1 ( 18.0%), 7/8 ( 46.3%),
9	6,649	2	1.01	9,534	7,459	177,319	8,658	22,519	7,745	6,879	4 1-1/4 ( 16.9%), 1-1/8 ( 16.6%), 1 ( 17.1%), 7/8 ( 49.1%),
10	6,253	1	1.25	5,994	4,837	118,656	5,289	22,770	9,973	6,717	3 7/8 ( 29.4%), 3/4 ( 29.8%), 5/8 ( 40.8%),

TABLE 22

Gasto = 63 Bhs/Dia (= 10 m3/d)

Prof. bomba = 2,953 pie (= 900 mts)

INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PT	CRL	esfer	esmax	esmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)
1	10,905	3	1.25	7,257	4,798	134,487	6,134	22,530	9,248	6,189	6 1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
2	10,425	4	1.01	6,912	4,557	130,563	5,684	22,418	8,881	5,882	7 1 ( 22.2%), 7/8 ( 22.4%), 3/4 ( 22.4%), 5/8 ( 33.0%),
3	10,173	5	1.01	4,686	2,788	98,296	3,717	22,681	18,682	6,289	6 3/4 ( 33.3%), 5/8 ( 33.1%), 1/2 ( 33.5%),
4	10,069	3	1.25	8,716	6,829	162,786	7,478	22,513	8,768	6,865	7 1-1/8 ( 28.5%), 1 ( 28.5%), 7/8 ( 28.7%), 3/4 ( 38.3%),
5	9,813	3	1.25	6,295	3,943	119,528	5,289	22,789	18,473	6,561	6 7/8 ( 29.4%), 3/4 ( 29.6%), 5/8 ( 48.6%),
6	8,868	4	1.01	5,968	3,765	115,918	4,816	22,592	9,938	6,265	7 7/8 ( 27.6%), 3/4 ( 27.4%), 5/8 ( 45.6%),
7	8,769	3	1.25	10,449	7,488	197,826	9,873	22,528	8,516	6,182	7 1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.8%), 1 ( 18.0%), 7/8 ( 45.3%),
8	8,725	2	1.58	9,363	6,274	173,183	8,853	22,618	9,419	6,312	6 1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.8%), 3/4 ( 32.3%),
9	8,698	3	1.25	5,131	2,948	97,224	4,135	22,762	11,688	6,697	6 3/4 ( 31.2%), 5/8 ( 35.9%), 1/2 ( 26.9%),
10	8,513	4	1.01	8,588	5,783	162,588	7,852	22,416	8,559	5,818	8 1-1/8 ( 19.1%), 1 ( 19.2%), 7/8 ( 19.5%), 3/4 ( 42.3%),

TABLA 23

Gasto = 94 Bls/Dia (= 15 m3/d)

Prof. koaba = 2,953 pie (= 900 ats)

INDICE	N	Ap	PPPL	HPPL	PT	CBL	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (por ciento)
1	11,657	4	1.25	7,636	4,671	145,428	6,134	22,467	9,722	5,947	10 1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
2	10,460	4	1.25	9,194	5,888	176,336	7,478	22,454	9,258	5,915	10 1-1/8 ( 20.5%), 1 ( 20.5%), 7/8 ( 20.7%), 3/4 ( 30.3%),
3	10,418	3	1.50	9,683	6,176	182,418	8,053	22,571	9,741	6,213	9 1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.6%), 3/4 ( 32.3%),
4	10,151	3	1.50	8,285	4,999	155,971	6,767	22,631	10,548	6,355	9 1 ( 26.7%), 7/8 ( 27.4%), 3/4 ( 26.8%), 5/8 ( 19.2%),
5	9,775	3	1.50	11,390	7,685	215,823	9,617	22,565	9,283	6,198	10 1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
6	9,759	4	1.25	6,625	3,827	129,418	5,289	22,632	11,823	6,357	9 7/8 ( 29.4%), 3/4 ( 29.8%), 5/8 ( 48.8%),
7	9,742	5	1.25	5,331	2,861	105,877	4,135	22,674	12,175	6,472	9 3/4 ( 37.2%), 5/8 ( 35.9%), 1/2 ( 26.9%),
8	8,868	4	1.25	11,049	7,311	213,771	9,873	22,471	9,085	5,959	11 1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.8%), 1 ( 18.0%), 7/8 ( 46.3%),
9	8,793	4	1.25	8,160	5,812	160,255	6,529	22,638	10,390	6,382	10 1 ( 24.3%), 7/8 ( 24.5%), 3/4 ( 51.2%),
10	8,661	2	1.75	12,118	7,889	227,133	10,259	22,647	9,876	6,485	9 1-1/4 ( 21.8%), 1-1/8 ( 21.8%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 36.5%),

TABLA 24

Gasto = 126 Bls/Dia (= 20 m3/d)

Prof. koaba = 2,953 pie (= 900 ats)

INDICE	N	Ap	PPPL	HPPL	PT	CBL	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (por ciento)
1	11,224	4	1.50	10,831	6,879	191,897	8,853	22,533	10,062	6,115	13 1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.8%), 3/4 ( 32.3%),
2	11,119	4	1.50	8,541	4,913	163,928	6,767	22,588	10,875	6,256	12 1 ( 26.7%), 7/8 ( 27.4%), 3/4 ( 26.8%), 5/8 ( 19.2%),
3	10,362	4	1.50	11,786	7,492	227,218	9,617	22,529	9,686	6,186	13 1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
4	10,239	6	1.25	8,149	4,444	162,134	6,134	22,353	10,375	5,658	13 1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
5	9,793	3	1.75	12,419	7,765	236,836	10,259	22,617	10,121	6,329	12 1-1/4 ( 21.6%), 1-1/8 ( 21.8%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 36.9%),
6	9,611	3	1.75	10,781	6,305	204,748	8,751	22,654	10,646	6,423	12 1-1/8 ( 24.8%), 1 ( 25.1%), 7/8 ( 25.1%), 3/4 ( 25.1%),
7	9,338	4	1.50	8,837	5,139	174,218	7,826	22,701	11,315	6,542	12 1 ( 26.8%), 7/8 ( 27.8%), 3/4 ( 46.3%),
8	9,222	4	1.50	7,420	3,966	145,818	5,735	22,723	12,347	6,599	12 7/8 ( 33.3%), 3/4 ( 33.3%), 5/8 ( 33.3%),
9	9,191	6	1.25	5,713	2,703	116,808	4,135	22,530	12,925	6,108	12 3/4 ( 37.2%), 5/8 ( 35.9%), 1/2 ( 26.9%),
10	8,809	6	1.25	9,849	5,681	190,328	7,478	22,344	9,908	5,635	14 1-1/8 ( 20.5%), 1 ( 20.5%), 7/8 ( 20.7%), 3/4 ( 33.3%),

TABLA 25

Gasto = 157 Bls/Dia (= 25 m<sup>3</sup>/d)

Prof. boaba = 2,953 pie (= 908 mts)

INDICE	H	Ap	PPPL	MPPL	PT	CEL	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)	
1	10,667	5	1.50	8,924	4,734	175,153	6,767	22,498	11,363	6,027	15	1 ( 26.7%), 7/8 ( 27.4%), 3/4 ( 26.8%), 5/8 ( 19.2%),
2	18,496	5	1.50	10,471	5,869	205,785	8,853	22,450	10,535	5,984	16	1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.8%), 3/4 ( 32.3%),
3	18,474	4	1.75	12,718	7,672	245,049	10,259	22,587	10,365	6,253	16	1-1/4 ( 21.8%), 1-1/8 ( 21.0%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 36.9%),
4	18,394	4	1.75	11,827	6,382	212,458	8,751	22,621	11,093	6,348	15	1-1/8 ( 24.8%), 1 ( 25.1%), 7/8 ( 25.1%), 3/4 ( 25.1%),
5	9,442	5	1.50	12,365	7,245	244,812	9,617	22,458	10,078	5,985	17	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
6	9,422	4	1.75	9,688	5,127	186,776	7,462	22,695	12,223	6,528	15	1 ( 29.6%), 7/8 ( 38.4%), 3/4 ( 29.5%), 5/8 ( 18.5%),
7	9,118	3	2.00	13,549	7,928	258,884	10,966	22,669	11,642	6,461	15	1-1/4 ( 22.7%), 1-1/8 ( 22.8%), 1 ( 23.1%), 7/8 ( 31.4%),
8	9,883	5	1.50	7,746	3,887	155,815	5,735	22,619	12,889	6,335	15	7/8 ( 33.3%), 3/4 ( 33.3%), 5/8 ( 33.3%),
9	8,857	5	1.50	9,305	4,946	187,455	7,826	22,685	11,847	6,298	16	1 ( 26.8%), 7/8 ( 27.8%), 3/4 ( 46.3%),
10	8,827	7	1.25	8,655	4,220	181,382	6,134	22,241	11,028	5,373	17	1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),

TABLA 26

Gasto = 189 Bls/Dia (= 38 m<sup>3</sup>/d)

Prof. boaba = 2,953 pie (= 908 mts)

INDICE	H	Ap	PPPL	MPPL	PT	CEL	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)	
1	18,508	5	1.75	11,346	6,165	221,967	8,751	22,567	11,415	6,202	18	1-1/8 ( 24.6%), 1 ( 25.1%), 7/8 ( 25.1%), 3/4 ( 25.1%),
2	18,443	5	1.75	13,181	7,518	256,362	10,259	22,538	10,677	6,127	19	1-1/4 ( 21.8%), 1-1/8 ( 21.8%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 36.9%),
3	9,955	6	1.50	9,389	4,553	188,914	6,767	22,488	11,852	5,797	19	1 ( 26.7%), 7/8 ( 27.4%), 3/4 ( 26.8%), 5/8 ( 19.2%),
4	9,785	4	2.00	13,798	7,845	266,518	10,966	22,643	11,239	6,394	18	1-1/4 ( 22.7%), 1-1/8 ( 22.8%), 1 ( 23.1%), 7/8 ( 31.4%),
5	9,635	5	1.75	9,878	5,083	194,925	7,462	22,633	12,567	6,369	18	1 ( 29.6%), 7/8 ( 38.4%), 3/4 ( 29.5%), 5/8 ( 18.5%),
6	9,549	6	1.50	10,948	5,655	223,382	8,853	22,365	11,814	5,689	19	1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.8%), 3/4 ( 32.3%),
7	9,884	4	2.00	12,182	6,514	236,664	9,583	22,786	12,256	6,554	18	1-1/8 ( 27.1%), 1 ( 27.9%), 7/8 ( 27.4%), 3/4 ( 17.6%),
8	8,862	5	1.75	10,859	5,112	208,889	7,592	22,688	12,883	6,588	18	1 ( 29.4%), 7/8 ( 30.8%), 3/4 ( 48.6%),
9	8,735	5	1.75	11,860	6,498	236,974	9,129	22,696	11,932	6,529	19	1-1/8 ( 24.5%), 1 ( 25.8%), 7/8 ( 58.4%),
10	8,548	6	1.50	8,874	3,647	167,537	5,735	22,515	13,435	6,869	18	7/8 ( 33.3%), 3/4 ( 33.3%), 5/8 ( 33.3%),



TABLE 27

Gasto = 31 Bts/Dia (= 5 m3/d)

Prof. bomba = 3,689 pie (= 1100 mts)

INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PT	CEL	esper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)
1	7,290	2	1.01	7,681	5,770	119,540	6,947	23,022	9,789	7,356	4 1 ( 22.2%), 7/8 ( 22.4%), 3/4 ( 22.4%), 5/8 ( 33.0%),
2	6,492	2	1.01	9,406	7,376	146,252	8,619	23,027	9,463	7,370	4 1-1/8 ( 19.1%), 1 ( 19.2%), 7/8 ( 19.5%), 3/4 ( 42.3%),
3	6,089	2	1.01	5,235	3,545	85,092	4,543	23,283	11,843	8,020	4 3/4 ( 33.3%), 5/8 ( 33.1%), 1/2 ( 33.5%),
4	5,972	2	1.01	6,620	4,789	106,271	5,886	23,263	11,015	7,969	4 7/8 ( 27.0%), 3/4 ( 27.4%), 5/8 ( 45.6%),
5	5,553	1	1.25	10,021	7,527	156,204	9,140	23,107	10,092	7,572	4 1-1/8 ( 20.5%), 1 ( 20.5%), 7/8 ( 20.7%), 3/4 ( 30.3%),
6	5,552	1	1.25	8,377	5,934	131,658	7,497	23,130	10,666	7,632	4 1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
7	5,499	2	1.01	11,437	9,143	178,405	10,533	23,059	9,321	7,452	4 1-1/4 ( 16.9%), 1-1/8 ( 16.6%), 1 ( 17.1%), 7/8 ( 49.1%),
8	5,353	2	1.01	8,339	6,301	132,777	7,520	23,204	10,579	8,023	4 1 ( 22.6%), 7/8 ( 23.0%), 3/4 ( 54.3%),
9	5,202	1	1.25	11,973	9,343	186,067	11,039	23,123	9,758	7,614	4 1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.8%), 1 ( 18.0%), 7/8 ( 46.3%),
10	4,545	2	1.01	10,333	8,115	164,616	9,479	23,348	10,395	8,164	4 1-1/8 ( 19.6%), 1 ( 20.0%), 7/8 ( 60.3%),

TABLE 28

Gasto = 63 Bts/Dia (= 10 m3/d)

Prof. bomba = 3,689 pie (= 1100 mts)

INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PT	CEL	esper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)
1	8,835	3	1.25	8,728	5,073	142,413	7,497	23,069	11,113	7,478	7 1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
2	7,747	3	1.25	10,468	7,397	169,501	9,140	23,051	10,531	7,431	8 1-1/8 ( 20.5%), 1 ( 20.5%), 7/8 ( 20.7%), 3/4 ( 30.3%),
3	7,649	5	1.01	6,316	5,534	138,607	6,947	22,899	10,588	7,046	8 1 ( 22.2%), 7/8 ( 22.4%), 3/4 ( 22.4%), 5/8 ( 33.0%),
4	7,110	5	1.01	5,646	3,345	97,741	4,543	23,123	12,775	7,613	7 3/4 ( 33.3%), 5/8 ( 33.1%), 1/2 ( 33.5%),
5	6,992	3	1.25	12,535	9,100	202,293	11,039	23,071	10,216	7,422	8 1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.8%), 1 ( 18.0%), 7/8 ( 46.3%),
6	6,460	3	1.25	7,571	4,024	127,525	6,366	23,205	12,597	8,026	7 7/8 ( 29.4%), 3/4 ( 29.8%), 5/8 ( 40.8%),
7	6,419	5	1.01	7,178	4,567	123,031	5,066	23,117	11,944	7,600	8 7/8 ( 27.0%), 3/4 ( 27.4%), 5/8 ( 45.6%),
8	6,372	4	1.01	10,223	7,630	171,409	8,619	22,910	10,205	7,072	8 1-1/8 ( 19.1%), 1 ( 19.2%), 7/8 ( 19.5%), 3/4 ( 42.3%),
9	6,342	3	1.25	9,282	6,309	154,398	7,979	23,200	11,019	8,033	7 1 ( 24.3%), 7/8 ( 24.5%), 3/4 ( 51.2%),
10	6,273	2	1.50	11,313	7,674	183,734	9,843	23,165	11,301	7,721	7 1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.6%), 3/4 ( 32.3%),

TABLA 29

Gasto = 94 Bls/Dia (= 15 m<sup>3</sup>/d) Prof. bomba = 3,609 pie (= 1100 mts)

INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PT	CEL	esfer	esfeax	esfein	HP	VARILLAS diametro (porciento)	
1	8,207	4	1.25	9,203	5,657	156,879	7,497	22,961	11,720	7,282	11	1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
2	7,532	3	1.50	11,639	7,550	194,813	9,843	23,119	11,708	7,684	11	1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.8%), 3/4 ( 32.3%),
3	7,566	4	1.25	11,078	7,131	188,218	9,148	22,950	11,137	7,174	12	1-1/8 ( 20.5%), 1 ( 20.5%), 7/8 ( 28.7%), 3/4 ( 33.3%),
4	7,412	3	1.50	13,672	9,316	225,984	11,754	23,114	11,143	7,592	11	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
5	7,875	3	1.50	9,978	6,110	168,788	8,271	23,168	12,694	7,779	11	1 ( 26.7%), 7/8 ( 27.4%), 3/4 ( 26.8%), 5/8 ( 19.2%),
6	6,744	5	1.25	7,968	4,626	148,583	6,366	23,156	13,292	7,697	11	7/8 ( 23.4%), 3/4 ( 29.8%), 5/8 ( 40.8%),
7	6,547	4	1.25	13,268	8,877	226,299	11,839	22,974	18,829	7,235	12	1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.6%), 1 ( 18.8%), 7/8 ( 46.3%),
8	6,465	5	1.25	6,581	3,447	115,635	5,854	23,196	14,733	7,793	11	3/4 ( 37.2%), 5/8 ( 35.9%), 1/2 ( 26.9%),
9	6,279	4	1.25	9,824	6,073	171,916	7,979	23,169	12,508	7,732	11	1 ( 24.3%), 7/8 ( 24.5%), 3/4 ( 51.2%),
10	6,252	7	1.01	6,138	3,124	114,824	4,543	22,903	13,869	7,868	11	3/4 ( 33.3%), 5/8 ( 33.1%), 1/2 ( 33.5%),

TABLA 30

Gasto = 126 Bls/Dia (= 20 m<sup>3</sup>/d) Prof. bomba = 3,689 pie (= 1100 mts)

INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PT	CEL	esfer	esfeax	esfein	HP	VARILLAS diametro (porciento)	
1	7,775	4	1.50	12,832	7,351	207,193	9,843	23,037	12,155	7,395	15	1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.8%), 3/4 ( 32.3%),
2	7,559	6	1.25	9,721	5,489	174,627	7,497	22,837	12,378	6,887	15	1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
3	7,453	4	1.50	18,335	5,927	179,322	8,271	23,096	13,158	7,546	14	1 ( 26.7%), 7/8 ( 27.4%), 3/4 ( 26.8%), 5/8 ( 19.2%),
4	7,392	4	1.50	14,217	9,878	242,457	11,754	23,833	11,587	7,399	15	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
5	7,853	3	1.75	14,952	9,528	251,781	12,539	23,174	12,178	7,743	14	1-1/4 ( 21.0%), 1-1/8 ( 21.8%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 36.9%),
6	6,671	6	1.25	11,727	6,832	211,957	9,148	22,832	11,797	6,874	16	1-1/8 ( 28.5%), 1 ( 20.5%), 7/8 ( 20.7%), 3/4 ( 33.3%),
7	6,643	3	1.75	12,978	7,682	221,968	18,696	23,216	13,857	7,849	14	1-1/8 ( 24.8%), 1 ( 25.1%), 7/8 ( 25.1%), 3/4 ( 25.1%),
8	6,444	6	1.25	6,838	3,263	126,287	5,854	23,832	15,478	7,383	14	3/4 ( 37.2%), 5/8 ( 35.9%), 1/2 ( 26.9%),
9	6,378	4	1.50	18,741	6,282	189,438	8,537	23,234	13,676	7,896	14	1 ( 26.8%), 7/8 ( 27.8%), 3/4 ( 46.3%),
10	6,349	6	1.25	8,437	4,483	155,885	6,366	23,889	14,839	7,325	15	7/8 ( 29.4%), 3/4 ( 27.8%), 5/8 ( 40.8%),

TABLA 31

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Gasto = 157 Bls/Dia (= 25 m<sup>3</sup>/d)

Prof. bomba = 3,489 pie (= 1103 mts)

INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PT	CRL	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (por ciento)	
1	7,479	5	1.50	12,560	7,117	223,312	9,843	22,944	12,636	7,160	18	1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.6%), 3/4 ( 32.3%),
2	7,394	5	1.50	10,725	5,724	191,740	8,271	22,995	13,655	7,283	18	1 ( 26.7%), 7/8 ( 27.4%), 3/4 ( 26.8%), 5/8 ( 19.2%),
3	7,349	4	1.75	15,327	9,320	263,641	12,539	23,116	12,491	7,596	18	1-1/4 ( 21.8%), 1-1/8 ( 21.8%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 36.9%),
4	7,833	4	1.75	13,310	7,630	231,829	10,696	23,151	13,390	7,684	18	1-1/8 ( 24.8%), 1 ( 25.1%), 7/8 ( 25.1%), 3/4 ( 25.1%),
5	6,898	5	1.50	14,689	8,683	263,418	11,754	22,950	12,869	7,174	19	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
6	6,493	7	1.25	10,237	5,092	196,878	7,497	22,678	13,834	6,484	19	1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
7	6,252	3	2.00	16,321	9,686	281,164	13,483	23,233	13,301	7,894	18	1-1/4 ( 22.7%), 1-1/8 ( 22.8%), 1 ( 23.1%), 7/8 ( 31.4%),
8	6,228	5	1.50	11,165	5,987	203,705	8,587	23,127	14,215	7,623	18	1 ( 26.8%), 7/8 ( 27.8%), 3/4 ( 46.3%),
9	6,154	4	1.75	11,689	6,194	206,717	9,121	23,230	14,782	7,886	17	1 ( 29.6%), 7/8 ( 38.4%), 3/4 ( 29.5%), 5/8 ( 18.5%),
10	6,118	5	1.50	9,317	4,589	171,236	7,809	23,131	15,583	7,635	18	7/8 ( 33.3%), 3/4 ( 33.3%), 5/8 ( 33.3%),

TABLA 32

Gasto = 189 Bls/Dia (= 38 m<sup>3</sup>/d)

Prof. bomba = 3,489 pie (= 1103 mts)

INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PT	CRL	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (por ciento)	
1	7,256	5	1.75	15,786	9,872	278,398	12,539	23,043	12,865	7,418	22	1-1/4 ( 21.8%), 1-1/8 ( 21.8%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 36.9%),
2	7,175	6	1.50	11,112	5,523	284,482	8,271	22,894	14,148	7,832	21	1 ( 26.7%), 7/8 ( 27.4%), 3/4 ( 26.8%), 5/8 ( 19.2%),
3	7,184	5	1.75	13,688	7,439	243,371	10,696	23,072	13,771	7,484	21	1-1/8 ( 24.6%), 1 ( 25.1%), 7/8 ( 25.1%), 3/4 ( 25.1%),
4	7,865	6	1.50	13,042	6,881	240,834	9,843	22,851	13,121	6,923	22	1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.8%), 3/4 ( 32.3%),
5	6,678	4	2.00	16,689	9,552	290,329	13,483	23,198	13,536	7,765	21	1-1/4 ( 22.7%), 1-1/8 ( 22.8%), 1 ( 23.1%), 7/8 ( 31.4%),
6	6,358	6	1.50	15,406	8,525	285,298	11,754	22,861	12,556	6,948	23	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
7	6,343	5	1.75	11,921	6,018	215,790	9,121	23,142	15,179	7,663	21	1 ( 29.6%), 7/8 ( 38.4%), 3/4 ( 29.5%), 5/8 ( 18.5%),
8	6,846	6	1.50	9,648	4,488	181,721	7,809	23,013	16,654	7,334	21	7/8 ( 33.3%), 3/4 ( 33.3%), 5/8 ( 33.3%),
9	5,979	5	1.75	14,293	7,836	258,689	11,158	23,229	14,379	7,833	22	1-1/8 ( 24.5%), 1 ( 25.8%), 7/8 ( 58.4%),
10	5,957	6	1.50	11,592	5,771	219,568	8,587	23,018	14,768	7,348	22	1 ( 26.8%), 7/8 ( 27.8%), 3/4 ( 46.3%),

TABLA 33

Gasto = 31 Bls/Día (= 5 m<sup>3</sup>/d) Prof. bomba = 4,593 pie (= 1408 mts)

INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PT	CBL	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diámetro (porciento)
1	4,744	2	1.01	9,649	7,368	132,485	8,841	23,815	12,285	9,372	5 1 ( 22.2%), 7/8 ( 22.4%), 3/4 ( 22.4%), 5/8 ( 33.0%),
2	4,447	2	1.01	11,884	9,340	159,117	10,970	23,825	11,875	9,396	5 1-1/8 ( 19.1%), 1 ( 19.2%), 7/8 ( 19.5%), 3/4 ( 42.3%),
3	3,938	2	1.81	14,348	11,663	191,037	13,469	23,868	11,667	9,505	5 1-1/4 ( 16.9%), 1-1/8 ( 16.8%), 1 ( 17.1%), 7/8 ( 49.1%),
4	3,779	2	1.01	8,315	6,099	110,289	7,492	24,121	13,835	10,149	4 7/8 ( 27.8%), 3/4 ( 27.4%), 5/8 ( 45.6%),
5	3,686	2	1.81	6,597	4,506	97,158	5,782	24,139	14,903	10,195	4 3/4 ( 33.3%), 5/8 ( 33.1%), 1/2 ( 33.5%),
6	3,595	2	1.01	10,423	8,832	144,638	9,571	24,152	13,271	10,226	5 1 ( 22.6%), 7/8 ( 23.0%), 3/4 ( 54.3%),
7	3,463	2	1.25	12,644	9,582	174,617	11,633	23,921	12,720	9,640	4 1-1/8 ( 20.5%), 1 ( 20.5%), 7/8 ( 20.7%), 3/4 ( 39.3%),
8	3,480	1	1.25	15,897	11,920	204,839	14,113	23,944	12,384	9,699	5 1-1/4 ( 17.5%), 1-1/8 ( 17.8%), 1 ( 18.8%), 7/8 ( 46.3%),
9	3,282	2	1.25	18,577	7,626	158,168	9,542	23,948	13,467	9,710	4 1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
10	3,196	2	1.81	12,951	10,358	176,314	12,064	24,225	13,029	10,413	5 1-1/8 ( 19.6%), 1 ( 20.0%), 7/8 ( 60.3%),

TABLA 34

Gasto = 63 Bls/Día (= 10 m<sup>3</sup>/d) Prof. bomba = 4,593 pie (= 1408 mts)

INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PT	CBL	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diámetro (porciento)
1	5,839	5	1.01	10,379	7,813	154,521	8,841	23,641	13,214	8,938	9 1 ( 22.2%), 7/8 ( 22.4%), 3/4 ( 22.4%), 5/8 ( 33.0%),
2	4,839	3	1.25	13,153	9,367	189,919	11,633	23,836	13,232	9,424	9 1-1/8 ( 20.5%), 1 ( 20.5%), 7/8 ( 20.7%), 3/4 ( 39.3%),
3	4,782	3	1.25	18,985	7,432	162,132	9,542	23,651	13,986	9,463	9 1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
4	4,563	3	1.25	15,729	11,658	223,275	14,113	23,846	12,819	9,581	9 1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.8%), 1 ( 18.0%), 7/8 ( 46.3%),
5	4,422	5	1.01	7,864	4,243	109,437	5,782	23,984	15,981	9,598	9 3/4 ( 33.3%), 5/8 ( 33.1%), 1/2 ( 33.5%),
6	4,326	5	1.81	12,739	8,924	189,233	10,970	23,668	12,816	8,978	10 1-1/8 ( 19.1%), 1 ( 19.2%), 7/8 ( 19.5%), 3/4 ( 42.3%),
7	4,169	5	1.81	8,959	5,768	137,439	7,492	23,912	14,987	9,618	9 7/8 ( 27.8%), 3/4 ( 27.4%), 5/8 ( 45.6%),
8	3,872	3	1.25	11,666	7,972	173,512	10,156	24,132	14,854	10,176	9 1 ( 24.3%), 7/8 ( 24.5%), 3/4 ( 51.2%),
9	3,869	2	1.50	16,690	12,824	239,767	14,959	23,984	13,602	9,860	9 1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
10	3,737	3	1.25	9,534	6,893	145,985	8,182	24,117	15,864	10,137	9 7/8 ( 29.4%), 3/4 ( 29.8%), 5/8 ( 40.8%),

TABLA 35

Gasto = 94 Bls/Dia (= 15 m<sup>3</sup>/d)

Prof. bocha = 4,593 pie (= 1400 mts)

INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PT	CEL	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)
1	5,138	5	1.25	11,520	7,138	176,046	9,542	23,704	14,667	9,039	13 1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
2	4,897	5	1.25	13,829	9,023	209,777	11,633	23,699	13,912	9,077	14 1-1/8 ( 28.5%), 1 ( 28.5%), 7/8 ( 20.7%), 3/4 ( 38.3%),
3	4,514	3	1.50	17,201	11,782	254,603	14,959	23,506	14,019	9,602	13 1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
4	4,434	3	1.50	14,664	9,537	221,589	12,528	23,933	14,752	9,595	13 1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.8%), 3/4 ( 32.3%),
5	4,362	4	1.25	16,575	11,253	253,279	14,113	23,736	13,508	9,171	14 1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.8%), 1 ( 18.8%), 7/8 ( 46.3%),
6	4,143	5	1.25	10,031	5,822	157,457	8,182	23,939	16,641	9,680	13 7/8 ( 29.4%), 3/4 ( 29.6%), 5/8 ( 48.8%),
7	4,018	5	1.25	12,273	7,672	191,187	10,156	23,971	15,627	9,769	14 1 ( 24.3%), 7/8 ( 24.5%), 3/4 ( 51.2%),
8	3,985	7	1.01	11,148	6,488	103,633	8,641	23,377	14,183	8,268	15 1 ( 22.2%), 7/8 ( 22.4%), 3/4 ( 22.4%), 5/8 ( 33.8%),
9	3,874	3	1.50	12,685	7,689	190,202	10,527	23,920	16,850	9,798	13 1 ( 26.7%), 7/8 ( 27.4%), 3/4 ( 26.8%), 5/8 ( 19.2%),
10	3,617	3	1.50	15,579	10,294	236,617	13,357	24,283	15,673	10,336	13 1-1/8 ( 22.5%), 1 ( 23.0%), 7/8 ( 54.5%),

TABLA 36

Gasto = 126 Bls/Dia (= 20 m<sup>3</sup>/d)

Prof. bocha = 4,593 pie (= 1400 mts)

INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PT	CEL	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)
1	4,730	4	1.50	15,158	9,258	234,078	12,528	23,792	15,249	9,314	18 1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.8%), 3/4 ( 32.3%),
2	4,652	6	1.25	12,846	6,767	193,233	9,542	23,517	15,337	8,616	18 1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
3	4,637	4	1.50	17,889	11,462	272,026	14,959	23,833	14,515	9,341	18 1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
4	4,336	6	1.25	14,494	8,592	236,964	11,633	23,529	14,582	8,644	19 1-1/8 ( 28.5%), 1 ( 28.5%), 7/8 ( 20.7%), 3/4 ( 38.3%),
5	4,252	4	1.50	13,009	7,442	209,201	10,527	23,656	16,563	9,475	17 1 ( 26.7%), 7/8 ( 27.4%), 3/4 ( 26.8%), 5/8 ( 19.2%),
6	4,036	3	1.75	10,813	11,903	203,168	15,959	23,972	15,332	9,778	18 1-1/4 ( 21.8%), 1-1/8 ( 21.8%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 36.9%),
7	3,813	4	1.50	13,481	7,792	213,792	10,929	24,031	17,165	9,928	17 1 ( 26.8%), 7/8 ( 27.6%), 3/4 ( 46.3%),
8	3,781	6	1.25	10,461	5,488	177,801	8,182	23,715	17,406	9,118	18 7/8 ( 29.4%), 3/4 ( 29.6%), 5/8 ( 48.8%),
9	3,778	4	1.50	16,134	9,993	262,239	13,357	24,033	16,232	10,853	18 1-1/8 ( 22.5%), 1 ( 23.6%), 7/8 ( 54.5%),
10	3,769	6	1.25	17,469	10,749	284,813	14,113	23,575	14,188	8,761	19 1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.8%), 1 ( 18.8%), 7/8 ( 46.3%),

TABLE 37

Gasto = 157 Bls/Dia (= 25 m<sup>3</sup>/d)

Prof. bomba = 4,593 pie (= 1400 mts)

INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PT	CBL	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)
1	4,815	5	1.50	15,651	8,975	247,148	12,528	23,650	15,746	9,829	22 1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.6%), 3/4 ( 32.3%),
2	4,589	5	1.50	18,417	11,143	289,720	14,959	23,701	15,810	9,831	23 1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
3	4,348	5	1.50	13,411	7,179	228,163	10,527	23,724	17,076	9,141	22 1 ( 26.7%), 7/8 ( 27.4%), 3/4 ( 26.8%), 5/8 ( 19.2%),
4	4,351	4	1.75	19,234	11,716	299,729	15,959	23,835	15,716	9,548	22 1-1/4 ( 21.8%), 1-1/8 ( 21.0%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 36.9%),
5	3,916	5	1.50	13,921	7,521	225,652	10,929	23,696	17,725	9,577	22 1 ( 26.8%), 7/8 ( 27.0%), 3/4 ( 46.3%),
6	3,648	8	1.25	12,571	6,321	227,587	9,542	23,294	16,886	8,648	24 1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
7	3,844	4	1.75	16,818	9,577	274,520	15,613	23,919	16,920	9,634	22 1-1/8 ( 24.8%), 1 ( 25.1%), 7/8 ( 26.1%), 3/4 ( 25.1%),
8	3,775	5	1.50	16,690	9,692	268,141	13,357	23,964	16,790	9,751	22 1-1/8 ( 22.5%), 1 ( 23.0%), 7/8 ( 54.5%),
9	3,547	7	1.25	15,153	8,855	271,625	11,633	23,316	15,249	8,104	24 1-1/8 ( 20.5%), 1 ( 20.5%), 7/8 ( 20.7%), 3/4 ( 39.3%),
10	3,528	4	1.75	28,494	12,667	320,939	17,819	24,190	16,783	10,324	22 1-1/4 ( 20.9%), 1-1/8 ( 21.4%), 1 ( 57.7%),

TABLE 38

Gasto = 189 Bls/Dia (= 30 m<sup>3</sup>/d)

Prof. bomba = 4,593 pie (= 1400 mts)

INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PT	CBL	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)
1	4,499	5	1.75	19,750	11,446	311,306	15,959	23,793	16,896	9,329	26 1-1/4 ( 21.0%), 1-1/8 ( 21.8%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 36.9%),
2	4,197	6	1.50	16,148	8,352	275,658	12,523	23,513	16,237	8,684	27 1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.8%), 3/4 ( 32.3%),
3	4,827	5	1.75	17,285	9,336	284,977	13,613	23,223	17,327	9,322	26 1-1/8 ( 24.8%), 1 ( 25.1%), 7/8 ( 25.1%), 3/4 ( 25.1%),
4	3,991	6	1.50	19,818	10,657	322,864	14,959	23,545	15,508	8,685	28 1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
5	3,888	7	1.50	13,639	6,815	244,548	10,527	23,542	17,532	8,677	27 1 ( 26.7%), 7/8 ( 27.4%), 3/4 ( 26.8%), 5/8 ( 19.2%),
6	3,651	5	1.75	17,890	9,841	288,973	14,282	24,023	17,993	9,988	26 1-1/8 ( 24.5%), 1 ( 25.0%), 7/8 ( 58.4%),
7	3,595	5	1.75	21,815	12,379	335,428	17,819	24,898	17,127	10,800	27 1-1/4 ( 28.9%), 1-1/8 ( 21.4%), 1 ( 57.7%),
8	3,529	4	2.00	21,848	11,967	348,424	17,858	23,965	17,154	9,753	26 1-1/4 ( 22.7%), 1-1/8 ( 22.6%), 1 ( 23.1%), 7/8 ( 31.4%),
9	3,434	6	1.50	14,355	7,134	251,881	10,929	23,782	18,278	9,633	27 1 ( 26.8%), 7/8 ( 27.0%), 3/4 ( 46.3%),
10	3,272	6	1.50	17,238	9,236	298,498	13,357	23,784	17,342	9,291	28 1-1/8 ( 22.5%), 1 ( 23.0%), 7/8 ( 54.5%),

TABLA 39

Gasto = 31 Bls/Dia (= 5 m<sup>3</sup>/d)

Prof. bomba = 5,249 pie (= 1600 mts)

INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PT	CEL	esfer	esfoax	esfain	HP	VRILLAS diametro (porciento)	
1	3,537	2	1.01	18,966	8,489	143,835	18,184	24,348	13,962	18,706	5	1 ( 22.2%), 7/8 ( 22.4%), 3/4 ( 22.4%), 5/8 ( 33.0%),
2	3,398	2	1.01	13,483	10,677	171,898	12,537	24,354	13,494	10,741	5	1-1/8 ( 19.1%), 1 ( 19.2%), 7/8 ( 19.5%), 3/4 ( 42.3%),
3	3,088	2	1.01	16,276	13,337	203,772	15,393	24,405	13,265	18,970	5	1-1/4 ( 16.9%), 1-1/8 ( 16.6%), 1 ( 17.1%), 7/8 ( 49.1%),
4	2,767	2	1.01	9,452	6,962	123,555	8,562	24,687	15,727	11,585	5	7/8 ( 27.0%), 3/4 ( 27.4%), 5/8 ( 45.6%),
5	2,718	2	1.01	11,034	9,180	155,525	10,938	24,727	15,067	11,688	5	1 ( 22.6%), 7/8 ( 23.0%), 3/4 ( 54.3%),
6	2,523	2	1.25	17,181	13,630	270,992	16,129	24,489	14,832	11,834	5	1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.6%), 1 ( 18.0%), 7/8 ( 46.3%),
7	2,519	2	1.25	14,398	10,945	190,822	13,295	24,461	14,465	11,811	5	1-1/8 ( 20.5%), 1 ( 20.5%), 7/8 ( 28.7%), 3/4 ( 39.3%),
8	2,475	2	1.01	14,679	11,835	183,022	13,783	24,813	14,786	11,907	5	1-1/8 ( 19.6%), 1 ( 20.8%), 7/8 ( 40.3%),
9	2,458	2	1.01	7,512	5,137	108,585	6,688	24,702	16,996	11,623	5	3/4 ( 33.3%), 5/8 ( 33.1%), 1/2 ( 33.5%),
10	2,387	2	1.25	12,854	8,787	166,168	18,985	24,450	15,348	11,886	5	1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),

TABLA 40

Gasto = 63 Bls/Dia (= 10 m<sup>3</sup>/d)

Prof. bomba = 5,249 pie (= 1600 mts)

INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PT	CEL	esfer	esfoax	esfain	HP	VRILLAS diametro (porciento)	
1	3,954	5	1.01	11,741	7,998	163,313	18,104	24,135	14,949	10,184	10	1 ( 22.2%), 7/8 ( 22.4%), 3/4 ( 22.4%), 5/8 ( 33.0%),
2	3,539	3	1.25	14,967	10,657	205,558	13,295	24,347	15,057	10,722	10	1-1/8 ( 20.5%), 1 ( 20.5%), 7/8 ( 20.7%), 3/4 ( 38.3%),
3	3,449	5	1.01	14,398	10,198	199,778	12,537	24,162	14,485	10,252	11	1-1/8 ( 19.1%), 1 ( 19.2%), 7/8 ( 19.5%), 3/4 ( 42.3%),
4	3,409	3	1.25	12,519	8,444	177,666	10,985	24,358	15,948	10,751	10	1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
5	3,385	3	1.25	17,889	13,275	241,042	16,129	24,385	14,589	10,819	10	1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.8%), 1 ( 18.0%), 7/8 ( 46.3%),
6	3,242	5	1.01	10,135	6,565	144,734	8,562	24,439	16,864	10,956	10	7/8 ( 27.8%), 3/4 ( 27.4%), 5/8 ( 45.6%),
7	3,892	5	1.01	8,824	4,889	121,654	6,608	24,409	18,154	10,888	10	3/4 ( 33.3%), 5/8 ( 33.1%), 1/2 ( 33.5%),
8	2,953	5	1.01	17,532	12,759	243,183	15,393	24,219	14,283	10,398	11	1-1/4 ( 16.9%), 1-1/8 ( 16.6%), 1 ( 17.1%), 7/8 ( 49.1%),
9	2,846	5	1.01	12,738	8,725	180,878	10,938	24,499	16,219	11,118	11	1 ( 22.6%), 7/8 ( 23.0%), 3/4 ( 54.3%),
10	2,685	3	1.25	13,276	9,886	187,481	11,686	24,688	16,983	11,569	10	1 ( 24.3%), 7/8 ( 24.5%), 3/4 ( 51.2%),

TABLE 41

Gasto = 94 Bls/Dia (= 15 m<sup>3</sup>/d)

Prof. boeba = 5,249 pie (= 1600 mts)

INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PT	CBL	esfper	esfaax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)
1	3,644	5	1.25	13,659	8,113	160,271	18,905	24,192	16,628	18,330	15 1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
2	3,637	5	1.25	15,652	10,279	221,421	13,295	24,197	15,746	18,341	15 1-1/8 ( 20.5%), 1 ( 20.5%), 7/8 ( 20.7%), 3/4 ( 30.3%),
3	3,441	5	1.25	18,743	12,837	264,018	16,129	24,244	15,276	18,462	16 1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.8%), 1 ( 18.0%), 7/8 ( 46.3%),
4	3,299	3	1.50	19,566	13,397	274,602	17,876	24,424	15,946	18,919	15 1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
5	3,894	5	1.25	13,893	8,731	203,948	11,666	24,502	17,689	11,117	15 1 ( 24.3%), 7/8 ( 24.5%), 3/4 ( 51.2%),
6	3,846	3	1.50	16,732	10,834	247,191	14,317	24,417	16,833	18,908	15 1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.8%), 3/4 ( 32.3%),
7	2,983	7	1.81	12,589	7,364	204,328	18,104	23,817	15,927	9,376	16 1 ( 22.2%), 7/8 ( 22.4%), 3/4 ( 22.4%), 5/8 ( 33.0%),
8	2,836	5	1.25	16,979	11,286	243,627	14,436	24,596	17,031	11,355	16 1-1/8 ( 20.8%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 53.0%),
9	2,778	5	1.25	11,381	6,485	179,964	9,268	24,452	18,936	18,990	15 7/8 ( 29.4%), 3/4 ( 29.8%), 5/8 ( 48.8%),
10	2,621	3	1.50	17,723	11,696	254,918	15,265	24,758	17,838	11,767	15 1-1/8 ( 22.5%), 1 ( 23.0%), 7/8 ( 54.5%),

TABLE 42

Gasto = 126 Bls/Dia (= 20 m<sup>3</sup>/d)

Prof. boeba = 5,249 pie (= 1600 mts)

INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PT	CBL	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)
1	3,539	4	1.50	28,184	13,043	288,178	17,896	24,318	16,458	18,638	20 1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
2	3,339	4	1.50	17,236	10,521	259,121	14,317	24,293	17,348	18,584	20 1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.8%), 3/4 ( 32.3%),
3	3,282	6	1.25	13,599	7,624	228,462	18,905	23,947	17,315	9,787	21 1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
4	3,141	6	1.25	16,325	9,713	257,966	13,295	23,973	16,424	9,772	21 1-1/8 ( 20.5%), 1 ( 20.5%), 7/8 ( 20.7%), 3/4 ( 38.3%),
5	2,856	4	1.50	18,288	11,368	266,335	15,265	24,625	18,398	11,428	20 1-1/8 ( 22.5%), 1 ( 23.0%), 7/8 ( 54.5%),
6	2,826	6	1.25	19,583	12,177	366,828	16,129	24,833	15,968	9,924	22 1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.8%), 1 ( 18.0%), 7/8 ( 46.3%),
7	2,718	3	1.75	21,586	13,613	327,325	18,238	24,494	17,528	11,895	20 1-1/4 ( 21.0%), 1-1/8 ( 21.0%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 36.9%),
8	2,783	4	1.50	21,788	14,384	313,570	18,587	24,715	17,758	11,658	20 1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.9%), 1 ( 60.7%),
9	2,669	5	1.50	14,866	8,442	247,787	12,831	24,357	18,928	18,749	20 1 ( 26.7%), 7/8 ( 27.4%), 3/4 ( 26.8%), 5/8 ( 19.2%),
10	2,555	6	1.25	14,499	8,285	235,552	11,606	24,238	18,468	18,446	21 1 ( 24.3%), 7/8 ( 24.5%), 3/4 ( 51.2%),



TABLA 43

Gasto = 157 Bls/Dia (= 25 m<sup>3</sup>/d)

Prof. boaba = 5,249 pie (= 1620 ats)

INDICE	N	Ap	PPPL	MPPL	PT	CEL	esfper	esfaax	esfaín	HP	VARILLAS diámetro (porciento)	
1	3,272	5	1.50	20,601	12,567	316,010	17,076	24,159	16,953	10,242	26	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
2	3,124	5	1.50	17,739	10,073	234,687	14,317	24,123	17,646	10,154	25	1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.8%), 3/4 ( 32.3%),
3	2,935	4	1.75	21,969	13,307	340,168	18,238	24,395	17,920	10,845	25	1-1/4 ( 21.0%), 1-1/8 ( 21.0%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 36.9%),
4	2,645	5	1.50	10,852	10,987	293,839	15,265	24,446	18,966	10,973	25	1-1/8 ( 22.5%), 1 ( 23.0%), 7/8 ( 54.5%),
5	2,588	8	1.25	14,216	7,871	257,733	10,505	23,680	10,108	9,029	27	1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
6	2,565	6	1.50	15,273	8,853	270,759	12,831	24,162	19,447	10,253	25	1 ( 26.7%), 7/8 ( 27.4%), 3/4 ( 26.8%), 5/8 ( 19.2%),
7	2,562	4	1.75	23,285	14,392	346,525	19,450	24,743	18,977	11,729	25	1-1/4 ( 20.9%), 1-1/8 ( 21.4%), 1 ( 57.7%),
8	2,584	8	1.25	17,885	9,838	301,094	13,295	23,722	17,183	9,135	27	1-1/8 ( 20.5%), 1 ( 23.5%), 7/8 ( 20.7%), 3/4 ( 38.3%),
9	2,494	5	1.50	22,478	13,786	343,746	18,537	24,552	18,319	11,244	26	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.9%), 1 ( 68.7%),
10	2,397	4	1.75	19,237	10,859	326,860	15,558	24,427	19,353	10,924	25	1-1/8 ( 24.8%), 1 ( 25.1%), 7/8 ( 25.1%), 3/4 ( 25.1%),

TABLA 44

Gasto = 189 Bls/Dia (= 38 m<sup>3</sup>/d)

Prof. boaba = 5,249 pie (= 1620 ats)

INDICE	N	Ap	PPPL	MPPL	PT	CEL	esfper	esfaax	esfaín	HP	VARILLAS diámetro (porciento)	
1	2,989	5	1.75	22,463	12,966	357,044	18,238	24,266	18,387	10,557	30	1-1/4 ( 21.0%), 1-1/8 ( 21.0%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 36.9%),
2	2,857	6	1.50	21,410	12,835	351,234	17,076	23,987	17,449	9,883	32	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
3	2,798	7	1.50	18,235	9,634	314,370	14,317	23,941	18,345	9,692	31	1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.8%), 3/4 ( 32.3%),
4	2,622	5	1.75	23,815	14,048	361,709	19,450	24,631	19,409	11,443	30	1-1/4 ( 20.9%), 1-1/8 ( 21.4%), 1 ( 57.7%),
5	2,448	5	1.75	19,632	10,533	344,642	15,558	24,297	19,751	10,595	30	1-1/8 ( 24.8%), 1 ( 25.1%), 7/8 ( 25.1%), 3/4 ( 25.1%),
6	2,401	7	1.50	15,677	7,653	294,986	12,831	23,962	19,361	9,744	31	1 ( 26.7%), 7/8 ( 27.4%), 3/4 ( 26.8%), 5/8 ( 19.2%),
7	2,319	6	1.50	19,489	10,489	326,199	15,265	24,240	19,526	10,472	31	1-1/8 ( 22.5%), 1 ( 23.0%), 7/8 ( 54.5%),
8	2,249	5	1.75	20,406	11,127	346,511	16,238	24,533	20,529	11,194	30	1-1/8 ( 24.5%), 1 ( 25.8%), 7/8 ( 50.4%),
9	2,191	4	2.00	24,101	13,562	413,076	19,495	24,477	19,642	11,853	28	1-1/4 ( 22.7%), 1-1/8 ( 22.8%), 1 ( 23.1%), 7/8 ( 31.4%),
10	2,172	6	1.50	23,166	13,212	381,950	18,537	24,365	18,830	10,768	32	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.9%), 1 ( 68.7%),

TABLA 45

Gasto = 31 Dls/Dia (= 5 m<sup>3</sup>/d)

Prof. bozba = 5,966 pie (= 1833 mts)

INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PT	CRL	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diámetro (porciento)
1	2,594	2	1.01	12,314	9,426	175,033	11,367	24,851	15,678	12,002	6 1 ( 22.2%), 7/8 ( 22.4%), 3/4 ( 22.4%), 5/8 ( 33.0%),
2	2,543	2	1.01	15,846	11,979	185,302	14,184	24,878	15,137	12,051	6 1-1/8 ( 19.1%), 1 ( 19.2%), 7/8 ( 19.5%), 3/4 ( 42.3%),
3	2,340	2	1.01	18,250	14,979	219,591	17,317	24,932	14,874	12,203	6 1-1/4 ( 16.9%), 1-1/8 ( 16.8%), 1 ( 17.1%), 7/8 ( 49.1%),
4	2,008	2	1.01	13,287	10,295	169,895	12,385	25,286	16,917	13,187	6 1 ( 22.6%), 7/8 ( 23.0%), 3/4 ( 54.3%),
5	2,008	2	1.01	18,616	7,631	138,958	9,632	25,236	17,663	12,958	6 7/8 ( 27.0%), 3/4 ( 27.4%), 5/8 ( 45.6%),
6	1,838	2	1.25	19,272	15,293	248,034	18,146	25,033	15,786	12,464	6 1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.8%), 1 ( 18.0%), 7/8 ( 46.3%),
7	1,859	2	1.01	16,481	13,209	282,342	15,511	25,389	16,581	13,369	6 1-1/8 ( 19.6%), 1 ( 20.0%), 7/8 ( 60.3%),
8	1,824	2	1.25	16,153	12,325	288,584	14,957	24,999	16,250	12,379	6 1-1/8 ( 20.5%), 1 ( 20.5%), 7/8 ( 20.7%), 3/4 ( 38.3%),
9	1,668	2	1.01	28,288	16,761	241,939	19,236	25,584	16,463	13,668	6 1-1/4 ( 17.3%), 1-1/8 ( 17.8%), 1 ( 64.9%),
10	1,611	3	1.01	8,481	5,751	124,218	7,434	25,248	19,187	13,812	6 3/4 ( 33.3%), 5/8 ( 33.1%), 1/2 ( 33.5%),

TABLA 46

Gasto = 63 Dls/Dia (= 18 m<sup>3</sup>/d)

Prof. bozba = 5,966 pie (= 1833 mts)

INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PT	CRL	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diámetro (porciento)
1	2,828	5	1.01	13,185	8,915	177,037	11,367	24,594	16,686	11,351	12 1 ( 22.2%), 7/8 ( 22.4%), 3/4 ( 22.4%), 5/8 ( 33.0%),
2	2,657	3	1.25	16,784	11,948	219,832	14,957	24,855	16,885	12,812	11 1-1/8 ( 28.5%), 1 ( 28.5%), 7/8 ( 28.7%), 3/4 ( 38.3%),
3	2,627	5	1.01	16,849	11,392	213,874	14,184	24,638	16,146	11,461	12 1-1/8 ( 19.1%), 1 ( 19.2%), 7/8 ( 19.5%), 3/4 ( 42.3%),
4	2,579	3	1.25	28,039	14,652	257,154	18,146	24,934	16,332	12,137	11 1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.8%), 1 ( 18.0%), 7/8 ( 46.3%),
5	2,318	5	1.01	11,315	7,324	157,648	9,632	24,924	18,028	12,187	11 7/8 ( 27.0%), 3/4 ( 27.4%), 5/8 ( 45.6%),
6	2,268	3	1.25	14,185	9,458	284,115	12,268	24,866	17,968	12,842	11 1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
7	2,237	5	1.01	19,529	14,285	258,288	17,317	24,789	15,916	11,642	12 1-1/4 ( 16.9%), 1-1/8 ( 16.8%), 1 ( 17.1%), 7/8 ( 49.1%),
8	2,138	5	1.01	14,198	9,743	193,433	12,385	25,818	18,877	12,485	12 1 ( 22.6%), 7/8 ( 23.0%), 3/4 ( 54.3%),
9	2,046	3	1.25	18,139	13,119	237,189	16,248	25,322	18,249	13,198	11 1-1/8 ( 28.8%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 59.8%),
10	1,978	3	1.25	14,923	10,176	287,534	13,857	25,226	19,008	12,956	11 1 ( 24.3%), 7/8 ( 24.5%), 3/4 ( 51.2%),

TABLE 47

Gasto = 94 Bls/Dia (= 15 m<sup>3</sup>/d)

Prof. bomba = 5,96% pie (= 1800 mts)

INDICE	N	Ap	FPRL	MPRL	PT	CEL	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)
1	2,742	5	1.25	17,473	11,453	240,600	14,957	24,662	17,579	11,522	17 1-1/8 ( 20.5%), 1 ( 20.5%), 7/8 ( 20.7%), 3/4 ( 33.3%),
2	2,590	5	1.25	20,903	14,339	232,519	18,146	24,726	17,036	11,666	17 1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.8%), 1 ( 18.0%), 7/8 ( 46.3%),
3	2,372	5	1.25	14,655	9,822	226,445	12,268	24,648	18,668	11,487	17 1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
4	2,344	3	1.50	21,975	15,818	383,693	19,233	24,942	17,918	12,233	17 1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
5	2,833	5	1.25	18,935	12,593	260,542	16,248	25,113	19,058	12,669	17 1-1/8 ( 20.6%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 58.0%),
6	2,659	5	1.25	15,545	9,715	229,136	13,057	24,996	19,792	12,378	17 1 ( 24.3%), 7/8 ( 24.5%), 3/4 ( 51.2%),
7	2,644	7	1.81	13,965	8,186	227,604	11,367	24,229	17,788	18,422	18 1 ( 22.2%), 7/8 ( 22.4%), 3/4 ( 22.4%), 5/8 ( 33.0%),
8	2,601	3	1.50	18,843	12,127	265,992	16,187	24,929	18,962	12,208	17 1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.8%), 3/4 ( 32.3%),
9	1,949	3	1.50	23,618	16,458	313,688	20,828	25,406	19,242	13,413	17 1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.9%), 1 ( 48.7%),
10	1,875	5	1.25	22,884	15,983	318,193	19,582	25,228	18,658	12,961	18 1-1/4 ( 18.1%), 1-1/8 ( 18.6%), 1 ( 63.2%),

TABLE 48

Gasto = 126 Bls/Dia (= 20 m<sup>3</sup>/d)

Prof. bomba = 5,96% pie (= 1800 mts)

INDICE	N	Ap	FPRL	MPRL	PT	CEL	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)
1	2,473	4	1.50	22,689	14,578	322,142	19,233	24,801	18,426	11,874	23 1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
2	2,268	6	1.25	18,162	10,831	282,869	14,957	24,416	18,272	18,877	24 1-1/8 ( 21.5%), 1 ( 20.5%), 7/8 ( 20.7%), 3/4 ( 39.3%),
3	2,112	5	1.50	19,367	11,718	387,517	16,187	24,767	19,484	11,788	22 1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.6%), 3/4 ( 32.3%),
4	2,189	6	1.25	21,751	13,616	333,266	18,146	24,494	17,727	11,897	24 1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.8%), 1 ( 18.0%), 7/8 ( 46.3%),
5	2,893	6	1.25	15,222	8,479	268,267	12,268	24,376	19,381	18,795	23 1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
6	2,864	4	1.50	24,319	16,828	329,778	20,828	25,268	19,828	13,848	23 1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.5%), 1 ( 68.7%),
7	1,858	4	1.50	28,529	12,676	318,471	17,174	25,146	20,653	12,752	22 1-1/8 ( 22.5%), 1 ( 23.0%), 7/8 ( 54.5%),
8	1,775	3	1.75	24,236	15,225	379,229	20,518	25,811	19,753	12,483	22 1-1/4 ( 21.8%), 1-1/8 ( 21.8%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 36.9%),
9	1,753	6	1.25	16,171	9,135	266,999	13,857	24,785	20,389	11,631	24 1 ( 24.3%), 7/8 ( 24.5%), 3/4 ( 51.2%),
10	1,788	6	1.25	19,723	11,983	386,393	16,248	24,842	19,842	11,968	24 1-1/8 ( 20.8%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 58.0%),

TABLA 49

Gasto = 157 Bls/Dia ( = 25 m<sup>3</sup>/d)

Prof. bomba = 5,906 pie ( = 1803 mts)

INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PT	CBL	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)	
1	2,221	5	1.50	23,230	13,993	368,820	19,233	24,615	10,932	11,404	29	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
2	1,998	6	1.50	19,873	11,213	337,302	16,107	24,567	19,993	11,291	29	1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.8%), 3/4 ( 32.3%),
3	1,984	4	1.75	24,725	14,873	397,960	20,518	24,898	20,150	12,122	28	1-1/4 ( 21.0%), 1-1/8 ( 21.0%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 36.9%),
4	1,798	5	1.50	25,027	15,366	372,061	20,820	25,056	20,397	12,524	29	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.7%), 1 ( 18.7%),
5	1,755	8	1.25	19,057	10,891	337,805	14,957	24,122	19,172	10,152	31	1-1/8 ( 20.5%), 1 ( 20.5%), 7/8 ( 20.7%), 3/4 ( 30.3%),
6	1,715	8	1.25	15,930	7,846	303,150	12,260	24,859	20,283	9,970	30	1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 21.6%),
7	1,703	6	1.50	21,077	12,134	344,332	17,174	24,932	21,224	12,207	29	1-1/8 ( 22.5%), 1 ( 23.0%), 7/8 ( 54.5%),
8	1,691	4	1.75	26,175	16,114	401,340	21,892	25,216	21,332	13,133	28	1-1/4 ( 20.9%), 1-1/8 ( 21.4%), 1 ( 57.7%),
9	1,643	6	1.50	17,125	8,989	310,887	13,535	24,592	21,824	11,343	28	1 ( 26.7%), 7/8 ( 27.4%), 3/4 ( 26.8%), 5/8 ( 19.2%),
10	1,612	8	1.25	22,843	12,720	393,874	18,146	24,209	18,617	10,373	31	1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.0%), 1 ( 18.0%), 7/8 ( 46.3%),

TABLA 50

Gasto = 189 Bls/Dia ( = 30 m<sup>3</sup>/d)

Prof. bomba = 5,906 pie ( = 1803 mts)

INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PT	CBL	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)	
1	1,951	7	1.50	23,505	13,383	399,919	19,233	24,420	19,483	10,907	36	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
2	1,862	5	1.75	25,209	14,382	426,837	20,518	24,740	20,545	11,721	34	1-1/4 ( 21.0%), 1-1/8 ( 21.0%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 36.9%),
3	1,813	7	1.50	20,449	10,664	371,908	16,187	24,349	20,572	10,720	35	1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.8%), 3/4 ( 32.3%),
4	1,625	5	1.75	26,713	15,594	432,300	21,892	25,129	21,771	12,789	34	1-1/4 ( 20.9%), 1-1/8 ( 21.4%), 1 ( 57.7%),
5	1,556	6	1.50	25,771	14,714	416,901	20,820	24,847	21,003	11,992	36	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.9%), 1 ( 18.7%),
6	1,532	7	1.50	17,621	8,483	340,162	13,535	24,339	22,436	10,699	35	1 ( 26.7%), 7/8 ( 27.4%), 3/4 ( 26.8%), 5/8 ( 19.2%),
7	1,520	7	1.50	21,722	11,556	381,938	17,174	24,703	21,653	11,626	35	1-1/8 ( 22.5%), 1 ( 23.0%), 7/8 ( 54.5%),
8	1,525	5	1.75	22,847	11,637	400,510	17,582	24,735	22,188	11,789	34	1-1/8 ( 24.6%), 1 ( 25.1%), 7/8 ( 25.1%), 3/4 ( 25.1%),
9	1,445	9	1.25	16,675	7,209	343,064	12,260	23,739	21,231	9,170	37	1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
10	1,410	9	1.25	20,027	9,320	380,690	14,957	23,017	20,127	9,376	38	1-1/8 ( 20.5%), 1 ( 20.5%), 7/8 ( 20.7%), 3/4 ( 30.3%),

TABLA 51

Gasto = 31 Bls/Dia (= 5 m<sup>3</sup>/d)

Prof. boeba = 6,562 pie (= 2080 mts)

INDICE	M	Ap	PPRL	MPRL	PT	CBL	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)
1	1,931	2	1.01	16,683	13,279	198,443	15,671	25,385	16,784	13,359	6 1-1/8 ( 19.1%), 1 ( 19.2%), 7/8 ( 19.5%), 3/4 ( 42.3%),
2	1,691	2	1.01	13,677	10,444	178,832	12,631	25,361	17,413	13,298	6 1 ( 22.2%), 7/8 ( 22.4%), 3/4 ( 22.4%), 5/8 ( 33.0%),
3	1,794	2	1.01	28,243	16,686	235,798	19,241	25,454	16,498	13,534	6 1-1/4 ( 16.9%), 1-1/8 ( 16.8%), 1 ( 17.1%), 7/8 ( 49.1%),
4	1,513	2	1.01	14,732	11,487	179,187	13,672	25,844	18,757	14,524	6 1 ( 22.6%), 7/8 ( 23.8%), 3/4 ( 54.3%),
5	1,415	2	1.01	18,281	14,729	216,434	17,235	25,959	18,391	14,818	6 1-1/8 ( 19.6%), 1 ( 28.8%), 7/8 ( 68.3%),
6	1,408	2	1.25	21,358	16,933	259,486	20,162	25,575	17,487	13,841	6 1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.8%), 1 ( 18.0%), 7/8 ( 46.3%),
7	1,376	2	1.01	11,828	8,648	156,637	18,702	25,766	19,666	14,377	6 7/8 ( 27.8%), 3/4 ( 27.4%), 5/8 ( 45.6%),
8	1,269	2	1.01	22,383	18,591	253,434	21,373	26,691	19,246	15,152	6 1-1/4 ( 17.3%), 1-1/8 ( 17.8%), 1 ( 64.5%),
9	1,268	2	1.25	17,964	13,664	233,573	16,619	25,539	18,072	13,746	6 1-1/8 ( 28.5%), 1 ( 28.5%), 7/8 ( 28.7%), 3/4 ( 38.3%),
10	1,079	3	1.01	9,444	6,368	148,392	8,268	25,791	21,369	14,398	6 3/4 ( 33.3%), 5/8 ( 33.1%), 1/2 ( 33.5%),

TABLA 52

Gasto = 63 Bls/Dia (= 10 m<sup>3</sup>/d)

Prof. boeba = 6,562 pie (= 2080 mts)

INDICE	M	Ap	PPRL	MPRL	PT	CBL	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)
1	2,046	5	1.01	14,480	9,839	196,584	12,631	25,857	18,437	12,527	13 1 ( 22.2%), 7/8 ( 22.4%), 3/4 ( 22.4%), 5/8 ( 33.0%),
2	2,016	3	1.25	22,191	16,498	269,993	20,162	25,419	18,835	13,446	12 1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.6%), 1 ( 18.8%), 7/8 ( 46.3%),
3	1,978	5	1.01	17,705	12,579	229,294	15,671	25,103	17,812	12,655	13 1-1/8 ( 19.1%), 1 ( 19.2%), 7/8 ( 19.5%), 3/4 ( 42.3%),
4	1,833	3	1.25	18,655	13,227	249,687	16,619	25,345	19,769	13,397	12 1-1/2 ( 28.5%), 1 ( 28.5%), 7/8 ( 28.7%), 3/4 ( 38.3%),
5	1,731	5	1.01	21,528	15,828	274,834	19,241	25,195	17,538	12,877	13 1-1/4 ( 16.9%), 1-1/8 ( 16.6%), 1 ( 17.1%), 7/8 ( 49.1%),
6	1,582	5	1.01	15,663	10,748	263,126	13,672	25,513	19,942	13,685	13 1 ( 22.6%), 7/8 ( 23.8%), 3/4 ( 54.3%),
7	1,527	3	1.25	28,112	14,531	255,041	18,845	25,681	28,234	14,618	12 1-1/8 ( 28.8%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 58.0%),
8	1,523	5	1.01	12,538	8,876	184,133	18,782	25,416	28,849	13,438	13 7/8 ( 27.8%), 3/4 ( 27.4%), 5/8 ( 45.6%),
9	1,523	3	1.25	15,684	10,462	233,236	13,631	25,378	19,969	13,328	12 1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
10	1,484	3	1.25	24,225	18,295	294,599	22,113	25,946	19,744	14,918	13 1-1/4 ( 18.1%), 1-1/8 ( 18.6%), 1 ( 63.2%),

TABLA 53

Gasto = 94 Bls/Dia (= 15 m<sup>3</sup>/d)

Prof. bomba = 6,562 pie (= 2000 mts)

INDICE	N	Ap	PPPL	MPPL	PT	CRL	esper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)	
1	1,918	5	1.25	23,059	15,822	383,315	20,162	25,282	18,793	12,895	19	1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.8%), 1 ( 18.0%), 7/8 ( 46.3%),
2	1,889	5	1.25	19,355	12,628	281,137	16,619	25,127	19,472	12,784	19	1-1/8 ( 20.5%), 1 ( 20.5%), 7/8 ( 20.7%), 3/4 ( 38.3%),
3	1,599	3	1.58	24,422	16,618	346,227	21,371	25,458	19,984	13,543	19	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
4	1,578	5	1.25	16,244	9,922	262,836	13,631	25,899	28,693	12,633	19	1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
5	1,478	5	1.25	28,912	13,688	288,255	18,845	25,626	19,838	13,972	19	1-1/8 ( 20.8%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 59.0%),
6	1,451	7	1.01	15,428	9,018	255,832	12,631	24,646	19,644	11,481	28	1 ( 22.2%), 7/8 ( 22.4%), 3/4 ( 22.4%), 5/8 ( 33.0%),
7	1,399	5	1.25	25,228	17,559	332,172	22,113	25,768	28,561	14,311	19	1-1/4 ( 18.1%), 1-1/8 ( 18.6%), 1 ( 63.2%),
8	1,353	5	1.25	17,220	10,697	267,148	14,593	25,489	21,926	13,619	19	1 ( 24.3%), 7/8 ( 24.5%), 3/4 ( 51.2%),
9	1,352	3	1.58	26,224	18,231	352,738	23,134	25,975	21,372	14,858	19	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.9%), 1 ( 68.7%),
10	1,341	7	1.01	18,894	11,594	308,823	15,871	24,718	19,888	11,664	21	1-1/8 ( 19.1%), 1 ( 19.2%), 7/8 ( 19.5%), 3/4 ( 42.3%),

TABLA 54

Gasto = 126 Bls/Dia (= 28 m<sup>3</sup>/d)

Prof. bomba = 6,562 pie (= 2000 mts)

INDICE	N	Ap	PPPL	MPPL	PT	CRL	esper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)	
1	1,611	5	1.58	25,067	16,841	376,745	21,371	25,273	28,429	13,873	25	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
2	1,513	6	1.25	28,159	11,891	338,391	16,619	24,835	28,281	11,963	26	1-1/8 ( 20.5%), 1 ( 20.5%), 7/8 ( 20.7%), 3/4 ( 38.3%),
3	1,512	6	1.25	24,834	14,988	363,931	28,162	24,932	19,588	12,289	27	1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.8%), 1 ( 18.0%), 7/8 ( 46.3%),
4	1,393	7	1.25	16,987	9,267	382,118	13,631	24,771	21,526	11,799	26	1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
5	1,382	5	1.58	21,484	12,666	357,294	17,897	25,222	21,613	12,944	25	1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.8%), 3/4 ( 32.3%),
6	1,345	4	1.58	26,949	17,625	384,230	23,134	25,781	21,963	14,364	25	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.9%), 1 ( 68.7%),
7	1,286	5	1.58	22,764	13,936	362,219	19,832	25,645	22,901	14,828	25	1-1/8 ( 22.5%), 1 ( 23.8%), 7/8 ( 54.5%),
8	1,198	6	1.25	21,815	13,892	343,564	18,845	25,311	21,947	13,171	27	1-1/8 ( 20.8%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 59.0%),
9	1,179	4	1.75	26,951	16,816	434,852	22,798	25,521	21,965	13,785	25	1-1/4 ( 21.8%), 1-1/8 ( 21.8%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 36.9%),
10	1,178	6	1.25	17,952	10,884	310,769	14,583	25,141	22,857	12,738	26	1 ( 24.3%), 7/8 ( 24.5%), 3/4 ( 51.2%),

TABLA 55

Gasto = 157 Bls/Dia (= 26 m<sup>3</sup>/d)

Prof. bomba = 6,562 pie (= 2008 mts)

INDICE	H	Ap	PPPL	MPPL	PT	CBL	esfer	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)	
1	1,518	6	1.58	26,695	15,419	414,332	21,371	25,073	28,941	12,566	32	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
2	1,345	6	1.58	22,875	12,295	389,603	17,897	24,995	22,153	12,369	32	1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.8%), 3/4 ( 32.3%),
3	1,247	8	1.25	21,865	11,183	383,544	16,619	24,523	21,192	11,170	34	1-1/8 ( 20.5%), 1 ( 20.5%), 7/8 ( 20.7%), 3/4 ( 38.3%),
4	1,238	4	1.75	27,458	16,313	453,284	22,793	25,368	22,372	13,295	31	1-1/4 ( 21.8%), 1-1/8 ( 21.8%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 36.9%),
5	1,227	5	1.50	27,658	16,952	426,924	23,134	25,565	22,541	13,816	32	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.9%), 1 ( 68.7%),
6	1,214	8	1.25	17,675	8,595	342,562	13,631	24,434	22,441	10,943	33	1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
7	1,197	8	1.25	25,148	14,072	431,368	23,162	24,641	28,489	11,469	35	1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.8%), 1 ( 18.0%), 7/8 ( 46.3%),
8	1,157	6	1.50	23,345	13,344	396,176	19,832	25,411	23,486	13,424	32	1-1/8 ( 22.5%), 1 ( 23.8%), 7/8 ( 54.5%),
9	1,129	6	1.50	18,993	9,732	357,186	15,838	25,604	24,183	12,391	32	1 ( 26.7%), 7/8 ( 27.4%), 3/4 ( 26.8%), 5/8 ( 19.2%),
10	1,086	4	1.75	29,849	17,783	468,425	24,313	25,896	23,675	14,478	31	1-1/4 ( 28.9%), 1-1/8 ( 21.4%), 1 ( 57.7%),

TABLA 56

Gasto = 189 Bls/Dia (= 39 m<sup>3</sup>/d)

Prof. bomba = 6,562 pie (= 2008 mts)

INDICE	H	Ap	PPPL	MPPL	PT	CBL	esfer	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)	
1	1,317	7	1.58	26,528	14,665	463,994	21,371	24,831	21,613	11,952	39	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
2	1,248	5	1.75	27,943	15,773	491,435	22,793	25,187	22,773	12,855	38	1-1/4 ( 21.8%), 1-1/8 ( 21.8%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 36.9%),
3	1,218	7	1.53	22,728	11,626	427,648	17,897	24,738	22,837	11,696	39	1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.8%), 3/4 ( 32.3%),
4	1,085	9	1.25	18,343	7,945	379,863	13,631	24,123	23,354	10,116	40	1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
5	1,076	5	1.75	24,393	12,767	451,177	19,447	25,183	24,541	12,844	38	1-1/8 ( 24.8%), 1 ( 25.1%), 7/8 ( 25.1%), 3/4 ( 25.1%),
6	1,076	5	1.75	29,595	17,131	508,171	24,313	25,622	24,128	13,962	39	1-1/4 ( 28.9%), 1-1/8 ( 21.4%), 1 ( 57.7%),
7	1,063	7	1.58	28,552	16,166	481,349	23,134	25,313	23,278	13,175	48	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.9%), 1 ( 60.7%),
8	1,044	9	1.25	22,646	10,283	433,849	16,619	24,198	22,179	10,345	42	1-1/8 ( 28.5%), 1 ( 28.5%), 7/8 ( 28.7%), 3/4 ( 38.3%),
9	1,035	7	1.58	24,889	12,642	448,221	19,832	25,133	24,234	12,718	39	1-1/8 ( 22.5%), 1 ( 23.8%), 7/8 ( 54.5%),
10	978	4	2.00	30,857	16,597	535,211	24,369	25,451	24,496	13,527	37	1-1/4 ( 22.7%), 1-1/8 ( 22.8%), 1 ( 23.1%), 7/8 ( 31.4%),

TABLA 57

Gasto = 31 BIs/Dia (= 5 m3/d)

Prof. bomba = 7,218 pie (= 2200 mts)

INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PT	CBL	esfper	esfmax	esfain	HP	VARILLAS diametro (porciento)	
1	1,495	2	1.01	18,319	14,577	209,812	17,238	25,899	18,429	14,665	7	1-1/8 ( 19.1%), 1 ( 19.2%), 7/8 ( 19.5%), 3/4 ( 42.3%),
2	1,481	2	1.01	22,219	18,238	249,687	21,165	25,978	18,183	14,864	7	1-1/4 ( 16.9%), 1-1/8 ( 16.8%), 1 ( 17.1%), 7/8 ( 49.1%),
3	1,336	2	1.61	15,861	11,461	189,962	13,893	25,871	19,177	14,593	7	1 ( 22.2%), 7/8 ( 22.4%), 3/4 ( 22.4%), 5/8 ( 33.8%),
4	1,189	2	1.81	16,281	12,528	194,862	15,839	26,482	20,628	15,941	7	1 ( 22.6%), 7/8 ( 23.8%), 3/4 ( 54.3%),
5	1,893	2	1.81	20,865	16,172	228,349	18,958	26,531	20,186	16,278	7	1-1/8 ( 19.6%), 1 ( 20.8%), 7/8 ( 60.3%),
6	1,084	2	1.25	23,506	18,672	286,565	22,178	26,117	19,157	15,218	7	1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.6%), 1 ( 18.0%), 7/8 ( 46.3%),
7	986	2	1.81	24,593	20,415	273,749	23,518	26,676	20,835	16,638	7	1-1/4 ( 17.3%), 1-1/8 ( 17.8%), 1 ( 64.9%),
8	957	3	1.81	13,818	9,475	174,995	11,772	26,333	21,661	15,766	7	7/8 ( 27.8%), 3/4 ( 27.4%), 5/8 ( 45.6%),
9	898	2	1.25	19,786	15,817	257,187	18,281	26,874	19,986	15,188	7	1-1/8 ( 20.5%), 1 ( 20.5%), 7/8 ( 20.7%), 3/4 ( 38.3%),
10	888	2	1.25	25,567	20,679	308,162	24,325	26,761	20,837	16,654	7	1-1/4 ( 18.1%), 1-1/8 ( 18.6%), 1 ( 63.2%),

TABLA 58

Gasto = 63 BIs/Dia (= 10 m3/d)

Prof. bomba = 7,218 pie (= 2200 mts)

INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PT	CBL	esfper	esfmax	esfain	HP	VARILLAS diametro (porciento)	
1	1,681	5	1.01	19,354	13,774	246,855	17,238	25,581	19,471	13,857	14	1-1/8 ( 19.1%), 1 ( 19.2%), 7/8 ( 19.5%), 3/4 ( 42.3%),
2	1,447	3	1.25	24,395	18,118	388,924	22,178	25,957	19,882	14,768	14	1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.8%), 1 ( 18.8%), 7/8 ( 46.3%),
3	1,419	5	1.81	15,877	10,763	225,258	13,893	25,521	20,215	13,784	14	1 ( 22.2%), 7/8 ( 22.4%), 3/4 ( 22.4%), 5/8 ( 33.8%),
4	1,326	5	1.81	23,518	17,318	294,312	21,165	25,658	19,167	14,187	15	1-1/4 ( 16.9%), 1-1/8 ( 16.6%), 1 ( 17.1%), 7/8 ( 49.1%),
5	1,279	3	1.25	20,528	14,585	281,671	18,281	25,871	20,644	14,593	14	1-1/8 ( 20.5%), 1 ( 20.5%), 7/8 ( 20.7%), 3/4 ( 38.3%),
6	1,163	3	1.25	26,572	20,877	327,571	24,325	26,568	21,656	16,363	14	1-1/4 ( 18.1%), 1-1/8 ( 18.6%), 1 ( 63.2%),
7	1,129	5	1.61	17,143	11,764	231,611	15,839	26,873	21,827	14,979	14	1 ( 22.6%), 7/8 ( 23.8%), 3/4 ( 54.3%),
8	1,878	3	1.25	22,117	15,944	286,282	19,849	26,441	22,251	16,658	14	1-1/8 ( 20.8%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 58.8%),
9	1,856	5	1.81	13,748	8,822	289,491	11,772	25,985	22,862	14,679	14	7/8 ( 27.8%), 3/4 ( 27.4%), 5/8 ( 45.6%),
10	1,853	5	1.81	21,267	15,292	278,728	18,958	26,183	21,396	15,384	15	1-1/8 ( 19.6%), 1 ( 20.8%), 7/8 ( 60.3%),



TABLA 59

Gasto = 94 Bls/Dia (= 15 m<sup>3</sup>/d)

Prof. bomba = 7,218 pie (= 2208 mts)

INDICE	N	Ap	PPPL	MPPL	PT	CR	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)	
1	1,333	5	1.25	25,273	17,316	346,292	22,178	25,692	20,597	14,112	21	1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.6%), 1 ( 18.0%), 7/8 ( 46.3%),
2	1,254	5	1.25	21,227	13,795	320,620	18,281	25,593	21,357	13,678	21	1-1/8 ( 20.5%), 1 ( 20.5%), 7/8 ( 20.7%), 3/4 ( 39.3%),
3	1,896	5	1.25	17,828	10,897	296,334	14,994	25,543	22,699	13,768	21	1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
4	1,895	3	1.50	26,868	18,191	392,751	23,587	25,963	21,891	14,825	20	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
5	1,054	7	1.01	16,913	9,648	207,847	13,893	25,858	21,534	12,529	22	1 ( 22.2%), 7/8 ( 22.4%), 3/4 ( 22.4%), 5/8 ( 33.0%),
6	1,031	5	1.25	27,577	19,218	359,274	24,325	26,292	22,476	15,663	21	1-1/4 ( 18.1%), 1-1/8 ( 18.6%), 1 ( 63.2%),
7	1,012	5	1.25	22,926	15,188	329,436	19,849	26,141	23,864	15,279	21	1-1/8 ( 20.8%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 58.0%),
8	1,036	7	1.01	23,645	12,699	327,683	17,233	25,155	20,770	12,775	23	1-1/8 ( 19.1%), 1 ( 19.2%), 7/8 ( 19.5%), 3/4 ( 42.3%),
9	938	5	1.25	18,893	11,668	302,568	15,959	25,974	24,051	14,856	21	1 ( 24.3%), 7/8 ( 24.5%), 3/4 ( 51.2%),
10	934	3	1.50	28,834	19,939	397,773	25,447	26,540	23,528	16,291	20	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.9%), 1 ( 60.7%),

TABLA 60

Gasto = 126 Bls/Dia (= 20 m<sup>3</sup>/d)

Prof. bomba = 7,218 pie (= 2208 mts)

INDICE	N	Ap	PPPL	MPPL	PT	CR	esfper	esfmax	esfmin	HP	VARILLAS diametro (porciento)	
1	1,184	5	1.50	27,515	17,498	429,590	23,587	25,740	22,425	14,261	20	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
2	1,076	6	1.25	26,351	16,364	413,846	22,178	25,376	21,476	13,337	29	1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.6%), 1 ( 18.6%), 7/8 ( 46.3%),
3	1,067	6	1.25	22,128	12,943	373,985	18,281	25,252	22,262	13,821	27	1-1/8 ( 20.5%), 1 ( 20.5%), 7/8 ( 20.7%), 3/4 ( 39.3%),
4	982	7	1.25	18,578	10,838	337,276	14,994	25,157	23,644	12,721	27	1 ( 23.7%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
5	976	5	1.50	23,573	14,014	397,045	19,686	26,676	23,716	14,899	20	1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.8%), 3/4 ( 32.3%),
6	913	5	1.50	29,569	19,243	439,525	25,447	26,302	24,099	15,687	23	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.9%), 1 ( 60.7%),
7	861	9	1.01	17,923	8,908	339,864	13,893	24,537	22,821	11,331	31	1 ( 22.2%), 7/8 ( 22.4%), 3/4 ( 22.4%), 5/8 ( 33.0%),
8	846	6	1.25	23,918	14,796	383,992	19,849	25,783	24,055	14,383	29	1-1/8 ( 20.8%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 58.0%),
9	837	4	1.75	29,598	18,364	477,931	25,878	26,018	24,116	14,967	27	1-1/4 ( 21.0%), 1-1/8 ( 21.0%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 36.9%),
10	829	6	1.25	19,697	10,872	348,646	15,959	25,575	25,079	13,842	29	1 ( 24.3%), 7/8 ( 24.5%), 3/4 ( 51.2%),

TABLE 61

Gasto = 157 BIs/Dia (= 25 m3/d)

Prof. boaba = 7,218 pie (= 2268 mts)

INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PT	CBL	esper	esfmax	esfain	HP	VARILLAS diametro (porciento)	
1	1,832	6	1.50	20,269	16,730	472,919	23,507	25,496	23,039	13,641	35	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
2	948	6	1.50	24,228	13,313	431,716	19,686	25,390	24,374	13,393	35	1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.8%), 3/4 ( 32.3%),
3	920	8	1.25	23,061	12,110	423,240	18,281	24,922	23,208	12,103	37	1-1/8 ( 28.5%), 1 ( 28.5%), 7/8 ( 28.7%), 3/4 ( 38.3%),
4	922	8	1.25	19,265	9,366	372,581	14,994	24,828	24,529	11,925	36	1 ( 23.9%), 7/8 ( 24.2%), 3/4 ( 24.3%), 5/8 ( 27.6%),
5	883	5	1.75	34,185	17,777	526,348	25,078	25,838	24,535	14,430	34	1-1/4 ( 21.6%), 1-1/8 ( 21.6%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 36.9%),
6	880	8	1.25	27,549	15,356	478,712	22,178	25,853	22,452	12,515	33	1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.8%), 1 ( 18.8%), 7/8 ( 46.3%),
7	842	6	1.50	30,393	18,452	497,376	25,447	26,846	24,770	15,839	35	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.9%), 1 ( 60.7%),
8	789	6	1.50	25,689	14,452	448,956	20,990	25,858	25,844	14,539	35	1-1/8 ( 22.5%), 1 ( 23.8%), 7/8 ( 54.5%),
9	736	11	1.81	18,812	7,975	385,697	13,693	24,123	23,952	10,154	39	1 ( 22.2%), 7/8 ( 22.4%), 3/4 ( 22.4%), 5/8 ( 33.8%),
10	716	8	1.25	24,979	13,377	446,280	19,849	25,424	25,130	13,457	37	1-1/8 ( 28.8%), 1 ( 21.2%), 7/8 ( 58.8%),

TABLE 62

Gasto = 189 BIs/Dia (= 30 m3/d)

Prof. boaba = 7,218 pie (= 2268 mts)

INDICE	N	Ap	PPRL	MPRL	PT	CBL	esper	esfmax	esfain	HP	VARILLAS diametro (porciento)	
1	943	7	1.50	29,080	15,945	519,894	23,507	25,242	23,700	12,995	43	1-1/4 ( 19.4%), 1-1/8 ( 19.2%), 1 ( 19.5%), 7/8 ( 41.9%),
2	908	7	1.50	24,886	12,624	464,926	19,686	25,126	25,037	12,768	43	1-1/8 ( 22.4%), 1 ( 22.5%), 7/8 ( 22.8%), 3/4 ( 32.3%),
3	855	9	1.25	23,868	11,329	465,831	18,281	24,613	24,812	11,398	45	1-1/8 ( 28.5%), 1 ( 28.5%), 7/8 ( 28.7%), 3/4 ( 38.3%),
4	779	9	1.25	28,687	14,390	532,849	22,178	24,743	23,314	11,728	46	1-1/4 ( 17.9%), 1-1/8 ( 17.8%), 1 ( 18.0%), 7/8 ( 46.3%),

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El diseño de unidades de bombeo mecánico por el método API, es el más aproximado con resultados observados en el campo. Sin embargo hay un número de condiciones, poco frecuentes que pueden presentarse en un pozo, y ocasionar interpretaciones falsas en los cálculos de diseños con el método API. Estas condiciones son: pozos desviados, flúidos muy viscosos, producción de arena, excesiva producción de gas. El procedimiento de cálculo presentado, puede llevar también a interpretaciones erróneas si las condiciones mencionadas se presentan en un pozo.

El programa de cómputo desarrollado, permite obtener todos los diseños posibles para condiciones dadas de operación, pudiendo ser un total de 191 diseños. El modelo requiere de mínima información que fácilmente se puede conseguir en el campo. Por medio de interpretaciones lineales, se obtienen los valores de las variables que de otra manera se tendrían que leer en las curvas presentadas por el API. El problema de encontrar el gasto deseado de diseño por ensaye y error, se resolvió utilizando el método de análisis numérico llamado método de la secante. Este método converge rápidamente y tiene la ventaja de no requerir el conocimiento previo de la derivada explícita de la función. Para utilizar este método se definió una función que tiene como raíz el gasto deseado de diseño.

El índice de optimización representa una medida de la eficiencia del sistema de bombeo mecánico, aunque es recomendable tomar en cuenta también el factor económico junto con este índice, para encontrar la mejor opción de diseño.

Es recomendable que para una área o campo productor de características similares, se utilice el índice de optimización junto con el gasto y profundidad, para analizar la mejor unidad superficial y encontrar el gasto óptimo de producción, que debe estar cerca de la producción promedio del área o campo. Es importante señalar que se debe encontrar la unidad superficial de menor tamaño, y que al mismo tiempo sea capaz de producir el mayor gasto en el pozo más profundo del área considerada.

De gran utilidad resulta el poder obtener tablas de diseños de la formación Chicontepec. La facilidad para diseñar utilizando estas tablas resulta evidente. Estas tablas se pueden construir fácilmente para cualquier campo o área, sólo es necesario modificar los valores de gasto y profundidad. Es necesario un conjunto de tablas para cada unidad superficial. Con las tablas (de la 15 a la 62) el diseño de unidades de bombeo mecánico resulta fácil, y reduce considerablemente los tiempos y errores de diseño.

## REFERENCIAS

1. Brown, K.E.: "Overview of artificial lift Systems", SPE-9979 March, 1982.
2. Nind, T.E.W.: "Principles of oil well production", Mc-Graw Hill Book Co. (New York, 1964).
3. API-Std-11E: "API Specification for pumping Units", (January 1971).
4. Zaba, J.: "Oil well pumping methods", Oil & Gas Journal, 1956.
5. Brown, K.E.: "The Technology of Artificial Lift Methods", Vol. 2, Petroleum Publishing Co.
6. Griffin, F.D.: "New API Design Calculations for Sucker-rod Pumping Systems", Spring Meeting of the Rocky Mountain District. API Division of Production, May 1968.
7. API-RP-11L : "Design Calculations for sucker rod pumping Systems", Third Edition (February 1977).
8. "Pumping Unit design Calculations", Lufkin Industries, Inc., Lufkin Texas.
9. Gómez C. & Sagahón J. : "Diseño computarizado para la selección de instalaciones de bombeo mecánico", Ingeniería Petrolera. Vol. 26, No. 4, Abril de 1986.
10. Herlihy, J.D.: "Hand-held Computer Design Rod Pumping Installation", Petroleum Engineer (October, 1984).
11. Petroleos Mexicanos: "Análisis del comportamiento de los distritos 2 y 3 Yacimiento Tamabra campo Poza Rica", Ingeniería de Yacimientos Poza Rica, Agosto 1980.
12. Schlumberger: "Evaluación de Formaciones en México", congreso WEC-MEXICO, México Sep. 1984.
13. Petroleos Mexicanos: "Presión Estática promedio de los campos: Cerro del Carbon, Jiliapa, Nuevo Progreso y Tajín (cuerpo "c")", Ingeniería de Yacimientos, Poza Rica. Abril 1986.
14. Hornbeck, Robert W.: "Numerical Methods", Quantum Publishers Inc. New York 1975.
15. Hansen, H.M. & Chenea P.F.: "Mechanics of Vibrations", Jhon Wiley & Sons, New York 1952.

## APENDICE A

### LISTADO DEL PROGRAMA DE COMPUTO

El programa de cómputo desarrollado, necesita el archivo de trabajo llamado "VARWR.RAN", el mencionado archivo contiene los datos de las varillas (porcentajes, factor de frecuencia, etc.), y es del tipo "random" usado en lenguaje de programación BASIC. Otro archivo necesario en el programa, es el llamado "DATQSI.DAT", que contiene la información mínima de diseño, listada a continuación:

VARIABLE	CONTENIDO
POZO\$	nombre del pozo.
BPD	gasto deseado, bls/día.
S	longitud de la carrera, pg.
SG	densidad del fluido (agua=1.0)
NIVEL	profundidad de la bomba, pie.
TORMAX	torsión de la unidad superficial, Lb-pg.
LOADMAX	carga máxima en la v.p., Lb.
TIPOUNI	geometría de la unidad (1=conv, 2 = aire, 3 = Mark-II).
ANCLA	TP anclada? (0=no, 1=si).
SF	factor de servicio de varillas.
T	límite elástico de las varillas, Lb/pg <sup>2</sup> .
IPRINT	estatus (0=impresión resumida, 1= impresión completa)
TP	D.E. de la TP, pg.
TPINT	D.I. de la TP, pg.

El resultado del programa se escribe en el archivo llamado "SALIDA1.LST".

El programa utiliza una subrutina, que inicia en la línea 4720, y realiza las interpolaciones, para recuperar los datos de las variables dependientes, definidas por la tablas 5 a 10. Esta subrutina se solicita de la manera siguiente:

**ENTRADA:**

PRM1 (N/No, N/No') ; FOSKR ; DIRBUF

donde:

PRM1 = valores de las var. adim. indep. N/No' y N/No'

FOSKR = parámetro adim. independiente  $F_0/Skr$

DIRBUF = dirección, de la tabla que contiene los parámetros dependientes, toma los valores sig.:

0	->	encontrar el parámetro	$Sp/S$
91	->	"	"
182	->	"	"
273	->	"	"
364	->	"	"
455	->	"	"

$F1/Skr$

$F2/Skr$

$2T/S^2kr$

$Ta$

$F3/Skr$

**SALIDA:**

PRM2

donde:

PRM2 = parámetro dependiente que puede tomar los valores siguientes:  $Sp/S$ ,  $F1/Skr$ ,  $F2/Skr$ ,  $2T/S^2kr$ ,  $Ta$ ,  $F3/Skr$ . Este parámetro depende del valor dado a DIRBUF.

1000 OPTION BASE 1  
 1010 DIM BUFR (546), POPCRD(7), AREROD(7), CMOP(11,25), VRL\$(7)  
 1020 VRL\$(1) = "1-1/4 " : VRL\$(2) = "1-1/8 " : VRL\$(3) = "1 "  
 1030 VRL\$(4) = "7/8 " : VRL\$(5) = "3/4 " : VRL\$(6) = "5/8 "  
 1040 VRL\$(7) = "1/2 "  
 1050 AREROD(1) = 1.227 : AREROD(2) = .994 : AREROD(3) = .7854  
 1060 AREROD(4) = .601 : AREROD(5) = .442 : AREROD(6) = .307  
 1070 AREROD(7) = .196  
 1080 FOR I = 1 TO 546  
 1090 READ BUFR(I)  
 1100 NEXT I  
 1110 REM DATOS DE : SP , PLUNGER STROKE FACTOR.  
 1120 DATA 1.,1.,1.01,1.02,1.06,1.1,1.07,1.1,1.10,1.33,1.43,1.6,1.7  
 1130 DATA .9, .91, .92, .93, .96, 1.03, 1.05, 1.01, 1.1, 1.23, 1.37, 1.5, 1.61  
 1140 DATA .8, .81, .83, .85, .88, .93, .89, .93, 1.04, 1.15, 1.27, 1.4, 1.52  
 1150 DATA .7, .71, .72, .75, .8, .8, .78, .83, .98, 1.07, 1.21, 1.33, 1.44  
 1160 DATA .6, .61, .63, .65, .69, .68, .72, .81, .92, 1.03, 1.13, 1.24, 1.37  
 1170 DATA .5, .51, .53, .56, .58, .58, .66, .76, .86, .96, 1.05, 1.15, 1.26  
 1180 DATA .4, .41, .43, .47, .47, .51, .6, .68, .78, .87, .98, 1.07, 1.16  
 1190 REM DATOS DE : F1 , PEAK POLISHED ROD LOAD.  
 1200 DATA .0, .02, .05, .08, .12, .17, .21, .27, .34, .43, .55, .7, .83  
 1210 DATA .1, .12, .15, .18, .22, .27, .31, .36, .42, .5, .62, .76, .9  
 1220 DATA .2, .23, .26, .29, .33, .37, .41, .46, .51, .58, .68, .84, .99  
 1230 DATA .3, .33, .36, .39, .43, .46, .5, .55, .61, .68, .78, .93, 1.06  
 1240 DATA .4, .43, .46, .49, .52, .55, .59, .63, .7, .75, .83, .97, 1.1  
 1250 DATA .5, .53, .56, .59, .62, .65, .68, .7, .79, .83, .9, 1, 1.13  
 1260 DATA .6, .63, .66, .69, .72, .75, .78, .8, .87, .91, .98, 1.05, 1.16  
 1270 REM DATOS DE : F2 , MIN. POLISHED ROD LOAD.  
 1280 DATA .0, .064, .015, .035, .065, .1, .155, .22, .26, .29, .34, .42, .49  
 1290 DATA .0, .01, .028, .055, .088, .126, .175, .23, .271, .302, .349, .433, .49  
 1300 DATA .0, .015, .039, .073, .115, .154, .192, .228, .269, .316, .368, .446, .49  
 1310 DATA .0, .019, .045, .08, .125, .165, .201, .241, .275, .306, .364, .433, .475  
 1320 DATA .0, .015, .039, .073, .12, .161, .2, .235, .27, .309, .35, .413, .45  
 1330 DATA .0, .022, .05, .083, .119, .158, .195, .235, .263, .29, .339, .384, .42  
 1340 DATA .0, .025, .055, .086, .12, .16, .2, .24, .27, .3, .34, .38, .41  
 1350 REM DATOS DE : T , PEAK TORQUE.  
 1360 DATA .05, .06, .08, .1, .13, .16, .2, .25, .29, .34, .38, .44, .49  
 1370 DATA .09, .1, .11, .14, .18, .22, .26, .31, .35, .4, .45, .5, .55  
 1380 DATA .14, .16, .19, .22, .26, .3, .34, .38, .42, .46, .5, .55, .6  
 1390 DATA .19, .21, .24, .27, .3, .33, .37, .41, .45, .49, .53, .58, .64  
 1400 DATA .22, .25, .28, .31, .33, .35, .37, .42, .47, .51, .56, .62, .67  
 1410 DATA .25, .28, .3, .32, .34, .355, .38, .43, .5, .52, .56, .63, .68  
 1420 DATA .26, .29, .31, .33, .345, .36, .385, .44, .515, .525, .565, .635, .685  
 1430 REM DATOS DE : % TORQUE ADJUSTMENT  
 1440 DATA .2, .18, .12, .1, .075, .06, .05, .04, .03, .02, .025, .03, .03  
 1450 DATA .16, .12, .08, .065, .055, .04, .025, .016, .012, .013, .015, .02, .02  
 1460 DATA .03, .065, .055, .04, .025, .015, .005, -.005, -.005, .0, .009, .015, .02  
 1470 DATA .055, .04, .027, .015, -.005, -.005, -.017, -.017, -.005, .005, .011, .015, .015  
 1480 DATA .029, .015, .005, -.005, -.015, -.015, -.005, .005, .011, .011, .013, .015, .02  
 1490 DATA .005, -.005, -.017, -.017, -.005, .005, .011, .012, .013, .014, .015, .02, .03  
 1500 DATA -.017, -.017, -.025, .003, .011, .012, .013, .014, .015, .025, .025, .03, .05  
 1510 REM DATOS DE : POLISHED ROD HORSEPOWER.  
 1520 DATA .025, .03, .04, .045, .055, .07, .09, .115, .15, .18, .225, .29, .37  
 1530 DATA .09, .1, .1, .125, .145, .17, .185, .22, .25, .3, .35, .415, .49

```

1540 DATA .16,.17,.176,.19,.215,.23,.25,.29,.33,.385,.45,.52,.615
1550 DATA .21,.22,.23,.245,.26,.28,.305,.34,.4,.47,.55,.63,.72
1560 DATA .24,.25,.26,.275,.28,.315,.34,.4,.47,.55,.625,.715,.8
1570 DATA .25,.26,.27,.28,.3,.325,.36,.425,.51,.58,.67,.75,.825
1580 DATA .24,.25,.26,.275,.28,.325,.375,.45,.525,.615,.69,.78,.86
1590 REM
1600 OPEN "R",01,"VARHR.RAH",39
1610 FIELD #1,4 AS DEN# ,2 AS API#,4 AS FC#,4 AS VAR1#,4 AS VAR2#,4 AS VAR3#,4 AS VAR4#,4 AS VAR5#,4 AS VAR6#,4 AS VAR7#
1620 OPEN "DATOS1.DAT" FOR INPUT AS #2 LEN = 80
1630 OPEN "SALIDA2.LST" FOR OUTPUT AS #3 LEN = 132
1640 INPUT#2,POZO#,SPD,S,SG,NIVEL,TORMAX,LOADMAX,TIPOUNI,ANCLA,TIPKOT,SF,T,IPRINT#,TP,TPINT
1650 REM escribe los parametros de diseno
1660 PRINT #3," *;PRINT #3," POZO: " ,POZO#
1670 PRINT #3," *;PRINT #3," Gasto = ";PRINT #3,USING "####",;BPD;
1680 PRINT #3," #1#/Dia FLUIDO de ";PRINT #3,USING "0.##",;SG;
1690 PRINT #3," gr/cc Prof. bomba = ";PRINT #3,USING "#####",;NIVEL;
1700 IF ANCLA = 1 THEN PRINT #3," pie TP ANCLADA";
1710 IF ANCLA = 0 THEN PRINT #3," pie TP NO ANCLADA";
1720 REM escribe restricciones del diseno
1730 PRINT #3," *;PRINT #3,"
1740 PRINT #3," RESTRICCIONES DE LA UNIDAD SUPERFICIAL tipo ";
1750 IF TIPOUNI = 1 THEN PRINT #3,"CONVENCIONAL"
1760 IF TIPOUNI = 2 THEN PRINT #3,"BALANCEADA POR AIRE"
1770 IF TIPOUNI = 3 THEN PRINT #3,"MARK II"
1780 PRINT #3,"
1790 PRINT #3," torsion max. = ";PRINT #3,USING "#####",;TORMAX;
1800 PRINT #3," Lb-pg Carga max. = ";PRINT #3,USING "#####",;LOADMAX;
1810 PRINT #3," lb Carrera = ";PRINT #3,USING "###";PRINT #3," pg"
1820 PRINT #3,"
1830 PRINT #3," RESTRICCIONES DE LAS VARILLAS";PRINT #3,"
1840 PRINT #3," Limite de elasticidad = ";PRINT #3,USING "#####",;;
1850 PRINT #3," lb/pg2 fact. Servicio = ";PRINT #3,USING "0.##",;SF
1860 PRINT #3," * ; PRINT #3,"
1870 REM localiza los disenos que satisfagan las restricciones
1880 PRINT #3," N Ap PPRL MPRL PT CBL";
1890 PRINT #3," esfer esmax esmin PRHP HP ans INDICE VARILLAS diametro (porciento)"
1900 REM PRINT #3,"
1910 ARETP = 3.1416 * (TP^2 - TPINT^2)/4 ; ET = .0000004/ARETP
1920 REG% = 0 ; HUMOPC = 0 ; EFC = 100 ; DELTA = .05*BPD ; HOPMEJ = 10
1930 NOAPI = 0 ; NOGASTO = 0 ; NOTOR = 0 ; NOESF = 0 ; NOCAR = 0
1940 WHILE 1
1950 REG% = REG% + 1 ; FLAG = 0 ; DIRBUF% = -1
1960 GET #1,REG%
1970 CLS
1980 PRINT "PROCESANDO REGISTRO NUM. ",REG%
1990 IF EOF(1) GOTO 4130
2000 Q = EFD
2010 DIAPLG = CVS(DEN#) ; API% = CVI(API#) ; FC = CVS(FC#)
2020 PORCROD(1) = CVS(VAR1#)/100 ; PORCROD(2) = CVS(VAR2#)/100
2030 PORCROD(3) = CVS(VAR3#)/100 ; PORCROD(4) = CVS(VAR4#)/100
2040 PORCROD(5) = CVS(VAR5#)/100 ; PORCROD(6) = CVS(VAR6#)/100
2050 PORCROD(7) = CVS(VAR7#)/100
2060 ER = PORCROD(1)/1.25^2.832 + PORCROD(2)/1.125^2.832 + PORCROD(3)
2070 ER = ER + PORCROD(4)/.875^2.832 + PORCROD(5)/.75^2.832

```



```

2000 ER = ER + PORCROD(6)/.625*2.002 + PORCROD(7)/.5*2.002
2090 ER = 4.9601E-04 * ER
2100 WR = 1.25*21PORCROD(1) + 1.125*21PORCROD(2) + PORCROD(3)
2110 WR = WR + .875*21PORCROD(4) + .75*21PORCROD(5) + .625*21PORCROD(6)
2120 WR = WR + .5*21PORCROD(7)
2130 WR = 2.9051WR*NIVEL
2140 FO = .34*NIVEL*SG*DIAPLG*2
2150 REM si la TP no esta anclada calcula el factor de correccion del gasto
2160 CORGAS = 0
2170 IF ANCLA = 1 GOTO 2190
2180 CORGAS = FO * ET * NIVEL
2190 SKR = 10001S/(ER*NIVEL) ; ER = ER * .001
2200 FOSKR = FO/SKR
2210 IF IPRINTX > 1 THEN PRINT #3,"Er ",ER," Wr ",WR," Fo ",FO," Fb/Skr ",FOSKR," REG ",REGZ
2220 IF FOSKR > .6 GOTO 2640
2230 NINOP = .6 ; PRM1 = NINOP ; DIRBUF1 = 0
2240 GOSUB 4710
2250 IF FLAG GOTO 2640
2260 SPV6 = PRM2
2270 QMAX = .6*(.11664S*DIAPLG*2+245000!0FC)/NIVEL
2280 QMAXREAL = QMAX*SPV6 - CORGAS
2290 IF IPRINTX > 1 THEN PRINT #3," Qmax = ",QMAX," Qmaxreal = ",QMAXREAL
2300 IF QMAXREAL > BPD GOTO 2350
2310 IF IPRINTX > 1 THEN PRINT #3,"No se encontro gasto con metodo API Wr = ",WR," Ap ",DIAPLG
2320 IF IPRINTX > 1 THEN PRINT #3," reg = ",REGZ
2330 NOGASTO = NOGASTO + 1
2340 GOTO 1940
2350 REM empieza las iteraciones para encontrar el gasto
2360 X0 = 0!
2370 FOLD = 0! - BPD
2380 X0 = QMAX
2390 FANEW = QMAXREAL - BPD
2400 IF IPRINTX > 1 THEN PRINT #3,"X0 = ",X0," F(x) = ",FOLD
2410 IF IPRINTX > 1 THEN PRINT #3,"X0 = ",X0," F(x) = ",FANEW
2420 IF ABS(FANEW) < .5 GOTO 2760
2430 D = FANEW / ( (FANEW-FOLD)/(X0-X00) )
2440 X = X0 - D
2450 REM calcula FX
2460 SPH = X/(.11664S*DIAPLG*2)
2470 NINO = SPH*NIVEL/245000!
2480 NINOP = NINO/FC
2490 REM calcula parametro "Sp/S"
2500 PRM1 = NINOP ; DIRBUF1 = 0
2510 GOSUB 4710
2520 IF FLAG GOTO 2640
2530 QX = X*PRM2 - CORGAS
2540 SPV = PRM2 ; FX = QX-BPD
2550 IF IPRINTX > 1 THEN PRINT #3,"X = ",X," F(x) = ",FX," H/No ",NINOP," Spv = ",SPV
2560 IF ABS(FX) < .5 GOTO 2760
2570 IF FX < 0 GOTO 2610
2580 FANEW = FX
2590 X0 = X
2600 GOTO 2430
2610 FOLD = FX

```

```

2620      X08 = X
2630      GOTO 2430
2640  IF IPRINTX > 1 THEN PRINT #3,"API no es aplicable  PRM1 = ",PRM1," DIRBUF ",DIRBUF," FOSKR ",FOSKR," PRM",PRM2
2650  IF IPRINTX > 1 THEN PRINT #3," REG ",REGX
2660  NOAPI = NOAPI + 1
2670      GOTO 1940
2680  IF IPRINTX > 1 THEN PRINT #3,"Restricciones violadas  PT ",PT," PPRL = ",PPRL
2690  MOTOR = MOTOR + 1
2700      GOTO 1940
2710  IF IPRINTX > 1 THEN PRINT #3," ESF. MAX VAR > ESF PERM  Stress max ",STSMAX," Stress perm ",SALL," reg ",REGX
2720  NOESF = NOESF + 1
2730      GOTO 1940
2740  NOCAR = NOCAR + 1
2750      GOTO 1940
2760  IF IPRINTX > 1 THEN PRINT #3," Qsup = ",Qs," Qx = ",Qx," Spv = ",SPV
2770  EPDREAL = QI
2780  REM obtén el parametro 'TAAV'
2790  PRM1 = HINOP
2800  DIRBUF = 364
2810  GOSUB 4710
2820  IF FLAG GOTO 2640
2830  TAAV = PRM2
2840  REM obtén el parametro 'FAV'
2850  PRM1 = HINO
2860  DIRBUF = 91
2870  GOSUB 4710
2880  IF FLAG GOTO 2640
2890  FAV = PRM2
2900  REM obtén el parametro 'FBV'
2910  PRM1 = HINO
2920  DIRBUF = 182
2930  GOSUB 4710
2940  IF FLAG GOTO 2640
2950  FBV = PRM2
2960  REM obtén el parametro 'TV'
2970  PRM1 = HINO
2980  DIRBUF = 273
2990  GOSUB 4710
3000  IF FLAG GOTO 2640
3010  TV = PRM2
3020  REM analiza restricciones
3030  WRF = WR*(1 - .12815G)
3040  WRF Skinner = WRF/SKR
3050  TA = 1 + TAAV*(WRF Skinner - .3)110
3060  ON YIPOUNI GOTO 3090,3130,3170
3070  PRINT #3,"tipo de unidad de bombeo invalida"
3080  END
3090  PPRL = WRF + FAV*SKR
3100  MPRL = WRF - FBV*SKR
3110  PT = TV*SKR*5/24TA
3120  GOTO 3210
3130  PPRL = WRF + FO + .85*(FAV*SKR-FO)
3140  MPRL = PPRL - (FAV + FBV)*SKR
3150  PT = .96*TV*SKR*5/24TA

```

```

3160 GOTO 3210
3170 PPRL = WRF + FO + .75*(FAV*SKR - FO)
3180 MPRL = PPRL - (FAV + FBV)*SKR
3190 PT = (.93*PPRL - 1.2*MPRL)*S/4
3200 REM decide los dibujos
3210 IF PPRL > LOADMAX GOTO 2740
3220 IF PT > TORMAX GOTO 2680
3230 FOR I = 1 TO 7
3240     IF PORCROD(I) = 0 GOTO 3270
3250     AREA = ARECROD(I)
3260     GOTO 3260
3270 NEXT I
3280 STSMAX = PPRL/AREA
3290 STSMIN = MPRL/AREA
3300 SALL = 1/4*SF + .5625*STSMIN*SF
3310 IF STSMAX > SALL GOTO 2710
3320 NUMOPC = NUMOPC + 1
3330 IF IPRINTX > 0 THEN PRINT #3, " " : PRINT #3, " " : PRINT #3, " "
3340 IF IPRINTX > 0 THEN PRINT #3, "Er", "Wr", "Wrf", "Fo"
3350 IF IPRINTX > 0 THEN PRINT #3, ER, WR, WRF, FO
3360 REM obtien el parametro F3/SKR
3370 PRM1 = NINO : DIRBUF% = 455
3380 GOSUB 4710
3390 IF FLAG GOTO 2640
3400 F3V = PRM2
3410 NAS = 1E+07/(SPM*525600!)
3420 IF IPRINTX > 0 THEN PRINT #3, "Sk", "FoSk", "N/No", "N/No", "Sp/S", "Wrf/Skr"
3430 IF IPRINTX > 0 THEN PRINT #3, SKR, FOSKR, NINO, NINHOP, SPV, WRF5KR
3440 IF IPRINTX > 0 THEN PRINT #3, "TAAV", "TA", "FAV", "FBV", "TV", "F3V"
3450 IF IPRINTX > 0 THEN PRINT #3, TAAV, TA, FAV, FBV, TV, F3V
3460 REM calcula los parametros de diseno restantes
3470 PRHP = 2.53E-06*F3V*SKR*S*SPM
3480 HP = BPDREAL*NIVEL / 56000! + PRHP
3490 IF TIPNOT (<) THEN HP = BPDREAL * NIVEL /45000! + PRHP
3500 CBL = 1.06*(WRF + FO/2)
3510 ON TIPOUNT GOTO 3570,3520,3540
3520 CBL = 1.06*(PPRL + MPRL)/2
3530 GOTO 3570
3540 CBL = .52*(PPRL + 1.25*MPRL)
3550 PRHP = .8*PRHP
3560 HP = .8*HP
3570 REM define las variables adimensionales
3580 ADSTS = STSMAX/SALL
3590 ADSL = (STSMAX-STSMIN)/(SALL-STSMIN)
3600 ADTOR = PT/TORMAX
3610 ADHP = PRHP/HP
3620 FACTIND = 1/(ADSTS*ADSL*ADTOR*ADHP)
3630 INDEX = FACTIND*BPOREAL
3640 FOR I = 1 TO NOPNEJ
3650     IF INDEX <= CNOP(I,1) THEN GOTO 3800
3660     FOR J = NOPNEJ TO I STEP -1
3670         FOR K = 1 TO 25
3680             CNOP(J+1,K) = CNOP(J,K)
3690         NEXT K

```

```

3760      NEXT J
3770      CMOP(1,1) = INDEX : CMOP(1,2) = PPRL : CMOP(1,3) = MPRL
3780      CMOP(1,4) = PT : CMOP(1,5) = CBL : CMOP(1,6) = STSMAX
3790      CMOP(1,7) = STSMIN : CMOP(1,8) = PRHP : CMOP(1,9) = HP
3800      CMOP(1,10) = SPH : CMOP(1,11) = DIAPLG : CMOP(1,12) = APIX
3810      CMOP(1,13) = FC : CMOP(1,14) = SALL : CMOP(1,15) = RPDREAL
3820      FOR I = 1 TO 7
3830          LI = I5 + I : CMOP(1,I) = PORCROD(I)*100
3840      NEXT I
3850      GOTO 3810
3860  NEXT I
3870  PRINT #3,USING "###";NUMOPC;
3880  PRINT #3," " ;PRINT #3,USING "##";CINT(SFM);
3890  PRINT #3," " ;PRINT #3,USING "0.##";DIAPLG;
3900  REM PRINT #3," " ;PRINT #3,USING "####";APIX;
3910  REM PRINT #3," " ;PRINT #3,USING "0.###";FC;
3920  REM PRINT #3," " ;PRINT #3,USING "#####";SALL;
3930  REM PRINT #3,"Varillas : ";
3940  REM FOR I9 = 1 TO 7
3950  REM     IF PORCROD(I9) <= 0 GOTO 3980
3960  REM     PRINT #3,VRLE(I9);"(" ;PRINT #3,USING "###.0";PORCROD(I9)*100;
3970  REM     PRINT #3," %)" ;
3980  REM NEXT I9
3990  REM IMPRIME TODOS LOS RESULTADOS DEL DISEÑO
4000  PRINT #3," " ;PRINT #3,USING "#####";PPRL;
4010  PRINT #3," " ;PRINT #3,USING "#####";MPRL;
4020  PRINT #3," " ;PRINT #3,USING "#####";PT;
4030  PRINT #3," " ;PRINT #3,USING "#####";CBL;
4040  PRINT #3," " ;PRINT #3,USING "#####";SALL;
4050  PRINT #3," " ;PRINT #3,USING "#####";STSMAX;
4060  PRINT #3," " ;PRINT #3,USING "#####";STSMIN;
4070  PRINT #3," " ;PRINT #3,USING "##";PRHP;
4080  PRINT #3," " ;PRINT #3,USING "##";HP;
4090  PRINT #3," " ;PRINT #3,USING "0.0";NAS;
4100  PRINT #3," " ;PRINT #3,USING "#####";INDEX;
4110  PRINT #3," " ;
4120  FOR I9 = 1 TO 7
4130      IF PORCROD(I9) <= 0 GOTO 4180
4140      PRINT #3,VRLE(I9);"(" ;PRINT #3,USING "###.0";PORCROD(I9)*100;
4150      PRINT #3," %)" ;
4160  NEXT I9
4170  PRINT #3," "
4180  REMD
4190  PRINT #3," " ; PRINT #3," " : PRINT #3,"LAS MEJORES OPCIONES SON:"
4200  PRINT #3," "
4210  PRINT #3,"     INDICE  N  Ap  PPRL  MPRL  PT  CBL";
4220  PRINT #3,"     esfer  esmax  esmin  PRHP  HP  VARILLAS diametro (porciento)"
4230  REM PRINT #3," "
4240  FOR I1 = 1 TO 10
4250      IF CMOP(11,I1) <= 0 GOTO 4300
4260      PRINT #3,USING "##";I1;PRINT #3," " ;
4270      PRINT #3,USING "#####";CMOP(11,I1);PRINT #3," " ;
4280      PRINT #3,USING "##";CINT(CMOP(11,10));
4290      PRINT #3," " ;PRINT #3,USING "0.##";CMOP(11,I1);

```

```

4240 REM PRINT #3," ";PRINT #3,USING "####";CMOP(11,12);
4250 REM PRINT #3," ";PRINT #3,USING "0.###";CMOP(11,13);
4260 REM PRINT #3," ";PRINT #3,USING "#####";CMOP(11,14); *****
4270 REM PRINT #3," psi ";PRINT #3,"Varillas : ";
4280 REM FOR I9 = 16 TO 22
4290 REM IF CMOP(11,I9) <= 0 GOTO 4250
4300 REM PRINT #3,VRL$(I9-15)!"("";PRINT #3,USING "###.#";CMOP(11,I9);
4310 REM PRINT #3," $) ";
4320 REM NEXT I9
4330 REM IMPRIME TODOS LOS RESULTADOS DEL DISEÑO
4340 PRINT #3," ";PRINT #3,USING "#####";CMOP(11,2);;
4350 PRINT #3," ";PRINT #3,USING "#####";CMOP(11,3);;
4360 PRINT #3," ";PRINT #3,USING "#####";CMOP(11,4);;
4370 PRINT #3," ";PRINT #3,USING "#####";CMOP(11,5);;
4380 PRINT #3," ";PRINT #3,USING "#####";CMOP(11,14);;
4390 PRINT #3," ";PRINT #3,USING "#####";CMOP(11,6);;
4400 PRINT #3," ";PRINT #3,USING "#####";CMOP(11,7);;
4410 PRINT #3," ";PRINT #3,USING "##";CMOP(11,8);;
4420 PRINT #3," ";PRINT #3,USING "##";CMOP(11,9);;
4430 PRINT #3," ";
4440 FOR I9 = 16 TO 22
4450 IF CMOP(11,I9) <= 0 GOTO 4480
4460 PRINT #3,VRL$(I9-15)!"("";PRINT #3,USING "###.#";CMOP(11,I9);
4470 PRINT #3," $),";
4480 NEXT I9
4490 PRINT #3," "
4500 NEXT I1
4510 NTOT = NUMOPC+NOGASTO+NOAPI+NOCAR+NOTOR+NOESF
4520 PRINT #3," "
4530 PRINT #3,"Eliminados por no encontrar gasto ("";
4540 PRINT #3,USING "###";NOGASTO/NTOT*100;PRINT #3," %)"
4550 PRINT #3,"Eliminados por no cumplir API ("";
4560 PRINT #3,USING "###";NOAPI/NTOT*100;PRINT #3," %)"
4570 PRINT #3,"Eliminados por exceder Carga max ("";
4580 PRINT #3,USING "###";NOCAR/NTOT*100;PRINT #3," %)"
4590 PRINT #3,"Eliminados por exceder TORQUE MAX ("";
4600 PRINT #3,USING "###";NOTOR/NTOT*100;PRINT #3," %)"
4610 PRINT #3,"Eliminados por exceder ESF MAX VAR ("";
4620 PRINT #3,USING "###";NOESF/NTOT*100;PRINT #3," %)"
4630 PRINT #3," "
4640 PRINT #3," "
4650 PRINT #3,"Total eliminados ";
4660 PRINT #3,USING "###";(NTOT-NUMOPC)/NTOT*100;
4670 PRINT #3," $ Total opciones ";
4680 PRINT #3,USING "###";NUMOPC/NTOT*100;
4690 PRINT #3," %"
4700 END
4710 REM
4720 REM ### SUBROUTINE QUE OBTIENE LOS VALORES DE LA TABLA *BUFER ###
4730 VARY = FRMI ; VARY = FOSKR
4740 IF B<=VARY AND VARI<=.6 AND B<=VARY AND VARY<=.6 GOTO 4770
4750 FLAG = 1
4760 RETURN
4770 IF VARY = .6 THEN VARY = .599

```

```

4780 IF VARI = .6 THEN VARI = .599
4790 IF VARY = 0! THEN VARY = .800!
4800 IF VARI = 0! THEN VARI = .00!
4810 IX50% = INT(200VARY)
4820 IAX50% = IX50% + 1
4830 IAX51% = INT(100VARY)
4840 IAX34% = 13 * IAX51% + IAX50%
4850 CLAVE% = DIRBUF% + IAX34%
4860 AUX40 = BUFR (CLAVE%)
4870 CLAVE% = DIRBUF% + IAX34% + 1
4880 AUX41 = BUFR (CLAVE%)
4890 CLAVE% = DIRBUF% + IAX34% + 13
4900 AUX42 = BUFR (CLAVE%)
4910 CLAVE% = DIRBUF% + IAX34% + 14
4920 AUX43 = BUFR (CLAVE%)
4930 Y1 = AUX40 + ( AUX42 - AUX40 )*( VARI - IAX51%/10! )/.1
4940 Y2 = AUX41 + ( AUX43 - AUX41 )*( VARI - IAX51%/10! )/.1
4950 PRM2 = Y1 + ( Y2-Y1 )*( VARY - IX50%/20! )/.85
4960 RETURN

```

## APENDICE B

### METODO DE LA SECANTE

El método de la secante (ref. 14), es básicamente una modificación del método de Newton, con la derivada de la función sustituida por una expresión en diferencias. Esto es muy ventajoso si la función es difícil de derivar, y es también conveniente para programar, en el sentido de que solo es necesario proporcionar, un único subprograma con la función, en vez de dos subprogramas para la función y su derivada respectivamente.

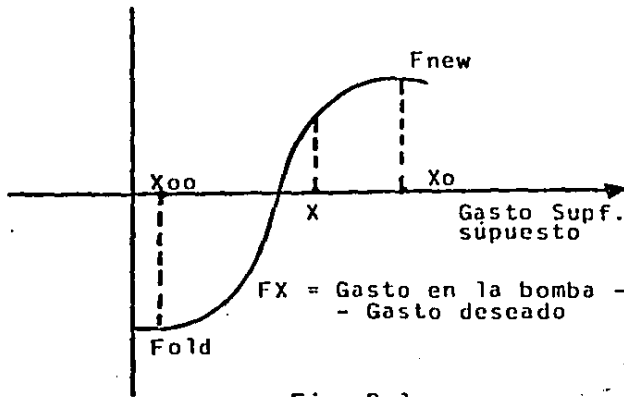
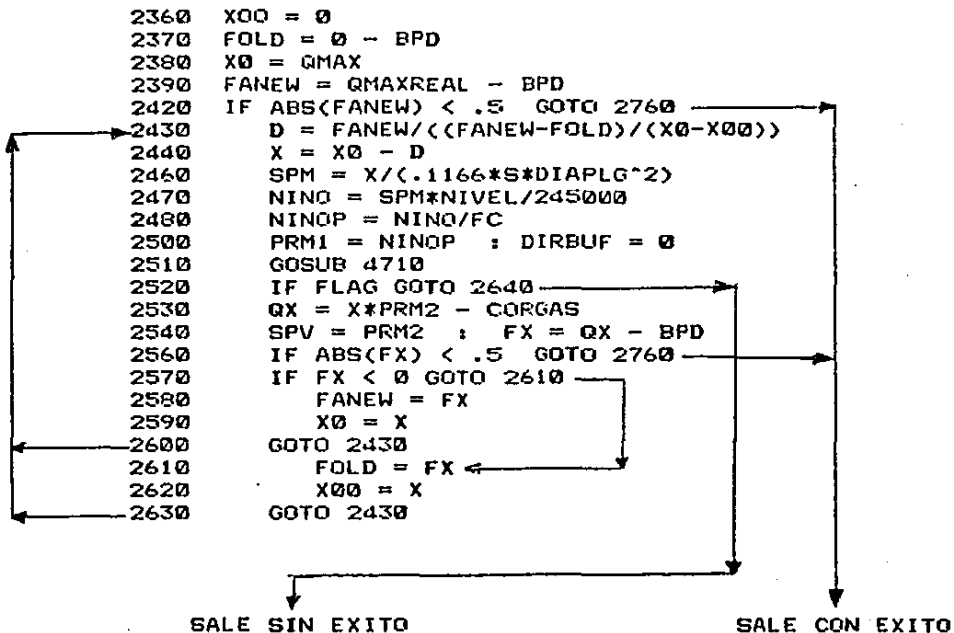


Fig. B-1

Este método requiere que, al menos una raíz de la función, se encuentre en el intervalo de interés. Considerese la Fig. B-1, en donde se muestra la función  $FX$ , definida en el intervalo  $(X_{00}, X_0)$ , y con valores  $FOLD$  y  $FNEW$  en los puntos del intervalo respectivamente. El método consiste en encontrar el punto  $x$ , por medio de iteraciones sucesivas, hasta que  $FX(x)$  sea menor que una tolerancia. El valor de  $x$ , está definido por la expresión:

$$x = x_0 - FNEW / ((FNEW - FOLD) / (x_0 - x_{00}))$$

Para muchas funciones, el método de la secante, no convergera tan rápido como el método de Newton, pero su ventaja de no necesitar la derivada de la función, compensa este inconveniente. Si la evaluación de la derivada de la función requiere de mucho tiempo, entonces el método de la secante puede necesitar menos tiempo de computadora, que el método de Newton. El listado de este método se muestra a continuación.





APENDICE C

FRECUENCIA NATURAL DE UNA VARILLA (ref. 15)

El comportamiento de una sarta de varillas en un pozo petrolero, se asemeja al de una varilla elástica. Para estudiar el fenómeno de vibraciones longitudinales, considérese una varilla que inicialmente se encuentra suspendida en el aire, y posteriormente cae verticalmente, golpeando una mesa rígida con una velocidad  $V_0$ , permaneciendo después del golpe, fija a la mesa.

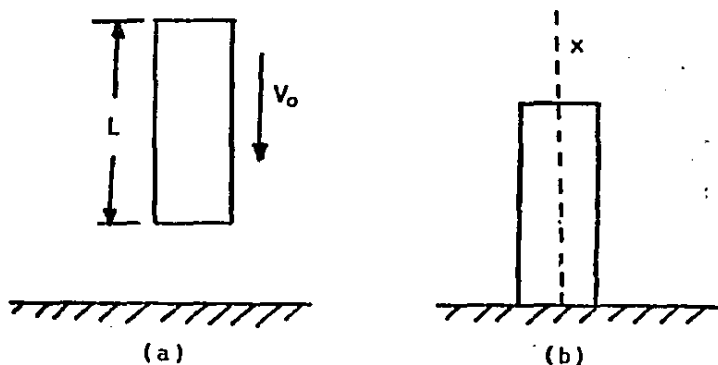


Fig. C-1

La ecuación fundamental de movimiento, de la perturbación inducida en el extremo fijo de la varilla, es la ecuación de onda, dada por la expresión siguiente:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad \dots\dots\dots (c-1)$$

donde:

- $u$  = desplazamiento del punto  $x$ .
- $t$  = tiempo.
- $x$  = posición del punto  $x$ .
- $a$  = vel. del sonido en la varilla.

La solución de la ecuación c-1, se obtiene por el método de separación de variables. Este método de solución es uno de los más importantes, en la solución de problemas con valores en la frontera, que involucra a ecuaciones con derivadas parciales. La solución de la ecuación c-1 es:

$$u(x,t) = (A \cos(kx/a) + B \sen(kx/a)) (C \cos(kt) + D \sen(kt))$$

Las constantes A,B,C,D y k se determinan en función de las condiciones de frontera.

En el problema de la varilla fija, las condiciones de frontera son:

$$u(x=0) = 0 \quad ; \quad F(x=L) = 0 \quad \dots\dots(c-2)$$

Donde F es la fuerza que se desplaza a lo largo de la varilla, y esta expresada por la ecuación:

$$F = E A \frac{\partial u}{\partial x}$$

donde:

- F = fuerza.
- E = módulo de Young.
- A = área transversal

Las condiciones de frontera dadas por la ecuación c-2, llevan a establecer las ecuaciones siguientes :

$$0 = A ( C \cos(kt) + D \sen(kt) )$$

$$0 = E A (k/a) (-A \sen(kL/a) + B \cos(kL/a)) (C \cos(kt) + D \sen(kt))$$

Estas ecuaciones se satisfacen cuando se cumple:

$$A = 0 \quad ; \quad \cos(kL/a) = 0 \quad \Rightarrow \quad kL/a = (2n+1) (\pi/2), \quad n = 0,1,2,3,\dots$$

$$\text{por lo tanto } kn = (2n+1)\pi a/2L \quad n = 0,1,2,3,\dots$$

donde esta última expresión es la ecuación de frecuencia, de la solución general  $u(x,t)$ . Estos valores de las constantes dan un número infinito de soluciones, representadas por:

$$u(x,t) = \text{sen}((2n+1)\pi x/2L) (\text{Cn} \cos((2n+1)\pi at/2L) + \text{Dn} \text{sen}((2n+1)\pi at/2L))$$

Estas soluciones representan modos de vibración, en una varilla fija en un extremo y libre en el otro. La frecuencia natural del  $n$ -simo modo de vibración  $f_n$ , de la varilla está dada por:

$$f_n = kn/2\pi = (2n+1) a/4L \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

La frecuencia fundamental se obtiene cuando  $n=0$ , o sea :

$$f = a/4L$$