

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE PETROLEO**

**Diseño de las Unidades de Bombeo Mecánico  
para Pozos de Petróleo con la Computadora  
IBM 1620 de la UNI**

**T E S I S**

PARA OPTAR EL TITULO DE

INGENIERO DE PETROLEO

**MANUEL V. MACHUCA ARIAS**

LIMA - PERU

1 9 6 7

## INTRODUCCION

Una de las técnicas más utilizadas después que un pozo ha dejado de ser surgente, es el EMPLEO de las unidades de bombeo mecánico con varillas, para la recuperación del petróleo desde la formación. Este método se utiliza prácticamente en casi todos los campos de petróleo y se aplica en un alto porcentaje de pozos. Esta unidad esta representada esquemáticamente en la figura N° 1 con sus partes de mayor importancia y la nomenclatura seguida en una instalación dada.

No obstante, hasta ahora siempre han existido ciertos aspectos que dejan algo de incertidumbre cuando se ha diseñado una instalación de una determinada unidad; a pesar de los esfuerzos desarrollados hasta la actualidad con el fin de despejar aquellas dudas.

Las características para este trabajo redundan en un estudio geométrico analítico efectuado en el capítulo N° 2 de las ecuaciones ya deducidas por otros autores que se encuentran en el capítulo N° 1 y también ha sido agregado el uso de la computadora electrónica con la que el Técnico y el Científico realizan las investigaciones y diseños disponiendo del ahorro de tiempo, para las especulaciones imaginativas que las máquinas no pueden sustituir. Con este empleo de la computadora al diseño de las unidades de bombeo mecánico concluyen los estudios en los capítulos N° 3 y 4.

# INSTALACION DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECANICO.

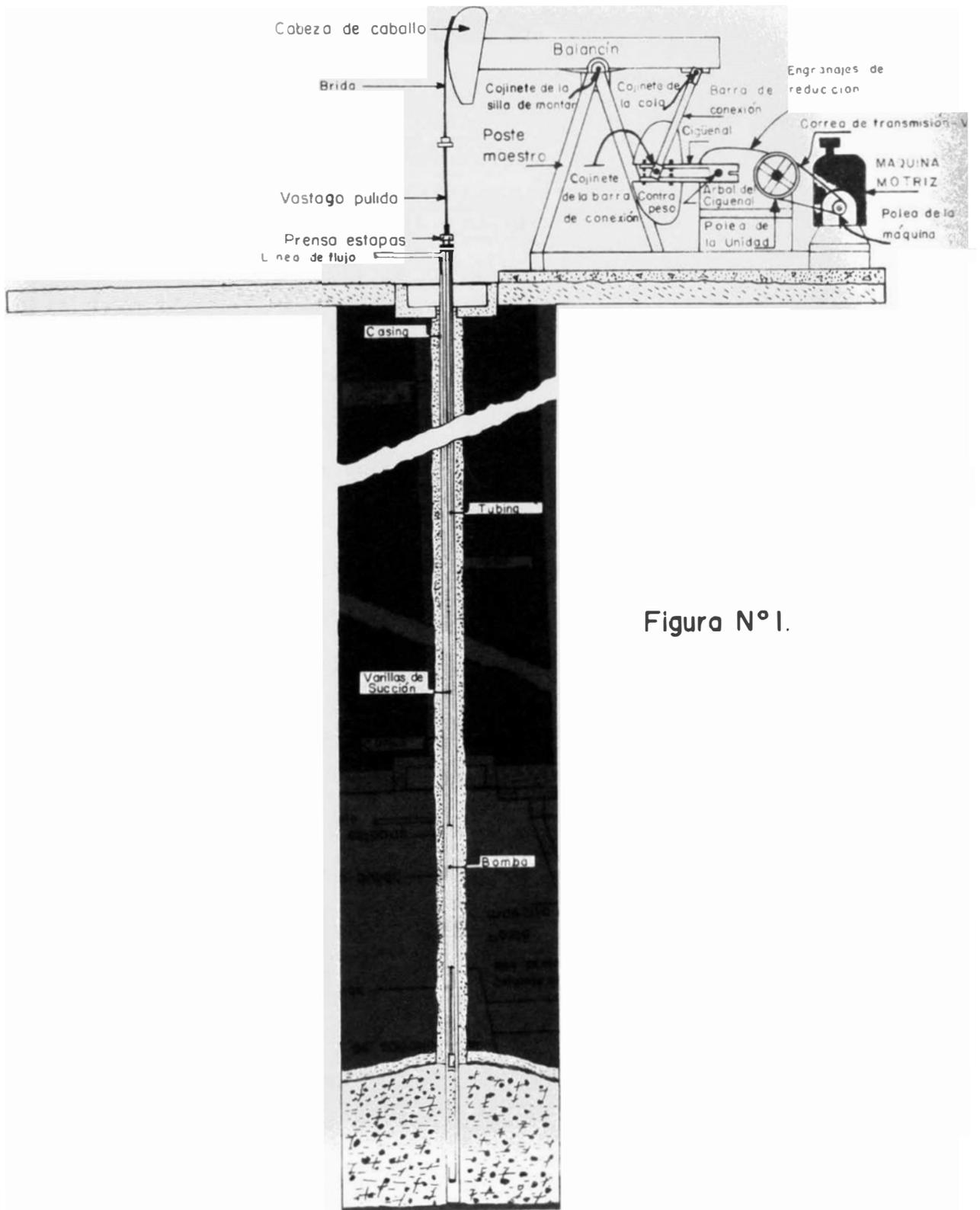


Figura N° 1.

## CONTENIDO

	Página
<u>CAPITULO I</u> <u>DISEÑO CONVENCIONAL</u>	1
1-1. Sumario de la nomenclatura de variables	2
1-2. Movimiento de las varillas	5
1-3. Carrera efectiva del pistón	5
1-4. Cargas sobre el vástago pulido	8
1-5. Diseño de la sarta de varillas	9
1-6. Desplazamiento de la bomba y régimen de producción	10
1-7. Diseño del contrabalance	11
1-8. Cálculo del torque	12
1-9. Reducción de la velocidad desde la máquina motriz al árbol del cigüeñal	12
1-10. Potencia requerida para la máquina motriz	13
1-11. Velocidad sincrónica de bombeo	14
1-12. Conclusiones del diseño convencional	14
<u>CAPITULO II</u> <u>ANALISIS DE LOS MAXIMOS DE PRODUCCION</u>	16
2-1. Curvas de producción-área del pistón	17
2-2. Máximos en las curvas de producción	23
2-3. Derivadas parciales para la ecuación general de los máximos y los mínimos	25
2-4. Necesidad de los cálculos con la computadora	29
<u>CAPITULO III</u> <u>PROGRAMA FORTRAN</u>	30
3-1. Programa Fortran	31

3-2.	Diagrama de flujo para el programa Fortran	33
3-3.	Listado del programa Fortran	34
<u>CAPITULO IV</u>	<u>TABLA DE SELECCION</u>	38
4-1.	Forma de utilizar la tabla para el diseño de las unidades de bombeo mecánico	39
4-2.	Tabla para la unidad de bombeo mecánico de dimensión 80 API	45
4-3.	Costos de un programa Fortran para una tabla	179
4-4.	Conclusiones finales	181

## CAPITULO I

# DISEÑO CONVENCIONAL

1-1.- SUMARIO DE LA NOMENCLATURA DE LAS VARIABLES

$A_1, A_2, \dots$	Areas de las secciones transversales de las secciones individuales de una sarta combinada de varillas de succión, pulgadas cuadradas.
$A_p$	Area de la sección transversal del pistón, pulgadas cuadradas.
$A_t$	Area de la sección transversal de la pared del tubing, pulgadas cuadradas.
$C$	Efecto del contrabalance total en el vástago pulido, libras.
$C_i$	Efecto del contrabalance teórico ideal, libras.
$C$	Efecto del contrabalance debido al desbalance de la estructura, libras.
$D$	Profundidad del nivel de trabajo del fluido, pies.
$E$	Módulo de elasticidad para el acero, psi.
$E$	Eficiencia volumétrica de la bomba.
$G$	Gravedad específica del fluido del pozo.
$H_b$	Caballos fuerza en el freno de la máquina motriz, hp.
$H_f$	Pérdida de potencia de la fricción de subsuelo, hp.
$H_h$	Caballos fuerza hidráulicos para elevar el fluido, hp.
$K$	Constante de la bomba, barriles por día de producción por pulgada de la carrera del pistón por spm de velocidad de bombeo.
$L$	Longitud de la sarta de varillas de succión, pies.

$L_1, L_2 \dots$  Longitudes de las secciones individuales de la sarta combinada de varillas de succión, pies.

$L_N$  Elevación neta del fluido, pies.

$M_1, M_2 \dots$  Pesos unitarios de las secciones individuales de una sarta de varillas combinadas, libras/pie.

$N$  Velocidad de bombeo, spm.

$N_e$  Velocidad principal de la máquina motriz, rpm.

$P_c$  Presión en la cabeza del tubing, psi.

$q=Q$  Régimen de producción, barriles/día.

$R_1, R_2 \dots$  Longitudes de las secciones individuales de una sarta combinada de varillas de succión, expresada como fracción de la longitud total de la sarta de varillas.

$S$  Longitud de la carrera del vástago pulido, pulgadas.

$S_p$  Longitud efectiva de la carrera del pistón, pulgadas.

$T_p$  Torque máximo en el engranaje de reducción, pulgadas-libra.

$V$  Desplazamiento de la bomba, barriles/día.

$W_c$  Peso en el cigüeñal de los contrapesos, libras.

$W_f$  Carga de fluido, libras.

$W_r$  Peso de la sarta de varillas de succión, libras.

$Z$  Razón de engranaje en el engranaje de reducción.

$d$  Distancia a lo largo del cigüeñal desde el centro del árbol del cigüeñal al centro de gravedad de los contrapesos, pulgadas.

- $d_e$  Diámetro de la polea de la máquina, pulgadas.
- $d_u$  Diámetro de la polea de la unidad, pulgadas.
- $L_1$  Distancia a lo largo del balancín desde el cojinete de la silla de montar al cojinete de la cola, pulgadas.
- $L_2$  Distancia a lo largo del balancín desde el cojinete de la silla de montar a la brida, pulgadas.
- $r$  Distancia a lo largo del cigüeñal desde el árbol del cigüeñal al cojinete de la barra de conexión, pulgadas.
- Factor de aceleración para el movimiento armónico simple.

### 1-2.- MOVIMIENTO DE LAS VARILLAS

Un estudio del modo en el cual el movimiento es transmitido desde el movimiento principal a la sarta de varillas muestra que las varillas están aproximadamente en movimiento armónico simple, y que

$$\alpha = \frac{S N^2}{70,500}$$

Donde  $\alpha$  = factor de aceleración, o el factor por el cual el peso muerto de las varillas puede ser multiplicado para obtener la máxima carga.

S = longitud de la carrera del vástago pulido que normalmente es dada en pulgadas.

$N^2$  = velocidad de bombeo es dada en golpes por minuto, al cuadrado.

### 1-3.- CARRERA EFECTIVA DEL PISTON

EL volúmen de petróleo tomado durante cada golpe del pistón de la bomba, no depende de la longitud de la carrera del vástago pulido, sino del movimiento relativo del pistón hacia el barril de la bomba. A este movimiento se le llama la carrera efectiva del pistón, y puede diferir significativamente de la carrera del vástago pulido

Su fórmula es

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

Donde  $S_p$  = carrera efectiva del pistón, en pulgadas.

$L$  = longitud de la sarta de varillas de succión, en pies.

$E$  = módulo de elasticidad del acero ( $30 \times 10^6$  psi).

$G$  = gravedad específica del fluido.

$D$  = nivel de trabajo del fluido, dado en pies.

$A_p$  = área de la sección transversal del pistón, en pulgadas cuadradas (ver tabla 1.2.).

$A_1$  = área de la sección transversal de las varillas de la sección más baja es decir las más pequeñas de diámetro, en pulgadas cuadradas (ver tabla 1.1.).

$A_2$  = área de la sección transversal de las varillas de la sección siguiente a la anterior, en pulgadas cuadradas.

$A_t$  = área de la sección transversal de la pared del tubing, en pulgadas cuadradas (ver tabla 1.3.).

$L_1$  = longitud de la sección inferior de la sarta, en pies.

$L_2$  = longitud de la sección siguiente a la anterior, en pies.

Las tablas siguientes muestran los valores que se fabrican y sirven de datos a la computadora.

Tabla 1.1. DATOS DE LAS VARILLAS

Dimensión de la varilla, pulgadas	Area, pulgadas cuadradas	Peso, libras/pie
5/8	0.307	1.16
3/4	0.442	1.63
7/8	0.601	2.16
1	0.785	2.88
1 1/8	0.994	3.64

Tabla 1.2. DATOS DEL PISTON

Diámetro, pulgadas	Area pulgadas cuadradas	Constante de la bomba, barriles/día/pulg/spm
1	0.785	0.116
1 1/16	0.886	0.131
1 1/4	1.227	0.182
1 1/2	1.767	0.262
1 3/4	2.405	0.357
1 25/32	2.488	0.369
2	3.142	0.466
2 1/4	3.796	0.590
2 1/2	4.909	0.728
2 3/4	5.940	0.881
3 3/4	11.045	1.639
4 3/4	17.721	2.630

Tabla 1.3. DATOS DEL TUBING

Dimensión nominal, pulgadas	Diámetro exterior, pulgadas	Peso, libras/pie	Area de la pared, pulg.cuad.
1 1/2	1.900		0.800
2	2.375		1.304

2 1/2	2.875	6.50	1.812
3	3.500	9.30	2.590
3 1/2	4.000	11.00	3.077
4	4.500	12.75	3.601

#### 1-4.- CARGAS SOBRE EL VASTAGO PULIDO

El peso de la sarta combinada es dada por

$$W_r = m_1 L_1 + m_2 L_2 + \dots$$

Donde

$W_r$  = peso de la sarta de varillas, en libras.

$m_1$  = peso unitario de la sección inferior, en libras/pie.

$m_2$  = peso unitario de la sección siguiente, en libras/pie.

La carga de fluido es

$$W_f = 0.433 G ( L A_p - 0.294 W_r )$$

Donde

$W_f$  = carga de fluido, en libras.

La máxima carga en el vástago, el cual ocurre en la carrera ascendente, es

$$W_{\text{máx.}} = W_f + W_r ( 1 + \alpha )$$

Donde

$W_{\text{máx.}}$  = carga máxima en el vástago pulido, en libras

La carga mínima en el vástago pulido, el cual ocurre en la carrera descendente, es

$$W_{\text{mín.}} = W_r ( 1 - \alpha - 0.127 )$$

Donde  $W_{\text{mín.}}$  = carga mínima en el vástago pulido, en libras

### 1-5.- DISEÑO DE LA SARTA DE VARILLAS

Para una sarta combinada consistente en dos o más secciones se tiene que

$$L_1 = L R_1$$

$$L_2 = L R_2$$

-----

donde los valores de  $R_1, R_2, \dots$  pueden ser tomados de la tabla 1.4.

Tabla 1.4. DATOS PARA EL DISEÑO DE SARTAS DE VARILLAS COMBINADAS

Dimensión de las varillas de la sarta, pulg.	Valores de $R^a$
5/8-3/4	$R_1 = 0.759 - 0.0896 A_p$ $R_2 = 0.241 + 0.0896 A_p$
3/4-7/8	$R_1 = 0.786 - 0.0566 A_p$ $R_2 = 0.214 + 0.0566 A_p$
7/8- 1	$R_1 = 0.814 - 0.0375 A_p$ $R_2 = 0.186 + 0.0375 A_p$
5/8-3/4-7/8	$R_1 = 0.627 - 0.1396 A_p$ $R_2 = 0.199 + 0.0737 A_p$ $R_3 = 0.175 + 0.0655 A_p$
3/4-7/8- 1	$R_1 = 0.664 - 0.0894 A_p$ $R_2 = 0.181 + 0.0478 A_p$ $R_3 = 0.155 + 0.0416 A_p$

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

$$\begin{aligned}R_1 &= 0.582 - 0.1110 A_p \\R_2 &= 0.158 + 0.0421 A_p \\R_3 &= 0.137 + 0.0364 A_p \\R_4 &= 0.123 + 0.0325 A\end{aligned}$$

<sup>a</sup>R<sub>1</sub> se refiere a la sección más baja (varillas de menor diámetro), R<sub>2</sub> a la próxima de la más baja, etc.

#### 1-6.- DESPLAZAMIENTO DE LA BOMBA Y REGIMEN DE PRODUCCION

Se define el desplazamiento teórico de bombeo como

$$V = 0.1484 A_p S_p N \quad \text{bbl/día}$$

Donde  $V$  = desplazamiento de la bomba, en barriles/día.

el término  $0.1484 A_p$  es llamada la constante de bombeo,  $K$ .

$$V = K S_p N$$

La tabla 1.2. muestra áreas de pistón y las constantes de bombeo para todas las dimensiones API de las bombas.

La razón entre el fluido actualmente bombeado y el desplazamiento de la bomba es la eficiencia volumétrica de la bomba:

$$E_v = \frac{q}{V}$$

Donde  $q$  = régimen de producción, barriles/día.

$E$  = eficiencia volumétrica de la bomba.

### 1-7.- DISEÑO DEL CONTRABALANCE

El efecto del contrabalance ideal es

$$C_i = 0.5 W_p + W_r \left( 1 - \frac{0.127}{2} G \right)$$

Donde  $C_i$  = efecto del contrabalance ideal, en libras.

El efecto total del contrabalance en el vástago pulido es

$$C = C_s + W_c \left( \frac{d}{r} \right) \left( \frac{l_1}{l_2} \right)$$

Donde  $C$  = Efecto del contrabalance total en el vástago pulido, en libras.

$C_s$  = Efecto del contrabalance debido al desbalance de la estructura, en libras.

$d$  = distancia a lo largo del cigüeñal desde el centro del árbol del cigüeñal al centro de gravedad de los contrapesos, en pulgadas.

$r$  = distancia a lo largo del cigüeñal desde el árbol del cigüeñal al cojinete de la barra de conexión, en pulgadas.

$l_1$  = distancia a lo largo del balancín desde el cojinete de la silla de montar al cojinete de la cola, en pulgadas.

$l_2$  = distancia a lo largo del balancín desde el cojinete de la silla de montar a la brida, en pulgadas.

### 1-8.- CALCULO DEL TORQUE

El diseño de la unidad depende mucho del máximo torque permisible en el engranaje de reducción, la expresión para predecir el torque máximo es

$$T_p = ( W_{\text{máx.}} - 0.95 C_i ) \left( \frac{S}{2} \right)$$

Donde  $T_p$  = torque máximo en el engranaje de reducción, en pulgadas-libra.

### 1-9.- REDUCCION DE LA VELOCIDAD DESDE LA MAQUINA MOTRIZ AL ARBOL DEL CIGUEÑAL

La velocidad de bombeo es

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

Donde  $N_e$  = velocidad principal de la máquina motriz, en r.p.m.

$d_e$  = diámetro de la polea de la máquina, en pulgadas.

$Z$  = razón de engranaje en el engranaje de reducción.

$d_u$  = diámetro de la polea de la unidad, en pulgadas.

### 1-10.- POTENCIA REQUERIDA PARA LA MAQUINA MOTRIZ

Los caballos de potencia hidráulica se calculan con

$$H_h = 7.36 \times 10^{-6} q G L \quad \text{hp}$$

la ecuación asume que la bomba va a estar trabajando en el nivel de fluido, y es negligible el efecto de la presión del tubing. Como una relación más general,

$$H_h = 7.36 \times 10^{-6} q G L_N \quad \text{hp}$$

Donde  $H_h$  = caballos de fuerza hidráulicos para elevar el fluido, en hp.

$L_N$  = elevación neta del fluido, pies.

La potencia por fricción es

$$H_f = 6.31 \times 10^{-7} W_r S N \quad \text{hp}$$

Donde  $H_f$  = pérdida de potencia de la fricción de subsuelo, en hp.

La potencia en el freno requerida para la máquina motriz podrá ser:

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

Donde  $H_b$  = caballos fuerza en el freno de la máquina motriz, en hp.

### 1-11.- VELOCIDAD DE BOMBEO SINCRONICA

Un factor posible en la prematura falla de las varillas es la velocidad sincrónica de bombeo. La ejecución sincrónica es, por lo tanto, considerada como un factor de quiebra de las varillas, velocidades de bombeo poco deseables son aquellas las cuales hacen  $n$  un número entero en la expresión

$$n = \frac{237,000}{N L}$$

Cualquier velocidad de bombeo la cual no hace  $n$  un número entero puede ser no sincrónica. No obstante, hay que permanecer tan lejos como sea posible de las velocidades sincrónicas, velocidades de bombeo pueden ser seleccionadas cuando se hace

$$n = 1 \frac{1}{2} , 2 \frac{1}{2} , 3 \frac{1}{2}, .. \text{ etc.}$$

### 1-12.- CONCLUSIONES DEL DISEÑO CONVENCIONAL

En las fórmulas anteriores, se han establecido las ecuaciones necesarias para un diseño, en lo que respecta a la succión del petróleo del subsuelo mediante las unidades de bombeo mecánico. Pero la realidad es que siempre existe un disconformismo cuando se han realizado los cálculos según el diseño convencional. Esto se debe en gran parte a que las variables están ligadas entre sí según las ecuaciones establecidas, pero sin embargo conocemos que es posible obtener una correspondencia biúnica en un sistema ordenado en

tre los puntos y los números reales, esto es, debemos aplicar los métodos del análisis a la geometría, en consecuencia, si es que realizamos un análisis de las variables de tal forma que conozcamos su comportamiento, desde ya estaremos en un grado mayor al que nos encontramos, en lo que se refiere a la seguridad y determinación de los cálculos del diseño de las unidades de bombeo mecánico, para obtener una máxima producción.

En síntesis, debemos concluir que precisamos del:

1º.- Estudio analítico de las ecuaciones citadas anteriormente.

2º.- Como nuestro afán es programar un diseño de las unidades de bombeo mecánico, debemos de investigar cuales son las variables de mayor trascendencia en este diseño, para lo cual precisamos de la primera conclusión.

## CAPITULO II

### ANALISIS DE LOS MAXIMOS DE PRODUCCION

## 2-1.- CURVAS DE PRODUCCION - AREA DEL PISTON

Según las conclusiones del capítulo anterior es necesario trazar en un sistema de ejes coordenados la interpretación geométrica, es decir, un gráfico correspondiente a las variables que rigen el diseño de las unidades de bombeo mecánico.

Por lo tanto, para empezar; cuál de todas las variables debemos de considerar, como la de mayor necesidad a fijarla en uno de los ejes coordenados, tenemos la carrera del vástago pulido, el máximo torque, la velocidad de bombeo, etc., pero si consideramos que la función de las unidades de bombeo mecánico es producir petróleo, es decir, lo que más interesa es producir y el resto de las variables serán ordenadas y escogidas de tal manera que se obtenga una producción óptima, de esto establecemos que la variable producción es la primera de todas las variables a ser considerada y de acuerdo a esto, según la ecuación del régimen de producción tenemos que:

$$Q = q = 0.1484 A_p S_p N E_v$$

Donde tres son las variables que pueden ser modificadas, ellas son,  $A_p$ , área del pistón,  $S_p$ , carrera efectiva del pistón, y  $N$  el número de revoluciones por minuto. De las tres son independientes dos, porque la carrera efectiva del pistón es dependiente de otras de acuerdo a la ecuación

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

Sustituyendo esta última ecuación en la ecuación del régimen de producción

$$Q = 0.1484 A_p \left\{ S + \frac{40.8 L^2 \alpha}{E} - \frac{5.20 G D A_p}{E} \left[ \frac{L}{A_t} + \frac{L_1}{A_1} + \frac{L_2}{A_2} + \dots \right] \right\} N E_V$$

Como todavía existe la aceleración,  $\alpha$ , y las longitudes parciales como variables independientes aparentemente, sustituimos la aceleración por las verdaderas variables independientes y por ahora, consideremos dos secciones en la sarta de varillas que es un caso bastante común y digamos que las longitudes parciales son constantes con el fin de simplificar la ecuación, luego tendremos que:

$$Q = 0.1484 A_p \left\{ S + \frac{40.8 L^2 S N^2}{E 70500} - \frac{5.2 G D A_p}{E} \left[ \frac{L}{A_t} + \frac{L_1}{A_1} + \frac{L_2}{A_2} \right] \right\} N E_V$$

Esta expresión, aparentemente es complicada. Si tratamos de simplificarla es indispensable hacer algunas suposiciones, y esto se puede lograr discutiendo previamente las variables.

Hay tres variables independientes:  $A_p$ ,  $S$ , y  $N$ , si establecemos que el resto de variables son constantes, entre ellas, las longitudes de cada sección de sarta de varillas. La función  $Q$ , es de segundo grado con respecto a la velocidad de bombeo  $N$ , mas esta variable debe satisfacer exigencias de la caja de reducción de velocidades, es decir está en rangos determinados, y por otro lado, también hay que cumplir con la velocidad sincrónica, y esto que fué aparentemente independiente, es descartada como una variable a ser fijada

en el otro eje del sistema cartesiano. La carrera del vástago pulido S, es lineal, en consecuencia, no tiene puntos notables ya que la función es de primer grado con respecto a esta variable, es importante pero como hay que considerar todavía el área del pistón  $A_p$ , que es una variable que hace de segundo grado la función, Q, en este caso simplificado y más aún considerando que las longitudes de las secciones parciales de la sarta de varillas también son función del área del pistón,  $A_p$ , es decir la función, Q, al final es de tercer grado con respecto al área del pistón,  $A_p$ . Se ha establecido que todas las otras variables son constantes para simplificar los cálculos. De esta discusión establecemos que el área del pistón por ser una variable totalmente independiente y si es que hay dimensiones ya fabricadas, no sería tan difícil de cambiar las dimensiones en comparación con la velocidad de bombeo que hay que salvar otros problemas.

Luego, si ya tenemos dos variables de suma importancia en el diseño de las unidades de bombeo mecánico se puede obtener un gráfico donde se tenga en el eje de las ordenadas a la producción y en el eje de las abscisas al área del pistón, con esta idea ha sido construido el gráfico 2-1. que corresponde al pozo CS-3-8a de los Estados Unidos del Brasil; donde la profundidad es de 3950 pies, petróleo con una gravedad específica de 0.825, varillas de  $3/4$  y  $7/8$ , de longitudes,  $L_1 = 2250$  pies y  $L_2 = 1700$  pies, respectivamente a la velocidad de 17 s.p.m., tubing de  $2 \frac{1}{2}$  que al simplificar y aplicar los valores se obtienen cuatro ecuaciones:

para S = 48 pulg.	$Q = 105.335 A_p - 11.516 A_p^2$
para S = 40 "	$Q = 87.779 A_p - 11.516 A_p^2$
para S = 32 "	$Q = 70.223 A_p - 11.516 A_p^2$
para S = 24 "	$Q = 52.689 A_p - 11.516 A_p^2$

Que son graficadas y se muestra que son parábolas que varían de acuerdo a la carrera del vástago pulido, se aprecia que cada curva tiene su máximo de producción a la cual le corresponde su respectiva área de pistón, luego estos puntos son de singular importancia en lo que se refiere al diseño porque de acuerdo a como nos alejemos del eje de simetría estaremos más lejos de la producción ideal. Otra de las apreciaciones es que por más que aumentemos el área del pistón no aumentaremos la producción, si no que por el contrario podemos estar disminuyendo la capacidad de producción de la unidad de bombeo. Hay que hacer notar también que no solo son éstas las variables que intervienen en el diseño, ya que se tienen otras más que son los límites que habrá que tener en consideración.

Si ahora sustituimos los valores de las longitudes parciales de cada una de las secciones en la sarta de varillas combinadas con el fin de eliminar la suposición de que las longitudes parciales permanecían constantes, se tendrá que:

$$L_1 = L R_1$$

$$L_2 = L R_2$$

$$L_3 = L R_3$$

Sustituyendo en la ecuación general del régimen de producción tendremos que:

$$Q = 0.1484 A_p \left\{ S + \frac{40.8 L^2 \alpha}{E} - \frac{5.2 G D A_p L}{E} \left( \frac{1}{A_t} + \frac{R_1}{A_1} + \frac{R_2}{A_2} \dots \right) \right\} N E_v$$

Donde  $R_1, R_2, \text{etc.}$  son función de primer grado con respecto al área del pistón es decir la ecuación en general es de tercer grado con respecto al área del pistón  $A_p$ , que de acuerdo a la forma general de tercer grado en las ecuaciones toma la forma geométrica de la siguiente figura N° 2-2.

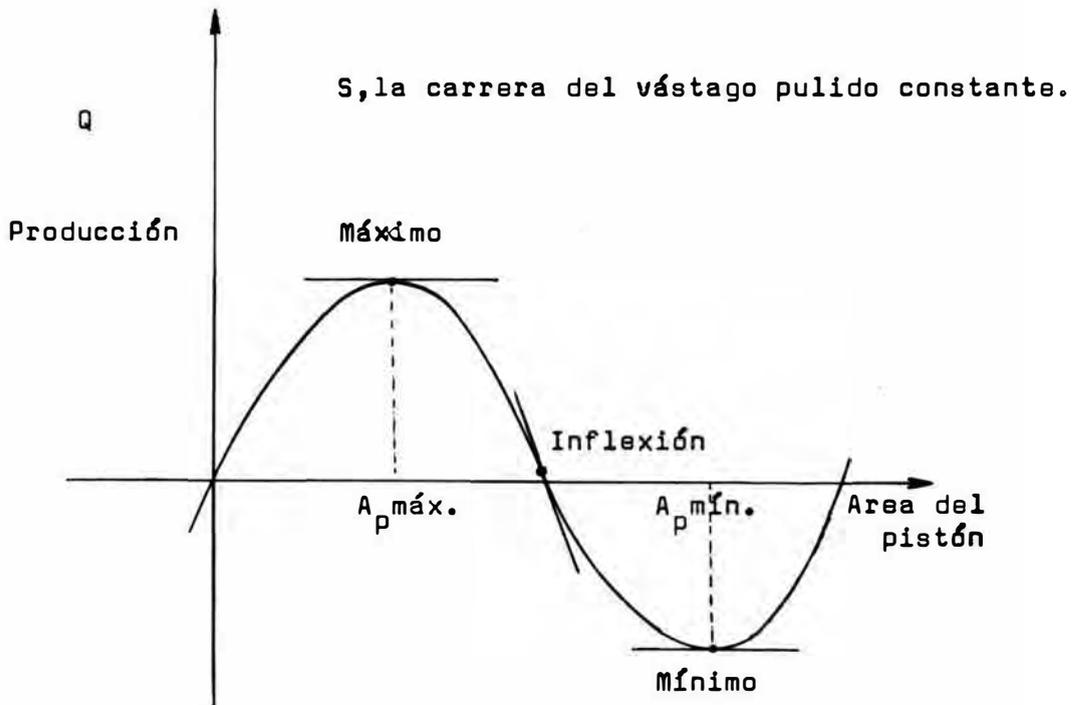


Figura N° 2-2. CURVA PRODUCCION - AREA DEL PISTON.

Donde tenemos que los puntos notables son:

La curva pasa por el origen (0,0).

Tiene un máximo la producción.

Tiene un mínimo la producción.

tiene un punto de inflexión la curva.

Para concluir, se puede decir que en todos los diseños éstas serán dos variables que tienen que ser escogidas a fin de obtener una combinación la cual dé como resultado una producción óptima de una determinada unidad de bombeo mecánico.

## 2-2.- MAXIMOS EN LAS CURVAS DE PRODUCCION

En la sección anterior, cuatro ecuaciones simplificadas han sido establecidas para la producción, Q, en función del área del pistón,  $A_p$ . También se ha dejado establecido que un punto notable es un máximo de la función Q, que en consecuencia, tiene un valor respectivo del área del pistón, cada curva corresponde a una dimensión de la carrera del vástago pulido y se ha dicho que para:

48 pulgadas de carrera: 
$$Q = 105.335 A_p - 11.516 A_p^2$$

En otros términos, es posible calcular los máximos teóricos de la producción, por la primera derivada de la ecuación de la producción, con respecto, a la variable área del pistón,  $A_p$ , esto es:

$$\frac{dQ}{dA_p} = 105.335 \frac{dA_p}{dA_p} - 11.516 \frac{dA_p^2}{dA_p}$$

$$\frac{dQ}{dA_p} = 105.335 \frac{dA_p}{dA_p} - (11.516)(2) A_p^{2-1} \frac{dA_p}{dA_p}$$

simplificando: 
$$\frac{dQ}{dA_p} = 105.335 - (11.516)(2) A_p$$

pero como la primera derivada debe ser cero en el máximo:

$$0 = 105.335 - (11.516)(2) A_p$$

de donde: 
$$A_p = \frac{105.335}{2 \times 11.516} = 4.57342$$

$$A_p = 4.5734 \text{ pulgadas cuadradas}$$

para 40 pulgadas de carrera,

$$A_p = \frac{87.779}{2 \times 11.516} = 3.8112 \text{ pulgadas cuadradas}$$

para 32 pulgadas de carrera,

$$A_p = \frac{70.223}{2 \times 11.516} = 3.0489 \text{ pulgadas cuadradas}$$

y por último para 24 pulgadas de carrera,

$$A_p = \frac{52.689}{2 \times 11.516} = 2.2876 \text{ pulgadas cuadradas}$$

sustituyendo estos valores en las funciones respectivas tendremos que:

$$Q_{48"} = 240.8706 \text{ barriles/día.}$$

$$Q_{40"} = 167.271 \text{ barriles/día.}$$

$$Q_{32"} = 107.054 \text{ barriles/día.}$$

$$Q_{24"} = 60.267 \text{ barriles/día.}$$

Estos valores deducidos mediante el cálculo diferencial, en un gráfico tal como el de, producción-área del pistón, incrementa la importancia del diagrama referido, como se puede apreciar en la figura 2-1.

Pero sólo se ha tratado, de la forma como calcular los máximos en la ecuación, de la producción, de segundo grado con respecto a la variable área del pistón y sin embargo, el caso real, es que, la función es de tercer grado con respecto al área del pistón, este aspecto es el tema próximo y de los capítulos siguientes.

2-3.- DERIVADAS PARCIALES PARA LA ECUACION  
GENERAL DE LOS MAXIMOS Y MINIMOS

En la sección anterior se ha establecido la necesidad de poder calcular los máximos y los mínimos en la ecuación del régimen de producción, su utilidad es tal, que no solo por ahora ayudará en los cálculos sino que también será útil para los programas que se tengan que hacer para la computadora, para ello, fijemos un sistema de coordenadas rectangulares en el espacio, ya que existe una variable, que es la carrera del vástago pulido la cual en los gráficos es la tercera variable en cuanto a su importancia, por lo que, las curvas en el espacio son como están en la figura 3-1.

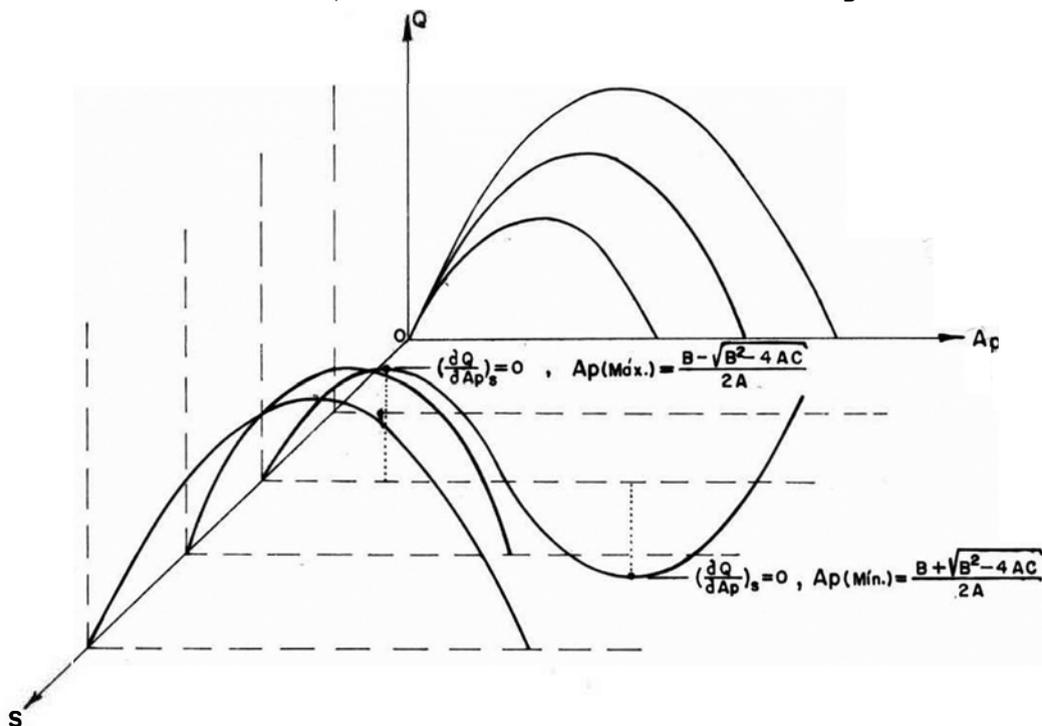


Figura 3-1. PRODUCCION-AREA DEL PISTON-CARRERA DEL VASTAGO PULIDO.

Las curvas que están graficadas en el diagrama 2-1, son la proyección de la superficie cuando se cortan con los planos perpendiculares al eje de la carrera del pistón. La ecuación de esta superficie en un sistema de coordenadas rectangulares en el espacio es,

$$Q = 0.1484 N E_V A_P \left\{ S + \frac{40.8 L^2 \alpha}{E} - \frac{5.2 G D A_D}{E} \left( \frac{L}{A_t} + \frac{L_1}{A_1} + \frac{L_2}{A_2} \dots \right) \right\}$$

pero

$$\alpha = \frac{S N^2}{70,500}$$

y considerando que las longitudes de las secciones parciales corresponde a un sistema combinado de dos secciones, tendremos que:

$$L_1 = L R_1$$

$$L_2 = L R_2$$

por ejemplo para un sistema de varillas de 5/8-3/4,

$$L_1 = L ( 0.786 - 0.0566 A_P )$$

$$L_2 = L ( 0.214 + 0.0566 A_P )$$

sustituyendo en la ecuación del régimen de producción:

$$Q = 0.1484 A_P N E_V \left\{ S + \frac{40.8 L^2 S N^2}{E 75000} - \frac{5.2 G D A_D L}{E} \left( \frac{1}{A_t} + \frac{0.786 - 0.0566 A_P}{A_1} + \frac{0.214 + 0.0566 A_P}{A_2} \right) \right\}$$

tomando factor común y ordenando en orden decreciente con respecto al área del pistón,

$$Q = 0.1484 \cancel{A_p} N E_V \left\{ \left( \frac{5.2 G D L}{E \psi} \right) \left( \frac{1}{A_1} - \frac{1}{A_2} \right) 0.0566 A_p^3 \right. \\ \left. - \left( \frac{5.2 G D L}{E} \right) \left( \frac{1}{A_t} + \frac{0.786}{A_1} + \frac{0.214}{A_2} \right) A_p^2 \right. \\ \left. + \left( s + \frac{40.8 L^2 S N^2}{E 70,500} \right) A_p \right\}$$

Esta es la forma de la ecuación de la producción en la que,

$$Q = f ( A_p^3 )$$

derivando parcialmente la ecuación y considerando la carrera del vástago pulido constante:

$$\left( \frac{\partial Q}{\partial A_p} \right)_S = \text{pendiente de una curva de producción a una carrera constante.}$$

y también:  $\left( \frac{\partial Q}{\partial A_p} \right)_S = 0$

porque se trata de una pendiente cero en un máximo ó un mínimo, por lo tanto, derivando la ecuación; pero antes simplificando las expresiones por a, b, c, respectivamente en la ecuación del régimen de producción ordenada en orden decreciente con respecto al área del pistón tendremos que:

$$\left( \frac{\partial Q}{\partial A_p} \right)_S = 0.1484 N E_V \left\{ a (3) ( A_p^{3-1} ) \left( \frac{\partial A_p}{\partial A_p} \right)_S - b (2) ( A_p^{2-1} ) \left( \frac{\partial A_p}{\partial A_p} \right)_S \right. \\ \left. c \left( \frac{\partial A_p}{\partial A_p} \right)_S \right\}$$

pero  $\left( \frac{\partial Q}{\partial A_p} \right)_S = 0$

es decir  $0 = a 3 A_p^2 - b 2 A_p + c$

simplificando, las constantes por otras constantes respectivas,

$$0 = (A) A_p^2 - (B) A_p + C$$

resolviendo la ecuación de segundo grado

$$A_p = \frac{B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

Esta es la ecuación con la que se puede calcular los máximos y mínimos para el caso de la sarta combinada de 5/8-3/4, para otras combinaciones, solo varían algunas constantes.

Esta forma compleja del régimen de producción ha sido simplificada en términos de A, B, y C. Donde el máximo será:

$$A_p = \frac{B - \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

y el mínimo es:

$$A_p = \frac{B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

Estos procedimientos son generales para los cálculos y hasta cierto punto el análisis matemático nos ha conducido a fórmulas más grandes, pero en realidad con aquel artificio se salva el obstáculo, estas fórmulas son útiles para la computadora ya que con la misma, no existen estas dificultades en cuanto a la magnitud, de dichas fórmulas.

#### 2-4.- NECESIDAD DE LOS CALCULOS CON LA COMPUTADORA

De acuerdo a los trabajos señalados tanto en la sección 2-1, en lo que se refiere a la construcción del gráfico, producción-área del pistón, con la restricción que se enunció, así como las ecuaciones de la sección 2-3, muestran la complejidad de los cálculos que hay que realizar. En consecuencia, las ecuaciones deducidas y el gráfico encontrado prácticamente no tendrían objeto ya que complican sobremanera los cálculos. Pero tampoco esta restricción debe limitarnos ya que las computadoras electrónicas efectúan los cálculos a altas velocidades y de hecho lo que es una restricción para los cálculos conocidos, se tornan más bien útiles a la computadora, ya que el uso de esta, no sería justificable para cálculos pequeños.

Uno de los últimos y mejores libros que tratan del tema de las unidades de bombeo mecánico, como es el del Dr. Nind muestra que el área del pistón da una producción máxima pero los cálculos son por comparación, en consecuencia, este hecho justifica y apoya la necesidad de los cálculos y demostraciones de todo este capítulo, y para seguir con nuestro estudio precisamos de mayores velocidades en los cálculos, debemos de pasar a lo que es la computación digital aplicada al diseño de las unidades de bombeo.

También hemos dejado de lado otras variables como por ejemplo el torque máximo, que no ha sido considerado, porque es imposible continuar los cálculos con nuestros métodos conocidos.

CAPITULO III

PROGRAMA FORTRAN

### 3-1.- PROGRAMA FORTRAN

El detalle del programa, se muestra en el diagrama de flujo siguiente y con el listado correspondiente.

Solo tengo que hacer resaltar, que existen tres circuitos de cálculo, para cada carrera del vástago pulido, el primero desde la primera dimensión del pistón hasta llegar al punto máximo teórico de la producción, el siguiente desde el máximo teórico hasta el mínimo teórico y el último si todavía siguen los cálculos en la misma carrera del vástago pulido, sigue tomando otros pistones hasta llegar al límite de alguna de las variables.

Se puede notar que este programa para una aplicación de campo puede ser simplificado, ya que no es necesario, calcular los máximos y mínimos teóricos, sino los máximos puntos de producción real (dentro de los límites para una determinada unidad), por lo tanto, solo es necesario un circuito de cálculo, disminuyendo el tiempo de la lectura de targetas, compilado del programa y el tiempo de ejecución.

También como este programa a sido hecho con la idea del capítulo II, en el diagrama de flujo no se han incluido las variables X e Y, que corresponden a la producción y potencia del motor respectivamente, pero si en el listado del programa.

En su mayoría, las fórmulas conservan su forma original de los capítulos I y II, si hay alguna pequeña variación, es por condi-

ciones del lenguaje Fortran, pero siempre es fácil darse cuenta a que fórmulas corresponden.

Para concluir, se pueden comparar los resultados de la tabla para las varillas de  $3/4-7/8$ , con el diagrama 2-1 y notar que existe solo una pequeña desviación.

##JOB 5

##FORX53

```

DIMENSION APA(12)
READ 10,(APA(I),I=1,12)
10 FORMAT(8F10.3)
PUNCH 80
80 FORMAT(55H COMPUTACION DE LA PRODUCCION DE LAS UNIDADES DE BOMBEO)
PUNCH 81
81 FORMAT(46H                                MECANICO PARA LOS POZOS DE PETROLEO)
90 READ 90,AT,A1,A2,E,EV,G,PM1,PM2
90 FORMAT(3F8.3,F15.0,F8.2,F9.3,2F7.2)
P=3500.0
10 SPS=1.5
20 SPM=237000./(SPS*P)
IF(SPM-25.)40,40,30
30 SPS=SPS+1.
GO TO 20
40 D=P
45 S=24.
PUNCH 11
11 FORMAT(50H CONSTANTE SINCRONICA PROFUNDIDAD VELOCIDAD NIVEL PETROL
1EO)
PUNCH 12
12 FORMAT(53H                                NUMERO                PIES                SPM                PIES)
PUNCH 34 SPS,P,SPM,D
84 FORMAT(F12.2,F18.2,F11.2,F14.1)
1400 IF(A1-0.442)600,601,602
600 A=3.*5.2*G*D*P*0.0896/E*(1./A1-1./A2)
B=2.*5.2*G*D*P/E*(1./AT+0.259/A1+0.241/A2)
GO TO 605
602 A=3.*5.2*G*D*P*0.0375/E*(1./A1-1./A2)
B=2.*5.2*G*D*P/E*(1./AT+0.814/A1+0.186/A2)
GO TO 605
601 A=3.*5.2*G*D*P*0.0566/E*(1./A1-1./A2)
B=2.*5.2*G*D*P/E*(1./AT+0.786/A1+0.214/A2)
605 C=S+40.8*P**2*SPM**2*S/(70500.*E)
PUNCH 85
85 FORMAT(79H PRODUCCION S AREA P L1 L2 RESIST. HP TOR
1QUE CONTRAPESO HP Q-A)
60 I=1
50 AP=APA(I)
I=I+1
400 IF(A1-0.442)401,402,403
401 R1=0.759-0.0896*AP
R2=0.241+0.0896*AP
GO TO 405
403 R1=0.814-0.0375*AP
R2=0.186+0.0375*AP
GO TO 405
402 R1=0.786-0.0566*AP

```

CAPITULO IV

TABLA DE SELECCION

4-1.- FORMA DE UTILIZAR LA TABLA PARA EL DISEÑO DE LAS UNIDADES  
DE BOMBEO MECANICO

La entrada es con la profundidad, la tabla ha sido construida desde 3500 pies, de 100 en 100 pies, hasta 6000 pies, que corresponde aproximadamente a los posibles pozos del PAIS, que utilicen la unidad de bombeo de dimensión 80 API; para las otras dimensiones API se pueden correr otros programas semejantes.

Cada ( $X_L$ ) profundidad, es calculada con las velocidades no sincrónicas, en golpes por minuto, así como, la constante correspondiente.

El nivel de petróleo es igual al nivel de trabajo de la bomba.

El factor de mayor importancia, la producción, es la primera columna, en barriles por día.

La segunda columna, corresponde a la carrera del vástago pulido, en pies.

La tercera columna, es el área del pistón, en pulgadas cuadradas.

La cuarta columna, es la longitud de las varillas de la sección inferior (la más delgada), en pies.

La quinta columna, longitud de las varillas, siguiente a la anterior, en pies.

La sexta columna, es la máxima resistencia de las varillas,  $X_L$ , para una profundidad intermedia, varía poco la constante.

en libras por pulgada cuadrada.

La séptima columna, los caballos fuerza del motor, en hp.

La octava columna, el torque máximo, la última producción de cada carrera, siempre excede al torque máximo, en pulgadas-libra.

La novena columna, corresponde al contrabalance (no debe ser interpretada como los contrapesos del cigüeñal, ha sido tomada dicha palabra por la magnitud de la otra)

Las dos columnas restantes, corresponden al caso del tubing anclado.

Los dos ejemplos siguientes muestran las aplicaciones de la tabla.

#### PRIMER EJEMPLO

La profundidad de un pozo es de 4,000 pies, el petróleo tiene una gravedad específica de 0.825, las condiciones son consideradas corrosivas ¿cuál es la máxima producción de la unidad 80 API?

#### PRIMER DISEÑO CONVENCIONAL

velocidad	23.7 SPM.
pistón (recomendado)	1 1/2 pulg. de diámetro ó 1.767 pulg. cuadradas de área.
carrera (la mayor)	48 pulgadas.
torque	87,064 pulg.-libra (mayor de 80,000).

#### SEGUNDO DISEÑO CONVENCIONAL

VELOCIDAD	16.92 SPM.
-----------	------------

tubing	2 pulgadas.
varillas	5/8-3/4 .
PISTON	1 1/2 de diámetro.
CARRERA	48 pulgadas.
PRODUCCION	136.551 bbls/día.
L <sub>1</sub> (5/8)	2,402.7 pies.
L <sub>2</sub> (3/4)	1,597.2 pies
resistencia	19,007 psi (menor de 30,000)
hp	
torque	62,831 pulg.-libra (menor de 80,000)
contrabalance	6,087.6 libras

CON EL TUBING ANCLADO

PRODUCCION	144 bbls/día.
hp	9.4

DISEÑO CON LA TABLA DE SELECCION

varillas	5/8-3/4 (igual)
tubing	2 pulgadas.
PRODUCCION	195.157 bbls/día, es diferente.
CARRERA	40 pulgadas(diferente).
AREA DEL PISTON	2.488 pulgadas cuadradas ó 1 25/32 pulgadas de diámetro(diferente).
L <sub>1</sub> (5/8)	2,144.3 pies.
L <sub>2</sub> (3/4)	1,855.6 pies.
resistencia	23,178 psi (menor de 30,000).
hp	12

VELOCIDAD	23.7 SPM.
torque	77,382 pulg.-libra(menor de 80,000)
contrabalance	6,711.5 libras.

CON EL TUBING ANCLADO

PRODUCCION	217 bbls/día.
hp	12.8

d,se calcula en el siguiente ejemplo.

$$\text{INCREMENTO DE PRODUCCION} = \frac{195.157-136.551}{136.551}$$

$$\text{INCREMENTO DE PRODUCCION} = 46 \%$$

Este incremento,es con respecto al diseño convencional, dentro de las mejores condiciones de operación.

SEGUNDO EJEMPLO

¿Cuál es el diseño? del pozo CS-3-Ba del Brasil,tiene de profundidad 1200 metros,la producción estimada,es de 178 barriles por día se dispone de varillas de 3/4-7/8 y la unidad 80 API ¿ es posible utilizar dicha unidad?

PRIMER DISEÑO CONVENCIONAL

pistón	1 1/2 pulg. de diámetro.
velocidad	23.7 SPM.
torque	mucho mayor de 80,000 pulg.-libra.

SEGUNDO DISEÑO CONVENCIONAL

pistón	1 1/2 pulgadas de diámetro.
VELOCIDAD	16.92 SPM.
CARRERA	48 pulgadas.
torque	73,159 pulg.-libra(menor de 80,000).
resistencia	17,234 psi(menor de 22,000).
L <sub>1</sub> (3/4)	2,599.5 pies.
L <sub>2</sub> (7/8)	1,900.4 pies.
PRODUCCION	147.829 bbls/día.
hp	10.9

CON EL TUBING ANCLADO

PRODUCCION	155 bbls/día.
hp	11.2

Por lo que, dicha unidad es incompatible para las condiciones dadas, se toma la siguiente unidad de dimensión 114API ó se produce 30 barriles por día menos de lo que puede dar el reservorio.

DISEÑO CON LA TABLA DE SELECCION

VELOCIDAD	23.7 SPM.
PRODUCCION	180.556 bbls/día.
CARRERA	40 pulgadas.
pistón	1.767 pulgadas cuadradas, 1 1/2 pulgadas de diámetro.
L <sub>1</sub> (3/4)	2,966.2 pies.
L <sub>2</sub> (7/8)	1,033.7 pies.

resistencia máxima	18,711 psi (menor de 22,000).
hp	13.
torque máximo	78,725.0 pulgadas-libra (menor de 80,000).
contrabalance	7,994.3 libras.

CALCULO de, d

$$d = \frac{S(C-C_R)}{2 W_c}$$

$$d = \frac{40(7,994.3-554)}{2 \times 5920}$$

$$d = 25.13 \text{ pulgadas}$$

Este diseño satisface las exigencias dadas y supera al diseño convencional en,

$$\text{INCREMENTO DE PRODUCCION} = \frac{180.556-147.829}{147.829}$$

$$\text{IP} = 22.1 \%$$

NOTA FINAL.- La primera tabla es siempre la más económica, no obstante, para otros casos se puede utilizar la segunda tabla.

# TABLA DE SELECCION

- VELOCIDAD NO SINCRONICA
- PROFUNDIDAD
- PRODUCCION
- CARRERA DEL VASTAGO PULIDO
- AREA DEL PISTON
- SARTA DE VARILLAS
- RESISTENCIA MAXIMA DE LAS VARILLAS
- CABALLOS FUERZA DEL MOTOR
- TORQUE MAXIMO
- CONTRABALANCE
- DIMENSION DE LA UNIDAD

# UNIDAD 80 API

## VARILLAS

$$\frac{5}{8} - \frac{3}{4}$$

TUBING	EFICIENCIA VOLUMETRICA	GRAVEDAD ESPECIFICA
2 pulg.	0.80	0.825

COMPUTACION DE LA PRODUCCION DE LAS UNIDADES DE BOMBEO  
MECANICO PARA LOS POZOS DE PETROLEO

CONSTANTE SINCRONICA PROFUNDIDAD VELOCIDAD NIVEL PETROLEO

PRODUCCION	S	AREA	P	PIES		L2	RESIST.	HP	TORQUE	CONTRAPESO	HP	Q-A
				3500.00	19.34							
NUMERO	3.50											
38.424	24.	.785	2410.3	1089.6	12796.	3.2	15627.	4583.2	3.2	39.		
42.136	24.	.886	2378.6	1121.3	13116.	3.3	16449.	4659.7	3.4	43.		
52.661	24.	1.227	2271.7	1228.2	14197.	3.7	19239.	4917.8	3.8	56.		
63.158	24.	1.767	2102.3	1397.6	15909.	4.0	23656.	5326.7	4.2	70.		
66.394	24.	2.284	1940.1	1559.8	17548.	4.2	27889.	5718.4	4.5	77.		
66.222	24.	2.405	1902.2	1597.7	17931.	4.2	28876.	5809.7	4.6	79.		
65.904	24.	2.488	1876.2	1623.7	18194.	4.2	29555.	5872.5	4.6	79.		
57.865	24.	3.142	1671.1	1828.8	20267.	4.0	34906.	6367.6	4.7	79.		
34.067	24.	3.976	1409.6	2090.3	22910.	3.3	41729.	6099.0	4.4	69.		
PRODUCCION	S	AREA	P	L1	L2	RESIST.	HP	TORQUE	CONTRAPESO	HP	Q-A	
54.124	32.	.785	2410.3	1089.6	13235.	4.4	23938.	4583.2	4.4	55.		
59.856	32.	.886	2378.6	1121.3	13557.	4.5	25049.	4659.7	4.6	61.		
77.201	32.	1.227	2271.7	1228.2	14643.	5.1	28803.	4917.8	5.2	80.		
98.499	32.	1.767	2102.3	1397.6	16362.	5.9	34748.	5326.7	6.1	105.		
114.322	32.	2.405	1902.2	1597.7	18393.	6.4	41771.	5809.7	6.8	127.		
115.664	32.	2.488	1876.2	1623.7	18657.	6.5	42685.	5872.5	6.9	129.		
120.706	32.	3.142	1671.1	1828.8	20740.	6.7	49884.	6367.6	7.4	142.		
120.709	32.	3.159	1665.8	1834.1	20794.	6.7	50072.	6380.5	7.4	142.		
113.588	32.	3.976	1409.6	2090.3	23395.	6.5	59065.	6999.0	7.6	148.		
89.060	32.	4.909	1117.0	2382.9	26365.	5.8	69336.	7795.4	7.5	142.		
43.641	32.	5.940	793.7	2706.2	29648.	4.5	80685.	8485.0	7.0	121.		
PRODUCCION	S	AREA	P	L1	L2	RESIST.	HP	TORQUE	CONTRAPESO	HP	Q-A	
69.824	40.	.785	2410.3	1089.6	13675.	5.5	33806.	4583.2	5.6	71.		
77.576	40.	.886	2378.6	1121.3	13998.	5.8	35208.	4659.7	5.8	79.		
101.742	40.	1.227	2271.7	1228.2	15088.	6.6	39943.	4917.8	6.7	105.		
133.839	40.	1.767	2102.3	1397.6	16815.	7.7	47442.	5326.7	7.9	140.		
162.423	40.	2.405	1902.2	1597.7	18855.	8.7	56301.	5809.7	9.1	175.		
165.425	40.	2.488	1876.2	1623.7	19121.	8.8	57453.	5872.5	9.2	179.		
183.547	40.	3.142	1671.1	1828.8	21212.	9.4	66534.	6367.6	10.1	205.		
193.109	40.	3.976	1409.6	2090.3	23879.	9.8	78115.	6999.0	10.9	228.		
193.306	40.	4.116	1365.6	2134.3	24328.	9.8	80062.	7105.2	11.0	230.		
PRODUCCION	S	AREA	P	L1	L2	RESIST.	HP	TORQUE	CONTRAPESO	HP	Q-A	
85.524	48.	.785	2410.3	1089.6	14114.	6.7	45228.	4583.2	6.7	86.		

95.296	48.	.886	2378.6	1121.3	14438.	7.0	46926.	4659.7	7.1	97.
126.282	48.	1.227	2271.7	1228.2	15534.	8.1	52659.	4917.8	8.2	129.
169.179	48.	1.767	2102.3	1397.6	17268.	9.5	61738.	5326.7	9.7	176.
210.524	48.	2.405	1902.2	1597.7	19318.	10.9	72465.	5809.7	11.3	223.
215.186	48.	2.488	1876.2	1623.7	19584.	11.0	73861.	5872.5	11.5	228.
246.388	48.	3.142	1671.1	1828.8	21685.	12.1	84856.	6367.6	12.8	268.

CONSTANTE SINCRONICA PROFUNDIDAD VELOCIDAD NIVEL PETROLEO

NUMERO PIES SPM PIES  
 4.50 3500.00 15.04 3500.00

PRODUCCION	S	AREA	P	L1	L2	RESIST.	HP	TORQUE	CONTRAPESO	HP	Q-A
28.709	24.	.785	2410.3	1089.6	12275.	2.4	12861.	4583.2	2.5	29.	
31.445	24.	.886	2378.6	1121.3	12594.	2.5	13678.	4659.7	2.6	32.	
39.120	24.	1.227	2271.7	1228.2	13669.	2.8	16437.	4917.8	2.9	41.	
46.475	24.	1.767	2102.3	1397.6	15371.	3.0	20807.	5326.7	3.2	51.	
48.278	24.	2.203	1965.3	1534.6	16748.	3.1	24342.	5657.3	3.4	56.	
47.902	24.	2.405	1902.2	1597.7	17383.	3.1	25970.	5809.7	3.4	57.	
47.531	24.	2.488	1876.2	1623.7	17645.	3.1	26642.	5872.5	3.5	58.	
40.299	24.	3.142	1671.1	1828.8	19707.	2.9	31934.	6367.6	3.5	57.	
20.540	24.	3.976	1409.6	2090.3	22336.	2.3	38683.	6999.0	3.2	47.	

PRODUCCION	S	AREA	P	L1	L2	RESIST.	HP	TORQUE	CONTRAPESO	HP	Q-A
40.528	32.	.785	2410.3	1089.6	12541.	3.3	19027.	4583.2	3.4	41.	
44.785	32.	.886	2378.6	1121.3	12860.	3.5	20123.	4659.7	3.5	46.	
57.594	32.	1.227	2271.7	1228.2	13938.	3.9	23823.	4917.8	4.0	60.	
73.080	32.	1.767	2102.3	1397.6	15646.	4.4	29682.	5326.7	4.6	78.	
84.113	32.	2.405	1902.2	1597.7	17663.	4.8	36604.	5809.7	5.1	94.	
84.991	32.	2.488	1876.2	1623.7	17925.	4.9	37505.	5872.5	5.2	95.	
87.691	32.	3.042	1702.3	1797.6	19678.	5.0	43522.	6292.4	5.5	103.	
87.606	32.	3.142	1671.1	1828.8	19992.	5.0	44601.	6367.6	5.5	104.	
80.404	32.	3.976	1409.6	2090.3	22629.	4.8	53650.	6999.0	5.7	107.	
59.462	32.	4.909	1117.0	2382.9	25579.	4.2	63773.	7705.4	5.5	101.	
22.077	32.	5.940	793.7	2706.2	28838.	3.1	74959.	8485.9	5.0	83.	

PRODUCCION	S	AREA	P	L1	L2	RESIST.	HP	TORQUE	CONTRAPESO	HP	Q-A
52.347	40.	.785	2410.3	1089.6	12807.	4.2	26134.	4583.2	4.3	53.	
58.125	40.	.886	2378.6	1121.3	13127.	4.4	27511.	4659.7	4.5	59.	
76.068	40.	1.227	2271.7	1228.2	14208.	5.0	32162.	4917.8	5.1	78.	
99.685	40.	1.767	2102.3	1397.6	15920.	5.8	39527.	5326.7	6.0	105.	
120.323	40.	2.405	1902.2	1597.7	17942.	6.5	48228.	5809.7	6.8	130.	
122.451	40.	2.488	1876.2	1623.7	18205.	6.6	49360.	5872.5	6.9	133.	
134.913	40.	3.142	1671.1	1828.8	20278.	7.1	58279.	6367.6	7.6	151.	

140.271	40.	3.955	1415.9	2084.0	22859.	7.3	69381.	6983.9	8.2	167.
140.268	40.	3.976	1409.6	2090.3	22922.	7.3	69654.	6999.0	8.2	167.
133.374	40.	4.909	1117.0	2382.9	25880.	7.2	82378.	7705.4	8.5	174.
PRODUCCION	S	AREA P	L1	L2	RESIST.	HP	TORQUE	CONTRAPESO	HP	Q-A
64.166	48.	.785	2410.3	1089.6	13073.	5.1	34180.	4583.2	5.2	65.
71.464	48.	.886	2378.6	1121.3	13394.	5.4	35842.	4659.7	5.4	72.
94.542	48.	1.227	2271.7	1228.2	14478.	6.1	41454.	4917.8	6.2	97.
126.289	48.	1.767	2102.3	1397.6	16194.	7.2	50341.	5326.7	7.4	131.
156.534	48.	2.405	1902.2	1597.7	18222.	8.2	60840.	5809.7	8.5	166.
159.911	48.	2.488	1876.2	1623.7	18486.	8.3	62206.	5872.5	8.7	170.
182.220	48.	3.142	1671.1	1828.8	20564.	9.1	72969.	6367.6	9.7	199.
200.132	48.	3.976	1409.6	2090.3	23215.	9.8	86694.	6999.0	10.6	227.

CONSTANTE SINCRONICA PROFUNDIDAD VFLOCIDAD NIVEL PETROLED

NUMERO		PIES		SPM		PIFS				
5.50		3500.00		12.31		3500.00				
PRODUCCION	S	ARFA P	L1	L2	RESIST.	HP	TORQUE	CONTRAPESO	HP	Q-A
23.002	24.	.785	2410.3	1089.6	12012.	2.0	11463.	4583.2	2.0	22.
25.178	24.	.886	2378.6	1121.3	12329.	2.0	12275.	4659.7	2.1	26.
31.246	24.	1.227	2271.7	1228.2	13401.	2.2	15019.	4917.8	2.3	33.
36.929	24.	1.767	2102.3	1397.6	15099.	2.4	19365.	5326.7	2.6	41.
38.145	24.	2.163	1978.1	1521.8	16345.	2.5	22553.	5626.6	2.7	44.
37.701	24.	2.405	1902.2	1597.7	17105.	2.5	24499.	5809.7	2.8	45.
37.345	24.	2.488	1876.2	1623.7	17366.	2.5	25167.	5872.5	2.8	46.
31.022	24.	3.142	1671.1	1828.8	19423.	2.3	30429.	6367.6	2.8	44.
14.338	24.	3.976	1409.6	2090.3	22045.	1.8	37141.	6999.0	2.5	36.
PRODUCCION	S	AREA P	L1	L2	RESIST.	HP	TORQUE	CONTRAPESO	HP	Q-A
32.510	32.	.785	2410.3	1089.6	12190.	2.7	16542.	4583.2	2.7	33.
35.909	32.	.886	2378.6	1121.3	12508.	2.8	17630.	4659.7	2.8	37.
46.107	32.	1.227	2271.7	1228.2	13582.	3.1	21302.	4917.8	3.2	48.
58.331	32.	1.767	2102.3	1397.6	15283.	3.6	27118.	5326.7	3.7	62.
66.830	32.	2.405	1902.2	1597.7	17293.	3.9	33989.	5809.7	4.1	75.
67.480	32.	2.488	1876.2	1623.7	17554.	3.9	34882.	5872.5	4.2	76.
69.254	32.	2.984	1720.6	1779.3	19117.	4.0	40226.	6248.1	4.4	81.
69.078	32.	3.142	1671.1	1828.8	19614.	4.0	41927.	6367.6	4.4	83.
62.495	32.	3.976	1409.6	2090.3	22242.	3.8	50909.	6999.0	4.5	84.
44.590	32.	4.909	1117.0	2382.9	25181.	3.3	60957.	7705.4	4.4	78.
13.149	32.	5.940	793.7	2706.2	28428.	2.4	72061.	8485.9	3.9	63.
PRODUCCION	S	AREA P	L1	L2	RESIST.	HP	TORQUE	CONTRAPESO	HP	Q-A
42.018	40.	.785	2410.3	1089.6	12367.	3.4	22250.	4583.2	3.4	42.

46.640	40.	.886	2378.6	1121.3	12686.	3.6	23615.	4659.7	3.6	47.
60.969	40.	1.227	2271.7	1228.2	13762.	4.1	28223.	4917.8	4.1	63.
79.733	40.	1.767	2102.3	1397.6	15467.	4.7	35520.	5326.7	4.8	84.
95.959	40.	2.405	1902.2	1597.7	17480.	5.3	44142.	5809.7	5.5	104.
97.614	40.	2.488	1876.2	1623.7	17742.	5.3	45263.	5872.5	5.6	106.
107.134	40.	3.142	1671.1	1828.8	19806.	5.7	54101.	6367.6	6.1	121.
110.717	40.	3.875	1441.0	2058.9	22122.	5.8	64018.	6923.3	6.5	131.
110.653	40.	3.976	1409.6	2090.3	22438.	5.8	65371.	6999.0	6.5	132.
104.047	40.	4.909	1117.0	2382.9	25382.	5.7	77978.	7705.4	6.8	138.
85.094	40.	5.940	793.7	2706.2	28636.	5.1	9191.	8485.9	6.7	134.
PRODUCCION	S	AREA P	L1	L2	RESIST.	HP	TORQUE	CONTRAPESO	HP	Q-A
51.526	48.	.785	2410.3	1089.6	12545.	4.1	28588.	4583.2	4.2	52.
57.371	48.	.886	2378.6	1121.3	12865.	4.3	30232.	4659.7	4.4	58.
75.830	48.	1.227	2271.7	1228.2	13943.	5.0	35782.	4917.8	5.0	77.
101.135	48.	1.767	2102.3	1397.6	15650.	5.8	44572.	5326.7	6.0	105.
125.089	48.	2.405	1902.2	1597.7	17667.	6.6	54956.	5809.7	6.9	133.
127.749	48.	2.488	1876.2	1623.7	17930.	6.7	56307.	5872.5	7.0	136.
145.190	48.	3.142	1671.1	1828.8	19997.	7.3	66952.	6367.6	7.8	159.
158.810	48.	3.976	1409.6	2090.3	22634.	7.8	80526.	6999.0	8.5	181.

CONSTANTE SINCRONICA PROFUNDIDAD VELOCIDAD NIVEL PETROLFO

NUMERO	PIES		SPM		PIES		TORQUE		Q-A	
	S	AREA P	L1	L2	RESIST.	HP	TORQUE	CONTRAPESO	HP	Q-A
3.50			3600.00		18.80		3600.0			
PRODUCCION	S	AREA P	L1	L2	RESIST.	HP	TORQUE	CONTRAPESO	HP	Q-A
36.867	24.	.785	2479.1	1120.8	13087.	3.2	15675.	4714.2	3.2	38.
40.344	24.	.886	2446.6	1153.3	13416.	3.3	16524.	4792.8	3.3	42.
50.017	24.	1.227	2336.6	1263.3	14527.	3.6	19380.	5058.4	3.7	53.
58.988	24.	1.767	2162.4	1437.5	16286.	4.0	23925.	5478.9	4.2	66.
60.800	24.	2.147	2039.8	1560.1	17525.	4.0	27120.	5774.9	4.4	71.
59.983	24.	2.405	1956.6	1643.3	18365.	4.0	29287.	5975.7	4.5	73.
59.375	24.	2.488	1929.8	1670.1	18635.	4.0	29984.	6040.3	4.5	73.
48.896	24.	3.142	1718.9	1881.0	20766.	3.7	35479.	6549.6	4.5	71.
21.598	24.	3.976	1449.9	2150.0	23483.	2.9	42486.	7199.0	4.1	57.
PRODUCCION	S	AREA P	L1	L2	RESIST.	HP	TORQUE	CONTRAPESO	HP	Q-A
52.131	32.	.785	2479.1	1120.8	13514.	4.3	23921.	4714.2	4.4	53.
57.572	32.	.886	2446.6	1153.3	13845.	4.5	25062.	4792.8	4.6	59.
73.876	32.	1.227	2336.6	1263.3	14960.	5.1	28916.	5058.4	5.2	77.
93.347	32.	1.767	2162.4	1437.5	16727.	5.8	35018.	5478.9	6.0	100.
106.747	32.	2.405	1956.6	1643.3	18814.	6.3	42228.	5975.7	6.7	119.

107.753	32.	2.488	1929.8	1670.1	19086.	6.3	43165.	6040.3	6.8	121.
110.365	32.	2.961	1777.2	1822.7	20634.	6.4	48511.	6408.7	7.1	130.
109.991	32.	3.142	1718.9	1881.0	21226.	6.4	50556.	6549.6	7.2	132.
98.910	32.	3.976	1449.9	2150.0	23954.	6.1	5998.	7199.0	7.3	135.
69.475	32.	4.909	1148.9	2451.0	27006.	5.3	70522.	7925.5	7.1	124.
18.111	32.	5.940	816.3	2783.6	30379.	3.7	82174.	8728.4	6.3	98.
PRODUCCION	S	AREA P	L1	L2	RESIST.	HP	TORQUE	CONTRAPESO	HP	Q-A
67.395	40.	.785	2479.1	1120.8	13942.	5.5	33678.	4714.2	5.6	68.
74.800	40.	.886	2446.6	1153.3	14273.	5.8	35117.	4792.8	5.8	76.
97.734	40.	1.227	2336.6	1263.3	15394.	6.6	39975.	5058.4	6.7	101.
127.706	40.	1.767	2162.4	1437.5	17168.	7.6	47668.	5478.9	7.8	134.
153.511	40.	2.405	1956.6	1643.3	19264.	8.5	56758.	5975.7	8.9	166.
156.132	40.	2.488	1929.8	1670.1	19537.	8.6	57940.	6040.3	9.1	170.
171.086	40.	3.142	1718.9	1881.0	21685.	9.2	67258.	6549.6	9.9	193.
176.403	40.	3.844	1492.3	2107.6	23993.	9.4	72266.	7096.6	10.5	210.
176.222	40.	3.976	1449.9	2150.0	24425.	9.4	79140.	7199.0	10.6	212.
164.929	40.	4.909	1148.9	2451.0	27490.	9.2	92433.	7925.5	11.0	219.
PRODUCCION	S	AREA P	L1	L2	RESIST.	HP	TORQUE	CONTRAPESO	HP	Q-A
82.660	48.	.785	2479.1	1120.8	14369.	6.7	44944.	4714.2	6.7	84.
92.028	48.	.886	2446.6	1153.3	14702.	7.0	46686.	4792.8	7.1	93.
121.593	48.	1.227	2336.6	1263.3	15827.	8.0	52566.	5058.4	8.1	125.
162.065	48.	1.767	2162.4	1437.5	17609.	9.4	61877.	5478.9	9.6	169.
200.276	48.	2.405	1956.6	1643.3	19713.	10.7	72877.	5975.7	11.2	213.
204.510	48.	2.488	1929.8	1670.1	19987.	10.9	74309.	6040.3	11.4	218.
232.181	48.	3.142	1718.9	1881.0	22145.	11.9	85585.	6549.6	12.6	254.

CONSTANTE SINCRONICA PROFUNDIDAD VELOCIDAD NIVEL PETROLEO

PIES SPM

PIES

PRODUCCION	S	AREA P	L1	L2	RESIST.	HP	TORQUE	CONTRAPESO	HP	Q-A
27.531	24.	.785	2479.1	1120.8	12581.	2.4	12990.	4714.2	2.5	28.
30.088	24.	.886	2446.6	1153.3	12908.	2.5	13830.	4792.8	2.6	31.
37.115	24.	1.227	2336.6	1263.3	14014.	2.8	16665.	5058.4	2.8	39.
43.306	24.	1.767	2162.4	1437.5	15764.	3.0	21156.	5478.9	3.2	48.
44.216	24.	2.071	2064.0	1535.9	16752.	3.0	23691.	5716.3	3.3	51.
43.150	24.	2.405	1956.6	1643.3	17832.	3.0	26461.	5975.7	3.3	53.
42.556	24.	2.488	1929.8	1670.1	18101.	3.0	27151.	6040.3	3.4	53.
33.453	24.	3.142	1718.9	1881.0	20221.	2.7	32590.	6549.6	3.3	50.
11.007	24.	3.976	1449.9	2150.0	22925.	2.0	39525.	7199.0	3.0	39.
PRODUCCION	S	AREA P	L1	L2	RESIST.	HP	TORQUE	CONTRAPESO	HP	Q-A
39.022	32.	.785	2479.1	1120.8	12839.	3.3	19147.	4714.2	3.3	40.



29.626	24.	1.227	2336.6	1263.3	13754.	2.2	15287.	5058.4	2.3	31.
34.366	24.	1.767	2162.4	1437.5	15500.	2.4	19753.	5478.9	2.5	38.
34.938	24.	2.033	2076.3	1523.6	16363.	2.4	21962.	5686.7	2.6	40.
33.853	24.	2.405	1956.6	1643.3	17563.	2.4	25031.	5975.7	2.7	42.
33.318	24.	2.488	1929.8	1670.1	17831.	2.4	25717.	6040.3	2.7	42.
25.475	24.	3.142	1718.9	1981.0	19945.	2.2	31127.	6549.6	2.6	39.
6.607	24.	3.976	1449.9	2150.0	22642.	1.6	38025.	7199.0	2.3	29.
PRODUCCION S										
AREA P										
L1 L2 RESIST.										
31.296	32.	.785	2479.1	1120.8	12498.	2.7	16731.	4714.2	2.7	32.
34.516	32.	.886	2446.6	1153.3	12825.	2.8	17849.	4792.8	2.8	35.
44.075	32.	1.227	2336.6	1263.3	13929.	3.1	21623.	5058.4	3.2	46.
55.173	32.	1.767	2162.4	1437.5	15678.	3.5	27600.	5478.9	3.7	59.
62.174	32.	2.405	1956.6	1643.3	17745.	3.8	34662.	5975.7	4.1	70.
62.615	32.	2.488	1929.8	1670.1	18013.	3.8	35581.	6040.3	4.1	71.
63.340	32.	2.798	1829.6	1770.3	19020.	3.8	39020.	6282.3	4.2	74.
62.474	32.	3.142	1718.9	1881.0	20132.	3.8	42819.	6549.6	4.3	76.
53.426	32.	3.976	1449.9	2150.0	22833.	3.6	52050.	7199.0	4.3	76.
32.462	32.	4.909	1148.9	2451.0	25855.	2.9	62377.	7925.5	4.1	67.
PRODUCCION S										
AREA P										
L1 L2 RESIST.										
40.539	40.	.785	2479.1	1120.8	12671.	3.4	22443.	4714.2	3.4	41.
44.949	40.	.886	2446.6	1153.3	12998.	3.6	23845.	4792.8	3.6	46.
58.524	40.	1.227	2336.6	1263.3	14105.	4.0	28580.	5058.4	4.1	60.
75.981	40.	1.767	2162.4	1437.5	15857.	4.6	35078.	5478.9	4.8	80.
90.494	40.	2.405	1956.6	1643.3	17927.	5.2	44936.	5975.7	5.4	98.
91.913	40.	2.488	1929.8	1670.1	18196.	5.2	46089.	6040.3	5.5	100.
99.473	40.	3.142	1718.9	1881.0	20318.	5.5	55170.	6549.6	6.0	113.
101.087	40.	3.623	1563.6	2036.3	21880.	5.6	61855.	6924.5	6.2	120.
100.246	40.	3.976	1449.9	2150.0	23024.	5.6	66750.	7199.0	6.3	123.
90.268	40.	4.909	1148.9	2451.0	26051.	5.3	79704.	7925.5	6.5	125.
67.255	40.	5.940	816.3	2783.6	29395.	4.6	94020.	8728.4	6.3	118.
PRODUCCION S										
AREA P										
L1 L2 RESIST.										
49.783	48.	.785	2479.1	1120.8	12844.	4.1	28767.	4714.2	4.2	50.
55.382	48.	.886	2446.6	1153.3	13172.	4.3	30455.	4792.8	4.4	56.
72.972	48.	1.227	2336.6	1263.3	14280.	4.9	36157.	5058.4	5.0	75.
96.788	48.	1.767	2162.4	1437.5	16035.	5.8	45187.	5478.9	5.9	101.
118.814	48.	2.405	1956.6	1643.3	18109.	6.5	55855.	5975.7	6.8	127.
121.210	48.	2.488	1929.8	1670.1	18378.	6.6	57243.	6040.3	6.9	130.
136.471	48.	3.142	1718.9	1881.0	20504.	7.2	68178.	6549.6	7.6	150.

#### 4-3.- COSTOS DE UN PROGRAMA FORTRAN PARA UNA TABLA

Los costos para el programa del presente trabajo, son de acuerdo a los tiempos que se tomaron durante los cálculos de la tabla en la computadora IBM 1620, de nuestra Universidad, pero, puede ser disminuido el costo de acuerdo a lo establecido en la sección 3-1.

##### TABLA DE 5/8-3/4

Proceso	Tiempo
lectura de las targetas	12:03 - 11:57
compilado	12:07 - 12:03
Ejecución	<u>3:32 - 12:07</u>
total	3 h 35 m
COSTO	$(3 + \frac{35}{60})$ 1300
	4,658.33 soles.

##### LAS DOS TABLAS

Proceso	Tiempo
Los dos programas y el listado	8 h 17 m
COSTO	$(8 + \frac{17}{60})$ 1300
	10,768.33 soles

##### PARA UN SOLO POZO

Proceso	Tiempo
Lectura y compilado	10 m
Ejecución	5 m

tiempo total	15 m
COSTO	15 x 1300
	60
	325 soles.

En consecuencia, el mayor de los costos, no es para las operaciones de petróleo significante en cuanto al costo se refiere.

#### 4-4.- CONCLUSIONES FINALES

Es necesario hacer, las otras tablas para las restantes dimensiones API de las unidades de bombeo mecánico que son empleadas en el PAIS, con programas análogos al del capítulo III.

Para cualquier caso especial en un diseño determinado, puede ser utilizado el programa.

No se puede pensar que con la mayor carrera del vástago pulido, se obtiene la máxima producción real.

Es necesario buscar para la máxima producción real, cual es el pistón de mayor eficiencia.

Se utiliza a menudo las velocidades sincrónicas, debido a que en estas velocidades se obtienen las mejores producciones, pero con la elaboración de las tablas, ya se puede trabajar en las velocidades no sincrónicas.

Con el incremento de la producción, es ya un hecho que, los diseños deben efectuar por medio de las computadoras.

Con la construcción de las tablas se obtiene, no solo, las máximas producciones reales, sino también el rango de flexibilidad de la capacidad de producción de una determinada unidad.

Con el uso de las computadoras al diseño de las unidades de bombeo mecánico, se han eliminado los probables errores en los cálculos de un diseño, así como el ahorro de tiempo.

Para poner punto final, si hay mayores rendimientos, dentro de las mejores condiciones de operación, con las mismas unidades,

es conclusivo que:

ECONOMICAMENTE SON MAS FAVORABLES ESTOS PROCESOS DE DISEÑO EN RELACION AL DISEÑO CONVENCIONAL YA QUE HA SIDO PERFECCIONADA LA MISMA TECNICA.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- " WELL DESIGN:DRILLING AND PRODUCTION"  
por Benjamin C. Craft  
William R. Holden  
y Ernest D. Graves.
- 2.- " IBM 1620 MONITOR I SYSTEM REFERENCE MANUAL"  
por International Business Machines  
Corporation.
- 3.- " PRINCIPLES OF OIL WELL PRODUCTION"  
por T.E.W. Nind.
- 4.- " PROGRAMACION FORTRAN"  
por Daniel D. McCracken.
- 5.- " CUSTOMERS HANDBOOK ON OIL WELL PUMPING UNITS"  
por USS-Oil Well Supply Division.
- 6.- " PUMNPING UNIT SELECTION HANDBOOK" Manual N° M43-363  
por USS-Oil Well Supply Division.
- 7.- "DRILLING AND PRODUCING MACHINARY AND EQUIPMENT" 1960-61 Catalog  
por USS-Oil Well Supply Division.
- 8.- " SUCKER ROD HANDBOOK"  
por Bethlehem Steel Company.