

2e1
13



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

BOMBEO ELECTROCENTRIFUGO EN POZOS
MARINOS PRODUCTORES DE ACEITE

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO PETROLERO
P R E S E N T A ;

MARCO ANTONIO DE LA CRUZ MONROY

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO, D. F.

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.

I N D I C E

RESUMEN

INTRODUCCION

CAPITULO I. CONCEPTOS BASICOS

I.1 CONCEPTOS DE ELECTRICIDAD

I.1.1 Carga Eléctrica

I.1.2 Corriente Eléctrica

I.1.3 Tensión

I.1.4 Corriente Continua y Corriente Alterna

I.1.5 Resistencia y Resistividad

I.1.6 Conductores y Aislantes Eléctricos

I.1.7 Ley de Ohm y Conductancia

I.1.8 Conducción Eléctrica

I.2 CONCEPTOS DE FLUJO DE FLUIDOS

I.2.1 Peso Especifico, Densidad y Densidad Relativa

I.2.2 Presión, Carga y Gradiente de Presión

I.2.3 Velocidad de Fluído, Flujo Laminar y Turbulento

I.2.4 Viscosidad

I.2.5 Número de Reynolds

I.2.6 Flujo de Líquidos en Tuberías

I.3 FUNDAMENTOS DE BOMBEO ELECTROCENTRIFUGO

I.3.1 Clasificación de las Bombas

I.3.2 Carga Teórica desarrollada por un impulsor

- I.3.3 Pérdidas Hidráulicas
- I.3.4 Pérdidas Mecánicas
- I.3.5 Curvas de Comportamiento de la Bomba
- I.3.6 Cavitación

CAPITULO II. DESCRIPCION DEL EQUIPO Y COMPONENTES DEL APAREJO DE BOMBEO ELECTROCENTRIFUGO

II.1 EQUIPO SUBSUPERFICIAL

- II.1.1 Bomba Sumergible
- II.1.2 Motor Sumergible
- II.1.3 Sección Sellante
- II.1.4 Cable Eléctrico Sumergible
- II.1.5 Separador de Gas

II.2 EQUIPO SUPERFICIAL

- II.2.1 Tablero de Control
- II.2.2 Transformador
- II.2.3 Caja de Unión

CAPITULO III. DISEÑO DE INSTALACIONES

III.1 Algoritmo para el Diseño de Instalaciones

CAPITULO IV. EFECTOS, INFLUENCIAS Y CONSIDERACIONES DEL DISEÑO

IV.1 CONSIDERACIONES ACERCA DEL FLUIDO

- IV.1.1 Gas Libre
- IV.1.2 Influencia de la Temperatura
- IV.1.3 Viscosidad

IV.2 CONSIDERACIONES DEL ESTADO MECANICO

IV.2.1 Empacadores

IV.2.2 Pozos Desviados

IV.2.3 Profundidad de Colocación de la Bomba

IV.2.4 Arenas y Parafinas

CAPITULO V APLICACION DEL BOMBEO ELECTROCENTRIFUGO EN -
POZOS MARINOS

V.1 INSTRUCTIVO DE EMPLEO DEL PROGRAMA "ELECTRO-
CENTRIFUGO"

V.1.1 Estructura del Programa de Cómputo

V.2 EJEMPLO DE APLICACION

V.3 ANALISIS ECONOMICO DEL SISTEMA

CAPITULO VI PROTECCION Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

VI.1 MEDIDAS DE PROTECCION

VI.2 ANALISIS DE FALLAS

VI.2.1 Causas de las Fallas

VI.2.1.1 Fallas del motor

VI.2.1.2 Fallas de la bomba

VI.2.1.3 Fallas en la sección sellante

VI.2.1.4 Fallas en los cables

VI.2.2 Prevención de fallas

CAPITULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

APENDICES I Y II

NOMENCLATURA

BIBLIOGRAFIA

RESUMEN

Se presenta un estudio orientado a mostrar un análisis detallado de como y en que momento debe aplicarse el sistema de bombeo electrocentrífugo en pozos productores de aceite en la zona marina de Ciudad del Carmen, Campeche (Golfo de México).

El sistema electrocentrífugo es descrito parte por parte con su respectivo equipo a utilizar, diseño y selección más adecuados mencionando aquellos factores que pueden influir en forma negativa durante su operación.

Los cálculos se realizan tomando en cuenta que existe flujo multifásico vertical en la tubería de producción. Además se considera que el gas libre que pasa a través de la bomba no altere su funcionamiento.

En el diseño del aparejo electrocentrífugo se emplea un programa de computo en el cual se presta especial atención a la profundidad de colocación de la bomba y a la elevación de presión que dicha bomba debe proporcionar a los fluidos del pozo para hacerlos llegar a la superficie o aumentar la producción en caso de que el pozo sea fluyente.

A fin de ilustrar el procedimiento de manera -
detallada se incluyen ejemplos de aplicación. El análisis
del sistema se llevó a cabo considerando condiciones me--
dias de los pozos.

INTRODUCCION

En México se han cuantificado alrededor de 1'885 000 Km² de áreas sedimentarias distribuidas en todo su territorio, siendo conveniente mencionar que de esa superficie sólo se ha explorado intensamente la planicie costera y la plataforma continental del Golfo de México, en las -- que se ha descubierto, desarrollado y explotado la totalidad de los yacimientos que constituyen el potencial petrolero del país.

Las áreas productoras están distribuidas geográficamente en los estados de Tamaulipas, Veracruz, en la -- porción central-Este de México, Tabasco, Chiapas y Campeche (en el Sureste del país), que es donde se tienen concentrados los más grandes yacimientos petroleros de México.

De acuerdo con la clasificación aceptada por los principales países petroleros, los yacimientos super-gigantes son aquellos que contienen reservas superiores a los -- cinco mil millones de barriles de aceite. Dentro de estos yacimientos, que contienen alrededor del 50% de las reservas mundiales descubiertas hasta la fecha, se encuentra el yacimiento "Cantarell" en el Golfo de México, uno de los -- mayores del mundo.

En la actualidad el Campo "Cantarell", ver fig. 1, - integrado por los campos Akal, Abkatún, Nohoch, Ek, Ku y - Chac, localizados en la plataforma continental del Golfo - de México, a 80Km de la Ciudad del Carmen, Campeche, es el yacimiento más importante de la República Mexicana. Su -- producción en diciembre de 1985 fue de 945,000 bls/día, lo que representó el 35% de la producción total del país.

En "Cantarell", la producción de aceite de los pozos es muy alta, ya que con 72 pozos se obtuvo la producción - total del campo, lo que significa un gasto promedio de -- 13,125 bls/día de aceite por pozo.

Como consecuencia del abatimiento de la presión en - el yacimiento, la producción ha disminuido gradualmente, - tanto que ha dado como resultado que algunos de los pozos_ han dejado de fluir.

Ante este problema, es urgente la necesidad de insta_ lar en el campo sistemas de levantamiento artificial para_ incrementar la producción o, al menos, mantenerla dentro - de un nivel acorde a las necesidades del país.

Varios son los sistemas artificiales de explotación_ con que cuenta actualmente la industria petrolera para ex_ plotar los pozos productores. Sin embargo, la selección -

del sistema más apropiado es un asunto que reviste especial importancia; tal, que si dicha selección no se hace de acuerdo a las necesidades de producción y condiciones generales de los pozos, puede conducir a pérdidas cuantiosas por inversiones inútiles si el sistema no es capaz de manejar la producción esperada.

En pozos marinos la limitación de espacio en el área de plataforma es un factor importante para el diseño de cualquier sistema artificial.

El sistema de bombeo electrocentrífugo es una opción muy viable para este yacimiento, ya que fue desarrollado para producir volúmenes considerables de líquido y se ha utilizado en otras partes del mundo con gran éxito para la explotación de campos marinos y no requiere de áreas considerables para la instalación del equipo superficial.

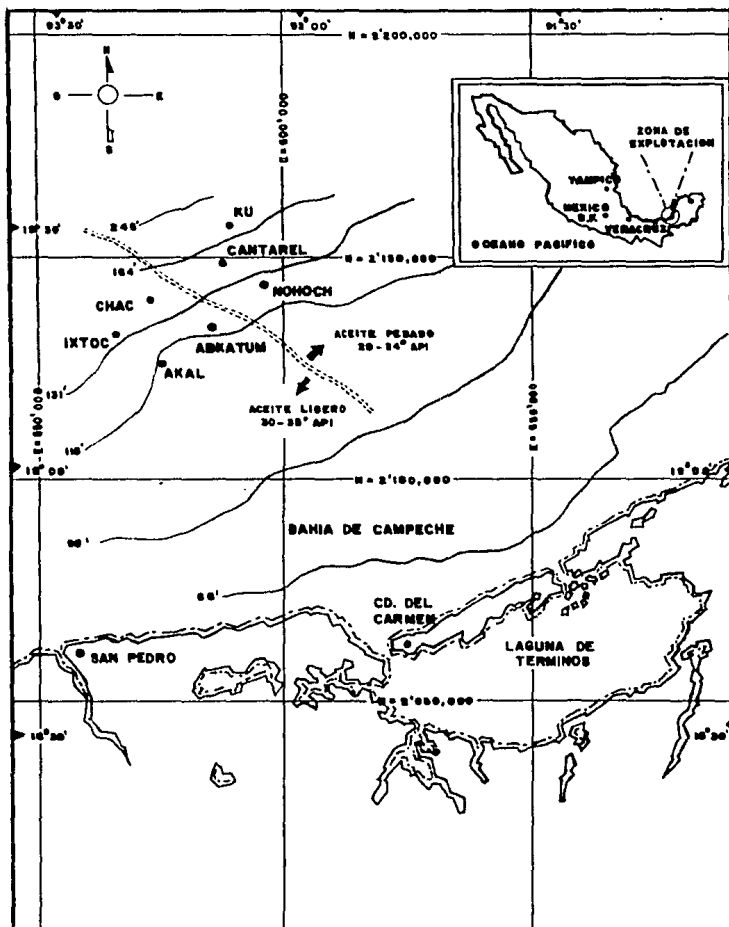


FIG. 1 LOCALIZACION DEL COMPLEJO CANTAREL

CAPITULO I

CONCEPTOS BASICOS

Para la comprensión del funcionamiento y operación del sistema artificial denominado Bombeo Electrocentrífugo, es necesaria la definición de ciertos conceptos tales como:

I.1 CONCEPTOS DE ELECTRICIDAD

I.1.1 Carga Eléctrica

Se ha definido que el átomo no es una masa sólida y se encuentra formado de partículas muy pequeñas conocidas como; electrones, protones y neutrones. Los electrones son los portadores de las cargas negativas, e intervienen en forma predominante en la mayoría de los procesos de conducción de diversos materiales. Los protones son las partículas portadoras de la carga positiva, con una masa 1,800 veces superior a la de los electrones. Además, en la mayoría de los átomos, los protones se agrupan con neutrones (partículas sin carga eléctrica) en el centro del átomo, conocido como núcleo; mientras que los electrones giran al rededor del mismo⁽¹⁾.

La electricidad es una forma de energía que puede ser producida a partir de procesos químicos, hidráulicos,-

(1) Referencias al final del trabajo

y nucleares; es decir, ésta se origina a través de procesos que convierten un tipo de energía en electricidad, presión, fricción y reacciones químicas y electromagnéticas.

La cantidad de electricidad en un cuerpo es conocida como carga eléctrica y es medida en coulombios (C)* (cantidad de carga que pasa por una sección transversal dada de un alambre en un segundo, cuando circula por éste una corriente constante de un amperio (A), donde $1A=1C/seg.$

I.1.2 Corriente Eléctrica

Si un átomo pierde uno de sus electrones, éste adquiere una carga positiva y atrae a un electrón de otro átomo cercano, o alguno que se encuentre flotando en el medio. Si los electrones de un grupo de átomos pasan de unos a otros, se establece un flujo constante de electrones; dicho flujo es conocido como corriente eléctrica, y la medida de su intensidad es el amper (A).

I.1.3 Tensión

Los electrones como cargas eléctricas sólo se mueven cuando hay una fuerza que los arrastre. La corriente circula de un punto a otro, cuando entre éstos hay una diferencia de tensión, también se le conoce con los nombres

* Demanda al final del trabajo

de: voltaje, diferencia de potencial o fuerza electromotriz (fem)². La tensión entre dos puntos es una medida de la energía que gana un electrón al moverse entre ellos; siendo el aumento de energía, el resultado de los "niveles de energía" que el electrón puede ocupar en el átomo. La tensión se mide en voltios (V). Un voltio se determina por una corriente de un amperio en un conductor de un ohmio de resistencia.

I.1.4 Corriente Continua y Corriente Alterna

La corriente continua (CC), tal como se obtiene de una pila, siempre fluye uniformemente en el mismo sentido a lo largo del conductor. Por el contrario, la corriente alterna (CA), con lo que se alimentan las redes de suministro de energía eléctrica del país, se desplaza primero en un sentido y luego en otro; este cambio se lleva a cabo con cierta frecuencia, habitualmente de 50 a 60 veces por segundo (50 a 60Hz). La frecuencia indica cuantos períodos (cambios de pares de polos) efectúa una CA en un seg. $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$

La ventaja de un suministro de corriente alterna sobre al de continua, es que su tensión puede modificarse hacia arriba o hacia abajo, mediante el empleo de transformadores. Los motores de corriente alterna y alternadores (generadores de CA) carecen de colector (anillo -

metálico dividido que sirve para recoger la corriente) y por lo tanto, son más seguros que sus equivalentes de continua - provistos de colector.

Una frecuencia común se ha determinado entre las diferentes conveniencias de los transformadores, líneas de -- transporte, iluminación, maquinaria rotativa, etc. En casi todo el mundo la frecuencia es de 50 Hz o 60 Hz.

I.1.5 Resistencia y Resistividad

La resistencia es una medida de la dificultad que - encuentra una corriente para desplazarse a lo largo de un material. La resistencia se mide en ohms (Ω) e indica la magnitud de la tensión requerida para hacer circular una corriente de un amperio por un material, dependiendo no sólo de las propiedades eléctricas del propio material, sino también de su forma y dimensiones. La resistencia de prácticamente todos los materiales varía con la temperatura.

La resistencia de los conductores metálicos a cualquier temperatura, puede ser determinada a partir de la siguiente fórmula:

$$R_t = R_o (1 + \alpha_o T) \quad \dots\dots (1)$$

Donde:

R_t y R_0 = Resistencia del material a temperatura
T y a 0°C respectivamente.

α_0 = Coeficiente de resistencia a 0°C.
(Para el cobre = 0.0047)

La medida de la resistencia que se refiere meramente a las propiedades eléctricas del material, recibe el nombre de resistividad o resistencia específica y se le asigna el símbolo (ρ).

I.1.6 Conductores y Aislantes Eléctricos

Como se mencionó anteriormente, la corriente eléctrica se debe a un flujo de electrones a través de un medio que les permita el paso de un átomo a otro. Los materiales que ofrecen escasa resistencia al flujo de electrones son conocidos como conductores.

Los materiales aislantes o dieléctricos son aquellos, que a diferencia de los conductores, presentan una alta resistencia al paso de electrones.

I.1.7 Ley de Ohm y Conductancia

La ley de Ohm establece que dividiendo la tensión entre los extremos de un conductor, por la intensidad que lo

recorre, se obtiene una constante, la cual recibe el nombre de resistencia del conductor, y se mide en ohmios (por definición un ohmio es igual a un voltio dividido por un amperio)'.³.

$$V = R I \quad \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

V = Diferencia de potencial en volts

I = Corriente resultante en amperios

R = Resistencia

El recíproco de la resistencia es conocido como la conductancia del conductor, también se mide en ohmios.

I.1.8 Conducción Eléctrica

Una corriente eléctrica circula cuando partículas cargadas se mueven bajo la influencia de un campo eléctrico. Un campo eléctrico es un gradiente de tensión y se mide en voltios por unidad de longitud, normalmente voltios por metro.

Conforme aumenta la intensidad del campo eléctrico, los electrones se aceleran hasta velocidades muy grandes, que llegan a ser suficientes para arrancar más electrones de los átomos, con los cuales chocan. Esto produce un efecto de --

"bola de nieve" o de "avalancha" que genera más electrones, aumentando rápidamente la corriente.

La conducción eléctrica en un material se lleva a cabo de tres formas; Cuando los electrones son arrancados de sus átomos de procedencia (ionización que tiene lugar, preferentemente, en los gases). Cuando los átomos, ya como iones débilmente unidos, pueden separarse bajo la influencia de un campo eléctrico. Y finalmente, en los metales, los electrones están presentes formando una "nube" y se mueve con facilidad al ser solicitados por un campo eléctrico.

I.2 CONCEPTOS DE FLUJO DE FLUIDOS

A continuación se describen brevemente los principios del flujo de fluidos que generalmente se aplican a las bombas.

I.2.1 Peso Específico, Densidad y Densidad Relativa

El peso específico (γ) de una sustancia, se define como la relación entre su peso por unidad de volumen, y representa la fuerza que ejerce la aceleración de la gravedad por unidad de volumen de fluido, y puede ser expresado en lb/pie^3 o gr/cm^3 , es decir:

$$\gamma = \frac{\text{Fza. de Gravedad}}{\text{Volumen}} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}} = \frac{W}{V}$$

$$\rho = \frac{W}{V} \left(\frac{\text{lb}}{\text{pie}^3} \right) \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right) \dots\dots (3)$$

La densidad (ρ) de una sustancia, se define como su masa contenida en una unidad de volumen. Sus unidades comunes son:

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} = \frac{m}{v}$$

$$\rho = \frac{m}{v} \left(\frac{\text{lbm}}{\text{pie}^3} \right) \left(\frac{\text{grm}}{\text{cm}^3} \right) \dots\dots\dots (4)$$

La densidad relativa (ρ_r) de un cuerpo (sólido o líquido) es un número adimensional que está dado por la relación del peso del cuerpo al peso de un volumen igual de una sustancia que se toma como referencia; en este caso se hace con el agua pura a 4°C (60°F).

$$\rho_r = \frac{\text{Peso del cuerpo}}{\text{Peso del agua pura}} = \frac{\rho}{\rho_w} = \frac{\rho}{\rho_w}$$

De lo anterior se deduce que la densidad relativa de una sustancia viene dada por el mismo número en cualquier sistema de unidades.

Cuando se trata de un gas, se utiliza el concepto

de gravedad específica (SG); la cual se define como la relación entre la densidad de un gas y la de otro, que puede ser aire a una presión y temperaturas determinadas⁴.

$$\rho_r = \frac{141.5}{131.5 + \text{°API}} \quad \dots\dots (5)$$

I.2.2 Presión, Carga y Gradiente de Presión

La presión ejercida por un flujo sobre una superficie es la fuerza por unidad de área, y es expresada en PSI - (lb/pg²) en el sistema Inglés, y Kg/cm² en el sistema Métrico. La presión en un punto, debida a una columna de fluido, es dada por la relación γH , donde γ es la gravedad relativa y H es el peso de la columna de fluido sobre el punto. El peso de la columna es llamado carga estática y está expresada en unidades de longitud (pie, metro).

Presión y carga representan los mismos valores en diferentes unidades y se relacionan por la expresión siguiente:

$$H = K * P / \rho_r \quad \dots\dots\dots (6)$$

Donde:

H = Carga

K = Ctte. de proporcionalidad

P = Presión a la entrada de la bomba

ρ_r = Densidad relativa de los fluidos

Si: Presión (lb/pg²) y carga (pies) K=2.31

Presión (kg/cm²) y carga (m) K=10

El gradiente es la presión debida a una columna de líquido de altura unitaria, esto es igual a:

$$\text{Grad.} = \frac{\rho_r}{K} \dots\dots\dots (7)$$

I.2.3 Velocidad de un Fluido, Flujo Laminar y Flujo Tubulento

La velocidad de un fluido se define en base a un sistema de ejes coordenados, el cual es comúnmente estacionario con respecto a la superficie de la Tierra. Si la velocidad de un fluido es baja, las partículas se mueven en capas paralelas, y en cualquier punto la velocidad es constante en magnitud y dirección. Tal tipo de flujo es llamado flujo laminar.

El flujo turbulento es aquel en donde la velocidad

es tan alta que cambia de magnitud y sentido. La velocidad a la cual el flujo cambia de laminar a turbulento, es conocida como velocidad crítica y el flujo correspondiente es llamado crítico o de transición.

I.2.4 Viscosidad

Cuando el flujo de fluidos es de forma laminar, los esfuerzos de corte aplicados son regidos por la ley -- de Newton de viscosidades, siendo proporcional al gradiente de velocidad.

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \dots\dots\dots (9)$$

Donde:

- τ = Esfuerzo aplicado
- dv/dy = Gradiente de velocidad
- μ = Viscosidad dinámica

En el caso de fluidos newtonianos la relación entre los esfuerzos de corte y el gradiente de velocidad es lineal. La viscosidad es medida dentro del sistema métrico como un poise, el cual es igual a 1 gm/seg * cm o 1 dyna * seg/cm², pero en la industria comúnmente se utiliza el centipoise, el cual es la centésima parte de un poise.

I.2.5 Número de Reynolds

La resistencia al flujo de un fluido es relacionada con un número adimensional llamado número de Reynolds.

$$Nre = \frac{\rho v d}{\mu} \dots\dots (9)$$

Donde:

ρ = Densidad del fluido

v = Velocidad del fluido

μ = Viscosidad del fluido

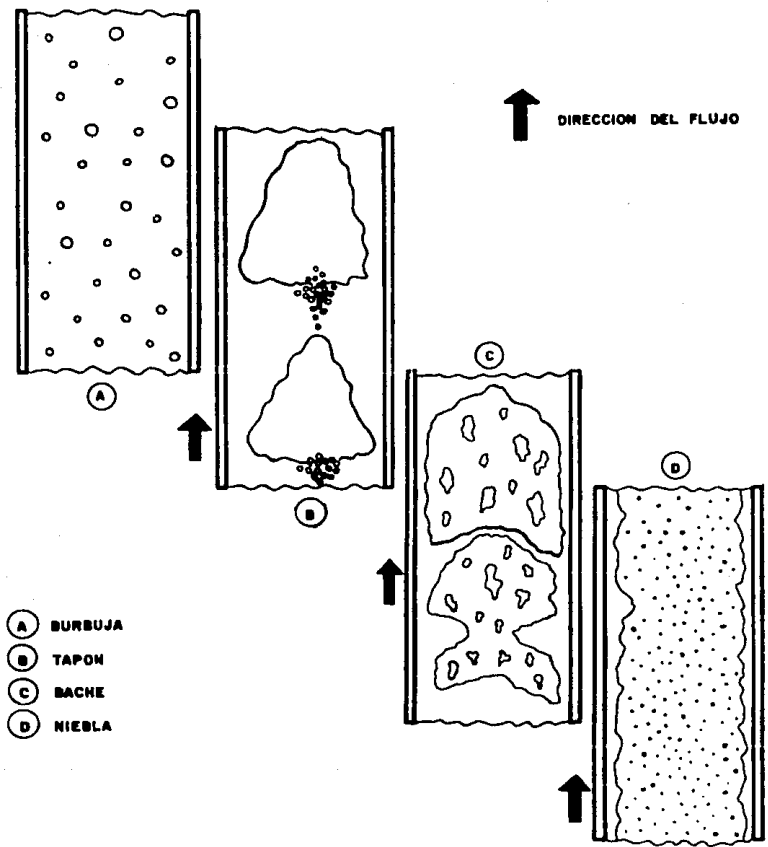
d = Diámetro del conducto

Para números de Reynolds menores de 2000 se considera régimen laminar o bien, es turbulento a un Nre mayor de 4000.

I.2.6 Flujo de Líquidos en Tuberías

Cuando un líquido fluye a través de un conducto, éste no tiene la misma velocidad cercana a las paredes del tubo que en el centro, debido a que el fluido se encuentra sujeto a pérdidas de energía ocasionadas por esfuerzos de corte, mejor conocidos como pérdidas por fricción. Ver fig. 1.1.

Se han desarrollado algunas expresiones para calcu-



- (A) BURBUJA
- (B) TAPON
- (C) BACHE
- (D) NIEBLA

FIG.1.1 PATRONES DE FLUJO EN TUBERIAS VÉRTICALES

lar las pérdidas de energía (presión o carga) debido al flujo de fluidos de tuberías. Una de las expresiones más comúnmente usadas es la de Darcy y Weisbach.

$$h = f \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} \quad \dots\dots (10)$$

Donde:

- h = Pérdida de energía o carga
- f = Factor de fricción
- L = Longitud del conducto
- V = Velocidad promedio del flujo
- g = Aceleración
- d = Diámetro hidráulico del conducto

f, dependerá del tipo de flujo; para flujo laminar será igual a 64 Nre . Para flujo turbulento algunas de las siguientes correlaciones pueden ser utilizadas:

a) Drew, Koo y McAdams para tuberías lisas⁵ y

$$3000 \text{ Nre} \times 10^6$$

$$f = 0.0056 + 0.5 \text{ Nre}^{-0.32} \quad \dots (11)$$

b) Correlación de Nikiradse⁶

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.74 - 2 \log_{10} \left(\frac{2E}{d} \right) \quad \dots (12)$$

c) Ecuación de Colebrook y Weisbach⁷

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.74 - 2 \log_{10} \left(\frac{2E}{d} + \frac{18.7}{Nre f} \right) \dots (13)$$

d) Correlación de Jain

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2 \log_{10} \left(\frac{E}{d} + \frac{21.25}{Nre^{0.9}} \right) \dots (14)$$

I.3 FUNDAMENTOS DE BOMBEO CENTRIFUGO

A continuación se mencionan los términos y conceptos básicos utilizados comúnmente en la industria de las bombas centrífugas.

I.3.1 Clasificación de las Bombas

Esta clasificación está basada en el principio de transferencia de energía al fluido. De acuerdo a este sistema, las bombas se encuentran divididas en dos grupos básicos: bombas dinámicas y de desplazamiento positivo.

En las bombas dinámicas la energía se adiciona continuamente al fluido, incrementando así, su velocidad; la variación de ésta gradualmente se transforma en presión. Las bombas centrífugas básicamente consisten de una parte móvil,

conocida como impulsor, y una parte fija llamada difusor. El fluido penetra a través del impulsor donde las partículas - son aceleradas, incrementando de este modo su energía cinética, (presión o carga).

En las bombas de desplazamiento positivo, la energía es suministrada periódicamente, debido al movimiento de un pistón que desplaza una cantidad fija de líquido.

Las bombas sumergibles, usadas para la producción de petróleo crudo, pertenecen a la categoría de las bombas centrífugas de flujo radial de succión simple con múltiples etapas.

I.3.2 Carga Teórica Desarrollada por un Impulsor

Un impulsor operando a una velocidad dada, generará la misma cantidad de carga independientemente de la gravedad relativa, debido a que la carga está expresada en términos de altura de esa columna de fluido en particular.

La carga actual desarrollada por una bomba será - siempre menor a la carga teórica, debido a varias desviaciones a partir de las condiciones ideales que no pueden ser evaluadas exactamente. Por lo tanto se han desarrollado factores de corrección para aminorar estas discrepancias en el

en el diseño actual.

I.3.3 Pérdidas Hidráulicas

El flujo de un fluido a través de un impulsor está asociado a varios tipos de pérdidas. Estas incluyen las pérdidas por fricción en el paso por el impulsor, pérdidas por -difusión debidas a la divergencia o convergencia del flujo y pérdidas por choque del fluido en la admisión de la bomba. - Todas estas Cargas son estimadas en base a datos de prueba - obtenidos previamente de la construcción de bombas.

La relación de la carga obtenida a partir de la bomba a la carga total impartida al fluido en el impulsor, es conocida como la eficiencia hidráulica de la bomba.

I.3.4 Pérdidas Mecánicas

Las pérdidas mecánicas no tienen efecto alguno sobre la carga y la capacidad de la bomba, pero incrementan la potencia al freno. La relación de potencia suministrada al - fluido por el impulsor con la potencia al freno proporcionada al eje del motor, es conocida como la eficiencia mecánica. - La potencia al freno es el requerimiento de la bomba por unidad de tiempo.

La eficiencia de una máquina centrífuga es la rela

ción de la potencia del fluido a la potencia al freno.

I.3.5 Curvas de Comportamiento de la Bomba

Basadas en datos de una prueba práctica a una bomba, se dibujan las curvas de carga, potencia al freno y eficiencia en función del gasto manejado. Estas curvas describen el comportamiento de la bomba bajo dichas condiciones.

I.3.6 Cavitación

Si en cualquier parte dentro de la bomba, la presión absoluta del líquido cae por debajo de la presión de saturación correspondiente a la temperatura de operación, se formarían como consecuencia, burbujas de gas; las cuales son arrastradas por el flujo de líquido hacia regiones de más altas presiones donde se colapsan o condensan.

La condensación produce un gran incremento en la presión, lo que resulta similar a un golpe de martillo o choque. Dependiendo de la magnitud de la cavitación, ésta puede resultar en una destrucción mecánica de la bomba, debida a la erosión, corrosión e intensa vibración.

CAPITULO II

DESCRIPCION DEL EQUIPO Y COMPONENTES DEL APAREJO DE BOMBEO ELECTROCENTRIFUGO

El sistema de Bombeo Electrocentrífugo⁸ es un sistema artificial de explotación para pozos productores de - aceite. Dicho sistema se utiliza exitosamente desde hace ya varios años en campos petroleros. En la actualidad se considera como un método efectivo y económico capaz de manejar un amplio rango de gastos, que pueden ir desde 200 hasta 60,000 bl/día, siempre y cuando puedan ser aportados por el yacimiento. Además, el sistema puede ser utilizado hasta profundidades de 15,000 pies (4,500m)⁹.

La energía requerida es muchas veces menor que la utilizada por el sistema de Bombeo Neumático, y cuando se le compara con el sistema artificial de producción, denominado Bombeo Mecánico, el Bombeo Electrocentrífugo ofrece mayor -- eficiencia y menor costo por barril de aceite extraído. Además el porcentaje de agua que puede manjar el sistema, varía de cero hasta un cien por ciento.

El Bombeo Electrocentrífugo¹⁰ opera sumergido en el fluido del pozo. El aparejo se suspende a partir de la tubería de producción, colocándose generalmente por encima de la zona perforada, ver fig. 2.1.

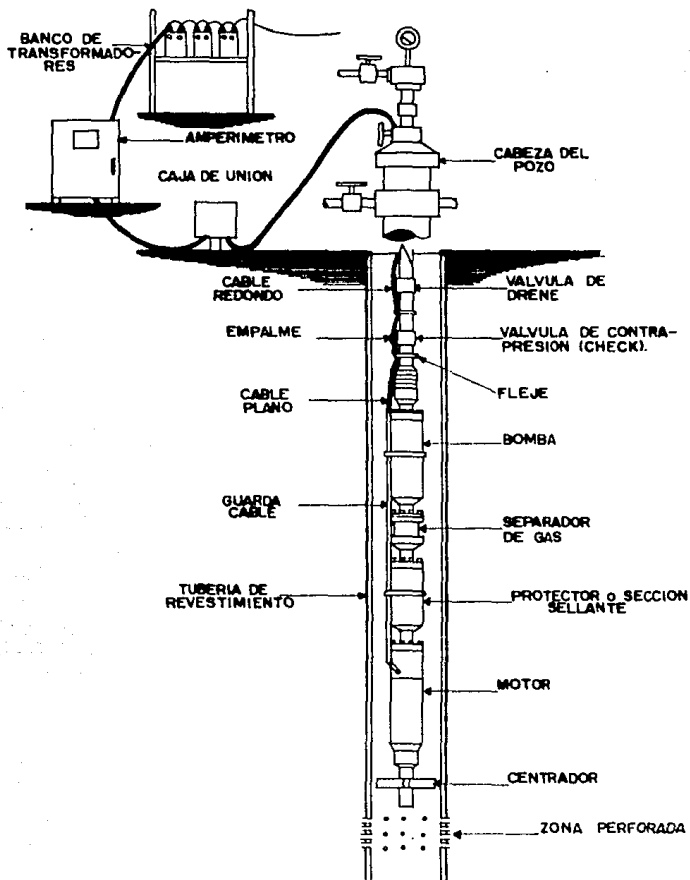


FIG. 2.1. SISTEMA DE BOMBEO ELECTROCENTRIFUGO.

El sistema electrocentrífugo puede ser dividido - básicamente en dos secciones: Equipo Subsuperficial y Equipo Superficial. A continuación se describen cada uno de los -- elementos que componen a los equipos subsuperficial y superficial, así como su funcionamiento.

II.1 EQUIPO SUBSUPERFICIAL

El equipo subsuperficial se encuentra instalado - dentro del pozo, específicamente a lo largo de la tubería o sarta de producción. La finalidad de dicho equipo es la de proporcionar la energía necesaria para transportar a los -- fluidos provenientes del yacimiento hacia la superficie.

El equipo se compone generalmente de los siguientes elementos: Motor Eléctrico, Sección Sellante, Separador de Gas, Bomba Centrífuga y Cable Eléctrico . Ver fig. 2.2.

II.1.1 Bomba Sumergible

Las bombas sumergibles son bombas centrífugas de - múltiples etapas; cada etapa consiste de un impulsor rotatorio conectado a un cigüeñal y a un difusor estacionario. Ver fig. 2.3.

El número y tamaño de las etapas están determinados por la carga generada y la potencia requerida por la bomba; mientras que el tipo de etapa dependerá del volumen que-

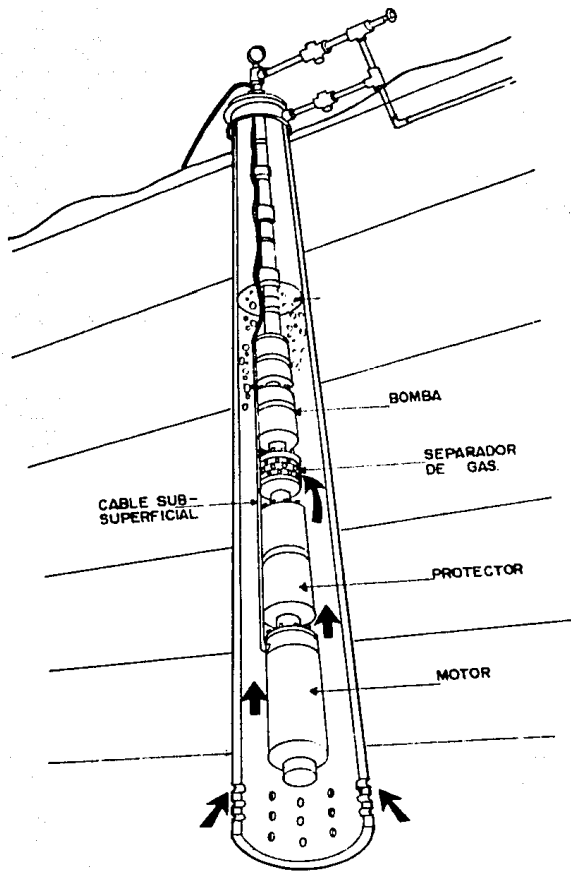
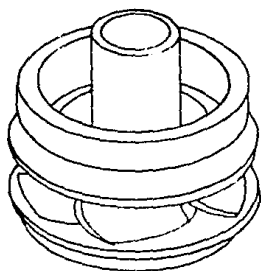


FIG. 2.2. EQUIPO SUBSUPERFICIAL



IMPULSOR

DIFUSOR

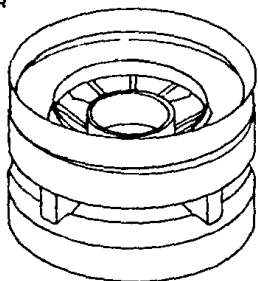


FIG. 2.3. IMPULSORES Y DIFUSORES COMUNES.

va a producirse.

Las bombas centrífugas son fabricadas dentro de - un amplio rango de capacidades para trabajar virtualmente en cualquier condición que prevalezca dentro del pozo.

Cuando la bomba recibe al fluido del yacimiento, - éste pasa a la primera etapa de bombeo y, como consecuencia, el impulsor comienza a girar proporcionándole así un movimiento de rotación. El impulsor imparte un movimiento tangencial hacia el exterior de su diámetro. Dicho movimiento crea una fuerza tangencial, la cual produce un flujo en dirección radial. Por lo tanto, el líquido fluye a través del impulsor con ambos componentes, radial y tangencial; el resultado de estos componentes nos proporciona la dirección verdadera de flujo, siendo ésta en forma ascendente. Ver fig. 2.4.

El difusor provoca una disminución relativamente - baja de la velocidad verdadera de flujo, mientras que la dirección del flujo es hacia el orificio de entrada del próximo impulsor. Este fenómeno se provoca en cada una de las siguientes etapas hasta llegar a la última, en este punto el - fluido tendrá entonces la energía necesaria para llegar hasta la superficie.

Es primordial el cálculo exacto de las etapas de -

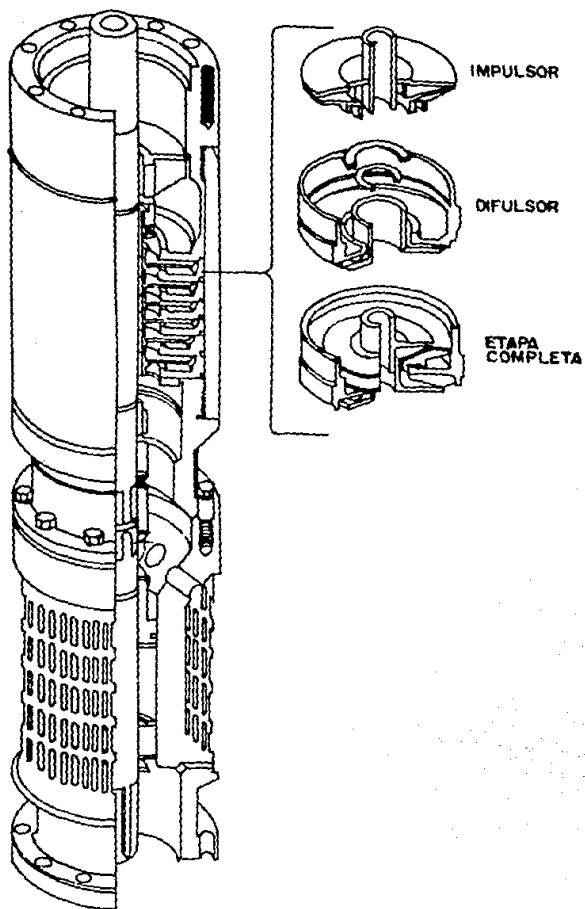


FIG. 2.4. BOMBA ELECTROCENTRIFUGA.

la bomba para proporcionar la energía requerida al fluido, - y hacerlo llegar hasta la central de recolección ubicada en la superficie.

II.1.2 Motor Sumergible

Cualquier sistema de bombeo necesita de una fuerza impulsora, y en el caso de la bomba subsuperficial, dicha fuerza la proporciona el motor sumergible. Estos motores -- son trifásicos, bipolares y del tipo jaula de ardilla de inducción". Ver fig. 2.4.1.

El motor sumergible trabaja a una velocidad relativamente constante de 3,500 rpm a 60 ciclos/seg y 2,915 a 50 ciclos/seg, con requerimientos de voltaje que varían desde 420 a 4,200 v.

El motor es capaz de trabajar continuamente por muy largos períodos de tiempo, dependiendo de las condiciones y temperaturas del pozo. El calor que genera es transmitido fuera del motor, por medio de los fluidos que pasan por la parte exterior y posteriormente, son acarreados al interior de la bomba. Si la velocidad de estos fluidos es menor a 1 pie/seg, se requerirá de una carcasa protectora para el motor.

Los motores eléctricos se llenan con un aceite -

COMPONENTES DEL COJINETE DEL MOTOR

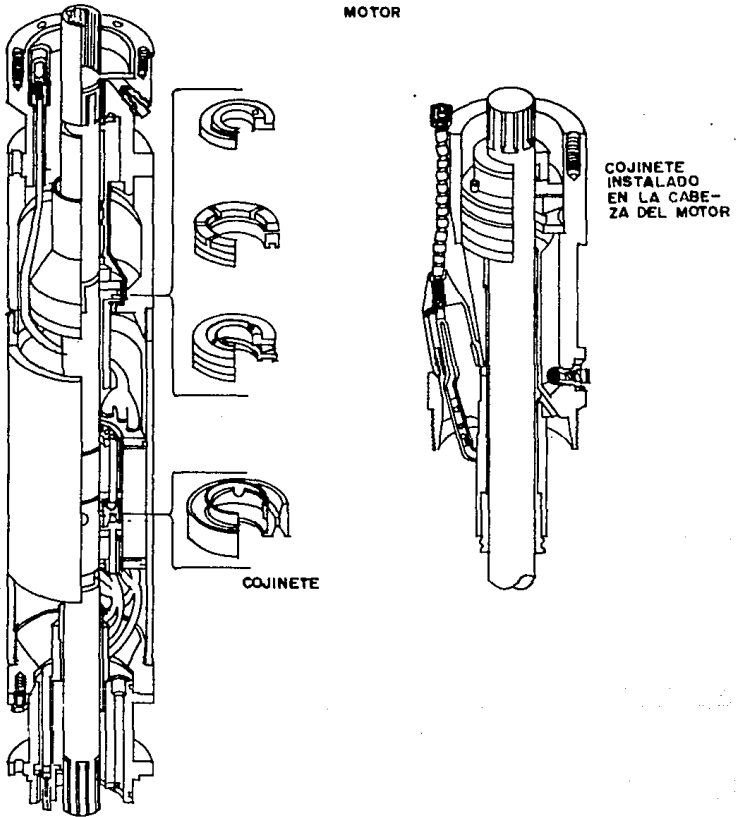


FIG. 2.4.1. MOTOR ELECTROCENTRIFUGO.

mineral altamente refinado, con el objeto de proporcionar lu
bricación a los cojinetes, resistencia dieléctrica y buena -
conductividad térmica.

La importancia de colocar la unidad de bombeo en -
un punto superior a los disparos de la tubería de revestimienu
to, es la de lograr un enfriamiento del motor por medio de -
la transferencia de calor de la carcasa a los fluidos del po
zo que pasan por la superficie exterior del motor.

II.1.3 Sección Sellante

Una de las funciones principales que realiza la -
sección sellante es la de proteger al motor subsuperficial,
evitando que la protección aislante se deteriore debido al
paso de los fluidos del pozo, ya que la sección sellante -
igual a las presiones entre el espacio anular y el motor; si
la presión externa del pozo es más grande que la presión in
terna, los fluidos pueden ser forzados hacia el interior del
motor.

La sección sellante también proporciona un reci-
piente de aceite para compensar la expansión y contracción
del aceite del motor, debido al calentamiento y enfriamienu
to del motor cuando la unidad trabaja o se detiene. Por ú
timo, la sección sellante aloja un cojinete que absorbe el

empuje axial desarrollado por la bomba.

Si el aceite del motor se ve contaminado por fluido del pozo, el motor podría fallar, de modo que la sección sellante generalmente se forma de varias cámaras que pueden, progresivamente, proteger al motor, si una de éstas falla en sus elementos sellantes. Ver fig. 2.5.

II.1.4 Cable Eléctrico Sumergible

El motor subsuperficial requiere del suministro de una corriente eléctrica para generar la fuerza impulsora que accionará a la bomba. La función del cable eléctrico es conducir esta corriente y debe ser capaz de operar sumergido en los fluidos del pozo, que generalmente se encuentran a muy alta presión y temperatura, además de entregar un máximo de corriente con una mínima pérdida. En algunos pozos dicho cable debe resistir las fuerzas corrosivas que pueden disminuir su vida útil. El cable para su mejor protección, se sujeta a la tubería de producción por medio de unos flejes.

Existen limitaciones para los cables usados actualmente, debido a las restricciones de los materiales utilizados en su construcción. Los cables estándar tienen en general diez años de vida, a una temperatura máxima de 167°F y se reduce a la mitad por cada 15°F arriba del máximo.

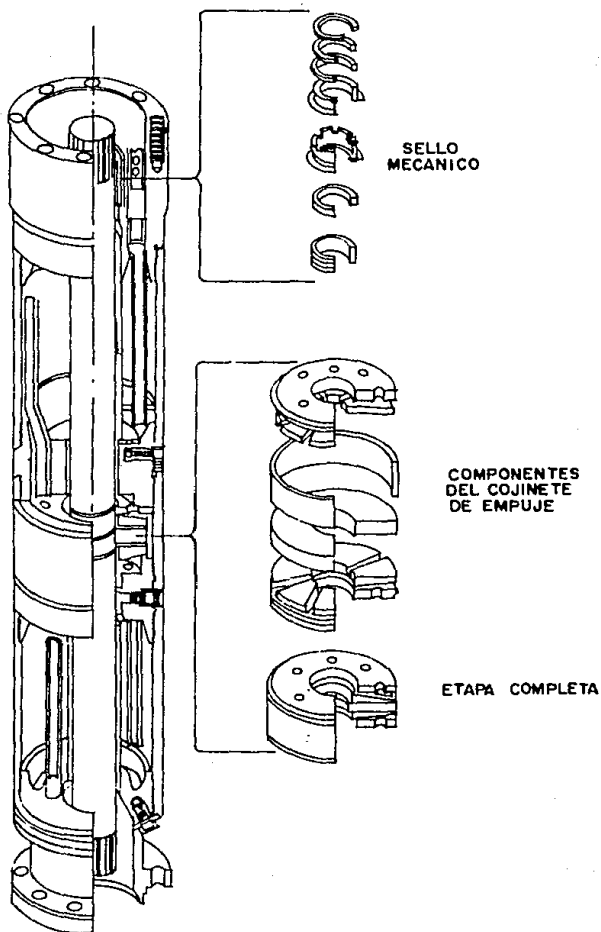


FIG. 2.5. SECCION SELLANTE.

El cable se encuentra disponible en una amplia gama de configuraciones redondas y planas, así como gran variedad de tamaños de conductores. Algunos tipos de aislamientos y recubrimientos son aprovechados para la protección contra fluidos corrosivos y ambientes severos. Ver fig. 2.6.

II.1.5 Separador de Gas

Un gran número de pozos producen una cantidad considerable de gas, la cual puede causar que el ciclo de bombeo reduzca su eficiencia de operación. El volumen de gas libre que absorbe la bomba centrífuga, puede ser minimizado por el incremento de la presión de sumergencia en la etapa de admisión o por la instalación de un separador de gas, para remover el gas libre anterior a la entrada de la bomba.

El separador es una sección normalmente colocada entre el protector y la bomba, éste puede ser efectivo, pero es difícil determinar su eficiencia con exactitud.

Los separadores convencionales de gas arrastran a su interior al fluido del pozo, invirtiendo su flujo; por lo que el gas es separado y el líquido es enviado a la admisión de la bomba. El método es efectivo para relaciones de gas libre por debajo del 10% del volumen total.

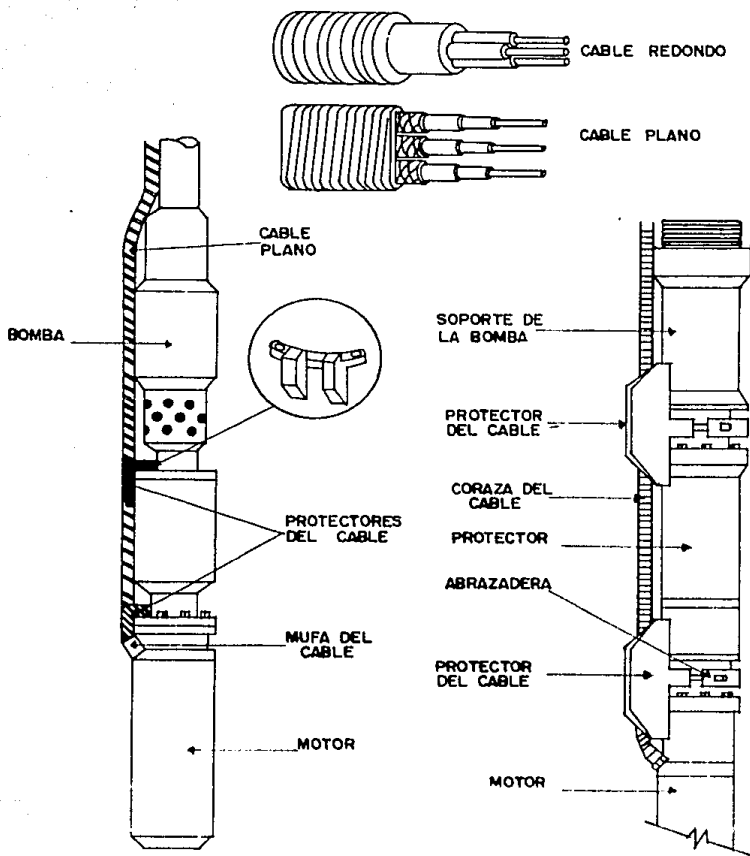


FIG. 2.6. INSTALACION DE CABLES REDONDO Y PLANO.

La eliminación del gas no es necesariamente la forma óptima de explotar el pozo, es decir, aunque el volumen total en la succión de la bomba se reduce, la presión de descarga se incrementa debido a la menor cantidad de gas en la columna de fluidos por arriba de la bomba.

Un método más efectivo consiste en utilizar un separador centrífugo de gas, el cual puede remover hasta el 90% de gas libre dependiendo de las condiciones del pozo, inclusive con altas relaciones gas-aceite. El separador centrífugo se compone de un inductor y una etapa de bombeo seguida por una cámara de separación centrífuga. Ver fig. 2.7.

El inductor y la etapa de bombeo proporcionan un medio para vencer la resistencia al flujo a través del separador y el orificio de paso. La cámara del separador es una unidad cerrada de rotación que trabaja como una centrífuga.

La función del separador de gas está basada en el principio de la separación de partículas de diferentes densidades, bajo la acción de fuerzas centrífugas. Las partículas de líquido se van acumulando cerca de la periferia del impulsor, mientras que las partículas de gas se agrupan cerca del centro. El gas es venteadado al espacio anular, mientras que el líquido entra a la succión de la bomba.

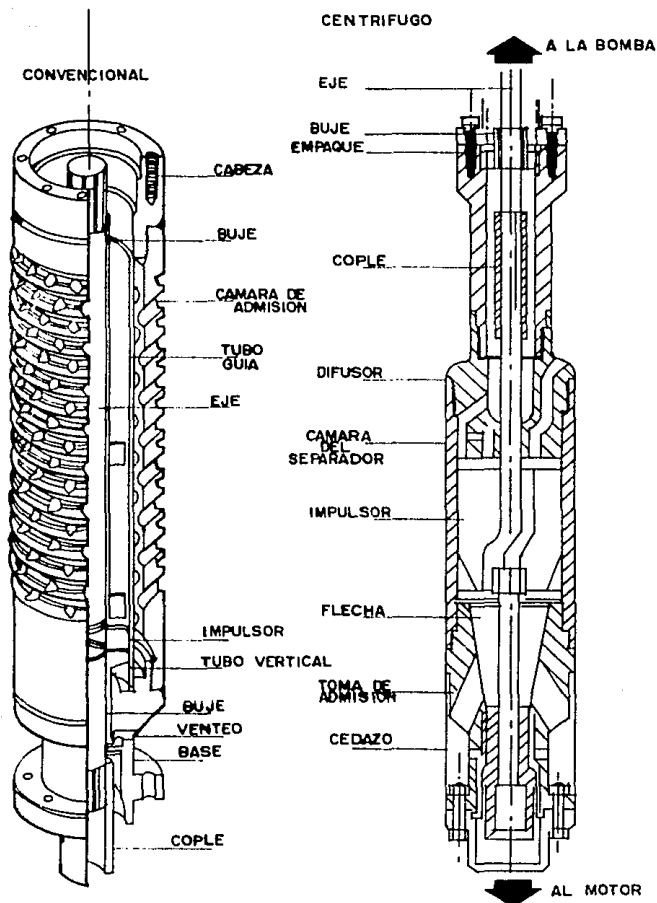


FIG. 2.7. SEPARADORES DE GAS

Por último, el sistema electrocentrífugo requiere de un cabezal que permita la conexión al cable eléctrico, y la instalación del equipo subsuperficial.

II.2 EQUIPO SUPERFICIAL

El Equipo Superficial se encuentra conformado por el tablero de control, transformador(es) y caja de unión. - El Objetivo de este equipo es el de suministrar, controlar y conducir la energía eléctrica que requiere el motor subsuperficial para realizar sus funciones.

II.2.1 Tablero de Control

El tablero de control desempeña dos funciones principales, las cuales son: el arranque y protección del motor. El tablero de control es un dispositivo acompañado de accesorios, con el objeto de ajustarse a cualquier instalación de bombeo electrocentrífugo, además, puede trabajar en condiciones extremas de medio ambiente, ya que se encuentra expuesto a la intemperie. En cuanto a su diseño puede ser simple con un solo botón de arranque y protecciones para evitar la sobrecarga o, en caso contrario, muy complejo con alarmas y -- controles automáticos de control remoto con interruptor y relevador tripolar de sobrecarga y baja corriente, fusibles de desconexión, pararrayos, luces, relojes para bombeo intermitente y amperímetros.

Como se mencionó anteriormente, la protección del motor durante su funcionamiento se debe a que ocurren diversas alteraciones en la línea de suministro de energía como - pueden ser: cortocircuitos, sobrecargas y disminución o corte de la corriente. En lo que se refiere al arranque del mo tor, es utilizado un dispositivo cuya función es conectar el motor a la línea de suministro de energía por medio de un bo tón magnético.

II.2.2 Transformador

El transformador cambia el nivel de voltaje de la corriente eléctrica de distribución, al nivel requerido por el sistema electrocentrifugo. La selección dependerá del - sistema primario de energía y voltaje superficial.

El voltaje requerido superficialmente, estará determinado por el voltaje calculado para el motor y las pérdi das adicionales de voltaje, ocurridas en el cable subsuperfi cial.

Generalmente son requeridos tres transformadores - de una o tres fases para suministrar el voltaje necesario. - Si se utiliza un tablero de control, será indispensable un - transformador adicional entre el pánel de control y los com - ponentes sumergibles.

II.2.3 Caja de Unión

Por razones de seguridad, una caja de unión se encuentra instalada entre el cabezal del pozo y el tablero de control, debido a que el gas que se libera dentro del pozo - puede viajar en dirección ascendente por el cable subsuperficial y a través del cable superficial, hasta el tablero de control, causando así un riesgo de incendio o una explosión potencial. Por lo tanto, la caja de unión elimina esta trayectoria peligrosa del gas.

En la figura 2.8 se muestra una instalación común de una caja de unión, la cual deberá de ser colocada a una distancia mínima de 15 pies (4.5 m) del cabezal del pozo y es instalada normalmente de 2 a 3 pies (0.60 a 0.90 m) del suelo.

Los cables que conectan la caja de unión con el cabezal y tablero de control, deben ser colocados a unas cuantas pulgadas por debajo de la superficie, como medida preventiva en caso de presencia de gas.

Por lo que se explicó anteriormente, el bombeo electrocentrífugo no está compuesto sólo por una bomba; es un sistema formado por componentes conjuntados, desempeñando cada uno una función esencial para un trabajo eficiente. El resultado final es un medio verdaderamente capaz del levantamiento artificial de aceite, virtualmente para cualquier pozo.

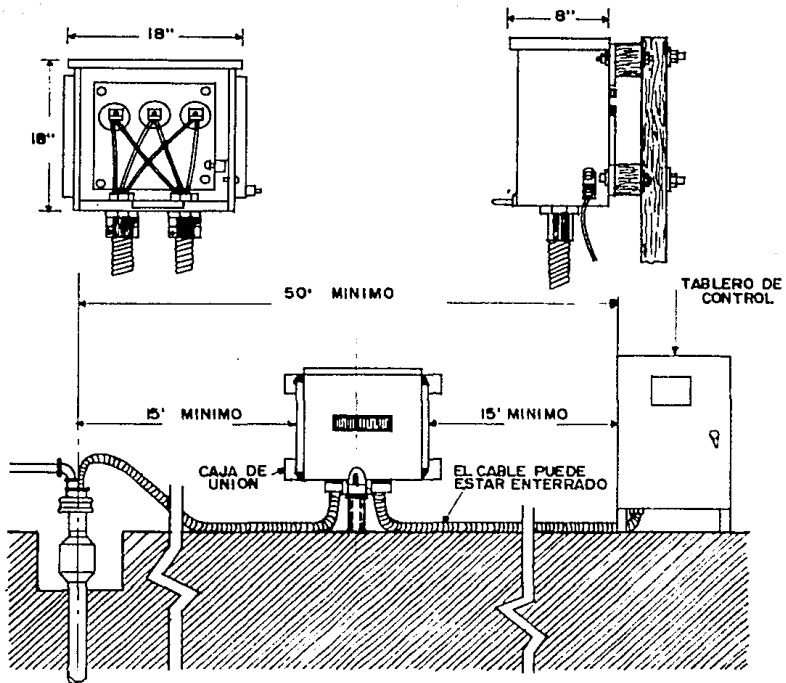


FIG. 2.8. INSTALACION DE LA CAJA DE UNION.

CAPITULO III

DISEÑO DE INSTALACIONES

En el diseño de una instalación de bombeo electrocentrífugo (como en cualquier otro sistema artificial de explotación), es vital la información confiable tanto de las características físicas del pozo, como de las propiedades del fluido para diseñar el sistema más adecuado que proporcione la óptima eficiencia de explotación del pozo.

El procedimiento de cálculo considera la determinación previa de la profundidad de colocación de la bomba, - así como el cálculo de las presiones de succión y descarga - de la misma. Esto se realiza tomando en cuenta que la unidad lleva integrado un separador de gas, el cual puede trabajar hasta con una eficiencia máxima del 85%; ya que si bien no elimina todo el gas libre existente a esa profundidad, reduce su volumen en forma considerable. Además, se toma en cuenta que la relación gas libre-líquido que tolera la bomba puede variar de 0.1 a $2 \text{ m}^3\text{g}/\text{m}^3\text{o}$, sin que se afecten sus características, dado que cantidades mayores reducen su eficiencia y capacidad de carga.¹⁸

La bomba necesita estar colocada por debajo del nivel dinámico del fluido, tan solo a una profundidad que - asegure el suministro ininterrumpido de fluido a la bomba.

Para el cálculo del número de etapas de la bomba y la potencia requerida por el motor, es necesario el uso de las curvas características de comportamiento para cada bomba; éstas son clasificadas por grupos de acuerdo con el diámetro mínimo de la tubería de revestimiento en que puedan ser introducidas. Ver fig. 3.1.

III.1 Secuencia de Cálculo

A continuación se describe detalladamente la secuencia de cálculo, tomando en cuenta la influencia de las consideraciones mencionadas, a fin de asegurar que se instale la unidad de bombeo eléctrico más eficiente para cada caso en particular.

Procedimiento:

1) A partir de los datos de una prueba de producción y el gasto de líquidos que se desea obtener en la superficie se determina la presión de fondo fluyendo, utilizando la correlación propuesta por Voguel.

$$\frac{Q_0}{Q_{\max}} = 1 - 0.2 \left(\frac{P_{wf}}{P_{ws}} \right) - 0.8 \left(\frac{P_{wf}}{P_{ws}} \right)^2 \dots (1)$$

Despejando:

$$P_{wf} = P_{ws} \left(\frac{-0.2 + \sqrt{3.24 - 3.2 (q_0/q_{\max})}}{1.6} \right)$$

TAMANO UNICO DE LA T.R.
 T.R. 5 1/2" D.E.
 3400 RPM

RANGO OPTIMO

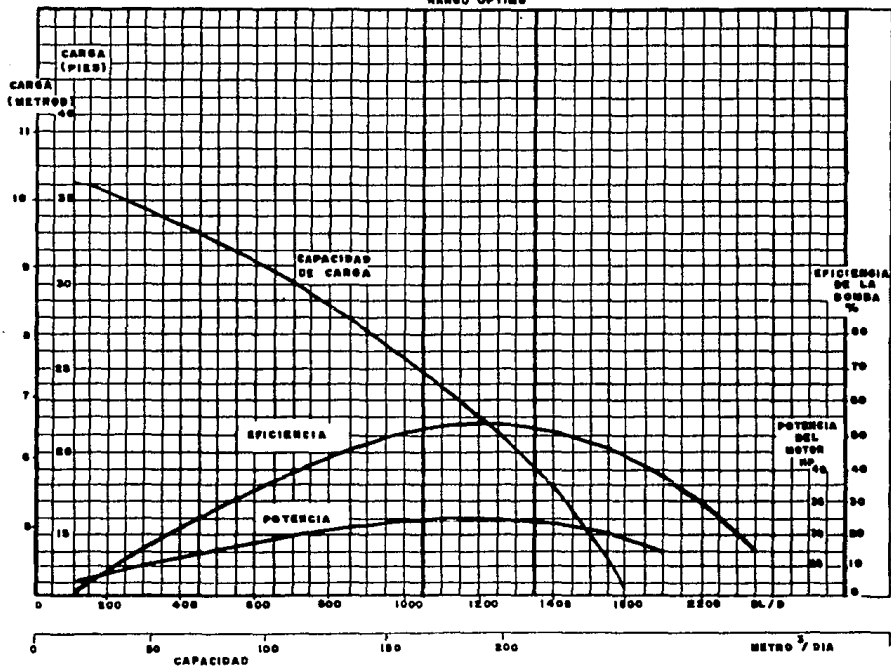


FIG. 3.1 CURVAS CARACTERISTICAS DE LA BOMBA

Es conveniente mencionar que para el caso en que la presión de fondo fluyendo está por debajo de la presión de saturación, el comportamiento de la relación gasto-presión no es una función lineal, por lo tanto para predecir el gasto en función de la presión se utiliza la fig. 3.1.1 a la que se le relacionó la ecuación (1) en caso de no contar con la figura anterior.

Forma de utilizar la curva de Vogel.- Conociendo un gasto y la presión de fondo fluyendo correspondiente y su presión estática o máxima, se procede de la siguiente manera:

- 1.- Determinar el valor de $P_{wf}/P_{ws} = F$.
- 2.- Con éste valor entrar a la curva de Vogel, moverse horizontalmente hasta encontrar la curva, luego moverse verticalmente para determinar el valor de la relación $Q/Q_{max} = q$.
- 3.- Determinar el valor de Q_{max} , con el valor de Q correspondiente a la presión de fondo fluyendo.

$$Q_{max} = Q/q$$

Que será el gasto máximo que el pozo puede aportar.

El gasto a producir se determina por medio del índice de productividad del pozo. Para el caso, en el que el pozo

opere arriba de la presión de saturación, el comportamiento del índice de productividad es lineal, es decir:

$$J = Q/(Pws-Pwf) \dots\dots\dots(1.a)$$

Donde:

J = Índice de productividad (m³/día/kg/cm²)

Qo = Gasto total (m³/día)

Qmax = Gasto máximo (m³/día)

Pwf = Presión de fondo fluyendo (kg/cm²)

Pws = Presión estática de fondo (kg/cm²)

2) Determinar el perfil de presión ascendente, utilizando correlaciones de flujo multifásico o curvas características de presión, a partir de la presión de fondo fluyendo y la relación gas-líquido natural de la formación, hasta un punto en que la cantidad de gas libre a condiciones de flujo, menos el porcentaje de gas que el separador envía al espacio anular, es igual a la cantidad de gas libre que tolera la bomba. Punto "A" de la figura 3.2.

$$G_{l \text{ a c.f.}} = (RGA - Rs) \cdot Bg/Bo \left(\frac{m^3_{g \text{ a c.f.}}}{m^3_{o \text{ a c.f.}}} \right) \dots(2)$$

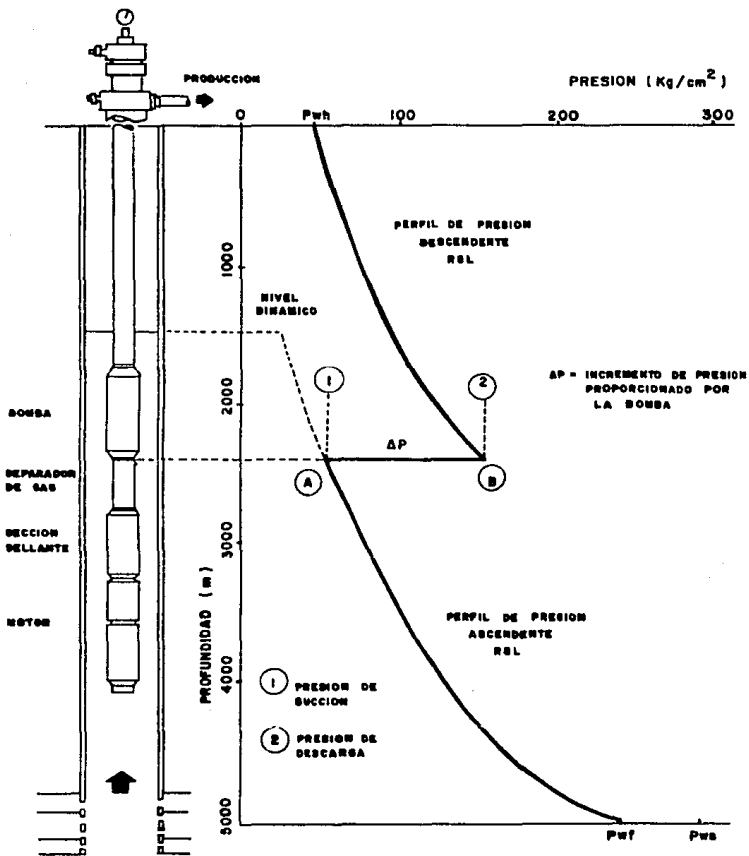


FIG. 3.2 PERFIL DE PRESIONES DE UN APAREJO DE BOMBEO ELECTROCENTRIFUGO.

Donde:

RGA = Relación gas-aceite (m^3g/m^3o a c.s.)

Bg = Factor de volumen del gas a c.f.

Bo = Factor de volumen del aceite a c.f.

Rs = Relación de solubilidad ($\frac{\text{Vol. gas dis. c.s.}}{\text{Vol. aceite a c.s.}}$)

(RGA-Rs) = Cantidad de gas liberado ($\frac{m^3g \text{ a c.f.}}{m^3o \text{ a c.f.}}$)

Si:

$$G1 \cdot (1. - Efsep) = G1tb \dots\dots\dots(2.a)$$

Se tiene: Profundidad
de colocación de -
la bomba y presión
de succión.

Donde:

Efsep = Eficiencia del separador de gas.

G1tb = Relación gas libre-aceite que tolera la -
bomba (m^3g/m^3o a c.e.)

3) Se calcula el perfil de presión descendente a partir de la presión requerida en la boca del pozo, con una relación gas-líquido igual al de la formación, menos la cantidad de gas libre enviado al espacio anular, hasta alcanzar la profundidad de colocación de la bomba. Punto "B" en la figura 3.2, donde la presión en este punto es la presión de descarga de la bomba.

El cálculo de los perfiles de presión se realiza utilizando correlaciones de flujo multifásico, en tuberías verticales para determinar caídas de presión. En el caso de este diseño se usó el método de Orkizewski¹³.

Es conveniente mencionar que la correlación anterior fue seleccionada, por ser la que más se aproximó a los resultados medidos de campo. Los otros métodos empleados fueron el de Fancher y Brown, y Beggs y Brill.

4) Determinar el incremento total de presión requerido: la diferencia entre las presiones de descarga y succión de la bomba es el incremento de presión necesario

para obtener en la superficie el gasto deseado.

INCREMENTO TOTAL DE PRESION = PRESION DE DESCARGA - PRESION DE SUCCION

O sea:

$$\Delta Pt = Pd - Ps \quad \dots\dots\dots (4)$$

5) Dividir el incremento total de presión en "n" incrementos iguales. El incremento total de presión en la bomba se divide en "n" intervalos iguales de presión.

$$\frac{\Delta Pt}{n} = \Delta Pi \quad \dots\dots\dots (5)$$

El volumen de fluidos que debe manejar la bomba - es el que llega a la succión, por lo que en las primeras etapas se requiere tener mayor capacidad volumétrica. Entendiéndose por capacidad volumétrica, como el rango de gasto - que una etapa de la bomba maneja con máxima eficiencia. Lo cual se señala en las curvas características de las bombas. Fig. 3.1.

Cabe señalar la importancia de que el gasto de líquidos obtenido en la superficie, no es el mismo que maneja la bomba, debido al gas disuelto en el aceite que se libera a lo largo de la tubería. Fig. 3.3.

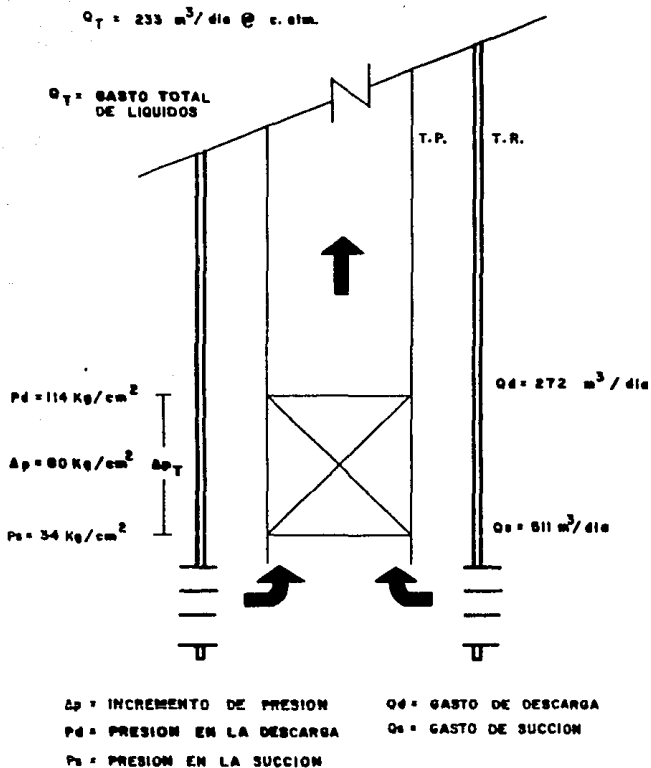


FIG. 3.3 EL GASTO DE LIQUIDOS OBTENIDO EN LA SUPERFICIE NO ES EL MISMO QUE SE BOMBEA.

En cada etapa de la bomba desde la succión hasta la descarga, se incrementa sucesivamente la presión de la mezcla, reduciendo su volumen.

Cuando dicho volumen disminuye considerablemente y su valor se encuentra por debajo de la máxima eficiencia de las primeras etapas, las siguientes requieren tener menor capacidad volumétrica. Por lo tanto, la bomba puede quedar constituida por una, dos o más etapas, las cuales manejarán con máxima eficiencia el volumen de fluidos en el interior de la bomba.

A fin de determinar la magnitud de los cambios de volumen y de establecer la necesidad de modificar o no, la capacidad volumétrica de las etapas, el incremento total de presión dividido en "n" incrementos iguales, dependiendo de las características de los fluidos, se ha encontrado que con valores de "n" entre 10 y 20, se obtienen resultados satisfactorios; aunque esto, no es una limitante del procedimiento, ya que "n" puede adquirir cualquier otro valor.

A continuación iniciando con $n = 1$:

6) Calcular el gasto, masa y densidad de la mezcla de aceite, gas y agua a las condiciones de presión inicial y final del incremento "n".

La realización de estos cálculos requiere conocer los valores del factor de volumen del aceite y de la relación gas disuelto-aceite. Para este efecto se utilizan las correcciones de Standing, considerando la temperatura constante a lo largo de la bomba.

$$V = B_o + \frac{Q_t - Q_o}{Q_o} * B_w + (RGA - R_s) B_g \left(\frac{m^3 \text{ g w a c.f.}}{m^3 \text{ a c. atm.}} \right) \dots (6)$$

Donde:

V = Vol. de aceite, gas y agua a c.f./Vol. de aceite a c. atm.

Q_t = Gasto total de líquidos (m³/día a c. atm.)

Q_o = Gasto de aceite (m³/día a c. atm.)

B_w = Factor de volumen del agua

$$M = RGA * \rho_g + \rho_o + \rho_w \left(\frac{WOR}{1 - WOR} \right) \left(\frac{kgm}{m^3} \right) \dots \dots \dots (7)$$

Donde:

M = Masa

ρ_g = Densidad relativa del gas (kg/m³)

ρ_o = Densidad relativa del aceite (kg/m³)

ρ_w = Densidad relativa del agua (kg/m³)

WOR = Porcentaje de agua (fracc.)

$$\gamma_m = \frac{M}{V} \left(\frac{\text{kgm}}{\text{m}^3 \text{ o } \text{w g a c.f.}} \right) \dots\dots (8)$$

Donde:

γ_m = Densidad de la mezcla

7) Calcular la densidad relativa promedio de la mezcla en el intervalo "n."

$$\gamma_{rm} = \frac{\gamma_m}{\gamma_w} \dots\dots\dots (9)$$

8) Calcular el gradiente de presión en los puntos inicial y final del incremento "n" y el gradiente de presión promedio entre estos puntos:

$$Gr = \frac{\gamma_m}{100} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2/\text{m}} \dots (10)$$

9) Calcular el gasto promedio en el intervalo "n." Será el promedio que se obtenga entre el gasto de succión y el gasto de descarga.

10) Elegir el grupo de curvas características de bombas que maneje el gasto promedio con máxima eficiencia. - A medida que se avanza con los incrementos de presión en el interior de la bomba, la gráfica de curvas características

seleccionada puede cambiar, lo cual significa que el volumen de la mezcla se ha reducido considerablemente, y que la capacidad volumétrica de las primeras etapas cae fuera del rango de máxima eficiencia; por lo que se selecciona otra gráfica que cumpla con este requisito. Esto da lugar a que el diseño de la bomba sea de dos etapas. Si la situación descrita se repite, la bomba puede tener más de dos.

11) Leer en las curvas características de la bomba seleccionada, la carga que desarrolla y la potencia que requiere por etapa, cuando maneja el gasto promedio.

12) Determinar el incremento de presión desarrollado por etapa, multiplicando la carga por el gradiente promedio:

$$\Delta Pe = \frac{H}{\text{etapa}} * Gr \frac{kg}{cm^2} \text{ etapa} \dots\dots (11)$$

Donde:

ΔPe = Incremento de presión desarrollado por etapa.

$\frac{H}{\text{etapa}}$ = Carga de columna de fluido desarrollado por etapa (m/etapa)

13) Calcular el número de etapas que se requiere para obtener el incremento de presión:

$$N_e = \frac{P_i}{P_e} \dots\dots\dots (12)$$

14) Calcular la potencia necesaria, multiplicando la potencia por etapa, por el número de etapas y por la densidad relativa promedio del intervalo "n":

$$HP = \frac{HP}{\text{etapa}} * N_e * \gamma_{rm} \dots\dots (13)$$

Donde:

HP = Potencia necesaria para impulsar las etapas del intervalo "n"

15) Sumar al valor de "n" la unidad y repetir los cálculos señalados a partir del punto (6), hasta que la presión final del incremento "n" sea igual a la presión de descarga de la bomba.

$$P_d = P_s + \sum_{n=1}^n \frac{\Delta P_t}{n} \dots\dots (14)$$

El número total de etapas y la potencia total requerida, se obtienen sumando los valores calculados en los puntos 11 y 12 respectivamente, cada vez que se repiten los cálculos hasta "n" veces.

16) El motor se selecciona tomando en cuenta que su diámetro exterior deberá ser tal, que no presente impedimento para introducirse dentro del pozo. El voltaje del motor dependerá de la tensión eléctrica disponible en la superficie, y del espacio libre entre la unidad de bombeo y la tubería de revestimiento. Este espacio libre definirá el diámetro máximo que se puede emplear para el cable eléctrico; el cual debe cumplir con la condición de que la caída de voltaje, a través del mismo, no sea mayor del 20% del voltaje del motor.

En vista de lo anterior, y para facilitar los cálculos respectivos, los fabricantes han elaborado gráficas - que pueden aprovecharse para determinar rápidamente el voltaje del motor, el calibre del cable eléctrico y la caída de voltaje a través del mismo.

En caso de que el voltaje de operación del motor difiera considerablemente del disponible en la superficie, - deberá instalarse un transformador que proporcione el voltaje de operación necesario y cuya capacidad deberá ser:

$$KVA = \frac{\sqrt{3} \times V \times I}{1000} \dots (15)$$

En donde el voltaje de operación "V" es igual al voltaje del motor más la caída de voltaje a través del cable

eléctrico, e "I" es la corriente eléctrica (amp).

17) A continuación se seleccionará un protector, o sección sellante, con un diámetro adecuado al resto de la instalación, el cual evitará que los fluidos del pozo entren al motor, también se escogerá un separador de gas para facilitar la eliminación del gas libre en la succión de la bomba.

18) El paso siguiente consistirá en determinar el tipo de tablero de control que es necesario instalar en la superficie. Dicho tablero deberá proyectarse para manejar el voltaje de operación. Su capacidad, en (hp), debe ser -- cuando menos igual a la potencia del motor. El tipo de información y control que se desee obtener en la superficie, determinará la clase de equipo que debe instalarse en el tablero.

Finalmente se escogerá un cabezal de diseño especial que permita el paso del cable eléctrico y que sea adecuado para las tuberías instaladas en el pozo. Además, deberán seleccionarse flejes metálicos, en cantidad y tamaño conveniente, para sujetar el cable eléctrico a la tubería de -- producción, a la bomba y al protector. Se recomienda que los flejes se dispongan a intervalos de cinco metros en la tubería, aproximadamente, y que se utilicen unos 25 flejes para sujetar el cable a la bomba y a la sección sellante.

Por último, se seleccionará toda una serie de -
aditamentos que faciliten el transporte, instalación y opera
ción de la unidad, tales como: carretes para el cable, válvu
las de retención y de drene, cajas metálicas para traslado -
de la bomba y motor.

CAPITULO IV

EFFECTOS, INFLUENCIAS Y CONSIDERACIONES QUE ALTERAN EL DISEÑO

El diseño de una instalación de bombeo electrocentrífugo, comúnmente es muy sencillo; pero requiere la consideración de varios factores. Primeramente, es importante la selección de la profundidad de colocación de la bomba con el objeto de obtener el gasto deseado de producción. Cada bomba tiene su propio rango de flujo con el cual es más eficiente, y está menos sujeta al desgaste mecánico prematuro. Una buena información del comportamiento de afluencia, tanto del pozo como del yacimiento, ayudarán a prevenir un sobredimensionamiento de la bomba, el cual puede dar como resultado un flujo intermitente si el pozo disminuye su aportación.¹⁴

Segundo, la bomba debe ser diseñada para producir el incremento de presión necesario para llevar el fluido del pozo hasta la superficie, y mantener la presión requerida en la cabeza del pozo. En el bombeo electrocentrífugo la importancia radica en la selección correcta del número de etapas, por lo que una buena información del comportamiento de flujo será, como se mencionó, de mucha importancia.

Tercero, el comportamiento de la bomba y los requerimientos del motor también se ven afectados por las caracte

rísticas de la mezcla del fluido que es bombeado. Por esta razón, los factores que deben tomarse en consideración son: el gas libre, temperatura, viscosidad, emulsiones, arenas y parafinas, siendo los más importantes.

IV.1 CONSIDERACIONES ACERCA DEL FLUIDO

IV.1.1 Gas Libre

Un volumen excesivo de gas en la succión de la bomba, puede influir en el funcionamiento de la misma de diversas maneras:

a) La presencia excesiva de gas origina una área de carga inestable (incremento de presión), o menor que la diseñada para el óptimo gasto de flujo para esa etapa en particular. Esta característica es más notable en las etapas radiales.

b) Para capacidades más altas que la diseñada para el óptimo gasto de flujo, ocurre la "cavitación." Un gran incremento en la presión o carga, para un flujo dado, es evidencia de cavitación.

c) Las cantidades pequeñas de gas pueden ocasionar fluctuaciones en la carga del motor. Estas se detectan por medio de variaciones de corriente en la gráfica del amperí-

metro del motor. La intermitencia de corriente provoca que disminuya la carrera de vida y confianza del sistema de bombeo en su totalidad.

Cuando se diseña el sistema de bombeo electrocentrífugo, es de suma importancia conocer la cantidad de gas libre que la bomba puede tolerar, y compararla con las condiciones del gas existentes en el fondo del pozo. Los fluidos viscosos contienen pequeñas burbujas que pueden actuar como un fluido homogéneo, al presentarse valores altos de porcentaje por volumen de gas presente.

Es importante que la cantidad de gas libre existente a la profundidad de colocación del aparato de bombeo, no sea mayor a la relación de $1\text{m}^3\text{gas}/1\text{m}^3\text{aceite}$, para así minimizar la interferencia del gas en las curvas características de la bomba.

Si la cantidad de gas libre que entra a la bomba excede el máximo permitido, su eficiencia de trabajo se verá substancialmente reducida.

Finalmente, también debemos considerar el efecto del gas sobre el cable eléctrico sumergible. El exceso de gas absorbido por el aislante puede causar la ruptura cuando se recoge en la superficie.

IV.1.2 Influencia de la Temperatura

El calor limita el rango de operación del sistema - electrocentrifugo. Cada componente del aparejo tiene diferentes limitaciones de temperatura que se deben considerar cuando se diseña el sistema.

El motor puede operar confiablemente hasta temperaturas de 325°F (163°C). Los factores limitantes son:

- a) Cojinetes - Temperatura máxima de trabajo 325°F (163°C)
- b) Embobinado del Motor - Temperatura máxima 400°F (204°C)
- c) Aislamiento - Temperatura máxima 500°F (260°C)
- d) Conectores del Motor - Temperatura máxima 400°F (204°C)

La sección sellante también tiene limitaciones de - temperatura, debido a que los dos tipos existentes más comunes utilizan sellos mecánicos y operan hasta temperaturas de 325°F (163°C).

Las restricciones de temperatura que limitan al cable eléctrico sumergible, se deben a su material aislante. - Los aislamientos comunes, tales como polinitrilo o polipropileno, resisten temperaturas sólo de 200°F (93°C). Por encima de esta temperatura, el polinitrilo se vuelve quebradizo, mientras que el propileno se reblandece, pudiendo originarse así un corto circuito."

Actualmente se utilizan cables especiales para aplicaciones con temperaturas por encima de los 400°F (204°C). Sin embargo, en pozos con temperaturas mayores a 300°F (149°C), las fuerzas corrosivas y el gas combinados con la temperatura, causan fallas prematuramente.

Por lo anterior podemos resumir que la temperatura que exista en el fondo del pozo no deberá exceder el rango de temperatura máxima para el que está diseñado el aislamiento del motor y cable. Por cada 18°F (10°C) que se exceda la temperatura máxima de operación, la vida esperada del motor y cable se reducen 50%. Los cables disponibles que operan exitosamente a 350°F o más, serán más costosos conforme la temperatura sea mayor.

IV.1.3 Viscosidad

Los líquidos viscosos también influyen en el diseño del sistema electrocentrífugo. Los líquidos con alta viscosidad disminuyen la curva de capacidad de carga, reduciendo la eficiencia y haciendo que la más alta eficiencia ocurra a un gasto menor.

Otros factores limitantes son el incremento del número de etapas y potencia requerida del motor al aumentar la viscosidad.

La profundidad del pozo y la cantidad de gas disuelto en el fluido, también deben ser considerados cuando se determine la viscosidad máxima permitible para cualquier instalación.

IV.1.4 Consideración de la Emulsión en el Diseño

Entre otros factores limitantes está el tipo de emulsión a manejar. Muy poco se conoce acerca de este problema, y sus efectos son evaluados comúnmente por ensaye y error.

En ocasiones se debe hacer un ajuste para el grado de fracción de agua, ya que su efecto recae en la variación de la viscosidad del líquido.

La curva en la figura 4.1 se ha utilizado con éxito en el estado de California (USA); dicha curva proporciona un factor de corrección, que se determina por medio de la fracción de agua que emplea la viscosidad del líquido.

Por ejemplo, suponemos un fluido que es bombeado en una etapa de la bomba, con una viscosidad de 200 SSU (Segundos Seivol Universal) y un 40% de fracción de agua; de acuerdo con la gráfica, el factor de corrección por viscosidad sería de 3.3. Por lo que el comportamiento de esta etapa sería evaluada para 660 SSU (3.3×200 SSU), tal que la bom-

ba requeriría más etapas y un motor más grande.

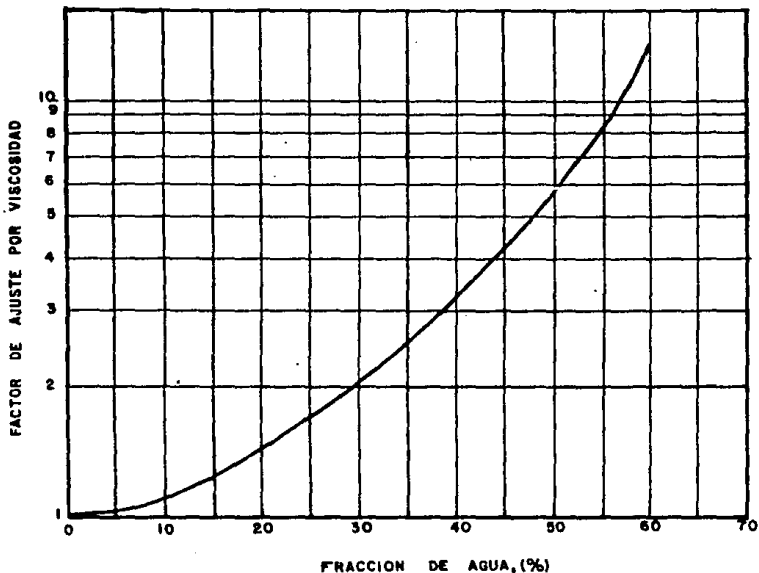


FIG. 4.1 AJUSTE POR VISCOSIDAD

IV.2 CONSIDERACIONES DEL ESTADO MECANICO

IV.2.1 Empacadores

La manera preferente de instalar una bomba electrocentrífuga es sin empacador, tal que la tubería de producción

quede colgada. Puede instalarse un empacador, pero significa una instalación especial, debido a que el cable de potencia al motor debe pasar a través del empacador. Si este se requiere en el pozo, su selección se hará cuidadosamente, - de modo que la bomba tenga sobre sí muy poco o nada de peso a compresión. Un empacador permanente, utilizando sellos del tipo largo, trabajaría satisfactoriamente, tomando en cuenta que la tubería de producción se alarga cuando la bomba empieza a mover grandes volúmenes de líquidos, y ejercerá una compresión sobre la bomba si no se hacen los ajustes necesarios.

En resumen, si se requiere del uso de empacadores, se utilizará uno que pueda colocarse sin que la bomba o tubería de producción queden sujetas a compresión.

IV.2.2 Pozos Desviados

La bomba electrocentrífuga está diseñada para operar generalmente en una posición vertical. Sin embargo, - puede operar en pozos desviados. La bomba en sí misma, operará en posición aproximadamente vertical cuando sea necesario. El límite de desviación de la vertical se determina - frecuentemente por la capacidad de la unidad para mantener - la separación entre el aceite del motor y el fluido del pozo. Para unidades diseñadas con una barrera flexible entre el - aceite del motor y el fluido del pozo, el límite de desvia-

ción cambia.

IV.2.3 Profundidad de Colocación de la Bomba

Existen limitaciones específicas de profundidad para el sistema electrocentrífugo, dependiendo del tamaño del equipo a utilizar. Las limitaciones están dadas por la presión de ruptura del material, la potencia requerida para levantar el fluido hasta la superficie, y la carga en los cojinetes de la sección sellante.

La presión de ruptura para los componentes sumergibles varía de acuerdo al diámetro del motor; la serie 400 - está restringida a 5,023 lb/pg² ó 11,586 pies; serie 513 limitada a 4,073 lb/pg² ó 11,471 pies; serie 675 limitada a - 2,681 lb/pg² ó 6,184 pies; y la serie 875 limitada a 4,320 - lb/pg² ó 9,966 pies.

Los cojinetes de la sección sellante están limitados a la presión que pueden resistir. La serie 400 de la sección sellante tiene un máximo de limitación presión-profundidad de 3,925 lb/pg² ó 9,052 pies respectivamente. La serie - 675 se ve limitada por la potencia del motor más que por cualquier otra restricción de los cojinetes.

NOTA: Las limitaciones por profundidad son expresadas en carga dinámica, basada sobre una densidad

de 1.0. La cantidad de fluido mantenido por encima de la entrada de la bomba, deberá ser considerada cuando se calcule la máxima profundidad de colocación de la bomba.

IV.2.4 Arenas y Parafinas

Las arenas y parafinas también pueden restringir el rango de operación del equipo, cuando se encuentran suspendidas en el fluido, pero no existe una manera confiable de medir sus efectos durante el trabajo del equipo.

Las bombas de diámetros pequeños tienden más fácilmente a atascarse por la arena, que las de diámetro más grande. Para minimizar dichos efectos en pozos con mucha arena, se trata de que la velocidad del gasto de flujo en forma ascendente sea muy lenta, para evitar que la bomba se vea perjudicada por una obstrucción durante su funcionamiento. Sin embargo, el mejor indicador es la experiencia que se tenga del área en particular donde se encuentre la instalación.

Es importante evaluar las repercusiones de cada uno de los factores ya mencionados, cuando se diseñe un sistema electrocentrífugo. Equipos recientes, como el controlador de velocidad variable, nuevos materiales para cable sumergible y separadores de gas, pueden minimizar de forma notoria estos factores limitantes.

C A P I T U L O V

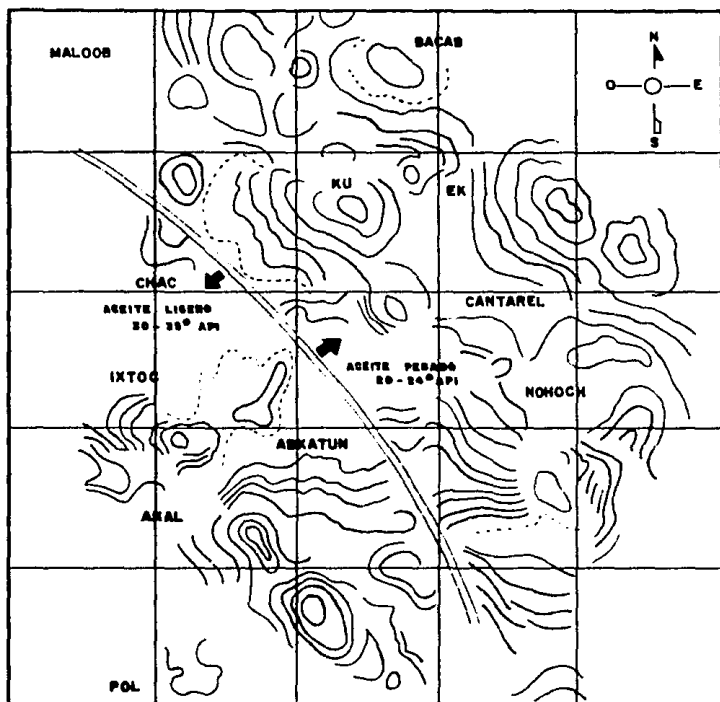
APLICACION DEL BOMBEO ELECTROCENTRIFUGO EN POZOS MARINOS

La explotación de la Bahía de Campeche principió en junio de 1979, con la producción del Campo Cantarell. A la fecha se han descubierto 11 campos productores, con pozos que varían en profundidades desde 1,200 a 3,600 m.

El aceite que se está explotando en la zona marina de - Campeche, tiene una tendencia bien definida en cuanto a su - densidad; los aceites más ligeros se encuentran en la parte sur-oeste, siendo el más ligero el del Campo Chac, de 33° -- API, y el más pesado el del Campo Ek, de 16° API. (Ver Fig. 5.1)

V.1 INSTRUCTIVO DEL EMPLEO DEL PROGRAMA "ELECTROCENTRIFUGO"

Con el objetivo de analizar en forma integral y práctica el flujo de fluidos desde el yacimiento hasta la "boca" - del pozo, se diseñó el aparejo de bombeo electrocentrifugo - mediante un programa de cómputo, adaptándolo a una forma con - versacional para facilitar su manejo; la selección automática de los métodos de cálculo de caídas de presión que más se ajustan a datos medidos, la programación de correlaciones pa



LOS ACEITES MAS LIGEROS SE ENCUENTRAN EN LA PARTE SUR - OESTE SIENDO EL MAS LIGERO EL DEL CAMPO CHAC, DE 35° API, Y EL MAS PESADO EL DEL CAMPO EK, DE 16° API.

FIG.5.1 DENSIDAD DEL ACEITE EN EL GOLFO DE CAMPECHE

ra el cálculo de propiedades PVT en función del perfil de temperatura determinadas en forma exponencial.

El programa de cómputo se ha puesto en práctica con resultados satisfactorios. Una de las primeras aplicaciones fue analizar las correlaciones de flujo multifásico en tuberías verticales, como la de Orkiszewski, Beggs y Brill, y por último Fancher y Brown, dado que fueron las correlaciones que más se aproximaron a los datos medidos.

V.1.1 ESTRUCTURA DEL PROGRAMA DE COMPUTO

El programa se encuentra estructurado de manera que su procesamiento y resultados son de la forma conversacional, lo que significa que mediante la pantalla de la computadora solicita al usuario la opción de trabajar entre las diversas opciones de cálculo; a continuación, pregunta por cada uno de los datos requeridos para su proceso, y finalmente pide que se le indique la forma en que debe proporcionar los resultados de acuerdo a las opciones que para este fin tiene.

A continuación se procede en forma modular a las indicaciones y la formulación que solicita el programa de cómputo para su ejecución.

1.- TUBERIAS VERTICALES

Módulo para Entrada de Datos:

MODULO I

Datos de la prueba de producción del pozo

- a) Temperatura de Fondo del Pozo ($^{\circ}\text{F}$)
- b) Relación de Solubilidad Gas-Aceite (pie^3/bl)
- c) Gasto de Producción de Aceite ($\text{bl}/\text{día}$)
- d) Gasto de Producción de Agua ($\text{bl}/\text{día}$ a c.s.)
- e) Presión de Fondo Estática (lb/pg^2)
- f) Presión de Fondo Fluyendo (lb/pg^2)
- g) Gasto Deseado ($\text{bl}/\text{día}$ a c.s.)
- h) Gradiente Geotérmico ($^{\circ}\text{F}/\text{pie}$)

MODULO II

Datos de los fluidos producidos
(Propiedades de los Fluidos)

- a) Densidad del Aceite ($^{\circ}\text{API}$)
- b) Densidad Relativa del Gas
- c) Viscosidad del Aceite Muerto (cp)
- d) El Aceite es Volátil?
- e) Presión de Separación (lb/pg^2)
- f) Temperatura de Separación ($^{\circ}\text{F}$)
- g) Salinidad del Agua (%)

- h) Factor de Volumen del aceite (pie³/pie³)
- i) Relación de Solubilidad (pie³/bl)
- j) Correlaciones a Utilizar: Vázquez, Standing y Oistein

MODULO III

Datos de la Geometría de Flujo
(Datos del Estado Mecánico del Pozo)

- a) Profundidad del Pozo (pies)
- b) Profundidad del Intervalo Productor (pies)
- c) Diámetro Exterior de la T.R. (pg)
- d) Diámetro Interior de la T.R. (pg)
- e) Diámetro Exterior de la T.P. (pg)
- f) Diámetro Interior de la T.P. (lb/pg²)
- h) Eficiencia del separador (%)

Correlaciones utilizadas por el Programa de Cómputo
para el cálculo de las propiedades de los Fluidos.

5.1 CORRELACION DE VAZQUEZ

5.1.1 Densidad relativa del gas

$$\gamma_{gs} = \gamma_{gp} (1 + 5.912 \cdot 10^{-5} \gamma_o T_s \log(P_s/114.7))$$

Donde:

γ_{gs} = Densidad relativa del gas resultante de una separación a 100 lb/pg² manométrica.

γ_{gp} = Densidad relativa del gas obtenida a las condiciones de separación de P_s y T_s .

Ps = Presión de Separación Real en lb/pg² abs.

Ts = Temperatura de Separación Real, en °F

5.1.2 Relación de Solubilidad

$$R_s = C_1 \cdot \gamma_{gs} \cdot p^{C_2} \exp(C_3(\gamma_o / (T + 460)))$$

Dónde:

R_s = Relación de Solubilidad (pie³/bl)

γ_o = Densidad del Aceite (°API)

T = Temperatura (°F)

Los valores de los coeficientes son:

<u>Coefficientes</u>	<u>γ_o ≤ 30° API</u>	<u>γ_o > 30° API</u>
C1	0.0362	0.0178
C2	1.0937	1.1870
C3	25.7240	23.9310

5.1.3 Factor de Volumen del Aceite

$$B_o = 1 + C_1 R_s + C_2 (T - 60) \cdot (\gamma_o / \gamma_{gs}) + C_3 R_s (T - 60) (\gamma_o / \gamma_{gs})$$

Los valores de los coeficientes son:

<u>Coefficientes</u>	<u>γ_o ≤ 30° API</u>	<u>γ_o > 30° API</u>
C1	4.677 · 10 ⁻⁴	4.67 · 10 ⁻⁴
C2	1.751 · 10 ⁻⁵	1.1 · 10 ⁻⁵
C3	1.811 · 10 ⁻⁸	1.33 · 10 ⁻⁹

5.2 Correlación de Standing

5.2.1 Presión del Aceite Saturado

$$P = \left[18 \left(\frac{R}{\gamma_{gs}} \right)^{0.23} \frac{10^{0.00091(T)}}{10^{0.5125(\gamma_o)}} \right]$$

Dónde:

R = Relación Gas-Aceite, en (pie³/bl)

5.2.2 Relación de Solubilidad

$$R_s = \gamma_g \left[\frac{P}{18} - \frac{10^{0.0125 (\gamma_o)}}{10^{0.00091(T)}} \right] \frac{1}{0.83}$$

5.2.3 Factor de Volumen del Aceite

$$B_o = 0.972 + 0.000147 (^\circ F)^{1.175}$$

Dónde:

$$F = R_s (\gamma_g / \gamma_o)^{1/2} + 1.25 \cdot T$$

γ_g = Densidad relativa del gas (aire=1)

5.3 Correlación de Einstein

5.3.1 Relación de Solubilidad

Cálculo de P^* con:

$$\log P^* = -2.57364 + 2.35772 \log P - 0.703988 (\log P)^2 + 0.098479 (\log P)^3$$

Dónde:

P = Presión Media, en (lb/pg²)

$$\bar{R}_s = \gamma_g \left[\frac{P^* \gamma_o^{0.989}}{T^{0.133}} \right] \frac{1}{0.815}$$

5.3.2 Factor de Volumen del Aceite

Cálculo B_o^* con:

$$B_o^* = R_s (\gamma_g / \gamma_{rc})^{0.526} + 0.962 T$$

Donde:

γ_{ro} = Densidad Relativa del Aceite Producido
(Agua = 1.00)

$$\log (Bo-1) = -6.58511 \frac{1}{2} + 2.91329 \log Bo + -0.27 \cdot (\log Bo^*)^2$$

5.4 Correlación de Chew y Connally

5.4.1 Densidad del Aceite Saturado

$$\rho_o = \frac{62.4 \gamma_{ro} + 0.01362 R_s \gamma_{gd}}{Bo}$$

Donde:

ρ_o = Densidad del Aceite Saturado,
en (lbm/pie³)

5.4.2 Correlación para determinar la Viscosidad del Aceite Saturado (μ_o)

$$\begin{aligned} \mu_o &= a \mu_{om}^b \\ a &= 10.715 (R_s + 100)^{-0.515} \\ b &= 5.44 (R_s + 150)^{-0.338} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{om} &= 10^x - 1 \\ x &= Y T^{-1.163} \\ Y &= 10^Z \end{aligned}$$

$$Z = 3.0324 - 0.02023 \gamma_o$$

Donde:

μ_{om} = Viscosidad del Aceite Muerto.

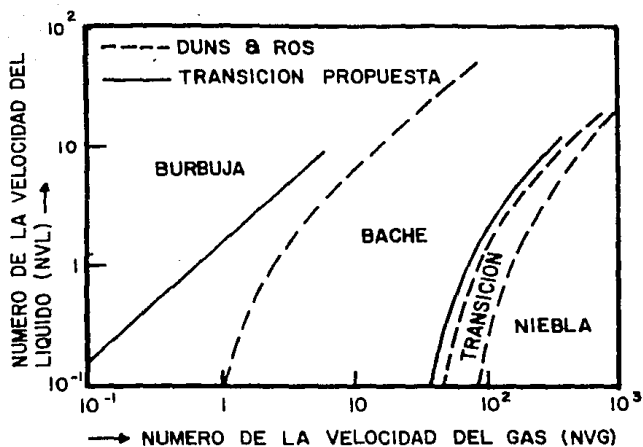


FIG. 5.2 COMPARACION DEL MODELO DE FLUJO DE TRANSICION CON EL DE DUNS & ROS PARA FLUJO VERTICAL MULTIFASICO.

Como parte complementaria e información adicional es conveniente contar con una serie de graficas y tablas, las cuales proporcionarán al usuario datos necesarios de las características del equipo a utilizar como sería tipo y tamaño de bomba, motor y cable. Dicha información será complementaria para que el programa de computo realice un diseño óptimo y confiable.

A continuación se explican en forma detallada todas y cada una de las graficas, desde el porque de su empleo hasta su importancia durante el desarrollo del diseño:

Conocidos el gasto deseado y la carga dinámica total, se procede a seleccionar la bomba en tablas proporcionadas por los fabricantes, en las que se indican el equipo más apropiado para profundidades y capacidades específicas. Para que dicha selección sea la más eficiente a las necesidades de producción deberá de analizarse y comparar las curvas de rendimiento de varias bombas y obtener aquella cuya eficiencia máxima se obtenga con un gasto igual o muy cercano al gasto deseado. Ver fig. 3.1 .

De las bombas disponibles para introducirse a través de la T.R. que se está utilizando, la que opere con la máxima eficiencia al gasto deseado será la bomba a emplear.

La importancia que tienen dichas curvas es que -
de ellas se determina:

- a) Número de etapas de la bomba.
- b) Potencia necesaria para impulsar la bomba.

De las curvas características se obtiene la siguiente información:

- Tipo de bomba
- Número de serie
- Ciclos por segundo (Hz)
- Velocidad (RPM)
- Eficiencia (%)
- Potencia al freno (HP/100 etapas)
- Capacidad de carga (pies/100 etapas)
- Rango de capacidad (bl/día)

El cálculo de la potencia del motor, necesaria para impulsar la bomba se realiza de la siguiente manera:

El motor sumergible se escoge con base a la potencia necesaria para elevar el fluido a la superficie a través de la tubería de producción, su voltaje depende -- tanto de los voltajes en que se fabrique, como de la fuerza y tensión eléctrica disponible en la superficie.

De tablas se obtiene la siguiente información -
para el motor:

- Número de serie
- Diámetro exterior (pg)
- Ciclaje (Hz)
- Potencia (HP)
- Voltaje (volts)
- Corriente (ampers)

Una vez que se tiene el tamaño de la bomba y el tipo de motor, se selecciona un protector, con un diámetro adecuado al resto de la instalación, éste es estándar y no tiene más parámetros que determinar.

La longitud del cable debe ser igual a la profundidad de la bomba, más 150 pies (45m) para conexiones superficiales en pozos terrestres, en pozos marinos apartir del lecho marino para la zona de "Cantarell" en promedio - se adicionan 124 pies (38 m) correspondientes al tirante de agua (profundidad) más la altura que exista hasta la superficie de la plataforma generalmente de 24 pies (7m) tomando en cuenta una longitud adicional para conexiones en superficie.

La selección del cable para transmitir la energía

eléctrica al motor, debe llenar ciertos requisitos, a fin de suministrar el voltaje que éste necesita:

- Resistente al uso mecánico
- Alta resistencia a la abrasión
- No debe sufrir deterioro al hacer contacto con atmósferas oxidantes en altas temperaturas.

En vista de lo anterior y para facilitar los -- cálculos respectivos, los fabricantes elaboran nomogramas que se utilizan para determinar el voltaje del motor, la caída de voltaje através del cable y así mismo su calibre. Con la gráfica correspondiente se obtienen las longitudes máximas del cable recomendado para motores con diferentes voltajes, corrientes y calibres.

El resto del equipo se selecciona de acuerdo -- con las condiciones del pozo, los resultados de los cálculos ya efectuados y el control e información que se desea obtener sobre la operación del sistema de bombeo.

No existe un criterio único para la selección -- del equipo de bombas electrocéntricas. Esta selección tiene que ser estudiada y dedicarse especial atención a sus --

requerimientos específicos o a sus limitaciones.

Después de tener en cuenta los aspectos técnicos, prácticos y otros, siempre queda sujeta la decisión final - en la selección del equipo, a las condiciones económicas - que prevalezcan en el momento dado del diseño.

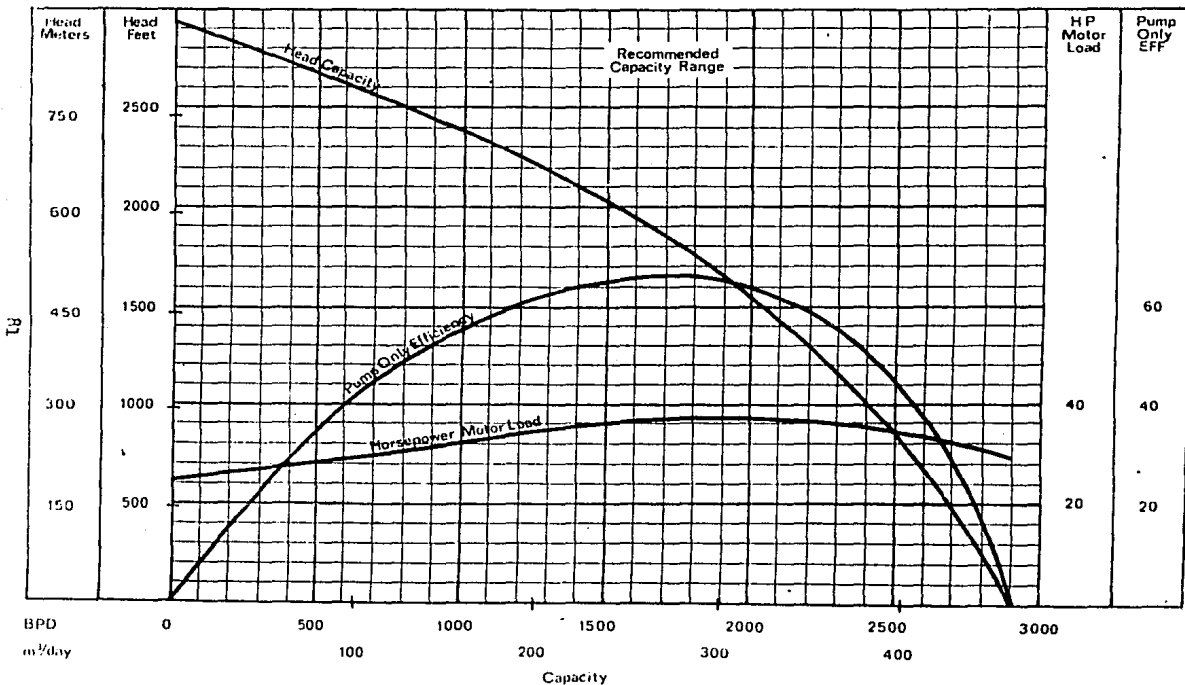
A continuación se presentan los nomogramas más utilizados en el diseño electrocentrífugo, que proporcionan comúnmente los fabricantes. En lo referido a la selección de la bomba se muestran las gráficas para los diámetros de T.R. más utilizados en la zona marina. Además se incluyen varios apéndices para motores y transformadores, pérdidas de voltaje a lo largo del cable y pérdidas de fricción en tuberías de producción.

Algunos fabricantes como "TRW REDA PUMP" y "KOBE-CILINE ESP" proporcionan dichos nomogramas, con una explicación detallada del manejo de los mismos.

Las gráficas y tablas que se muestran fueron obtenidas del libro del Dr. Kermit Brown "The Technology of Artificial Lift Methods-Volume 2b".

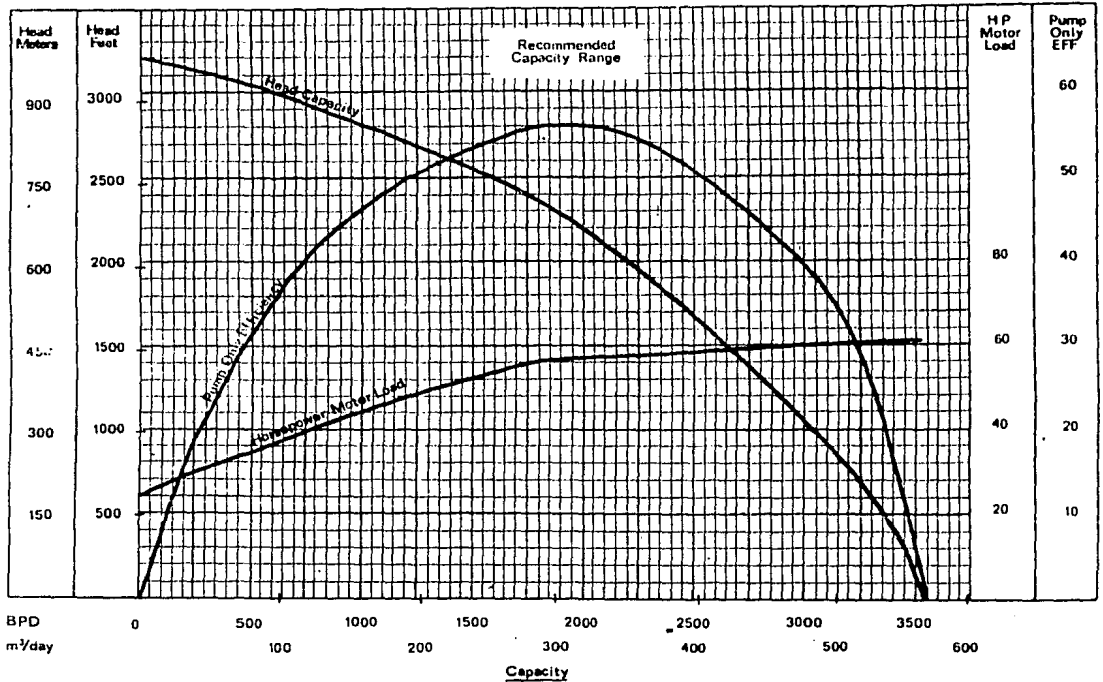
Reda Pump Performance Curve
 100 Stage - D51 - 60 Hz
 400 Series - 3500 RPM

Minimum Casing Size
 5 1/2 IN OD
 Check Clearances



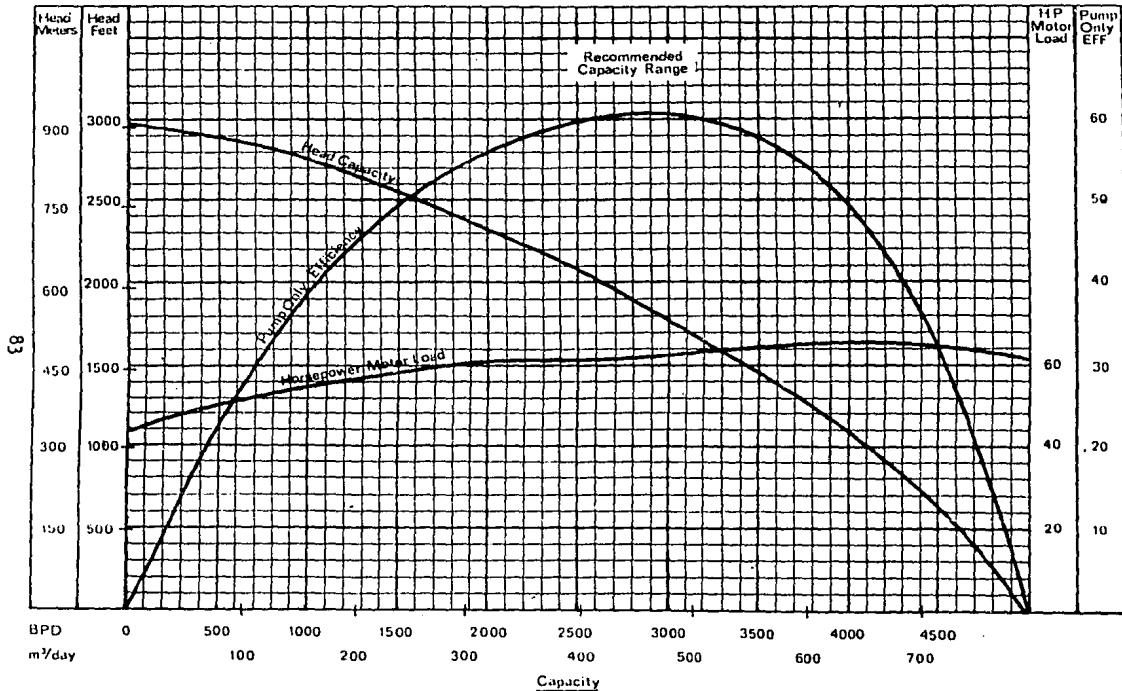
Reda Pump Performance Curve
 100 Stage - D55 - 60 Hz
 400 Series - 3500 RPM

Minimum Casing Size
 5 1/2" IN OD
 Check Clearances



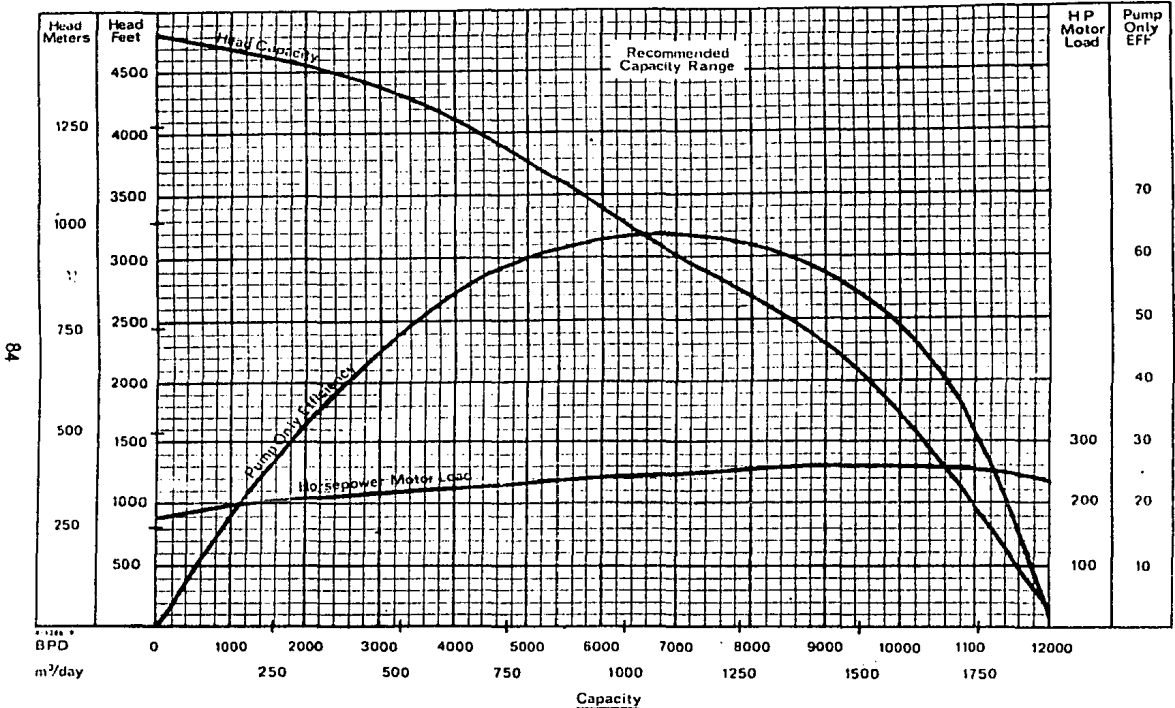
Reda Pump Performance Curve
 100 Stage - D82 - 60 Hz
 400 Series - 3500 RPM

Minimum Casing Size
 5/2 IN OD
 Check Clearances



Roda Pump Performance Curve
 100 Stage - G 220 - 60 Hz
 540 Series - 3500 RPM

Minimum Casing Size
 6 5/8 IN OD
 Check Clearances

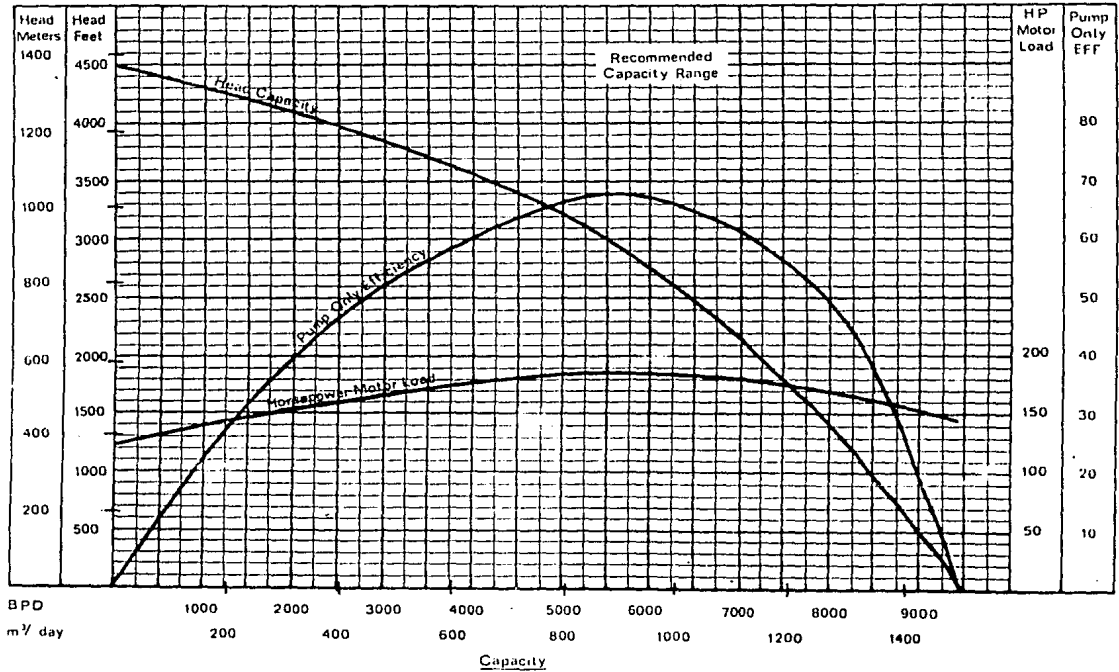


84

Reda Pump Performance Curve
 100 Stage - G180 - G011z
 540 Series - 3500 RPM

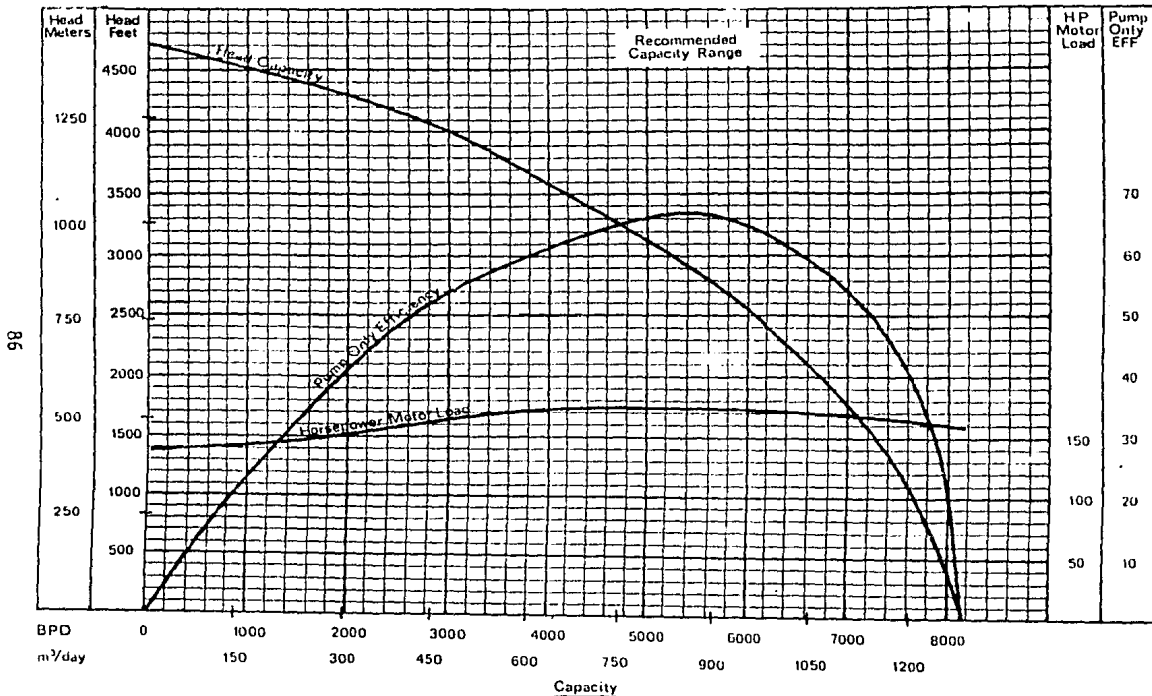
Minimum Casing Size
 6 7/8" IN OD
 Check Clearances

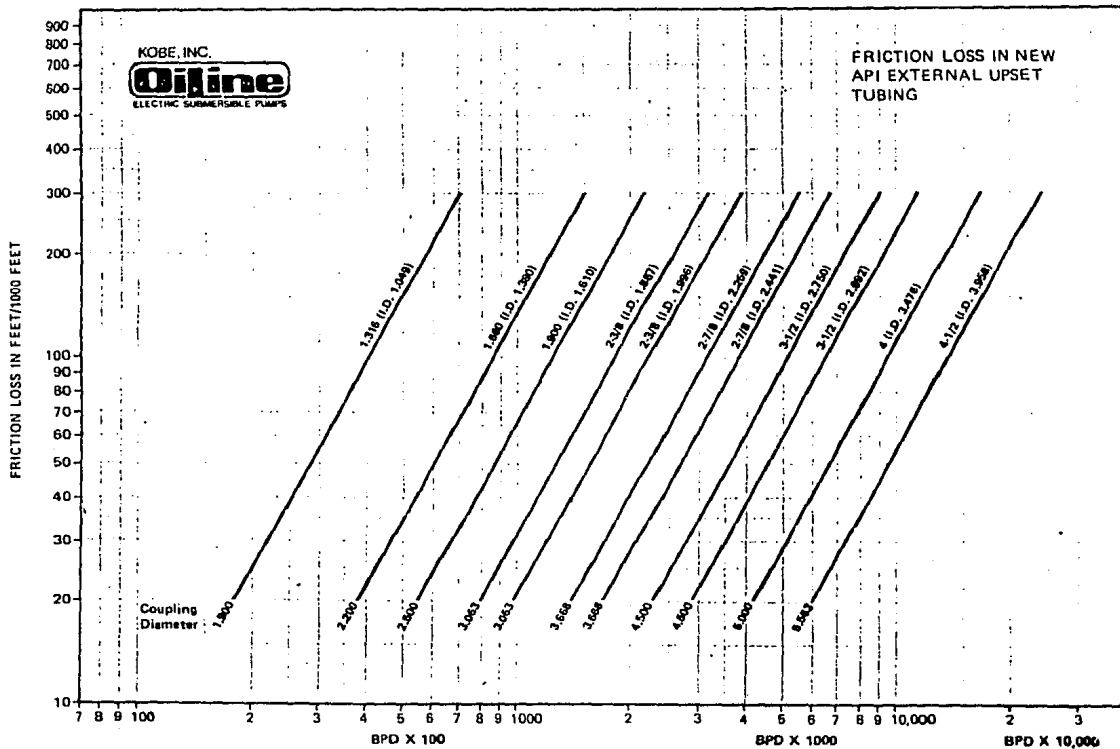
85

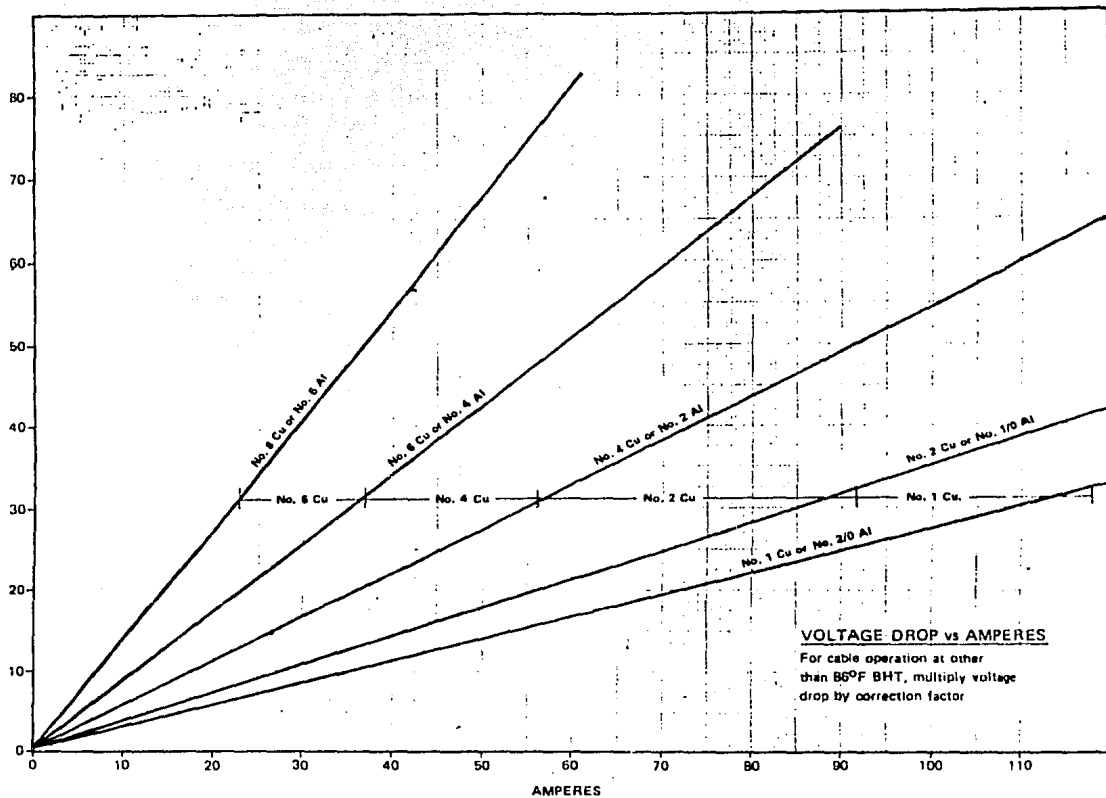


Reda Pump Performance Curve
 100 Stage - G 150 - 60 Hz
 540 Series - 3500 RPM

Minimum Casing Size
 6 7/8" IN OD
 Check Clearances

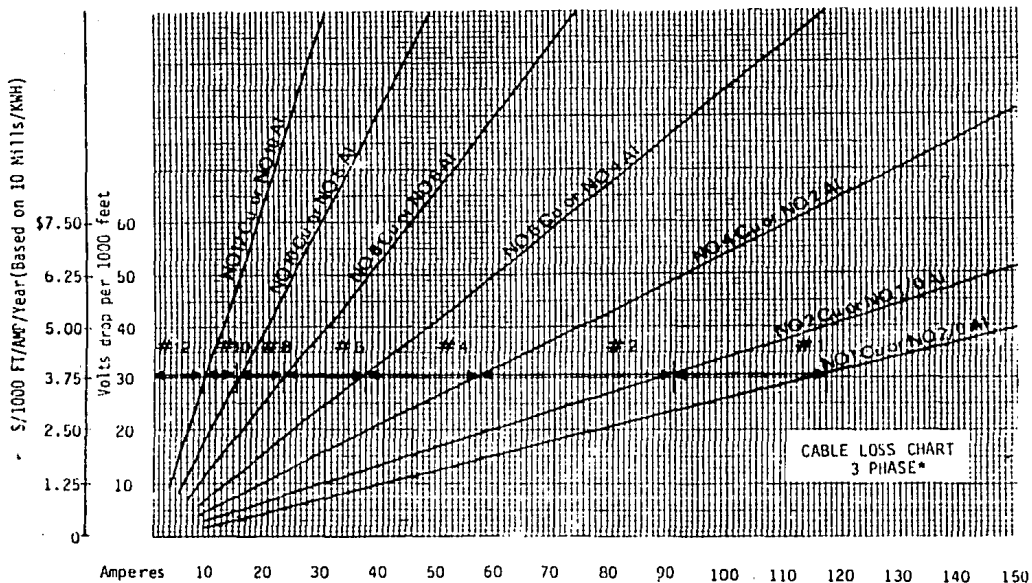






CABLE LOSS

AMBIENT TEMPERATURE 86°F**



Optimum Current Capacity Range in Red, Shows Copper Conductor Size

*For single phase line to line drop, increase values shown above by 15.5%

**For ambient temperature other than 86°F, multiply voltage drop shown above by factor from correction factor chart on page E-4.

TRW REDA

MOTORS 60 Hz

375 SERIES
(3.75" OD)

HP	Volts	Amp
7.5	415	13.5
10.5	400	20
	690	12
15	330	34
	415	27
19.5	415	35
	850	22.5
22.5	440	38.5
	750	22.5
25.5	650	29.5
	780	24.5

TANDEM MOTORS

30	630	35.5
39	575	51
	774	38
45	660	51.5
51	740	51
	1000	37
	1250	31
58.5	860	51
67.5	990	51.5
76.5	1110	51
90	1320	51.5
102	1480	51
112.5	1650	51.5
127.5	1850	51

738 SERIES
(7.38" OD)

HP	Volts	Amp
200	2300	53
220	1350	97
	2300	57
240	2300	64
260	2300	70

TANDEM MOTORS

400	2300	106
440	2000	131
480	2200	134
520	2300	140
600	3450	106
680	3200	140
720	3300	134

456 SERIES
(4.56" OD)

HP	Volts	Amp
10	440	15
15	440	23
	750	14
20	460	28
	760	17
25	420	38
	700	22
30	440	43
	765	25
35	400	55
	690	32
	800	27.5
40	450	57
	675	38
	790	32.5
	900	28.5
50	700	45.5
	840	38
	980	32.5
60	670	57
	775	50
	840	45
	1000	38
70	785	57
	980	45
	1170	38
80	900	57
	1120	45
	1350	38
90	1000	57
	1260	45
	1500	38
	2000	29
100	970	66
	1120	57
	1400	45
	2250	29
110	1080	65
	1240	57
120	1000	77
	1170	68
	1350	57
	2300	34

TANDEM MOTORS

140	1080	82.5
	2270	39
160	1270	80
	2160	47.5
180	2270	50
200	2140	59
220	2380	60
240	2250	70

540 SERIES
(5.43" OD)

HP	Volts	Amp
20	445	29
	762	17
30	445	44
	720	27.5
40	445	59
	670	39
	740	36
	890	30
50	430	75
	740	44
	920	33
60	445	87
	665	58
	755	52
	890	44
	990	39
70	775	58
	880	51
	1035	44
80	685	76
	770	68
	890	58
	1185	44
100	740	85
	855	74
	960	66
	1100	58
	2200	29
120	770	98
	890	85
	1330	57
	2200	32
130	835	98
	965	84
150	965	97
	1150	75
	2150	43
160	1015	99
	2230	45
180	1000	113
	2000	57
200	1160	105
	2200	53
225	1200	120
	2300	62.5

TANDEM MOTORS

240	2060	73
260	2250	67
300	2150	87
320	2230	88.5
360	1890	120
400	2200	115
480	2475	122
600	3320	115

**MOTORS (60 CYCLE, 3500 RPM)
RATING, SPECIFICATIONS AND PRICES
55 SERIES FOR 5 1/2" O.D AND LARGER CASING**

HP	Volts	Amps	Length	Weight, lbs.
15	430	22	5.8'	263
22 1/2	430	33	7.5'	350
	700	21		
30	430	44	9.0'	425
	720	27		
37 1/2	450	53	10.8'	512
	710	33		
	890	28		
45	750	38	12.5'	595
	1080	27		
52 1/2	750	44	14.3'	687
	1130	30		
60	720	53	15.8'	763
	1150	33		
75	1250	38	19.2'	935
90	1200	45	22.5'	1095
	2150	27		
105	1260	53	25.9'	1265
	2270	30		
120	1150	66	29.3'	1430
	2280	34		

70 SERIES MOTORS FOR 7" O.D. AND LARGER CASING

HP	Volts	Amps	Length	Weight, lbs.
30	430	45	5.1'	350
	725	27		
40	445	60	6.0'	415
	720	37		
	935	28		
50	750	41	7.7'	535
	975	32		
60	765	49	8.2'	590
	1110	33		
75	730	63	9.3'	685
	1160	40		
90	1165	47	11.1'	825
100	1200	51	12.9'	960
	2250	27		
125	1270	60	14.7'	1095
	2180	35		
150	1300	70	18.0'	1370
	2250	40		
180	1260	85	21.5'	1640
	2180	49		
200	2100	57	23.0'	1780
225	2320	58	25.0'	1915
245	2150	69	28.7'	2055
275	2300	72	30.1'	2325

**MOTOR SPECIFICATIONS
50 MOTORS (4.56 INCHES O.D.)**

Size horsepower	Voltage	Amperes	Length	Weight pounds
30	425	49	15'-0"	490
	735	29		
	960	22		
40	440	62	17'-0"	620
	715	38		
	980	28		
50	710	47	19'-0"	710
	1225	27		
60	1070	37	21'-0"	810
	1180	33		
70	1085	43	23'-0"	920
	1250	37		
80	1060	50	25'-0"	1030
	1240	43		
90	1190	49	27'-0"	1080
100	1100	58	29'-6"	1190
	1300	50		
120	1070	72	33'-6"	1420
	1300	59		
	2200	37		

TANDEM MOTORS

Size horsepower	Voltage	Amperes	Length	Weight pounds
140	2170	43	40'-0"	1840
	2500	37		
160	2120	50	44'-0"	2060
	2480	43		
180	1980	59	48'-0"	2180
	2380	49		
200	2200	59	52'-0"	2400

**CENTRILIFT®
SUBMERSIBLE
PUMPS
TYPE I SWITCHBOARD**

SWITCHBOARD PRICES

Type	Model	Price*	RATING			DIMENSIONS, in.				Weight, Lbs.
			Max. Volts	Max. Amps	Max. H.P.	Height	Width	Depth		
2C-1	D-35431	\$1,260.00	480	50	25	53	30	11	385	
3C-1	D-35432	1,470.00	480	100	50	53	30	11	390	
4C-1	D-35433	1,770.00	480	150	100	53	30	11	395	
5C-1	D-35434	2,450.00	480	300	200	53	30	11	400	
2B-1	D-35429	1,470.00	880	50	40	53	30	11	390	
3B-1	D-35430	1,625.00	880	100	75	53	30	11	395	
3AC-1	B-36025	2,625.00	1500	100	150	64	27	19	625	
4AC-1	B-36027	3,150.00	1500	150	250	64	27	19	630	
6W-1	D-35936	5,355.00	2500	200	400	62	29	31	1050	

*Price includes as standard control equipment: undercurrent shutdown; automatic restart, and recording ammeter, and over current shutdown.

CENTRIGARD® SWITCHBOARD

Type	Model	Price**	RATING			DIMENSIONS, in.				Weight, Lbs.
			Volts	Amps	H.P.	Height	Width	Depth		
2C-CG	C-39137	\$1,470.00	480	50	25	53	30	11	375	
3C-CG	C-38995	1,680.00	480	100	50	53	30	11	380	
4C-CG	C-39077	1,880.00	480	150	100	53	30	11	385	
5C-CG	C-39078	2,660.00	480	300	200	53	30	11	390	
2B-CG	A-39419	1,680.00	880	50	40	53	30	11	380	
3B-CG	A-39420	1,835.00	880	100	75	53	30	11	385	
3AC-CG	B-39001	2,825.00	1500	100	150	64	27	19	615	
4AC-CG	B-39076	3,360.00	1500	150	250	64	27	19	620	
6W-CG	B-39079	5,565.00	2500	200	400	62	29	31	1050	

**Price includes, as an integral part of the Centrigard® motor controller, undercurrent and overcurrent shutdown on each phase and direct three-phase current readout, together with an optional recording ammeter, and automatic restart. Purchase of Centrigard® motor controller (including mounting bracket, digital and terminal block) only - \$980.00
No control circuit wiring harness available for switchboards except those manufactured by Centrilit, Inc.
Service for installation of Centrigard® Controller charged at published rates on Page E-4
Repair and exchange of Centrigard® Motor Controller - \$450.00

**CENTRILIFT®
SUBMERSIBLE
PUMPS**

TRANSFORMER PRICES

CENTRILIFT TRANSFORMERS

Single-Phase, Oil-Filled, Outdoor (OFO) Type Transformers With Special Centrilift Winding
(Bank of three single-phase transformers required for three-phase operation.)

Size KVA	Price Each	Drawing Number	Voltage		Line Amps Series Secondary	Dimensions		Weight, Pounds
			Primary	Delta Secondary		Height	Diameter	
28	\$ 687.	D-32334	2,400/4,160	15 possible voltages 912-1310	37	42"	18"	480
28	677.	D-31437	7,200/12,470	1250-1750	28			
28	708.	D-32787	14,400/24,900	1900-2500	20	42"	18"	480
	810.	same			50			
37½	850.	as above	same as above	same as above	37	42"	16"	625
	887.				27			
	940.	same			68			
50	980.	as above	same as above	same as above	50	42"	20"	810
	1030.				35			
	1300.	same			100			
75	1320.	as above	same as above	same as above	75	48"	21"	1,025
	1340.				54			
					132			
100	1695.	D-33920	7,200/12,470	same as above	100	48"	23"	1,050
	1745.	D-33870	14,400/24,940		72			
					178			
135	2240.	D-35884	7,200/12,470	same as above	135	52"	32"	1,350
	2260.	D-35883	14,400/24,940		96			
					220			
167	2320.	D-35882	7,200/12,470	same as above	167	52"	32"	1,500
	2340.	D-35881	14,400/24,940		120			

Three-Phase, Oil-Filled, Outdoor (OFO) Type Auto Transformers With Special Centrilift Winding

KVA	Price Each	Drawing Number	Voltage		Line Amps Secondary	Dimensions			Pounds
			Primary	Secondary		Height	Width	Depth	
50	\$1030.	D-34013	440/460/480	750-1050	27	32"	28"	16"	650
	1125.	D-35975		800-1250	23				
	1280.	D-34013		750-1050	41				
75	1330.	D-35975	440/460/480	800-1250	35	32"	28"	18"	900
	1435.	D-34014		850-1450	30				
	1530.	D-34013		750-1050	55				
100	1810.	D-35975	440/460/480	800-1250	46	36"	30"	18"	1,120
	1860.	D-34014		850-1450	40				
	1785.	D-34013		750-1050	69				
125	1830.	D-35975	440/460/480	800-1250	58	36"	32"	18"	1,260
	1875.	D-34014		850-1450	50				
	2195.	D-34013		750-1050	82				
150	2240.	D-35975	440/460/480	800-1250	69	36"	38"	22"	1,400
	2280.	D-34014		850-1450	60				
	3225.	D-35975		800-1250	92				
200	3320.	D-34014	440/460/480	850-1450	80	36"	38"	22"	1,880
	3580.	D-35975		800-1250	115				
250	3760.	D-34014	440/460/480	850-1450	110	40"	38"	22"	1,920

V.2 EJEMPLO DE APLICACION

En la solución del diseño de bombeo electrocentrífugo intervienen gran cantidad de variables, por lo que puede dar como resultado un proceso largo y relativamente complejo. A fin de facilitar la ejecución de los cálculos necesarios, se elaboró un programa de cómputo que constituye un auxilio práctico para seleccionar la bomba y el motor requeridos para el bombeo electrocentrífugo.

Los cálculos se realizan para los pozos fluyentes y no fluyentes, verticales y desviados, lo cual constituye una ventaja para diseñar aparejos de bombeo electrocentrífugo para pozos en plataformas marinas.

La validez de los resultados del programa de cómputo, se verificarán al realizar un estudio consistente en analizar el diseño de aparejos de bombeo electrocentrífugo propuesto para cuatro pozos en la zona marina de Campeche: Ejemplo#1A, Ejemplo#2B, Ejemplo#3C y Ejemplo#4D.

Además para mayor veracidad y confiabilidad en los resultados, se obtuvieron factores para ajustar los datos calculados por el programa a los datos medidos para las propiedades PVT (Presión, volumen y temperatura) de los fluidos

Los datos medidos se obtuvieron del análisis PVT realizado por el IMP (Instituto Mexicano del Pétroleo), -- proyecto D-2300 de los Ings. Jesús Monter y Oscar Trejo.

Los resultados se presentan por medio de las siguientes gráficas. Ver figuras 1,2,3,4,5,6 y 7.

A continuación se presentan las características de los fluidos y estados mecánicos de los cuatro pozos en estudio. Ver tabla V.1

Nombre del Poro	Ejemplo#1A	Ejemplo#2B	Ejemplo#3C	Ejemplo#4D
Temp. Fondo (F)	248	302	221	243
Temp. Superf. (F)	190	180	158	140
Dens. aceite (API)	22	26	24	20
RGA (pie3/pie.)	115	128	73	73
Qo (bl/día)	11119	5110	10045	15102
Dens. rel. gas	0.900	0.68	0.927	0.930
hth (lb/pg2)	448	597	227	278
Aceite volátil?	NO	NO	NO	NO
Diám.ext. T.R. (pg)	8.50	7.0	7.0	7.0
Diám.int. T.R. (pg)	7.00	6.270	6.270	6.270
Diám.ext. T.P. (pg)	4.5	4.5	4.5	4.5
Diám.int. T.P. (pg)	3.958	3.958	3.958	3.958
Ang. inclinación (desde sup.)	72	74	59	62
Salinidad del agua (%)	0.10	0.10	0.10	0.10
Pres. Sep. (lb/pg2)	86	86	86	86
Temp. Sep. (F)	68	68	68	68
Prof. total (pies)	7049	11611	7849	10263
Carga de presión (lb/pg2)	100	100	100	100
Qw (bl/día)	0.0	0.0	0.0	0.0
Pws (lb/pg2)	2659	3786	2010	3870
Pwf (lb/pg2)	2603	3627	1990	3839
Prof. int. (pies)	7602	11102	7177	9460
Gasto deseado (bl/día)	15000	8000	13000	17000
eficiencia del separador (%)	0.30	0.30	0.30	0.30

Tabla V.1 Ejemplos de aplicación

METODO DE EINSTEIN

A TEMPERATURA CTE.

X DATOS CORREGIDOS CON FACTOR (1.2551)

Δ DATOS MEDIDOS

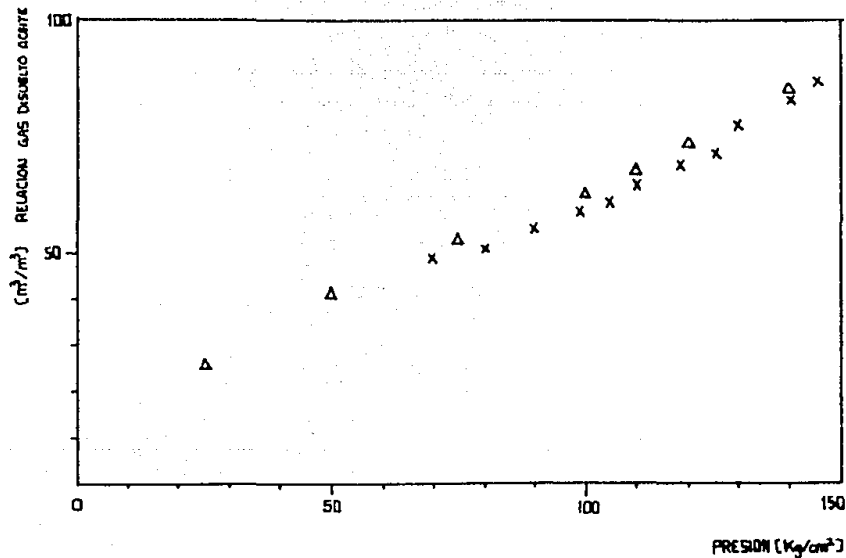


Fig. 1 VARIACION DE LA RELACION GAS DISUELTO-ACEITE CON LA PRESION

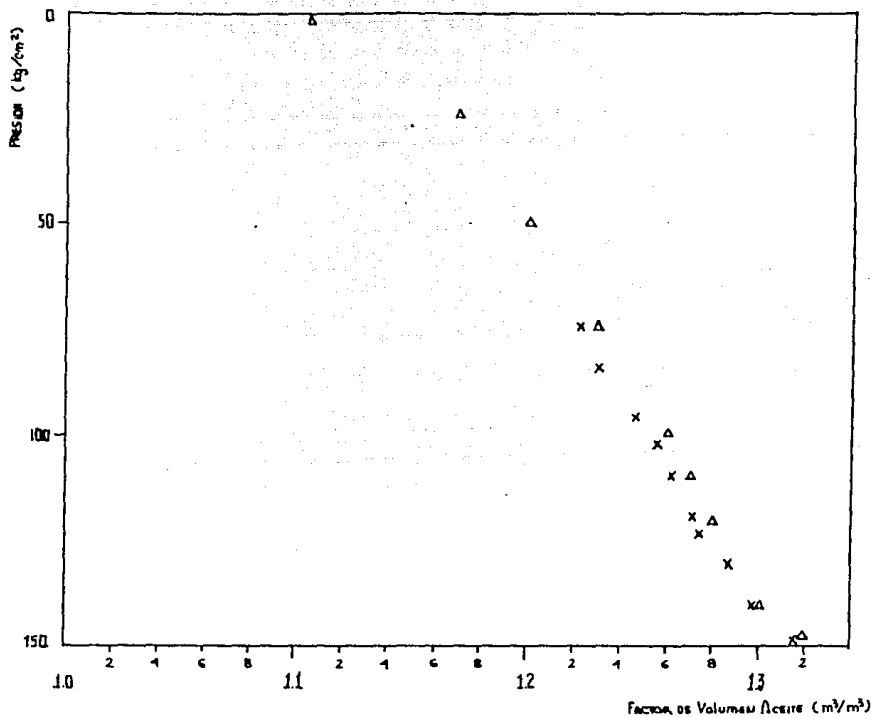
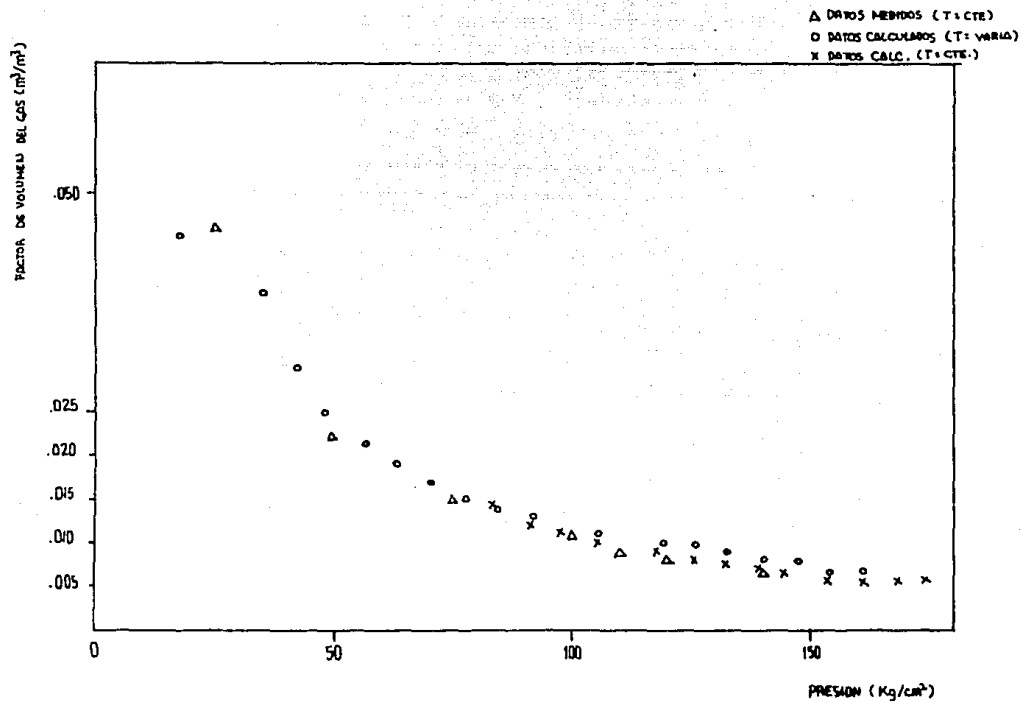


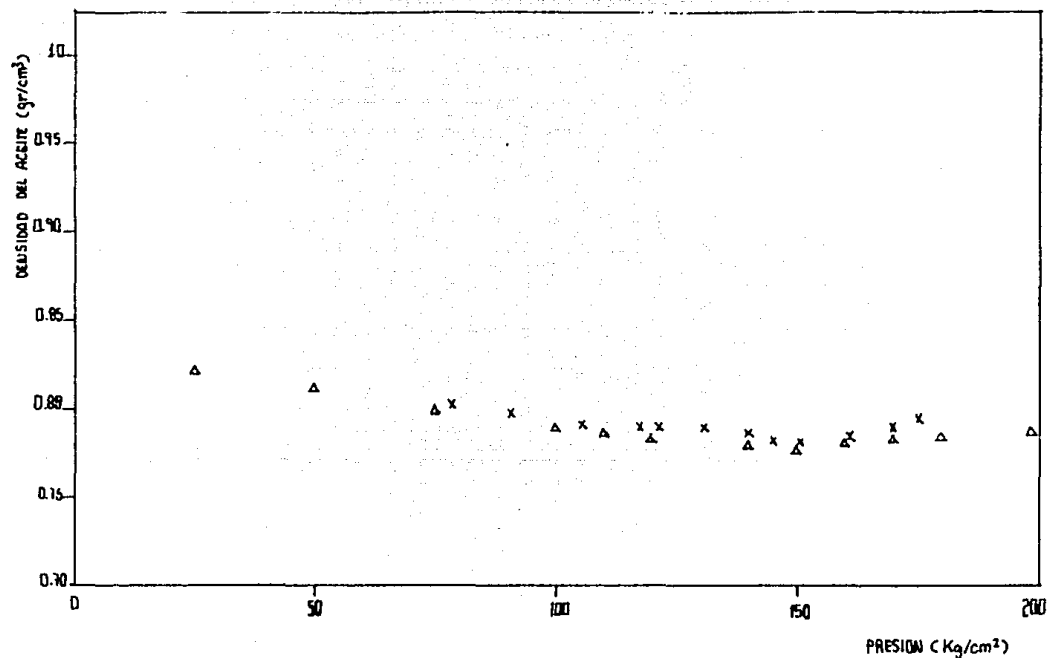
Fig. 2 VARIACION DEL FACTOR DE VOLUMEN DEL AIRE CON LA PRESION



MÉTODO DE CINSTEIN

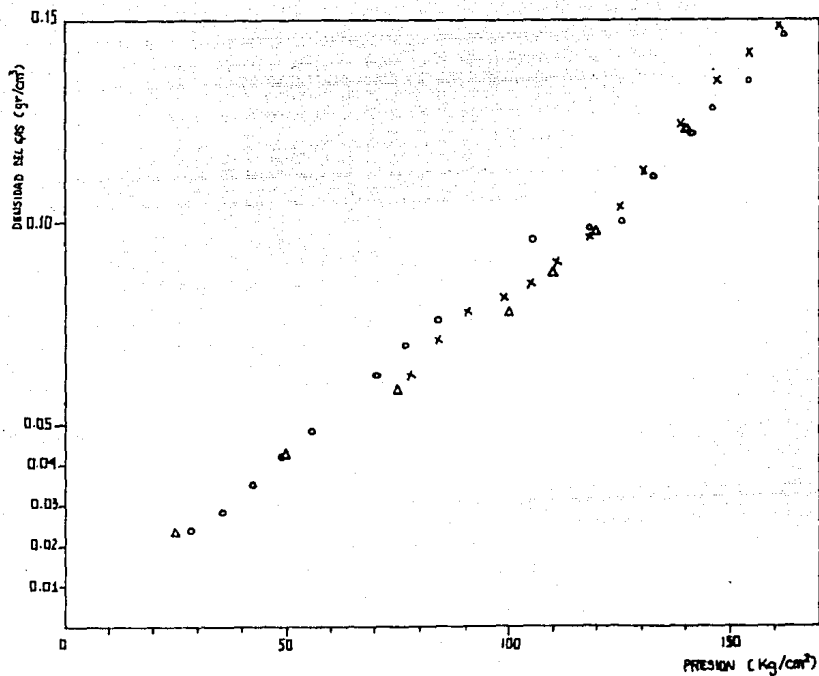
FIG. 3 VARIACIÓN DEL FACTOR DE VOLUMEN DEL GAS CON LA PRESION

△ TEMPERATURA CTF.
X DATOS CORREGIDOS CON FACTOR (0.9334)
△ DATOS MEDIDOS



METODO DE DENSIMETRO

Fig. 4 VARIACION DE LA DENSIDAD DEL ACEITE A C.Y. CON LA PRESION



Δ DATOS MEDIDOS (T=cte)
 ○ DATOS CALCULADOS (T=VW)
 X DATOS CALC. CON (T=CIE)

METODO DE CLAUSIUM

Fig. 5 VARIACION DE LA DENSIDAD DEL GAS A C.Y. CON LA PRESION

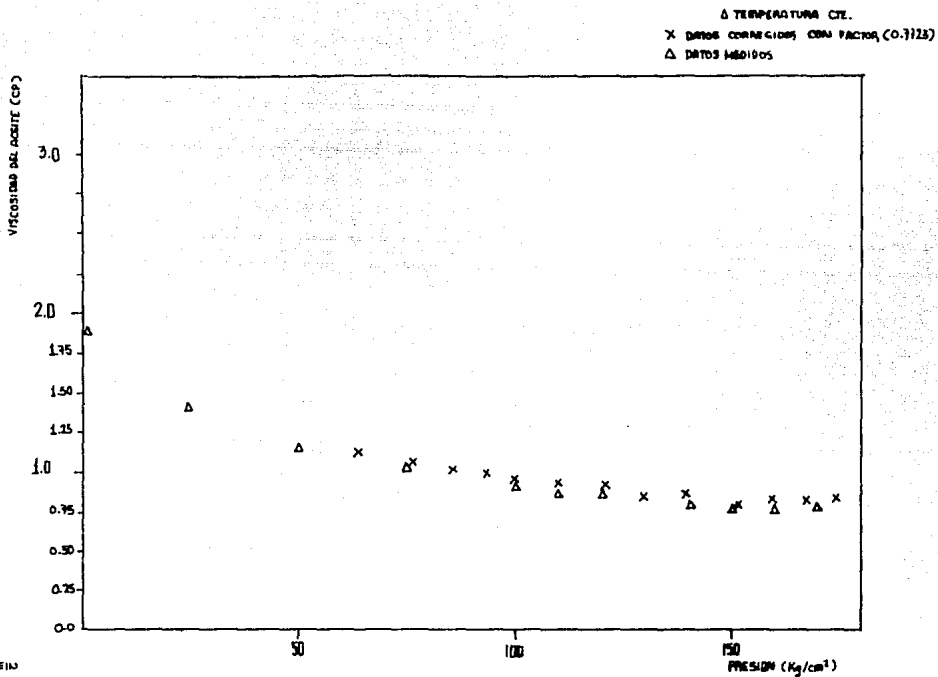


FIG. 6 VARIACION DE LA VISCOSIDAD DEL ACEITE A C.T. CON LA PRESION

103

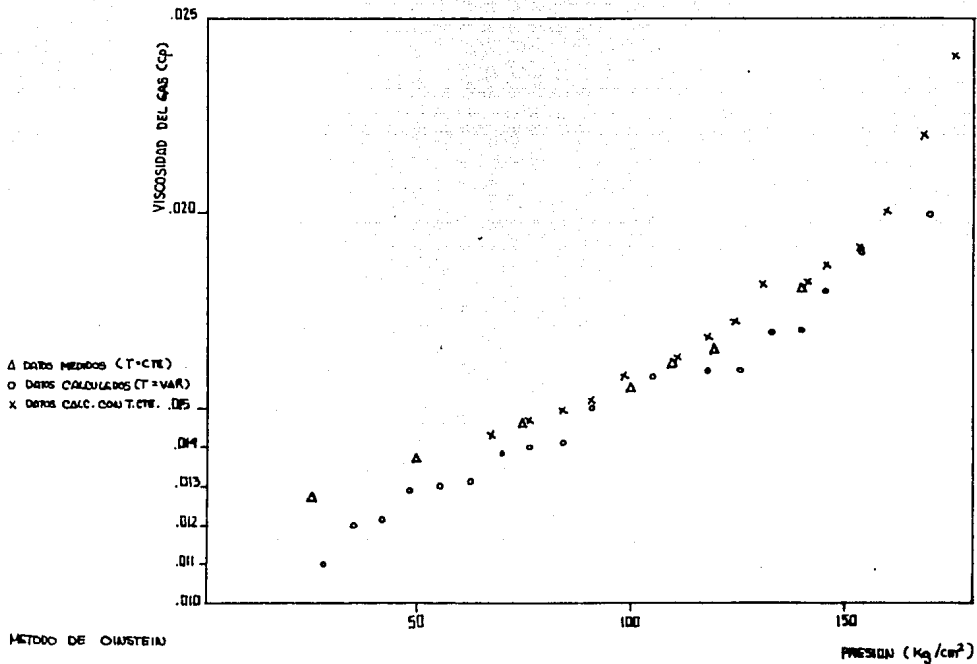


Fig. 7 VARIACION DE LA VISCOSIDAD DEL GAS A C.Y. CON LA PRESION

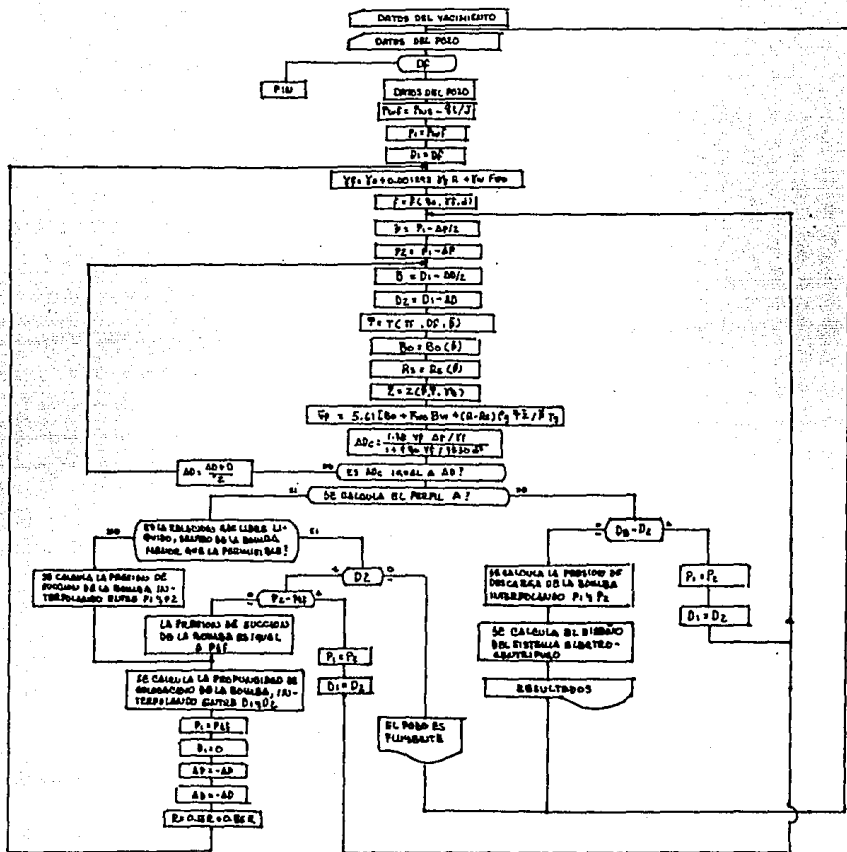


Fig. A.- DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DE CALCULO

```

11 PRINT TAB(10)'*****
12 PRINT TAB(10)'*****
14 PRINT TAB(10)'**
16 PRINT TAB(10)'**
18 PRINT TAB(10)'**          TESIS PROFESIONAL PARA LA OBTENCION
20 PRINT TAB(10)'**          DEL TITULO DE INGENIERO PETROLERO
22 PRINT TAB(10)'**
24 PRINT TAB(10)'**
26 PRINT TAB(10)'**          DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO
28 PRINT TAB(10)'**          E L E C T R O C E N T R I F U G O
30 PRINT TAB(10)'**
32 PRINT TAB(10)'**
34 PRINT TAB(10)'**          DIR. TESIS: ING. ALFREDO MOJICA SALGADO
36 PRINT TAB(10)'**
38 PRINT TAB(10)'**
40 PRINT TAB(10)'**          PRESENTAN: MARCO ANTONIO DE LA CRUZ MONROY
42 PRINT TAB(10)'**
44 PRINT TAB(10)'**          JORGE LUIS ALDAY REYES
46 PRINT TAB(10)'**
48 PRINT TAB(10)'*****
50 PRINT TAB(10)'          *****
52 PRINT TAB(10)'          *****
53 PRINT' OPRIMA LA LETRA C PARA CONTINUAR': X$=INPUT$(1)
IF X$<>'C' GOTO 53
55 PRINT'***** NOMBRE DEL POZO*':;INPUT;B$;PRINT B$
56 PRINT'***** TEMBH= TEMPERATURA DEL FONDO DEL POZO (F)=':;I
57 PRINT'***** TEMPERATURA EN LA SUPERFICIE (F)=':;INPUT;TSU;
58 PRINT'***** DENSIDAD DEL ACEITE (API)=':;INPUT;DO;PRINT DO
62 PRINT'***** RELACION DE SOLUBILIDAD GAS-ACEITE (PIE^3/BL)=':;
64 PRINT'***** GASTO DE PRODUCCION DEL ACEITE (CBL/DIA)=':;INPUT;R
66 PRINT'***** DENSIDAD DEL GAS=':;INPUT;DG;PRINT DG
68 PRINT'***** PRESION EN LA CABEZA DEL POZO (LBS/PG^2)=':;INPUT;PUH
70 PRINT'***** EL ACEITE ES VOLATIL (SI/NO)?=':;INPUT;A$;PRINT A$
72 PRINT'***** DIAETR=DIAMETRO EXTERIOR DE LA T.R.(PGS)=':;INPUT;DIAE
74 PRINT'***** DIAITR=DIAMETRO INTERIOR DE LA T.R.(PGS)=':;INPUT;DIAIT
80 PRINT'***** DIAETP= DIAMETRO EXTERIOR DE LA T.P.(PGS)=':;INPUT;DIAETP
82 PRINT'***** DIAITP= DIAMETRO INTERIOR DE LA T.P.(PGS)=':;INPUT;DIAITP
83 PRINT'***** PRESION DE BURBUJEO (LBS/PG^2)=':;INPUT;PBUR;PRINT PBUR
86 PRINT'***** AI= ANGULO DE INCLINACION DE LA TUBERIA=':;INPUT;AI;PRINT AI
90 PRINT'***** NC= LA SALINIDAD DEL AGUA (X)=':;INPUT;NC;PRINT NC
91 PRINT'***** PB= LA PRESION REAL DE SEPARACION (SEPARADOR) (LBS/PG^2)=':;INP
92 PRINT'***** TS= LA TEMPERATURA REAL DE SEPARACION (SEPARADOR) (F)=':;INPUT
93 PRINT'***** LTAL= LA PROFUNDIDAD TOTAL (PIES)=':;INPUT;LTAL;PRINT I
94 PRINT'***** CAP= CAIDA DE PRESION EN LA TUBERIA (LBS/PG^2)=':;INPUT;I
95 PRINT'***** RTEW=GASTO DE PRODUCCION DE AGUA (CBL/DIA @CS.)=':;INPUT;I
96 PRINT'***** PWS= PRESION DE FONDO ESTATICA (LBS/PG^2)=':;INPUT;PWS;PR
97 PRINT'***** PWF1= PRESION DE FONDO FLUYENDO (LBS/PG^2)=':;INPUT;PWF1;PR
98 PRINT'***** PROF= PROF. DEL INTERVALO PRODUCTOR (PIES)=':;INPUT;PROF;PR
100 PRINT'***** RTED= GASTO DESEADO (CBL/DIA @ CS.)=':;INPUT;RTED;PRINT RTED
102 PRINT'***** EFICIENCIA DEL SEPARADOR=':;INPUT;SEF;PRINT SEF
104 PRINT:
105 PRINT'          SELECCIONAR EL METODO PARA EL CALCULO DE '
106 PRINT'          LAS PROPIEDADES PVT DE LOS FLUIDOS.
107 PRINT:
108 PRINT' VAZQUEZ (1), STANDING (2), OISTEIN (3), LABORATORIO (4)=':;INP
109 IF D<>1 THEN 110 ELSE 114
110 IF D<>2 THEN 111 ELSE 114
111 IF D<>3 THEN 112 ELSE 114
112 IF D<>4 THEN GOSUB 4000 ELSE 114
113 GOTO 108
114 PRINT;PRINT'
          CUENTAS CON FACTORES DE CORRECCION
          PARA RGA, RD, ND Y MD (SI/NO)=':;INPUT;CZ;PRINT CZ
115 PRINT'

```



```

      ELSE CORRE= FOTEMANILABPENTER*
291 PRINT:PRINT*                                RESULTADOS
292 PRINT *          POZO: ;B#;#              METODO DE CALCULO:;CORRE#
294 PRINT* GASTO DE ACEITE=;RTEO;#            RELACION GAS-ACEITE=;R
295 PRINT* PROF.#, 'PRESION', 'TEMP',#      GRAD. DE PRESION'
296 PRINT* [PIES], '[LB/PG^2]', '[X#F]',#   DENS.#, 'FRICC.#'
297 PRINT;DPROF,;INT(PRSIWF)
298 PRSIWF=PRSIWF-CAP
299 PH=PRSIWF-(CAP/2)
301 REM*****
302 REM*          LA PRESION DE LA SECCION OBTENIDA ES DE=;PM;[LB/PG^2]'
303 REM*****
305 TM=DPROF*GRDGT+TSUPER
323 REM *****
324 REM *          LA TEMPERATURA DE LA SECCION ES =;TM;[C F]'
325 REM *****
327 GOSUB 5000
329 VSL=(0.01191*RTEO*BO)/(DIAITP^2)
330 VSG=(0.002122*RTEO*(R-RS)*BO)/(DIAITP^2)
332 VSM=VSL+VSG
336 VTB=VSG/VSM
338 LIB=1.071-0.2281*(VSM^2)/(DIAITP/12)
341 RTEG=3.27*10^-7*ZD*RTEO*(R-RS)*(TM+460)/PH
342 NL=(0.15726*MO*(1/(DA*SFTO^3)))^0.25
343 RTEL=6.49*10^-5*RTEO*BO
344 NUL=1.938*VSL*((DA/SFTO)^0.25)
345 NUG=1.938*VSG*((DA/SFTO)^0.25)
346 NDI=10.072667*DIAITP*((DA/SFTO)^0.5)
347 REM* CONVERSION DEL ANGULO DE INCLINACION A RADIANES *
348 IF AI=0 THEN 349 ELSE 350
349 AI=90
350 ANG=AI*3.1416/180
351 LS=50+36*NUL
352 LM=75+84*(NUL^0.75)
354 IF O#='OR' THEN 358 ELSE 355
355 IF O#='FB' THEN 361 ELSE 356
356 IF O#='BB' GOTO 364
358 GOSUB 1000
360 GOTO 367
361 GOSUB 2000
362 GOTO 367
364 GOSUB 3000
365 GOTO 367
367 RBOH=R*(1-SEF)
368 WOR=RTEW/RTEO
369 MPT=350*(DR+NDR*(DENW/62.428))+0.0764*R*BD
370 APE=DIAITP*IC06/(RTEO*MPT)
373 GOSUB 700
374 IF TPAS=0 THEN 400 ELSE 375
375 IF M#='SI' THEN 382 ELSE 376
376 IF M#='NO' GOTO 377
377 ALCU1=CAP/GPT;LS1=LS1+ALCU1
378 DPROF=PROF-LS1
379 IF LS1>=PROF THEN 400 ELSE 380
380 PRINT;INT(DPROF),;INT(PRSIWF),;INT(TM),;IGREL,;IGPF
381 GOTO 298
382 ALCU1=CAP/GPT;LS1=LS1+ALCU1
383 DPROF=PROF-LS1
384 IF LS1>=PROF THEN 400 ELSE 390
390 PRINT;INT(DPROF),;INT(PRSIWF),;INT(TM),;IGREL,;IGPF
391 GOTO 298
400 PRINT***** CALCULO DEL SISTEMA ELECTROCENTRIFUGO *****
401 PSUC=PRSIWF/PDES=PRSIW
402 CPAP=PDES-PSUC
403 NS=CPAP/200;ICBEC=CPAP/NS
404 ANR=NR-TNT/MR

```

```

408 NS=INT(NS)
410 GOTO 414
412 NS=INT(NS)+1
414 PRG(1)=PSUC
416 FOR I=2 TO 2*NS
418 PRS(I)=PRS(I-1)+200
420 NEXT I
421 SPGO=141.5/(131.5+D0)
422 VOLSUC=(RTED*BO)+(RTED*(ABS(R-RS))*BG)
424 DG1=(26.97*DG*14.7)/(10.73*520)
425 W GAS=DRGR
426 WOIL=SPGO*350
428 WTD=WGAS+WOIL
430 COTANQ=WTD*RTED
432 WVOLSU=VOLSUC*350
434 SEGE1=COTANQ/WVOLSU
436 GRAU=SEGE1*0.433
438 FOR I=1 TO (NS+1)
440 PM=PRS(I)
442 TH=DPROF*GRDGT+TSPER
444 GOSUB 5000
446 UNS1=(RTED*BO)+(RTED*(ARS(R-RS))/5.6145)
447 UNS(I)=(UNS1+RTED*BW*FW)*.9
448 MTOT=350*(SPGO+WDR*(DENW/62.4))+0.0764*RDG
449 DNS(I)=(MTOT*RTED/(UNS(I)*5.615))*1.7
450 GRAD(I)=DNS(I)/144
452 NEXT I
454 SUM1=0:SUM2=0
456 FOR I=1 TO NS
458 RATR(I)=(UNS(I)+UNS(I+1))/2
460 RNSH(I)=(DNS(I)+DNS(I+1))/124.8
462 GRADI(I)=(GRAD(I)+GRAD(I+1))/2
464 DPR(I)=-((200*2.31)/RNSH(I))-10000
466 IF I=1 GOTO 478
471 PRINT*
472 PRINT*           SELECCION DE LA BOMBA ADECUADA PARA EL GASTO CALCULADO *
473 PRINT*           LEER LA CARGA Y POTENCIA DE SU RESPECTIVA GRAFICA*
474 PRINT*
475 INPUT*TIPO DE BOMBA=*;K$:INPUT*EFICIENCIA DE LA BOMBA [X]=*;BOL
477 INPUT* CARGA [PIES]=*;CAR:INPUT*POTENCIA [HP]=*;POT
478 HUN(I)=200/((CAR/100)*GRADI(I))
490 MPO(I)=(POT/100)*RNSH(I)*HUN(I)
462 SUM1=SUM1+HUN(I)
484 SUM2=SUM2+HPO(I)
486 NEXT I
488 PRINT:PRINT
490 PRINT:SUM2;* DE ACUERDO A ESTE VALOR DE POTENCIA EN [H.P.]
491 PRINT* DIMENSIONAR EL MOTOR PARA SU RESPECTIVA BOMBA*:PRINT
492 PRINT******
494 PRINT** SELECCION DEL MOTOR,LEER LA POTENCIA,VOLTAJE Y AMPERAJE NECESARIO
496 PRINT******
498 INPUT* TIPO DE MOTOR*[M]:INPUT*POTENCIA REDUCIDA [HP]=*;HPD
499 INPUT* VOLTAJE [VOLTS]=*;VOLT:INPUT*AMPERAJE [AMPERES]=*;AMP:PRINT:PRINT
500 PRINT* PARA LA SELECCION DEL CABLE SE CUENTA CON LOS SIGUIENTES CABLES*
501 PRINT* EN FUNCION DE LA TEMPERATURA DE FONDO QUE ES DE-*;TEMPH;[CF]:PRINT
502 PRINT* [A] 3KV-REDALANE=GALV.(BUENO PARA 180 [F])
503 PRINT* [B] 3KV-REDAREB=GALV.(BUENO PARA 300 [F])
504 PRINT* [C] 3KV-POLIETILENO=(BUENO PARA 140 [F]):PRINT
505 PRINT* QUE TIPO DE CABLE ES SU SELECCION=*;:INPUT;V$:PRINT V$
506 IF V$="A" THEN CABLE$="3KV-REDALANE":GOTO 509
507 IF V$="B" THEN CABLE$="3KV-REDAREB":GOTO 509
508 IF V$="C" THEN CABLE$="3KV-POLIETILENO":GOTO 509
509 PRINT* SECCIONAR EL TIPO DE CABLE DE ACUERDO A SU GRAFICA*
510 PRINT* CORRESPONDIENTE*;*INPUT* CUAL ES LA CAIDA DE VOLTAJE [V/1000 PIES]*
511 INPUT* TIPO DE CABLE [M.A.]:CARM

```

```

510 VOL51=(PRCR/1000)+(PERV/1000)+VOLT
511 VOL52=VOL51+VOL5
514 VOL53=VOL51+VOL52
515 KVA=VOL53*AMP*4.05*1.73/1000;KVA1=KVA/3
516 PRINT"*****"
517 PRINT"*****"
518 PRINT"***** DISEÑO DEL APAREJO ELECTROCENTRIFUGO *****"
519 PRINT"*****"
520 PRINT"*****"
521 PRINT"*****"
522 PRINT TAB(25);"D A T O S":PRINT
523 PRINT TAB(10);"POT":TAB(25);"PRODUCCION":TAB(40);"FLUIDOS":PRINT
524 PRINT TAB(10);"T.R.":TAB(25);"DIATR":TAB(25);"PWS":TAB(40);"DO":TAB(40);"CAPI"
525 PRINT TAB(10);"I.P.":TAB(25);"DIATR":TAB(25);"PWF":TAB(40);"ID":TAB(40);"IDG"
526 PRINT TAB(5);"INT.PROD.":TAB(25);"PIES":TAB(40);"RO":TAB(40);"RTEO":TAB(40);"CBL/DIA"
527 PRINT TAB(40);"RW":TAB(25);"CBL/DIA @ C.S.":TAB(40)
528 PRINT TAB(28);"RGA":TAB(28);"TEMPERATURA MEDIA":TAB(28);"CF3"
529 PRINT TAB(28);"PTH":TAB(28);"CBL/PD23"
530 PRINT TAB(28);"GASTO DESEADO":TAB(28);"CBL/DIA @ C.S.":TAB(40)
531 PRINT"*****"
534 PRINT
535 PRINT TAB(10);"RELACION GAS/ACILIC EN LA BOMBA":TAB(25);"PIES/3/10.0"
536 PRINT TAB(25);"NUMERO DE SECCIONES":TAB(40)
537 FOR I=1 TO NS
538 PRINT"PRESTIONE (C) PARA CONTINUAR":TAB(25);"X6-INPUT*(1)"
539 IF X6<>"C" GOTO 542
540 PRINT"SECCION NUMERO":TAB(25);"I"
541 IF NS=I THEN PRS(I)=PRS(I)+1
542 PRINT TAB(20);"PRESION":TAB(20);"VOLUMEN DE LA":TAB(20);"DENSIDAD DE LA"
543 PRINT TAB(20);"CBL/PD23":TAB(20);"PIES/3/BL":TAB(20);"CBL/M/PIE/33"
544 PRINT TAB(20);"PSUC":TAB(20);"INT(PRS(I))":TAB(20);"INT(UNS(I))":TAB(20);"INT(INS(I))"
545 PRINT TAB(20);"PDES":TAB(20);"INT(PRS(I))":TAB(20);"INT(UNS(I))":TAB(20);"INT(INS(I))"
546 PRINT TAB(20);"GASTO":TAB(20);"No. DE ETAPAS":TAB(20);"DINELIA"
547 PRINT TAB(20);"CBL/DIA7":TAB(20);"HP1"
548 PRINT TAB(20);"INT(RATE(I))":TAB(20);"INT(MUN(I))":TAB(20);"INT(HP(I))"
549 NEXT I
550 PRINT"PRESTIONE (C) PARA CONTINUAR":TAB(25);"X6-INPUT*(1)"
551 IF X6<>"C" GOTO 566
552 PRINT
553 PRINT"*****SUMA DE ETAPAS":TAB(30);"PRESION DE SUCCION":TAB(20);"CBL/P"
554 PRINT"*****SUMA DE POTENCIAS":TAB(30);"PRESION DE DESCARGA":TAB(20);"CBL/P"
555 PRINT"*****"
556 PRINT"*****"
557 PRINT"*****"
558 PRINT"*****"
559 PRINT"*****"
560 PRINT"*****"
561 PRINT"*****"
562 PRINT"*****"
563 PRINT"*****"
564 PRINT"*****"
565 PRINT"*****"
566 PRINT"*****"
567 PRINT"*****"
568 PRINT"*****"
569 PRINT"*****"
570 PRINT"*****"
571 PRINT"*****"
572 PRINT"*****"
573 PRINT"*****"
574 PRINT"*****"
575 PRINT"*****"
576 PRINT"*****"
577 PRINT"*****"
578 PRINT"*****"
579 PRINT"*****"
580 PRINT"*****"
581 PRINT"*****"
582 PRINT"*****"
583 PRINT"*****"
584 PRINT"*****"
585 PRINT"*****"
586 PRINT"*****"
587 PRINT"*****"
588 PRINT"*****"
589 PRINT"*****"
590 GOTO 6000
591 REM"SUBROUTINE"
592 IF K<1 THEN PRINT"*****"
593 IF K<2 THEN PRINT"*****"

```



```

704 REM* NIVEL DINAMICO *
705 REM* PROF=(PWF*2.31)/DPA
706 REM* NIVEL ESTATICO *
710 NEST=PROF*((PWS*2.31)/DPA)
711 REM* PROFUNDIDAD DE CARGA DE LA BOMBA *
712 PROF=NB*100
713 TOLE=30*PROF
714 IF TOLE > DPA THEN 745 ELSE 720
720 GOTO 950
725 PRSIW=PRSIW*CAF
736 PRINT*****
741 PRINT* PROFUNDIDAD DE COLOCACION DE LA BOMBA*;(INT(DPA)/10)*PIES*
743 PRINT* PRESION DE SUCCION DE LA BOMBA*;(INT(PRSIW)*14.7)/PSG*20
741 PRINT*****
742 INPUT* CARGA POR ETAPA EN LA T.M.(PIES/1000 PIES)*;PEP
743 INPUT* CAPACIDAD DE CARGA POR ETAPA DE LA BOMBA (PIES/ETAPA)*;CARET
744 REM* PRESION EN LA CABEZA EXPRESADA EN PIES DE CARGA*
745 PTHC=PWF*(144/DPA)
746 REM* PERDIDAS POR FRICCION & LA PROFUNDIDAD DE COLOCACION DE LA BOMBA *
747 FLBOM=PROF*(C*PERFR/1000)
749 DIF=PEP-NEST
750 REM* CARGA DINAMICA TOTAL *
751 DDI=DIF+FLBOM+PTHC
752 REM* TOTAL DE ETAPAS *
754 ETAP=DDI/CARET
754 GOTO 725
755 REM* VOLUMEN OCUPADO POR EL GAS LIBRE P.C.E. (M3 O P.C.E.) *
756 VOGI=ARG*(R-RS)*((14.7)/PAZ)/(PMSUPER)
757 REM* VOLUMEN DE GAS DESVIADO AL ESPACIO ANULAR MEDIANTE EL SEPARADOR *
758 VOGI=ARG*VOGL*SEF
759 REM* VOLUMEN OCUPADO POR EL LIQUIDO P.C.E. (M3 O P.C.E.) *
760 VOLES=(WGR*ED)/BO
761 REM* VOLUMEN DE GAS LIBRE*
762 VGLI=VOGI+VOLES
763 VGL=ARG*VGLI
764 TOLE=ARG*(0.1)
766 IF TOLE > 0.15 THEN 767 ELSE 950
767 PROF=PROF-LS1
768 PRINT*****
769 PRINT* REGIMEN DE FLUJO A ESTA PROFUNDIDAD ES*;(FLUJO)*PRINT
770 PRINT* PROFUNDIDAD DE COLOCACION DE LA BOMBA*;(INT(DPA)/10)*PIES*
771 PRINT* PRESION DE SUCCION DE LA BOMBA*;(INT(PRSIW)*14.7)/PSG*20
772 PRINT*****
774 PRINT* **** CALCULO DEL PERFIL EN FORMA DESCENDENTE *****
775 PRINT* PRESION EN LA CABEZA INICIAL*(R-RS)*INFUT*(1)
776 IF X<=0.00100 THEN 786
780 PRSIW=PRSIW*CAF
781 REM* PWF
784 IF PRSIW<PRSIW THEN 786 ELSE 794
786 CAP2=PRSIW-PRSIW*CAF2
788 PRINT* PROF*,*PRESIUN*,*TEMP*,* GRAD. DE PRESION*
790 PRINT*PIES*),(LB/PSG2)*,*(FT)*, * BFGS.*, * FRIC.*
792 PRINT*E2,*,*RGRD*,*TEMP*
794 PRSIW=PRSIW*CAF
796 TB=PRSIW*14.7/DPA*100
798 PRSIW=PRSIW*CAF
800 PRSIW=PRSIW*CAF/20
802 GOTO 725
804 VSL=(0.0119)*RTED*RO)/(DIAIT*2)
806 VSG=(0.0021)*RTED*(R-RS)*BO)/(DIAIT*2)
808 VSM=VSL+VSG
810 VTS=VSG/VSM
812 LTB=1.071-0.228*(VSM*2)/(DIA)*IF/12)
814 RTED=1.27410*-742*RTED*(R-RS)*((1.1165)/PM)
816 M=(0.15226*RO*(1/(DPA*SF10*3)))**0.25
818 RTFL=1.49*10*-5*RTED*RO

```

```

822 NVG=1.938*VSG*((DA/SFTD)^0.25)
824 ND1=10.072667*DIATP*((DA/SFTD)^0.5)
826 IF AI=0 THEN 828 ELSE 830
828 AI=90
830 ANG=AI*3.1416/180
832 LS=50+36*NVL
834 LM=75+80*(NVL^0.75)
836 IF D*="OR" THEN 842 ELSE 838
838 IF D*="FB" THEN 846 ELSE 840
840 IF D*="RB" GOTO 850
842 GOSUB 1000
844 GOTO 853
846 GOSUB 2000
848 GOTO 853
850 GOSUB 3000
852 GOTO 853
853 ALCU1=CAP/GPT
854 LS2=LS2+ALCU1
855 DPROF1=DPROF1+LS2
856 TDL=DPROF1-PRCB
857 IF M*="SI" THEN 862 ELSE 858
858 IF M*="NO" GOTO 862
859 IF LS2<PCRC THEN 864 ELSE 868
862 IF TDL>0 THEN 868
864 PRINT;INT(DPROF1);;PRSIW;INT(TM);;GREL;GPF
866 GOTO 794
868 PPI=PRSIW-CAP
870 HHH1=DPROF1-ALCU1
872 DELH=PRCB+HHH1
874 DELP=GPT*DELH
876 PRSIW=(PPI+DELH)-1000
877 PRINT;INT(PCRC);;INT(PRSIW);;INT(TM);;GREL;GPF
878 PRINT;*****
879 PRINT;          REGIMEN DE FLUJO A ESTA PROFUNDIDAD;FLUJO;PRINT
900 PRINT;          A LA PROFUNDIDAD DE COLOCACION DE LA BOMBA;INT(PCRC);*CP;
901 PRINT;          LA PRESION DE DESCARGA REQUERIDA ES;PRSIW;CLBS/PG^2;
902 PRINT;*****
903 PRINT; PRESIONE (C) PARA CONTINUAR;*X=INPUT*(1)
904 IF X<="C" GOTO 903
905 IFAS=0
950 RETURN
1000 REM SUBROUTINE
1002 CORRE*="ORKISZEWSKI"
1003 REM;-----
1004 REM;          CORRELACION DE ORKISZEWSKI          -----
1005 REM;          ( PARA FLUJO VERTICAL )          -----
1006 REM;-----
1011 ERN=DIATP/12
1012 IF LIB<0.13 THEN 1013 ELSE 1014
1013 LIB=0.13
1014 IF VTS<LIB THEN 1024 ELSE 1016
1016 IF VTS>LIB AND NVG<LS THEN 1066 ELSE 1018
1018 IF VTS>LM THEN 1198 ELSE 1020
1020 IF LM>VTS AND VTS>LS GOTO 1242
1024 REM;          REGIMEN DE FLUJO BURBUJA
1025 FLUJO*="BURBUJA"
1026 HLO=1-0.5*(1+(VSM/0.8)-(((1+VSM/0.8)^2-4*VSG/0.8)^0.5)
1027 IF HLO<VTS THEN 1028 ELSE 1032
1028 HLO=VTS
1032 REM;          DENSIDAD DE LA MEZCLA DE LOS FLUIDOS
1034 DENFA=DA*HLO+DENG*(1-HLO)
1035 GREL=DENFA*(SIN(ANG))/144
1036 REM;          GRADIENTE POR FRICCION
1037 NREBU=(1488*DA*(VSL/HLO)*ERN)/MO
1038 FRIE=0.0764*0.5/(NREBU*0.37)

```

```

1040 FF=(1/ERN)^2 : DIF=ABS(FGI-FF)
1042 IF DIF=.0001 THEN 1047 ELSE 1043
1043 FGI=(FGI+FF)/2 : I=I+1
1045 IF I=10 THEN 1039 ELSE 1044
1046 FF=FGI
1047 REM* GRADIENTE TOTAL
1048 GPF=(FF#HA*(VSL/HLD)^2)
1050 GPF=GP/(2*32.2*ERN*144)
1051 BPT=(GPF+GREL)/(11.5) : EKK=0.0
1053 GRACC=-EKK*GPT
1054 REM* REGIMEN DE FLUJO*; FLUJO*
1055 REM* FRACCION DEL VOLUMEN DE LA TUBERIA ( COLGAMEN.0 )=*HLO
1056 REM* DENSIDAD DE LA MEZCLA DE LOS FLUIDOS=*DENFA;*(LB-H/PIE^3)*
1057 REM* GRADIENTE DE PRESION POR DENSIDAD=*IGFEL
1058 REM* GRADIENTE DE PRESION POR FRICCION=*IG*F
1059 REM* GRADIENTE DE PRESION POR ACELERACION=*IGRACC
1060 REM* GRADIENTE DE PRESION TOTAL=*IGPT;*(LB-F/PG^2/PIE)*
1062 REM* -----
1064 GOTO 1440
1066 REM* REGIMEN DE FLUJO BACHE
1067 FLUJO*="BACHE"
1068 REM* CALCULO DE LA VELOCIDAD DE ELEVACION DE LA BURBUJA
1070 VB1=0.5*(32.2*ERN)^0.5
1071 I=0
1074 NREB=(1488#DA*VB1*ERN)/MO
1075 NREL=(1488#DA*VSM*ERN)/MO
1076 I=I+1
1077 IF I>10 GOTO 1108
1080 IF NREN=3000 THEN 1082 ELSE 1086
1082 DB=(0.54#B.74*10^-6*NREL)*((32.2*ERN)^0.5)
1084 GOTO 1100
1086 IF NREN=3000 THEN 1088 ELSE 1092
1088 DB=(0.35#B.74*10^-6*NREL)*((32.2*ERN)^0.5)
1090 GOTO 1100
1092 IF NREN=3000 AND NREN<3000 THEN 1094
1094 TX=(0.251#B.74*10^-6*NREL)*((32.2*ERN)^0.5)
1096 DB=(TX+(TX^2+(13.59#MO)/(DA*(ERN)^0.5))^0.5)/2
1100 SUP1=ABS(VB-VB1)
1102 IF SUP1<=0.001 GOTO 1110
1104 VB1=VB
1106 GOTO 1074
1108 REM* CALCULO DEL COEFICIENTE DE DISTRIBUCION DEL LIQUIDO
1110 FO=BO/(MO#WOR#FVFW)
1112 FW=1-FO
1114 IF FW>0.75 GOTO 1122
1116 IF FW<0.75 GOTO 1136
1122 REM* LA FASE CONTINUA ES AGUA
1124 IF VSM<10 THEN 1125 ELSE 1130
1126 XX5=0.013*(LOG(MO)/LOG(10))/(ERN^1.30)
1128 DELTA=XX5-0.481+(0.232*(LOG(VSM)/LOG(10))-0.888*(LOG(ERN)/LOG(10)))
1130 GOTO 1157
1132 IF VSM>10 THEN 1132
1134 XX4=0.045*(LOG(MO)/LOG(10))/(ERN^0.799)
1136 DELTA=XX4-0.709-0.162*(LOG(VSM)/LOG(10))-0.888*(LOG(ERN)/LOG(10))
1138 GOTO 1157
1140 REM* LA FASE CONTINUA ES ACEITE
1142 IF VSM<10 THEN 1140 ELSE 1148
1144 T1=MO+1
1146 DELTA1=(0.0127*(LOG(T1)/LOG(10)))/(ERN^1.405)
1148 DELTA=DELTA1-0.284+(0.167*(LOG(VSM)/LOG(10)))+(0.113*(LOG(ERN)/LOG(10)))
1150 GOTO 1157
1152 IF VSM>10 THEN 1149
1154 XX1=0.01*(LOG(MO+1)/LOG(10))/(ERN^1.571)
1156 XX2=(-LOG(VSM)/LOG(10))*(XX1+0.397+0.63*(LOG(ERN)/LOG(10)))
1158 XX3=0.0274*(LOG(MO+1)/LOG(10))/(ERN^1.371)

```

```

1152 DELTA=AA3T0.161T0.067*(LOG(ERN)/LOG(10))^AA2
1153 ABC=-0.65*VSH
1154 IF VSM<10 AND DELTA<ABC THEN 1155 ELSE 1156
1155 DELTA=ABC
1156 KSIG=0
1157 REM          DENSIDAD PARA DOS FASES
1158 DENFA=(DA*(VSL+VB)+DENG*VSG)/(VSM+VB)+DA*DELTA
1159 IF VSM<10 GOTO 1165
1160 XX=-VR*(1-(DENFA/DA))/(VSM+VB)
1161 IF DELTA>XX GOTO 1165
1162 IF KSIG=1 GOTO 1165
1163 DELTA=XX ; KSTG=1
1164 GOTO 1157
1165 REM  CALCULO DEL COLGAMIENTO EQUIVALENTE DEL LIQUIDO
1166 HL=(DENFA-DENG)/(DA-DENG)
1167 REM  CALCULO DE LOS GRADIENTES DE ELEVACION Y FRICCION
1168 NREBA=(1488*DA*VSH*ERN)/MO
1169 FGI=.0056+0.5/(NREBA*.32)
1170 DEN=1.14-2.*(LOG(.0006+9.34/NREBA*(FGI^.5)))/LOG(10)
1171 FF=(1/DEN)^2
1172 DIF=ABS(FGI-FF)
1173 IF DIF<=.0001 THEN 1180 ELSE 1175
1175 FGI=(FGI+FF)/2
1176 I=I+1
1177 IF I<10 THEN 1171 ELSE 1178
1178 FF=FGI
1180 REM          GRADIENTE DE PRESION POR FRICCION
1181 GPF=(FF*DA*VSM^2)/(2*32.2*ERN*144)
1182 GPF=GPB*((VSL+VB)/(VSM+VB)+DELTA)
1183 GREL=DENFA*(SIN(ANG))/144
1184 GPT=(GPF+GREL)/(1+.5)
1185 REM  REGIMEN DE FLUJO=";FLUJO#
1186 REM  EL NUMERO DE REYNOLDS B=";NREB
1187 REM  EL NUMERO DE REYNOLDS L=";NREL
1188 REM  LA VELOCIDAD DE ELEVACION DE LA BURBUJA=";VB;*(PIE/SED)"
1189 REM  EL COEFICIENTE DE DISTRIBUCION DEL LIQUIDO=";DELTA;*(ADI)"
1190 REM  LA DENSIDAD PARA DOS FASES=";DENFA;*(LB-M/PIE^3)"
1191 REM  GRADIENTE DE PRESION POR FRICCION=";GPF"
1192 REM  GRADIENTE DE PRESION TOTAL=";GPT;*(LB-F/PB^2/PIE)"
1194 REM  -----
1196 GOTO 1440
1198 REM          REGIMEN DE FLUJO NIERLA
1199 FLUJO#="NIEBLA"
1200 REM          FLUJO FRACCIONAL DE GAS
1202 FGAS=1/(1+RTEL/RTEG)
1204 DFROM=(1-FGAS)*DA+(FGAS*DENG)
1206 REM          FACTOR DE FRICCION
1208 NRENI=(124*VSG*DENG*ERN)/MO
1210 F7=(NRENI/(4.5223*LOG(NRENI)/LOG(10)-3.8215))
1212 F=(2*LOG(F7)/LOG(10))^2
1214 REM  FRACCION DEL VOLUMEN DE LA TUBERIA OCUPADA POR LIQUIDO
1216 HLN=DA*(VSL/VSM)
1218 REM          DENSIDAD DE LA MEZCLA DE LOS FLUIDOS
1220 DENM=((DA*VSL)/VSM)+((DENG*VSG)/VSM)
1222 REM          GRADIENTE DE PERDIDA POR FRICCION
1224 GPN=(F*DENG*VSG^2)/(5.3666*ERN)
1226 GPF=1/144*(DENM+GPN)
1228 PRINT  FRACCION DEL VOLUMEN (COLGAMIENTO) =" ;HLN
1230 PRINT  DENSIDAD DE LA MEZCLA DE LOS FLUIDOS =" ;DENM;*(LB-M/PIE^3)"
1232 PRINT  EL FACTOR DE FRICCION ES =" ;F
1234 PRINT  GRADIENTE DE PERDIDA POR FRICCION =" ;GPF;*(LB-F/PB^2/PIE)"
1236 PRINT  -----
1238 GOTO 1440
1240 PRINT
1242 REM          REGIMEN DE FLUJO DE TRANSICION
1244 REM

```

FLUJO BURBUJA

```

1247 FLUJO*='TRANSICION'
1248 REN*=' CALCULO DE LA VELOCIDAD DE ELEVACION DE LA BURBUJA
1250 VB1=0.5*(32.2*ERN)^0.5
1252 VB2=VB1
1254 NREB=(124*VB2*ERN*DA)/HO
1256 PRINT'NREB=';NREB
1258 NRFL=(124*VSM*ERN*DA)/HO
1260 IF NRFL<=3000 THEN 1262 ELSE 1264
1262 VB=(0.546+(8.74*10^-6*NREL))* (32.2*ERN)^0.5
1264 GOTO 1282
1266 IF NREB>=8000 THEN 1268 ELSE 1272
1268 VB=(0.35+(8.74*10^-6*NREL))* (32.2*ERN)^0.5
1270 GOTO 1282
1272 IF NREB>3000 AND NREB<8000 THEN 1274
1274 PSI=(0.251+(8.74*10^-6*NREL))* (32.2*ERN)^0.5
1276 RE=(13.59*HO)/(DA*(ERN)^0.5)
1278 VB=((PSI^2+RE)^0.5+PSI)/2
1280 GOTO 1282
1282 IF VB2=VB THEN 1288 ELSE 1284
1284 VB2=ARG(VB)
1286 GOTO 1284
1288 RBH*=' CALCULO DEL COEFICIENTE DE DISTRIBUCION DEL LIQUIDO
1290 FO=1-(BO+WOR*FVFW)
1292 FW=1-FO
1294 PRINT'FW=';
1296 IF FW<0.75 GOTO 1302
1298 IF FW<0.75 GOTO 1316
1300 PRINT
1302 PRINT* LA FASE CONTINUA ES AGUA
1304 IF VSM<10 THEN 1306 ELSE 1310
1306 DELTA=((0.013*LOG(MD)/LOG(10))/(ERN^1.38))-0.681+0.232*LOG(VSM)/LOG(10)-
1308 GOTO 1334
1310 IF VSM>10 THEN 1312
1312 DELTA=((0.045*LOG(MD)/LOG(10))/(ERN^0.8))-0.709-0.162*LOG(VSM)/LOG(10)-
1314 GOTO 1334
1316 PRINT* LA FASE CONTINUA ES ACEITE
1318 IF VSM<10 THEN 1320 ELSE 1328
1320 T1=MD+1
1322 DELTA1=(0.0127*LOG(T1)/LOG(10))/(ERN^1.405)
1324 DELTA=DELTA1-0.248+(0.167*LOG(VSM)/LOG(10))+ (0.113*LOG(ERN)/LOG(10))
1326 GOTO 1334
1328 IF VSM>10 THEN 1330
1330 X=LOG(VSM)/LOG(10)*((0.01*LOG(T1)/LOG(10))/(ERN^1.571))+0.397+(0.63*LOG
1332 DELTA=(0.0274*LOG(T1)/LOG(10)/ERN^1.571)+0.161+(0.569*LOG(ERN)/LOG(10))-
1334 REM* DENSIDAD PARA DOS FASES
1336 REY=DA*(VSL+VB)+DENG*VSG
1338 DENFA=1/144*((REY/(VSM+VB))+ (DA*DELTA))
1340 REM* GRADIENTE POR FRICCION
1342 NREBA=(124*VSM*DA*ERN)/HO
1344 REM* FACTOR POR FRICCION
1346 FB=(NREBA/(4.5223*LOG(NREBA)/LOG(10))-3.8215)
1348 FBA=(2*LOG(FD)/LOG(10))^2
1350 RBH* GRADIENTE DE PRESION POR FRICCION
1352 GPF=(FBA*DA*VSM^2)/(772.8*DA*ITF)
1354 GPF1=GPF*((VSL+VB)/(VSM+VB))+DELTA
1356 PRINT
1358 PRINT* EL NUMERO DE REYNOLDS B=';NREB
1360 PRINT* EL NUMERO DE REYNOLDS L=';NREL
1362 PRINT* LA VELOCIDAD DE ELEVACION DE LA BURBUJA=VB*(PIE/SEG)
1364 PRINT* EL COEFICIENTE DE DISTRIBUCION DEL LIQUIDO=DELTA*(ADI)
1366 PRINT* LA DENSIDAD PARA DOS FASES=DENFA*(LB-H/PIE^3)
1368 PRINT* EL FACTOR DE FRICCION=FBA
1370 PRINT* GRADIENTE DE PRESION POR FRICCION=GPF1*(LB-F/PG^2/PIE)
1372 PRINT* -----
1374 PRINT* FLUJO BURBUJA

```

```

1378 REM          FLUJO FRACCIONAL DE GAS
1380 FGAS=1/(1+RTEL/RTEG)
1382 DPROH=(1-FGAS)*DA*(FGAS*DENG)
1384 REM          FACTOR DE FRICCIÓN
1386 NRENI=(124*VSG*UENG*ERN)/MO
1388 F7=(NRENI/(4.5223*LOG(NRENI)/LOG(10)-3.8215))
1390 F=(2*LOG(F7)/LOG(10))^-2
1392 REM          FRACCION DEL VOLUMEN DE LA TUBERIA OCUPADA POR LIQUIDO
1394 HLN=DA*(VSL/USM)
1396 REM          DENSIDAD DE LA MEZCLA DE LOS FLUIDOS
1398 DENM=(DA*(VSL/USM)+(DENG*(VSG/USM)))
1400 REM          GRADIENTE DE PERDIDA POR FRICCIÓN
1402 GPN=(F*DENG*VSG^2)/(5.26667*ERN)
1404 GPF2=1/144*(DENM*GPN)
1406 REM          FRACCION DEL VOLUMEN (COLIAMIENTO) =*HLN
1408 REM          DENSIDAD DE LA MEZCLA DE LOS FLUIDOS =*DENM*(LB-M/PIE^3)
1410 PRINT          EL FACTOR DE FRICCIÓN ES =*F
1420 PRINT          GRADIENTE DE PRESION POR FRICCIÓN=*GPF2*(LB-F/PG^2/PIE)
1422 REM          PONDERACION DEL REGIMEN DE FLUJO
1424 SCR=(LM-NUG/LM-LS)
1426 PAT=(NUG-LS/LM-LS)
1428 REM          GRADIENTE POR DENSIDAD
1430 DPDL=(SCR*DENFA)+(PAT*DENM)
1432 REM          GRADIENTE DE PRESION POR FRICCIÓN
1434 GPF=(SCR*GPF1)+(PAT*GPF2)
1436 PRINT          LA DENSIDAD DE LA MEZCLA DE LOS FLUIDOS =*DPDL*(LB-M/PIE^3)
1438 PRINT          EL GRADIENTE DE PRESION POR FRICCIÓN =*GPF*(LB-F/PG^2/PIE)
1440 RETURN
2000 REM          SUBROUTINE : CORRE*FANCHERYBROWN
2001 REM          *****
2002 REM          METODO DE FANCHER AND BROWN
2003 REM          *****
2004 IF LIB<0.13 THEN 2005 ELSE 2006
2005 LIB=0.13
2006 VTS=VSG/USM
2007 IF VTS<LIB THEN 2008 ELSE 2008
2008 V2=1+(VSM/0.8)
2009 V3=((V2^2)-(4*VSG)/0.8)^0.5
2010 HL=1-((V2-V3)/2)
2012 LI1=((R-RS)*RTEO*DG)/(5.615*RTEO*BO)
2014 LT=LI1+1
2016 L=1/LI
2017 VSG=6
2018 RNS=DA*L+DENG*(1-L)
2020 NRE=(124*VSG*DENG*DAITP)/MO
2021 REM          *****
2022 REM          PERDIDAS POR FRICCIÓN UTILIZANDO LA ECUACION DE JAIN
2023 REM          *****
2024 MIL=LS+0.0001897
2026 T=SFTW
2027 IF T=0 THEN 2028 ELSE 2029
2028 T=1
2029 NUNW=(0.093*((VSG*MO)/T)^2)*(DENG/DA):NUNW=0.006
2030 IF NUNW>0.005 THEN 2035 ELSE 2031
2031 RG=0.8988*((SFTO*MIL)/(DENG*VSG^2*DAITP))
2034 GOTO 2036
2035 RG=4.4556*((SFTO*MIL)*(NUNW^0.307)/(DENG*(VSG^2*DAITP)))
2036 JAIN=(1/1.14-2*(LOG((RG/DAITP)+(21.25/NRE^0.9)/LOG(10)))^2
2038 IF C=12*JAIN*(VSL/USM+HL)/(4.44*DAITP)
2039 AP1=AP*144/(RNG*TFG)
2040 GOTO 2270
2042 IF NL<0.001 THEN 2044 ELSE 2046
2044 CNL=0.0018
2046 IF NL<0.0065 THEN 2048 ELSE 2052
2048 CNL=(0.090909*NL)+0.001709
2050 GOTO 2002

```

```

2054 CNL=(0.34*NL)+0.00204
2055 GOTO 2092
2056 IF NL<0.02 THEN 2060 ELSE 2064
2060 CNL=(0.033333*NL)+0.0021333
2062 GOTO 2092
2064 IF NL<0.13 THEN 2068 ELSE 2072
2066 CNL=(0.040909*NL)+0.0019818
2070 GOTO 2092
2072 IF NL<0.25 THEN 2074 ELSE 2078
2074 CNL=(0.0225*NL)+0.004375
2076 GOTO 2092
2078 IF NL<0.42 THEN 2080 ELSE 2084
2080 CNL=(0.0117647*NL)+0.0070588
2082 GOTO 2092
2084 IF NL<1.0 THEN 2086 ELSE 2090
2086 CNL=(0.0017241*NL)+0.0112758
2088 GOTO 2092
2090 NL=0.013
2092 FI1=USG*(NL^0.38)/(ND1^2.14)
2094 IF FI1<0.01 THEN 2096 ELSE 2100
2096 PSI1=1.0
2098 GOTO 2138
2100 IF FI1<0.02 THEN 2102 ELSE 2106
2102 PSI1=1.84
2104 GOTO 2138
2106 IF FI1<0.03 THEN 2108 ELSE 2112
2108 PSI1=(0.142857*FI1)+0.4285714
2110 GOTO 2138
2112 IF FI1<0.023 THEN 2114 ELSE 2118
2114 PSI1=(65.666666*FI1)+0.26666666
2116 GOTO 2138
2118 IF FI1<0.032 THEN 2120 ELSE 2124
2120 PSI1=(41.111111*FI1)+2.745555
2122 GOTO 2138
2124 IF FI1<0.04 THEN 2126 ELSE 2130
2126 PSI1=(21.25*FI1)+0.75
2128 GOTO 2138
2130 IF FI1<0.57 THEN 2132 ELSE 2136
2132 PSI1=(0.1509434*FI1)+1.094923
2134 GOTO 2138
2136 PSI1=(0.45161294*FI1)+1.4225807
2138 FI2=(NU/(HC^0.575))*((PM/14.7)^0.10)*(CNL/ND)
2140 IF FI2<2.7E-05 THEN 2142 ELSE 2146
2142 HLY=(6072.8745*FI2)+0.0360323
2144 GOTO 2184
2146 IF FI2<4.5E-05 THEN 2148 ELSE 2152
2148 HLY=(2277.777*FI2)+0.125
2150 GOTO 2184
2152 IF FI2<1.2E-04 THEN 2154 ELSE 2158
2154 HLY=(1466.6666*FI2)+0.184
2156 GOTO 2184
2158 IF FI2<3.0E-04 THEN 2160 ELSE 2164
2160 HLY=(1055.5555*FI2)+0.333333
2162 GOTO 2184
2164 IF FI2<9.0E-04 THEN 2166 ELSE 2170
2166 HLY=(433.333*FI2)+0.42
2168 GOTO 2184
2170 IF FI2<3.0E-03 THEN 2172 ELSE 2176
2172 HLY=(109.0909090*FI2)+0.71181818
2174 GOTO 2184
2176 IF FI2<3.8E-03 THEN 2178 ELSE 2182
2178 HLY=(11.1111*FI2)+0.907777
2180 GOTO 2184
2182 HLY=(25*FI2)+0.855
2184 HL=(HLY*PSI1)/FI1

```

```

-----
2188 REM * CALCULO FTP=FACTOR DE FRICCION PARA LAS DOS FASES
2200 REM *
2211 FLUJO*="DOS FASES"
2212 MTOT=MO+MG+VISW
2214 FANCH=1.77E-04*RTEO#MTOT/DIAITP
2216 IF RS<1500 THEN 2218 ELSE 2246
2218 IF FANCH<4.4 THEN 2220 ELSE 2224
2220 FTP=10*((-2.427036*0.4342944*(LOG(FANCH)/LOG(10)))+0.737774)
2222 GOTO 2262
2224 IF FANCH<6.0 THEN 2226 ELSE 2230
2226 FTP=10*((-2.2348421*0.4342944*(LOG(FANCH)/LOG(10)))+0.6141063)
2228 GOTO 2262
2230 IF FANCH<9.0 THEN 2232 ELSE 2236
2232 FTP=10*((-1.1526036*0.4342944*(LOG(FANCH)/LOG(10)))-0.2280389)
2234 GOTO 2262
2236 IF FANCH<20 THEN 2238 ELSE 2242
2238 FIF=10*((-1.0921175*0.4342944*(LOG(FANCH)/LOG(10)))-0.1809392)
2240 GOTO 2262
2242 LIF=10*((-1.009797*0.4342944*(LOG(FANCH)/LOG(10)))-0.3128584)
2244 GOTO 2262
2246 IF RS<3000 THEN 2248 ELSE 2252
2248 FTP=10*((-1.0921175*0.4342944*(LOG(FANCH)/LOG(10)))-0.5343589)
2250 GOTO 2262
2252 FIF=10*((-1.2651542*0.4342944*(LOG(FANCH)/LOG(10)))-0.7353061)
2254 GOTO 2262
2256 REM *
2258 REM * DENSIDAD DE LA MEZCLA SIN RESBALAMIENTO
2260 REM *
2261 FLUJO*="DOS FASES"
2262 LI1=((R-RS)*RTEO*RG)/(5.615*RTEO*RO)
2264 LI=LI1+1
2266 L=1/LI
2268 RNS=DA*L+DENG*(1-L)
2270 REM *
2271 REM * GRADIENTE DE PRESION POR FRICCION
2272 REM *
2273 GREL=RNS*SIN(ANG)/144
2274 GPF=(1/144)*(RNS+(FTP*((RTEO*M)^2))/(2.979*(10^5)*RNS*(DIAITP^5)))
2275 GPT=GPF+GREL
2276 FLUJO*="DOS FASES"
2286 REM *
2288 REM *
2290 REM * FLUJO MULTIFASICO EN TUBERIAS VERTICALES
2292 REM * RESULTADOS DE LA CORRELACION DE FANCHER Y BROWN
2294 REM *
2296 REM *
2298 REM * FRACCION DEL VOLUMEN DE LA TUBERIA (COLGAMIENTO)=";HLY
2300 REM * DENSIDAD DE LA MEZCLA SIN RESBALAMIENTO=";RNS;'CLB/PIE^3'
2302 REM * FACTOR DE FRICCION PARA LAS DOS FASES=";FTP
2304 REM * GRADIENTE DE PRESION POR FRICCION=";GPF;'CLB/PG^2/PIE'
2306 REM * SECCION DE LA TUBERIA DE PRODUCCION=";ZNA;'PIES'
2308 REM * PRESION HACIA LA CAREZA DEL POZO=PTH=";PSEC;'CLB/PG^2'
2310 REM *
2320 REM
2344 RETURN
3000 REM SUBROUTINE
3002 CORRE*="REGGSYBRILL"
3004 REM *
3006 REM *
3008 REM * METODO DE REGGS Y BRILL
3010 REM * (EXCLUSIVO PARA FLUJO VERTICAL)
3011 REM *
3012 ERN=DIAITP/12
3013 REM * CALCULA VELOCIDADES SUPERFICIALES Y EL NUMERO DE LA MEZCLA DE FROIDI
013 RTA=RTA+ZNA
-----

```



```

3016 VSG1=VSM-VSL2
3020 XNFR=VSM^2/(32.2*ERN)
3022 REM* REVISAR PARA FLUJO EN UNA SOLA FASE *
3024 IF VTS1>0.9999 THEN 3026 ELSE 3028
3026 FLUJO#="FASE LIQUIDA"
3027 GOTO 3030
3028 IF VTS1<0.0001 GOTO 3030
3030 FLUJO#="DOS-FASES"
3032 HL=VTS1
3034 REM* EL FLUJO ES INCLINADO CALCULA EL FACTOR (C)*
3036 REM* FACTOR (C) COEFICIENTE DE DOWNHILL*
3038 DDD=4.2 ; EEE=-0.3692 ; FFF=0.1244 ; GGG=-0.5056
3040 FACTC=(1-VTS1)*LOG(DDD*(VTS1+EEE)*(NUL+FFF))*(XNFR+GGG)
3042 IF FACTC<0 THEN 3044 ELSE 3046
3044 FACTC=0
3046 REM* CALCULA EL FACTOR DE CORRECCION POR ANGULO*
3048 XX=SIN(1.0*ANG)
3050 FAC1=FACTC*(XX-0.333*(XX^3))
3052 REM* CHECA QUE FAC1 NO SEA NEGATIVO*
3054 IF FAC1<0 THEN 3053 ELSE 3054
3053 FAC1=0
3054 HLD=1.065*(VTS1^0.5824)/(XNFR^0.0609)
3056 HL=HLD*FAC1
3058 IF HL<1 THEN 3059 ELSE 3060
3059 HL=1
3060 IF HL<0 THEN 3061 ELSE 3062
3061 HL=0.0001
3062 IF AID THEN 3063 ELSE 3064
3063 HL=HL*0.918
3064 REM* CALCULA LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA DE LOS FLUIDOS*
3066 DENNS=DA*VTS1+DENG*(1-VTS1)
3068 DENSG=DA*HL+DENG*(1-HL)
3070 VISNS=RO*VTS1+MO*(1-VTS1)
3072 REM* CALCULA EL FACTOR POR FRICCION *
3074 REYN#=(1488*(DENSG)/SM*ERN)/VISNS
3076 FGI=0.005610.57/(REYN^0.32)
3078 DEN=1.14-2*(LOG(0.0006+9.34/(REYN*(FGI^0.5))))/LOG(10)
3080 FF=(1/DEN)^2
3082 DIFF=ABS(FGI-FF)
3084 IF DIFF<0.0001 THEN 3094 ELSE 3086
3086 I=I+1
3088 I=I+1
3090 IF I<10 GOTO 3078
3092 FF=FGI
3094 REM * CALCULO DEL FACTOR DE FRICCION PARA DOS FASES*
3096 Y1=VTS1/(HL^2)
3098 X1=LOG(Y1)/LOG(10)
3100 S1=X1/(-0.0523+3.182*X1)-0.725*(X1^2)+0.01853*(X1^4)
3102 IF Y1>1 AND Y1<1 THEN 3104 ELSE 3106
3104 S1=LOG(2.2*Y1-1.2)/LOG(10)
3106 FF=FF*EXP(S1)
3108 REM* CALCULA LOS GRADIENTES POR FRICCION,ACELERACION Y DE PRES:
3110 GPF=FF*DENNS*(VSM^2)/(2*32.2*ERN*144)
3112 GREL=DENNS*SIN(ANG)/144
3114 EKK=DENNS*VSM+VSG/(32.2*PH*144)
3116 IF EKK>0.95 THEN 3120 ELSE 3118
3118 ER=0
3120 GPT=(GPF+GREL)/(1.10)
3122 GRAC=ER*GPT
3124 RETURN
4000 REM*SUBROUTINE*
4001 PRINT:PRINT
4002 PRINT* ERROR!!! CUANDO SE RESPONDA A LA PREGUNTA DE CUALQUIER*
4004 PRINT* SELECCION, POR FAVOR TECLAR UNICAMENTE EL *-*
4006 PRINT* NUMERO O LITERALFS QUE APAREZCAN DENTRO DE LOS*

```

```

4008 PRINT
4010 PRINT:PRINT
4012 RETURN
5000 REM SUBROUTINE
5002 REM
5004 REM *****
5006 REM ***** SUBPROGRAMA PARA LAS PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS *****
5008 REM *****
5010 REM *****
5012 IF D=1 THEN 5020 ELSE 5014
5014 IF D=2 THEN 5156 ELSE 5016
5016 IF D=3 THEN 5194 ELSE 5018
5018 IF D=4 THEN 5254
5020 REM *****
5030 REM ***** CALCULO DE PB Y RS, UTILIZANDO LA CORRELACION DE VAZQUEZ *****
5040 REM *****
5050 GS=DG*(1+5.912E-5*DG*TS*((LOG(PS/114.7)/LOG(10))))
5060 IF DO<=30 THEN 5102 ELSE 5070
5070 C1=0.0178
5080 C2=1.1870
5090 C3=23.931
5100 GOTO 5108
5102 C1=0.0362
5104 C2=1.0937
5106 C3=25.724
5108 RS=C1*GS*(PM*C2)*EXP((C3*(DO/(TM+460))))
5110 IF DO>=30 THEN 5112 ELSE 5120
5112 L1=0.000467
5114 L2=0.000011
5116 L3=1.337E-09
5118 GOTO 5126
5120 L1=4.677E-04
5122 L2=1.751E-05
5124 L3=-1.811E-08
5126 B01=((L1*RS)+1.2*(TM-60)*(DO/GS))+L3*RS*(TM-60)+(DO/GS)
5128 B0=B01+1
5132 REM *****
5134 REM ***** CORRELACION DE VAZQUEZ *****
5136 REM *****
5138 REM ***** RS *****
5140 REM ***** ;RS;PIES^3/BL; ***** ;B0;PIES^3/PIES^3 *****
5142 REM *****
5144 IF R=RS THEN 5146 ELSE 5150
5146 IF A$="SI" THEN 5606 ELSE 5148
5148 IF A$="NO" GOTO 5494
5150 IF R>RS GOTO 5152
5152 IF A$="SI" THEN 5298 ELSE 5154
5154 IF A$="NO" GOTO 5272
5156 REM *****
5158 REM ***** CALCULO DE PR,RS Y R0,UTILIZANDO LA CORRELACION DE H.B.STANDING *****
5160 REM *****
5162 PB=18*((F/DG)^0.83*((10^(0.00091*TM))/(10^(0.0125*DO))))
5164 RS=DG*((F*M/18)*((10^(0.0125*DO))/(10^(0.00091*TM))))^(1/0.83)
5166 F=RS*(DG/DD)^0.5+1.25*TM
5168 B0=0.972+0.000147*F^1.175
5172 REM *****
5174 REM ***** CORRELACION DE H.B. STANDING *****
5176 RM ***** LA PRECISION DE BURBUJEO=;F;[LB/PB^2] *****
5178 RM ***** RS ***** B0 *****
5180 REM ***** ;RS;PIES^3/BL; ***** ;B0;PIES^3/PIES^3 *****
5182 REM *****
5184 IF PM>PB THEN 5186 ELSE 5188
5186 IF A$="SI" THEN 5606 ELSE 5187
5187 IF A$="NO" GOTO 5494
5188 IF PM<PB GOTO 5190
5190 IF A$="SI" THEN 5298 ELSE 5192

```

```

5204 REM *****
5205 REM CALCULO DE PB, RS Y B0, UTILIZANDO LA CORRELACION DE EINSTEIN
5206 RM *****
5207 P1=18*(0.703988)*(LOG(PH)/LOG(10))^2)
5208 P2=(0.098479*(LOG(PH)/LOG(10))^3)
5209 P3=(10*(P1R1-P2*P3))
5210 RS=DOG(((P4*(DO^0.989))/(TM^0.13))^^(1/0.814))
5211 RSDA=(IG*(PH/18)*((10*(0.0125*DO))/(10*(0.00091*TM))))^(1/0.83)*RGOJL
5212 PP=18*(RSDA/DO)^0.83*((10*(0.00091*TM))/(10*(0.0125*DO)))
5213 DR=141.5/(131.5+DO)
5214 B=(0*(DO/DR)^0.526)+(0.948*TM)
5215 B0B=-6.585111*(0.91329*(LOG(BL)/LOG(10)))
5216 B0L=(-0.27683*(LOG(BL)/LOG(10))^2)
5217 F1=B05*F06
5218 B0=(1+10^F1)*B0IL
5219 REM *****
5220 REM CORRELACION DE EINSTEIN
5221 REM *****
5222 REM LA PRESION DE BURBUJEO="PR"*(LB/PG^2)
5223 REM *****
5224 REM RS
5225 REM B0
5226 REM "RS;"*PIES^3/BL;"
5227 REM "B0;"*PIES^3/PIES^3"
5228 REM "R="*R
5229 REM *****
5230 IF R<RS THEN 5246 ELSE 5248
5231 IF A<="SI" THEN 5406 ELSE 5247
5232 IF A<="NO" GOTO 5494
5233 IF R<RS GOTO 5250
5234 IF A<="SI" THEN 5298 ELSE 5252
5235 IF A<="NO" GOTO 5272
5236 REM *****
5237 REM ANALISIS PUT
5238 REM *****
5239 REM RELACION DE SOLUBILIDAD DEL LABORATORIO.CPIE^3/BLJ="IRGL
5240 REM EL FACTOR DE VOLUMEN DEL ACEITE DEL LAB.CPIE^3/PIE^3=";BOL
5241 REM *****
5242 REM DATOS DEL LABORATORIO
5243 REM *****
5244 REM RS
5245 REM B0
5246 REM "RS;"*PIES^3/BL;"
5247 REM "B0;"*PIES^3/PIES^3"
5248 IF R<RS THEN 5267 ELSE 5269
5249 IF A<="SI" THEN 5406 ELSE 5268
5250 IF A<="NO" GOTO 5494
5251 IF R<RS GOTO 5270
5252 IF A<="SI" THEN 5298 ELSE 5271
5253 IF A<="NO" GOTO 5272
5254 REM *****
5255 REM ACEITE
5256 REM *****
5257 REM CALCULO PARA EL ACEITE SATURADO NO VOLATIL
5258 REM *****
5259 REM CALCULO DE LA VISCOSIDAD Y TENSION SUP. DEL ACEITE SATURADO NO VOL.
5260 RM *****
5261 BBO=5.44*(RS+150)^-0.338)
5262 AAD 10.715*(RS+100)^-0.515)
5263 ZMO 3.0324-(0.02023*RM)
5264 YMO=10*ZMO
5265 XMO=YMO*(TM^1.163)
5266 UM=(10*XMO)-1
5267 MO=(AAD*(UM^BBO))*MUTL
5268 SFTO=(42.4-(0.047*TM)-(0.267*DO))*EXP(-0.0007*PM)
5269 REM *****
5270 REM CALCULO DE LA DENSIDAD DEL ACEITE SATURADO NO VOLATIL
5271 REM *****
5272 DR=141.5/(131.5+DO)
5273 RA=-142.4*DR+0.014288*DR/(R01+DR)

```

```

5294 REM *DOS FASES SATURADO*
5297 GOTO 5324
5298 REM *****
5299 REM          CALCULO DE LA VISCO. Y TENSION SUP. DEL ACEITE SATURADO VOLATIL
5300 REM *****
5301 BR0=5.44*(RS+150)^-0.338)
5302 AAO=10.715*((RS+100)^-0.515)
5303 ZMO=3.0324-(0.02023*DO)
5304 YMO=10^ZMO
5305 XMO=1-1.711^(-1.163)
5306 VM=(10^XMO)-1
5307 MO=(AAO*(1+1.0)))*0.7723
5308 SF10=(42.4-(0.047*TH)-(0.267*100)^*EXP(-0.0007*PM))
5309 REM *****
5310 REM          CALCULO DE LA DENSIDAD DEL ACEITE SATURADO VOLATIL
5311 REM *****
5312 DR=141.5/(131.5+DO)
5314 DA=((62.4*DR+0.01362*RS*DG)/BO)*0.9334
5316 REM *****
5318 REM          GAS
5320 REM *****
5322 REM *CALCULO DEL FACTOR DE COMPRESIBILIDAD DE LOS GASES (ZG)*
5324 TC=238+(210*DG)
5326 PC=740-(100*DG)
5328 TR=(TH+460)/TC
5330 PR=PM/PC
5332 A1=0.31506
5334 A2=-1.0467
5336 A3=-0.5783
5338 A4=0.5353
5340 A5=-0.6123
5342 A6=-0.1048
5344 A7=0.68157
5346 A8=0.68446
5348 Z1=0.8
5350 SS=(0.27*PR)/(Z1*TR)
5352 N1=(A1+A2/TR+A3/TR^3)*SS+(A4+A5/TR)*SS^2+(A6*A6*SS^5)/TR
5354 N2=(A7*SS^2/TR^3)*(1+A8*SS^2)*(EXP((-A8)*SS^2))
5356 N3=N1+N2
5358 ZC=N3+1
5360 RO=ABS(ZC-Z1)
5362 IF RO<=0.001 GOTO 5368
5364 Z1=ZC
5366 GOTO 5350
5368 ZG=ZC*REM*ZG=*IZG *****
5370 REM *****
5372 REM          DENSIDAD RELATIVA DEL GAS DISUELTO
5374 REM *****
5376 DEN0=0.25+0.02*DO+(10^-6)*(0.6874-3.5864*DO)*RS
5378 REM *****
5380 REM          DENSIDAD RELATIVA DEL GAS LIQRE
5382 REM *****
5384 SPGGL=(R*DG-RS*DEN0)/(R-RS)
5386 REM *****
5388 REM          CALCULO DEL FACTOR DE VOLUMEN DEL GAS
5390 REM *****
5392 IG=(0.02825*ZG*(1+1460))/PM
5394 REM *****
5396 REM          CALCULO DE LA DENSIDAD DEL GAS
5398 REM *****
5400 DENG=(0.0724*IG)/IG
5402 REM *****
5404 REM          CALCULO DE LA VISCOSIDAD DEL GAS
5406 REM *****
5408 ML=3.5+986.7*(TH+460)+0.2997*SPRRI

```

```

5422 REM *****
5424 REM *****
5426 REM          CALCULO DEL FACTOR DE VOLUMEN DEL AGUA Y SU DENSIDAD
5428 REM *****
5430 FVFW=1.0412*(130^4)*(TH-60)+1E-6*(TH-60)-3.33*(10^-6)
5432 DFNW=62.43/FVFW
5434 REM *****
5436 REM          CALCULO DE LA VISCOSIDAD DEL AGUA SATURADA
5438 REM *****
5440 SUA=-0.04518+0.009313*NC-0.000393*NC^2
5442 IF TH=70.674+0.09576*NC^2
5444 IF TH<=400 GOTO 5446
5446 IF PH<=10000 GOTO 5448
5448 IF NC<=26 GOTO 5452
5450 GOTO 5454
5452 TH=1+3.5*10^-12*PH^2*(TH-40)
5454 VISW=SUA+(REZ/TN)
5456 REM *****
5458 REM          CALCULO DE LA TENSION SUPERFICIAL DEL AGUA
5460 REM *****
5462 SFT1=52.5-0.006*PH
5464 SFT2=76*LXP(-0.00025*PH)
5466 SFTW=((280-TH)/206)*(SFT2-SFT1)+SFT1
5468 REM *****
5470 REM          CALCULO DE LA SOLUBILIDAD DEL GAS EN EL AGUA
5472 REM *****
5474 PRI=1 EXP (PH/2276)
5476 TES=(5/9)*(TH-32)
5478 TRI=(TES-90)/10
5480 S=PRI*3.69051+0.08746*TRI+0.01129*TRI^2-0.00647*TRI^3
5482 ISW=5.6146IS
5484 REM *****
5486 REM          EL FACTOR DE CORRECCION DE LA SOLUBILIDAD
5488 REM *****
5490 FCU=1+(0.0001735-0.07703)*NC+WOR=RTEW/RTEO
5492 FW=1-FO
5494 GOTO 5/50
5496 REM *****
5498 REM          CALCULO DEL ACEITE BAJO-SATURADO NO VOLATIL
5500 REM *****
5502 REM *****
5504 REM *****
5506 REM ***** RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS *****
5508 REM *****
5510 REM *****
5512 CUE=UG*(1+0.13)*(10*(0.0125*DO))/(10*(0.009/(1+TH)))^(1/0.83)
5514 PA=(CUE*((HG/HO)^0.5))+1.25*TH
5516 TTY=0.972+0.000147*(PA^1.175)
5518 C1=1433
5520 C2=5
5522 C3=17.2
5524 C4=1180
5526 C5=12.61
5528 C6=10^5
5530 CR=(C1+C2*CUE+C3*TH+C4*DG+C5*DO)/(C6*PH)
5532 REM "LA COMPRESIBILIDAD DEL ACEITE BAJOSATURADO=";CR;"[LB/PU^2]"
5534 REM *****
5536 REM *****
5538 REM          CALCULO DE LA DENSIDAD DEL ACEITE
5540 REM *****
5542 RN *****
5544 R=RN
5546 DEND=0.25+0.02*DO+(10^-6)*(0.6874-3.5864*DO)*R
5548 R=RNEND+16DEND

```

```

5548 DR=141.5/(131.5+DD)
5550 DA=((62.4*DR+0.01362*RR*DENO)/BO)*DOIL
5554 REM*****
5570 REM* CALCULO DE LA VISCOSIDAD DEL ACEITE BAJOSATURADO NO VOLATIL*
5574 REM*****
5576 PA1=5.44*((RS+150)^-0.338)
5578 TTY1=10.715*((RS+150)^0.515)
5579 BBO=5.44*((RS+150)^-0.338)
5580 AAO=10.715*((RS+100)^0.515)
5581 ZMO=3.0324-(0.02023*DD)
5582 YMO=10^ZMO
5583 XMO=YMO*(TM^-1.163)
5584 VM=(10^XMO)-1
5585 MO=AAO*(VM^BBO)
5586 VO=PA1*(VM^TTY1)
5587 V1=2.6
5588 V2=1.107
5590 V3=-11.513
5591 V4=-8.98*(10^-5)
5592 M=V1*(PM^V2)*EX
5593 MO=(VO*(PM/PBUR)^M)*MOIL
5594 SFTO=(42.4-(0.047*TM)-(0.267*DD))*EXP(-0.0007*PM)
5595 FO=BO/(MO+WDR+FVFW)
5596 BC=0
5605 GOTO 5P30
5606 REM
5611 REM*****
5612 REM
5613 REM* CALCULO PARA ACEITE BAJO SATURADO VOLATIL*
5614 REM
5615 REM*****
5616 W1=(-2.57364)+(2.35772*(LOG(PB)/LOG(10)))
5617 W2=((0.70398B)*(LOG(PD)/LOG(10))^2)
5622 W3=(0.09845*(LOG(PB)/LOG(10))^3)
5624 W0=W1-W2+W3
5626 P10=10^W0
5628 RB=DG*((P10*(DD^0.989))/TM^0.13)^(1/0.816)
5630 DR=141.5/(131.5+DD)
5632 LU=(RB*(DG/DR)^0.526)+(0.968*TM)
5634 LI=(-6.58511)+(2.91329*(LOG(LU)/LOG(10)))
5636 L1=(0.27683*(LOG(LU)/LOG(10))^2)
5638 NA=1-L1
5640 PB=(10^NA)+1
5642 C1=-1433
5644 C2=5
5646 C3=17.2
5648 C4=-1180
5650 C5=12.61
5652 C6=10^5
5656 CB=(C1+L1*(C2+TM+C4*DD+C5*DD))/(C6*PM)
5660 R=RS
5670 REM*****
5683 REM* CALCULO DE LA DENSIDAD DEL ACEITE*
5686 REM*****
5690 DD=0.25+0.02*DD+(10.715*3.0324-3.5864*DD)*DR
5692 DR=141.5/(131.5+DD)
5694 DA=((62.4*DR+0.01362*RR*DENO)/BO)*DOIL
5696 REM*****
5698 REM* CALCULO DE LA VISCOSIDAD DEL ACEITE BAJOSATURADO VOLATIL*
5699 REM*****
5701 BBO=5.44*((RS+150)^-0.338)
5703 AAO=10.715*((RS+100)^0.515)
5705 ZMO=3.0324-(0.02023*DD)
5707 YMO=10^ZMO

```

```

5695 MO=(MO*(10^-1.183)
5694 VM=(10^XMO)-1
5695 MO=(AAO*(VM^RBD))*MOIL
5696 VO=AL*(VM^B)
5697 V1=2.6
5698 V2=1.187
5699 V3=-11.513
5700 V4=-8.98*(10^S)
5701 M=V1*(PM^V2)*EXP(V3+V4*PH)
5702 MO=(VO*(PM/PBUR)^M))*MOIL
5703 SFTO=(42.4-(0.047*TM)-(0.267*DO))*EXP(-0.0007*PH)
5704 HG=0
5705 FASE4='UNA FASE'
5706 GOTO 5830
5707 NON=C
5708 N=NON+1
5709 IF N=1 THEN 5752 ELSE 5767
5710 REM
5711 REM*****
5712 REM* RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS*
5713 REM*****
5714 REM*
5715 REM*
5716 REM*
5717 REM*
5718 REM*
5719 REM*
5720 REM*
5721 REM*
5722 REM*
5723 REM*
5724 REM*
5725 REM*
5726 REM*
5727 REM*
5728 REM*
5729 REM*
5730 REM*
5731 REM*
5732 REM*
5733 REM*
5734 REM*
5735 REM*
5736 REM*
5737 REM*
5738 REM*
5739 REM*
5740 REM*
5741 REM*
5742 REM*
5743 REM*
5744 REM*
5745 REM*
5746 REM*
5747 REM*
5748 REM*
5749 REM*
5750 REM*
5751 REM*
5752 REM*
5753 REM*
5754 REM*
5755 REM*
5756 REM*
5757 REM*
5758 REM*
5759 REM*
5760 REM*
5761 REM*
5762 REM*
5763 REM*
5764 REM*
5765 REM*
5766 REM*
5767 REM*
5768 REM*
5769 REM*
5770 REM*
5771 REM*
5772 REM*
5773 REM*
5774 REM*
5775 REM*
5776 REM*
5777 REM*
5778 REM*
5779 REM*
5780 REM*
5781 REM*
5782 REM*
5783 REM*
5784 REM*
5785 REM*
5786 REM*
5787 REM*
5788 REM*
5789 REM*
5790 REM*
5791 REM*
5792 REM*
5793 REM*
5794 REM*
5795 REM*
5796 REM*
5797 REM*
5798 REM*
5799 REM*
5800 REM*
5801 REM*
5802 REM*
5803 REM*
5804 REM*
5805 REM*
5806 REM*
5807 REM*
5808 REM*
5809 REM*
5810 REM*
5811 REM*
5812 REM*
5813 REM*
5814 REM*
5815 REM*
5816 REM*
5817 REM*
5818 REM*
5819 REM*
5820 REM*
5821 REM*
5822 REM*
5823 REM*
5824 REM*
5825 REM*
5826 REM*
5827 REM*
5828 REM*
5829 REM*
5830 RETURN
5831 INIU='DESEAS HACER OTRO CALCULO? (S/N)';R#
5832 IF R#='SI' THEN 52 ELSE 6002
5833 IF R#='NO' GOTO 6003
5834 END

```

```

***** PWS= PRESION DE FONDO ESTATICA [LB/PG^2]=          *****
** *****
**
**
**      TESIS PROFESIONAL PARA LA OBTENCION
**      DEL TITULO DE INGENIERO PETROLERO
**
**
**      DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO
**      E L E C T R I C E N T R I F U G O
**
**
**      DIR. TESIS: ING. ALFREDO HOJICA SALGADO
**
**      PRESENTAN: MARCO ANTONIO DE LA CRUZ MONROY
**
**      JORGE LUIS ALDAY REYES
**
*****

```

```

*****
*****
***** NOMBRE DEL POZO=EJEMPLO#2B
***** TEMPH= TEMPERATURA DEL FONDO DEL POZO [F]= 302
***** TEMPERATURA EN LA SUPERFICIE [F]= 140
***** DENSIDAD DEL ACEITE [API]= 26
***** RELACION DE SOLUBILIDAD GAS-ACEITE [PIC^3/BL]= 128
***** GASTO DE PRODUCCION DEL ACEITE [BL/DIA]= 5110
***** DENSIDAD DEL GAS= .8865
***** PRESION EN LA CABEZA DEL POZO [LB/PG^2]= 597
***** EL ACEITE ES VOLATIL (SI/NO)?=NO
***** DIAETR=DIAMETRO EXTERIOR DE LA T.R.[PGS]= 7
***** DIAITR=DIAMETRO INTERIOR DE LA T.R.[PGS]= 6.275
***** DIAETP= DIAMETRO EXTERIOR DE LA T.P.[PGS]= 4.5
***** DIAITP= DIAMETRO INTERIOR DE LA T.P.[PGS]= 3.958
***** PRESION DE BURBUJEO [LB/PG^2]= 2474
***** AI= ANGULO DE INCLINACION DE LA TUBERIA= 74
***** NC= LA SALINIDAD DEL AGUA [X]= .1
***** PS= LA PRESION REAL DE SEPARACION (SEPARADOR) [LB/PG^2]= 86
***** TS= LA TEMPERATURA REAL DE SEPARACION (SEPARADOR) [F]= 68
***** LTAL= LA PROFUNDIDAD TOTAL [PIES]= 11611
***** CAP= CAIDA DE PRESION EN LA TUBERIA [LG/PG^2]= 100
***** RTEW=GASTO DE PRODUCCION DE AGUA [BL/DIA @CS.] = 0
***** PWB= PRESION DE FONDO ESTATICA [LB/PG^2]= 3720
***** PWF1= PRESION DE FONDO FLUYENDO [LB/PG^2]= 3697
***** PROF= PROF. DEL INTERVALO PRODUCTOR [PIES]= 11162
***** RTED= GASTO DESEADO [BL/DIA @ CS.] = 8000
***** EFICIENCIA DEL SEPARADOR= .3

```

SELECCIONAR EL METODO PARA EL CALCULO DE LAS PROPIEDADES PVT DE LOS FLUIDOS.

VAZQUEZ (1), STANDING (2), OISTEIN (3), LABORATORIO (4)= 3

CUENTAS CON FACTORES DE CORRECCION PARA RGA,B0,DO Y MO (SI/NO)SI

CUAL ES EL FACTOR PARA LA RGA (REL. GAS-ACEITE)= 1.2557
 CUAL ES EL FACTOR PARA EL B0 (FACT. VOL. DEL ACEITE)= 1.11
 CUAL ES EL FACTOR PARA EL DO (DENSIDAD DEL ACEITE)= .9334
 CUAL ES EL FACTOR PARA LA MO (VISCOSIDAD DEL ACEITE)= .7723

 SELECCIONAR EL METODO DE CALCULO
 PARA LAS CAIDAS DE PRESION
 EN TUBERIAS VERTICALES

- 1.- ORKISZEWSKI = [OR]
 2.- FANCHER Y BROWN = [FB]
 3.- BEGGS Y BRILL = [BB]

QUE CORRELACION DESEAS UTILIZAR=OR

EL YACIMIENTO ES BAJOSATURADO
 EL POZO ES FLUYENTE (SI/NO) SI

RESULTADOS

POZO: EJEMPLO#2R METODO DE CALCULO:ORKISZEWSKI
 GASTO DE ACEITE= 5110 RELACION GAS-ACEITE= 128

PROF. [PIES]	PRESION [LB/PG*2]	TEMP [CF]	GRAD. DE PRESION DENS.	FRICC.
1162	3683			
10782	3583	302	.3902279	4.90333E-03
10403	3483	276	.3915571	4.859004E-03
10024	3383	290	.3928972	4.422811E-03
9650	3283	285	.3942179	4.445768E-03
9275	3183	280	.3955813	4.469101E-03
8901	3083	274	.3969443	4.493777E-03
8529	2983	269	.3983043	4.519929E-03
8158	2883	263	.3996598	4.547671E-03
7788	2783	258	.4010162	4.577007E-03
7419	2683	253	.402346	4.608621E-03
7052	2583	247	.4036612	4.642406E-03
6686	2483	242	.4049547	4.678664E-03
6321	2383	237	.4062156	4.717805E-03
5957	2283	231	.4074369	4.760192E-03
5594	2183	226	.4085978	4.80653E-03
5232	2083	221	.4096905	4.857277E-03
4871	1983	215	.4106825	4.913504E-03
4511	1883	210	.4115475	4.976235E-03
4152	1783	205	.4122452	5.046899E-03
3793	1683	200	.412723	5.127386E-03
3434	1583	195	.4129131	5.220136E-03
3075	1483	189	.4127241	5.328461E-03

 REGIMEN DE FLUJO A ESTA PROFUNDIDAD ES=BURBUJA

PROFUNDIDAD DE COLOCACION DE LA BOMBA= 3075 [PIES]
 PRESION DE SUCCION DE LA BOMBA= 1383 [LB/PG*2]

**** CALCULO DEL PERFIL EN FORMA DESCENDENTE ****

PROF [PIES]	PRESION [LB/PG*2]	TEMP [CF]	GRAD. DE PRESION DENS.	FRIC.
0	597	140		
370	797	140	.3978601	6.964913E-03
1102	997	145	.40848	6.315623E-03
2193	1197	156	.4123118	5.856086E-03
3075	2071	171	.4130337	5.490772E-03

 REGIMEN DE FLUJO A ESTA PROFUNDIDAD=BURBUJA

A LA PROFUNDIDAD DE COLOCACION DE LA BOMBA= 3075 [PIES]
 LA PRESION DE DESCARGA REQUERIDA ES= 2071.519 [LB/PG*2]

***** CALCULO DEL SISTEMA ELECTROCENTRIFUGO *****

SELECCION DE LA BOMBA ADECUADA PARA EL GASTO CALCULADO
 LFER LA CARGA Y POTENCIA DE SU RESPECTIVA GRAFICA

415.3846 DE ACUERDO A ESTE VALOR DE POTENCIA EN [H.P.]
 DIMENSIONAR EL MOTOR PARA SU RESPECTIVA BOMBA

 ** SELECCION DEL MOTOR, LEER LA POTENCIA, VOLTAJE Y AMPERAJE NECESARIO **

PARA LA SELECCION DEL CABLE SE CUENTA CON LOS SIGUIENTES CABLES
 EN FUNCION DE LA TEMPERATURA DE FONDO QUE ES DE= 302 [F]

- [A] 3KV-REDALANE=GALV. (BUENO PARA 180 [F])
- [B] 3KV-REDARED=GALV. (BUENO PARA 300 [F])
- [C] 3KV-POLIETILENO=(BUENO PARA 140 [F])

QUE TIPO DE CABLE ES SU SELECCION=B
 SELECCIONAR EL TIPO DE CABLE DE ACUERDO A SU GRAFICA
 CORRESPONDIENTE*****

**** DISEÑO DEL APAREJO ELECTROCENTRIFUGO ****

 D A T O S

POZO	PRODUCCION	FLUIDOS
I.R.= 7	PWS= 3720	DO= 26 [API]
T.P.= 3,958	PMF= 3697	DO= .0865
INT.PROD.= 11162 [PIES]		QD= 5110 [BL/DIA]
		QW= 0 [BL/DIA @ C.S.]
		ROA= 128
		TEMPERATURA MEDIA= 184.6365 [F]
		PTH= 597 [LB/PG^2]
		GASTO DESEADO= 8000 [BL/DIA @ C.S.]

R E S U L T A D O S

RELACION GAS/ACEITE EN LA BOMBA= 89.6 [PIE^3/BLQ]
 NUMERO DE SECCIONES = 3

SECCION NUMERO 1

PRESION	VOLUMEN DE LA MEZCLA	DENSIDAD DE LA MEZCLA
[LB/PG^2]	[PIE^3/BL]	[LB-M/PIE^3]
PSUC 1383	13610	35.27
PDES 1583	17185	
GASTO [BL/DIA]	No. DE ETAPAS	POTENCIA [HP]
153983	84	38

SECCION NUMERO 2

PRESION	VOLUMEN DE LA MEZCLA	DENSIDAD DE LA MEZCLA
[LB/PG^2]	[PIE^3/BL]	[LB-M/PIE^3]
PSUC 1583	17185	38.87
PDES 1783	20905	
GASTO No.DE ETAPAS	POTENCIA	[HP]
[BL/DIA]		
190457	102	38

SECCION NUMERO 3

PRESION	VOLUMEN DE LA MEZCLA	DENSIDAD DE LA MEZCLA
[LB/PG^2]	[PIE^3/BL]	[LB-M/PIE^3]
PSUC 1783	20905	41.99
PDES 1983	24775	
GASTO No.DE ETAPAS	POTENCIA	[HP]
[BL/DIA]		
228407	123	138

PRESIONE (C) PARA CONTINUAR

SUMA DE ETAPAS= 308 PRESION DE SUCCION= 1383.992 [LB/PG^2]
 SUMA DE POTENCIAS= 415 PRESION DE DESCARGA= 2071.519 [LBS/PG^2]

 RESULTADOS DEL EQUIPO SUBSUPERFICIAL

PROFUNDIDAD DE COLOCACION DE LA BOMBA= 3075 [PIES]

BOMBA SELECCIONADA=SERIE 650-REDA
 CARGA= 2000 [PIES]

SUMA DE ETAPAS= 3086 SUMA DE POTENCIAS= 415

EFICIENCIA DE LA BOMBA = .65 [%]
 MOTOR=SERIE 540
 POTENCIA DEL MOTOR= 100 [HP]

VOLTAJE= 960
 AMPERAJE= 66 [AMPERS]

TIPO DE CABLE=3KV-REDARED
 CABLE [No.] = 4
 LONGITUD DEL CABLE= 3175.509 [PIES]
 PERDIDA DE VOLTAJE= 20 [VOLT/1000 PIES]

 RESULTADOS DEL EQUIPO SUPERFICIAL

VOLTAJE REQUERIDO EN LA SUPERFICIE= 3360.215 [VOLTS]
 SE REQUERIRAN DE 3 TRANSFORMADORES DE 108 [KVA] PARA UN
 VOLTAJE NECESARIO DEL TRANSFORMADOR= 326 [KILOVOLTS-AMPERS]

POZO EJEMPLO N 26
 Q: 510 M³/día
 R: 126 (Piez/h)²
 C: 200 b/día

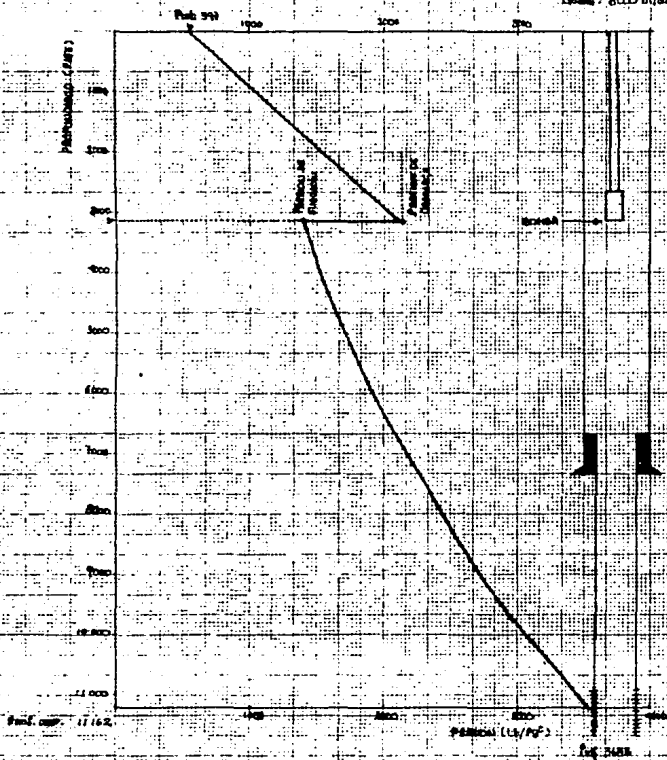


Fig:8 Características de rendimiento planeario con bomba centrífuga/vertical

 ***** NOMBRE DEL POZO=EJEMPL03D
 ***** TEMBH= TEMPERATURA DEL FONDO DEL POZO [FJ]= 221
 ***** TEMPERATURA EN LA SUPERFICIE [FJ]= 158
 ***** DENSIDAD DEL ACEITE [API]= 24
 ***** RELACION DE SOLUBILIDAD GAS-ACEITE [PIE^3/BL]= 78
 ***** GASTO DE PRODUCCION DEL ACEITE [BL/DIA]= 10045
 ***** DENSIDAD DEL GAS= .927
 ***** PRESION EN LA CABEZA DEL POZO [LB/PG^2]= 227
 ***** EL ACEITE ES VOLATIL (SI/NO)?=NO
 ***** DIAETR=DIAMETRO EXTERIOR DE LA T.R.[PGS]= 7
 ***** DIAITR=DIAMETRO INTERIOR DE LA T.R.[PGS]= 6.276
 ***** DIAETP= DIAMETRO EXTERIOR DE LA T.P.[PGS]= 4.5
 ***** DIAITP= DIAMETRO INTERIOR DE LA T.P.[PGS]= 3.958
 ***** PRESION DE BURBUJEO [LB/PG^2]= 2133
 ***** AI= ANGULO DE INCLINACION DE LA TUBERIA= 59
 ***** NC= LA SALINIDAD DEL AGUA [X]= .1
 ***** CS= LA PRESION REAL DE SEPARACION (SEPARADOR) [LB/PG^2]= 86
 ***** TS= LA TEMPERATURA REAL DE SEPARACION (SEPARADOR) [FJ]= 68
 ***** LTAL= LA PROFUNDIDAD TOTAL [PIES]= 7849
 ***** CAIDA DE PRESION EN LA TUBERIA [LG/PG^2]= 100
 ***** RTW=GASTO DE PRODUCCION DE AGUA [BL/DIA @CS.J]= 0
 ***** PWS= PRESION DE FONDO ESTATICA [LB/PG^2]= 2440
 ***** PWF1= PRESION DE FONDO FLUYENDO [LB/PG^2]= 2250
 ***** PROF= PROF. DEL INTERVALO PRODUCTOR [PIES]= 7177
 ***** RTED= GASTO DESEADO [BL/DIA @ CS.J]= 13000
 ***** EFICIENCIA DEL SEPARADOR= .3

SELECCIONAR EL METODO PARA EL CALCULO DE
 LAS PROPIEDADES PVT DE LOS FLUIDOS.

VAZQUEZ (1), STANDING (2), DOSTEIN (3), LABORATORIO (4)= 3

CUENTAS CON FACTORES DE CORRECCION
 PARA RGA,BO,MO Y MU (SI/NO)SI

CUAL ES EL FACTOR PARA LA RGA (REL. GAS-ACEITE)= 1.2499
 CUAL ES EL FACTOR PARA EL BO (FACT. VOL. DEL ACEITE)= 1.1745
 CUAL ES EL FACTOR PARA EL MU (DENSIDAD DEL ACEITE)= .9295
 CUAL ES EL FACTOR PARA LA MO (VISCOSIDAD DEL ACEITE)= .7955

 SELECCIONAR EL METODO DE CALCULO
 PARA LAS CAIDAS DE PRESION
 EN TUBERIAS VERTICALES

1.- ORKISZEWKI = [ORJ]
 2.- FANCHER Y BROWN = [FRJ]
 3.- BEGGS Y BRILL = [BBJ]

QUE CORRELACION DESEAS UTILIZAR=OR

 EL YACIMIENTO ES BAJOSATURADO
 EL POZO ES FLUYENTE (SI/NO) SI

RESULTADOS

POZO: EJEMPL03D	METODO DE CALCULO:ORKISZEWSKI	RELACION GAS-ACEITE= 78	GRAD. DE PRESION	FRICC.
GASTO DE ACEITE= 10045	TEMP	GRAD. DE PRESION	DENS.	FRICC.
PROF.	[X-F]	DENS.	FRICC.	FRICC.
[PIES]	[LB/PG^2]	[X-F]	DENS.	FRICC.
7177	2194			
6775	2094	221	.354994	1.883318E-02
6374	1994	217	.3568621	1.711629E-02

5578	1794	210	-.3605312	1.727797E-02
5183	1694	206	.3623056	1.737683E-02
4790	1594	203	.3639666	.0174954
4398	1494	200	.3654748	1.763835E-02
4008	1394	196	.3667568	1.781377E-02
3619	1294	193	.3677131	1.803262E-02

REGIMEN DE FLUJO A ESTA PROFUNDIDAD ES=BURBUJA

PROFUNDIDAD DE COLOCACION DE LA BOMBA= 3619 [PIES]

PRESION DE SUCCION DE LA BOMBA= 1194 [LB/PG^2]

**** CALCULO DEL PERFIL EN FORMA DESCENDENTE ****

PROF [PIES]	PRESION [LB/PG^2]	TEMP [F]	GRAD. DE PRESION DENS.	FRIC.
0	227	158		
416	427	158	.3345091	2.597553E-02
1227	627	161	.3579757	2.190862F-02
2426	827	168	.3664464	1.997927E-02
3619	1797	179	.369345	1.881885E-02

REGIMEN DE FLUJO A ESTA PROFUNDIDAD=BURBUJA

A LA PROFUNDIDAD DE COLOCACION DE LA BOMBA= 3619 [PIES]

LA PRESION DE DESCARGA REQUERIDA ES= 1797.056 [LB/PG^2]

***** CALCULO DEL SISTEMA ELECTROCENTRIFUGO *****

SELECCION DE LA BOMBA ADECUADA PARA EL GASTO CALCULADO
LEER LA CARGA Y POTENCIA DE SU RESPECTIVA GRAFICA

484.6154 DE ACUERDO A ESTE VALOR DE POTENCIA EN CH.P.J
DIMENSIONAR EL MOTOR PARA SU RESPECTIVA BOMBA

** SELECCION DEL MOTOR, LEER LA POTENCIA, VOLTAJE Y AMPERAJE NECESARIO **

PARA LA SELECCION DEL CABLE SE CUENTA CON LOS SIGUIENTES CABLES
EN FUNCION DE LA TEMPERATURA DE FONDO QUE ES DE= 221 [F]

[A] 3KV-REDALANE=GALV.(BUENO PARA 180 [F])

[B] 3KV-REDARED=GALV.(BUENO PARA 300 [F])

[C] 3KV-POLIETILENO=(BUENO PARA 140 [F])

QUE TIPO DE CABLE ES SU SELECCION=C

SELECCIONAR EL TIPO DE CABLE DE ACUERDO A SU GRAFICA
CORRESPONDIENTE*****

**** DISEÑO DEL APAREJO ELECTROCENTRIFUGO ****

D A T O S

POZO PRODUCCION FLUIDOS

T.P.= 3.958 PWF= 2250
INT.PROD.= 7177 [PIES]

DG= .927

GO= 10045 [BL/DIA]
GW= 0 [BL/DIA @ C.S.]

ROA= 78
TEMPERATURA MEDIA= 189.7753 [F]
PTH= 227 [LB/PG^2]
GASTO DESEARO= 13000 [BL/DIA @ C.S.]

R E S U L T A D O S

RELACION GAS/ACEITE EN LA BOMBA= 54.6 [PIE^3/BLQ]
NUMERO DE SECCIONES = 3

SECCION NUMERO 1

PRESION VOLUMEN DE DENSIDAD DE LA
[LB/PG^2] LA MEZCLA MEZCLA
PSUC 1194 [PIE^3/BL] [LB-M/PIE^3]
PDES 1394 25998 36.21
32392
GASTO No.DE ETAPAS POTENCIA [HP]
[BL/DIA] 79 161
291952

SECCION NUMERO 2

PRESION VOLUMEN DE DENSIDAD DE LA
[LB/PG^2] LA MEZCLA MEZCLA
PSUC 1394 [PIE^3/BL] [LB-M/PIE^3]
PDES 1594 32392 1 39.21
39041 1
GASTO No.DE ETAPAS POTENCIA [HP]
[BL/DIA] 97 161
357169

SECCION NUMERO 3

PRESION VOLUMEN DE DENSIDAD DE LA
[LB/PG^2] LA MEZCLA MEZCLA
PSUC 1594 [PIE^3/BL] [LB-M/PIE^3]
PDES 1794 4596C 39.89
GASTO No.DE ETAPAS POTENCIA [HP]
[BL/DIA] 116 161
425011

PRESIONE (C) PARA CONTINUAR

SUMA DE ETAPAS= 293 PRESION DE SUCCION= 1194.106 [LB/PG^2]
SUMA DE POTENCIAS= 484 PRESION DE DESCARGA= 1797.056 [LB/PG^2]

RESULTADOS DEL EQUIPO SUBSUPERFICIAL

PROFUNDIDAD DE COLOCACION DE LA BOMBA= 3619 [PIES]

BOMBA SELECCIONADA=SERIE 675-CENTRILIFT
CARGA= 2000 [PIES]

SUMA DE ETAPAS= 2938 SUMA DE POTENCIAS= 484

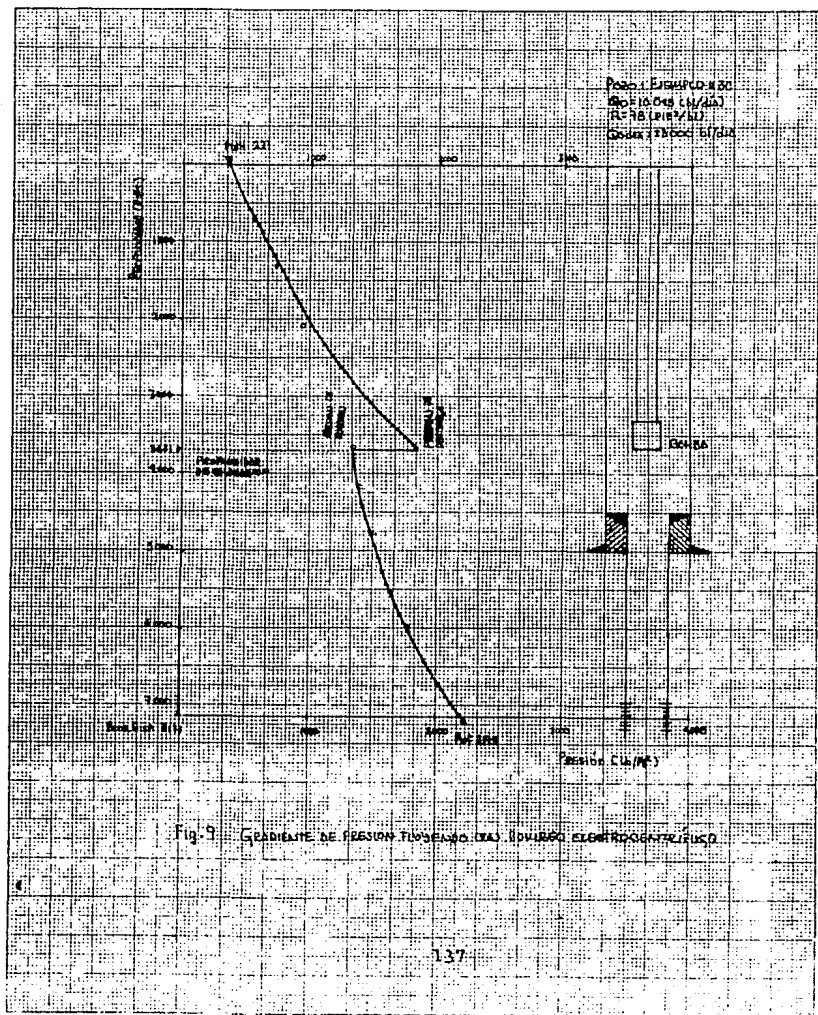
EFICIENCIA DE LA BOMBA = .7 [%]
MOTOR=SERIE 540
POTENCIA DEL MOTOR= 130 [HP]

VOLTAJE= 965
AMPERAJE= 84 [AMPERS]

TIPO DE CABLE=3KV-POLIETILENO
CABLE [No.] = 4
LONGITUD DEL CABLE= 3719.867 [PIES]
PERDIDA DE VOLTAJE= 45 [VOLT/1000 PIES]

***** RESULTADOS DEL EQUIPO SUPERFICIAL *****

VOLTAJE REQUERIDO EN LA SUPERFICIE= 3378.07 [VOLTS]
SE REQUERIRAN DE 3 TRANSFORMADORES DE 139 [KVA] PARA UN
VOLTAJE NECESARIO DEL TRANSFORMADOR= 417 [KILOVOLTS-AMPERS]



INFORMAS VERTICALES

- 1.- OMKISZEMKI = (OR)
- 2.- FANCHER Y BROWN = (FB)
- 3.- BROWN Y KELLY = (KB)

QUE CORRELACION DE SI AS UTILIZAN-OR

EL YALTIMIENTO ES BAJOSATURADO
 EL POZO ES FLUYENTE (SI/NO) SI

RESULTADOS

POZO: EJEMPLO#4B		Método de cálculo: OMKISZEMSKI			
GASTO DE ACEITE = 15102	RELACION GAS-ACEITE = 73				
PROF.	PRESION	TEMP	GRAD. DE PRESION	FRICC.	
(PIES)	(LB/PG^2)	(F)	DENS.		
9460	3834				
9114	3734	243	.3995997	3.679825E-02	
8773	3634	237	.4006207	3.637097E-02	
8427	3534	235	.4017396	3.230278E-02	
8000	3434	231	.402893	3.249174E-02	
7739	3334	228	.4039744	3.270041E-02	
7396	3234	224	.4050381	3.292403E-02	
7055	3134	220	.4061499	3.314427E-02	
6715	3034	216	.4072809	.0333753	
6375	2934	213	.4084377	3.361404E-02	
6037	2834	209	.4095588	3.386963E-02	
5700	2734	205	.4107038	3.413774E-02	
5364	2634	202	.4118939	3.441135E-02	
5029	2534	198	.4130278	3.470271E-02	
4695	2434	194	.4142274	3.500952E-02	
4362	2334	191	.4154941	3.533258E-02	
4031	2234	187	.4167403	3.567269E-02	
3700	2134	183	.4180034	3.603393E-02	
3371	2034	180	.4192872	3.641852E-02	

REGIMEN DE FLUJO A ESTA PROFUNDIDAD ES-BURBUJA

PROFUNDIDAD DE COLOCACION DE LA BOMBA= 3371 (PIES)

PRESION DE SUCCION DE LA BOMBA= 1934 (LB/PG^2)

**** CALCULO DEL PERFIL FN FORMA DESCENDENTE ****

PROF	PRESION	TEMP	GRAD. DE PRESION	FRIC.	
(PIES)	(LB/PG^2)	(F)	DENS.		
0	938	140			
319	1138	140	.4270286	4.317198E-02	
959	1338	143	.4282647	4.171888E-02	
1923	1538	150	.4276814	4.018298E-02	
3214	1738	160	.4203294	3.854799E-02	
3371	1929	175	.4180388	3.689066E-02	

REGIMEN DE FLUJO A ESTA PROFUNDIDAD ES-BURBUJA

A LA PROFUNDIDAD DE COLOCACION DE LA BOMBA= 3371 (PIES)

LA PRESION DE DESCARGA REQUERIDA ES= 3029.211 (LB/PG^2)

***** CALCULO DEL SISTEMA ELECTROCENTRIFUGO *****

SELECCION DE LA BOMBA ADECUADA PARA EL GASTO CALCULADO
 LEER LA CARGA Y POTENCIA DE SU RESPECTIVA GRAFICA

553.8461 DE ACUERDO A ESTE VALOR DE POTENCIA EN CH.P.]
DIMENSIONAR EL MOTOR PARA SU RESPECTIVA BOMBA

** SELECCION DEL MOTOR, LEER LA POTENCIA, VOLTAJE Y AMPERAJE NECESARIO**

PARA LA SELECCION DEL CABLE SE CUENTA CON LOS SIGUIENTES CABLES
EN FUNCION DE LA TEMPERATURA DE FONDO QUE ES DE= 243 (F)

[A] 3KV-REDALANE=GALV.(BUENO PARA 180 [F])
[B] 3KV-REDARED=GALV.(BUENO PARA 300 [F])
[C] 3KV-POLIETILENO=(BUENO PARA 140 [F])

QUE TIPO DE CABLE ES SU SELECCION=B
SELECCIONAR EL TIPO DE CABLE DE ACUERDO A SU GRAFICA
CORRESPONDIENTE*****

*** DISEÑO DEL APAREJO ELECTROCENTRIFUGO ***

D A T O S

POZO	PRODUCCION	FLUIDOS
T.R.= 7	PWS= 3872	DD= 20 [API]
T.P.= 3.958	PWF= 3839	DG= .93
INT.PROD.= 9460 [PIES]		QD= 15102 [BL/DIA]
		QW= 0 [BL/DIA @ C.S.]
	ROA= 73	
	TEMPERATURA MEDIA= 176.7087 [F]	
	PTH= 938 [LB/PG^2]	
	GASTO DESEADO= 17000 [BL/DIA @ C.S.]	

R E S U L T A D O S

RELACION GAS/ACEITE EN LA BOMBA= 51.1 [PIE^3/BL0]
NUMERO DE SECCIONES = 6

SECCION NUMERO 1

PRESION	VOLUMEN DE LA MEZCLA	DENSIDAD DE LA MEZCLA
[LB/PG^2]	[PIE^3/BL]	[LB-M/PIE^3]
PSUC 1934	59861	22.16
PDES 2134	68902	
GASTO No. DE ETAPAS	POTENCIA	[HP]
[BL/DIA]		
643818	76	92

SECCION NUMERO 2

PRESION	VOLUMEN DE LA MEZCLA	DENSIDAD DE LA MEZCLA
[LB/PG^2]	[PIE^3/BL]	[LB-M/PIE^3]

PDES 2334

78301

GASTO No.DE ETAPAS POTENCIA

[BL/DIA]

736020

87

[HP]

92

SECCION NUMERO 3

PRESION

VOLUMEN DE

DENSIDAD DE LA

LA MEZCLA

MEZCLA

[LB/PG^2]

[PIE^3/BL]

[LB-M/PIE^3]

PSUC 2334

78301

24.68

PDES 2534

88068

GASTO No.DE ETAPAS POTENCIA

[BL/DIA]

831853

99

[HP]

92

SECCION NUMERO 4

PRESION

VOLUMEN DE

DENSIDAD DE LA

LA MEZCLA

MEZCLA

[LB/PG^2]

[PIE^3/BL]

[LB-M/PIE^3]

PSUC 2534

88068

27.70

PDES 2734

98209

GASTO No.DE ETAPAS POTENCIA

[BL/DIA]

931393

110

[HP]

92

SECCION NUMERO 5

PRESION

VOLUMEN DE

DENSIDAD DE LA

LA MEZCLA

MEZCLA

[LB/PG^2]

[PIE^3/BL]

[LB-M/PIE^3]

PSUC 2734

98209

35.86

PDES 2934

108732

GASTO No.DE ETAPAS POTENCIA

[BL/DIA]

1034710

123

[HP]

92

SECCION NUMERO 6

PRESION

VOLUMEN DE

DENSIDAD DE LA

LA MEZCLA

MEZCLA

[LB/PG^2]

[PIE^3/BL]

[LB-M/PIE^3]

PSUC 2934

108732

40.56

PDES 3134

119642

GASTO No.DE ETAPAS POTENCIA

[BL/DIA]

1141871

136

[HP]

92

PRESIONE (C) PARA CONTINUAR

SUMA DE ETAPAS= 633.
SUMA DE POTENCIAS= 553

PRESION DE SUCCION= 1934.853 [LB/PG^2]
PRESION DE DESCARGA= 3229.711 [LBS/PG^2]

RESULTADOS DEL EQUIPO SUBSUPERFICIAL

PROFUNDIDAD DE COLOCACION DE LA BOMBA= 3371 [PIES]

BOMBA SELECCIONADA=SERIE 675-CENTRILIFT
CARGA= 3000 [PIES]

SUMA DE ETAPAS= 6332 SUMA DE POTENCIAS= 553

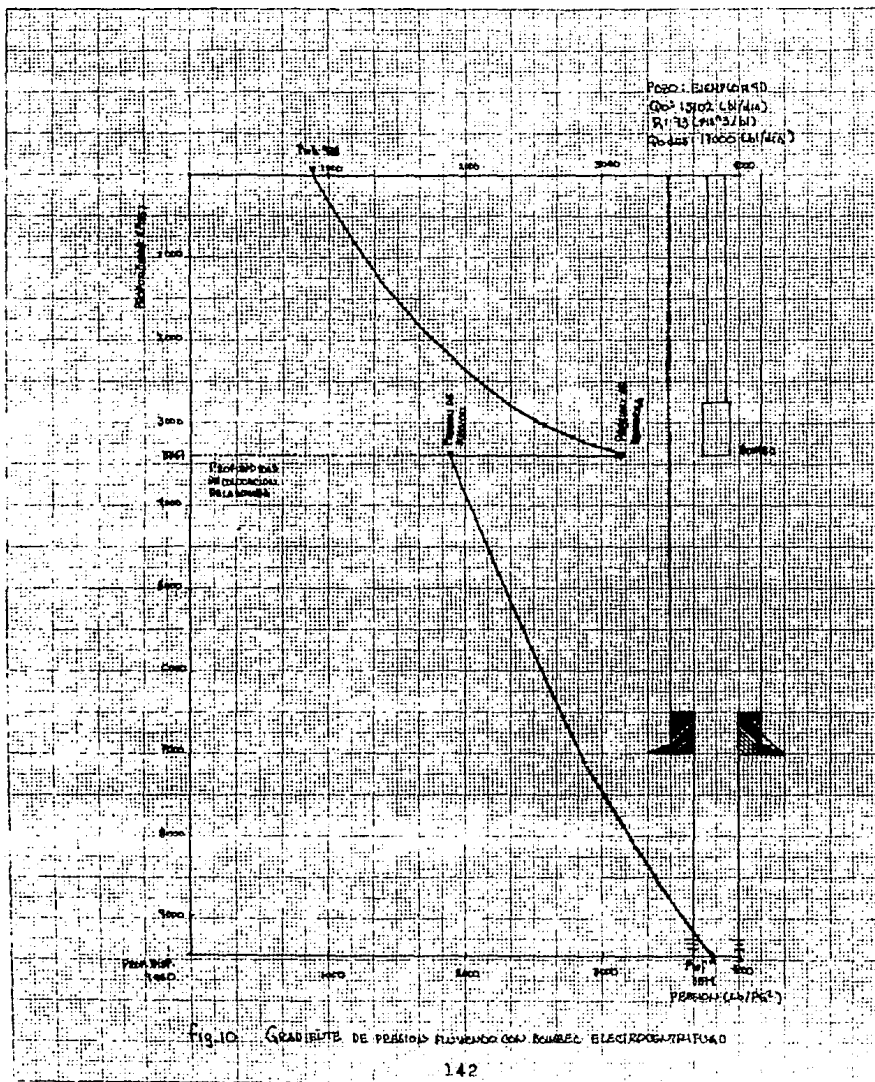
EFICIENCIA DE LA BOMBA = .7 [%]
MOTOR=SERIE 540
POTENCIA DEL MOTOR= 70 [HP]

VOLTAJE= 880
AMPERAJE= 51 [AMPERS]

TIPO DE CABLE=3KV-REDARED
CABLE [No.]= 4
LONGITUD DEL CABLE= 3471.496 [PIES]
PERDIDA DE VOLTAJE= 50 [VOLT/1000 PIES]

RESULTADOS DEL EQUIPO SUPERFICIAL

VOLTAJE REQUERIDO EN LA SUPERFICIE= 3080.59 [VOLTS]
SE REQUERIRAN DE 3 TRANSFORMADORES DE 77 [KVA] PARA UN
VOLTAJE NECESARIO DEL TRANSFORMADOR= 231 [KILOVOLTS-AMPERS]



 ***** NOMBRE DEL POZO=EJEMPLO#1A
 ***** TEMBH= TEMPERATURA DEL FONDO DEL POZO [F]= 248
 ***** TEMPERATURA EN LA SUPERFICIE [F]= 190
 ***** DENSIDAD DEL ACEITE [API]= 22
 ***** RELACION DE SOLUBILIDAD GAS-ACEITE [PIE^3/BL]= 472
 ***** GASTO DE PRODUCCION DEL ACEITE [BL/DIA]= 1119
 ***** DENSIDAD DEL GAS = .9
 ***** PRESION EN LA CABEZA DEL POZO [LB/PG^2]= 400
 ***** EL ACEITE ES VOLATIL (SI/NO)?=NO
 ***** DIATR=DIAMETRO EXTERIOR DE LA T.R.[PGS]= 9.621
 ***** DIATR=DIAMETRO INTERIOR DE LA T.R.[PGS]= 9.5
 ***** DIAETP= DIAMETRO EXTERIOR DE LA T.P.[PGS]= 4.625
 ***** DIAITP= DIAMETRO INTERIOR DE LA T.P.[PGS]= 4.5
 ***** PRESION DE BURBUJEO [LB/PG^2]= 2130
 ***** AI= ANGULO DE INCLINACION DE LA TUBERIA= 72
 ***** NC= LA SALINIDAD DEL AGUA [Z]= .1
 ***** PS= LA PRESION REAL DE SEPARACION (SEPARADOR) [LB/PG^2]= B8
 ***** IS= LA TEMPERATURA REAL DE SEPARACION (SEPARADOR) [F]= 68
 ***** LIAL= LA PROFUNDIDAD TOTAL [PIES]= 7897
 ***** CAP= CAIDA DE PRESION EN LA TUBERIA [LB/PG^2]= 100
 ***** RTW= GASTO DE PRODUCCION DE AGUA [BL/DIA] QCS.= 0
 ***** FWS= PRESION DE FONDO ESTATICA [LB/PG^2]= 2659
 ***** PWF1= PRESION DE FONDO FLUYENDO [LB/PG^2]= 2245
 ***** PROF= PROF. DEL INTERVALO PRODUCTOR [PIES]= 7607
 ***** RTED= GASTO DESEADO [BL/DIA] @ CS.= 13000
 ***** EFICIENCIA DEL SEPARADOR= .3

SELECCIONAR EL METODO PARA EL CALCULO DE
 LAS PROPIEDADES PVT DE LOS FLUIDOS.

VAZQUEZ (1), STANDING (2), OISTEIN (3), LABORATORIO (4)= 3

CUENTAS CON FACTORES DE CORRECCION
 PARA RGA,BO,DO Y MO (SI/NO)SI

CUAL ES EL FACTOR PARA LA RGA (REL. GAS-ACEITE)= 1.2557
 CUAL ES EL FACTOR PARA EL BO (FACT. VOL. DEL ACEITE)= 1.11
 CUAL ES EL FACTOR PARA EL DO (DENSIDAD DEL ACEITE)= .9334
 CUAL ES EL FACTOR PARA LA MO (VISCOSIDAD DEL ACEITE)= .7723

SELECCIONAR EL METODO DE CALCULO
 PARA LAS CAIDAS DE PRESION
 EN TUBERIAS VERTICALES

1.- ORKISZEWKI = [OR]
 2.- FANCHER Y BROWN = [FB]
 3.- BEGGS Y BRILL = [BB]

QUE CORRELACION DESEAS UTILIZAR=OR

EL YACIMIENTO ES BAJOSATURADO
 EL POZO ES FLUYENTE (SI/NO) SI

RESULTADOS

POZO: EJEMPLO#1A		METODO DE CALCULO:ORKISZEWSKI		
GASTO DE ACEITE= 1119	PRESION	TEMP	RELACION GAS-ACEITE= 472	GRAD. DE PRESION
[PIES]	[LB/PG^2]	[x F]	DENS.	FRICC.
7607	2174			
7134	2074	248	.2917712	2.589926E-02
6790	1974	244	.1472932	3.418331E-02

REGIMEN DE FLUJO A ESTA PROFUNDIDAD ES=BACHE

PROFUNDIDAD DE COLOCACION DE LA BOMBA= 6390 [PIES]
PRESION DE SUCCION DE LA BOMBA= 1874 [LBS/PG^2]

*** CALCULO DEL PERFIL EN FORMA DESCENDENTE ***

PROF. [PIES]	PRESION [LB/PG^2]	TEMP [F]	GRAD. DE PRESION DENS.	FRIC.
0	400	190		
570	600	190	.2049312	5.804772E-02
1755	800	194	.194108	4.982906E-02
3601	1000	203	.1817854	4.514521E-02
6138	1200	217	.1754059	4.195877E-02
6390	2462	236	.1758946	3.944483E-02

REGIMEN DE FLUJO A ESTA PROFUNDIDAD=BACHE

A LA PROFUNDIDAD DE COLOCACION DE LA BOMBA= 6390 [PIES]
LA PRESION DE DESCARGA REQUERIDA ES= 2462.734 [LBS/PG^2]

***** CALCULO DEL SISTEMA ELECTROCENTRIFUGO *****

SELECCION DE LA BOMBA ADECUADA PARA EL GASTO CALCULADO
LEER LA CARGA Y POTENCIA DE SU RESPECTIVA GRAFICA

415.3846 DE ACUERDO A ESTE VALOR DE POTENCIA EN [H.P.]
DIMENSIONAR EL MOTOR PARA SU RESPECTIVA BOMBA

* SELECCION DEL MOTOR, LEER LA POTENCIA, VOLTAJE Y AMPERAJE NECESARIO *

PARA LA SELECCION DEL CABLE SE CUENTA CON LOS SIGUIENTES CABLES
EN FUNCION DE LA TEMPERATURA DE FONDO QUE ES DE= 248 [F]

[A] 3KV-REDALANE=GALV. (BUENO PARA 180 [F])
[B] 3KV-REDARED=GALV. (BUENO PARA 300 [F])
[C] 3KV-POL.IETILENO=(BUENO PARA 140 [F])

QUE TIPO DE CABLE ES SU SELECCION=B
SELECCIONAR EL TIPO DE CABLE DE ACUERDO A SU GRAFICA
CORRESPONDIENTE*****

*** DISEÑO DEL APAREJO ELECTROCENTRIFUGO ***

D A T O S

POZO	PRODUCCION	FLUIDOS
T.R.= 9.621	PMS= 2659	DO= 22 [CAP1]
T.P.= 4.5	PUF= 2245	DO= .9
INT.PROD.= 7607 [PIES]		QO= 11119 [BL/DIA]
		QU= 0 [BL/DIA @ C.B.]

PGA= 472

TEMPERATURA MEDIO= 238.7233 [F]
PTH= 400 [LB/PG^2]
GASTO DESEADO= 13000 [BL/DIA @ C.S.]

R E S U L T A D O S

RELACION GAS/ACEITE EN LA BOMBA= 330.4 [PIE^3/BLO]
NUMERO DE SECCIONES = 3

SECCION NUMERO 1

PRESION VOLUMEN DE DENSIDAD DE LA
LA HEZCLA HEZCLA
[LB/PG^2] [PIE^3/BL] [LB-M/PIE^3]
PSUC 1874 29998 34.15
PDES 2074 23235

GASTO No.DE ETAPAS POTENCIA [HP]
[BL/DIA] 595 138
266172

SECCION NUMERO 2

PRESION VOLUMEN DE DENSIDAD DE LA
LA HEZCLA HEZCLA
[LB/PG^2] [PIE^3/BL] [LB-M/PIE^3]
PSUC 2074 23235 36.90
PDES 2274 16203

GASTO No.DE ETAPAS POTENCIA [HP]
[BL/DIA] 434 138
197198

SECCION NUMERO 3

PRESION VOLUMEN DE DENSIDAD DE LA
LA HEZCLA HEZCLA
[LB/PG^2] [PIE^3/BL] [LB-M/PIE^3]
PSUC 2274 16203 42.00
PDES 2474 88971

GASTO No.DE ETAPAS POTENCIA [HP]
[BL/DIA] 261 138
125505

PRESIONE (C) PARA CONTINUAR

SUMA DE ETAPAS= 1291 PRESION DE SUCCION= 1874.964 [LB/PG^2]
SUMA DE POTENCIAS= 415 PRESION DE DESCARGA= 2462.734 [LBS/PG^2]

RESULTADOS DEL EQUIPO SUBSUPERFICIAL

PROFUNDIDAD DE COLOCACION DE LA BOMBA= .6390 [PIES]

BOMBA SELECCIONADA=REDA D-55
CARGA= 200 [PIES]

SUMA DE ETAPAS= 12917 SUMA DE POTENCIAS= 415

EFICIENCIA DE LA BOMBA = .65 [%]
MOTOR=SERIE 540
POTENCIA DEL MOTOR= 200 [HP]

VOLTAJE= 1160
AMPERAJE= 105 [AMPERS]

TIPO DE CABLE=3KV-REDARED
CABLE [No.] = 4
LONGITUD DEL CABLE= 6490.31 [PIES]
PERDIDA DE VOLTAJE= 50 [VOLT/1000 PIES]

RESULTADOS DEL EQUIPO SUPERFICIAL.

VOLTAJE REQUERIDO EN LA SUPERFICIE= 4061.110 [VOLTS]
SE REQUERIRAN DE 3 TRANSFORMADORES DE 209 [KVA] PARA UN
VOLTAJE NECESARIO DEL TRANSFORMADOR= 627 [KILOVOLTS-AMPERS]

V.3 ANALISIS ECONOMICO DEL SISTEMA

La ingeniería petrolera tiene como objetivo primordial obtener una eficiencia máxima en la explotación de los yacimientos. La frase "eficiencia máxima" significa, en este caso, la máxima recuperación al mínimo costo. A fin de lograr este objetivo, el ingeniero petrolero, además de analizar e interpretar técnicamente sus proyectos, debe ser capaz de cuantificarlos económicamente, para demostrar que la solución sugerida es la que produce mayor ganancia.

Son seis los factores económicos que representan los parámetros más importantes en la selección de un equipo de explotación artificial:

- 1) Inversión Inicial de Capital
- 2) Indicadores mensuales de Gastos/Ingresos
- 3) Vida útil del equipo
- 4) Número de Pozos a ser intervenidos
- 5) Costos por reparación
- 6) Vida Económica del Pozo

Dichas guías económicas serán definidas por la experiencia, especialmente dentro de un marco definido de condiciones de operación de un pozo^{16, 17}.

El sistema electrocentrífugo en particular se ha considerado un éxito económico debido a:

- 1) Su costo inicial
- 2) Gastos de extracción y reparación
- 3) Notable incremento en la producción¹⁸

El primer factor, costo inicial, dependerá del tamaño de la unidad de bombeo requerida. La investigación inicial (dolar 1986) para el sistema electrocentrífugo de un pozo en estudio: 60 HP (44.1 W) y 900 bl/día fué de U\$S -- 30,000.00 aproximadamente, U\$S 25,000.00 menos por instalación que una unidad de bombeo neumático, la cual tiene un costo de U\$S 55,000.00.

El segundo factor económico es el costo comparativo de extracción y reparación de una instalación de bombeo electrocentrífugo con respecto a una de bombeo hidráulico, tipo Jet. El costo promedio para dicha instalación fue de U\$S 2,609.00 por falla, y U\$S 9,976.00 fue calculado para un sistema electrocentrífugo. Pero las fallas fueron menos frecuentes en este último.

De acuerdo a los datos de producción de dicho pozo antes y después de la instalación del equipo, permitirán estimar un costo de recuperación de aceite de U\$S 0.04/bl.

Esto permitiría reducir los costos por extracción y reparación del equipo en un orden de US\$ 27,500.00/mes o US\$ 300,00.00/año.

De acuerdo al tercer punto, el sistema electrocentrífugo puede incrementar la producción aproximadamente en un 20% por pozo. Lo anterior se observó analizando el comportamiento de la curva antes y después de la instalación del sistema. (Ver la Fig. 5.2)

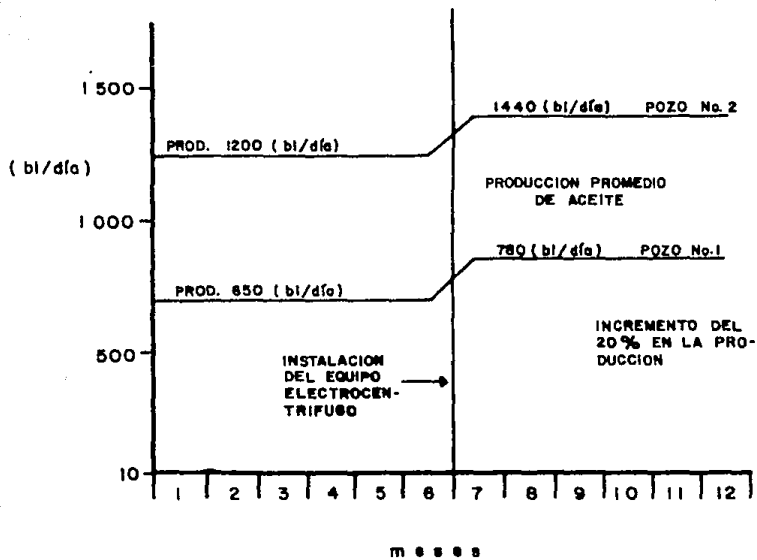


FIG.5.3 PRODUCCION NORMALIZADA ANTES Y DESPUES DE LA INSTALACION VS TIEMPO.

T A B L A I CALCULO DE LIMITE ECONOMICO

	<u>BOMBEO</u> <u>ELECTRICO</u>	<u>BOMBEO</u> <u>NEUMATICO</u>
Producción de fluido, bl/año ^{a)}	8,894	5,890
Costos por extracción, \$/año ^{a)}	568	558
Gastos por reparación, \$/año ^{a)}	198	376
Costo Total, \$/año ^{a)}	766	944
Costos por Extracción, \$/bl de aceite ^{b)}	0.0896	0.160
Barriles de fluido a producirse 1 bl de aceite c)	114.0	61.25
Límite económico en fracción de agua, % d)	99.2	98.4

Obtención de los puntos anteriores:

- a) en miles
- b) costos totales/producción
- c) precio del aceite (\$/bl)/costos/bl de aceite extraído
- d) (barriles de aceite - 1)/(barriles de aceite) x 100

CAPITULO VI

PROTECCION Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

El siguiente capítulo tiene por objeto mencionar las causas y las medidas de protección que se utilizan comúnmente en el sistema electrocentrífugo en condiciones extremas de trabajo, así como sus fallas más frecuentes y corrección de las mismas.¹⁸

VI.1 MEDIDAS DE PROTECCION

En el pasado el sistema de bombeo electrocentrífugo se consideró muy útil en la producción de altos volúmenes de aceite, bajas temperaturas y pozos verticales. Hoy en día el bombeo electrocentrífugo se ha desarrollado como uno de los medios más versátiles de recuperación de fluidos prácticamente a partir de cualquier profundidad, incluyendo condiciones hostiles en el fondo del pozo. Además, se ha utilizado exitosamente en la producción de volúmenes inferiores de los 100 bl/día.

Una de las mayores dificultades con las que se encontró el equipo electrocentrífugo fue la de vencer las altas temperaturas de fondo. El problema radicó en las limitaciones de temperatura de los materiales utilizados en el ca

cable de suministro de energía, anillos (o-rings) y sellos. Sin embargo, en la actualidad la tecnología se ha desarrollado a tal grado que los materiales que se utilizan para la producción de cables son capaces de resistir temperaturas de fondo hasta de 250° F (129°C).

Los materiales que una vez se usaron para anillos (o-rings), cuando fueron expuestos a altas temperaturas tuvieron la tendencia a contraerse y endurecerse, dando como resultado una pérdida de sello. Hoy existe gran cantidad de materiales seleccionados para este uso, todos capaces de resistir altas temperaturas de fondo y fluidos corrosivos provenientes del pozo.

La investigación en el desarrollo de mejorar el aislamiento, ha producido materiales capaces de tener gran durabilidad en temperaturas que exceden los 250°F, ya que años atrás era común el uso de barnices como recubrimientos. El problema de dichos barnices es que formaban capas protectoras muy delgadas, dando como efecto una pobre transferencia de calor desde el interior del motor hasta su exterior. En la actualidad las formas de protección más recientes para el motor del sistema electrocentrífugo proporcionan un recubrimiento eficaz y una mejor conductividad del calor que la de los barnices.

Otro problema que es considerado extremadamente perjudicial al equipo electrocentrífugo, es el de los ambientes corrosivos, los cuales afectan a los materiales que recubren el cable y el embobinado del motor eléctrico, debido al sello inadecuado. El daño corrosivo a los materiales recubiertos se combatido exitosamente por medio de dos maneras:

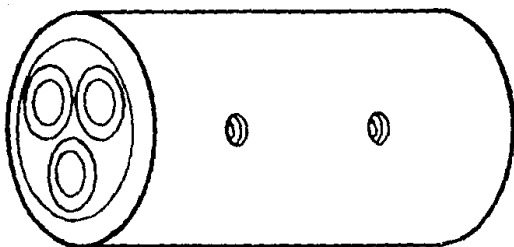
La primera es la utilización de un material metálico no corrosivo, con recubrimiento de acero al carbón, y el segundo método consiste en emplear un material plástico envolvente, el cual no se ve afectado por la corrosión. La elección de la forma de utilizar dependerá del medio corrosivo. En la mayoría de los casos de pozos que contienen bajas concentraciones de H_2S (ácido Sulfhídrico), el material metálico será el de la técnica adecuada en la protección del material envolvente. Si el pozo tiene altas concentraciones de H_2S , se requerirá entonces de materiales especiales, tales como el acero inoxidable, aunque aparentemente signifique un incremento económico en la inversión, ya que ésta se verá compensada por un aumento substancial en la vida productiva del equipo.

La corrosión del revestimiento del cable fue siempre un problema, por lo que la única solución hasta el momento ha sido el empleo de cables con recubrimiento "Monel".

Para corrosión a baja temperatura se ha usado por años la aplicación de recubrimientos de polipropileno, pero actualmente, en ambientes con altas temperaturas, no ha sido un material durable ni resistente a la corrosión.

Hoy en día, los materiales de recubrimiento utilizables permanecen virtualmente inalterables ante la presencia de fluidos corrosivos. Además, vienen provistos de protección adicional para los conductores eléctricos. Estos materiales son empleados como recubrimientos perforados para ambientes gaseosos. Esto permite que el gas escape de la parte interior del cable para así prevenir un aglomeramiento o acumulación que ocurre como resultado de la descompresión, cuando el cable es removido del pozo. El nuevo material sirve además como reemplazo de recubrimientos metálicos, así como de material protector utilizado alrededor de los conductores para prevenir el daño mecánico. Ver fig. 6.1

Un problema muy serio que involucró prácticamente a todos los sistemas de bombeo por espacio de varios años fue la liberación de gas en la producción de fluidos, hasta que recientemente, todos los separadores de gas, ya sean para bombeo mecánico o electrocentrífugo, son del tipo copa, es decir, que usan copas de retención, las cuales permiten que el gas escape.



LAS PERFORACIONES PERMITEN QUE EL GAS
ESCAPE DEL INTERIOR DEL CABLE PREVIENIENDO
ASI ACUMULACIONES ORIGINADAS AL REMOVERLO
DEL INTERIOR DEL POZO.

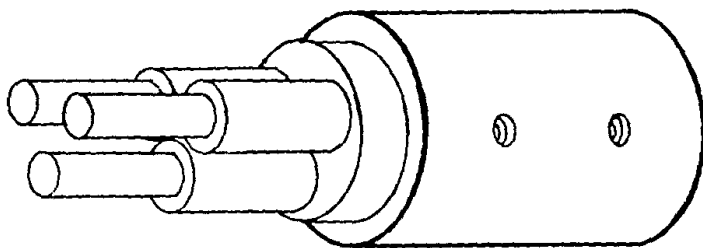


FIG. 6.1 PROTECTORES PARA CABLES ELECTRICOS

Pruebas de laboratorio muestran que el comportamiento de los separadores de este tipo se ve afectado cuando el volumen total de gas libre excede del 10% del volumen total del líquido. Recientemente se ha desarrollado un separador de gas rotatorio, el cual emplea la fuerza centrífuga para separar los fluidos del gas libre. Este tipo de separadores tiene por objetivo separar cualquier mezcla de gas líquido proveniente del pozo antes de entrar al sistema de bombeo. El separador introduce la mezcla y la dirige al interior de una cámara centrífuga, donde es sujeta a fuerzas centrífugas sumamente altas, lo cual fuerza a los líquidos, por ser más pesados, hacia la parte externa de la cámara, mientras que el gas libre permanece cerca del centro. El líquido entonces es conducido a la "boca" del primer impulsor de la bomba, mientras que el gas desviado a través de un conducto al espacio anular.

VI.2 ANALISIS DE FALLAS

Esta sección tiene por objeto ser un auxiliar en lo concerniente a las principales causas de las fallas del equipo electrocentrífugo y proporcionar algunas sugerencias para reducir las o prevenir las.

VI.2.1 CAUSAS DE LAS FALLAS

- (1) Sobrecarga excesiva por un periodo prolongado de tiempo.
- (2) Fugas en la sección sellante o protectora.
- (3) Condiciones del pozo (movimiento insuficiente del fluido, alta temperatura, corrosión y abrasivos en la corriente del fluido).
- (4) Corrosión
- (5) Mala o defectuosa instalación del equipo.
- (6) Problemas con el tablero de control.
- (7) Equipo defectuoso.
- (8) Desgaste de la bomba.
- (9) Malas condiciones del sistema eléctrico.
- (10) Condiciones ambientales (relámpagos).

VI.2.1.1 CAUSAS DE LAS FALLAS DEL MOTOR

- (1) Sobre carga excesiva del motor.
Este problema puede ser originado por cualquiera de las siguientes razones, o por la combinación de las mismas:
 - (a) Alta densidad anormal del fluido del pozo.
 - (b) Mal diseño (sobredimensionamiento del motor) debido a la carencia de datos.

- (c) Desgaste de la bomba.
- (d) Voltaje por debajo del necesario.

(2) Fugas en la sección sellante o protectora.

Una fuga en la sección sellante permite que los fluidos del pozo se introduzcan al motor, lo -- que comúnmente trae como consecuencia que éste falle. Las causas posibles por las que ocurre una fuga en dicha sección, son:

- (a) Desgaste de la bomba, el cual a su vez puede ocasionar daño en los sellos, por las -- vibraciones.
- (b) Rompimiento mecánico de los sellos debido a un manejo rudo e inadecuado.
- (c) Construcción defectuosa de la sección sellante.
- (d) Malos métodos y/o procedimientos de instalación.

(3) Condiciones del Pozo: Movimiento insuficiente del fluido. Esto ocurre cuando:

- (a) El volumen de producción no es el suficiente para enfriar el motor. La velocidad recomendable para el fluido es de 3/4 a 1 -- pie/seg., con un mínimo absoluto de 1/2 -- pie/seg.
- (b) Cuando la unidad es colocada por debajo de las perforaciones en un pozo y no se instala un recubrimiento que dirija el fluido -- al motor para que éste pueda ser enfriado.

(4) Corrosión.

El deterioro del metal debido a la corrosión, - puede dar como resultado perforaciones en los - materiales aislantes. Dichas perforaciones permitirían a los fluidos del pozo introducirse al motor u ocasionar pérdidas de presión en la bom ba.

(5) Instalación defectuosa.

Esta posible causa pudiera ser el resultado de una falla en la instalación, equipo defectuoso o la existencia de malas condiciones eléctricas (voltaje insuficiente), ya que proveer al equipo del voltaje necesario es muy importante.

(6) Tablero de control del motor.

El tablero de control normalmente no sufre de fallas en sus componentes. Sin embargo, la pre sencia de humedad o polvo puede ocasionar un - mal funcionamiento. También los ambientes con temperaturas extremadamente altas originan peg cances, ya que reducen el amperaje requerido - para poner en marcha el motor. El uso de cubie tas protectoras puede solucionar el problema, e vitando la exposición al sol u otras fuentes de calor.

(7) Equipo defectuoso.

Ocasionalmente el equipo presenta defectos o fallas de fabricación que no fueron detectadas en la planta o el campo, lo cual puede redituarse en una vida muy corta para el motor.

(8) Desgaste de la bomba.

Normalmente la bomba falla debido al uso o a la obstrucción que pudiera sufrir a causa del depósito de sedimentos, de arena y parafinas. El grado de uso se verá acelerado grandemente por el arrastre de abrasivos como la arena en los fluidos bombeados.

(9) Sistema eléctrico.

Un bajo voltaje y un suministro de corriente desbalanceado pueden ser perjudiciales para una buena operación y origen de frecuentes fallas en el equipo.

(10) Condiciones ambientales (relámpagos).

Daño a los transformadores, tableros de control y motores puede ser el resultado de una descarga sobre o cerca de la superficie del equipo.

VI.2.1.2 CAUSAS DE LAS FALLAS DE LA BOMBA

La falla en una bomba normalmente es el resultado de cualquiera de las siguientes razones:

- (1) Desgaste debido a la producción de abrasivos.
- (2) Obstrucciones debidas al depósito de sedimentos.
- (3) Uso excesivamente prolongado.
- (4) Flecha o eje torcido debido al desgaste de la bomba o puesta en marcha de la misma antes de que las columnas de fluidos en la tubería y espacio anular queden igualadas dentro del pozo.
- (5) Corrosión.

En algunas ocasiones cuando la zona de producción es una formación de arena no consolidada, la etapa de encendido de la bomba puede provocar serios estragos causados por la arena que queda rezagada en el interior de la misma. Por esta razón el pozo debe ser "limpiado" antes de que la bomba sea instalada para evitar que ésta remueva la arena no consolidada de la formación.

Si el pozo se limpia por medio de una recirculación de fluido por el espacio anular, debe tenerse cuidado de asegurar que fluido de la formación pase por el motor para conseguir un enfriamiento apropiado de éste.¹⁹

Para proteger la carcasa externa del motor, de la bomba y de la sección sellante, existen varios tipos de materiales para revestimiento. Para ambientes corrosivos se han utilizado, con excelentes resultados, materiales no metálicos.

VI.2.1.3 FALLAS EN LA SECCION SELLANTE

Las fallas en la sección sellante pueden ocurrir por las siguientes razones:

- (1) Desgaste por vibración de la bomba, dando como resultado una fuga a través de los sellos.
- (2) Malos procedimientos de manejo, originando una falla en el protector debido al rompimiento de los sellos.
- (3) Mantenimiento inadecuado de la unidad.

VI.2.1.4 CAUSAS DE FALLAS EN LOS CABLES

- (1) Daño mecánico durante operaciones de introducción o extracción del cable, causado por:
 - (a) Compresiones
 - (b) Tensión excesiva
 - (c) Doblamiento severos
 - (d) Inserciones defectuosas

- (2) Deterioro del cable debido a:
 - (a) Altas temperaturas
 - (b) Alta presión del gas
 - (c) Corrosión
 - (d) Desgaste normal.

- (3) Carga excesiva de amperaje, creando por lo tanto un conductor con alta temperatura, capaz de hacer fallar el aislamiento.

VI.2.2 ANALISIS Y PREVENCIÓN DE FALLAS

La Tabla 6.1 se muestra como una guía de ayuda para checar el funcionamiento del sistema electrocentrífugo.

T A B L A 6.1

P R O C E D I M I E N T O S D E V E R I F I C A C I O N

<u>INDICIOS</u>	<u>CAUSAS POSIBLES</u>	<u>MEDIDAS CORRECTIVAS</u>
1) No opera el tablero de control.	No llega corriente al tablero.	Checar los fusibles del sistema primario, transformador, interruptor principal y panel de control. Verificar el voltaje.
	Contactos y/o terminales flojos.	Con un desarmador checar todos los tornillos ya que debido a las vibraciones éstos pudieran aflojarse durante el funcionamiento del equipo.
	Unidad defectuosa.	Probar la unidad paso a paso por medio de un manual de instrucciones.
2) El tablero de control se encuentra operativo, pero los fusibles están quemados.	Cable dañado durante la instalación o traslado del mismo	Hacer siempre una inspección visual. Si existen dudas, revisar con instrumentos. Una lectura de cero o muy baja, indica que el cable no está en buen estado.

INDICIOS	CAUSAS POSIBLES	MEDIDAS CORRECTIVAS
	Bomba atascada.	Si las mediciones han <u>in</u> dicado que el cable, el <u>v</u> voltaje y el motor están bien, es posible que la bomba se encuentre <u>atas</u> cada por arena, depó <u>s</u> ito u otras causas. La <u>solu</u> ción será invertir la <u>ro</u> tación de la bomba una o dos veces. Si esto falla la unidad debe ser <u>reti</u> rada para <u>deter</u> minar y <u>cor</u> regir la falla.
3) La bomba se <u>encuentra</u> <u>tra</u> bajando, pero produce poco o nada de <u>flu</u> ido.	Fugas en la <u>tube</u> ría.	Realizar una prueba de <u>pres</u> ión en la tubería <u>pa</u> ra determinar si existe una fuga en las juntas.
	Taponamiento en la <u>etapa</u> de <u>adm</u> isión.	Será necesario <u>recuperar</u> la y limpiarla. En <u>oca</u> siones puede ser una <u>solu</u> ción el utilizar la <u>ro</u> tación inversa.

INDICIOS	CAUSAS POSIBLES	MEDIDAS CORRECTIVAS
Obstrucción en la línea de flujo -- arenamiento, <u>válv</u> u la cerrada, etc.	Checar la presión de la línea de flujo en la <u>ca</u> beza del pozo y tomar - las medidas necesarias_ para limpiarla.	
Rotura de la fle-- cha, ya sea del <u>mo</u> tor, bomba o sec-- ción sellante.	Será necesario recuperar la unidad y reemplazar - la parte del equipo de-- fectuosa.	
Rotación inversa.	Revisar las conexiones - del cable que se encuen- tra dentro del pozo e <u>in</u> tentar el sentido <u>contra</u> rio.	

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECCOMENDACIONES

Actualmente la gran importancia que han tomado - los hidrocarburos en el mundo, han impulsado enormemente al mejoramiento de todas las actividades relacionadas con el - empleo de los sistemas para la producción de aceite, tratando de conseguir que sus objetivos sean logrados de la forma más eficiente posible, no siendo los sistemas artificiales de producción una excepción.

El presente trabajo está basicamente enfocado a tratar de dar elementos para el diseño más optimo del sistema electrocentrífugo desprendiendose las siguientes conclusiones:

1.- A fin de facilitar el diseño de unidades del sistema electrocentrífugo para pozos productores de líquido y gas, es necesario utilizar programas de computo elaborados para éste fin, debido a que las condiciones cambian constantemente a través de la tubería de producción, ya que al considerar correctamente el comportamiento de flujo se puede reducir en forma notable el número de etapas de la bomba y potencia del motor.

2.- La bomba necesita estar colocada por debajo del nivel

dinámico del fluido en caso de que el pozo no sea fluyente, tan solo a una profundidad que asegure el suministro intermitente de fluido a la bomba, para evitar posibles variaciones en las condiciones iniciales del pozo.

3.- El flujo en la tubería vertical es de fase líquida en su totalidad calculándose las pérdidas de presión por fricción correspondientes mediante las correlaciones para flujo multifásico de Orkiszewski, Fancher y Brown, Beggs y Brill, ya que fuerón las que más se aproximaron para éste caso a los datos medidos.

4.- La disminución de la densidad de la mezcla a presiones menores que la de saturación es considerable en éste caso ya que tomar en cuenta éste factor puede reducir el número de etapas de la bomba y la potencia requerida del motor en un 50% con respecto a los valores obtenidos con las consideraciones que normalmente se hacen.

5.- El equipo superficial del bombeo electrocentrífugo requiere de poco espacio, lo que hace atractiva su aplicación por la limitación de área disponible en plataformas, solamente requiriendo de la consideración de la longitud del cable de potencia desde la plataforma hasta la colocación de la bomba.

6.- Los riesgos de incendio y contaminación por fugas o derrames de fluidos son eliminados, ya que el suministro de energía al equipo subsuperficial se hace a través del cable de potencia.

7.- El dimensionamiento de una bomba sumergible es simple cuando se han entendido los fundamentos del equipo electrocentrífugo tomando en cuenta, que cada instalación es una situación individual debido a las condiciones variantes de un pozo a otro y al tipo de fluidos que se bombean.

8.- El tamaño y peso de la T.R. determinan el diámetro máximo de la bomba y motor que pueden introducirse al pozo. La profundidad total y la del intervalo disparado determinan respectivamente la colocación máxima posible de la bomba y la máxima profundidad a la que puede colocarse el aparejo sin necesitar una camisa de recubrimiento para obligar al flujo a pasar externamente por el motor y así enfriarlo.

9.- La temperatura del fluido cerca del fondo y en la cabeza del pozo son necesarias particularmente si existe gas presente debido a que la cantidad de gas en solución y el volumen de gas libre son sumamente sensibles a los

cambios de temperatura y varían a lo largo de la tubería - de producción. Esta temperatura no debe exceder el rango - de temperatura máxima para el que está diseñado el aislamiento del motor y cable, ya que por cada 15°F que se excede la temperatura máxima de operación su vida útil esperada se reduce hasta un 50%.

10.- Los datos PVT de las propiedades de los fluidos, son necesarios cuando se tiene gas, debido a que si la cantidad de gas libre que entra a la bomba es mayor a la que ésta puede manejar ($1 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{o}$) su eficiencia de trabajo se verá sustancialmente reducida.

11.- El voltaje disponible del suministro de potencia determina el tamaño de los transformadores y de otros componentes eléctricos, el tamaño de la T.P. está relacionado con el diámetro de la bomba y determina la caída de presión por fricción que deben incluirse en el cálculo de la carga dinámica total. También el diámetro de la T.P. y el tipo de roscas señalan la selección de las válvulas de contrapresión y de drene.

APENDICE I

SELECCION DEL SISTEMA ARTIFICIAL

El siguiente análisis está basado en el artículo técnico "Selección del Sistema de Explotación Artificial al Campo Cantarell de la Zona Marina de Campeche", elaborado por el Ing.- Horacio Zúñiga Fuente con el objeto de presentar los resultados obtenidos de este estudio aplicado al campo Cantarell, para seleccionar el sistema artificial de producción más adecuado para la explotación de los pozos en esta zona del Golfo de México.²⁰

Actualmente la industria petrolera cuenta con cuatro principales sistemas de bombeo para explotar artificialmente pozos con producciones considerables de aceite (superiores a los 10,000 bls/día). Estos son:

- 1.- Bombeo Hidráulico con Bomba Jet.
- 2.- Bombeo Hidráulico con Turbocentrífugo.
- 3.- Bombeo Electrocentrífugo Sumergible.
- 4.- Bombeo Neumático continuo.

En la selección adecuada del sistema artificial, es importante tomar en cuenta a aquellos factores que de una u -

otra forma intervienen en el éxito o fracaso del sistema seleccionado. Entre los más importantes se mencionan los siguientes: 21,22

- Gasto máximo manejado por el sistema.
- Presión del yacimiento.
- Índice de productividad.
- Profundidad del intervalo productor.
- Estado mecánico de los pozos.
- Relación gas-aceite.
- Porcentaje de agua.
- Viscosidad del aceite.
- Temperatura de flujo.
- Pozos verticales o desviados.
- Disponibilidad de área para el equipo superficial.
- Inversión inicial y costos de operación.

El estudio hace un análisis de cada uno de los sistemas antes mencionados con el propósito de establecer la funcionalidad de cada sistema y el gasto de aceite que puede obtenerse con cada uno de ellos.

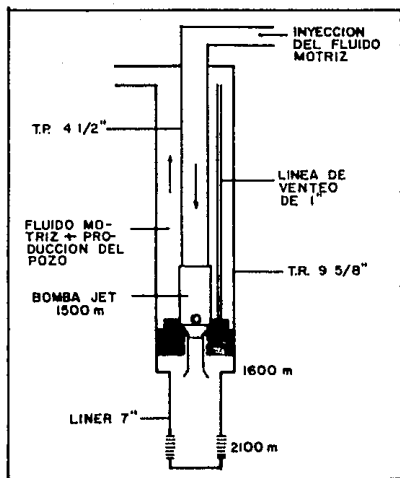
BOMBEO HIDRAULICO CON BOMBA JET

No obstante que el sistema ha sido desarrollado para manejar grandes volúmenes de aceite, resulta difícil establecer la producción máxima que puede obtenerse de un pozo al cual se le ha instalado este sistema, ya que depende de múltiples variables relacionadas en forma complicada.

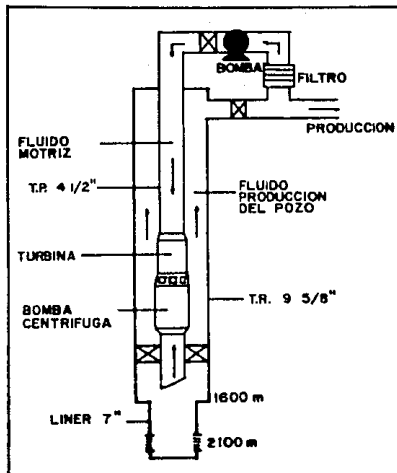
El análisis del bombeo hidráulico con bomba jet aplicado a pozos del campo Cantarell, se hizo considerando un tipo de instalación como el mostrado en la figura (1). Esta instalación incluye un sistema de venteo del gas de formación, con el objeto de que la bomba jet maneje la menor cantidad de gas, ya que la eficiencia de ésta disminuye considerablemente a medida que aumenta la cantidad de gas libre en la bomba.

Haciendo uso del programa de cómputo para el diseño de instalaciones de bombeo hidráulico con bomba jet y considerando la bomba a 1,500m de profundidad, los resultados obtenidos (de acuerdo con la Tabla (1)), para gastos de 8,000 a 20,000 bls/día, se muestran en la tabla (2).

Como puede observarse, el sistema con bomba jet es capaz de manejar altos volúmenes de producción. La proporción en--



A) BOMBEO HIDRAULICO CON BOMBA JET.



B) BOMBEO TURBOCENTRIFUGO

FIG. (1) INSTALACIONES EMPLEADAS EN EL ANALISIS PARA EL POZO "CANTARELL" EN ESTUDIO.

Apéndice

T A B L A 1

DATOS DEL POZO CANTARELL UTILIZADOS EN EL
ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS ARTIFICIALES DE
PRODUCCIÓN

Profundidad del Intervalo Productor	2,100 m
Presión de Fondo Estática	154 Kg/cm ²
Índice de Productividad	88.4 (bl/día)/ (lb/pg ²)
Contrapresión en la Cabeza del Pozo	25 Kg/cm ²
Relación Gas-Aceite	86 m ³ /m ³
Temperatura a 2,100 m.	100° C.
Temperatura en la Cabeza del Pozo	71° C.
Densidad Relativa del Aceite	0.929
Densidad Relativa del Gas	0.94
Presión de Saturación a 100° C.	149 Kg/cm ²
Ángulo de Desviación del Pozo	15°
Tubería de Revestimiento de 9 5/8 pulg.	0-1,600 m
Líner de 7 pulg.	1,600-2,100 m

Apéndice

T A B L A 2

RESULTADOS OBTENIDOS PARA DIFERENTES GASTOS DE PRODUCCION CON LOS SIGUIENTES SISTEMAS ARTIFICIALES

A).- BOMBEO HIDRAULICO CON BOMBA JET

<u>PRODUCCION DEL POZO</u> <u>(bl/día)</u>	<u>GASTO DE FLUIDO - MOTRIZ</u> <u>(bl/día)</u>	<u>PRESION DE INYECCION</u> <u>(lb/pg²)</u>	<u>POTENCIA REQUERIDA</u> <u>(Hp)</u>	<u>PRESION A LA SUCCION</u> <u>(lb/pg²)</u>	<u>PRESION DE FONDO FLUYENDO</u> <u>(lb/pg²)</u>
8,000	3,300	6,300	393	1,660	2,100
10,000	4,272	6,336	512	1,636	2,080
12,000	6,572	5,366	667	1,614	2,055
14,000	6,132	6,621	767	1,591	2,030
16,000	8,804	5,806	966	1,568	2,010
18,000	8,085	7,144	1,092	1,545	1,987
20,000	11,605	6,125	1,342	1,523	1,964

B).- BOMBEO HIDRAULICO TURBOCENTRIFUGO*

<u>PRODUCCION DEL POZO</u> <u>(bl/día)</u>	<u>FLUIDO MOTRIZ</u> <u>(bl/día)</u>	<u>PRESION DE INYECCION</u> <u>(lb/pg²)</u>	<u>POTENCIA REQUERIDA</u> <u>(Hp)</u>	<u>PROFUNDIDAD DE LA BOMBA</u> <u>(pies)</u>	<u>VELOCIDAD DE LA BOMBA</u> <u>(r.p.m.)</u>
10,500	4,733	5,135	230	1,970	8,250
14,750	4,939	5,555	260	2,000	8,500
21,600	25,800	855	250	1,300	7,545

Apéndice

T A B L A 2 (Cont.)

C).- BOMBEO ELECTROCENTRIFUGO SUMERGIBLE

<u>GASTO DE ACEITE</u> <u>(bl/día)</u>	<u>PROFUNDIDAD DE LA BOMBA</u> <u>(m)</u>	<u>PRESION DE FONDO FLUYENDO</u> <u>(Kq/cm²)</u>	<u>GASTO A LA SUCCION</u> <u>(bl/día)</u>	<u>GASTO A LA DESCARGA</u> <u>(bl/día)</u>	<u>CARGA DINAMICA</u> <u>(pies)</u>
10,000	1,300	113	13,150	12,620	1,860
12,000	1,305	111	15,850	15,060	2,080
14,000	1,361	109	18,470	17,490	2,390
16,000	1,418	108	21,080	19,900	2,690

-
- * Información proporcionada por el fabricante.
 - ** Agua.
 - *** Salmuera con CO₂.

tre el volumen del fluido motriz empleado (el cual puede ser agua o aceite) y la producción del pozo es aproximadamente - de 1 a 2. Es decir, por 1 barril de fluido motriz inyectado al pozo se obtienen en la superficie 2 barriles de aceite.²³

BOMBEO HIDRAULICO TURBOCENTRIFUGO

El bombeo hidráulico con bomba centrífuga y una turbina de fondo, constituye el sistema más novedoso dentro de los - sistemas artificiales de producción. Dicho sistema fue diseñado para bombear grandes volúmenes de líquido mediante una bomba centrífuga impulsada por una turbina, la que a su vez es accionada por un fluido motriz (agua o aceite) a alta presión, inyectado desde la superficie.

No obstante que este sistema fue desarrollado como una alternativa al bombeo electrocentrífugo, creando un sistema de mayor confiabilidad al sustituir el motor eléctrico por una turbina, su aplicación se ha orientado más a la extracción - de salmuera en pozos geotérmicos, o de agua dulce en acuíferos, que a la producción de petróleo.²⁴ La razón es que la - bomba centrífuga no es capaz de manejar líquidos con un porcentaje de gas superior al 15% del volumen total que maneja la bomba.

Por tal motivo, su aplicación a pozos petroleros se ha restringido a aquéllos cuyo porcentaje de agua es muy grande, reduciéndose así la relación gas-líquido.

En la Tabla (2) se muestran los resultados obtenidos para el diseño de este sistema.

De lo anterior se infiere que el bombeo hidráulico turbocentrífugo, al igual que el de la bomba jet, es capaz de manejar grandes volúmenes de aceite si se emplea igualmente -- grandes volúmenes de fluido motriz a alta presión.

BOMBEO ELECTROCENTRIFUGO SUMERGIBLE

Como se mencionó en los capítulos anteriores, este sistema fue desarrollado para producir volúmenes considerables de aceite.^{25,26,27}

De acuerdo al diámetro de la tubería de revestimiento de 9 5/8 pg. que se ha instalado en los pozos del campo Cantarell, la bomba de mayor capacidad que puede introducirse dentro de esta tubería es de 20,000 bbl/día, operando a su máxima eficiencia.

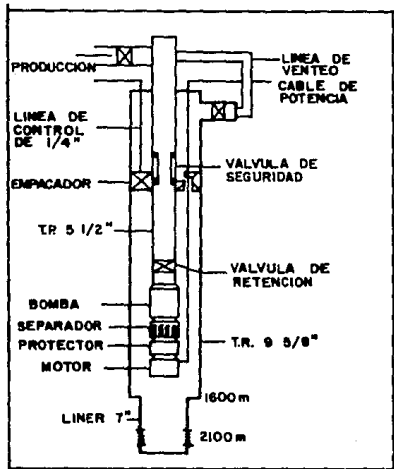
El estudio del sistema se hizo con base al aparejo de bombeo mostrado en la fig. (2), el cual se ha aplicado con éxito en pozos del Mar del Norte.

En la Tabla (2) se presentan los resultados obtenidos con el programa de cómputo del IMF para el diseño de instalaciones de bombeo eléctrico, utilizando los datos del pozo en estudio, Tabla (1).

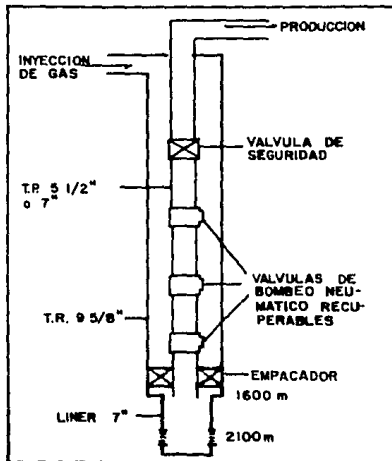
De los resultados obtenidos se concluye que el gasto máximo que puede obtenerse en los pozos del campo Cantarell, empleando el sistema de bombeo eléctrico, es de 15,000 - - - bls/día, que corresponde al valor aproximado de 20,000 - - - bls/día a las condiciones medias de operación de la bomba. - Dichos resultados se obtuvieron considerando una eficiencia del separador de gas del 80% y una relación gas-líquido permisible en la bomba de $0.15 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{c}$.

BOMBEO NEUMATICO CONTINUO

La flexibilidad que ofrece el sistema para manejar un amplio rango de gastos, así como la simplicidad del equipo - superficial y la facilidad de operación, lo hacen sumamente atractivo para aplicarlo en pozos marinos.²³



C) BOMBEO ELECTROCENTRIFUGO



D) BOMBEO NEUMATICO

FIG. (2) INSTALACIONES EMPLEADAS EN EL ANALISIS PARA EL POZO "CANTARELL" EN ESTUDIO.

El análisis del sistema se llevó a cabo utilizando la misma información contenida en la Tabla (1) y considerando un aparejo de bombeo como el mostrado en la Fig. (2).

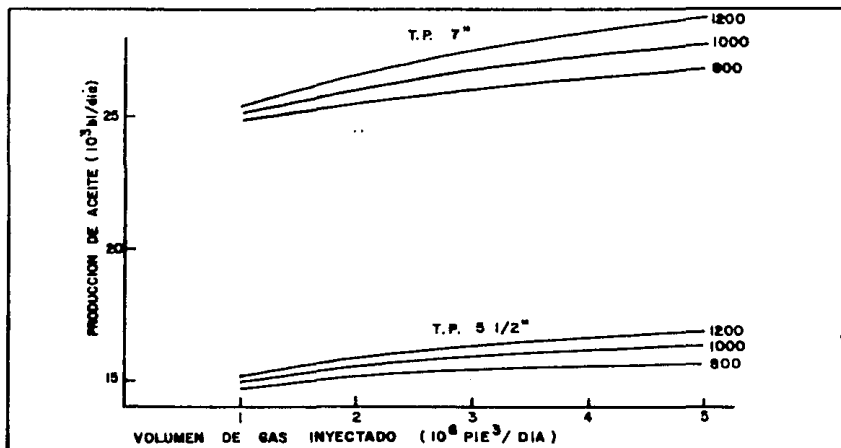
Para que el estudio fuera lo más completo posible, se analizaron las siguientes opciones:

- a) Tuberías de producción de 5 1/2 y 7 pg.
- b) Presión del gas de inyección de 300, 1,000 y 1,200 lb/pg².
- c) Volumen de gas inyectado desde 1 hasta 5 millones de pies cúbicos por día.

Los resultados obtenidos para el diseño de instalaciones de bombeo neumático se presentan en forma gráfica en la Fig. (3). De esta gráfica se observa que si la tubería de producción es de 7 pg, se pueden alcanzar producciones mayores a los 26,000 bls/día, para una presión del gas de inyección de 1,000 lb/pg². En cambio, si la tubería de producción es de 5 1/2 pg, la producción del pozo se establece en 15000 bls/día aproximadamente, para la misma presión de inyección.

Ventajas y Desventajas de los Sistemas de Bombeo Electrocentrífugo y Neumático

Se observa que debido a las características de produc-



COMPORTAMIENTO DEL POZO CANTARELL EN ESTUDIO CON BOMBEO NEUMATICO PARA TUBERIAS DE PRODUCCION DE 5 1/2" y 7" Y PRESIONES DE 800, 1000 y 1200 lb/ps² DEL GAS DE INYECCION.

FIG.(3) GRAFICA RESULTANTE DE LA INSTALACION DE BOMBEO NEUMATICO.

ción y a la falta de espacio en las plataformas, es muy conveniente la selección del bombeo eléctrico y neumático como los sistemas que ofrecen las mayores posibilidades de aplicación en los pozos del campo Cantarell.

A continuación se enlistarán las características de cada uno de los sistemas mencionados. Esto permitirá mostrar los diferentes aspectos que involucra cada uno de ellos en cuanto a su aplicación, para así estar en condiciones de una mejor elección.

A) Bombeo Electrocentrífugo

Ventajas:

1. El sistema permite obtener producciones de los pozos del orden de 16,000 bls/día.
2. El equipo superficial requiere de poco espacio, lo que hace atractiva su aplicación por la limitación de área disponible en -- plataformas.
3. Los riesgos de incendio y contaminación -- por fugas o derrames de fluidos son eliminados, ya que el suministro de energía al equipo subsuperficial se hace a través del cable de potencia.
4. El sistema proporciona un gasto constante, evitando problemas en las instalaciones su perificiales por variaciones fuertes en la producción.

5. No presenta limitaciones para aplicarse en pozos direccionales.
6. Simplicidad para poner en funcionamiento - el aparejo y la facilidad para adaptar su operación a un sistema automático.
7. Para pozos alejados, el sistema puede --- proporcionar alta presión en la cabeza del pozo.
8. Para altos volúmenes, el costo de levantamiento de líquidos es relativamente bajo.
9. Permite manejar líquidos con valores pequeños de viscosidad.
10. Facilidad de efectuar tratamientos para el control de la corrosión e incrustación de sales en tuberías y equipo.

Desventajas:

1. Poca confiabilidad del sistema por fallas frecuentes en el cable de potencia, motor, mufa y protector.
2. Por falla del equipo es necesario extraer el aparejo de bombeo, incrementándose considerablemente los costos de operación.
3. Para su aplicación se requiere cambiar el árbol de válvulas que actualmente tienen instalados los pozos del campo Cantarell.

4. No se pueden efectuar tratamientos a la formación con el equipo dentro del pozo.
5. La adquisición de equipo nuevo y la reparación del equipo usado (motor, bomba, protector, cable y tablero de control) - no se lleva a cabo, hasta la fecha, dentro del país.
6. El diseño de los aparejos de bombeo y la instalación de los mismos requiere de -- personal técnico y operativo con un alto grado de especialización.
7. No se dispone de energía eléctrica en -- plataformas, por lo que es necesario ins talar motogeneradores que requieren de - abastecimiento continuo de combustible, así como almacenamiento del mismo, crean do condiciones de alto riesgo de incen -- dio.

B) Bombeo Neumático

Ventajas:

1. Con este sistema es posible alcanzar pro ducciones superiores a 25,000 bls/día si se emplea tubería de producción de 7 pg.
2. Por falla del aparejo no es necesario ex traerlo, ya que mediante el empleo de -- válvulas recuperables es posible extraer

las e introducir las al pozo con equipo de línea.

3. Petróleos Mexicanos cuenta con personal técnico y operativo con amplia experiencia en este sistema.
4. La sustitución del equipo, así como su reparación, se pueden efectuar dentro del país.
5. Los pozos se pueden terminar con el aparato de bombeo, lo que permite operarlos en el momento deseado.

Desventajas:

1. Se requiere de un gran volumen inicial de gas y una fuente de suministro constante, para alimentar la red de bombeo neumático.
2. Alto riesgo de incendio en plataformas por el manejo de grandes volúmenes de gas a -- alta presión.
3. Para que el sistema de bombeo neumático - sea confiable y además para dar protección efectiva a las tuberías de revestimiento, gasoductos e instalaciones superficiales, - se requiere que el gas de inyección sea -- dulce, seco y libre de partículas sólidas.
4. Volúmenes considerables de gas a alta presión se requieren para producir altos volúmenes de aceite.

5. La alta contrapresión de los pozos afecta severamente la eficiencia del sistema.
6. El sistema se torna ineficiente cuando se manejan crudos viscosos o emulsionados.
7. Se tendrá mayor caída de presión en los oleogasoductos por el incremento en la relación gas-aceite.

- - - -

APENDICE II

Correlaciones de flujo multifásico vertical utilizadas por el programa de cómputo para el cálculo de las caídas de presión a lo largo de la tubería.

II.1 CORRELACION DE ORKISZEWSKI

El método de Orkiszewski es el resultado del análisis y comparación de algunos métodos publicados para determinar si a través de alguno se podían calcular las caídas de presión, para un amplio rango de condiciones prevaletientes en los pozos utilizados en las pruebas.

Para el establecimiento de las fronteras entre los cuatro patrones de flujo considerados, se presentan los siguientes límites:

<u>Límites</u>	<u>Patrón de Flujo</u>
$V_{sg}/V_m < L_B$	Burbuja
$V_{sg}/V_m > L_B$	Bache
$L_m > N_{vg} > L$	Transición (Bache-Niebla)
$N_{vg} > L_m$	Niebla

II.1.1 Régimen Burbuja

$$V_{sg}/V_m < L_B$$

Donde:

$$L_B = 1.071 - (0.2218 V_m^2/d) \text{ Limitado a } L_B \geq 0.13$$

Vsg = Velocidad superficial de gas (pie/seg)

Vm = Velocidad de la mezcla (pie/seg)

d = Diametro Interior de la tubería (pg)

Gradiente por Densidad

$$HL = 1 - \frac{C_1 - C_2}{2} \quad \dots \text{II.1.1.1}$$

$$C_1 = 1 + \frac{V_m}{0.8}$$

$$C_2 = (C_1^2 - \frac{4 V_{sg}}{0.8})^{0.5}$$

Una vez conocido H_L , el gradiente por densidad se obtiene como:

$$\rho_m = \rho_L * HL + \rho_g (1 - HL) \quad \dots \text{II.1.1.2}$$

Donde:

ρ_m = Densidad de la mezcla (lbm/pie³)

ρ_L = Densidad del líquido (lbm/pie³)

ρ_g = Densidad del gas (lbm/pie³)

Gradiente por Fricción

$$NRE = \frac{124 * V_m * \rho_L * d}{4 L} \quad \dots \text{II.1.1.3}$$

$$f = \left[2 * \log \left(\frac{N_{RE}}{4.522 * \log (N_{RE}) - 3.8215} \right) \right]^{-2} \dots \text{II.1.1.4}$$

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta L} \right) = \frac{1}{144} \left(\frac{12 * f * \rho_L * V_L^2}{64.4 * d} \right) + \rho_m \dots \text{II.1.1.5}$$

Donde:

N_{RE} = Número de Reynolds (Adim.)

μ_L = Viscosidad del líquido (cp)

f = Factor de fricción

V_L = Velocidad real del líquido (pie/seg)

$\Delta p/\Delta L$ = Gradiente de Presión (lbf/pg²/pie)

II.1.2 Régimen Bache

$$V_{sg}/V_m > L_B$$

Cálculo de la velocidad de elevación de la burbuja

$$V_{B1} = 0.5 * (32.2 * d)^{0.5} \dots \text{II.1.2.1}$$

$$N_{REB} = \frac{(124 * V_{B1} * d * \rho_L)}{\mu_L} \dots \text{II.1.2.2}$$

$$N_{REL} = \frac{(124 * V_m * d * \rho_L)}{\mu_L} \dots \text{II.1.2.3}$$

Donde:

V_B = Velocidad de la burbuja (pie/seg)

N_{REB} = Número de Reynolds de la burbuja
(Adim.)

N_{REL} = Número de Reynolds del líquido
(Adim.)

V_B se calcula con las siguientes ecuaciones:

Para: $N_{REB} \leq 3000$

$$V_B = (0.546 + (8.74 * 10^{-6} * N_{REL})) * (32.2 * d)^{0.5} \dots \text{II.1.2.4}$$

Para: $N_{REB} \geq 8000$

$$V_B = (0.35 + (8.74 * 10^{-6} * N_{REL})) * (32.2 * d)^{0.5} \dots \text{II.1.2.5}$$

Para: $3000 < N_{REB} < 8000$

$$V_B = ((a^2 + kv)^{0.5} + a) / 2 \dots \text{II.1.2.6}$$

$$a = (0.251 + (8.74 * 10^{-6} * N_{REL})) * (32.2 * d)^{0.5}$$

$$kv = \frac{13.59 * \mu_L}{\rho_L * (d)^{0.5}}$$

Coefficiente de Distribución del líquido (δ)

<u>Fase Continua</u>		<u>V_m</u>	<u>Usar Ecuación</u>
Agua	} $F_o > 0.75$	< 10	(II.1.2.7)
Agua		> 10	(II.1.2.8)
Aceite	} $F_o > 0.75$	< 10	(II.1.2.9)
Aceite		> 10	(II.1.2.10)

$$\delta = ((0.013 \log \mu_L / (d^{1.38})) - 0.681 + 0.232 \log V_m - 0.428 \log (d)) \dots \text{II.1.2.11}$$

$$\delta = ((0.451 \log \mu_L / (d^{0.799})) - 0.709 - 0.162 \log V_m - 0.888 \log (d)) \dots \text{(II.1.2.12)}$$

$$\delta = ((0.0127 \log(\mu_L + 1)) / (d)^{1.405}) - 0.284 + 0.167 \log(V_m) + 0.113 \log(d) \dots \text{(II.1.2.13)}$$

$$\delta = ((0.0274 \log(\mu_L + 1)) / (d)^{1.571}) + 0.161 + 0.549 \log(d) - \log(V_m) ((0.1 \log(\mu_L + 1)) / (d)^{1.571}) + 0.397 + 0.631 \log(d) \dots \text{(II.1.2.14)}$$

Gradiente por Densidad

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right) = \frac{1}{144} \left(\frac{AA}{V_m + V_b}\right) + (\rho_L \delta) \dots \text{(II.1.2.15)}$$

$$AA = \rho_L (V_{SL} + V_B) + \rho_g * V_{sg}$$

Gradiente por Fricción

$$NRE = \frac{124 * V_m * \rho_L * d}{\mu_o}$$

$$f = \left[2 * \log \left(\frac{NRE}{(4.5223 * \log(NRE) - 3.8215)} \right) \right]^{-2}$$

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_f = \left[\frac{f * \rho_L * V_m^2}{772.8 * d} \right] * \left[\delta + \frac{(V_{SL} + V_B)}{V_m + V_B} \right] \dots \text{(II.1.2.16)}$$

II.1.3 Régimen de Transición

Para este caso se consideró el método sugerido por -
Duns y Ros. (Ver fig. 5.2).

Zona de transición definida por los siguientes límites:

$$L_m > N_{vg} > L_s$$

La ponderación se realiza como:

$$A = \frac{L_m - N_{vg}}{L_m - L_s}$$

$$B = \frac{N_{vg} - L_s}{L_m - L_s}$$

Gradiente por Densidad

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_f = A \left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_{\text{Bache}} + B \left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_{\text{Niebla}} \quad \dots \text{II.1.3.1}$$

Gradiente por Fricción

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_f = A \left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_{\text{f Bache}} + B \left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_{\text{f Niebla}} \quad \dots \text{II.1.3.2}$$

II.1.4 Régimen Niebla

Para el cálculo del gradiente de presión en este régimen se aplica el método de Duns y Ros.

La región para el régimen niebla está definida para:

$$Nvg > Lm$$

Factor de Fricción

$$NRE = \frac{124 * v_m * \rho_L * d}{40}$$

$$f = \left[2 * \log \left(\frac{NRE}{(4.5223 * \log(NRE) - 3.8215)} \right) \right]^{-2}$$

Gradiente por Densidad

$$\rho_m = \rho_L * HLN * \rho_c * (1 - HLN) \quad \dots \text{II.1.4.1}$$

$$HLN = \rho_L * (VSL/VSG) \quad \dots \text{II.1.4.2}$$

Gradiente por Fricción

$$\tau_f = \frac{f * \rho_g * vsg^2}{5.36667 d} \quad \dots \text{II.1.4.3}$$

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta L} \right)_f = \frac{1}{144} (\rho_m + \tau_f) \quad \dots \text{II.1.4.4}$$

PROCEDIMIENTO DE CALCULO DE ORKISZEWSKI

1. A partir de p y h conocidas (sean condiciones en la cabeza o en el fondo del pozo), suponer una $\Delta p, \bar{p}$ y obtener p_2 .
2. Determinar las propiedades de los fluidos a las condiciones medias de escurrimiento ($R_s, B_o, B_g, \rho_L, \mu_L, \rho_g, \mu_g$).
3. Calcular para las condiciones medias $v_{sg}, v_{SL}, N_{vg}, N_{vL}$.
4. Calcular V_m, L_B, L_m y L_m .
5. Determinar el régimen de flujo (burbuja, bache, transición, niebla).
6. Calcular el gradiente por densidad y el gradiente por fricción de acuerdo al régimen de flujo en que se encuentre el intervalo.
7. Aplicando la ecuación correspondiente, determinar el valor del gradiente de presión total ($\Delta p / \Delta h$) y con éste - la Δh supuesta.
8. Reemplazar h_2 por $h_1 + \Delta h$; si este valor es menor que - la longitud total, igualar p_1 con p_2 y regresar al paso 1. Si h_2 es mayor que la longitud total, se termina el cálculo, y se obtiene la presión final por interpolación.

II.2 CORRELACION DE FANCHER Y BROWN

El procedimiento más aceptado para determinar las caídas de presión en tubería vertical con flujo multifásico, fue el propuesto por Poetman y Carpenter; su ecuación principal la desarrollaron a partir de un balance de energía entre dos puntos dentro de la tubería de producción.

Siguiendo el mismo enfoque de Poetman y Carpenter, Fancher y Brown realizaron pruebas experimentales para mejorar dicha correlación para varios gastos de producción y relaciones gas-aceite.

Procedimiento de Cálculo:

Cálculo del colgamiento sin resvalamiento (λ)

$$\lambda = \frac{1}{1 + \frac{q_o(R - R_g)B_g}{5.615(q_oB_o + q_wB_w)}} \quad \dots \text{ II.2.1}$$

Donde :

λ = Colgamiento sin resvalamiento

q_o = Gasto de aceite (bl/día)

q_w = Gasto de agua (bl/día)

B_g = Factor de volumen de gas (pie³/pie³)

B_o = Factor de volumen de aceite (pie³/pie³)

B_w = Factor de volumen de agua (pie³/pie³)

Para el cálculo de la rugosidad relativa, según lo estableció Duns y Ros, habrá de calcularse como una función del número de Weber, en estos límites de rugosidad relativa se calcula con las siguientes ecuaciones:

Sea:

$$N_4 N_w = 0.093 \left(\frac{V_{sg} \sqrt{L^2}}{V_L} \right) \left(\frac{\rho g}{\rho L} \right) \dots \text{II.2.3}$$

Si: $N_4 N_w < 0.005$

$$\xi = 0.8988 \left(\frac{V_L}{\rho_g V_{sg}^2 d} \right)$$

Si: $N_4 N_w > 0.005$

$$\xi = 4.4556 \left(\frac{V_L (N_4 N_w)}{\rho_g V_{sg}^2 d} \right)^{0.302}$$

El factor de fricción fue determinado a partir de la ecuación de "Jain."

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2 \log \left(\frac{\xi}{d} + \frac{21.25}{N_{RE}^{0.9}} \right) \dots \text{II.2.4}$$

Donde:

$$N_{RE} = \frac{124 d V_m \rho_{ns}}{4 \mu_{ns}}$$

μ_{ns} = Viscosidad de la mezcla sin resbalamiento
(Cp)

ρ_{ns} = Densidad de la mezcla sin resbalamiento
(pie³/bl)

V_m = Volumen de la mezcla (pie³/bl)

d = Diámetro interno de la T.P. (pg)

La correlación para determinar el factor de fricción de Fancher y Brown obtuvo en sus resultados una pequeña diferencia al compararse con la de Poettman y Carpenter, debido a que esta última está limitada a un cierto rango de valores de RGA. Ver la Gráfica.

Por lo tanto, es necesario un procedimiento de ajuste de curvas en función de distintos valores del número de la viscosidad del líquido (N_L) para la obtención de resultados más próximos a los reales.

Cálculo de N_L :

$$N_L = (0.15726 * \mu_L * (1/\rho_L \tau^3))^{0.25} \dots \text{II.2.5}$$

Para Valores:

Utilizaremos la ecuación:

$$N_L < 0.0065 \quad C_{NL} = (0.090909 * N_L) + 0.001709 \dots \text{II.2.5.1}$$

$$N_L < 0.014 \quad C_{NL} = (0.04 * N_L) + 0.00204 \dots \text{II.2.5.2}$$

$$N_L < 0.02 \quad C_{NL} = (0.033333 * N_L) + 0.002133 \dots \text{II.2.5.3}$$

Para valores:

$$N_L < 0.13 \quad C_{NL} = (0.040909 * N_L) + 0.0019818 \quad \dots \text{II.2.5.4}$$

$$N_L < 0.25 \quad C_{NL} = (0.0225 * N_L) + 0.007058 \quad \dots \text{II.2.5.5}$$

$$N_L < 1.0 \quad C_{NL} = (0.001724 * N_L) + 0.0112758 \quad \dots \text{II.2.5.6}$$

Cálculo del factor de fricción para dos fases (FTP)

$$F_{II} = VSG * \left(\frac{N_L^{0.38}}{ND^{2.14}} \right) \quad \dots \text{II.2.6}$$

Donde:

$$VSG = \frac{0.002122 q_o (R - R_s) E_g}{d^2} \quad \dots \text{II.2.7}$$

$$ND1 = 10.072667 * d * \left(\frac{\rho_L}{\gamma} \right)^{0.5} \quad \dots \text{II.2.8}$$

Para valores:

Utilizaremos la ecuación:

$$F_{II} < 0.01 \quad PS_{II} = 1.0 \quad \dots \text{II.2.6.1}$$

$$F_{II} > 0.09 \quad PS_{II} = 1.84 \quad \dots \text{II.2.6.2}$$

$$F_{II} < 0.017 \quad PS_{II} = (57.142857 * F_{II}) + 0.42857 \quad \dots \text{II.2.6.3}$$

$$F_{II} < 0.023 \quad PS_{II} = (6.666666 * F_{II}) + 0.266666 \quad \dots \text{II.2.6.4}$$

$$F_{II} < 0.032 \quad PS_{II} = (41.111111 * F_{II}) + 2.74555 \quad \dots \text{II.2.6.5}$$

$$F_{II} < 0.04 \quad PS_{II} = (21.25 * F_{II}) + 0.75 \quad \dots \text{II.2.6.6}$$

$$F_{II} < 0.57 \quad PS_{II} = (0.4516129 * F_{II}) + 1.42258 \quad \dots \text{II.2.6.7}$$

Cálculo de FI2

$$FI2 = \left(\frac{NVL}{NVG^{0.575}} \right) * \left(\frac{PM}{14.7} \right)^{0.40} * \left(\frac{CNL}{ND} \right) \dots\dots\dots II.2.9$$

Donde:

NVL = Número de la velocidad del líquido

$$NVL = 1.938 \text{ VSL} \left(\frac{\rho_L}{\gamma} \right)^{0.25}$$

NVG = Número de la velocidad del gas

$$NVG = 1.938 \text{ VSG} \left(\frac{\rho_L}{\gamma} \right)^{0.25}$$

Cálculo de la fracción del volumen de la tubería (colgamiento); HLY:

Para valores:

Utilizaremos la ecuación:

FI2 < .000027	HLY = (6072.8745 * FI2) + 0.036032 . II.2.9.1
FI2 < .000045	HLY = (2777.777 * FI2) + 0.125 ... II.2.9.2
FI2 < .00012	HLY = (1466.666 * FI2) + 0.184 ... II.2.9.3
FI2 < .00030	HLY = (1055.555 * FI2) + 0.2333 ... II.2.9.4
FI2 < .00090	HLY = (433.333 * FI2) + 0.42 II.2.9.5
FI2 < .0020	HLY = (109.090909 * FI2) + 0.711818 II.2.9.6
FI2 < .0038	HLY = (11.1111 * FI2) + 0.90777 ... II.2.9.7

Cálculo del factor de fricción para las dos fases (f)

$$M = M_o + M_g + M_w \dots\dots\dots II.2.10$$

Donde:

M = Masa de la mezcla @ C.E./blo producido
C.S. (lbm/blo @ C.S.)

Entonces:

$$\text{FANCH} = 0.000177 * q_o * \left(\frac{M}{d}\right) \dots\dots\dots \text{II.2.11}$$

Para valores:

Con $R_s < 1500$

FANCH	4.4	$\log(f) = -2.4270 * 0.43429 * \log(\text{FANCH}) + 0.7377$
FANCH	6.0	$\log(f) = -2.2384 * 0.43429 * \log(\text{FANCH}) + 0.61410$
FANCH	9.0	$\log(f) = -1.15260 * 0.43429 * \log(\text{FANCH}) - 0.2280$
FANCH	20	$\log(f) = -1.201967 * 0.43429 * \log(\text{FANCH}) - 0.1809$

Con $R_s < 3000$

$$\log(f) = -1.092117 * 0.43429 * \log(\text{FANCH}) - 0.5343$$

Cálculo de la densidad de la mezcla sin resbalamiento

$$\rho_{ns} = \rho_L \lambda + \rho_g(1 - \lambda) \dots\dots\dots \text{II.2.12}$$

Donde:

$$\lambda = \frac{1}{1 + \frac{q_o(R - R_s)B_g}{5.615(q_oB_o + q_w B_w)}}$$

Cálculo del gradiente de presión por fricción

$$\frac{\Delta P}{\Delta L} = \left(\frac{1}{144} \right) * \left(\rho_{ns} + \frac{f (q_o M)^2}{2.975 * 10^5 \rho_{ns} d^5} \right) \dots \text{II.2.13}$$

II.3 CORRELACION DE BEGGS Y BRILL

Esta correlación fue desarrollada a partir de datos de flujo obtenidos en tubería de acrílico de 1 y 1½ pg y de 90 pies de longitud, las cuales se podían inclinar a cualquier ángulo.

Las tuberías transparentes permitieron observar y clasificar tres patrones de flujo en función del colgamiento - sin resvalamiento (λ). El patrón de flujo para cualquier condición de flujo se puede determinar de la siguiente manera:

Patrón de Flujo	Condiciones
Segregado	$\lambda < 0.001$ y $N_{FR} < L_1$ ó $\lambda \geq 0.01$ y $N_{FR} < L_2$
Transición	$\lambda \geq 0.01$ y $L_2 < N_{FR} \leq L_3$
Intermitente	$0.01 \leq \lambda \leq 0.4$ y $L_3 < N_{FR} \leq L_1$ ó $\lambda \geq 0.4$ y $L_3 < N_{FR} \leq L_4$
Distribuido	$\lambda < 0.4$ y $N_{FR} \geq L_1$ ó $\lambda \geq 0.4$ y $N_{FR} > L_4$

En donde:

$$\lambda = \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{q_o (R - R_s) B_q}{5.615 \cdot q_o \cdot B_o} \right)} \right] \quad \text{II. 3.1}$$

(*) Nomenclatura al final

$$N_{FR} = 12538 \left(\frac{W_m^2}{\rho_{ns}^2 d^5} \right) \dots \text{II.3.2}$$

Donde:

N_{FR} = Número de Froude

ρ_{ns} = Densidad de la mezcla sin considerar resvalamiento (lbm/pie³)

d = Diametro interno de tubería (pg)

W_m = Gasto de masa (lbm liq.gas/seg)

Conocida (λ) entonces:

$$L_1 = 316 \lambda^{0.302} \dots \text{II.3.3}$$

$$L_2 = 0.0009552 \lambda^{-2.4684} \dots \text{II.3.4}$$

$$L_3 = 0.1 \lambda^{-1.4516} \dots \text{II.3.5}$$

$$L_4 = 0.5 \lambda^{-6.738} \dots \text{II.3.6}$$

Cálculo de la densidad de la mezcla sin resvalamiento

$$\rho_{ns} = \rho_L \cdot \lambda + \rho_g \cdot (1 - \lambda) \dots \text{II.3.7}$$

Donde:

ρ_L = Densidad del líquido (lbm/pie³)

ρ_g = Densidad del gas (lbm/pie³)

Cálculo del Colgamiento (H_L)

$$H_L = \text{EXP} \left[(E_1 + E_2 \text{ SEN } \Theta + E_3 \text{ SEN}^2 \Theta + E_4 N_L^2) \frac{C_5}{N_{LV} C_6} \right] \dots \text{II.3.8}$$

Los coeficientes de la ecuación anterior para flujo ascendente y horizontal, descendente, y para flujo estratificado, se muestran en seguida:

DIRECCION DEL FLUJO	TIPO DE FLUJO	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
Ascendente	Todos	-0.38011	0.12988	-0.11979	2.34323	0.47569	0.28866
Descendente	Estratificado	-1.33028	4.80814	4.17158	56.26227	0.07995	0.50489
	Otro	-0.51664	0.78981	0.55163	5.51921	0.37177	0.39395

Cálculo de la densidad real de la mezcla (ρ_m) a partir del colgamiento (H_L)

$$\rho_m = \rho_L * H_L + \rho_g * (1 - H_L) \quad \dots \text{II.3.9}$$

Cálculo de la viscosidad de la mezcla (μ_{ns})

$$\mu_{ns} = \mu_L * \lambda + \mu_g * (1 - \lambda) \quad \dots \text{II.3.10}$$

Donde:

μ_L = Viscosidad del líquido (C_p)

μ_g = Viscosidad del gas (C_p)

El factor de fricción (f) se obtiene con la siguiente ecuación:

$$f_1 = \left[2 \log \left(\frac{N_{RE}}{4.5223 \log N_{RE} - 3.8215} \right) \right]^{-2} \quad \dots \text{II.3.11}$$

Donde:

$$N_{RE} = \frac{124 d V_m \rho_{ns}}{\mu_{ns}} \dots\dots II.3.12$$

El factor de fricción para dos fases, en función del colgamiento del líquido (H_L), y de (λ) se calcula por:

$$f_2 = f_1 * e^5 \dots\dots II.3.13$$

Donde:

$$S = \frac{\ln(y)}{-0.0523 + 3.182 \ln(y) - 0.8725 (\ln(y))^2 + 0.01853 (\ln(y))^4}$$

$$y = \lambda / H_L^2$$

Cálculo del término de aceleración (E_k)

$$E_k = \frac{7.2557 \rho_m W_m W_g}{\rho_{ns} d^4 \rho_g}$$

Cálculo del gradiente de presión total

$$\frac{\Delta P}{\Delta h} = \frac{1}{144} \left[\frac{\frac{g}{gc} \bar{\rho}_m + \left(\frac{f_{tp} \bar{\rho}_{ns} V_m^2}{5.362 d} \right)}{1 - \frac{V_m V_{sg} \bar{\rho}_m}{gc \bar{p}}} \right] \dots II.3.15$$

Donde:

g_c = Factor de conversión en la 2a. Ley de Newton (lbm - pie/lbf - seg²)

g = Aceleración de la gravedad (pie/seg²)

PROCEDIMIENTO DE CALCULO (BEGGS Y BILL)

1. A partir de una p y h dadas, condiciones en la cabeza o en el fondo del pozo, suponer una Δp y obtener p_2 y \bar{p} .
2. Calcular, para las condiciones medias del intervalo, \bar{p} y \bar{T} (esta temperatura generalmente estimada), los valores de Z , B_0 , R_s , B_g , ρ_L , μ_L , ρ_g , μ_g .
3. Calcular ρ_{ns} a \bar{p} .
4. Calcular V_{sg} , V_{SL} , V_m y λ con las ecuaciones.
5. Obtener el colgamiento H_L , con la ecuación II.3.8.
6. Calcular ρ_m con la ecuación II.3.9.
7. Determinar μ_{ns} con la ecuación y N_{AE} con las ecuaciones II.3.10 y II.3.12 respectivamente.
8. Calcular f_{ns} con la ecuación II.3.13.
9. Obtener el término de aceleración, E_k , con la ecuación - II.3.14.
10. Calcular el gradiente de presión total con la ecuación - II.3.15.
11. Repetir el procedimiento hasta coincidir con la profundidad total del pozo.

N O M E N C L A T U R A

<u>S I M B O L O</u>	<u>D E F I N I C I O N</u>	<u>U N I D A D E S</u>
A	Amperio	
Bg	Factor de Volumen del Gas @ c.f.	
Bo	Factor de Volumen del Aceite (Bo > 1)	$\frac{m^3_o @ c.y.}{m^3_o @ c.s.}$
Bw	Factor de Volumen del Agua	$\frac{m^3_w @ c.y.}{m^3_w @ c.s.}$
C	Coulombios	
CA	Corriente Alterna	Hz
CC	Corriente Continua	
CDT	Carga Dinámica Total	Pies
H	Carga Estática	Pies
Hz	Hertz (Ciclos/Seg)	
HP	Potencia Requerida	
I	Corriente Resultante	A
J	Indice de Productividad	bl/dfa/lb/Pg ²
K	Constante de Proporcionalidad	lb/pg ² o Kg/cm ²

NOMENCLATURA (2)

<u>S I M B O L O</u>	<u>D E F I N I C I O N</u>	<u>U N I D A D E S</u>
KVA	Potencia Eléctrica del Transformador	Kv
L	Longitud del Conducto	Pies
Ne	Número de Etapas	
NRE	Número de Reynolds	
P	Presión a la Entrada de la Bomba	lb/pg ² o Kg/cm ²
Ps	Presión de Separación Real	lb/pg ² ABS.
Pd	Presión de Descarga	lb/pg ² o Kg/cm ²
Pwf	Presión de Fondo Fluyendo	lb/pg ² o Kg/cm ²
Pws	Presión Estática de Fondo	lb/pg ² o Kg/cm ²
Q	Gasto Real o Deseado	bl/día o m ³ /día
Q Max.	Gasto Total Máximo	bl/día o m ³ /día
R	Relación Gas-Aceite Instantánea	m ³ g/m ³ o
Ro	Resistencia del Material a Temperatura (T)	
Rt	Resistencia del Material a Temperatura (0° C)	
Rs	Relación Gas Disuelto Aceite o de Solubilidad	m ³ g/m ³ o @ c.s.

NOMENCLATURA (3)

<u>S I M B O L O</u>	<u>D E F I N I C I O N</u>	<u>U N I D A D E S</u>
RGA	Relación Gas-Aceite	$m^3/m^3 @$ c.s.
Ts	Temperatura de Separación	*F o °C
V	Diferencia de Potencial	Voltios
\bar{V}	Velocidad Promedio de Flujo	Pies/Seg
WOR	Porcentaje de Agua	Frac.
α_o	Coefficiente de Resistencia	
γ	Peso Especifico de una Substancia	lb/pie ³ o gr/cm ³
γ_{gs}	Densidad del Gas Resultante de una Separación a 100 lb/pg ² manométrica	
γ_{gp}	Densidad del Gas Obtenida a las Condiciones de Separación de -- Ps y TS	
μ	Viscosidad Dinámica	Poises
μ_o	Viscosidad del Aceite Saturado (cp = .01 Poise)	cp
μ_{om}	Viscosidad del Aceite Muerto @ T.	cp
ρ	Densidad de una Substancia	lbm/pie ³ o gr/cm ³

NOMENCLATURA (4)

<u>S I M B O L O</u>	<u>D E F I N I C I O N</u>	<u>U N I D A D E S</u>
ρ_o	Densidad del Aceite Saturado	lb/pie ³
ρ_r	Densidad Relativa de un Cuerpo (sólido o líquido)	
ρ_{ro}	Densidad Relativa del Aceite (Agua = 1.00)	
σ	Tensión Superficial	(Dinas/cm)
τ	Esfuerzo Aplicado	
Ω	Ohmios	
d	Diámetro de la Tubería	pg
dv/dy	Gradiente de Velocidad	
f	Factor de Fricción	
fem	Fuerza Electromotriz	
g	Aceleración de la Gravedad (9.81 m/seg)	m/seg
h	Pérdida de Energía o Carga	
ln	Logaritmo Natural (Base e)	
log	Logaritmo Decimal (Base 10)	

NOMENCLATURA (5)

v	Velocidad del Flujo	pie/seg
Ⓔ c.f.	Medido a Condiciones de Flujo	
Ⓔ c.s.	Medido a Condiciones Superficiales	
Ⓔ c.y.	Medido a Condiciones de Yacimiento	

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1.- Halliday, D. and Resnick, R., "Physics, Part I, II",
Edit. John Wiley and Sons, Inc. U.S.A. (1980)
- 2.- Reiman, A.L., "Electricity, Magnetism and Optics"
Edit. Barns and Noble, Inc. U.S.A. (1983)
- 3.- Sears, W. Francis, "Electricity and Magnetism"
(M.I.T.) Massachusetts Institute of Technology
Publishing Company, Inc. (1981)
- 4.- Brown, K.E., "The Technology of Artificial Lift Methods"
Volume 2B. University of Tulsa (1980)
- 5.- Streeter, V.L., "Mechanics of Fluids"
Mac Graw Hill Book Co., N.Y. (1980)
- 6.- Nikuradse, J., "Gesetzmässigkeiten der Turbulent
Strömung in Glatten Röhren", Pag. 356-357
V.D.I. Forsch, Deuchtlad (1932)
- 7.- Colebrook, C.F., "Turbulent Flow in Pipes"
J. Inst. Civil Engs., Vol. II, London (1950)
- 8.- Cline, W.B., "Artificial Lift Alternatives for High-
Volume Offshore Production", Petroleum Engineer In-
ternational, Feb. (1980)
- 9.- Mojica, S.A., "Aplicación del Bombeo Electrocentrifugo
en Pozos Productores de Aceite". Trabajo de Investiga-
ción D.E.P.F.I. - UNAM (1984)
- 10.- Baley, M.C., "ESP - The Electrical Sumersible Pump",
Petroleum Engineer International. Aug., Sept., Nov.
(1982) Jan., Mar., Jul., Nov. (1983)

Referencias Bibliográficas

- 11.- Soto, A.M., "Bombeo Electrocentrífugo Sumergido en Pozos Petroleros", Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería. UNAM (1982)
- 12.- Díaz, Z.H., "Diseño Mejorado de Aparejos de Bombeo Eléctrico". Ingeniería Petrolera. Jul. (1984)
- 13.- Lea, J.F. and Powers, B., "Electrical Sumersible - Pump Teardown Inspection". Petroleum Engineer International. Apr., May, June, July, Aug., Sept. - (1984)
- 14.- Beavers, J.S., "Application of Electric Sumersible Pumps in Hostile Environments". Petroleum Engineer International. March (1983)
- 15.- Beavers, J.S., "How Improper Pump Selection Influences ESP Cable Failure". Petroleum Engineer International. Oct. (1984)
- 16.- Solórzano, L.N., "Principios de Análisis Económico de Proyectos de Explotación del Petróleo". Depto. de Estudios Especiales, Tec. de Explotación, I.M.P. (1970)
- 17.- Rilings, G.S., "Careful Handling Extends ESP Life" Petroleum Engineer International. Aug., Oct. (1986)
- 18.- Allis, D.H., Capps, W.M., "Supersible Pumping, Long Beach Unit of East Wilmington Field: A 17-Year Review", SPE 12200, Oct. (1983)
- 19.- McClung, W.J., "Electrical Sumersible Pump Application and Operation in Small Openhole Completions", Journal of Petroleum Technology, Sept. (1983)

Referencias Bibliográficas

- 20.- Zúñiga, P.H., "Selección del Sistema de Explotación Artificial al Campo Cantarell", Ingeniería Petrolera. Ene. (1987)
- 21.- Brown, K.E., "Overview of Artificial Lift Systems", SPE 9979, Oct. (1982)
- 22.- Neely, B., "Selection of Artificial Lift Method", SPE 10337, Oct. (1981)
- 23.- Petrie, H.L., "Jet Pumping Oil Wells", World Oil, Nov., Dic. (1983), Jan. (1984)
- 24.- Riddet, D.A., "The Application of Hydraulic Turbine Driven Pumps in Producing Wells", Well Completion Seminar II, Norwegian Society of Chartered Engineers Nov. (1983)
- 25.- Verdina, G., "Offshore Installation and Maintenance of Submersible Pumps", SPE of Aime Offshore, East Asia 82 Cont. (Singapore, 2/9 - 12/82) Preprint No. 10450 (1982)
- 26.- Capps, W.M., "Submersible Pumping Long Beach Unit of East Wilmington Field: A 17-year Review", Journal Petroleum Technology, Aug. (1984)
- 27.- Cline, W.B., Garford, D.W., "Artificial Lift Alternatives for High-Volume Offshore Production", Petroleum Engineer International, Feb. (1979)
- 28.- De Moss, E., "Gas Lift Increases High-Volume Production from Claymore Field", Journal Petroleum Technology, Apr. (1982)

- - - -