

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

"PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA"

TITULACION PROFESIONAL EXTRAORDINARIA

TRABAJO PROFESIONAL

PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO MECANICO

ALEX MARTIN MARIACA OBLITAS

LIMA - PERU

1983

I N D I C E

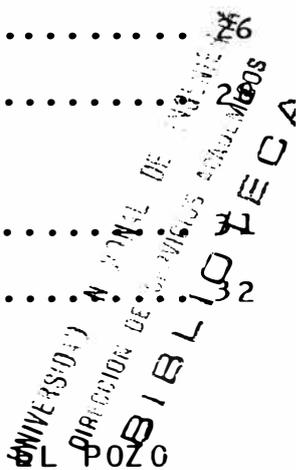
INTR ODUCCION	1
CAPITULO I	
PR ODUCCION DEL PETROLEO POR EL SISTEMA DE BOMBEO	
MECANICO - FUNDAMENTOS Y DISEÑO	3
I.2 Bombas del Subsuelo	4
I.2.1 Partes:	4
I.2.2 Ciclo de Bombeo Mecánico	5
I.2.3 Materiales usados en la fabricación de las bombas	5
I.2.3.1 Bolas y Asientos	5
I.2.3.2 Barriles, Camisas y Embolos	6
I.2.4 Designación y Especificación de las Bombas	7
I.2.5 <u>Tipos de Bombas</u>	8
I.2.5.1 A Bombas Insertables o de Varillas	8
I.2.5.1 B Bombas Tubulares	9
I.2.5.1 C Bombas de Cañería	9
I.3 Sarta de Varillas de Succión	11
I.4 Equipo de Unidad de Bombeo de Superficie	11
I.4.1 Fuente de Energía	13
I.4.2 <u>Tipos de Unidades de Bombeo</u>	
A) Unidades Convencionales	14
B) Unidades de Balanceo Neumático	15
C) Unidades de Montaje Frontal	16

I.5	Análisis Teórico del Movimiento de Varillas	17
I.6	Carrera Efectiva de Embolo	19
I.7	Cálculo de la Carga del Varillón Pulido	24
I.8	Diseño de la Sarta de Varillas	26
I.9	Diseño de Contrabalanceo	26
I.10	Desplazamiento de la Bomba y Rango de Producción	26
I.11	Potencia Requerida (hidráulica)	26

CAPITULO II

CALCULO Y SELECCION DE LA UNIDAD DE BOMBEO PARA EL POZO 5810 - BATERIA 955 - LAGUNA.- DIVISION NORTE - OPERACIONES NOR-OESTE - PETROLEOS DEL PERU.

II.1	Selección Tentativa de la Unidad	33
II.2	<u>Cálculo del Peso de Varillas y Fluído</u>	
II.2.1	Velocidad de la Bomba (CPM)	33
II.2.2	Calculo de la Carrera de la Bomba	34
II.2.3	Cálculo del Tamaño Mínimo de la Sarta de Varillas	35
II.3	<u>Cálculo de la Producción (P)</u>	
II.3.1	Cálculo de Estiramiento de las Varillas (ET)	36
II.3.2	Cálculo de la Sobrecarrera (Sc)	37
II.3.3	Cálculo de la Carrera Efectiva (CE)	37
II.3.4	Cálculo de la Carga Máxima del Varillón Pulido (PPRL)	38
II.3.5	Cálculo del Máximo Esfuerzo en las Varillas (M_E)	38



II.6	Cálculo de la Carga Mínima del Varillón Pulido	39
II.7	Cálculo de los Contrapesos Requeridos (Pc)	39
II.8	Cálculo del Torque Máximo	40
II.9	Cálculo de la Potencia Hidráulica (P _H)	41
II.10	Cálculo del Diámetro de la Polea del Motor	42
II.11	Cálculo de las Fajas de Transmisión	42
II.12	Cálculo de la Longitud de las Fajas	42

CAPITULO III

EMSAMBLAJE, CIMENTACION E INSTALACION DEL MOTOR AJAX EA-42 Y UNIDAD LUFKIN M 320 D - 253 - 144 EN POZO 5910 - Bat 955 LAGUNA .

III.1	Emsamblaje de la Unidad de Bombeo Lufkin M320D-253-144 .- (Mark II)	44
III.2	Emsamblaje del Motor AJAX EA - 42	
III.3	Cimentación de la Unidad de Bombeo y Motor en Pozo 5910 - Bat. 955	48
III.4	Montaje de la Unidad de Bombeo y Motor	49
III.5	Montaje del Motor AJAX EA- 42	50
III.6	Operacion de la Unidad	51

CAPITULO IV

MANTENIMIENTO DE LA UNIDAD DE BOMBEO

IV .1	<u>Sistema de Lubricación</u>	
IV .1.1	Reductor de Engranajes	52
IV .1.2	Cojinetes Estructurales	53

IV.2	<u>Trabajos de Inspección Rutinaria de la</u> <u>Unidad</u>	
IV.2.1	Base de Acero y Cimentación de la Unidad	54
IV.2.2	Estructura de Acero	54
IV.2.3	Cojinetes Estructurales	55
IV.2.4	Reductor de Velocidad	56
IV.2.5	Cranks, Contrapesos y Cajas de Coji netes de los Brazos	57
IV.2.7	Freno	58
IV.2.8	Transmisión	58
	CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES	59
	BIBLIOGRAFIA	62

INTRODUCCION

El pozo No. 5910 de la Bateria 955 - Laguna, fué perforado y fracturado el 30 de Marzo de 1981, dando una producción de 375 barriles de petróleo por día. Su producción efectiva fué desde el día 28 de Junio de 1981, fecha en que devolvió el petróleo utilizado en el fracturamiento y con una producción promedio de 342 barriles de petróleo por día.

A principios del mes de Setiembre de 1982, bajo la producción del pozo a 140 barriles de petróleo por día, motivo por el cual fué recomendado la instalación de la unidad Lufkin Mark II - 320 - 253 - 144, instalación que tuve a mi cargo, en el desempeño como Supervisor de Mantenimiento e instalación de unidades de bombeo en la División Norte.- Operaciones Nor-Oeste Petróleos del Perú.

En el periodo del año 1982, tuve la oportunidad de ensamblar e instalar las once unidades Lufkin Mark II, adquiridos por la empresa, a parte de los otros tipos de unidades ; que se ha instalado a un promedio de 15 unidades por mes.

He seleccionado este trabajo entre todos los demás realizados en mi carrera profesional dentro de Petróleos del Perú, Operaciones Nor-Oeste por la importancia que tiene la producción de petróleo por el sistema de bombeo mecánico ya que el 80% de la producción total está atribuido a este tipo de producción.

Para dar una idea general de la producción de petróleo por el sistema Bombeo mecánico, en la primera parte del trabajo describo los diferentes equipos, su clasificación y características que componen este sistema; y un análisis teórico.

En la segunda parte, presento los cálculos realizados para la selección de la unidad de Bombeo y fuerza motriz, - con datos obtenidos del Dpto. de Producción.

En la tercera parte, detallo la cimentación ensamble e instalación de la unidad de Bombeo Lufkin Mark II 320D - y el motor a gas AJAX EA - 42, dando las recomendaciones que se toman en este tipo de montaje e instalación.

En la cuarta parte, presento los trabajos de mantenimiento que se realizan en estos equipos.

Finalmente, doy las conclusiones y observaciones basados en las experiencias, logradas en el periodo en que tuve a cargo las instalaciones y mantenimiento de las unidades de Bombeo.

CAPITULO I

PRODUCCION DEL PETROLEO POR EL SISTEMA DE BOMBEO MECANICO - FUNDAMENTOS Y DISEÑO

El principio de producir petróleo por medio de una bomba de subsuelo accionada por una unidad de bombeo que actúa desde la superficie, data desde hace mucho tiempo, teniendo la producción de petróleo por este sistema una posición dominante (80 % de la producción total) en las Operaciones Nor-Oeste de Petróleos del Perú.

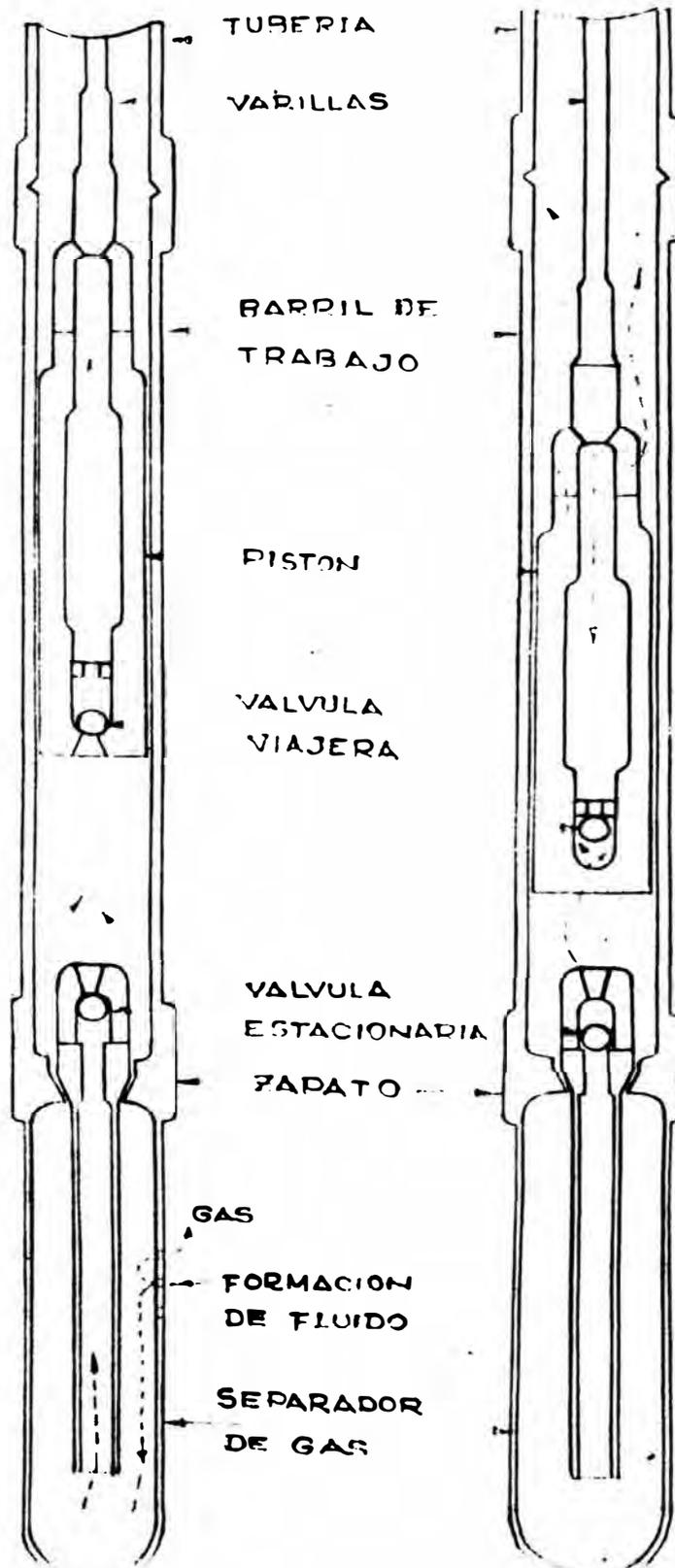
En este sistema el petróleo es bombeado por medio de un embolo y una válvula viajera que se mueven arriba y abajo dentro de un cilindro pulido, llamado barril de la bomba, que tiene una válvula estacionaria en el fondo. El embolo es accionado por medio de una sarta de varillas que se extienden hasta la superficie. La parte superior de las varillas está sujeta a un vástago pulido que se mueve de arriba a abajo por medio de una unidad de bombeo.

En la figura No. I.1. se muestra los componentes del sistema de producción de petróleo por bombeo mecánico.

I.2.- BOMBAS DEL SUBSUELO

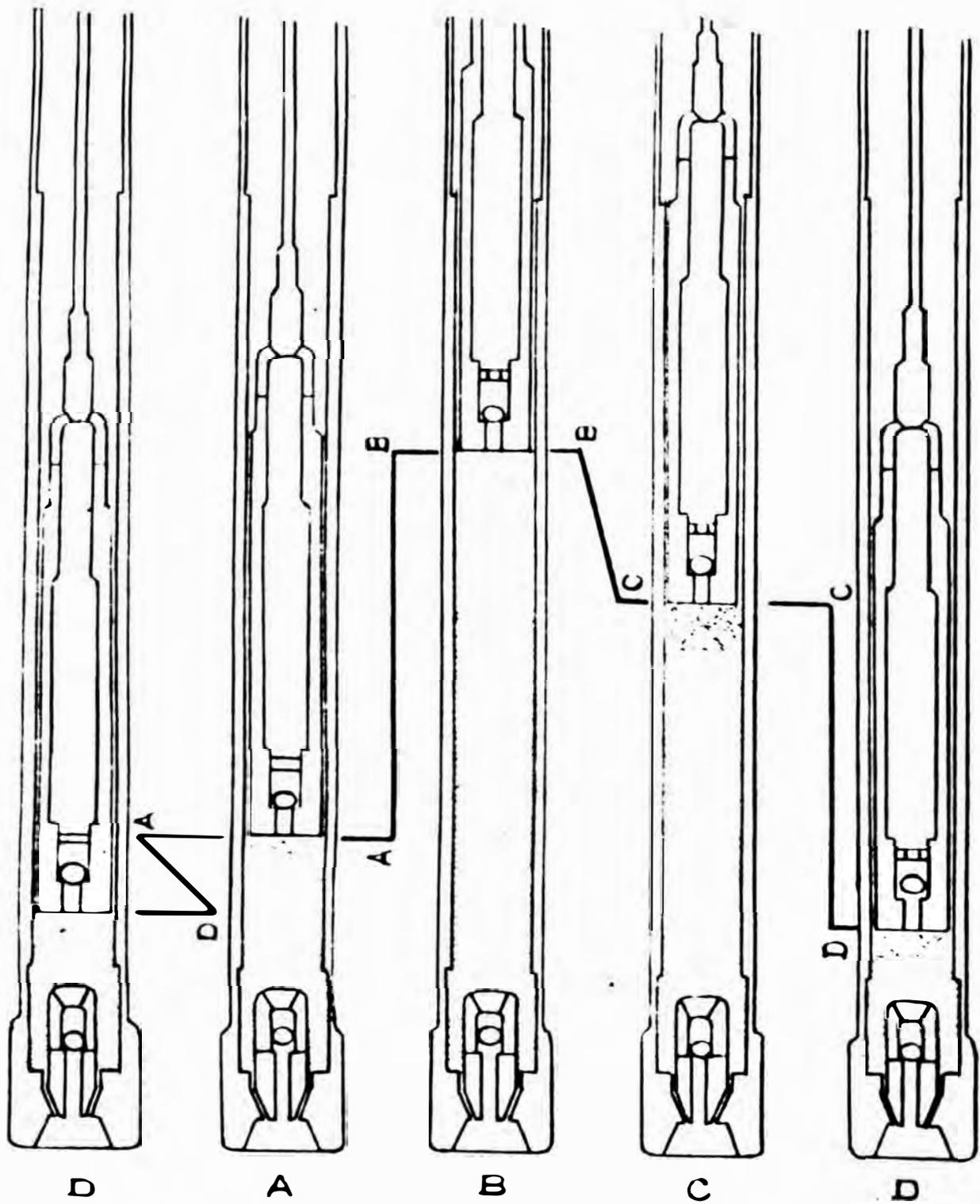
Las bombas de subsuelo son fabricadas con mucha precisión y con tolerancias muy ajustadas.

I.2.1 PARTES.- Fig. I.2



CICLO DE BOMBEO MECANICO

FIGURA N° 1-3



I.2.2 CICLO DE BOMBEO MECANICO.- Fig. I.3

MOVIMIENTO DEL EMBOLO	ACCION DE LA VALVULA	FLUIDO EN LA BOMBA
De: D a A	Ambas válvulas cerradas.	El gas libre en el espacio muerto expande de la presión estática a la presión del nivel de fluido de la bomba.
De: A a B	Válvulas estacionaria abre y cierra la válvula viajera.	El fluido es arrastrado hacia la bomba.
De: B a C	Ambas válvulas cerradas.	El gas libre en la bomba es comprimido desde la presión del nivel de fluido a la presión estática en la tubería de producción.
De: C a D	Válvula viajera abre y cierra la válvula estacionaria.	El fluido es desplazado a través de la válvula viajera hacia la tubería de producción.

I.2.3 MATERIALES USADOS EN LA FABRICACION DE LAS BOMBAS

I.2.3.1 BOLAS Y ASIENTOS

A) ACERO INOXIDABLE.- Este tipo de material se usa cuando el pozo produce monóxido de carbono (CO₂). Las bolas son generalmente 440C y los asientos 440A de acero inoxidable.

B) CARBURO FUNDIDO.- Casi siempre son usados como antimagnéticos, en algunos pozos la bola se pega al asiento, debido a fuerzas magnéticas que varían de pozo en pozo y en un mismo campo. El carburo fundido que generalmente se muestra en los catálogos es el "Stellite". No aguantan el trabajo pesado como el carburo - tungsteno.

C) CARBURO TUNGSTENO.- Este material se usa en pozos que producen petróleo con sulfuro de hidrógeno; y arena.

1.2.3.2 BARRILES, CAMISAS y EMBOLOS

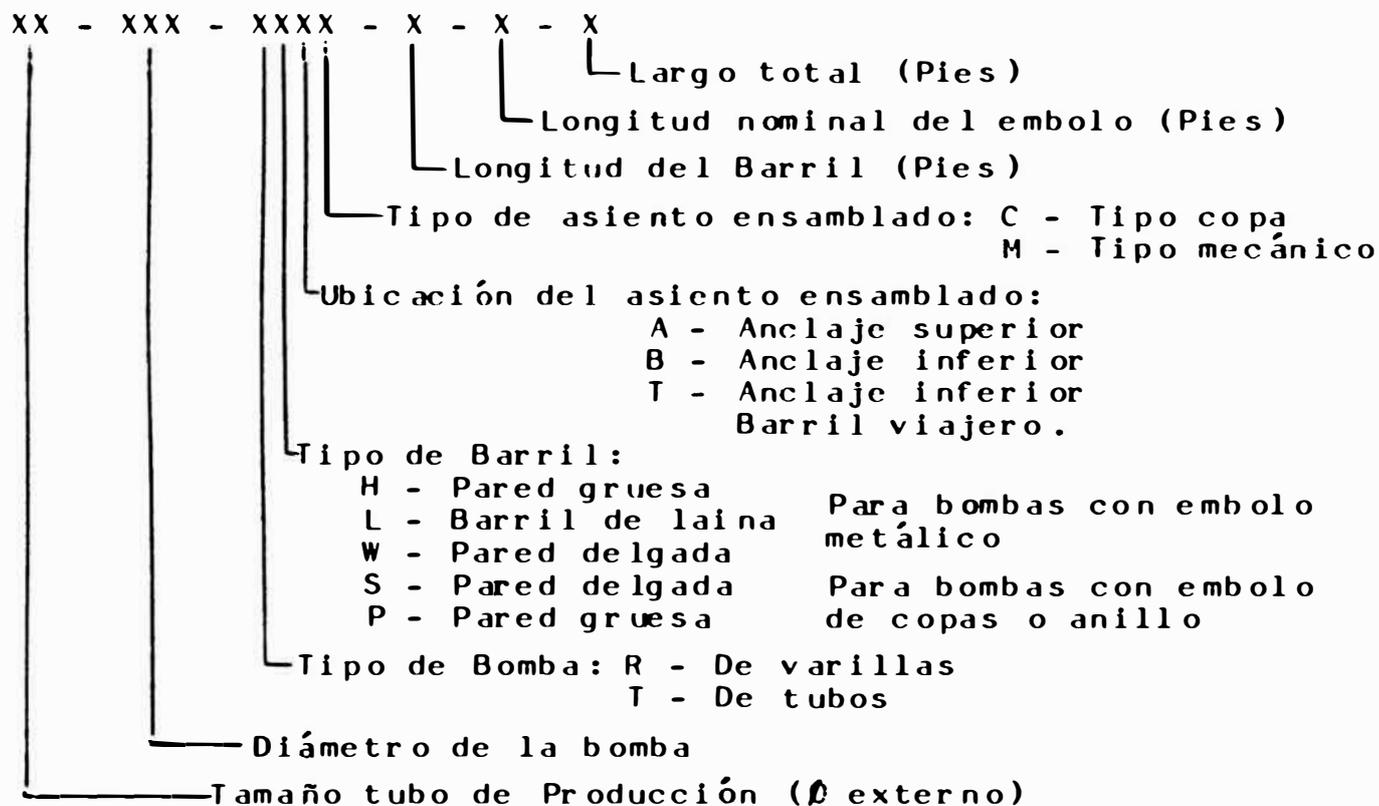
- A) REVESTIMIENTO DE CROMO.- Se usa en pozos con alto contenido de agua.
- B) ENDURECIMIENTO y PULIDO.- Se usa este material cuando el pozo es muy productivo y es necesario bombear gran caudal. Este tipo de barril es el más usado en las Operaciones Nor-Oeste.
- C) EMBOLO SUAVES.- Los embolos utilizan anillos o copas de material suave. Este tipo de embolos son más económicos que los metálicos, pero no son recomendables para pozos profundos (mayores de 5000' - pies).

I.2.4 DESIGNACION Y ESPECIFICACION DE LAS BOMBAS

T I P O D E B O M B A	DESIGNACION LITERAL				
	BOMBAS DE EMBOLO METALICO			BOMBAS DE EMBOLO DE COPAS O ANILLO	
	Barril de pared grueso	Barril con cilindro	Barril de pared delgada	Barril de pared grueso	Barril de pared delgada
Bomba de Varillas					
Barril Estacionario- Anclaje superior	RHA	RLA	RWA	RSA	
Barril Estacionario- Anclaje inferior	RHB	RLB	RWB	RSB	
Barril Viajero - Anclaje inferior	RHT	RLT	RWT	RST	
Bomba de Tubos	TH	TL		TP	

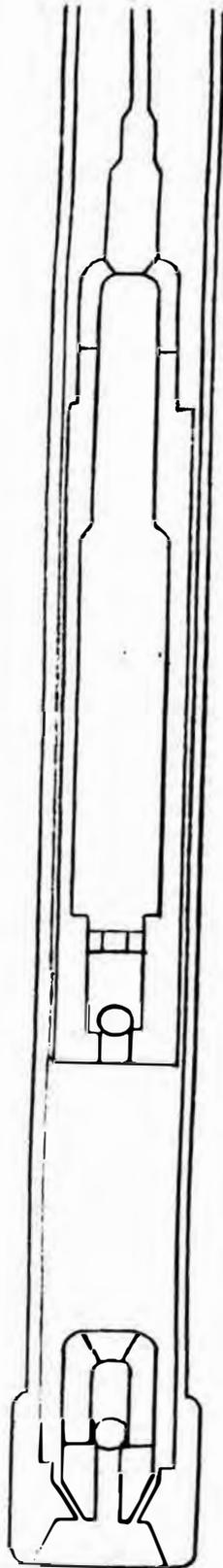
UNIVERSIDAD NACIONAL
 DE EDUCACION Y CIENCIAS
 F. I. S. L. O. T. U.

ESPECIFICACION



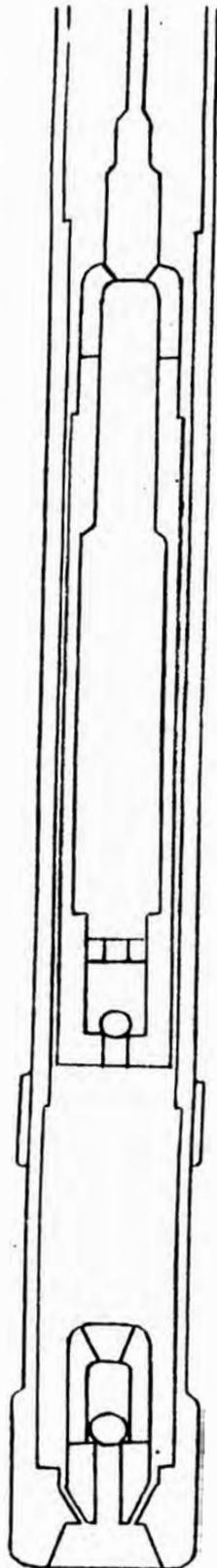
CLASIFICACION DE BOMBAS A.P.I

FIGURA N° I-4



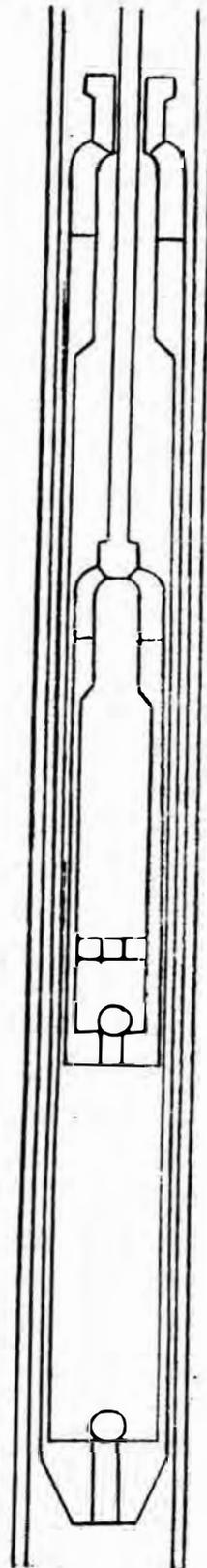
(a)

Tubular



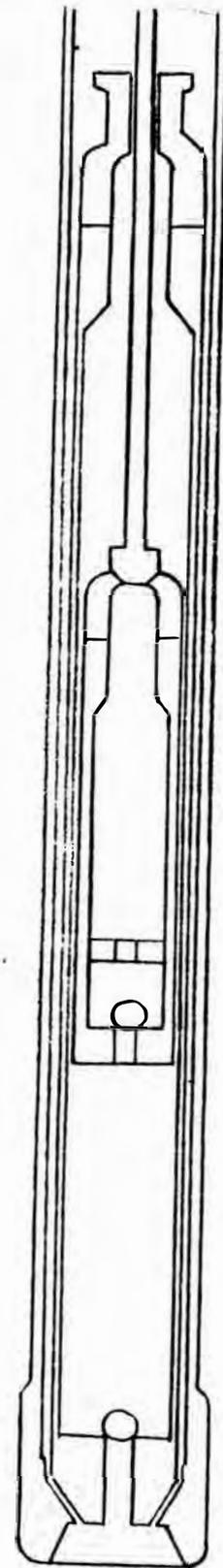
(b)

Tubular con Niple de Extensión



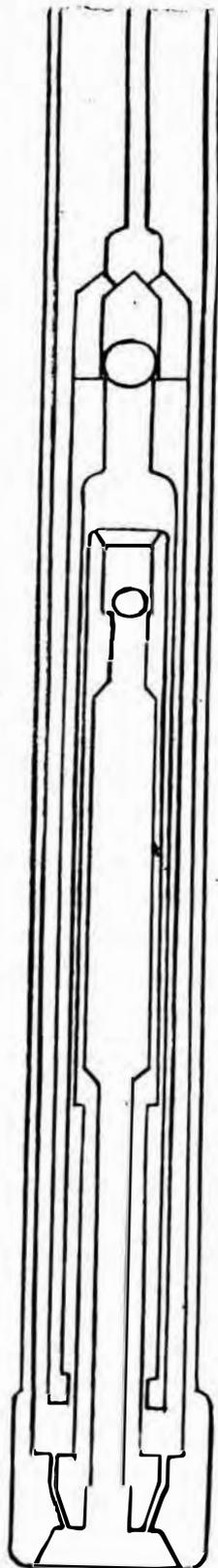
(c)

De Barril Estacionario Anclaje Superior



(d)

De Barril Estacionario Anclaje Inferior



(e)

De barril Viajero

1.2.5 TIPOS DE BOMBAS

1.2.5.A. BOMBAS INSERTABLES O DE VARILLAS

1.- BARRIL ESTACIONARIO - ANCLAJE SUPERIOR

El fluido es descargado justo encima del anclaje superior lo que evita que la arena y otros materiales se depositen al rededor de la bomba. La bomba actúa como separador de gas en pozos gaseosos. Este tipo de bombas no se debe usar por debajo de 5,000 pies. La válvula viajera se encuentra debajo del ancla lo que permite mayor sumergencia.

2.- BARRIL ESTACIONARIO - ANCLAJE INFERIOR

El anclaje está en la parte inferior de la bomba lo que evita fallas de la bomba, a profundidades mayores de 5,000 pies. El fluido descarga arriba, lo que permite acumulación de arena y otras materias en el anclaje en pozos sucios de tal manera que esta bomba solo debe usarse en pozos limpios.

3.- BARRIL VIAJERO - ANCLAJE INFERIOR

El barril es el que viaja y el embolo permanece estacionario. El barril está conectado a las varillas por un conector y una válvula viajera grande. La válvula estacionaria está colocada en parte superior del embolo. El embolo está sostenido por un tubo hueco y largo que está conectado y sostenido por el anclaje inferior.

La acción turbulenta del fluido al rededor del fondo del barril evita que la arena se deposite en la bomba. En la carrera ascendente el fluido tiende a comprimir el barril por la presión externa y en la carrera descendente el peso se iguala. El pasaje de fluido y el área del almacenaje dentro de la bomba son pequeñas, resultando en niveles bajos de producción de fluido, debido a esto estas bombas no son muy eficientes en pozos gasíferos. En la carrera descendente el peso del fluido se deposita en la caja de la válvula viajera. Así mismo el tubo que sostiene la válvula estacionaria debe soportar la compresión por la carga, lo que elimina su uso en pozos profundos y unidades de carrera larga.

I.2.5.B BOMBAS TUBULARES

La bomba tubular produce mayor cantidad de fluido, ya que el barril es parte de la sarta de tubería y se pueden usar embolos más grandes. La válvula estacionaria se deja caer dentro del tubing hasta que se sitúa en el niple de asiento. También es posible el uso de embolos de mayor diámetro exterior que el diámetro interior de la tubería.

I.2.5.C BOMBAS DE CAÑERÍA

Estas bombas son usadas para producir grandes volúmenes de fluido y tienen mayor capacidad que cualquier otro tipo de bomba, únicamente la capacidad de las varillas limita su uso.

La bomba de cañería no es muy recomendable para usar en pozos muy gaseosos, ya que toda la producción de gas debe pasar. Pozos aptos para producción de altos volúmenes son generalmente de inyección de agua y que el efecto del gas no es tan importante. El costo inicial de estas bombas es mayor que el de los otros tipos.

1.3. SARTA DE VARILLAS DE SUCCION

Son los elementos con las que se hace la transmisión de energía del equipo de superficie a la bomba de subsuelo, pudiendo ser las varillas de acero o fibra de vidrio de acuerdo a las condiciones de trabajo.

Las varillas están disponibles en 5 diámetros normales y el problema de diseño es esencialmente materia de determinar la sarta más liviana, (por lo consiguiente la más económica) que puede ser usados sin exceder el esfuerzo de trabajo de las varillas. El máximo esfuerzo de trabajo de las varillas depende de la composición química y propiedades mecánicas de éstas.

Cuando las bombas son sentadas a profundidades mayores de 3,500 pies, es usualmente deseable usar una sarta combinada de varillas; las varillas de menor diámetro son situadas en el fondo de la sarta inmediatamente sobre el émbolo.

1.4. EQUIPO DE UNIDAD DE BOMBEO DE SUPERFICIE

Este equipo es que transfiere la energía de la fuente de energía (motor) a la bomba de subsuelo mediante la sarta de varillas. Para realizar esto debe cambiar el movimiento rotacional de la fuente de energía (motor) a movimiento recíprocante de la sarta de varillas y debe reducir la velocidad del motor o una velocidad adecuada. La reducción de velocidad se realiza en la caja de engranes del reductor y el resto del equipo de superficie es confeccionado de acuerdo al mecanismo biela-Manivela con

la finalidad de transformar el movimiento rotacional del motor a movimiento recíprocante de la sarta de varillas.

El empalme directo entre la sarta de varillas y el equipo de superficie es el varillón pulido, cerca del final del varillón pulido se encuentra la grampa, la cual es soportada por el portavarillas. El porta varillas es a su vez soportado por un cable flexible (llamado rienda) la cual pasa sobre la cabeza de caballo en un extremo de la viga balancin.

La viga balancin es soportado cerca del centro de gravedad por el poste maestro (unidad convencional) o en un extremo (Unidad balanceada por aire y unidad de ensamble frontal). El movimiento es transmitido a la viga balancin por el brazo de la unidad (biela) a los cuál el movimiento es transmitido por los cranks (manivela). La distancia del eje de los cranks (manivela) al cojinete de los brazos (biela) define la longitud de la carrera del varillón pulido.

Uno de los aspectos mas importantes del diseño de una unidad de bombeo es el contrapeso. Prácticamente todo el trabajo de levantar el fluido por una bomba movida por varillas, es realizado durante la carrera ascendente, parte de ciclo de bombeo. Durante esta fase del ciclo, la carga de fluido y sarta de varillas, deben ser acelerados hacia arriba de velocidad cero, y deben ser levantadas la longitud de la carrera de la bomba. En la carrera descendente con carga de fluido transferido a la tubería de producción, la caída de varillas actúa como un impulsor de fuerza para la instalación. Sino se preveen algunos medios para equilibrar es-

tas cargas en la carrera ascendente y descendente resultarían condiciones perjudiciales para el equipo de superficie y producirían altas demandas innecesarias de potencia durante la carrera ascendente con la consecuente impulsión de la fuente de energía durante la carrera descendente (ocasionaría que la velocidad del motor sea mayor en la carrera descendente).

El contrapeso provee una distribución uniforme de cargas. Los picos de contrabalance en efecto almacenan energía durante la carrera descendente cuando la demanda de potencia es menor y elevan la energía durante la carrera ascendente, realizando parte del trabajo de levantar el fluido y varillas.

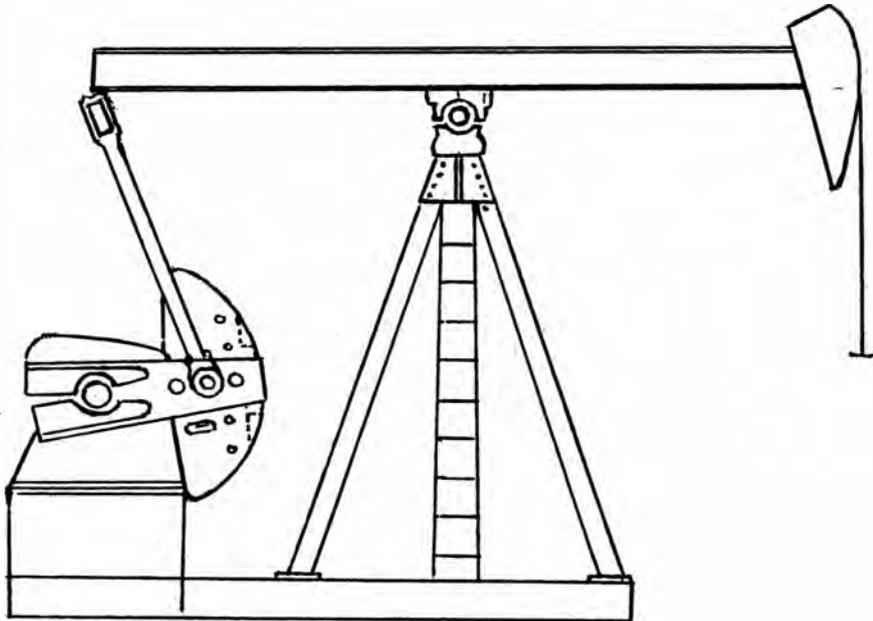
El efecto de contrabalance es determinada por el peso real del contrapeso, por su posición y por la geometría de la unidad de superficie.

I.4.1 FUENTE DE ENERGIA

La función de la fuente de energía es suministrar a la instalación energía mecánica, la cual es eventualmente transmitida a la bomba y usada para levantar el fluido. La fuente de energía seleccionada para una instalación dada de hecho tener suficiente potencia de salida para levantar el fluido en el rango deseado del nivel de trabajo del fluido en el pozo. La fuente de energía principal puede ser un motor de combustión interna o un motor eléctrico.

I.4.2. TIPOS DE UNIDADES DE BOMBEO

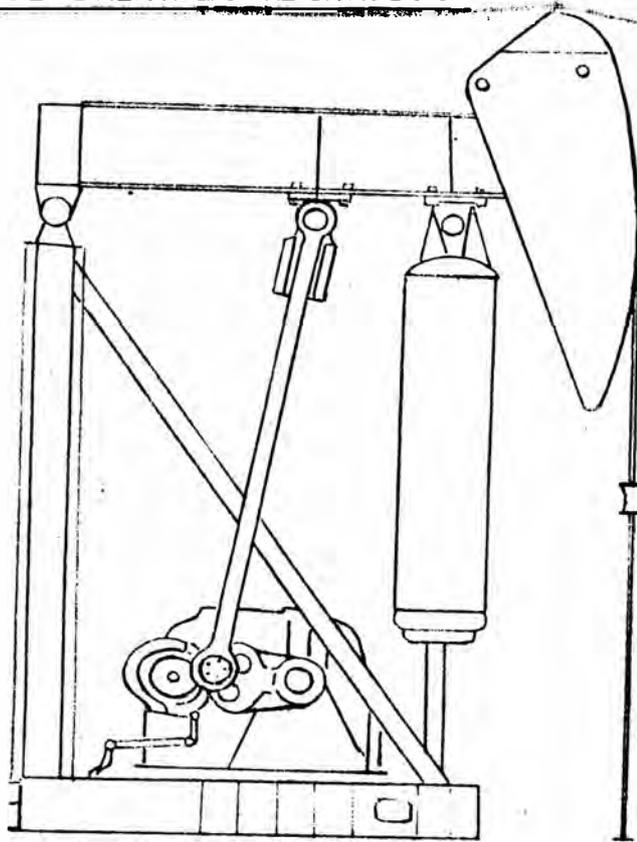
A.- UNIDADES CONVENCIONALES



La unidad de bombeo convencional ya sea con contra pesos rotativos o con contrapesos en el extremo del balancín, ha sido el tipo de unidad más usada en el campo petrolero. La rotación de los contrapesos hace que el balancín pivotee en el eje de rodamiento central (montu ra) moviendo el vástago pulido arriba y abajo a través de sus varias conexiones.

Los contrapesos localizados en la manivela son bloques pesados de hierro fundido. Estos contrapesos pueden moverse a lo largo de la manivela para producir mayor o menor efecto de contrapeso.

B.- UNIDADES DE BALANCEO NEUMÁTICO



En las operaciones Nor-Oeste este tipo de unidades son montados en bases portátiles por presentar menor vibración y tamaño; con la finalidad de utilizarlos en los pozos de medida especial por la finalidad de transporte.

El costo de Operación y mantenimiento es mayor. Este tipo de unidades se emplea en pozos profundos y bombeo de altos volúmenes con carreras largas, bombeo de petróleo pesado.

La aceleración de un cuerpo en movimiento armónico simple puede ser convenientemente investigada considerando al cuerpo a ser como la proyección (sobre el diámetro del círculo de referencia) de una partícula moviéndose con velocidad uniforme al rededor del círculo de referencia. Si el cuerpo bajo consideración es el sistema de sarta de varillas, el diámetro del círculo de referencia es igual a la longitud de la carrera del varillón pulido, y el tiempo a una revolución de la partícula al rededor del círculo es igual al tiempo para un ciclo de bombeo completo.

La máxima aceleración del sistema de varillas toma lugar al comienzo de la carrera ascendente y al comienzo de la carrera descendente, es decir cuando la proyección tiene mayor desplazamiento del centro del círculo de referencia. En este tiempo la aceleración de la proyección (por lo tanto del sistema de varillas) es el mismo que el de la partícula moviéndose al rededor del círculo, la cual es:

$$a = \frac{v_p^2}{R_c} \text{ ----- (5.2)}$$

Donde :

v_p = Velocidad de la partícula

R_c = Radio del círculo

Si el tiempo para una revolución de la partícula es T , entonces:

$$v_p = \frac{2 \pi R_c}{T} \text{ ----- (5.3)}$$

Si N son las revoluciones por unidad de tiempo

$$v_p = 2 R_c \pi N \text{ ----- (5.4)}$$

donde $\frac{1}{T} = N$

Sustituyendo. (5.2), (5.3) y (5-4) en (5-1) se tiene

$$\alpha = \frac{V_p^2}{Rc g} = \frac{4\pi^2 R_c N^2}{g} \text{----- (5.5)}$$

Para un pozo bombeado N, es la velocidad de bombeo y Rc es la longitud de la carrera del varillón pulido. (5.6)

$$R_c = \frac{C}{2} \text{----- (5.6)}$$

Luego: $\alpha = \frac{2\pi^2 C N^2}{g} \text{----- (5.7)}$

La longitud de la carrera del varillón pulido es generalmente dada en pulgadas y la velocidad de bombeo en carreras por minuto luego:

$$\alpha = \frac{2\pi^2 C N^2 (\text{pulg}/\text{min})^2}{32.2 \text{ pies}/\text{seg}^2} \times \frac{1 \text{ pie}}{12 \text{ pulg}} \times \frac{1 \text{ min}^2}{3600 \text{ seg}}$$

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

----- (5.8)

I.6 CARRERA EFECTIVA DE EMBOLO

El volumen de petróleo manipulado durante cada carrera del embolo de la bomba no depende de la longitud de la carrera del varillón pulido sino del movimiento del embolo relativo al barril de trabajo. Este movimiento es llamado carrera neta o efectiva del embolo y puede diferir significativamente de la carrera del varillón pulido.

Fundamentalmente la carrera del embolo y carrera del varillón pulido difieren a causa del estiramiento de varillas y tubos y a causa de la sobrecarrera del embolo resultante de la aceleración.

Como ya se vió anteriormente la válvula viajera y es

tacionaria abren y cierran durante el ciclo de bombeo, la carga de fluido es transferido alternativamente a la tubería de producción y sarta de varillas, resultando de esto deformaciones elásticas periódicas (de varillas y tubos)- las cuales están fuera de fase entre ellas 180° .

Considerando el sistema durante la carrera descendente cuando la válvula estacionaria está cerrada y la válvula viajera está abierta, en este período el fluido está en la tubería de producción causando una cierta elongación de este miembro. En el comienzo de la carrera ascendente la válvula viajera cierra causando la elongación de las varillas. Abriendo la válvula estacionaria permite al esfuerzo salir fuera de la tubería de producción. La restauración de la tubería de producción a su longitud original causa que el barril se mueva hacia arriba y la elongación de las varillas causa que el embolo se mueva hacia abajo. La carrera efectiva es por lo tanto disminuído por una cantidad igual a la suma de la elongación de varillas y tubos, resultantes de la carga del fluido.

Para una deformación elástica hay una razón constante entre los esfuerzos aplicados a un cuerpo y la deformación resultante.

$$E = \frac{\text{ESFUERZO}}{\text{DEFORMACION}}$$

Donde :

E = Módulo de elasticidad y es una característica del material al cual es aplicado el esfuerzo.

$$\text{Esfuerzo} = \frac{F}{A}$$

Donde :

F = Fuerza

A = Area sección transversal

La deformación es el cambio fraccional en longitud

$$\text{Deformación} = \frac{e}{l}$$

Convencionalmente la fuerza F. es expresada en Libras y el área A. de la sección transversal del miembro bajo esfuerzo es expresado en pulg². La elongación e. y longitud l. del miembro deben de estar dados en la misma unidad de longitud. Normalmente magnitudes de elongación y longitud son expresados en pulgadas y pies respectivamente.

$$\text{Deformación} = \frac{e}{12L}$$

Sustituyendo:

$$E = \frac{F/A}{e/12L} = \frac{12F l}{eA}$$

$$e = \frac{12F l}{EA}$$

La fuerza debido al fluido resulta de la diferencial de presión a través del embolo (con la bomba sentada en la profundidad l) actuando sobre el área del embolo: Ap.

$$F = Ap \times \Delta P$$

Si asumimos que la bomba está sentada en el nivel de trabajo del fluido la diferencial de presión es la presión en la profundidad L de una columna de fluido de gravedad específica G.

$$\Delta P = 0.433.G \times L \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} =$$

$$\Delta P = P \times L$$

$$P = \text{Peso Específico} = \text{densidad} \times G = \frac{\text{Lb}}{\text{pie}^3} = 624 \frac{\text{Lb}}{\text{pie}^3} \times G$$

$$L = \text{pies.}$$

Para el caso más general, donde el nivel de trabajo del fluido esté en la profundidad D, la presión (bajo el embolo) debido a una columna de fluido de altura (L-D) en la tubería de producción debe ser considerada:

$$\Delta P = 0.433 GL - 0.433 G (L-D)$$

$$\Delta P = \underline{0.433 G \times D}$$

De la ecuación

$$\epsilon = \frac{12F1}{EA} = \frac{12\Delta P \times A_p \times L}{EA} = \frac{12 \times 0.433 G \times D \times A_p \times L}{EA}$$

$$\epsilon = \frac{5.20 G \times D \times A_p \times L}{EA}$$

Específicamente la elongación de la tubería de producción es:

$$\epsilon_t = \frac{5.20 G \times D \times A_p \times L}{EA_t}$$

Donde A_t es la sección transversal de la pared de la tubería de producción.

Para la sarta de varillas.

$$\epsilon_v = \frac{5.20 G \times D \times A_p \times L}{EA_v}$$

Donde A_v es el área de la sección transversal de las varillas.

En el caso de una sarta ahusada, la ecuación anterior - debe ser aplicada para cada sección, es decir:

$$\epsilon_1 = \frac{5.20 G \times D \times A_p \times L_1}{EA_{v1}} \quad ; \quad \epsilon_2 = \frac{5.20 G \times D \times A_p \times L_2}{EA_{v2}} \quad \dots\dots\dots\text{etc}$$

Luego, la elongación total de las varillas es:

$$\epsilon_{t_v} = \frac{5.20 G \times D \times A_p}{E} \left(\frac{L_1}{A_1} + \frac{L_2}{A_2} + \dots\dots\dots \right)$$

En adición al estiramiento de las varillas causadas por carga de fluido, la elongación de varillas también resulta de la misma carga de varillas, la cual consiste del peso muerto de varillas más la aceleración de la carga.

Para una sarta no abusada, el peso de varillas suspendido bajo cualquier elemento de la sarta varía uniformemente de cero en el fondo de la sarta a W_v , en el tope de la sarta.

Sobre el promedio, el peso de varillas que tiende a causar elongación de un elemento es $(W_r/2)$. Esto es equivalente a conllevar la masa total de la sarta de varillas a ser concentradas en $(L/2)$. En cualquier suceso, la elongación de varillas (resultante de la carga de varillas) en el final de la carrera descendente será de:

$$E_d = \frac{12 (W_v + W_v \times \alpha) L/2}{E A_v}$$

Y la elongación de varillas en el final de la carrera ascendente será:

$$E_a = \frac{12 (W_v - W_v \times \alpha) L/2}{E A_v}$$

Desde que la aceleración de carga está en direcciones opuestas. La sobrecarrera del embolo o elongación neta resultante de la aceleración es:

$$E_p = E_d - E_a = \frac{12 W_v \alpha L}{E A_v}$$

El peso de la sarta de varillas es:

$$W_v = \frac{\delta_v L A_v}{144}$$

Donde: δ_v = densidad de la sarta de varillas (lb/ pie^3)

La densidad del acero es aproximadamente de $490 \frac{lb}{pie^3}$

$$E_p = \frac{12 L \alpha}{E A_v} \times \frac{490 \times L \times A_v}{144} = 40.8 \frac{L^2 \alpha}{E}$$

Finalmente la carrera efectiva del embolo se observa - que es la carrera del varillón pulido, disminuído por el efecto de estiramiento de varillas y tubería de producción, resultantes de la carga del fluido é incrementado por el efecto de sobrecarrera del embolo:

$$C_p = C + E_p - (E_t + E_v)$$

Combinando ecuaciones:

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

En el caso de varillas no combinadas:

$$C_p = C + \frac{40.8 L^2 \alpha}{E} - \frac{5.20 G \times D \times A_p \times L}{E} \left[\frac{1}{A_t} + \frac{1}{A_v} \right]$$

En el caso de tubería se desprecia el término que involucra A_t .

.7 CALCULO DE LA CARGA DEL VARILLON PULIDO

La selección de un equipo de superficie para una instalación de bombeo está influenciada por la carga máxima del varillón pulido. La estimación preliminar del contrapeso requerido está basada en el promedio de la máxima y mínima carga del varillón pulido. Estas cantidades deben por lo tanto ser determinadas para un mayor grado de seguridad como lo permitan los datos disponibles.

Durante el ciclo de bombeo, cinco son los factores que contribuyen a la carga del varillón pulido:

- a) Carga de fluido
- b) Peso neto de varillas
- c) Carga por aceleración de varillas

- d) Fuerza de empuje del fluido
- e) Fuerzas friccionales.

Por la compresibilidad relativa del fluido, las cargas de aceleración asociada con el fluido son despreciables.

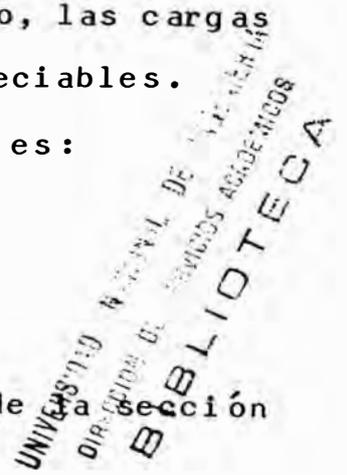
El peso de una sarta combinada de varillas es:

$$W_v = M_1 L_1 + M_2 L_2 + \dots$$

Donde:

M_1 es el peso de las varillas en Lb-pie

L_1 es la longitud de la varilla en pies, de la sección I de la sarta de varillas.



La máxima y mínima carga de aceleración de varillas está dada por:

$$\text{Máxima Carga de Aceleración} = W_v \cdot \alpha$$

$$\text{Mínima Carga de Aceleración} = -W_v \cdot \alpha$$

Siendo la densidad promedio de las varillas de $\frac{490 \text{ lb}}{\text{pie}^3}$ el volumen de la sarta y consecuentemente el volumen desplazada por las varillas es:

$$\text{Volumen} = \frac{\text{Peso}}{\text{Densidad}} = \frac{W_v}{490} \text{ pies}^3$$

La densidad del fluido desplazada (gravedad específicos G) es 62.4 G lb/pie^3 .

La fuerza de empuje del fluido sobre las varillas es:

$$\text{Empuje} = - (W_v/490)62.4 \text{ G} = \underline{-0.127 W_v \text{ G}}$$

La carga de fluido para calcular la carga del varillón es el peso de la columna del fluido soportada por el émbolo.

El volumen de la columna de fluido que tiene como base el embolo y como su altura la sarta de varilla será:

$$\text{Vol} = \frac{L \cdot AP}{144} \text{ pie}^3$$

Volumen neto del fluido es:

$$V_n = \left[\left(\frac{L \cdot A_p}{144} \right) - \left(\frac{W_v}{4.90} \right) \right] \text{ Pies }^3$$

La carga de fluido será:

$$W_f = 62.4 \left[\left(\frac{L A_p}{144} - \frac{W_v}{190} \right) \right] = 0.433 G (L A_p - 0.294 W_v)$$

Se hace notar que la carga del fluido está sobre el varillón pulido solamente en la carrera ascendente.

Las cargas de fricción se pueden estimar de las pruebas dinámicas en las instalaciones puestas antes de operación.

La carga de fricción es designada con +f en la carrera ascendente y -f en la carrera descendente.

En suma el máximo o pico de carga del varillón pulido ocurre en la carrera ascendente.

$$W_{max} = W_f + W_v + W_v \alpha + f$$

Y la mínima carga del varillón pulido, la cual ocurre en la carrera descendente es

$$W_{min} = W_v - W_v \alpha - 0.127 W_v G - f$$

La fuerza de fricción es generalmente muy pequeña en comparación a las demás cargas, por lo tanto, se desprecia esta carga luego.

$$W_{max} = W_f + W_v (1 + \alpha) \quad (\text{Ecuación de MILLS})$$

y

$$W_{min} = W_v (1 - \alpha - 0.1276)$$

I.8 DISEÑO DE LA SARTA DE VARILLAS

Condiciones para el cálculo de una sarta combinada de varillas:

- a.- Condiciones estáticas que no consideren cargas de aceleración.
- b.- La gravedad específica del fluido del pozo igual a 1.00
- c.- La carga del fluido actúa sobre el área total del fluido.
- d.- La bomba está situada en el nivel de trabajo del fluido. Bajo estas condiciones la carga de fluido es: $=0.433LAp.(Lbs)$ considerando primero una sarta combinada de 2 partes:

Las partes fraccionales son:

$$R_1 = \frac{L_1}{L} \quad ; \quad R_2 = \left(\frac{L_2}{L} \right) \dots\dots\dots (8 - 1)$$

Donde :

$$l = L_1 + L_2$$

El esfuerzo en el tope de la sección más baja es:

$$\frac{0.433 L Ap + L_1 M_1}{A_1} = \frac{0.433 L Ap + LR_1 M_1}{A_1} \dots\dots\dots (1.8-2)$$

Así mismo el esfuerzo en el tope de la sección superior .

$$\frac{0.433 Ap + L_1 M_2 + L_2 M_2}{A_2} = \frac{0.433 LAp + R_1 M_1 + LR_2 M_2}{A_2} \dots\dots\dots (1.8-3)$$

Si el esfuerzo en los topes de las secciones son iguales:

$$\frac{0.433 Ap + R_1 M_1}{A_1} = \frac{0.433 Ap + R_1 M_1 + R_2 M_2}{A_2} \dots\dots\dots (1.8-4)$$

Para la selección de varillas y tuberías de producción, la longitud de cada sección puede ser determinando usando:

$$R_1 + R_2 = 1 \dots\dots\dots (1.8-5)$$

Para sartas de más de dos secciones, el análisis difiere del presentado anteriormente solamente en grado de complejidad.

Para 3 y 4 Secciones:

$$\frac{0.433 A_p + R_1 M_1}{A_1} = \frac{0.433 A_p + R_1 M_1 + R_2 M_2 + R_3 M_3}{A_3} \dots\dots\dots(1.8-6)$$

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

Conociendo las áreas y el peso de las varillas, reemplazando estas expresiones se determinó lo siguiente:

$\frac{5}{8} - \frac{3}{4}$	$R_1 = 0.759 - 0.0996 AP$
$\frac{3}{4} - \frac{7}{8}$	$R_2 = 0.241 + 0.0896 AP$
$\frac{7}{8} - 1$	$R_1 = 0.786 - 0.0566 AP$
$\frac{3}{4} - \frac{7}{8} - 1$	$R_2 = 0.214 + 0.0566 AP$
$\frac{5}{8} - \frac{3}{4} - \frac{7}{8}$	$R_1 = 0.814 - 0.0375 AP$
$\frac{3}{4} - \frac{7}{8} - 1$	$R_2 = 0.814 + 0.0375 AP$
$\frac{5}{8} - \frac{3}{4} - \frac{7}{8}$	$R_1 = 0.627 + 0.1393 AP$
$\frac{3}{4} - \frac{7}{8} - 1$	$R_2 = 0.199 + 0.0737 AP$
$\frac{3}{4} - \frac{7}{8} - 1$	$R_3 = 0.1757 + 0.0655 AP$
$\frac{3}{4} - \frac{7}{8} - 1$	$R_1 = 0.664 - 0.0994 AP$
$\frac{3}{4} - \frac{7}{8} - 1$	$R_2 = 0.181 + 0.0478 AP$
$\frac{3}{4} - \frac{7}{8} - 1$	$R_3 = 0.155 + 0.0416 AP$

I.9 DISEÑO DE CONTRABALANCEO

Teóricamente el efecto del contrabalanceo ideal sería tal que el motor llevara la misma carga promedio en la carrera ascendente y en la carrera descendente esto es:

$$W_{max} = C_i = C_1 - W_{min}$$

$$C_i = 0.50 (W_{max} + W_{min})$$

Sustituyendo:

$$W_{max} = W_f + W_v + W_v \alpha + F$$

$$W_{min} = W_v - W_v \alpha - 0.127 W_v G - F$$

$$C_1 = 0.5 W_f + W_v (1 - 0.127 G)$$

De la ecuación anterior se observa que el efecto de contrabalanceo ideal balancea la mitad de la carga del fluído, más el peso de las varillas en el fluído.

La Fig. (I.9) muestra que el efecto de contrabalanceo C_w debido al contrapeso de W_c (Lbs) depende de la geometría de la unidad de bombeo y de la longitud de la carrera, lo mismo que en el peso y posición del contrapeso.

En la Fig. (I.9) β es el ángulo entre el balancín y la horizontal en cualquier tiempo dado, α es el ángulo entre la biela y la vertical y ϕ es el ángulo entre la manivela y la vertical. La distancia del eje de la manivela al centro de gravedad del contrapeso es d , y la distancia del eje de la manivela al cojinete de biela es r .

F_p es la fuerza en la biela, la cuál para el contrabalanceo de la manivela está siempre en tensión. El punto O representa el eje de la manivela y el punto P representa el cojinete de la montura. La distancia de la montura al cojinete de cola y a la brida son l_1 y l_2 respectivamente.

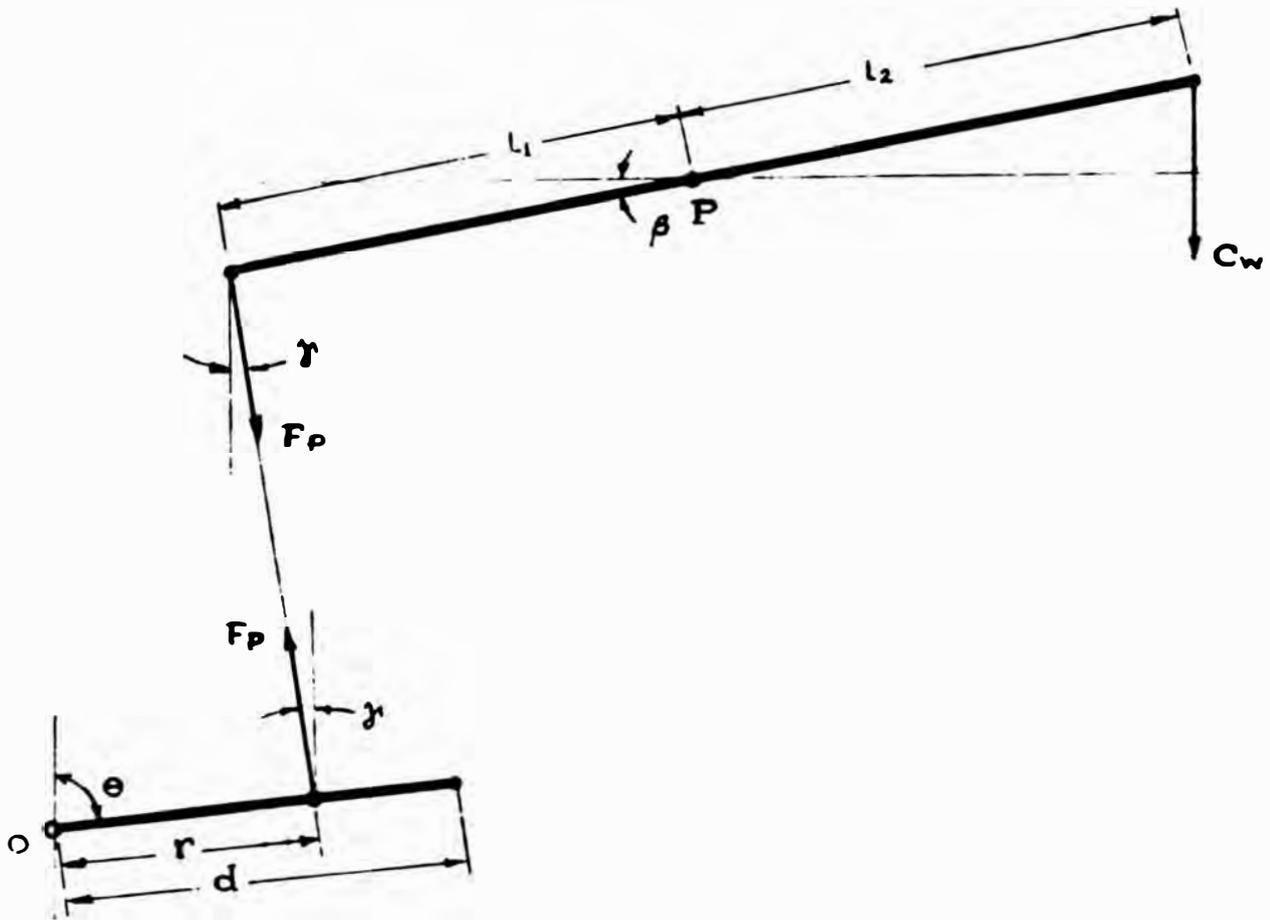


FIGURA (I-8)

Tomando momentos al rededor del punto P.

$$C_w (l_2 \cos \beta) = (F_p \cos \gamma)(l_1 \cos \beta) + (F_p \sin \gamma)(l_1 \sin \beta)$$

$$F_p = \frac{C_w l_2 \cos \beta}{l_1 (\cos \gamma)(\cos \beta) + (\sin \gamma)(\sin \beta)} \dots (I-9-1)$$

Tomando momentos al rededor del punto "O"

$$C_w (d \sin \theta) = (F_p \cos \gamma)(r \sin \theta) + (F_p \sin \gamma)(r \cos \theta)$$

$$F_p = \frac{W_c d \sin \theta}{r [(\cos \gamma)(\sin \theta) + (\sin \gamma)(\cos \theta)]} \dots \dots (I-9-2)$$

Asumiendo que γ es muy pequeño (tiende a cero) y la longitud de la biela es mucho mayor que r . igualando las ecuaciones. (I-9-1) y (I-9-2) se tiene:

$$C_w = W_c \left(\frac{d}{r} \right) \left(\frac{l_1}{l_2} \right)$$

En adición al efecto del contrapeso, algunos efectos de contrabalance son provistos por el desbalanceo estructural de la misma instalación de superficie.

Si se llama a este efecto C_s . el efecto de contrabalanceo total en el varillón pulido es:

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

I.10 DESPLAZAMIENTO DE LA BOMBA Y RANGO DE PRODUCCION

El volumen desplazado de fluido por día es:

$$V = A_p (\text{Pulg}^2) \times S_p \frac{\text{Pulg}}{\text{carrera}} \times N \frac{\text{carrera}}{\text{min}} \times \frac{1440 \text{ min/día}}{9702 \text{ pulg}^3/\text{Barril}}$$

Donde:

V = Volumen desplazado de fluido por día

A_p = Area sección transversal del embolo.

S_p = Carrera de la bomba

N = Velocidad de la bomba.

$$V = 0.1484 A_p S_p N \frac{\text{Barriles}}{\text{día}}$$

Haciendo:

$$0.1484 \times A_p = \text{Constante } K = (\text{constante de la bomba})$$

Se tiene:

$$V = K S_p N \frac{\text{Barril}}{\text{día}}$$

La eficiencia volumétrica de la bomba es:

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

Donde:

$$q = \text{Volumen de fluido del pozo.} \left(\frac{\text{Barriles}}{\text{día}} \right)$$

I.11 POTENCIA REQUERIDA (HIDRAULICA)

$$P_h = \frac{q \times 350G \times L}{33,000} = \frac{q \left(\frac{\text{Barriles}}{\text{día}} \right) \times 350G \left(\frac{\text{Lb}}{\text{Barril}} \right) \times L \text{ (Pies)}}{1440 \left(\frac{\text{min}}{\text{día}} \right) \times 33,000 \left(\frac{\text{Lb} \cdot \text{pie}}{\text{Min-HP}} \right)}$$

(HP)

RANGOS DE PRODUCCION DE UNIDADES DE BOMBEO

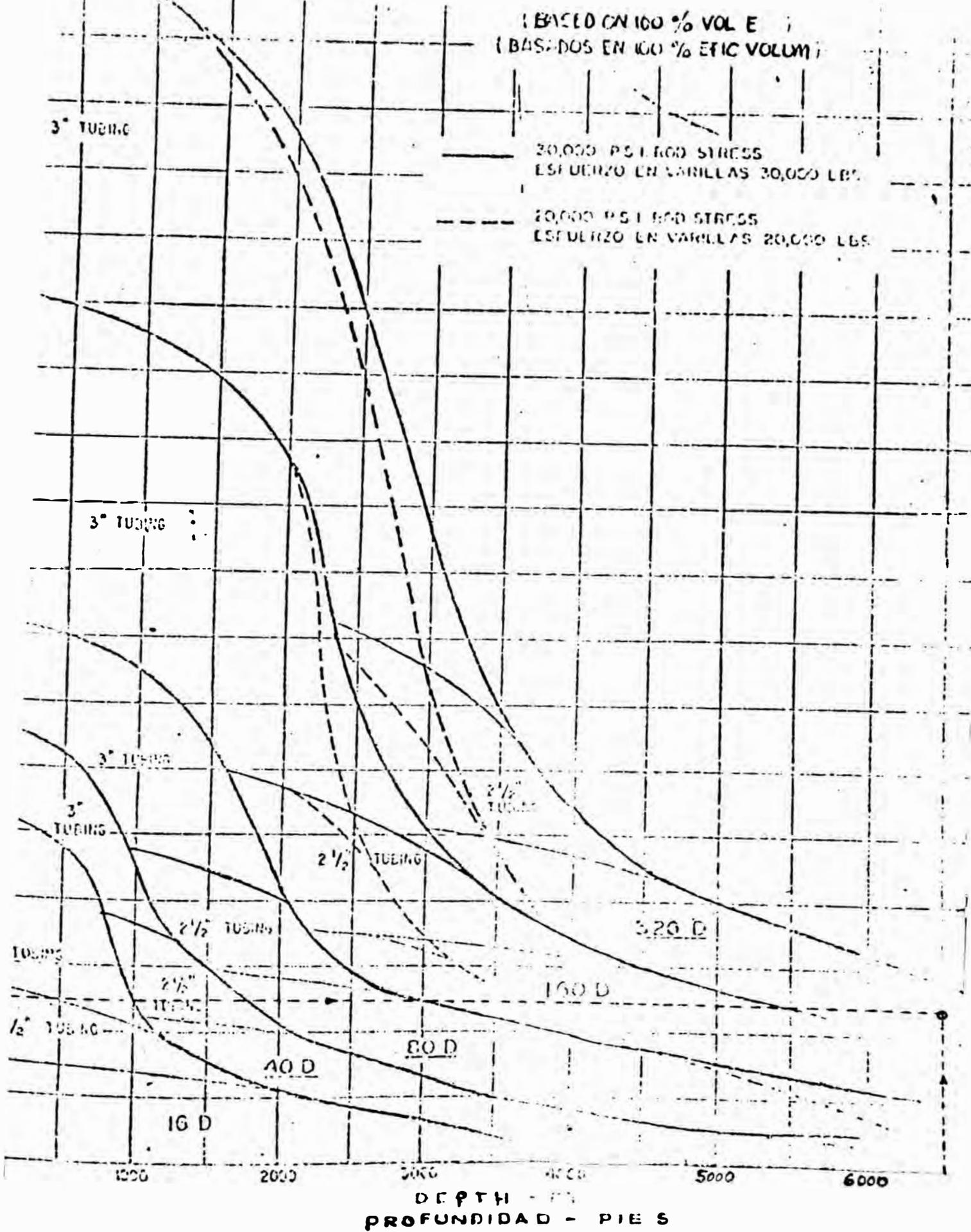
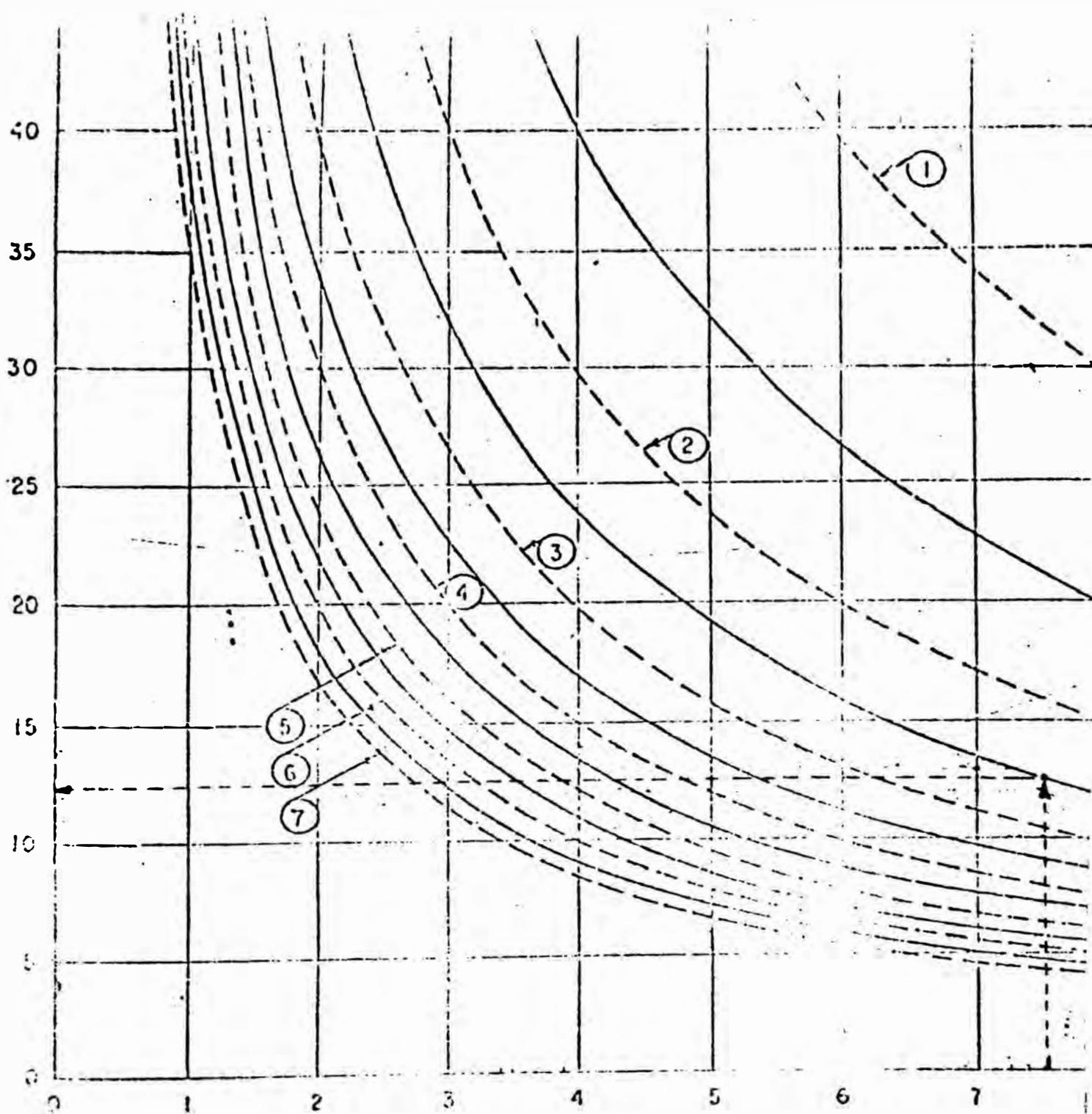


FIGURA N-1



DEPTH - THOUSANDS OF FEET
 PROFUNDIDAD - MILES DE PIES

SUCKER ROD SPEEDS
VELOCIDADES SINCRONICAS

SARTA DE VARILLAS
VELOCIDADES SINCRONICAS

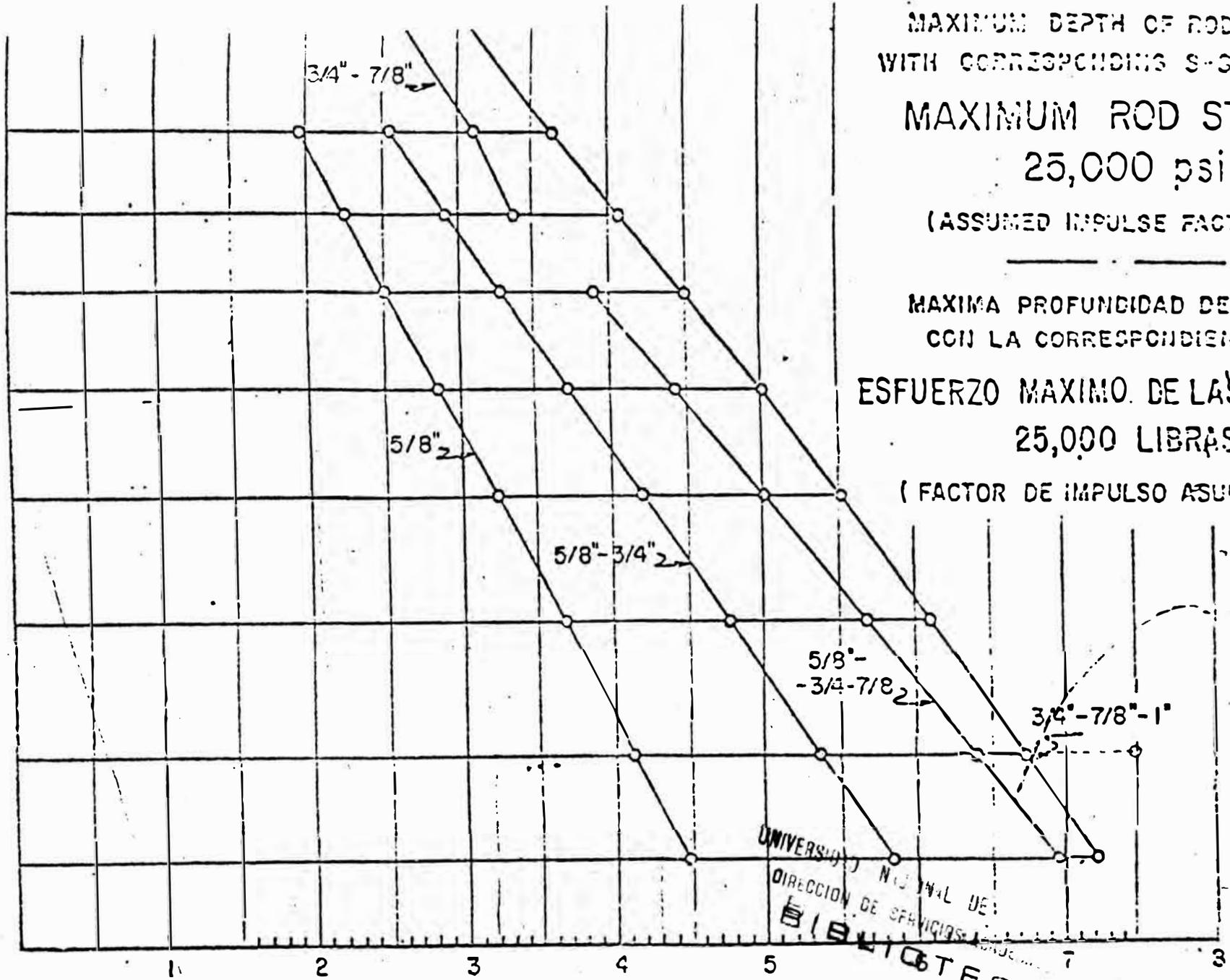
① ETC ORDER OF HARMONICS
 -- NON-SYNCHRONOUS SPEEDS
 - - SYNCHRONOUS SPEEDS

-- ETC. ORDEN DE LA ARMONICA
 -- NO SINCRONICA - VELOCIDAD DISEÑADA
 - - VELOCIDAD SINCRONICA - EVITAR

FIGURA II-2

MEDIDA DE LA BOMBA - PULG.
SUG - SURFACE PULG. SIZE - IN

2 3/4"
2 1/2"
2 1/4"
2"
1 3/4"
1 1/2"
1 1/4"
1 1/16"



MAXIMUM DEPTH OF ROD STRING
WITH CORRESPONDING S-SURFACE
MAXIMUM ROD STRESS
25,000 psi
(ASSUMED IMPULSE FACTOR = 1.0)

MAXIMA PROFUNDIDAD DE LA SARTEN
CON LA CORRESPONDIENTE ESCALA
ESFUERZO MAXIMO. DE LAS VARILLAS
25,000 LIBRAS/PULG.
(FACTOR DE IMPULSO ASUMIDO = 1.0)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
DIRECCION DE SERVICIOS TECNICOS
BIBLIOTECA

DEPTH - THOUSANDS OF FEET
PROFUNDIDAD - MILES DE PIES

5-11-1963

T A B L E II-1

Rod Percentages for Tapered Rod Strings

Plunger Diameter	3/4 & 5/8	7/8 & 3/4	7/8	3/4	5/8	1 & 7/8	1	7/8	3/4	1-1/8	1	7/8	3/4
	% 3/4	% 7/8	%	%	%	% 1	%	%	%	%	%	%	%
1-1/16	31.6	26.0	23.1	26.2	50.7	22.3	19.2	22.1	58.7	15.4	17.0	19.2	48.4
<u>1-1/4</u>	34.8	28.1	25.4	28.8	45.8	23.6	<u>20.8</u>	<u>23.6</u>	<u>55.6</u>	16.5	13.3	20.7	44.5
1-1/2	39.6	31.1	23.8	32.3	38.4	25.6	22.9	26.3	50.8	18.3	20.2	22.9	39.6
1-3/4	45.2	34.7	32.9	37.4	29.7	28.0	25.6	29.2	45.2	20.4	22.6	25.5	31.5
2	51.8	38.8	37.6	42.3	19.6	30.5	28.7	32.7	38.5	22.9	25.2	28.6	28.3
2-1/4	59.2	43.4	43.0	48.9	8.1	33.9	32.1	36.7	31.2	25.6	28.3	32.0	14.1
2-1/2	67.5	48.7	-	-	-	37.5	35.0	41.1	22.9	28.6	31.7	35.8	3.9
2-3/4	76.5	54.4	-	-	-	41.5	40.4	45.3	13.8	-	-	-	-
3-3/4	-	63.0	-	-	-	60.5	-	-	-	-	-	-	-

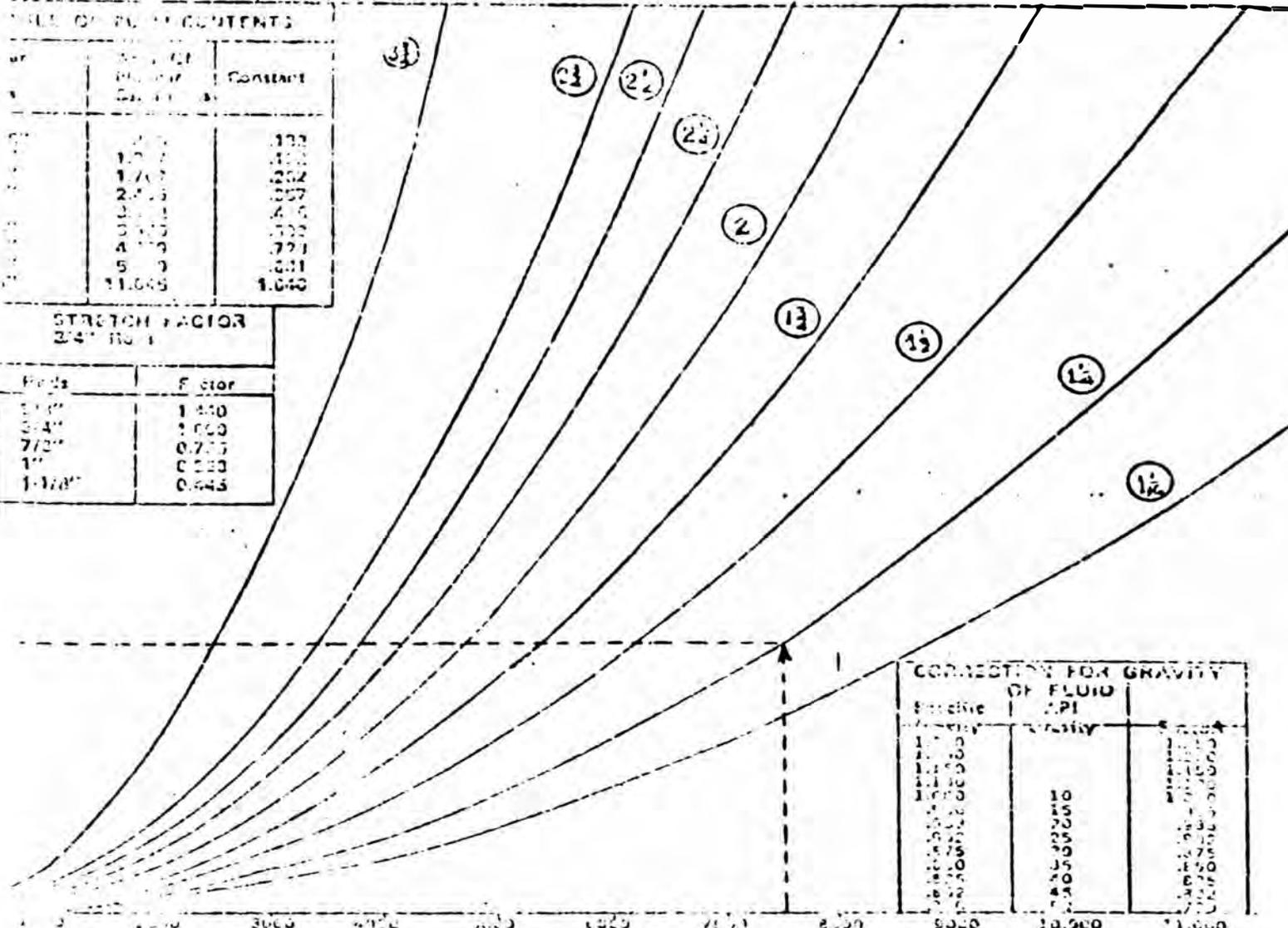
TABLE II-2

Configuration of Rods Rod Area Sq. In	Dead Weight Of Rods Per Foot										Dead Weight Of Fluid Per Foot—Based On Net Plunger?												
	Diameter of Plunger and Average Weight Of Rods Per Foot										Diameter of Plunger and Fluid Level in lbs. Per Foot (Sp. Gr. = 1)												
	1-1/16	1-1/8	1-1/4	1-3/8	1-1/2	1-5/8	1-3/4	1-7/8	2	2-1/8	2-1/4	2-3/8	2-1/2	2-5/8	2-3/4	3	3-1/8	3-1/4	3-3/8	3-1/2	3-5/8	4	
1/2	.300	.7	.7	.7	.7	.7	.7	.7	.7	.7	.259	.447	.631	.857	1.220								
5/8	.31	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	.251	.399	.634	.930	1.250	1.589	1.906	2.443	4.				
3/4-5/8		1.22	1.34	1.35	1.39	1.42	1.452	1.491	1.532	-	.233	.379	.610	.685	1.200	1.500	1.958	2.400	-				
3/4	.44	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	.193	.341	.575	.852	1.170	1.525	1.937	2.380	4.				
7/8-3/4		1.70	1.79	1.81	1.83	1.86	1.88	1.91	1.92	-	.175	.322	.554	.823	1.142	1.505	1.935	2.343	-				
7/8-3/4-5/8		1.54	1.57	1.83	1.60	1.76	1.84	-	-	-	.204	.352	.577	.851	1.154	1.510	-	-	-				
7/8	.60	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	.124	.272	.506	.784	1.105	1.465	1.870	2.310	4.				
<u>1-7/8-3/4</u>		2.00	<u>2.03</u>	<u>2.07</u>	2.12	2.13	2.24	2.32	2.40	-	.147	<u>.295</u>	.525	.797	1.107	1.454	1.858	2.295					
1-7/8		2.35	2.36	2.33	2.39	2.41	2.43	2.44	2.48	2.61	.107	.253	.485	.781	1.080	1.437	1.840	2.275	4.				
1	.78	2.89	2.38	2.93	2.88	2.83	2.98	2.88	2.88	2.68	.044	.192	.426	.704	1.022	1.395	1.790	2.240	4.				
1-1/8-1-7/8-3/4		2.26	2.31	2.39	2.47	2.57	2.68	2.81	-	-	.117	.259	.484	.751	1.058	1.410	1.810	-					
1-1/8	.99	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	-	.104	.339	.616	.903	1.298	1.701	2.148	4.				

WORKING FLUID LEVEL - FEET

TABLE OF EQUIVALENTS		
Well	Stretch Factor	Constant
1"	1.000	100
1 1/8"	1.063	106
1 1/4"	1.125	112
1 3/8"	1.188	119
1 1/2"	1.250	125
1 5/8"	1.313	131
1 3/4"	1.375	138
1 7/8"	1.438	144
2"	1.500	150

STRETCH FACTOR	
2 1/4" NO. 1	
Feet	Factor
100'	1.000
200'	1.000
300'	0.999
400'	0.998
500'	0.997



CORRECTION FOR GRAVITY OF FLUID		
Specific Gravity	API Gravity	Correction
1.000	100	0.000
1.010	97.8	0.001
1.020	95.6	0.002
1.030	93.4	0.003
1.040	91.2	0.004
1.050	89.0	0.005
1.060	86.8	0.006
1.070	84.6	0.007
1.080	82.4	0.008
1.090	80.2	0.009
1.100	78.0	0.010
1.110	75.8	0.011
1.120	73.6	0.012
1.130	71.4	0.013
1.140	69.2	0.014
1.150	67.0	0.015
1.160	64.8	0.016
1.170	62.6	0.017
1.180	60.4	0.018
1.190	58.2	0.019
1.200	56.0	0.020

ROD SURFACE FINISH CHARTS

TABLE H-3

OVERTRAVEL FACTOR *

Length of Polished Rod Stroke - Inches

Strokes Per Minute	16	24	30	36	42	48	54	64	74	86	100	120	144	158	192	216	240
1	.000	.000	.000	.000	.000	.001	.001	.001	.002	.002	.002	.002	.003	.004	.004	.005	.006
2	.002	.002	.003	.003	.003	.004	.005	.005	.007	.008	.008	.011	.013	.015	.017	.019	.021
3	.003	.005	.006	.008	.008	.009	.011	.009	.015	.017	.020	.024	.028	.032	.033	.043	.046
4	.005	.008	.011	.012	.016	.017	.019	.023	.026	.031	.035	.042	.051	.059	.063	.078	.081
5	.008	.013	.017	.020	.023	.025	.030	.035	.041	.048	.055	.065	.079	.092	.106	.129	.141
6	.012	.019	.023	.028	.033	.038	.043	.051	.059	.068	.079	.095	.114	.133	.152	.171	.189
7	.017	.026	.033	.039	.045	.052	.058	.068	.080	.093	.108	.129	.155	.181	.207	.233	.259
8	.023	.034	.042	.051	.059	.068	.076	.090	.104	.121	.141	.169	.203	.236	.270	.304	.338
9	.028	.043	.054	.064	.074	.085	.096	.114	.132	.153	.178	.214	.256	.299	.342	.385	.428
10	.036	.053	.067	.079	.093	.108	.119	.141	.163	.189	.220	.264	.317	.369	.422	.475	.528
11	.043	.064	.081	.096	.112	.128	.144	.170	.197	.229	.266	.319	.383	.447	.511	.575	.639
12	.051	.076	.095	.115	.138	.152	.171	.203	.234	.273	.317	.380	.456	.532	.608	.684	.760
13	.059	.088	.112	.133	.157	.172	.191	.228	.265	.319	.372	.453	.535	.624	.713	.803	.892
14	.070	.103	.130	.155	.181	.207	.233	.276	.319	.370	.431	.518	.621	.724	.827	.931	1.034
15	.080	.119	.149	.178	.208	.237	.267	.317	.366	.426	.495	.594	.712	.831	.959	1.088	
16	.090	.135	.169	.203	.237	.270	.304	.360	.416	.484	.563	.675	.819	.946	1.081		
17	.102	.152	.191	.229	.267	.305	.343	.407	.470	.547	.635	.762	.915	1.067			
18	.115	.171	.214	.256	.299	.342	.385	.456	.527	.612	.712	.855	1.026	* Overtravel			
19	.127	.190	.239	.285	.333	.381	.429	.508	.587	.682	.794	.952	1.143	Factor = 1.55 x			
20	.141	.211	.264	.316	.370	.422	.475	.563	.651	.756	.879	1.055					
21	.155	.233	.291	.349	.400	.465	.524	.621	.717	.834	.970						
22	.171	.255	.319	.383	.446	.511	.575	.681	.764	.915	1.065						
23	.186	.279	.349	.419	.482	.558	.628	.744	.861	1.000							
24	.203	.304	.380	.456	.532	.608	.684	.810	.937	1.090							

K = 0.346

Overtravel (Inches)
= Overtravel Factor x $\frac{L^2}{70,500}$
L = CARRERA
N = C.P.M.

FOR USE WITH LUFKIN MARK II UNITORQUE PUMPING UNITS ONLY

TABLE II-4

ACCELERATION FACTOR *

Length of Polished Rod Stroke - Inches

Strokes Per Minute	36	42	48	54	64	74	86	96	100	120	144	168	192
1	.000	.000	.000	.000	.001	.001	.001	.001	.001	.002	.002	.002	.002
2	.002	.002	.003	.003	.004	.004	.005	.005	.006	.007	.008	.010	.011
3	.005	.005	.006	.007	.008	.009	.011	.012	.013	.015	.018	.021	.025
4	.008	.010	.011	.012	.015	.017	.020	.022	.023	.027	.033	.038	.044
5	.012	.015	.017	.019	.023	.026	.031	.034	.035	.043	.051	.060	.068
6	.018	.021	.025	.028	.033	.038	.044	.049	.051	.061	.074	.086	.100
7	.025	.029	.033	.038	.044	.051	.060	.067	.070	.085	.100	.117	.134
8	.033	.038	.044	.049	.058	.067	.078	.087	.091	.109	.131	.153	.174
9	.041	.048	.055	.062	.074	.085	.099	.110	.115	.138	.165	.193	.221
10	.051	.060	.068	.077	.091	.105	.122	.136	.142	.170	.204	.238	.272
11	.062	.072	.082	.093	.110	.127	.149	.165	.172	.205	.247	.288	.329
12	.074	.086	.098	.110	.131	.151	.176	.196	.204	.245	.294	.343	.392
13	.086	.101	.115	.129	.153	.177	.206	.230	.240	.288	.345	.403	.460
14	.100	.117	.134	.151	.179	.207	.239	.268	.278	.335	.402	.469	.533
15	.115	.134	.154	.173	.205	.237	.275	.308	.319	.385	.462		
16	.131	.153	.174	.196	.233	.269	.312	.349	.363	.436	.523		
17	.148	.172	.197	.221	.262	.303	.353	.394	.410	.492			
18	.165	.193	.221	.248	.294	.340	.395	.441	.460	.552			
19	.184	.215	.246	.277	.328	.379	.440	.492	.512				
20	.204	.238	.272	.306	.363	.420	.488	.545	.567				
21	.225	.263	.300	.338	.400	.463	.538	.601	.625				
22	.247	.288	.330	.371	.440	.508	.590	.659					
23	.270	.315	.360	.405	.480	.553	.645						
24	.294	.343	.392	.441	.523	.605	.703						

* Acceleration Factor = —

70

UN. 408
 538
 590
 645
 703
 where L = Length of stroke in inches
 N = Pumping speed in strokes per minute
 BIBLIOTECA

INDUSTRIAL UNIT CALCULATIONS
Calculo de Unidades de Induco

TABLE II

TABLA II - 5

SUGGER FOD SPECIFICATIONS

Especificaciones para varillas

<u>Size (in)</u> <u>Tamaño (pulg.)</u>	<u>Weight (lb/ft)</u> <u>Peso (lb/pie)</u>	<u>Area máxima de varillas</u> <u>Area (in²)</u> <u>Area (pulg²)</u>
5/8"	1.12	0.306
3/4"	1.62	0.442
7/8"	2.25	0.601
1"	2.88	0.785

TUBING SPECIFICATIONS

Especificaciones para tubería

<u>Size (in)</u> <u>Tamaño (pulg)</u>	<u>Area (in²)</u> <u>Area (pulg²)</u>	<u>Weight (lb/ft)</u> <u>Peso (lb/pie)</u>	<u>Capacity (Bbls/1000')</u> <u>Capacidad (bbl/1000')</u>
2"	3.141	4.70	3.89
2-1/2"	4.908	6.50	6.08
3"	7.068	9.30	8.75

Note: The above weights correspond to API EUE tubing

Nota: Los pesos señalados arriba corresponden a tubería API, tipo EUE.

INFORMACION GENERAL

TABLA II-7

<u>UNIDADES</u>			<u>MOTORES A GAS</u>							<u>MOTORES ELECTRICOS</u>			
<u>TIPO</u>	<u>MANEJA</u>	<u>CARRERAS</u>	<u>TORQUE</u>	<u>HP</u>	<u>DEGR.</u>	<u>CONEX.</u>	<u>MARCA</u>	<u>MOD.</u>	<u>HP</u>	<u>RPM</u>	<u>HP</u>	<u>EJE</u>	<u>RPM</u>
112-123-144	LUFKIN	112-123-144	320000	45000	28.60	34.0-6D	CONTINENTAL	C-105	25	600			
112-123-144	LUFKIN	112-123-144	320000	25300	30.12	24.6-60	CONTINENTAL	C- 96	18	550			
54- 64- 74	LUFKIN	54- 64- 74	160000	25000	28.67	29.2-4C	CONTINENTAL	C- 66	12	650			
51-62-74-86	LUFKIN	51-62-74-86	160000	21200	28.67	24.6-3C	CONTINENTAL	C- 46	8	700			
27-36-45-54	LUFKIN	27-36-45-54	80000	13300	29.15	19.6-3C	AJAX	DP-60	60	450			
25-37-43	LUFKIN	25-37-43	57000	10900	29.32	19.6-2C	AJAX	F- 42	40	500			
23-33-42	LUFKIN	23-33-42	40000	8900	29.20	21.0-3B	AJAX	W L	12	700			
20-24	LUFKIN	20-24	16000	5300	35.70	15.3-2B	WAUKESHA	195GKU	50	1600			
34-44-54-64-74	LUFKIN	34-44-54-64-74	324000	25000	30.12	30.0-8C	WHITE	98RC	6	800			
28-41-54	LUFKIN	28-41-54	164000	17000	28.67	29.2-5C	WHITE	B12RC	10	800			
22-32-42	LUFKIN	22-32-42	80000	10000	29.15	19.2-3C	WHITE	C15RC	14	650			
22-32-42	LUFKIN	22-32-42	58000	10000	29.32	19.2-3C	WHITE	C19RC	17	650			
18-26-34	LUFKIN	18-26-34	40000	8900	29.20	21.0-2C	WHITE	F23RC	25	500			
12-18-24	LUFKIN	12-18-24	20000	5000	23.90	18.0-3A	WHITE	F32RC	20	500			
51-62-74-86-120	LUFKIN	51-62-74-86-120	320000	25000	30.12	25.0-5C	WHITE	F42RC	36	500			
24-34-44-54-64-74	LUFKIN	24-34-44-54-64-74	220000	20700	27.80	27.0-6C							
24-34-44-54-64-74-86	LUFKIN	24-34-44-54-64-74-86	160000	20000	26.40	24.0-6C							
24-34-44-54	LUFKIN	24-34-44-54	80000	14000	29.15	24.0-6B							
26-34-42	BEIHLEHM	26-34-42	40000	12000	27.17	20.0-3C							
16-18-22	BEIHLEHM	16-18-22	16000	5150	33.00	17.0-3B							
24-36-48-60-72	LE-GRAND	24-36-48-60-72	200000	20000	30.00	30.0-5C							
12-17-22-28	LE-GRAND	12-17-22-28	20000	5000	29.80	19.0-3B							
27-39-52-65	OIL-WELL	27-39-52-65	166700	16000	31.50	23.0-6C							
31-42-53-64	* OIL-WELL	31-42-53-64	160000	17130	31.50	23.0-5C							
43-53-64	* OIL-WELL	43-53-64	160000	21000	31.50	23.0-5C							
32-40-48	* OIL-WELL	32-40-48	114000	14000	32.17	23.0-5C							
30-39-48	* OIL-WELL	30-39-48	80000	10900	32.17	23.0-3C							
30-39-42	* OIL-WELL	30-39-42	57000	11700	29.30	24.0-3C							
32-40-43	* OIL-WELL	32-40-43	57000	14000	31.90	23.0-3C							
24-27-32-38	* OIL-WELL	24-27-32-38	45000	9000	42.15	20.0-4B							
26-36	* OIL-WELL	26-36	40000	8950	32.17	20.0-3B							
21-25-30	* OIL-WELL	21-25-30	25000	5300	32.00	16.0-3B							
18-21-24-28	* OIL-WELL	18-21-24-28	24000	5800	32.00	16.0-3B							

MOTORES ELECTRICOS

<u>HP</u>	<u>EJE</u>	<u>RPM</u>
3	1-1/8	1130 PARA 1.5
5	1-1/4	
7-1/2	1-5/8	1020 PARA 2.0
10	1-5/8	
15	1-7/8	
20	2-1/8	

**TABLE - II - 8
MARK II COUNTERBALANCE DATA**

All Counterbalance Shown In Lbs., Effective At Polished Rod With Weights At Maximum Position, Including Structural Unbalance.

See Example below.

UNIT	M-456D-365-120	M-640D-305-120 M-456D-305-120 M-320D-305-120	M-456D-256-120	M-320D-256-120	M-228D-256-120	M-320D-213-120	M-228D-213-120
STROKE	120"	120"	120"	120"	120"	120"	120"
STRUCTURAL UNBALANCE	-4,510 Lbs.	-4,130 Lbs.	-3,840 Lbs.	-3,670 Lbs.	-3,435 Lbs.	-3,560 Lbs.	-3,235 Lbs.
LINKS	120108 MR	120108 MR	120108 MR	120108 MR	120108 MR	120108 MR	120108 MR
1. Cranks Only	1,990	2,370	2,660	2,880	3,070	2,940	3,270
2. ORO Counterweights	21,065	21,445	21,735	21,955	22,140		
2. OS Aux. Weights	27,395	27,775					
3. OARO Counterweights	18,105	18,485	18,775	18,995	19,180	19,055	19,380
3. OAS Aux. Weights	23,095	23,475	23,765	23,985	24,170		
3. OAS Aux. Weights	28,085	*28,465					
4. 1RO Counterweights	14,530	14,910	15,200	15,420	15,605	15,480	15,805
4. 1S Aux. Weights	18,385	18,765	19,055	19,275	19,460	19,335	19,660
4. 1S Aux. Weights	22,240	*22,620	22,910				
5. 2RO Counterweights	12,425	12,805	13,095	13,315	13,500	13,375	13,700
5. 2S Aux. Weights	16,165	16,545	16,855	17,055	17,240	17,115	17,440
5. 2S Aux. Weights	19,905	*20,285	20,575				
6. 3CRO Counterweights	10,395	10,775	11,065	11,285	11,470	11,345	11,670
6. 3BS Aux. Weights	14,015	14,395	14,685	14,905	15,090	14,965	15,290
6. 3BS Aux. Weights	17,635	*18,015	18,305				
7. 5ARO Counterweights	8,085	8,465	8,755	8,975	9,160	9,035	9,360
7. 5A Aux. Weights	10,545	10,925	11,215	11,435	11,620	11,495	11,820
7. 5A Aux. Weights	13,005	*13,385	13,675				
8. 5CRO Counterweights	6,470	6,845	7,140	7,360	7,545	7,420	7,745
8. 5C Aux. Weights	8,685	9,060	9,355	9,575	9,755	9,630	9,960
8. 5C Aux. Weights	10,900	*11,275	11,570				
9. 6RO Counterweights	5,385	5,765	6,055	6,275	6,460	6,335	6,660
9. 6 Aux. Weights	6,660	7,040	7,340	7,550	7,735	7,610	7,935
9. 6 Aux. Weights	7,035	8,315	8,605	8,825	9,010	8,885	9,210
10. 7RO Counterweights	4,150	4,530	4,820	5,040	5,225	5,100	5,425
10. 7 Aux. Weights	5,115	5,495	5,785	6,005	6,190	6,065	6,390
10. 7 Aux. Weights	6,080	6,460	6,750	6,970	7,155	7,030	7,355

Type S Aux. Weights will not clear Belt Cover on M-320D Unit.

UNIT	M-228D-200-74	M-160D-200-74	M-228D-173-74 M-160D-173-74	M-114D-173-74	M-114D-143-74	M-114D-173-64 M-114D-143-64
STROKE	74"	74"	74"	74"	74"	64"
STRUCTURAL UNBALANCE	-1,960 Lbs.	-1,890 Lbs.	-1,860 Lbs.	-1,870 Lbs.	-1,440 Lbs.	-1,420 Lbs.
LINKS	7486 MR	7486 MR	7486 MR	7486 MR	7462 MR	6462 MR
1. Cranks Only	3,685	3,755	3,785	3,825	2,230	2,845
2. 2RO Counterweights	15,990	16,060	16,090	16,130	9,890	11,580
2. 2S Aux. Weights					12,630	14,710
3. 3CRO Counterweights	13,720	13,790	13,820	13,860	8,670	10,190
3. 3BS Aux. Weights	18,045	18,115	18,145	18,185	11,445	13,355
4. 5ARO Counterweights	11,085	11,155	11,185	11,225	7,170	8,485
4. 5A Aux. Weights	14,080	14,150	14,180	14,220	9,180	10,775
5. 5CRO Counterweights	9,145	9,215	9,245	9,285	5,910	7,045
5. 5C Aux. Weights	11,845	11,915	11,945	11,985	7,730	9,125
6. 6RO Counterweights	7,935	8,005	8,035	8,075	5,130	6,150
6. 6 Aux. Weights	9,540	9,610	9,640	9,680	6,225	7,400
6. 6 Aux. Weights	11,145			11,285	7,320	8,650
7. 7RO Counterweights	6,400	6,470	6,500	6,540	4,105	4,985
7. 7 Aux. Weights	7,625	7,695	7,725	7,765	4,950	5,950
7. 7 Aux. Weights	8,850			8,990	5,795	6,915

EXAMPLE:
56D-305-144 with 4 No. ORO Counterweights and 4 No. OS Auxiliary Weights would have a maximum counterbalance effect of 25,080 lbs. in the stroke. (See other examples, pages 12 and 13.
Structural Unbalance with a negative (-) sign indicates a walking beam assembly that is heavy on the well end.

MARK II PUMPING UNIT ASSEMBLIES
GENERAL DIMENSIONS

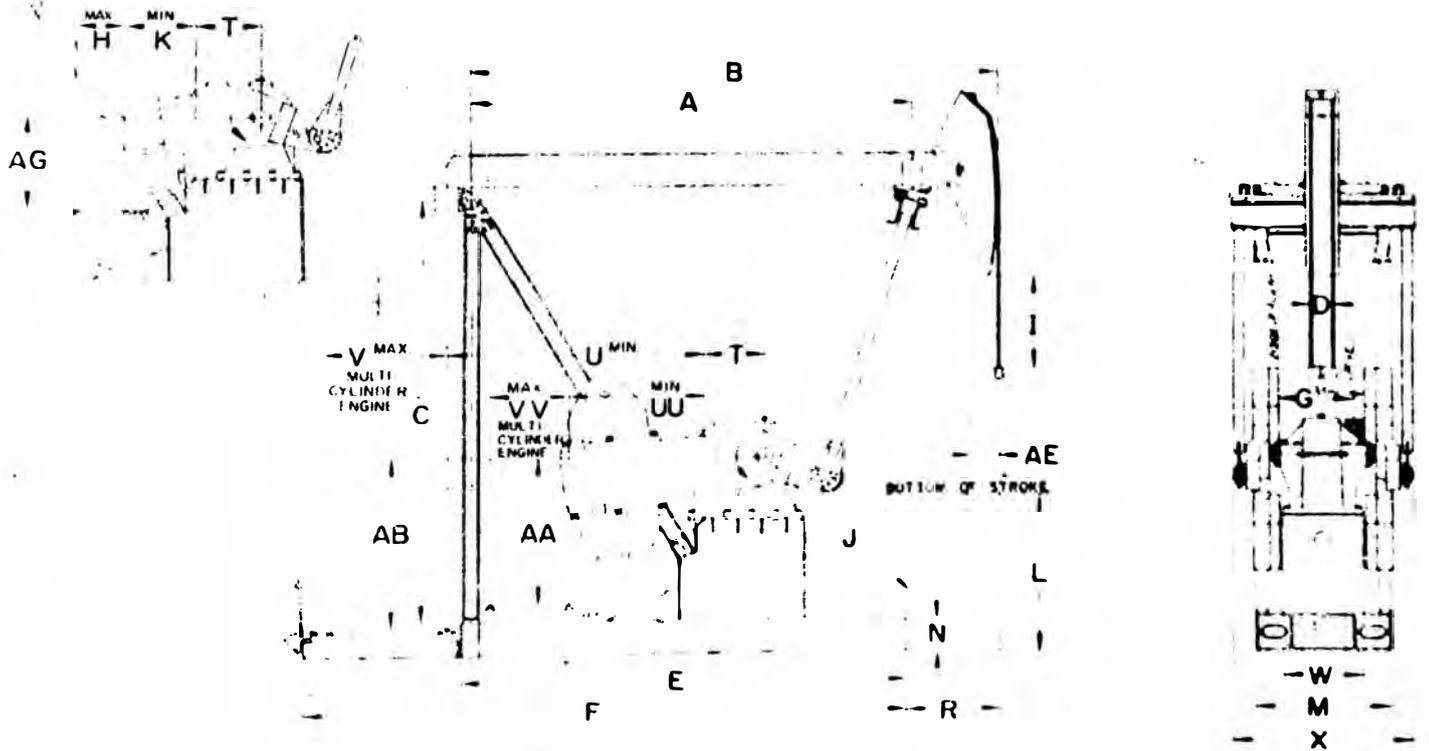


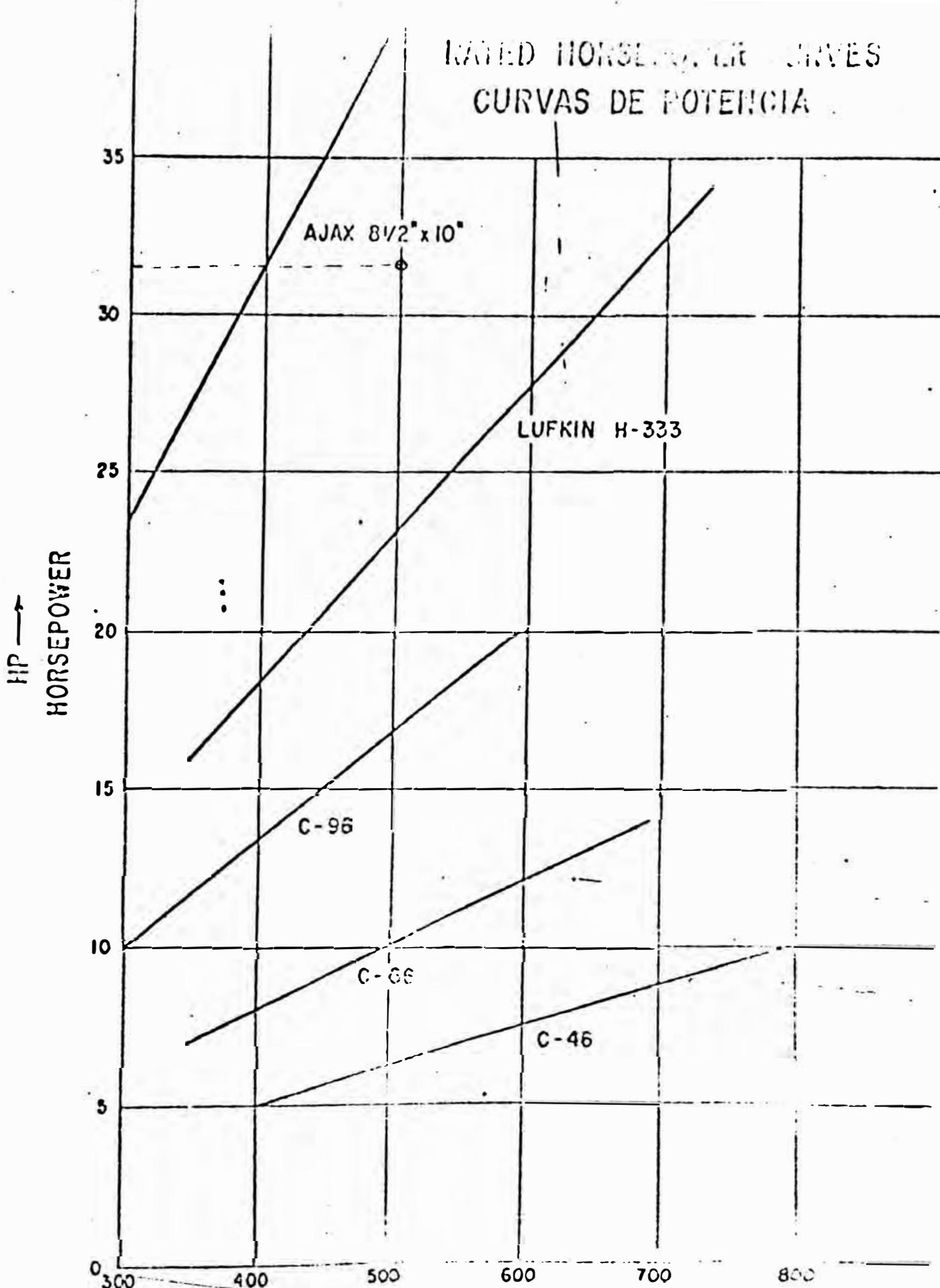
FIGURE 11-5

T	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	R	T	U	V	W	X	AA	AB	AE	AG	UU	VV
70D-256-144	21'-6"	26'-0"	21'-0 3/4"	9"	21'-3 3/4"	29'-2"	44 1/2"	33 1/2"	44 1/2"	108"	35 1/2"	79 1/2"	69 1/2"	24"	60"	34"	9'-4 1/2"	68 1/2"	43 1/2"	7'-8 1/2"	7'-2"	9'-0 1/2"	18"	66 1/2"	7'-4"	51 1/2"
70D-305-120	"	"	"	12"	"	"	"	"	"	"	"	83 1/2"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
70D-256-120	"	"	"	9"	"	"	"	"	"	"	"	69"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
70D-213-120	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
70D-305-100	"	"	"	12"	"	"	"	"	7'-1"	"	"	82 1/2"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
70D-256-100	"	"	"	9"	"	"	"	"	7'-5"	"	"	79 1/2"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
78D-256-120	"	"	"	"	"	"	38 1/2"	29 1/2"	69"	"	41 1/2"	"	"	"	30"	"	"	37"	6'-9 1/2"	"	"	"	47 1/2"	7'-8"	"	
78D-213-120	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
78D-256-100	"	"	"	"	"	"	"	"	7'-5"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
78D-173-100	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
78D-246-86	15'-6"	18'-6"	15'-8 3/4"	"	15'-6 1/2"	21'-0"	"	30 1/2"	40 1/2"	86 1/2"	22 1/2"	75 1/2"	57"	39"	"	8'-7 1/2"	51 1/2"	"	6'-8"	"	6'-3"	11 1/2"	60 1/2"	"	"	
78D-213-86	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	73 1/2"	"	21"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
78D-200-74	"	"	"	"	"	"	"	"	52 1/2"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
78D-173-74	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
50D-213-86	"	"	"	"	"	"	32 1/2"	33 1/2"	40 1/2"	"	24 1/2"	72 1/2"	54"	"	26"	8'-11 1/2"	"	32"	6'-0 1/2"	"	"	"	38 1/2"	"	"	
50D-173-86	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
50D-200-74	"	"	"	"	"	"	"	"	52 1/2"	"	"	73 1/2"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
50D-173-74	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
14D-143-86	13'-6"	15'-9"	12'-3 1/2"	"	13'-0 1/2"	18'-6 1/2"	29 1/2"	30"	14 1/2"	62"	20 1/2"	55 1/2"	42 1/2"	16"	32"	24"	8'-0 1/2"	"	25"	67 1/2"	"	50"	16"	31 1/2"	"	
14D-173-74	15'-6"	18'-6"	15'-8 3/4"	"	15'-6 1/2"	21'-0"	"	30 1/2"	52 1/2"	86 1/2"	28"	73 1/2"	54"	21"	30"	"	9'-1 1/2"	"	"	69"	"	50"	16"	43 1/2"	"	
14D-143-74	13'-6"	15'-9"	12'-3 1/2"	"	13'-0 1/2"	18'-6 1/2"	"	30"	26 1/2"	62"	20 1/2"	55 1/2"	42 1/2"	16"	32"	"	8'-0 1/2"	"	"	67 1/2"	"	50"	16"	31 1/2"	"	
14D-173-64	"	"	"	"	"	"	"	"	20 1/2"	"	"	70 1/2"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
14D-143-64	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"

On 100°, 120° and 144° Stroke Units, on This Page Multi-Cylinder Engines are Mounted on Main Base Beams Forward of Samson Post. See Dimensions UU, VV, and AA.
In 64°, 74° and 86° Stroke Units, Multi-Cylinder Engines are Mounted Behind the Samson Post. See Dimensions U, V and AB.

E: Do not use above dimensions for foundation. Request foundation plan.

RAISED HORSEPOWER CURVES
CURVAS DE POTENCIA



VELOCIDAD DEL MOTOR-R.P.M.

FIGURA II

NO. OF SMALL SHEAVES, INCHES - PD. DE LA POLEA PEQUEÑA PULG.

APPROXIMATE HP PER BELT

HP POR FAJA (APROXIMADO)

"C" SECTION "V" BELTS

FAJAS EN "V" DE SECCION "C"

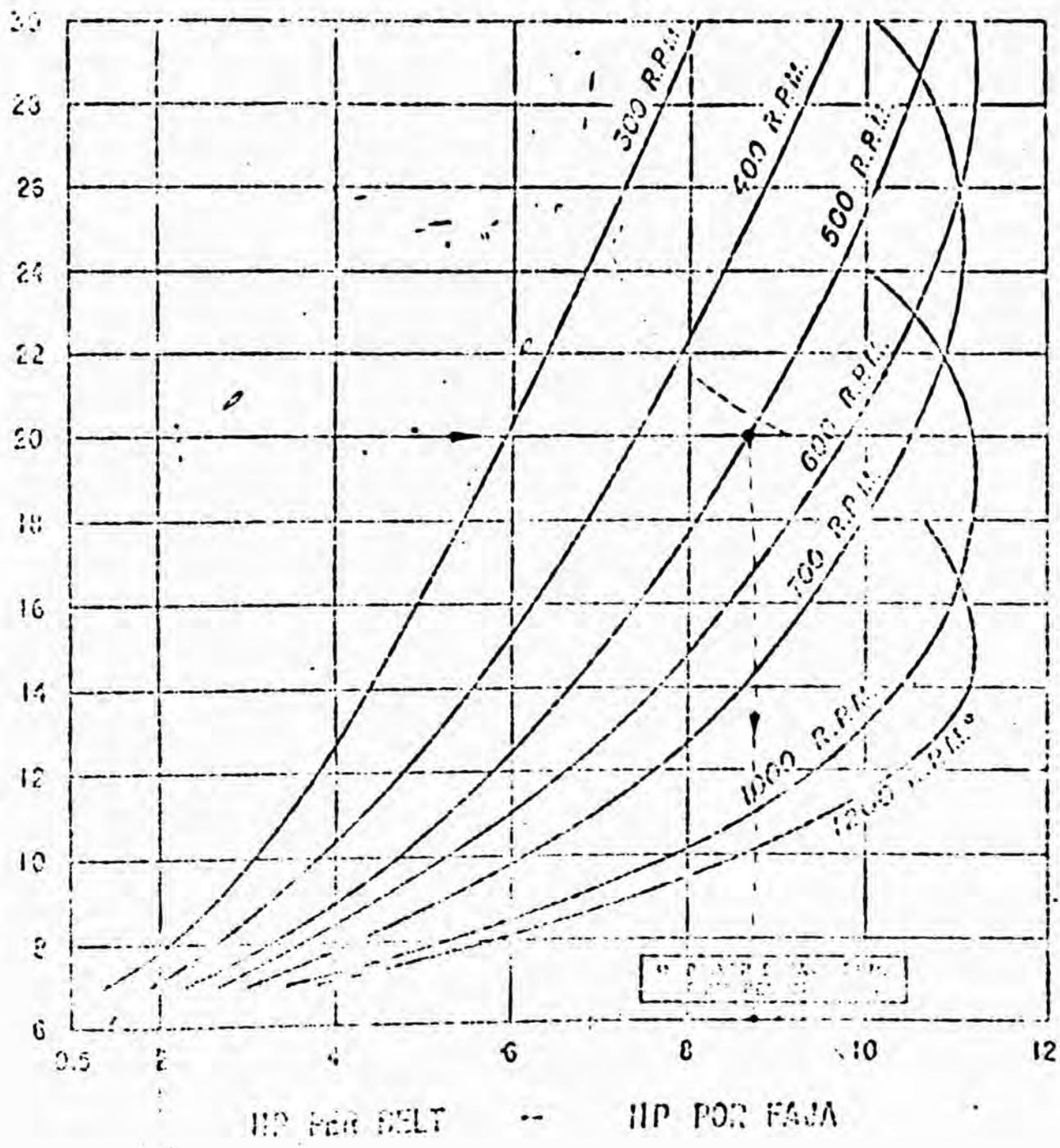


FIGURA II-8

CAPITULO II

CALCULO Y SELECCION DE LA UNIDAD DE BOMBEO PARA EL POZO 5810 - BATERIA 955 - LAGUNA DIVISION NORTE - OPERACIONES NOR - OESTE - PETROLEOS DEL PERU

DATOS:

- Producción estimada: 240 Barriles por día (BPD) de Petróleo por 10 barriles/día de agua.
- Profundidad efectiva: 7,500 pies.
- Tamaño de los forros lana:
- Intervalos perforados: 2
- Tamaño y Longitud de la tubería: 2"Ø x 7350 EUE
(N.A. 7500)
- Bomba de subsuelo: 2" x 1 1/4" x 17'x19'x22' RHB

II.1 SELECCION TENTATIVA DE LA UNIDAD

Teniendo la producción requerida (240 BPD) y la profundidad de ubicación de la bomba (7,500'), del gráfico de la figura No. II.1.

Se realiza la selección tentativa de la unidad. 320 D.

II.2 CALCULO DEL PESO DE VARILLAS Y FLUIDO

II.2.1 VELOCIDAD DE LA BOMBA (CPM)

Máxima velocidad de la bomba basado en la caída libre del vástago.

$$CPM = 0.7 \sqrt{\frac{60,000}{L}} - \text{CONSOLIDADO PETROLEO INTERNACIONAL}$$

ENERO 82

Donde:

CPM = Carreras por minuto

L = Máxima carrera de las unidades 320 = 144 pulg.

$$CPM_{max} = 0.7 \sqrt{\frac{60,000}{144}} = 14.28$$

Del gráfico de la figura No. II-2, con la profundidad de ubicación de la bomba (7,500'), se selecciona la velocidad de la bomba a la que debe trabajar para evitar las velocidades sincrónicas, ya que éstas son indeseables porque reducen la carrera del embolo, aumentan la carga en las varillas que provocan la rotura, y acortan la vida de duración de las varillas.

$$CPM_{Bomba} = 12.2 \approx 12$$

como: $12 < 14.28$ - OK

II.2.2. CALCULO DE LA CARRERA DE LA BOMBA

$$P/D = A_b \times C_b \times V_b / \times K$$

Donde : P/D = Producción por día = 240

A_b = Area transversal interior del barril de la bomba (1 1/4" Ø)

C_b = Carrera de la Bomba

V_b = Velocidad de la Bomba = 12 carreras por minuto

K = Constante conversión de días a minutos = 1440

$$C_b = \frac{P/D}{A_b \times V_b \times K}$$

$$\frac{\frac{d^2}{4} \times 12 \text{ CPM} \times 1440 \frac{\text{día}}{\text{Min}}}{240 \text{ Barriles/día}}$$

Se sabe que: 1 barril = 6.29 mt³

$$1 \text{ pie}^3 = 0.0283 \text{ mt}^3$$

$$1 \text{ pie}^3 = 1728 \text{ pulg}^3$$

Luego:

$$C_b = \frac{4 \times 240 \text{ Barril/x}}{\pi (1 \frac{1}{4})^2} \times \frac{1^2}{\pi \times 1440} \times \frac{6.29 \text{ mt}^3}{1 \text{ Barril}} \times \frac{1 \text{ pie}^3}{0.0283 \text{ pie}^3} \times \frac{1728 \text{ pulg}^2}{1 \text{ pie}^3}$$

$$C_b = 110.05 \text{ pulg.}$$

Luego la posible unidad seleccionada sería: 112

M 3200 - 253 - 144

que tiene las siguientes carreras: 112 - 128 y 144 pulg.

II.2.3 CALCULO DEL TAMAÑO MINIMO DE LA SARTA DE VARILLAS

Por tratarse de un pozo profundo se usa la combinación de varillas, asignando a cada sección de la sarta combinada un esfuerzo máximo.

Del gráfico de la figura No. II-3, se selecciona la sarta combinada de 3/4" Ø - 7/8" Ø - 1" Ø; siendo ésta la más adecuada para soportar su peso más el peso del fluido.

Los diseños de sarta dadas en la Figura No. II-3 es tán basados en un esfuerzo máximo de las varillas de - - 25,000 psi, para pozos que producen en condiciones normales (aceite limpio, desviación normal del hueco, y velocidades no-sincrónicas).

Los porcentajes de cada sarta de varillas se obtie - nen de la Tabla No. II-1.

- Sarta de varillas de 3/4": 55.6% = 7500' x 0.556 = 4170 pies
- Sarta de varillas de 7/8": 23.6% = 7500' x 0.236 = 1770 pies
- Sarta de varillas de 1": 20.8% = 7500' x 0.208 = 1560 pies

PESO DE LA SARTA DE VARILLAS (Pv)

Teniendo la combinación de la sarta de varillas y el diámetro de la bomba de la tabla No. II-2 se obtiene la -

(Cv) de la combinación para calcular el peso.

$$Pv = \text{Profundidad} \times Cv$$

$$Pv = 7,500 \text{ pies} \times 2.03 \frac{\text{lb}}{\text{pie}} = 15,225 \text{ Lbs.}$$

PESO DEL FLUIDO (Pf)

Se calcula multiplicando la constante del peso del fluido que se dá en la Tabla II-3 por la profundidad de la bomba. La constante es el peso estático del fluido por pie de profundidad y es una función del diámetro del embolo y la sarta de varillas. Las constantes de la Tabla II-3 están basados en una gravedad del fluido igual a 1.0

$$Pf = \text{Profundidad} \times C_2$$

$$Pf = 7500' \text{ pies} \times 0.296 \frac{\text{lb}}{\text{pie}} =$$

$$Pf = 2220 \text{ Lbs.}$$

II.3 CALCULO DE LA PRODUCCION (P)

El cálculo de la producción se realiza teniendo en cuenta las sobrecarreras y pérdidas debidas al estiramiento de varillas y tubería.

II.3.1 CALCULO DE ESTIRAMIENTO DE LAS VARILLAS (ET)

Estiramiento = % por tipo de varillas x constante de estiramiento x Factor de estiramiento

El % por tipo de varillas se obtiene de la Tabla No. II-1

$$3/4" = 55.6\%$$

$$7/8" = 23.6\%$$

$$1" = 20.8\%$$

La constante de estiramiento se obtiene de la Fig II-4 se obtiene 27

El factor de estiramiento de la Tabla de la Fig. II-4 se tiene:

$$3/4" = 1.00$$

$$7/8" = 0.735$$

$$1" = 0.536$$

Estiramiento de las varillas: $E_t = E_{(3/4)} + E_{(7/8)} + E_{(1)}$

$$E_{(3/4)} = 0.556 \times 27 \times 1.00 = 15.01 \text{ pulg}$$

$$E_{(7/8)} = 0.236 \times 27 \times 0.735 = 4.68 \text{ pulg}$$

$$E_{(1)} = 0.208 \times 27 \times 0.536 = 3.16$$

$$E_t = \underline{\underline{22.85 \text{ pulg}}}$$

II.3.2 CALCULO DE LA SOBRECARRERA (Sc)

$$Sc = \left(\frac{\text{Profundidad (pies)}^2}{1000} \right) \times K$$

Donde:

$$K = \text{Factor de sobrecarrera} = 0.346$$

$$Sc = \frac{7500^2}{1000} \times 0.346 = 19.47 \text{ pulg} = 19.47 \text{ pulg.}$$

II.3.3 CALCULO DE LA CARRERA EFECTIVA (CE)

CE = CARRERA EN SUPERFICIE + SOBRECARRERA - ESTIRAMIENTO

$$CE = (112 + 19.47 - 22.85) \text{ pulg}$$

$$CE = 110.62 \text{ pulg.}$$

$$\text{PRODUCCION} = K_b \times S_p \times N_b$$

Donde:

$$S_p = \text{carrera efectiva} = 110.62 \text{ pulg}$$

$$K_b = \text{Tabla Fig. II-4} = 0.182 \text{ (constante de la bomba)}$$

$$N_b = \text{Velocidad de la bomba} = 12 \text{ CPM.}$$

$$\text{Producción} = P$$

$$P = 110.62 \times 0.182 \times 12$$

$$P = 241.594 \frac{\text{Barriles}}{\text{día}}$$

II.4 CALCULO DE LA CARGA MAXIMA DEL VARILLON PULIDO (PPRL)

Es la carga en libras que puede soportar como máximo el varillón pulido. Esta carga está compuesta por el peso del fluido, el peso efectivo de las varillas en el fluido más la carga debido a la aceleración de la masa de varillas.

$$\text{PPRL} = [P_v \times (1 + 0.6F_a)] + (P_f)$$

Donde :

PPRL = Máxima carga del varillón pulido

P_v = Peso de varillas = 15225 lbs.

F_a = Factor de aceleración = 0.212
de la Tabla (II-4)

P_f = Peso del fluido = 2220 lbs.

$$\text{PPRL} = 15225 \text{ Lbs} (1 + 0.6 \times 0.212) + 2220 \text{ Lbs.}$$

$$\text{PPRL} = 19381.62 \text{ Lbs}$$

De la Tabla (II-7) de Información General se tiene:

Para la unidad M 320D - 253 - 144.- PPRL = 25,300 Lbs.

Como el obtenido $19.381.62 < 25,300.-$ OK

II.5 CALCULO DEL MAXIMO ESFUERZO EN LAS VARILLAS (M_E)

$$M_E = \frac{\text{PPRL}}{A_v}$$

Donde :

M_E : Máximo esfuerzo en las varillas

A_v = Area Seccional máxima de varilla = 0.785 pulg²
de la Tabla II

$$ME = \frac{PPRL = \text{Carga Máxima en el varillón pulido} = 19.381.62 \text{ Lbs}}{0.785 \text{ pulg}} = 24,689.96 = 24,690 \frac{\text{Lbs}}{\text{Pulg}}?$$

Como el esfuerzo hallado es menor que el considerado en la selección de la sarta de varillas, luego la sarta seleccionada est bien.

II.6 CALCULO DE LA CARGA MINIMA DEL VARILLÓN PULIDO

Es la carga en libras que soporta como mínimo el varillón pulido y consiste del peso de las varillas en fluido menos la carga debido a la aceleración de la masa de varillas.

$$MPRL = [0.873 - 1.4 (Fa)] (Pv)$$

Donde: MPRL = Carga mínima del varillón pulido

Fa = Factor de aceleración = 0.212 de la
Tabla II-4

Pv = Peso de varillas = 15,225 Lbs.

$$MPRL = [0.873 - (1.4 \times 0.212)] \times 15,225 \text{ Lbs}$$

$$MPRL = 8,772.6 \text{ Lbs.}$$

II.7 CALCULO DE LOS CONTRAPESOS REQUERIDOS (Pc)

$$Pc = \frac{PPRL + MPRL}{2}$$

Donde:

Pc = Peso de contrapesos requerido

PPRL = Carga Máxima del varillón pulido = 19,381.6 Lbs.

MPRL = Carga Mínima del varillón pulido = 8,772.6 Lbs.

$$Pc = \frac{19,381.6 + 8772.6}{2}$$

$$Pc = 14,077 \text{ Lbs}$$

De la Tabla: (II-8)

Se selecciona los 4 contrapesos 1R0 que tienen un peso de 15,420 lbs. como el peso de contrapesos hallado es menor que los 4 contrapesos 1R0, entonces la unidad puede trabajar en forma satisfactoria con los contrapesos seleccionados.

II.8 CALCULO DEL TORQUE MAXIMO

$$T_M = \left(\frac{T_{Ma} - T_{Md}}{2} \right) \times \frac{1}{0.93}$$

Donde :

T_M = Torque Máximo

T_{Ma} = Torque Máximo en la carrera ascendente

T_{Md} = Torque Máximo en la carrera descendente

Per o :

$T_{Ma} = F_{MTa} \times PPRL$

$T_{Md} = F_{MTd} \times MPRL$

Donde :

F_{MTa} = Factor de torque máximo en la carrera ascendente.- Tabla II-6 = 48.6 pulg .

F_{MTd} = Factor de torque máximo en la carrera descendente.- Tabla II-6 = 59.8 pulg .

$T_{Ma} = 48.6 \text{ Pulg} \times 19,381 \text{ lb} = 941,945.76 \text{ lb} - \text{pulg} .$

$T_{Md} = 59.8 \text{ Pulg} \times 8,772.6 \text{ lb} = 524,601.48 \text{ lb} - \text{pulg} .$

$$T_M = \left(\frac{T_{Ma} - T_{Md}}{2} \right) \times \frac{1}{0.93}$$

$$T_M = \frac{941,945.76 - 524,601.48}{2} \times \frac{1}{0.93}$$

$T_M = 224,378.64 \text{ lb} - \text{pulg} .$

El torque máximo para la unidad M 320 D - 253 - 144 es de la Tabla de Información General (II-7) = 320,000 Lb. pulg. Como el torque hallado es menor que el de la unidad luego la unidad seleccionada operará en forma satisfactoria.

II.9 CALCULO DE LA POTENCIA HIDRAULICA (P_H)

Para calcular la potencia del motor, se utilizó la potencia hidráulica por que no todos los caballos de potencia al vástago pulido se utilizan en elevar el fluido debido a que son considerables las pérdidas de potencia en el subsuelo. (pérdidas por fricción).

Para motores a gas por que el pozo se encuentra lejos de la red eléctrica de la zona.

$$P_w = \frac{L_b \times P_e \times 0.3}{45000}$$

Donde :

P_H = Potencia Hidráulica HP

L_b = Profundidad de la bomba pies

P_e = Producción Estimada bar/día

0.8 = Factor de reducción de potencia para todas las unidades Mark II.

$$P_H = \frac{7500' \times 240 \text{ BPD} \times 0.8}{45,000} = 32 \text{ BHP}$$

Por consiguiente :

De la Tabla de Información General y Fig. (II-6 y - II-7) se puede utilizar el motor AJAX EA.42 que tiene 40 Hp de Potencia.

II.10 CALCULO DEL DIAMETRO DE LA POLEA DEL MOTOR

$$D_{pm} = \frac{V_b \times R \times D_{pu}}{V_m}$$

Donde :

D_{pm} = Diámetro de la polea del motor

V_b = Velocidad de la bomba = 12 CPM

R = Relación de reducción: 30.12

V_m = Velocidad del motor: 500 RPM (Tabla II-7)
= 500 RPM

$$D_{pm} = \frac{12 \times 30.12 \times 24.6}{500} = 19.75 \text{ pulg}$$

De las poleas standar se escoge la polea de 20 pulg.

II.11 CALCULO DE LAS FAJAS DE TRANSMISION

De la Fig. (II-8) CALCULO DEL NUMERO DE FAJAS

Para: $D_{pm} = 20''$

$V_m = 500 \text{ RPM}$

Se tiene:

Potencia a transmitir por faja = 8.7 HP/faja

$$\begin{aligned} \text{Número de Faja} &= \frac{\text{Potencia de entrada}}{\text{Potencia a transmitir por faja}} \\ &= \frac{40 \text{ HP}}{8.7 \text{ HP/faja}} = 4.1 \text{ fajas} \quad 4 \end{aligned}$$

La unidad Mark II. 320 D - 253 - 144 trae de fábrica una polea de 24.6 por 6 canales tipo C.

Luego la instalación de 6 fajas de transmisión tipo C nos daría un factor de seguridad de 1.5 OK

II.11.1 CALCULO DE LA LONGITUD DE LAS FAJAS

Cálculo de la distancia entre centros:

$$CD = \sqrt{\left(UU + \frac{WW}{2}\right)^2 + (AA - b)^2}$$

De la Fig: (II-6) se tiene:

$$VV = 51.5 \text{ pulg}$$

$$UU = 7'-4" = 88 \text{ pulg.}$$

$$AA = 7'-2" = 86 \text{ pulg.}$$

b = Distancia vertical de patas del motor al centro del eje del motor = 8 pulg.

$$CD = 88 + \left(\frac{515}{2}\right)^2 + (86 - 8)^2 =$$

$$CD = \underline{138 \text{ pulg}}$$

La longitud de la faja se calcula de:

$$Lf = 2 \times CD + 1.57 (D_{pu} + D_{pm}) + \left(\frac{D_{pu} - D_{pm}}{4 \times CD}\right)^2$$

Donde:

Lf = Longitud de la faja

CD = Distancia entre centros de ejes del motor y eje del reductor. = 138"

Dpu = Diámetro polea de la unidad = 24.6"

Dpm = Diámetro polea del motor = 20"

$$Lf = 2 \times 138 + 1.57(24.6+20) + \left(\frac{24.6 - 20}{4 \times 138}\right)^2$$

$$Lf = \underline{346.2}$$

De las fajas standars existentes en las bodegas de Petro - Perú, el que más se aproxima es la faja de 360 pulg. de longitud.

* La transmisión se realizaría con 6 fajas C - 360

CAPITULO III

EMSAMBLAJE, CIMENTACION E INSTALACION DEL MOTOR AJAX EA - 42

Y UNIDAD LUFKIN M 320 D - 253 - 144

EN POZO 5910 - Bat 955 Laguna

El ensamblaje de estos equipos se realiza en los talleres y patio de servicios Mecánicos El Alto, en el que se cuenta con una grúa de apoyo. Las unidades de bombeo y motores son enviados del patio de tubería Talara, lugar donde se recibe las unidades y motores embalados que llegan de la fábrica.

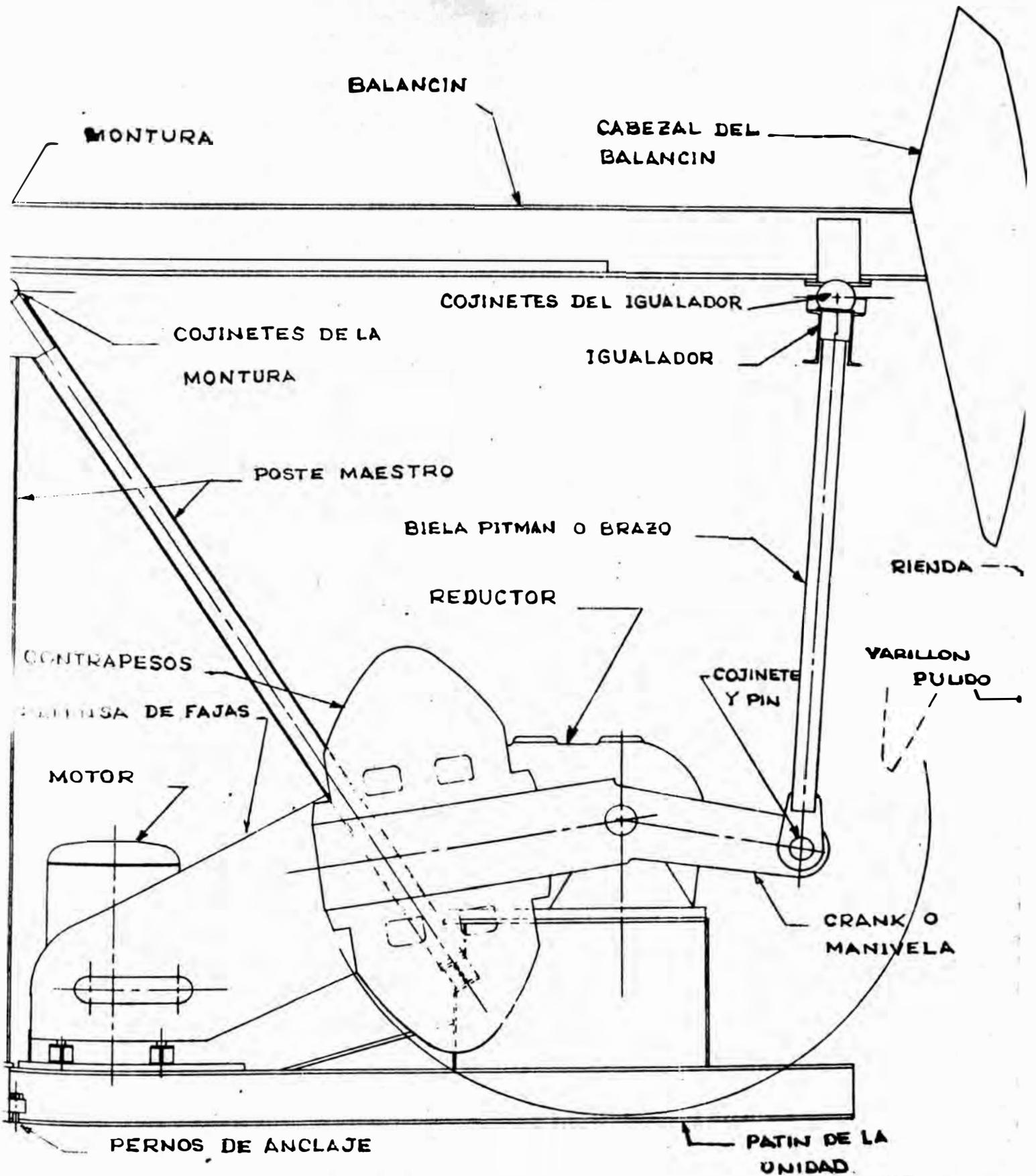
III.1 EMSAMBLAJE DE LA UNIDAD DE BOMBEO LUFKIN M320D-253-144

(Mark II)

Para el ensamblaje de la unidad de bombeo se siguen los siguientes pasos:

- 1- Desembalar la unidad, teniendo cuidado de realizar los hizamientos en los puntos indicados por el fabricante, puesto que realizarlos en otros puertos acarrearía la torcedura de alguno de los elementos de la unidad.
- 2- Instalar la palanca del freno (que viene completamente armada y ensamblado de la fábrica), en la parte trasera del chasis. Seguidamente conectar el cable a la palanca del freno y el otro extremo a la palanca de leva instalada en el reductor, asegurando el cable a la base y al tambor del freno por medio de pernos en "U".

FIGURA III-1



- 3- Mover la palanca del freno completamente hacia adelante y desenroscar la tuerca del freno hasta que las mordazas estén más o menos sueltas, es decir, sin hacer con tacto con el tambor. Las unidades de bombeo vienen de fábrica con el tambor del freno ajustado al máximo por seguridad. Seguidamente se debe jalar la palanca del freno completamente hacia atrás y regular el freno hasta que las zapatas estén firmemente asidas al tambor. Debe quedar sueltas cuando la palanca esté completamente hacia adelante.

- 4- Con la ayuda de la grúa se deben poner los cranks o manivelar en la posición horizontal, con el lado más largo hacia el poste maestro, asegurándose firmemente en esta posición con el freno regulado al máximo. Colocar los pernos en "T" en la ranura superior de la manivela, e instalar los contrapesos en su lugar con el agujero del piñón ajustador hacia el extremo largo de la manivela o cranks. Apretar fuertemente las tuercas que aseguran los contrapesos cuando la llave especial y un macho. Rotar las manivelas 180° de la primera posición horizontal é instalar los otros contrapesos de la misma manera.

- 5- Al ensamblar el poste maestro se debe empernar flojamente las patas posteriores a las delanteras con la finalidad de que una vez instalada se pueda equilibrar las cargas en los elementos del poste maestro.

- 6- Limpiar los huecos de las manivelas de pinturas, grasas o suciedad para la carrera de 112 pulgadas. Lavar con

disolvente varsol los pines de los brazos y los huecos de la manivela y luego secarlos completamente .

Insertar el pin firmemente en el hueco de la manivela, luego ajustar la tuerca usando la llave especial y un combo hasta imponer el máximo ajuste . Seguidamente poner los pasadores de seguridad, una vez que haya coincidido las ranuras de la tuerca de la cabeza con el agujero del pin. Nunca se debe regresar la tuerca en sentido contrario al del ajuste para hacer coincidir - la ranura de la tuerca y el agujero del pin.

- 7- Instalar el igualador en la balanza insertando el pasador conector apretando solamente el perno delantero de la abrazadera, luego ajustar el buje en la parte trasera quitando todo el juego entre la caja de rodamientos y conexiones. Posteriormente apretar los pernos de las abrazaderas.

III .2 EMSAMBLAJE DEL MOTOR AJAX EA - 42

Estos motores vienen casi ensamblados de la fábrica a excepción de la volante, conecciones de gas, polea del motor, tubo de escape y automáticos de parada.

Para completar el ensamblaje se debe seguir los siguientes pasos :

- 1- Para instalar la volante se debe encajar una cuña en la ranura del cubo de la volante a la mitad de la longitud del cubo con la finalidad de agrandar el calibre y facilitar la puesta de la volante en el cigüeñal del motor .

- 2.- Limar toda rebaba del eje y del interior del cubo, limpiándose y aceitándose. Instalar la volante empujando y dándole algo de vuelta en una dirección y luego al contrario hasta que esté en el eje a ras con el extremo del mismo.
- 3.- Aceitar la chaveta é insertar flojamente hasta la mitad de su largo, quitar la cuña, y apretar bien el perno de la volante, una vez que ya esté apretado introducir enteramente la chaveta.
- 4.- Al instalar la polea del motor no se deben ajustar los prisioneros de la bocina con la finalidad de facilitar el alineamiento de las poleas de transmisión de unidad y motor al momento del montaje de estos equipos.
- 5.- Instalar el tubo de escape de 4" Ø en "U", los automáticos de parada por temperatura y nivel de aceite.
- 6.- Remover la tapa de registro y ver que esté limpio el carter del motor.
- 7.- Remover la culata del cilindro y limpiar el calibre. Untar el cilindro de aceite lubricante para proveer la lubricación inicial.
- 8.- Inyectar aceite liviano en los cojinetes y al rededor de la cruceta y del vástago del piston. Comprobar la lubricación del magneto. Aflojar y aceitar las empaquetaduras del eje del lubricador.
- 9.- Apretar todos los pernos y tuercas que aguantan empaquetaduras, con el tiempo se pueden haber encogido especialmente las de culatas del cilindro.

10.- Drenar bien el lubricador antes de llenarlo. Una vez llenada de aceite desconectar los tubos de lubricación y hacer funcionar los salpicadores manualmente y ver si el aceite fluye libremente por cada tubo y por las válvulas de retención.

11.- Quitar la tapa del gobernador y examinar los pasadores de los contrapesos, removerlos de la corrosión que puede haberse formado. Aceitar y ver que todas las piezas móviles funcionen libremente.

III.3 CIMENTACION DE LA UNIDAD DE BOMBEO Y MOTOR EN POZO 5910.

Bat. 955.

Para la instalación del motor se hizo un patín incorporado al patín de la unidad y todo el conjunto se instala sobre 2 vigas de concreto de acuerdo al plano.

Pasos a seguir para realizar la cimentación se debe seguir los siguientes:

- 1.- Marcar el terreno para la excavación de las zanjas de acuerdo a las dimensiones de los planos.
- 2.- Como generalmente en la zona norte de las operaciones Nor-Oeste de Petróleos del Perú, el terreno es arenoso, emplea tubos de 2" Ø, puestos en posición transversal a la unidad para mantener la conformidad del cemento.
- 3.- Instalar las vigas con apoyo de la grúa y alinear cuidadosamente con el pozo utilizando cordón instalado en el cabezal del pozo y nivel de burbuja.

- 4.- Asegurarse de que todas las vigas estén en el mismo nivel y conserven horizontalidad.

III.4 MONTAJE DE LA UNIDAD DE BOMBEO Y MOTOR

Del patio de Servicios Mecánicos El Alto, transportar la unidad de bomba (semi ensamblado para facilidad de transporte) y el motor al pozo 5910. Bat 955 - Laguna.

Pasos a seguir para realizar la instalación:

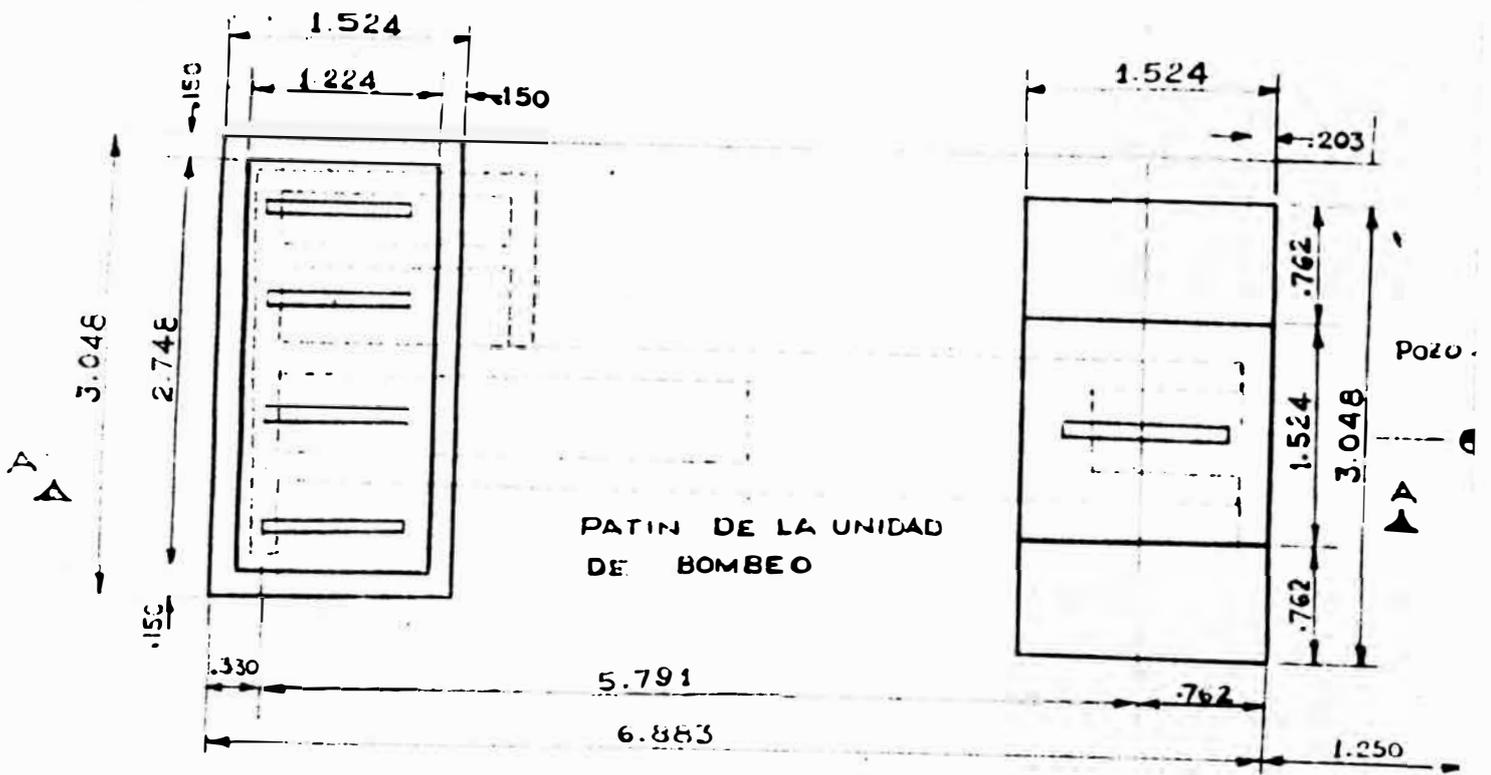
- 1.- Con la ayuda de la grúa instalar la unidad de bombeo (chasis, reductor y cranks), haciendo coincidir la punta del chasis con el filo de la primera viga, anclar seguidamente.
- 2.- Montar el conjunto del poste maestro a la base; ajustar las tuercas de lo alto del poste en forma uniforme hasta lograr un ajuste apropiado y equilibrado de las cargas en los miembros del poste maestro.
- 3.- Fijar la escalera al poste maestro, empernando la abrazadera de protección.
- 4.- Conectar los brazos al igualador de la unidad y la cabeza de la unidad a la balanza instalado al mismo tiempo la rienda de la unidad.
- 5.- Levantar el conjunto (balanza, montura, igualador y brazos) tratando en lo posible que la balanza permanezca horizontal y empernar la montura al poste maestro.
- 6.- Conectar las conexiones de los brazos a las cajas de rodamientos de los pines, ajustándolos en su lugar con los pernos. Ajustar los pernos de la montura después

de que la balanza se alinie y conecte al varillón pulido del pozo, para lo cual es necesario rotar la unidad con ayuda de la grúa hasta que la cabeza de la unidad esté abajo. Levantar el portillo del porta-vástago é insertar el varillón en él, asegurar una grapa en el varillón pulido encima del porta vástago reponer el portillo.

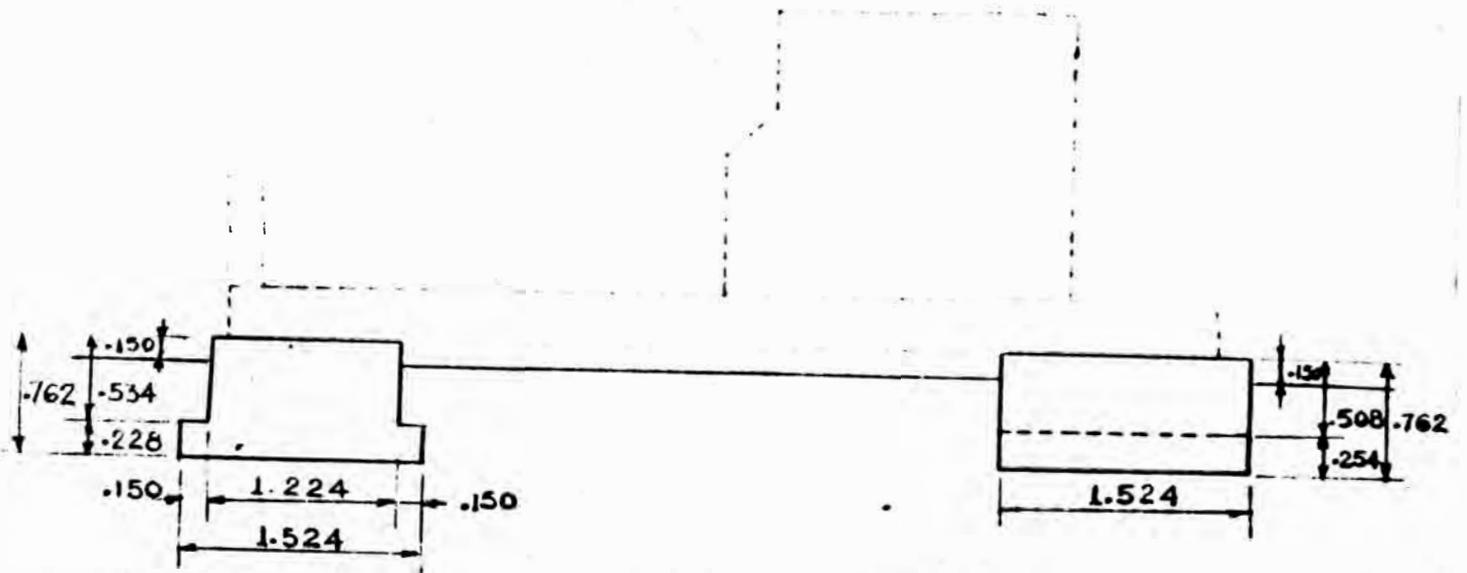
- 7.- Para alinear la balanza con relación al cabezal del pozo, se usa los pernos reguladores de ajuste localizados debajo de la balanza cerca del asiento del cojinete del igualador. Una vez alineado en la posición deseada apretar los pernos que aseguran la balanza a la montura y aflojar los pernos reguladores de ajuste en aproximadamente diez vueltas. Nunca se debe hacer funcionar la unidad con los pernos reguladores ajustados.

III.5 MONTAJE DEL MOTOR AJAX EA - 42

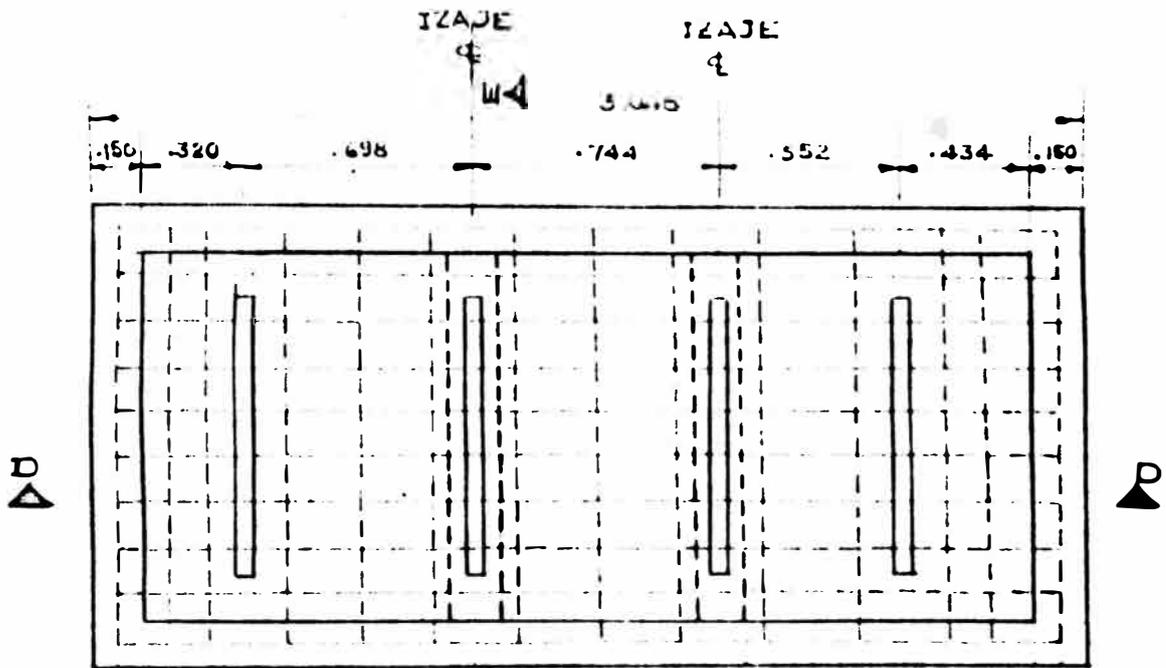
- 1.- Insertar los pernos en "T", luego montar el motor sobre los rieles, alinear las poleas de transmisión, aflojando las bocinas de las poleas tanto del motor como de la unidad.
- 2.- Instalar las fajas de transmisión ajustándolos moviendo el motor con los pernos empujadores hasta obtener la tensión deseada, instalar la defensa de fajas.
- 3.- Conectar el motor al sistema de gas combustible, que consta de un regulador de presión, el tanque volumétrico, la válvula estranguladora.



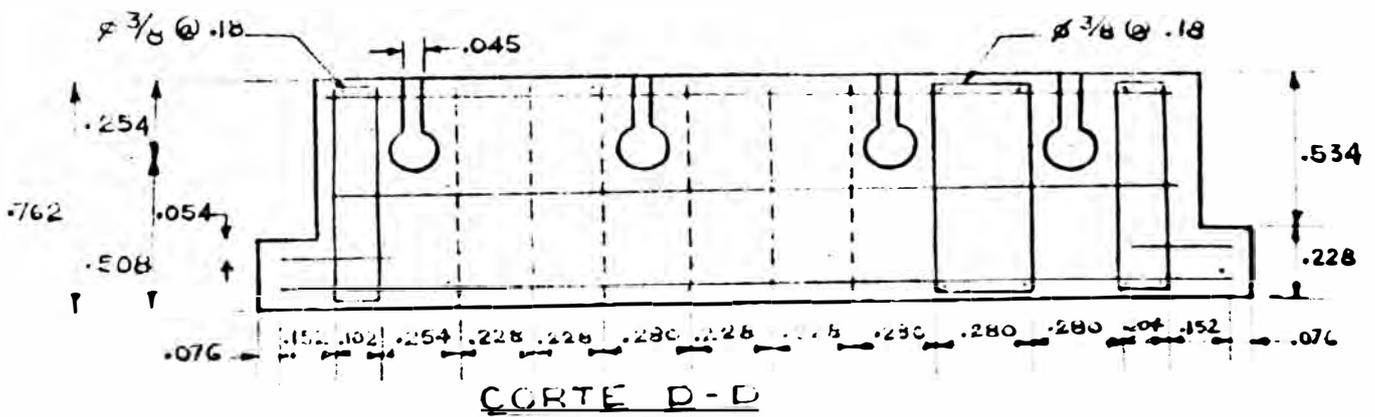
PLANTA



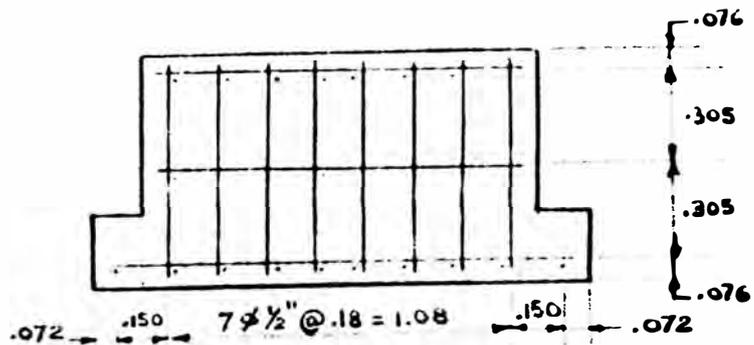
CORTE A-A



W4
VIGA M-2

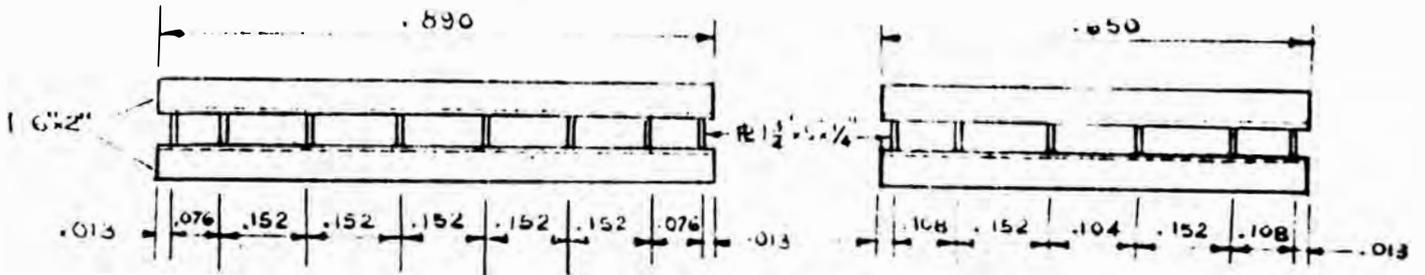


CORTE D-D



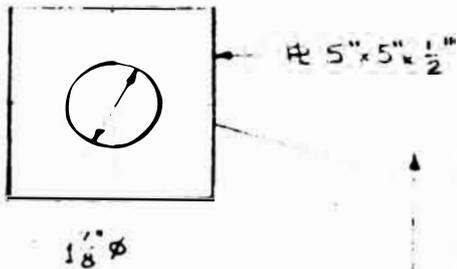
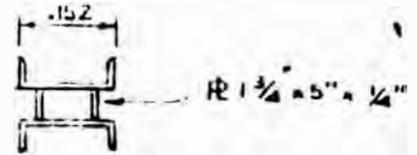
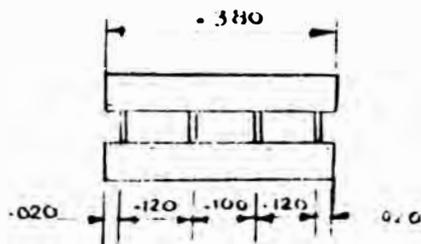
CORTE E-E

PIEZAS DE ANCLAJE

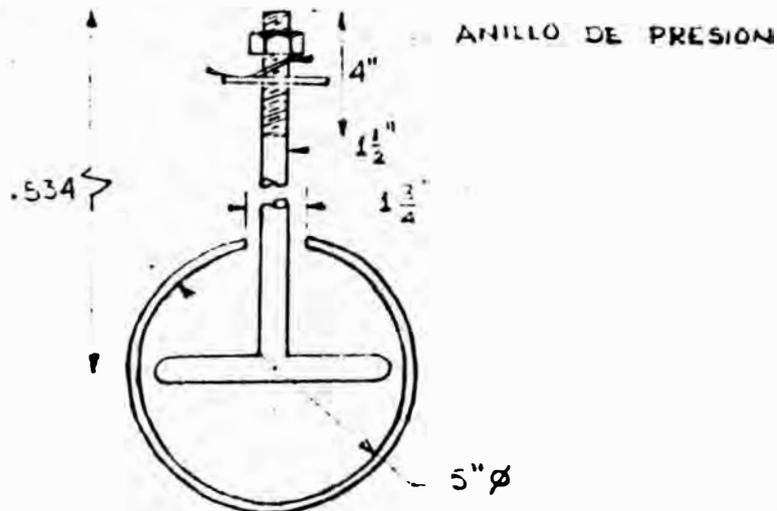


HACER 4

HACER 2



HACER 4



DETALLE DEL PERNO DE ANCLAJE

Notas:

- 1.- Acero $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$
- 2.- Concreto $f_c = 140 \text{ Kg/cm}^2$
- 3.- Todas las aristas de las vigas con ochavos de 1"
- 4.- Peso : VIGA M-1 = 5.6 Tn ; VIGA M-2 = 6.8 Tn
- 5.- Resistencia del terreno = $\sigma_p = 1.0 \text{ Kg/cm}^2$

Regular la presión del gas de 7 a 10 pulgadas de agua ó 4 a 6 onzas por pulgada cuadrada de presión.

III.6 OPERACION DE LA UNIDAD

- 1.- Quitar la tapa de inspección del reductor y llenar de aceite el reductor de acuerdo a las indicaciones de la placa. Vaciar una parte del aceite en las canaletas que conducen el aceite hacia los cojinetes de los piñones.
- 2.- Comprobar el balanceo de la unidad, desembragando el motor y sin aplicar el freno se deja que la unidad pare por sí sol, observar si la viga balancín está en posición casi horizontal lo que indica que la unidad está balanceada, caso contrario. Se balancea la unidad poniendo las manivelas en posición horizontal y frenar la unidad, una vez frenado, aflojar las tuercas que aseguran los contrapesos, mover éstos hasta la posición deseada utilizando el piñón en su manubrio que se conecta a la cremallera de las manivelas. Ajustar las tuercas de los contrapesos.
- 3.- Efectuar reajustes del motor y unidad a las 24, 48 horas, 7 y 30 días después de haber entregado la unidad de bombeo al operativo.

CAPITULO IV

MANTENIMIENTO DE LA UNIDAD DE BOMBEO

IV.1 SISTEMA DE LUBRICACION

IV.1.1 REDUCTOR DE ENGRANAJES:

Para la temperatura de hasta 0°F se debe usar aceite lubricante AGMA 5 EP (ISO VG 220) suave de primera calidad y para presiones extremas se debe usar aceite que tenga inhibidores de herrumbre y oxidación, así como un agente anti-espumante. El punto de fluidez del lubricante debe ser de 50°F o menor.

Para temperaturas bajas como de -30°F usar aceite lubricante AGMA 4 EP (ISO VG 150) y para presiones extremas usar lubricante que tenga inhibidores de herrumbre y oxidación, así como un agente anti-espumante. El punto de fluidez del lubricante debe ser de -15°F o menor.

Se debe mantener el nivel de aceite arriba de la marca debajo nivel del indicador pero no debe llenarse por encima de la marca alto nivel.

Cada seis meses se debe tomar una muestra del aceite en un frasco y mediante una inspección visual detectar si hay suciedad, cierro, emulsión de agua u otras formas de contaminación. Si el lubricante presenta un aspecto u olor anormales se debe realizar el remplazo del lubricante.

IV.1.2 COJINETES ESTRUCTURALES

Todos los cojinetes estructurales de la unidad de bombeo vienen lubricados de la fábrica, pero debe relubrificarse periódicamente.

Para climas cálidos (temperatura anual mínima de más de 0° F) todos los cojinetes de rodillos, excepto los cojinetes del igualador, debe relubrificarse cada seis meses, con grasa NLGI No. 1, de base de jabón de litio, con aditivo de presión extrema.

Los cojinetes de bronce y cojinetes de anillos ahusados del igualador se debe relubricar conforme se requiere para mantener el nivel de lubricante, con aceite EP 140, con aditivo para presión extrema y punto de fluidez de 15° F o menor.

Para climas fríos (temperatura mínima anual de -30° F), todos los cojinetes de rodillos exceptos los cojinetes ahusados del igualador se deben relubricar cada seis meses con grasa NLGI No. 1, de ~~base~~ de jabón de litio con aditivo de presión extrema.

Los cojinetes de bronce y los cojinetes ahusados del igualador se deben relubricar conforme se requiera para mantener el nivel de aceite, con aceite EP - 80 ó EP - 90, con aditivo de presión extrema y punto de fluidez de -10° F o menor.

El reductor de doble reducción de la unidad de bombeo no necesitan bomba de aceite para su lubricación puesto que tienen enjugadores que encausan el aceite hacia las artesas sobredimensionadas, las cuales a su vez le suministran a cada engranaje lubricación más adecuada.

IV.2 TRABAJOS DE INSPECCION RUTINARIA DE LA UNIDAD

IV.2.1 BASE DE ACERO Y CIMENTACION DE LA UNIDAD

- a- Verificar el ajuste de los pernos de andaje.
- b- Verificar/corregir el alineamiento de la unidad con el pozo.
- c- Verificar si la base de la unidad tiene rajaduras.
- d- Verificar el estado de las vigas de concreto de la cimentación. Reemplazar aquellas que presenten rajaduras o humectación con petróleo.
- c- Observar el estado del terreno en que se encuentran las vigas de concreto de la cimentación. Si se observa el terreno flojo y cediendo, se debe reinstalar las vigas.

IV.2.2 ESTRUCTURA DE ACERO

- a- Verificar el ajuste de todos los pernos en la estructura.
- b- Verificar el alineamiento de la estructura.
 - La distancia entre los brazos y los Cranks debe ser igual en ambos lados. Si es necesario, corregir adicionando láminas de relleno en los sitios adecuados.
 - La cabeza de la unidad debe estar lineada con el pozo, si es necesario, corregir actuando en los pernos de alineamiento de la cabeza.
- c- Probar con una piqueta y determinar el grado de corrosión de las vigas.
En caso de severa corrosión, informar al Dpto. -

de Producción para que prevea el reemplazo de la unidad.

- d- Verificar el estado de la pintura de la unidad, de ser necesario, efectuar el pintado de la unidad.
- e- Verificar que no existen vigas dobladas (viga, ba lancín, poste maestro, brazos, etc)

IV .2.3 COJINETES ESTRUCTURALES

- a- Con la unidad en operación, intentar, detectar ruidos y temperaturas anormales en las cajas de cojine tes, y si sospecha de un desgaste anormal, efectúe una inspección interna.

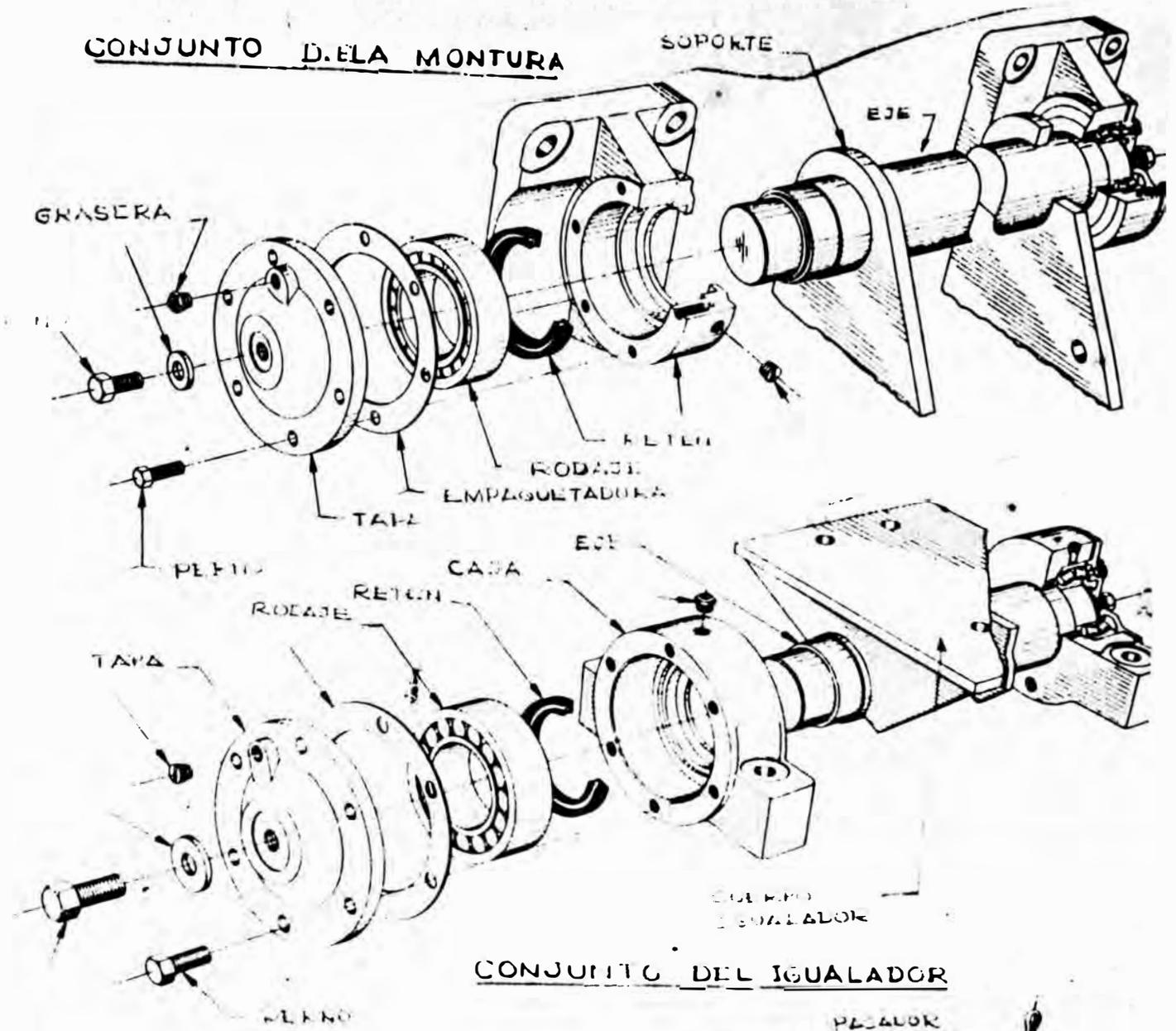
En caso de encontrarse una luz diametral mayor de 1/32" entre cojinetes y eje, reemplace las partes falladas.

- b- Verificar visualmente si hay fugas de lubricante por los sellos de las cajas de cojinetes. Reemplace los sellos defectuosos y los ejes que presenten desgaste en la zona de operación de los sellos.

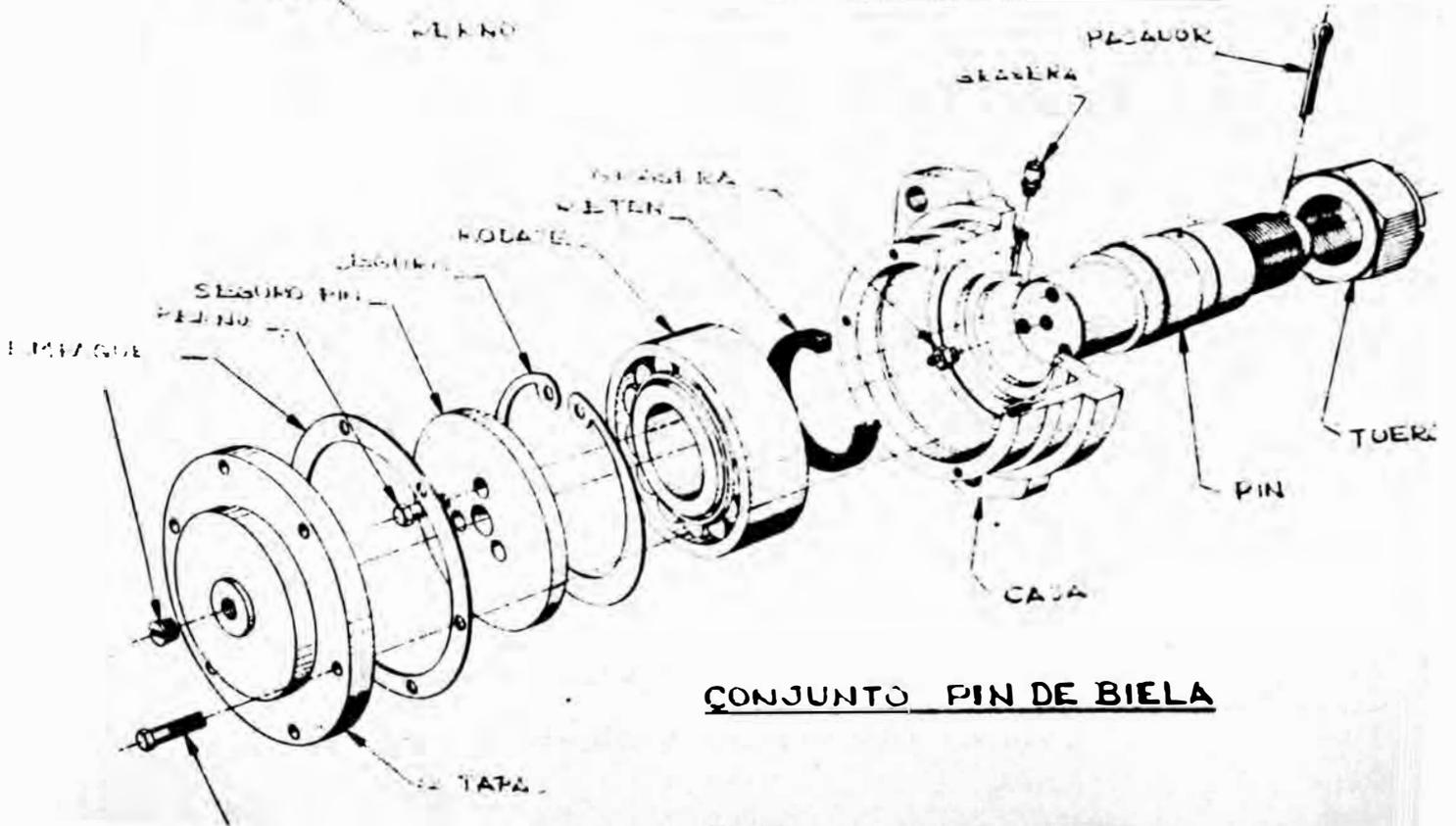
NOTA: No confundir las fugas de lubricante, causadas por sellos defectuosos, con los reboses normales que ocurren durante la lubricación.

- c- Inspeccionar las líneas de lubricación de los cojinetes, reemplácelas si presentan defectos. Verifique que las líneas se encuentren debidamente fijadas a la estructura de la unidad.

CONJUNTO D.ELA MONTURA



CONJUNTO DEL IGUALADOR



CONJUNTO PIN DE BIELA

IV .2 .4 REDUCTOR DE VELOCIDAD

- a- Con la unidad en operación, intentar, detectar ruidos y temperaturas anormales de cojinetes.
De existir dudas, retirar la tapa del reductor y hacer oscilar la unidad, manualmente o con ayuda del motor.
- b- Medir y registrar los siguientes valores:
- Luz diametral de cojinetes planos (generalmente sólo si se usan cojinetes planos para el eje de baja velocidad). Esta medida sólo debe efectuarse si se sospecha de desgaste anormal de cojinetes planos, por ejemplo, si se observan demasiadas partículas de bronce en el aceite.
 - Luz axial de cojinetes de empuje.
 - Juego entre dientes de engranajes ("back lash").
- c- Verificar el estado de los dientes de los engranajes:
- Contacto (verificar con azul de prusia, que no sea menor de 60%).
 - Dientes rotos.
 - "Descascarrillado" de la superficie de trabajo.
 - Desgaste exagerado (verificar visualmente presencia de partículas metálicas en el aceite).
- d- Verificar que las pistas de los rodamientos no se encuentren desplazadas de su posición normal.
- e- Reemplazar el lubricante efectuando previamente una exhaustiva limpieza interna con tocuyo.

f- Eliminar las fugas de lubricante (por ejes, cubiertas, tapones, sellos, laberintos, etc').

Verificar el ajuste de todos los pernos del reductor, y efectuar limpieza del respiradero con varsol.

IV .2.5 CRANKS, CONTRAPESOS Y CAJAS DE COJINETES DE LOS BRAZOS

a- Con la unidad en operación, verificar que no existan ruidos o temperaturas anormales en las cajas de cojinetes de los brazos.

b- Verificar el ajuste de las tuercas de los pines.

Si se encuentran flojas, o si los pines penetran demasiado en los cranks, o si se aprecia herrumbre molido, retirar los pines para efectuar una inspección más minucioso de pines y cranks (es probable que tanto el pin como el agujero del cranks se hayan malogrado).

c- Verificar visualmente que no existan fugas de lubricante a través de los sellos de las cajas de cojinetes. Reemplace los sellos defectuosos y pines que presentan desgaste en la zona de trabajo de los sellos.

d- Reemplazar pines, cojinetes y sellos si éstos tienen más de 3 años de operación.

e- Verificar que los agujeros no utilizados, y las zonas donde se instalan los contrapesos de los cranks estén protegidas con asfalto industrial, para preservarlos del medio ambiente.

f- Verificar que los cranks estén debidamente empotrados en el eje de baja velocidad (ajuste de pernos y chavetas).

g- Verificar el ajuste de los pernos que sujetan los contrapesos.

IV .2 .7 FRENO

a- Revisar el estado del tambor y zapatas de freno; - reemplace lo que sea necesario. Regular la luz en tre zapatas y tambor .

b- Revisar el estado del cable, palanca y cremallera y seguro del freno.

IV .2 .8 TRANSMISION

a- Verificar el estado de las poleas .

- Desgaste del canal

- Pernos, bocina y chaveta flojos .

b- Verificar el estado de las fajas y reemplazar todo el set si es necesario.

Regular la tensión de las fajas.

CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

- 1.- En las unidades Mark II; el ciclo de carrera ascendente se incrementa y el ciclo de carrera descendente disminuye debido al ángulo de desfase de las manivelas, originando esto que el funcionamiento del motor sea más uniforme, y se reduzcan las cargas del varillón pulido.
- 2.- Los contrapesos en este tipo de unidades se colocan descentrados a la manivela, produciendo esto un torque de contrabalanceo que al principio de la carrera ascendente se "retarda" del torque del pozo por $7.1/2^{\circ}$ aproximadamente. Igualmente, el principio de la carrera descendente, el torque de contrabalanceo queda "adelantado" aproximadamente $7.1/2^{\circ}$
- 3.- El igualador se desplaza hacia adelante (hacia la cabeza) en vez de estar colocada directamente encima del reductor, produciendo esto una carrera ascendente de 195° y una carrera descendente de 165° . Debido a la reducción de aceleración durante la carrera ascendente, la bomba tiene mayor tiempo para llenarse, lo cual es muy importante en pozos con petróleo pesado.
- 4.- Otro beneficio de colocar el compensador hacia adelante es que se obtiene una ventaja mecánica al levantar la carga, reduciéndose esto la bajar la carga, es decir, el factor máximo de torque durante la carrera descendente se incrementa.

- 5.- Debido a que el torque en este tipo de unidades es más uniforme, esto hace que disminuya a la potencia requerida del motor.
- 6.- Como la suspensión de estas unidades solo está apoyada sobre dos vigas de concreto, la cimentación de estas unidades es más económico que el de los otros tipos y en caso de que se muevan las unidades a otros pozos también se retiran las vigas de concreto.
- 7.- Es muy importante la nivelación de las vigas de concreto ya que una mala nivelación provoca la rajadura de la patín de la unidad.
- 8.- Los pines de los brazos de las unidades se consideran como los elementos más importantes en el funcionamiento de la unidad, puesto que una mala instalación de los mismos provoca sus roturas, originando prácticamente la destrucción de la unidad.
- 9.- Se debe tener mucho cuidado con el centrado del pozo, por que un mal centrado origina la falla prematura de los cauchos de la copa del pozo, provocando la fuga de petróleo que afecta a la cimentación de la unidad.
- 10.- Las picaduras en los dientes de los piñones del reductor se debe más que a nada a posibles golpes de la bomba de subsuelo por mala regulación de la carrera de la bomba.

- 11.- En el balanceo de la unidad de bombeo se debe realizar con la menor cantidad de pesas corridas al máximo radio con la finalidad de no sobrecargar el reductor .
- 12.- La unidad Mark II, solo tienen un sentido de giro (antihorario) debido al desfajase de la manivela en comparación de las unidades convencionales y balanceados por aire .