



13

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

*ZES*

**DISEÑO DE SARTAS DE VARILLAS DE  
SUCCION PARA BOMBEO MECANICO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO PETROLERO**

**P R E S E N T A N:**

**CONSTANTINO GARGALLO ORTEGA**

**EFREN ROSARIO JUAREZ**

**TUTOR DE TESIS:  
ING. HECTOR DIAZ ZERTUCHE**



**MEXICO, D. F.**

**1995**

**FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**Dirección  
60-I-148**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

**SRS. CONSTANTINO GARGALLO ORTEGA Y  
EFREN ROSARIO JUAREZ**

**Presente**

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Jesús Héctor Díaz Zertuche, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrollen ustedes como tesis de su examen profesional de ingeniero petrolero:

**DISEÑO DE SARTAS DE VARILLAS DE SUCCION PARA BOMBEO  
MECANICO**

- INTRODUCCION**
- I FABRICACION Y SELECCION DE VARILLAS DE SUCCION**
- II PRACTICAS RECOMENDADAS PARA EL CUIDADO, MANEJO E INSTALACION DE LAS VARILLAS DE SUCCION**
- III FALLAS DE LAS VARILLAS DE SUCCION**
- IV DISEÑO DE VARILLAS DE SUCCION**
- V DETECCION DE FALLAS POR MEDIO DE LA CARTA DINAMOMETRICA**
- CONCLUSIONES**
- BIBLIOGRAFIA**

Ruego a ustedes cumplir con la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo les recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

**Atentamente**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
Ciudad Universitaria, a 3 de octubre de 1989  
**EL DIRECTOR**

**DANIEL RESENDIZ NUÑEZ**

DRN'RJ/PYS'gtg

**A MI MADRE,**

**SRA. FRANCISCA ORTEGA GARCIA  
POR EL ESFUERZO CONSTANTE, SIN MEDIR  
SACRIFICIO ALGUNO CON TAL DE SATISFACER  
LAS NECESIDADES DE SUS HIJOS.  
GRACIAS MADRE POR ESTA OPORTUNIDAD.**

**A MIS PROFESORES,**

**POR QUE AL DEDICAR SU TIEMPO A LA  
DOCENCIA; DAN MUESTRA DE SU AMOR A SUS  
SEMEJANTES Y A LA CONSTRUCCION DE UN  
MEJOR FUTURO.**

**A MI HERMANOS,**

**LETY Y DAGO CON MUCHO CARÍÑO,**

**A MI ESPOSA E HIJA,**

**A MIS CECY'S POR SER PARTE DE MI VIDA.**

**A MI GRAN AMIGO Y HERMANO,**

**EFREN ROSARIO JUAREZ, POR QUE JUNTOS  
JUNTOS FORMAMOS SUEÑOS Y ESPERANZAS**

**GRACIAS A TODOS ELLOS.**

**CONSTANTINO GARGALLO ORTEGA.**

**GRACIAS,**

**A DIOS POR DARME TODO LO QUE TENGO,**

**POR HABER TERMINADO MI CARRERA**

**Y POR TODO LO QUE RECIBO.**

**A MI PADRE,**

**SR. EFREN ROSARIO FLORES.**

**POR SU CORAJE Y HONESTIDAD PARA FORMARME  
HOMBRE, GRACIAS POR SU APOYO PARA LA  
CULMINACION DE MI CARRERA.**

**A MI MADRE,**

**SRA. OFELIA JUAREZ DE ROSARIO.  
GRACIAS POR TU CARÍO, NOBLEZA Y FORTALEZA.  
TE LLEVO SIEMPRE EN MI CORAZON.**

**A MI ESPOSA,**

**CON TODO CARÍÑO Y RESPETO  
GRACIAS JULY POR TU APOYO Y COMPRESION.**

**A MI ABUELO,**

**GRACIAS POR SER UN GUIA Y EJEMPLO  
PARA MI VIDA**

**A CADA UNO DE MIS HERMANOS,**

**PATRICIA  
MARIA DE LA LUZ  
IVONNE  
SANDRA  
ESMERALDA  
OMAR**

**GRACIAS POR SU APOYO Y POR TODO LO  
QUE HEMOS VIVIDO.**

**A MI ASESOR,**

**ING. JESUS HECTOR DIAZ ZERTUCHE  
POR SU APOYO Y VALIOSA AYUDA.**

**A MI COMPAÑERO,**

**SR. CONSTANTINO GARGALLO ORTEGA  
POR COMPARTIR LA REALIZACION DE  
ESTE TRABAJO. SIGAMOS ADELANTE.**

# **INDICE.**

## **PROLOGO**

## **INTRODUCCION**

### **CAPITULO I**

#### **I.- FABRICACION Y SELECCION DE VARILLAS DE SUCCION.**

##### **I.1. EFECTOS DE LOS ELEMENTOS QUE SE USAN PARA LAS ALEACIONES EN LAS VARILLAS DE SUCCION DE ACERO.**

##### **I.2. SELECCION DE VARILLAS DE SUCCION.**

##### **I.3. TIPO DE VARILLAS DE ACUERDO A LA CORPORACION NORRIS.**

### **CAPITULO II**

#### **II.- PRACTICAS RECOMENDADAS PARA EL CUIDADO, MANEJO E INSTALACION DE LAS VARILLAS DE SUCCION.**

##### **II.1. TRANSPORTACION, ALMACENAMIENTO Y MANEJO.**

###### **II.1.1. GENERALIDADES.**

###### **II.1.2. CARGA Y DESCARGA.**

###### **II.1.3. ALMACENAMIENTO DE VARILLAS.**

###### **II.1.4. DISTRIBUCION Y MANEJO EN EL CAMPO.**

###### **II.1.5. ARMADO DE LA SARTA.**

##### **II.2. CONTROL DE CORROSION POR TRATAMIENTO QUIMICO.**

**II.2.1. INTRODUCCION.**

**II.2.2. CORROSION ATMOSFERICA.**

**II.2.3. CORROSION EN EL AGUJERO.**

**II.2.4. TRATAMIENTO.**

**II.2.4.1. TRATAMIENTO CONTINUO.**

**II.2.4.2. TRATAMIENTO POR CIRCULACION.**

**II.2.4.3. DESPLAZAMIENTO DEL INHIBIDOR Y METODO PARA TRATAR DE METER EL INHIBIDOR.**

**II.2.4.4. COLOCACION DEL INHIBIDOR EN LA FORMACION.**

**II.2.4.5. DESPLAZAMIENTO DEL INHIBIDOR EN T.P. Y T.R. DESCUBIERTA.**

**II.2.4.6. CONSIDERACIONES ESPECIALES.**

**II.2.5. EVALUACION DEL PROBLEMA DE INHIBICION.**

**II.3. DETERMINACION DEL ESFUERZO PERMISIBLE DE VARILLAS DE SUCCION UTILIZANDO RANGO DE ESFUERZOS.**

**II.4. DIFERENTES TIPOS DE VARILLAS DE SUCCION.**

**II.4.1. VARILLAS DE SUCCION HUECAS.**

**II.4.2. VARILLAS DE SUCCION DE 1/2 PG. DE DIAMETRO.**

**II.4.3. UNIONES GUIA DE VARILLAS CON RUEDAS.**

**II.4.3.1. APLICACIONES Y ESPECIFICACIONES.**

**II.4.3.2. APLICACIONES Y DIMENSIONES.**

### **II.4.3.3. MATERIALES DE CONSTRUCCION.**

## **CAPITULO III.**

### **III.- FALLAS DE LAS VARILLAS DE SUCCION.**

#### **III.1. CORROSION.**

##### **III.1.1. CORROSION AMARGA POR ACIDO SULFHIDRICO.**

##### **III.1.2. CORROSION DULCE POR BIOXIDO DE CARBONO.**

##### **III.1.3. CORROSION POR OXIGENO.**

##### **III.1.4. SULFITO-REDUCTOR DE BACTERIAS.**

##### **III.1.5. CORROSION GALVANICA O ELECTROLISIS.**

#### **III.2. EROSION, DESGASTE Y ROZADURAS.**

##### **III.2.1. EROSION.**

##### **III.2.2. DESGASTE.**

##### **III.2.3. ROZADURAS.**

#### **III.3. DAÑO EN EL MANEJO.**

##### **III.3.1. CURVAS.**

##### **III.3.2. ENDIDURAS, ABOLLADURAS Y HUELLAS DE MARTILLO.**

##### **III.3.3. DAÑO CON ELEVADOR.**

#### **III.4. RANGO DE CARGAS.**

#### **III.5. APRIETE DE JUNTAS DE VARILLAS DE SUCCION UTILIZANDO DESPLAZAMIENTO CIRCUNFERENCIAL.**

**III.5.1. GENERALIDADES.**

**III.5.2. RECOMENDACIONES GENERALES, PINZAS DE FUERZA.**

**III.5.3. CALIBRACION DE PINZAS DE FUERZA.**

**III.5.4. CALIBRACION DE PINZAS DE FUERZA PARA VARILLAS NUEVAS API GRADO D.**

**III.5.5. CALIBRACION DE PINZAS DE FUERZA PARA VARILLAS NUEVAS API GRADO C Y K.**

**III.5.5.1. CALIBRACION DE PINZAS DE FUERZA PARA VARILLAS QUE YA HAN SIDO METIDAS VARIAS VECES DE TODOS LOS GRADOS API Y PARA COPLES NUEVOS.**

**III.5.6. USO DE LLAVES DE VARILLAS PARA UN APRIETE MANUAL.**

**III.5.7. APRIETE MANUAL DE SARTAS DE VARILLAS NUEVAS API GRADO D.**

**III.5.8. APRIETE MECANICO DE VARILLAS API GRADO C Y K.**

**III.5.9. APRIETE MECANICO DE VARILLAS USADAS Y COPLES NUEVOS.**

## **CAPITULO IV.**

**IV.- DISEÑO DE VARILLAS DE SUCCION.**

**IV.1. INTRODUCCION.**

**IV.2. ANALISIS TEORICO DEL MOVIMIENTO DE LA VARILLA.**

**IV.3. CARRERA EFECTIVA DEL EMBOLO.**

**IV.4. CALCULO DE LAS CARGAS SOBRE LA VARILLA PULIDA.**

#### **IV.5. DISEÑO DE LA SARTA DE VARILLAS DE SUCCION.**

### **CAPITULO V.**

#### **V.- DETECCION DE FALLAS POR MEDIO DE LA CARTA DINAMOMETRICA.**

##### **V.1. INTRODUCCION.**

##### **V.1.1. PASOS SUCESIVOS DEL REGISTRO DE UNA BOMBA EN OPERACION.**

##### **V.1.2. DIAGRAMA TIPICO DE CARGAS SOBRE LA VARILLA PULIDA.**

##### **V.2. CARTA DINAMOMETRICA A LA PROFUNDIDAD DE LA BOMBA.**

##### **V.3. CARTA DINAMOMETRICA SUPERFICIAL.**

##### **V.3.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA BOMBA.**

##### **V.3.2. ANALISIS.**

##### **V.4. GOLPETEO DE FLUIDO.**

##### **V.5. VELOCIDADES SINCRONICAS Y NO SINCRONICAS EN UN SISTEMA DE VARILLAS DE SUCCION.**

### **CONCLUSIONES.**

### **BIBLIOGRAFIA.**

## **PROLOGO.**

**La finalidad de este trabajo es fijar nuestra atención en la importancia que tiene hoy en día la disminución de costos por mantenimiento y operación. Esto a través del cuidado de las varillas durante su manejo, transporte y almacenamiento, mediante la elaboración e implementación de programas en los talleres y el pozo.**

**Dicho objetivo se logra también con la capacitación del Ingeniero de Campo u Operador de Equipo, a través del conocimiento teórico-práctico.**

**Finalmente podremos elaborar un diseño más económico, de acuerdo a la disponibilidad de recursos y necesidades operativas.**

## **INTRODUCCION.**

### **HISTORIA DEL BOMBEO CON VARILLAS DE SUCCION.**

La combinación de varillas de succión y balancín para bombeo, es un método muy antiguo, tanto que no se conoce el primer dato de su aplicación. Se sabe que los egipcios usaron el principio de la bimba para extraer agua en el año 470 A.C. Este dispositivo consistía de un trípodo hecho de madera. Una piel de cabra llena de piedras se usaba como contrapeso, mientras una persona accionaba la soga con la sarta de varillas de succión, extrayendo el agua en una jarra de piedras.

En días del Imperio Romano, se usó una bomba de doble acción con molde de plomo, émbolos hechos de madera y cuero. Las varillas de succión eran de madera y también trabajaban a compresión. Muchas de estas bombas se han encontrado, lo que indica su uso por algunas de las familias más ricas. Una réplica de estas bombas está en el Museo de Ciencias de Londres, Inglaterra.

La primera ilustración gráfica de una bomba con varillas de succión, aparece en el famoso tratado de Minería De Re Metallica, publicado en 1556 por Georg Agricola de Saxony. En las ilustraciones de este libro se observan cortes de madera; uno de los cuales muestra un sistema de

varillas y palancas movidas por una manivela y rueda accionada con agua, el cual se usaba para bombear agua de una mina. Tres bombas fueron conectadas en serie y elevaban el agua en tres etapas. Los émbolos de las bombas se movían por medio de un sistema compuesto de varillas y trabajaban con cilindros hechos de madera y fierro.

Como en la mayoría de las artes básicas, el método de bombeo con varillas de succión ha mostrado un mejoramiento en años recientes comparativamente a cuando se inició en los años previos a 1900. En los Estados Unidos de Norteamérica existían al final del año de 1971, 469809 pozos petroleros produciendo artificialmente, estimándose que en el 80% de éstos se aplicaba el bombeo con varillas. Esta cifra da una idea de la importancia que tiene el sistema citado en la explotación del petróleo. En México su uso no ha sido tan grande como en otros países, debido principalmente a la disponibilidad del gas natural en muchos de los campos, lo que ha conducido a preferir el bombeo neumático.

## **BOMBEO MECANICO MODERNO.**

El sistema de bombeo mecánico moderno está comprendido por 5 partes fundamentales, Fig. A: Motor principal, reductor de engranes, equipo superficial, sarta de varillas y la bomba subsuperficial, cuyas funciones son:

**Motor principal.-** Proporcionar a la instalación energía mecánica que se transmite a la bomba.

**Reductor de engranes.-** Reducir la velocidad del motor principal a una velocidad de bombeo adecuada.

**Equipo superficial.-** Convertir el movimiento giratorio de la flecha del motor a un movimiento recíprocante en la varilla pulida.

**Sarta de varillas.-** Transmitir el movimiento recíprocante de la varilla pulida al émbolo.

**Bomba subsuperficial.-** Admitir los fluidos del pozo y elevarlos a la superficie.

Durante los últimos años se ha logrado un progreso en cuanto al refinamiento, diseño y aplicación de cada una de las partes componentes del sistema.

En 1927 el Instituto Americano del Petróleo (API) estableció reglas para las juntas de las varillas de succión. Antes las reglas API no estandarizaban el diseño de la fabricación de hilos y por ello, varillas de succión de diferentes marcas no eran intercambiables. En el Campo Seminole, los pozos estuvieron produciendo a la capacidad de los equipos de bombeo y en muchos casos el factor limitante fue la sarta de varillas de succión. Los productores demandaban mejores varillas de succión, y en

algunos casos cambiaban a inyección de gas y aire. Estas nuevas demandas originaron que mejoraran la construcción y el acero de las varillas de succión y en general que aumentaran los diámetros de las varillas de succión comunmente usadas.

El factor predominante de dichas demandas, en el Campo Seminole, fue con respecto a la existencia de grandes esfuerzos en las varillas de succión de acero, mientras en el Campo Smekover, Arkansas, parte de Kansas y el Oeste de Texas, fue la corrosión. Uno de los primeros metalurgistas que reconoció la importancia de la fatiga por corrosión, fue el Dr. D.J. McAdam, Jr. El publicó en 1926, a través del ASTM, el resultado de alguno de sus trabajos experimentales: relación del ciclo esfuerzo-tensión y fatiga por corrosión de metales.

El Dr. B.B. Wescott y asociados, atacó el problema de corrosión del Campo Smekover, haciendo pruebas con salmueras tomadas del pozo. Este trabajo fue tomado por el Dr. D.J. McAdam, Jr. pero aplicándolo al problema específico de los materiales de las varillas de succión. los resultados de este trabajo fueron presentados en la 14ava. Reunión Anual del API, Boletín de Producción 212, Noviembre 1933, en un artículo por B.B. Wescott y C.N. Bowers: "Fatiga por Corrosión y Fallas en las Varillas de Succión".

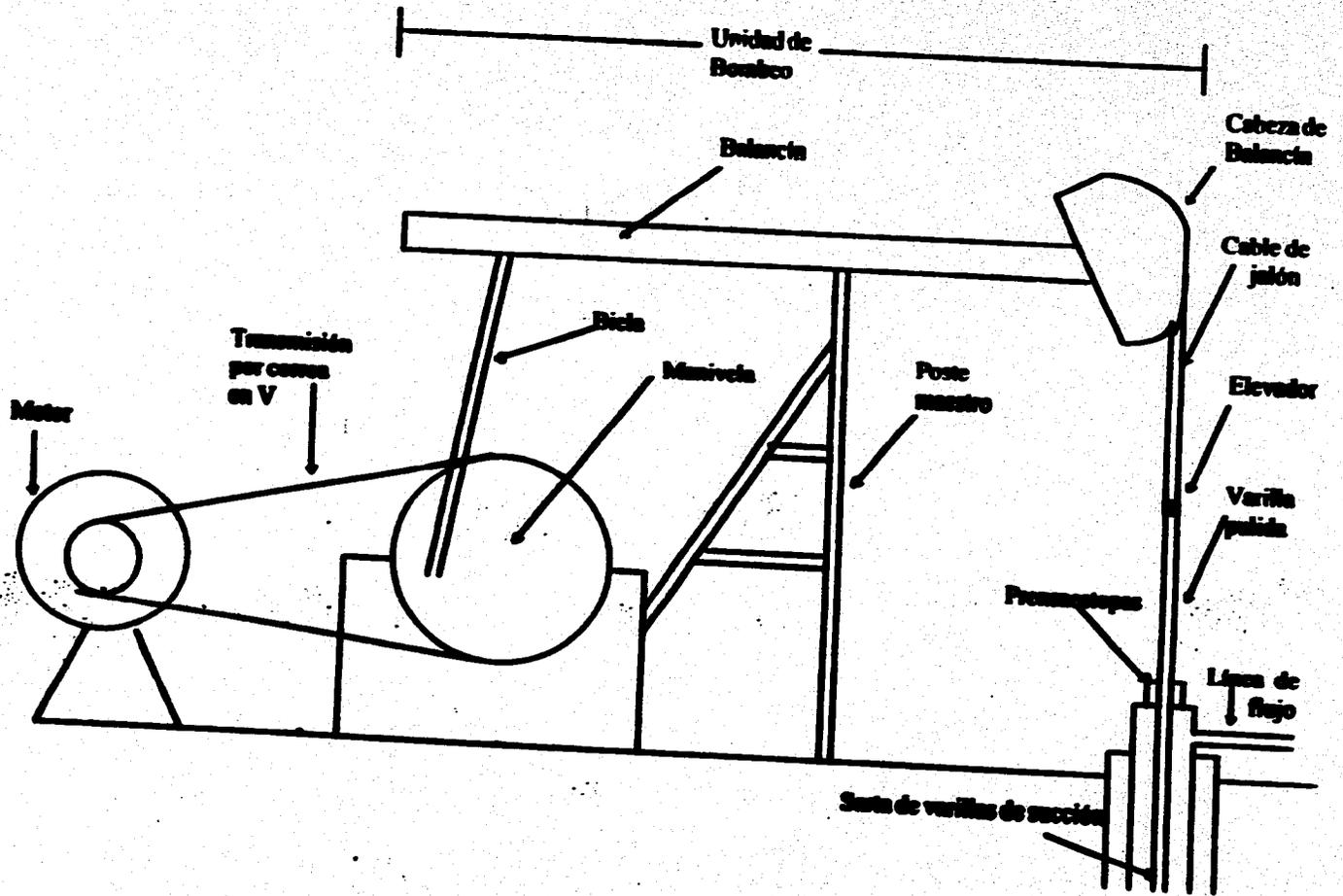
Después de algunos años, los pozos de Kansas estuvieron en plena producción con cargas sobre la varilla pulida tan altas como 40000 lbs., rangos de velocidad de 40 a 45 emboladas por minuto, y varilla pulida de 54 pg. de longitud. La calidad de las varillas de succión fue medida en el número de ciclos que la sarta soportaba. En algunos casos las fallas ocurrieron en las primeras ocho horas de operación. Esto creó el interés

**por elevar la calidad de las varillas de succión y el perfeccionamiento de métodos de fabricación.**

**Los campos de Oklahoma, productores con bombeo desde 1935, ofrecieron nuevos problemas con respecto a la profundidad de bombeo. Cargas pesadas, volúmenes grandes de fluidos y arena fina flotando, se combinaron ocasionando problemas de operación que no habían sido encontrados previamente. En alguna época una sarta de varillas de succión debía ser reemplazada en 90 días, tiempo que fue considerado como vida promedio. Actualmente el promedio de vida de una sarta de varillas de succión en el Campo Oklahoma, es de aproximadamente 7 años. Este gran perfeccionamiento en servicio, trajo consigo un continuo estudio de los problemas de bombeo tales como: La eliminación de la arena fina flotando para tener un pozo limpio, así como el continuo mejoramiento de la calidad de las varillas de succión.**

**Hoy en día se plantean otros desafíos, como mayores cargas sobre la varilla pulida y mayores profundidades. A pesar del hecho que existen otros medios para levantar el aceite, el sistema de Bombeo Mecánico es todavía predominante. El bombeo en pozos con 8000 pies de profundidad es común, y hay casos de pozos bombeando desde 11000 y 13000 pies.**

**Fig. A. Instalación superficial típica (esquemática)**



## **I.- FABRICACION Y SELECCION DE VARILLAS DE SUCCION.**

**El acero para varillas de succión está hecho por procesos de horno eléctrico. Barras de acero caliente se cortan a lo largo en forma laminar y se inspeccionan cuidadosamente para encontrar superficies irregulares que podrían causar fallas en el servicio.**

**Después se trabaja a máquina enderezando, un extremo de la barra es calentado y forjado para formar el diseño API. El otro extremo es forjado de la misma manera. La marca de identificación se imprime a calor en una parte cuadrada, para indicar la fabricación, tipo de acero, diseño API, tamaño, resistencia térmica y datos de fabricación.**

**A fin de mejorar las propiedades mecánicas y evitar la posibilidad de que la corrosión tife el extremo forjado y la zona afectada por el calor, todas las varillas de succión son tratadas caloríficamente a todo lo largo. Este tratamiento varía con el tipo de acero y consiste de una normalización y temple o apagado con líquido y temple. El carbón-acero y ciertas aleaciones de acero, requieren solamente de un tratamiento normalizador, en el cual las varillas son calentadas a la temperatura conveniente para refinar el grano y son entonces enfriadas con aire. Algunas aleaciones de acero también requieren un tratamiento de temple, el cual consiste de un recalentamiento a una mas baja temperatura.**

**Después del tratamiento calorífico, las varillas son inspeccionadas para verificar que estén correcta y adecuadamente alineados los extremos forjados con los cuerpos de la varillas. Se cortan muestras de las varillas y se prueban de conformidad a los requerimiento de las propiedades mecánicas.**

**Las varillas tratadas se limpian de escamas con disparo o soplo de arena. Posteriormente, los extremos forjados son maquinados y roscados, generalmente en ejes múltiples, mediante una máquina automática. Es importante que la cara del macho esté perpendicular a el eje de la rosca; de conformidad a las especificaciones I 1-b del API, de varillas de succión, la cual asegura la intercambiabilidad de dichas varillas, que se obtiene por inspección a la cuerda calibrada API.**

**Los coples están hechos por procesos de horno eléctrico. Una barra regular se corta en tamaños apropiados para producir coples vacíos, los cuales son rebajados a un diámetro correcto. El vaciado puede también ser obtenido del acero derretido en frío en máquinas automáticas. El hoyo es perforado y los extremos son avellanados, chafanados y arreglados en ejes múltiples, en máquinas de tornillo automático. Muchos grados de carbón y de aleaciones de acero son usados para los coples, dependiendo del tipo de cople y método de tratamiento, calor y endurecimiento de superficie usada en la fabricación.**

**Los coples pueden variar con respecto al tratamiento, calor y dureza. Son proporcionado en los siguientes tipos: terminado-duro, carbonizado y duro, instalación dura y el tipo especial superficie dura, así como el Stellite, Colmonoy, etc.**

**La fabricación es generalmente terminada con aislamiento, pulimientos e inspección. Es importante que los extremos estén perpendiculares a los ejes de las roscas. Esta característica es contemplada dentro de los requerimientos dimensionales del API, y ésto se checa durante las instrucciones operacionales.**

**A menos que se especifiquen otras condiciones, un cople es ensamblado en cada varilla de succión. Un protector de rosca es colocado en el extremo descubierto del cople y en el otro extremo de la varilla.**

**La varilla se limpia adecuadamente de residuos de aceite y se reviste contra la corrosión atmosférica, mientras se espera embarque.**

**En el manejo de las varillas de succión durante su fabricación, debe ejercerse cuidado para prevenir la introducción de esfuerzos debido al doblamiento en frío, y a que esto puede ocasionar puntos de falla cuando esté en servicio.**

## **I.1.- EFECTO DE LOS ELEMENTOS QUE SE USAN PARA LAS ALEACIONES EN LAS VARILLAS DE SUCCION DE ACERO.**

El principal material de las varillas de succión es el hierro, el cual constituye mas del 90% de la composición de la varilla. Sin embargo, en su estado puro es suave y débil, así que se agregan otro elementos para mejorar la resistencia, dureza y resistencia a la corrosión de las varillas. Entre los elementos de aleación pueden mencionarse especialmente el carbono para aumentar la resistencia, la dureza y la susceptibilidad al tratamiento térmico; el manganeso o el silicio para reducir la formación de óxidos de hierro, que debilitan la aleación; el níquel para combatir las condiciones corrosivas; el molibdeno para aumentar la resistencia y; el cobre para resistir los ambientes atmosféricos corrosivos. En general se ha observado que no deben permitirse esfuerzos que excedan 30000 lb/pg<sup>2</sup> en las varillas pulidas, este valor disminuye conforme aumenta la corrosividad del fluido que se va a bombear. Esta cifra de 30000 lb/pg<sup>2</sup> se basa en pruebas de laboratorio que relaciona la llamada vida infinita, de 10 millones de contraesfuerzos o esfuerzos alternados, pero debe observarse que a una velocidad típica aceptable de bombea de 15 emboladas/minuto, se realizan 10 millones de contraesfuerzos o esfuerzos alternados en 15 meses.

## **I.2.- SELECCION DE VARILLAS DE SUCCION.**

### **ANALISIS DEL PROBLEMA.**

La seleccion de la varilla apropiada se basa en un análisis de las condiciones anticipadas de bombeo y conocimiento del comportamiento de varios aceros de varilla de succión operando bajo condiciones similares.

En el análisis del problema de bombeo, el factor más importante es la carga y el tipo de fluido. La carga pico es determinada por la profundidad de bombeo y el volumen de fluido levantado, suponiendo que la instalación ha sido apropiadamente diseñada.

Las condiciones del fluido pueden variar ampliamente de no corrosivo o ligeramente corrosivo, a extremadamente corrosivo. alguna clasificación detallada de los fluidos del pozo tiene que ser considerada con respecto a condiciones locales y también debe ser un valor práctico.

Las recomendaciones de selección de varillas de succión están basadas en experiencias de campo. Los valores dados como cargas máximas de trabajo no son estrictamente rigurosos y podrían ser modificados dependiendo de las condiciones locales del fluido.

Para propósitos prácticos de diseño, se tiene que en los pozos con bombeo mecánico, los fluidos son relativamente no corrosivos, sin embargo se reconoce que no existe tal condición de fluido verdaderamente no corrosivo. Por ello se ha puesto más atención a los materiales de aleación para trabajar bajo diferentes condiciones de operación a fin de que las varillas de succión tengan una menor probabilidad de falla por corrosión.

Los fluidos corrosivos encontrados en pozos de aceite pueden contener ácido sulfhídrico, así como dióxido de carbono, oxígeno, u otros gases que reaccionan químicamente con las varillas de succión causando hoyos de varios diámetros. Los hoyos por corrosión forman grietas ocasionando que se uniformicen a lo largo de la varilla hasta fatigarla, ocasionando que la varilla falle en un momento dado.

Estudios fotoelásticos han mostrado que una ranura muy aguda tal como un hoyo por corrosión, puede incrementar los esfuerzos en la base de la ranura por varias veces el nivel de esfuerzos al que una sección está normalmente sometida. Es generalmente aceptado que un hoyo por corrosión en la cuerda puede incrementar el esfuerzo normal en esa sección en 10 veces o más.

Los hoyos o ranuras formadas por la acción corrosiva se descubren cuando la tensión es aplicada a la pieza, y cuando este esfuerzo se libera el hoyo es cerrado con el producto corrosivo que contiene, el cual ejerce una acción de cuña que produce las grietas. Estas se incrementan por esfuerzos locales y crecen a un ritmo acelerado. Así como el esfuerzo repetido al que están sometidas las varillas tienden a romper algunos recubrimientos protectores, o películas de productos resistentes a la corrosión.

Si el ácido sulfhídrico está presente, ataca al acero y forma un revestimiento de sulfuro de hierro por liberación de hidrógeno, el cual fragiliza al acero. Tan pronto como el acero se vuelve más frágil los efectos para formar hoyos por corrosión se acentúan.

Un método que está ganando extenso uso en la lucha contra la corrosión, para combatir los efectos perjudiciales de los fluidos, es la inyección de inhibidores químicos. Algunos de los inhibidores más acertados y usados para este propósito son los inhibidores orgánicos, los cuales forman una película en la superficie del acero con la cual está en contacto. Esta película es repelente al agua y forma una barrera para los agentes corrosivos. Otros inhibidores usados con éxito en ciertas áreas son los neutralizadores, como el bicarbonato de sodio y la sosa cáustica; los formadores de películas, como el cromato y dicromato de sodio. Si la química natural del fluido del pozo puede ser cambiada a través del uso de algún inhibidor, se logrará una menor corrosión al acero, operando las varillas más satisfactoriamente. Todos los métodos tienen alguna desventaja, y cada problema de ser considerado individualmente.

La carga máxima de bombeo medida es usada como base en algún intento por correlacionar los resultados de campo y laboratorio para determinar la fatiga por corrosión. Sin embargo, hay también muchas condiciones diferentes en el campo y laboratorio, tal que una comparación de esta clase solo es válida para una área en particular.

Se han llevado a cabo pruebas de fatiga por corrosión a 1750 rpm y comparada con una velocidad de bombeo promedio de 20 epm. En 1750 rpm toma cerca de 4 días alcanzar 10 000 000 de inversiones de esfuerzos, mientras que a 20 epm el tiempo requerido es de 347 días. En pozos donde ocurre la corrosión o el ácido sulfhídrico está presente, el tiempo es un

**factor muy importante. Una prueba de laboratorio a velocidad baja, ilustra como los hoyos por corrosión crecen si se dá suficiente tiempo, las pruebas corridas a 1750 rpm son terminadas antes de que se formen hoyos visibles. Los valores obtenidos de fatiga por corrosión en pruebas a velocidades bajas son substancialmente más bajos que los obtenidos a velocidades altas. Figura 3.**

**Además, las pruebas de laboratorio corridas a velocidad lenta y en salmueras de pozos de aceite, también resultaron en valores de duración más bajos que las experiencias de campo han mostrado para una operación razonablemente satisfactoria y sin apuro. Indudablemente esto es debido al rango mucho más bajo de carga al cual se someten las varillas durante el bombeo. Está bién definido que el rango de cargas más bajo, es el esfuerzo más alto que puede ser tolerado sin fatigas. Esté principio se ilustra en el DIAGRAMA DE GOODMAN, figura II. 1.**

### **I.3.- TIPOS DE VARILLAS DE ACUERDO A LA CORPORACION NORRIS.**

En un ambiente corrosivo, todos los tipos de varillas deberán ser adecuadamente protegidas por inhibidores. Algunos tipos de varillas, por causa de una combinación de elementos aleados y dureza nivelada, son capaces de un servicio o vida más larga en pozos inhibidos, que varillas de solo acero-carbón.

**TIPO 30.- API. Clase C. Varillas de succión, carbón-manganeso. Esta varilla está siendo colocada en equipos de pozos con ligeros a medianos rangos de carga en fluidos no corrosivos o fluidos corrosivos inhibidos.**

**TIPO 40.- API. Clase K. Varilla de succión con aleación de níquel-molibdeno. Una varilla aleada para ligeros a medianos rangos de carga en fluidos no corrosivos o fluidos corrosivos inhibidos.**

**TIPO 78.- API Clase D. Varilla con aleación de carbón-manganeso-cromo-molibdeno. Una baja aleación para un esfuerzo de tensión alto para cargas pesadas en fluidos no corrosivos o en fluidos corrosivos inhibidos.**

**TIPO 90.- Varilla de succión con aleación de níquel-cromo-molibdeno-cobre. Una varilla con una aleación de composición especial con el máximo esfuerzo usado bajo cargas pesadas en fluidos corrosivos inhibidos.**

## **NORRIS TIPO 30 (API CLASE C) VARILLA DE SUCCION CARBON-MANGANESO. COMPLETAMENTE NORMALIZADO.**

Varilla de succión Norris Tipo 30 son fabricadas en un acero de alto grado. Carbón-manganeso AISI, C-1536 (antiguamente designada como C-1036), completamente normalizada y limpiada a chorro de arena después del tratamiento de calor y de acuerdo con las especificaciones API. Las varillas están disponibles en diámetros de 5/8", 3/4", 7/8" y 1", y 25 pies de longitud.

### **PROPIEDADES MECANICAS.**

Punto de cedencia (psi). 60000-75000.  
Esfuerzo de tensión (psi). 90000-105000.  
% de Elongación en 8". 18-23.  
% de Reducción de área. 50-65.  
Dureza. 190-205.

### **PROPIEDADES QUIMICAS.**

Carbón.- 0.30-0.37  
Manganeso.- 1.20-1.50  
Fósforo.- 0.04 máx.  
Azufre.- 0.05 máx.  
Sílice.- 0.15-0.30

## **NORRIS TIPO 40. VARILLA DE SUCCION CON ALEACION DE NIQUEL-MOLIBDENO. COMPLETAMENTE NORMALIZADO Y TEMPLADO.**

Las varillas de succión Norris Tipo 40 están fabricadas de acero AISI A-4621, completamente normalizado, templado y limpiadas a chorro de arena después del tratamiento a calor, y fabricadas de acuerdo a las especificaciones API. Tipos de doble piñón están disponibles en diámetros de 5/8", 3/4", 7/8", y 1" y 25 pies de longitud.

### **PROPIEDADES MECANICAS.**

Punto de cedencia. 68000-80000  
Esfuerzos de Tensión. 85000-100000  
% de elongación en 8". 18-25  
% de reducción en área. 60-70  
Dureza. 175-207

### **PROPIEDADES QUIMICAS.**

Carbón.- 0.18-0.23  
Manganeso.- 0.70-0.90  
Fósforo.- 0.04 máx.  
Azufre.- 0.04 max.  
Sílice.- 0.20-0.36  
Níquel.- 1.65-2.00  
Molibdeno.- 0.20-0.30

**NORRIS TIPO 78 (API CLASE D). VARILLA DE SUCCION CON ALEACION DE CARBON-MANGANESO-CROMO-MOLIBDENO. COMPLETAMENTE NORMALIZADO Y TEMPLADO.**

Las varillas de succión Norris Tipo 78 están fabricadas de acero AISI-4142-H, completamente normalizado, templado y limpiado a chorro de arena después del tratamiento de calor y fabricados de acuerdo a las especificaciones API. Las varillas están disponibles en diámetros de 1/2", 5/8", 3/4", 7/8", y 1" y 25 pies de longitud.

**PROPIEDADES MECANICAS.**

Punto de Cedencia. 100000-115000  
Esfuerzo de Tensión. 120000-140000  
% de elongación en 8". 10-15  
% de reducción en áreas. 50-65  
Dureza. 241-280

**PROPIEDADES MECANICAS.**

Carbón.- 0.39-0.46  
Manganeso.- 0.65-1.10  
Fósforo.- 0.04 máx.  
Azufre.- 0.04 máx.  
Sílice.- 0.20-0.35  
Cromo.- 0.75-1.20  
Molibdeno.- 0.15-0.25

## **NORRIS TIPO 90 (API CLASE D). VARILLA DE SUCCION CON ALEACION DE NIQUEL-CROMO-MOLIBDENO. COMPLETAMENTE NORMALIZADO Y TEMPLADO.**

Las varillas de succión Norris Tipo 90 están fabricadas de una aleación de acero especial, completamente normalizado, templado y limpiado a chorro de arena después del tratamiento de calor, y fabricado de acuerdo a las especificaciones API. Las varillas están disponibles en diámetros de 5/8", 3/4", 7/8", 1", 1 1/8" y 25 pies de longitud.

### **PROPIEDADES MECANICAS.**

Punto de cedencia. 90000 mínimo.  
Esfuerzo de tensión. 115000 mínimo.  
% de elongación en 8". 10-15  
% de reducción en área. 50-60  
Dureza Rocwell C. 20-23  
Dureza Brinell. 227 mínimo.

### **PROPIEDADES QUIMICAS.**

Carbón.- 0.22-0.29  
Manganeso.- 0.70-1.00  
Fósforo.- 0.04 máx.  
Azufre.- 0.04 máx.  
Sílice.- 0.20-0.35  
Níquel.- 1.25-1.75  
Cromo.- 0.60-0.90  
Molibdeno.- 0.20-0.30  
Cobre.- 0.40-0.70

## **COPLES DE VARILLAS DE SUCCION, NORRIS (API CLASE T). CON ROSCAS FORMADAS EN FRIO.**

### **PROPIEDADES QUIMICAS.**

**Carbón. 0.28-0.33**

**Manganeso. 0.70-0.90**

**Fósforo. 0.04 máx.**

**Azufre. 0.04 máx.**

**Sílice. 0.20-0.35**

**Cromo. 0.40-0.60**

**Molibdeno. 0.15-0.25**

**Níquel. 0.40-0.70**

### **PROPIEDADES MECANICAS.**

**Tratamiento al calor.- Especial.**

**Punto de cedencia.- 100000**

**Esfuerzo de Tensión.- 120000**

**% de Cedencia/Tensión.- 80**

**% de elongación, 2".- 18**

**% de reducción de área.- 48**

**Dureza, Rc.- 16-23**

**El cople de la varillas de succión, Norris API Clase T, está fabricado de la aleación AISI 8630, acero de grano fino con un tratamiento especial de calor, tornado y pulido para remover alguna decarburización de la superficie de la barra causada en la operación de enrollamiento y tratamiento de calor. No hay otro trabajo en frío del acero en el proceso de fabricación mas que en la operación de pulimiento del terminado de la superficie y la formación en frío de las roscas, una característica normal de los coples Norris.**

**COPLES DE VARILLAS DE SUCCION, NORRIS  
SPRAYLOY (DUREZA PULIDA). CON ROSCAS  
FORMADAS EN FRIO.**

**PROPIEDADES QUIMICAS.**

**Carbón. 0.28-0.33**

**Manganeso. 0.70-0.90**

**Fósforo. 0.04 máx.**

**Azufre. 0.04 máx.**

**Silice. 0.20-0.35**

**Cromo. 0.40-0.60**

**Molibdeno. 0.15-0.25**

**Níquel. 0.40-0.70**

**PROPIEDADES MECANICAS.**

**Punto de cedencia.- 100000**

**Esfuerzo de tensión.- 120000**

**% de elongación, 2".- 18**

**% de reducción de área.- 48**

**Dureza de Núcleo, Rc.- 16-23**

**Dureza de superficie.- 58-63**

**Los coples de las varillas de succión, Norris Sprayloy, están fabricados de la aleación AISI 8630 de acero de grano fino con un tratamiento de calor especial para desarrollar las propiedades del núcleo, tomado y pulido para remover alguna decarburización de la superficie de la barra causada en la operación de enrollamiento y tratamiento de calor.**

**Un recubrimiento de níquel-cromo es rociado y fundido en la superficie del cople con un espesor de 0.010" a 0.015" para dar al cople una resistencia al deterioro y corrosión.**

## **GUIA GENERAL PARA LA SELECCION DE VARILLAS DE SUCCION.**

**FLUIDOS NO CORROSIVOS. 30000 PSI, MAXIMO.**

**Quando el esfuerzo máximo de operación no exceda 30000 psi. y el rango de esfuerzos no exceda 60% del esfuerzo máximo de operación. \***

**ACERO CARBON C-1036.**

---

**FLUIDOS NO CORROSIVOS. 30000 PSI, MAXIMO.**

**Quando el esfuerzo máximo de operación no exceda 30000 psi. y el rango de esfuerzos excede 60% del esfuerzo máximo de operación. \***

**ALEACION DE ACERO 4621. Ni-Cr(Mayari).  
Ni-Cr-Mo.**

---

**FLUIDOS NO CORROSIVOS. 40000 PSI, MAXIMO.**

**Cuando el esfuerzo máximo de operación no exceda 40000 psi y el rango de esfuerzos no exceda 30% del esfuerzo máximo de operación. \***

**ALEACION DE ACERO 4621. Ni-Cr(Mayari)  
Ni-Cr-Mo**

---

**FLUIDOS NO CORROSIVOS. 45000 PSI, MAXIMO.**

**Cuando el esfuerzo máximo de operación no exceda 45000 psi, y el rango de esfuerzos no exceda el 20% del esfuerzo máximo de operación. \***

**ALEACION DE ACERO 4337 Y 3310**

---

**FLUIDOS CORROSIVOS (SIN ACIDO SULFHIDRICO).**

**Quizá menor que el gobernado por las condiciones locales. +**

**ALEACION DE ACERO. Ni-Cr(Mayari) 4621  
Ni-Cr-Mo.**

---

**FLUIDOS CORROSIVOS (CON ACIDO SULFHIDRICO).**

**Quizá menor que el gobernado por las condiciones locales. +**

**ALEACION DE ACERO 4621 Y 4820. Ni-Cr(Mayari)  
Ni-Cr-Mo.**

---

\* Ver Diagrama de Goodman, figura II.1., el cual muestra que, conforme el rango de esfuerzos se incrementa, el esfuerzo máximo es menor.

+ Los fluidos corrosivos tratados con un inhibidor químico pueden ser considerados no corrosivos.

## **II.- PRACTICAS RECOMENDADAS PARA EL CUIDADO, MANEJO E INSTALACION DE LAS VARILLAS DE SUCCION.**

### **II.1.- TRANSPORTACION, ALMACENAMIENTO Y MANEJO.**

#### **II.1.1.- GENERALIDADES.**

Las varillas se inspeccionarán durante la distribución y de ahí en adelante cuando sea necesario para asegurar que las varillas dañadas no se almacenen y sean puestas en servicio.

En toda operación se debe tener mucho cuidado para impedir que las varillas o sus extremos se pongan en contacto con algún cuerpo indebido , el cual cause posibles muescas o curvas, o lesiones en las roscas por machacar sus protecciones. Además, las varillas nunca se manejarán de tal manera que se produzca una curvatura en la varillas. Las varillas con roscas dañadas, dobladas, o con muescas están permanentemente dañadas y se descartarán.

**Las varillas empaquetadas, se manejarán y almacenarán preferiblemente como un paquete unitario, hasta que sean colocadas en el pozo. Cuando se quitan del paquete, se deberá ejercer un cuidado especial con el uso de herramientas convenientes de tal manera que las varillas no puedan ser dañadas, especialmente por muescas.**

**Las varillas entregadas por la fábrica, son proporcionadas con protectores de rosca en ambos extremos, tanto en el piñon como en la caja. Siempre que estos extremos sean observados sin tal protección deberán ser inspeccionados y ver si no están dañadas, los protectores se colocarán o si éstos se encuentran dañados se reemplazarán. Los protectores de roscas no se quitarán, excepto para propósitos de inspeccion, o hasta que la varilla sea cologada en la grúa o mástil preparatorio para el armado de la sarta.**

**Los protectores de roscas, la caja de las varillas, coples, hombros y la llave cuadrada nunca deben ser martilladas. Un golpe puede dañar alguna parte de una varilla o cople, resultando en una falla prematura.**

## **II.1.2.- CARGA Y DESCARGA.**

**Se debe evitar dañar las varillas cuando se quitan los seguros y broches usados para asegurar las varillas durante el embarque.**

**Las varillas se levantarán por paquete con un dispositivo diseñado para soportar el paquete sin dañar a las varillas de succión.**

**La descarga de varillas se manejará individualmente. Nunca deben ser lanzadas de un carro de ferrocarril, camión o pila, ni golpeadas durante el manejo. Los paquetes de varillas serán soportados de los extremos, y también en el centro cuando este soporte sea necesario, para prevenir excesiva combadura o contactos dañinos de alguna naturaleza. Si se usan patines, estos deben ser hechos de madera.**

**Cuando sea necesario caminar por encima de los paquetes de varillas durante las operaciones de carga o descarga se colocará madera para proteger a las varillas.**

**Los camiones o trailers para el manejo de varillas empaquetadas, proporcionarán soportes directamente abajo de la cubierta transversal del paquete, tal que las varillas mismas no estarán en contacto con los soportes. Además, los paquetes se colocarán de modo que la cubierta del fondo esté en ángulo recto a la cubierta de encima o a la del paquete siguiente más abajo. Las cadenas o cables se colocarán en una posición tal que pasen por encima de la cubierta de madera.**

**Camiones y trailers para el manejo de varillas sueltas proporcionarán soportes cruzados cerca de los extremos de las varillas, y en posición intermedia, espaciados e iguales. No menos de cuatro soportes serán proporcionados. Cuando se usan capas lisas, los soportes serán de tal espesor como para prevenir que los extremos o coples de varillas descansen o se apoyen directamente entre capa y capa. Los soportes**

**cruzados serán de madera o acero recubierto de madera, y suficientemente gruesos para prevenir que las capas o camadas se toquen, y bastante largas para extenderse unas pocas pulgadas más allá del montón, en ambos lados. Si los espaciadores no tienen tope, las varillas de los extremos en cada camada se atarán con bloques de madera para prevenir que las varillas queden fuera del espaciador. Cadenas o cables se colocarán en tal posición que pase por encima de los extremos de los espaciadores de madera. Se debe impedir el contacto de las varillas en la cima de la capa por medio del uso de miembros o viguetas atravesadas de madera.**

### **II.1.3.- ALMACENAMIENTO DE VARILLAS.**

**Las varillas deben ser almacenadas en forma separada de acuerdo al tamaño (diámetro) y grado, de modo que se minimice el deterioro por exposición al medio ambiente u otras atmósferas o elementos corrosivos. deben ser apiladas en estantes de madera, travesaños o soportes de metal con asientos de madera, de tal manera que no estén en contacto con el suelo.**

**Para varillas empaquetadas deben ser proporcionados estantes o travesaños para ser colocados bajo cada cubierta transversal del paquete, y el paquete debe estar apilado tal que la cubierta transversal esté en alineación vertical (uno directamente encima del otro).**

**Para varillas sin empaquetar deben ser proporcionados, al menos cuatro estantes o travesaños y el extremo del soporte debe estar localizado aproximadamente a un pie de los extremos de las varillas. Las varillas preferiblemente deben estar apiladas con los extremos de los coples nivelados. Las capas de varillas deben de estar separadas por espaciadores de madera colocados directamente arriba de los soporte del estante o travesaño. Los espaciadores deben ser los bastante gruesos para prevenir el contacto de las varillas con capas adyacentes. Si los espaciadores no estan marcados o no tiene topes, las varillas exteriores en cada capa deben ser atoradas con bloques de madera para prevenir que rueden fuera de los espaciadores.**

**Las varillas almacenadas deben ser inspeccionadas en intervalos regulares. Si existe suciedad o residuo de óxido, éste debe ser removido con un cepillo de alambre y se aplicará un revestimiento protector adecuado.**

**Cuando las varillas se regresan para almacenaje después de usarlas, se deberán de limpiar y lubricar las roscas, y cubrirlas con protectores de roscas no dañados. La superficie de la varilla también debe ser cubierta con un revestimiento protector.**

#### **II.1.4.- DISTRIBUCION Y MANEJO EN EL CAMPO.**

Cuando las varillas son tomadas del almacén y cargadas en camiones para su distribución en el campo, las mismas precauciones recomendadas se deben observar en la carga, transporte y descarga.

Cuando las varillas son descargadas en el pozo, no deben colocarse en el piso o tierra, sino en un aparejo móvil o permanente o en un andén de madera transportable. Debe cuidarse que en su posición no sean aplastadas por un camión, ni donde algún equipo pesado pueda ser colocado o caiga sobre ellas. Además debe tomarse cuidado para asegurar que no rueden.

#### **II.1.5.- ARMADO DE LA SARTA.**

Las varillas deben ser atadas en la grúa o mástil, y con especial cuidado para asegurar que no toquen la tierra, la rampa o alguna parte de la grúa o mástil, y también para asegurarse que no sean dañadas al ser transportadas por la grúa.

**Para una máxima eficiencia y para minimizar el riesgo de daño a las varillas, es recomendable que sean colocadas en un colgador adecuado en la grúa o mástil.**

**Elevadores de varillas, ganchos, llaves y otras herramientas tendrán que ser adecuadas para el trabajo, y estar en buenas condiciones. Las herramientas serán inspeccionadas regularmente por uso y otros daños, y serán reparadas o reemplazadas cuando esto las haya dañado. Especial atención se pondrá en elevadores y ganchos para asegurar que se mantengan limpios y libres de parafina, evitando que se resbale la sarta de varillas de succión.**

**A fin de evitar que se trasrosquen las cuerdas de las varillas, habrá que tener cuidado para que el equipo de servicio sea posicionado tal que las varillas, cuando cuelguen libre en el elevador de varillas, sean centradas directamente encima del pozo.**

**Después de quitar el protector de roscas, el piñón de la varilla, la cara de hombro y la rosca del cople, deben ser limpiadas a fondo, cepillando y lavando si es necesario e inspeccionar por si existe daño. Si las varillas fueron ya usadas, las roscas y cara deben ser también inspeccionadas. Coples o varillas con daños, caras o roscas excesivamente dañadas deberán ser descartadas. Alguna muesca, deformación o material ajeno en el hombro o cara del cople puede causar fallas prematuras. Los piñones serán lubricados siempre, después de la limpieza e inspección.**

**Cuando el piñón de la varilla traspasa el cople, la varilla debe caer recta ( sin desviarse), tal que se evite barrer la rosca. Si el trasroscamiento**

**ocurre la junta debe ser aflojada, y observar si hay daño en el pistón y el cople; después de lo cual las roscas serán limpiadas, inspeccionadas y lubricadas.**

**En el apriete o aflojado de las conexiones de varillas con herramientas manuales, es necesario usar herramientas apropiadas para llevar a cabo el trabajo. Por ejemplo, un par de llaves de golpe de suficiente longitud de mango deben ser usadas en el apriete. Tres o cuatro golpes duros dados por un hombre experimentado que maneje llaves para varillas, generalmente proporcionará un torque de apriete suficiente para impedir que la junta falle.**

**Para un mejor resultado de apriete uniforme, el uso de llaves de fuerza para varillas, neumáticas o hidráulicas es recomendable. Con éstas llaves de fuerza, un torque uniforme y un torque mayor estará disponible para tamaños de varillas mas grandes.**

**Para obtener resultados satisfactorios en el apriete de juntas de varillas de succión, la junta debe estar perfectamente limpia, sin daño, bien engrasada, y que tenga un libre enroscado hasta hacer contacto con el hombro, posteriormente es aplicada una precarga a la junta tal que impida la separación de la cara del hombro, durante el bombeo.**

**La condición mecánica de las llaves de fuerza de varillas es mas importante. Es una necesidad absoluta mantener una verificación constante de todas las presiones y la condición mecánica de la llave misma. Ya que resultados completamente erróneos podrían ser obtenidos en el apriete.**

En el aflojado de conexiones, particularmente con llaves manuales, la junta nunca debe ser golpeada con un marro, la misma podrá ser aflojada con la ayuda de barras acopladas, que se usarán si no es aflojada por un procedimiento ordinario.

Cualquier cople golpeado debe ser descartado. Sobre-apriete dado al cople y a la cara del hombro de la varilla, puede estropear la rosca del piñón, o agrietar la superficie.

Los valores de torsión para el apriete (pie-lb) de la siguiente tabla se recomiendan.

**TORQUE DE APRIETE PARA JUNTAS DE VARILLAS DE SUCCION.**

<b>Diametro de varilla,pg.</b>	<b>Para varillas sometidas a esfuerzos de hasta 35000 psi.</b>	<b>Para varillas sometidas a un esfuerzo mayor de 35000 psi.</b>
<b>1/2</b>	<b>110</b>	<b>121</b>
<b>5/8</b>	<b>220</b>	<b>242</b>
<b>3/4</b>	<b>350</b>	<b>385</b>
<b>7/8</b>	<b>520</b>	<b>572</b>
<b>1</b>	<b>800</b>	<b>880</b>
<b>1 1/8</b>	<b>110</b>	<b>1210</b>

**Durante el apricte, la junta debe ser observada para determinar que la carga del cople haga contacto con la cara del hombro, cuando el empalme no sea el correcto, la junta debe ser aflojada, limpiada e inspeccionada para conocer el motivo.**

**Cada vez que las varillas sean sacadas, deben ser cuidadosamente inspeccionadas por daños, antes de volver a meterlas. Las varillas trasrocadas, dobladas o marcadas, están dañadas permanentemente y deben ser descartadas.**

## **II.2.- CONTROL DE CORROSION POR TRATAMIENTO QUIMICO.**

### **II.2.1.- INTRODUCCION.**

**Las siguientes recomendaciones para el control de corrosión de varillas de succión por inhibición química fueron preparadas por el Grupo NACE TASK T-ID-3 para incluirlo en el API RP 11-BR. Ellas se hicieron para sugerir procedimientos de control de corrosión, las cuales normalmente son económicamente deseables. Estas recomendaciones no deben excluir consideraciones de procedimientos menores que los óptimos;**

la vida prolongada del equipo en algunos casos no puede ser económicamente justificable.

La corrosión en varillas de succión que están sujetas a continuas inversiones de carga pueden conducir a serias fallas múltiples en la sarta de varillas.

La vida de las sarts de varillas puede ser extendida significativamente por la eliminación o reducción de hoyos causados por la exposición a medios ambientes corrosivos. Habrá que tener especial atención para minimizar el ataque corrosivo y obtener un servicio mas largo y mejor.

El medio ambiente que corroe a las varillas de succión queda definido en dos partes: a) Fluidos producidos por el pozo y, b) Las condiciones atmosféricas que imperan durante el transporte, almacenamiento y manejo durante el armado de la sarta.

## **II.2.2.- CORROSION ATMOSFERICA.**

**Transportación y Almacenamiento.** Para prevenir los ataques de corrosión en varillas de succión antes de que sean colocadas en servicio, debe ser aplicado un revestimiento protector (aceite soluble) y mantenerlo

**durante la transportación, almacenamiento, y cada vez que sean expuestas al medio ambiente. El recubrimiento debe cubrir totalmente la varilla, para proporcionar protección por un tiempo mínimo de 2 años.**

**El comprador debe inspeccionar las varillas de succión y coples para detectar daños en el revestimiento y ataques corrosivos. También debe hacer inspecciones periódicas mientras que las varillas de succión estén en el almacén. El recubrimiento protector se debe mantener durante el almacenaje.**

**Servicio en el campo. En medios ambientes de corrosión atmosférica severos, las varillas de succión serán protegidas después de sacarlas del pozo durante las operaciones de reparación del pozo. Esto es de una importancia especial en áreas donde el ácido sulfhídrico se produce, aunque el daño puede ser causado por oxidación y no por la acción del ácido sulfhídrico. En algunos casos, es bombeado aceite con una alta concentración de inhibidor de corrosión dentro de la T.P., inmediatamente antes de que las varillas sean bajadas, o las varillas pueden ser recubiertas con una mezcla de aceite e inhibidor de corrosión después de que son colocadas en el área del pozo durante una intervención de reparación o armado de sarta.**

### **II.2.3.- CORROSION EN EL AGUJERO.**

Las fallas en los coples de las varillas de succión ocurren por una combinación de corrosión y fatiga causada por esfuerzos. Debido a que este tipo de fallas normalmente empieza dentro de la junta, es recomendable que los coples sean sumergidos o brochados con una mezcla de aceite soluble o inhibidor de corrosión que forme una película y aceite refinado antes que los coples sean colocados. El uso de demasiada mezcla de inhibidor-aceite en la cavidad del cople puede impedir un torque suficiente. Este tratamiento reducirá las fallas que ocurren en el centro de las roscas del cople. Un apropiado torque para el tamaño de conexión desarrollará una máxima fuerza de sellado en los hombros; esto tenderá a excluir a los fluidos del pozo en las roscas, aunque una acción de succión puede permitir la intrusión de fluidos del pozo, aun cuando los coples sean conectados apropiadamente.

Varillas nuevas deberán ser especialmente protegidas por un inhibidor que desarrollará una película protectora en el metal para cualquier condición en que el recubrimiento sea parcialmente removido. Los métodos de tratamiento se presentan mas adelante y se recomendarán siempre que las varillas sean sacadas.

Estos métodos dependen de las aplicaciones frecuentes de pequeños volúmenes del inhibidor, debe ser precedido por un tratamiento de gran volumen, de diez a veinte galones de inhibidor para proporcionar una película protectora inicial. Cada vez que las varillas sean sacadas el inhibidor debe ser aplicado otra vez, tan pronto como sea posible.

Tratamientos subsecuentes con pequeños volúmenes de inhibidor para reparar la película, deben continuar rutinariamente. Estas medidas proporcionarán una protección adecuada, tratarán algunas varillas nuevas o usadas, cajas, bomba o partes de la bomba no tratadas previamente y reparará algún daño a la película para el control de corrosión, el cual posiblemente ocurrió durante las operaciones de sacada y armado de la sarta.

Los operadores de campo abogan por un tratamiento antes del mantenimiento y los costos del reemplazo llegan a ser apreciables, creen que la inhibición de corrosión puede ser justificada inmediatamente en la instalación siguiente para extender la vida de las varillas de succión. Estos operadores demandan una adecuada medida de control de corrosión el cual pueda incrementar el número de inversiones de carga antes de la falla.

## **II.2.4.- TRATAMIENTO**

Hay varios métodos de inhibición de corrosión de varillas de succión que a continuación son clasificados y discutidos. La selección de un método particular debe estar basada en la economía de la aplicación específica.

### **II.2.4.1.- TRATAMIENTO CONTINUO.**

Una bomba de alimentación química descargando en el espacio anular de la T.R., puede entregar el inhibidor de corrosión a una dosificación de 25 a 50 ppm (0.42 a 0.84 cuartos de de barril por cada 100 barriles) generalmente, o la dosificación equivalente puede ser mezclada con un disolvente adecuado e inyectado. Baches adicionales se harán semanalmente o mas a menudo, se puede usar también en forma constante.

### **II.2.4.2.- TRATAMIENTO POR CIRCULACION**

La adición química seguida por un tiempo corto de circulación se puede usar para tratar pozos con nivel bajo de fluido. La circulación en este medio de aplicación consiste en desviar los fluidos del pozo de la línea de flujo a el espacio anular de la T.P. y T.R. Seis métodos de tratamiento usando circulación se hace como sigue:

a) Tratamiento discontinuo de baja concentración de inhibidor. Uno a diez galones de inhibidor de corrosión líquido, son vertidos en el espacio anular de la T.R., y se circula para desplazar el volumen de fluido en el espacio anular a un punto entre el nivel de fluido bombeado y la entrada de la bomba. Este método está más o menos limitado a pozos de bajo nivel de

fluido, porque solamente un tiempo corto de circulación es requerido. La frecuencia del tratamiento variará de diario a mensualmente, para más aplicaciones en un promedio semanal.

Premojando la T.R. y T.P. por inundación del espacio anular con fluido del pozo antes de que el inhibidor sea introducido se puede requerir para asegurar que el inhibidor alcance el nivel del fluido sino también para asegurar adherencia del inhibidor al acero, arriba del nivel. La siguiente precaución debe ser ejercida: El recipiente químico no debe permitir la entrada de aire durante la circulación.

b) Tratamiento discontinuo de pequeños baches de inhibidor diluido. Un inhibidor de corrosión líquido soluble en agua se mezcla con la salmuera producida y se llena el espacio anular o la mezcla puede ser circulada como en el tratamiento discontinuo de baja concentración. Este método de diluidos tiene aplicación en pozos de alto nivel de fluido, porque el tiempo de circulación puede ser reducido desde que la mezcla de inhibidor tienda a caer a través de la columna de aceite. La frecuencia es similar a el tratamiento donde el inhibidor no es diluido (inciso a).

c) Circular y depositar. La adición de químicos seguida por la circulación con el retorno del inhibidor al espacio anular (para permitir el re-uso de la mayor parte del inhibidor) puede ser usada en pozos donde se tiene un nivel de 100 pies de fluido arriba de la bomba en el espacio anular. Un tambor de inhibidor de corrosión líquido, soluble en aceite es inyectado en el espacio anular de la T.R. y el pozo se circula hasta que el inhibidor regresa a la superficie. El inhibidor que retornó se inyecta otra vez a el espacio anular seguido por un pequeño bache (simplicemente para continuar la circulación por un rato) y es dejado en el espacio anular hasta

**el próximo tratamiento. La frecuencia del tratamiento variará de mensual a trimestralmente.**

**d) Tratamiento discontinuo para un periodo prolongado. La adición de químicos seguido de una circulación para poner un bache de inhibidor a través de la columna de aceite, también puede ser usado para tratar pozos con alto nivel de fluido. Medio tambor de inhibidor se inyecta en el espacio anular y se circula en el pozo para desplazar el inhibidor cerca de medio camino a través de la columna de aceite del espacio anular. Este método es útil en pozos con niveles altos de fluido (arbitrariamente puesto encima de los 200 pies arriba de la bomba). Estos tratamientos son hechos mensual o trimestralmente de acuerdo a las características del fluido producido.**

**e) Camiones con bombas tratadoras. Camiones con bombas tratadoras pueden ser utilizados para realizar mucho más tratamientos y asegurar aplicaciones frecuentes, así como la reducción de carga de trabajo del operador, y para simplificar los requerimientos de los equipos. La circulación después del tratamiento no es generalmente parte del servicio.**

**f) Tratamiento automatizado. Mucha de las veces se llegan a realizar trabajos a los pozos, como por ejemplo pruebas de producción, etc., a este tipo de trabajos se les puede asociar los tratamientos necesarios para la colocación de inhibidores de corrosión.**

### **II.2.4.3.- DESPLAZAMIENTO DEL INHIBIDOR Y METODOS DE INYECCION A FORMACION.**

Tratamientos de duración mas largos y altamente efectivos se puede lograr metiendo mezclas de quimicos en las formaciones productoras. Las siguientes precauciones deben ser tomadas. Si un pozo está terminado con el espacio anular aislado de la zona productora por un empacador, la bomba subsuperficial debe ser quitada para llevar a cabo la técnica de meter la mezcla. Diferentes tratamientos pueden realizarse a través del espacio anular.

### **II.2.4.4.- COLOCACION DEL INHIBIDOR EN LA FORMACION.**

Un volumen grande de inhibidor mezclado con crudo o diesel se desplaza o inyecta en la formación donde el material es adsorbido por la roca del yacimiento y desadsorbido otra vez en un periodo largo para mantener la película protectora. La relación del inhibidor para diluirse es generalmente de 1:10 hasta 1:20. Algunos operadores creen que el bache inicial debe ser aproximadamente 3 veces la cantidad del tratamiento subsecuente para satisfacer a algunas arcillas en la formación que permanentemente retienen una porción del inhibidor. En la ausencia de datos de núcleos de las rocas almacenadoras , algunos operadores inician a

meter 3 tambores de inhibidor y usan un tambor para tratamientos subsecuentes. Incluso tratamientos al doble de esto han sido usados. Un bache de tres a cinco veces el volumen de la solución del inhibidor debe seguir y posteriormente desplazado en la formación. El inhibidor usado no debe causar taponamiento en muestras de núcleo o hinchamiento de arcillas susceptibles, presente en formaciones del tipo de las areniscas. Las formaciones de rocas calizas poseen diferentes características de adsorción y desadsorción que las areniscas y se requiere que los procedimientos del tratamiento sean modificados. El periodo de protección es menor que el esperado normalmente con este método. Los tratamientos de colocación de la mezcla en la formación han dado buena protección a todos los aceros que tienen una película original por medio de este tratamiento, desde tres hasta más de nueve meses.

#### **II.2.4.5.- DESPLAZAMIENTO DEL INHIBIDOR EN T.P. Y T.R. DESCUBIERTA.**

Los tratamientos pueden ser hechos metiendo las mezclas químicas a la formación. Los resultados pueden aproximarse a los del inciso anterior, si el químico apropiado para este tipo de tratamiento es usado. Un volumen mas grande de inhibidor se mezcla con aceite crudo o diesel y se desplaza en el pozo a través de las perforaciones. Para que sea posible que la mezcla del inhibidor entre a la formación, el inhibidor seleccionado no debe ser perjudicial a la formación. Aproximadamente un tambor de inhibidor se mezcla con 10 a 20 barriles de diluyente, y esta mezcla se desplaza con cualquiera de los dos, aceite crudo o diesel. En pozos con

**baja presión de formación, puede ser posible desplazar el fluido inhibido por medio de un flujo contrario al tanque de almacenamiento.**

#### **II.2.4.6.- CONSIDERACIONES ESPECIALES.**

**Hay consideraciones especiales aplicables al método de colocación del bache en la formación y al método de desplazamiento. Los métodos de colocación de la mezcla en la formación y al de desplazamiento, protegen todo el acero encontrado durante el trayecto, incluyendo aquel que está por debajo de la entrada de la bomba. Estos métodos pueden controlar la corrosión a la que está expuesta la T.R. mejor que los métodos de circulación o continuos, los cuales regularmente no hacen el tratamiento por debajo de la bomba. Si el pozo es bombeado a un gasto alto, la T.R. expuesta puede no ser protegida adecuadamente. A la inversa, los métodos de colocación de la mezcla en la formación y de desplazamiento no tratarán el exterior de la T.P. y el interior de la T.R. encima de la bomba, a menos que el tratamiento sea hecho por el espacio anular. Si estas áreas necesitan protección, la consideración debe ser dada para usar ambos tipos de tratamientos.**

## **II.2.5.- EVALUACION DE PROGRAMAS DE INHIBICION.**

La experiencia en el uso de inhibidores para un campo dado, pueden ser usadas para determinar la necesidad del tratamiento, y para ajustar las cantidades de inhibidor y frecuencia de los tratamientos en campos semejantes.

El costo económico del tratamiento será alto, sin embargo para un tratamiento efectivo o incluso para algunos sobre-tratamientos los cuales deben ser un excelente seguro contra fallas, pérdidas de producción e innecesarios costos de sacada de varillas del pozo.

Un estudio económico se debe realizar, para determinar si es factible cumplir rigurosamente con las siguientes recomendaciones:

- a) Comenzar con sarta de varillas nuevas sin defectos.
- b) Conservar la sarta de varillas libre de óxido antes de usarlas, (que no tengan corrosión atmosférica).
- c) Tratar efectivamente la sarta de varillas una vez hecha la instalación por el mejor medio, tal como se describe en el inciso II.2., si la sarta es puesta en un pozo que produce fluidos corrosivos.

**d) Tratar preventivamente la sarta si la producción es considerada regularmente corrosiva.**

**e) Un tratamiento continuo y ajustado como se necesite para contrarrestar algún incremento en la producción de la corrosividad.**

**Si se toman medidas para controlar la corrosión no deberán ocurrir fallas excepto por defectos de fabricación no detectados. Si las varillas están libres de trastornos, la vida de la sarta se prolongará al protegerla completamente como se sugiere, y se disminuye el costo del mantenimiento al llevar un programa adecuado.**

**Métodos indirectos de "temprano aviso" son también útiles. Velocidades instantáneas de corrosión pueden ser medidas, y los resultados pueden ser usados para determinar la necesidad y la eficiencia de un programa de control de corrosión. Instrumentos pueden ser usados para medir los cambios en la resistencia eléctrica y polarización de sondas instaladas en las líneas de flujo. Es preferible usar métodos que proporcionan una información directa para obtener datos.**

**Fallas en las sargas de varillas de succión se atribuyen generalmente al uso y fatiga, considerando a la corrosión como un acelerador de la falla. Aunque una reducción en el mantenimiento y un correspondiente incremento en la vida de servicio son la última medida de sucesos junto con un programa de inhibición. Es deseable evaluar continuamente la eficiencia aparente del programa de tratamiento. Los métodos usados generalmente para esta evaluación incluyen inspección visual, pérdida de**

**peso de cupones por corrosión, análisis del contenido de hierro de fluidos producidos , y pruebas de desplazamiento de ion-cobre.**

**La inspección visual es la técnica de evaluación provisional más segura, pero este método generalmente no puede ser económicamente aplicable en intervalos regulares. Reporte de bombas reparadas (como otros registros de servicios de equipo) reflejan a menudo el comienzo de la corrosión antes que el daño a la varilla llegue a ser aparente. Con esto se puede estar a tiempo para prevenir un daño irreparable por corrosión el cual puede estar bien avanzado antes que la advertencia sea dada por la primera falla en la varilla.**

**Las otras técnicas de evaluación permiten evaluar por encima de periodos cortos. Son válidas solamente para el periodo cubierto y no representa efectos acumulativos en muchos casos. Métodos de prueba por análisis del contenido de hierro, exposición de cupones, y desplazamiento del ion-cobre también han sido discutidos por varios autores.**

### **II.3.- DETERMINACION DEL ESFUERZO PERMISIBLE DE VARILLAS DE SUCCION UTILIZANDO RANGOS DE ESFUERZOS.**

**En la determinación del rango permisible de esfuerzos y el esfuerzo permisible de varillas de succión para una sarta, se recomienda el uso del**

**Diagrama Modificado de Goodman, mostrado en la Fig. II.1. Este da la estimación básica que puede ser usada donde la corrosión no es predominante, ya que todos los fluidos del pozo son corrosivos en algún grado, si no son inhibidos al 100%, y ya que la corrosividad de los fluidos del pozo varía grandemente, es de extrema importancia que el valor de esfuerzos determinado de este diagrama sea ajustado por un factor de servicio apropiado, basado en la severidad de la corrosión. Este factor de servicio debe ser seleccionado por cada usuario como su experiencia lo indique. Puede ser más grande que la unidad, sin embargo normalmente será menor de uno, variando inversamente con la severidad de la corrosión.**

**En la aplicación de esta gráfica, se pueden obtener varios diagramas o gráficas, uno para cada valor de resistencia a la tensión mínimo y para cada grado y diámetro de varilla.**

**Alternativamente, el valor deseado puede ser obtenido por el uso de una de las fórmulas mostradas en la fig. II.1.**

**Ejemplo.- Suponiendo una sarta de varillas de grado C API con una resistencia a la tensión mínima de 90,000 psi está siendo usada y que un esfuerzo en la carrera descendente mínimo de 15,000 psi ha sido medido o calculado. ¿En qué esfuerzo pico de la varilla pulida podemos operar esta sarta en un medio no corrosivo?**

**Refiriéndonos a la fig. II.1., fórmula 2,**

$$S_a = (0.25T + 0.5625 S_{min.})$$

$$S_n = (90,000 \times 0.25 + 15,000 \times 0.5625)$$

$$S_n = 30,938 \text{ psi (no corrosivo)}$$

Convirtiendo a carga para diferentes diámetros de cimas de varillas, esto debe ser:

$$5/8'' \quad 30,938 \times 0.307 = 9,498 \text{ lbs}$$

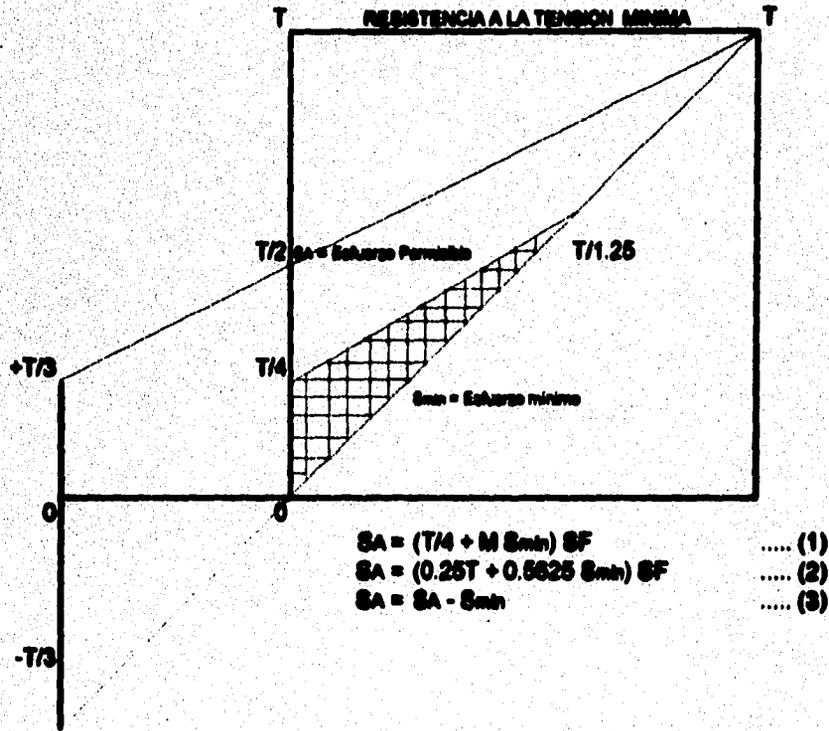
$$3/4'' \quad 30,938 \times 0.442 = 13,675 \text{ lbs}$$

$$7/8'' \quad 30,938 \times 0.601 = 18,594 \text{ lbs}$$

$$1'' \quad 30,938 \times 0.785 = 24,286 \text{ lbs}$$

Estos valores deben ser ajustados por un valor de servicio apropiado.

**FIG. B.1. DIAGRAMA MODIFICADO DE GOODMAN PARA RANGOS Y ESFUERZOS PERMISIBLES PARA VARILLAS DE SUCCION DE SERVICIO NO CORROSIVO.**



donde:

- SA = Esfuerzo disponible máximo, psi.**
- SA = Rango de esfuerzos permisibles máximo, psi.**
- M = Pendiente de SA = 0.5625**
- Smin = Esfuerzo mínimo, psi. (calculado o medido).**
- SF = Factor de servicio.**
- T = Resistencia a la Tensión mínima, psi.**

Para las varillas de succión grado C, el esfuerzo máximo permisible está dado por la relación:

$$S_a = (T/4 + M S_{\min}) SF$$

$$S_a = (90,000/4 + 0.5625 S_{\min}) SF$$

$$S_a = (22,500 + 0.5625 S_{\min}) SF$$

Las varillas de succión API grado D, la relación es:

$$S_a = (T/4 + M S_{\min}) SF$$

$$S_a = (115,000/4 + 0.5625 S_{\min}) SF$$

$$S_a = (28,750 + 0.5625 S_{\min}) SF$$

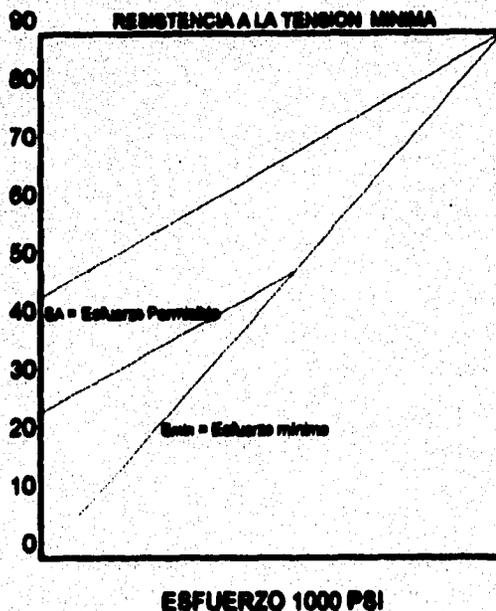
SF = Factor de servicio, ver la siguiente tabla.

#### FACTOR DE SERVICIO

<u>Servicio</u>	<u>APIC</u>	<u>APLD</u>
No corrosivo	1.00	1.00
Agua Salada	0.65	0.90
Acido Sulhídrico	0.50	0.70

**FIG. B.2. DIAGRAMA MODIFICADO DE GOODMAN PARA RANGOS Y ESFUERZOS PERMISIBLES PARA VARILLAS DE SUCCION API GRADO "C".**

**FACTOR DE SERVICIO = 1.9**

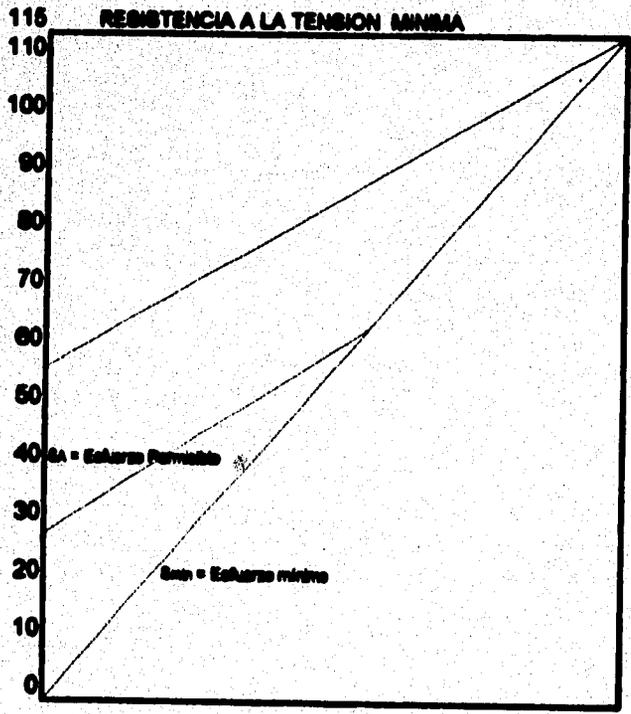


$$SA = (22500 + 0.5625 S_{min}) SF$$

donde:

- SA = Esfuerzo disponible máximo, psi.
- SA = Rango de esfuerzos permisible máximo, psi.
- M = Pendiente de SA = 0.5625
- S<sub>min</sub> = Esfuerzo mínimo, psi. (calculado o medido).
- SF = Factor de servicio.
- T = Resistencia a la Tensión mínima, psi.

**FIG. B.3. DIAGRAMA MODIFICADO DE GOODMAN PARA RANGOS Y ESFUERZOS PERMISIBLES PARA VARILLAS DE SUCCION API GRADO "D".**  
**FACTOR DE SERVICIO = 1.8**



**ESFUERZO 1000 PSI.**

$$S_A = (28750 + 0.5625 S_{min}) SF$$

## **II.4.- DIFERENTES TIPOS DE VARILLAS DE SUCCION.**

### **II.4.1.- VARILLAS DE SUCCION HUECAS.**

Un tipo de varillas de succion huecas han sido desarrolladas principalmente para que se puedan inyectar varios tipos de fluido por medio del centro de estas varillas, para tal propósito como; tratamientos a parafinas, tratamientos de inhibidores químicos, e inyección de diluyentes para crudos pesados.

Estas varillas actualmente se fabrican en dos diámetros: 7/8" D.E. por 3/8" D.I. con 1 3/16" diámetro del pistón, o 1" D.E. por 1/2" D.I. con 1 3/16" diámetro del pistón.

Los pesos netos están íntimamente relacionados en el caso anterior a varillas sólidas de 3/4", y en el caso posterior a varillas solidas de 7/8". Las limitaciones de carga son prácticamente las mismas que las varillas de succión sólidas de 3/4".

Otro tipo de varillas huecas han sido desarrolladas para producir relativamente grandes cantidades de fluidos a través del centro de éstas. Estas varillas están hechas como tuberías normales sin costura para varillas

**de succión con piñón y hombro integrado herméticamente al final de cada una.**

**Estas son fabricadas comunmente en dos diámetros: 1.05" D.E. por 3/4" D.I. con 1 3/16" del diámetro del piñón, y 1.315" D.E. por 1" D.I. con 1 3/8" diámetro del piñón. Las limitaciones de carga de las varillas huecas de 3/4" y 1" D.I. son equivalentes a las varillas de succión sólidas de 5/8" y 3/4" respectivamente.**

## **II.4.2.- VARILLAS DE SUCCION DE 1/2" DE DIAMETRO.**

**La fabricación de varillas de succión con 1/2" de diámetro se presentan con 25 pies de longitud, con un diámetro exterior del cople de 1". Estas varillas fueron desarrolladas para terminar de bombear donde se han colocado tuberías de producción de 1 1/4" y abarcando una o varias zonas terminadas. Estas varillas son diseñadas para extraer cantidades limitadas de fluidos en profundidades someras.**

## **II.4.3.- UNIONES GUIA DE VARILLAS CON RUEDAS.**

### **VENTAJAS:**

- Las ruedas centralizan la sarta de varillas y reduce la fricción durante la carrera.
- Reduce el desgaste en las varillas de succión y en T.P.
- Permite que la sarta de varillas "caiga" más rápidamente.
- Reduce la carga de varillas.
- Reduce los requerimientos de energía del equipo.
- Elimina el "frotamiento" del interior de la T.P.
- Se recuperan rápidamente los costos.
- Las ruedas son reemplazables en el campo.

**- Elimina la necesidad de algún otro dispositivo de unión.**

**- Se puede instalar en pozos con profundidades de hasta 10,000 pies.**

**Las uniones guía de varillas con ruedas han sido aplicadas acertadamente desde 1982.**

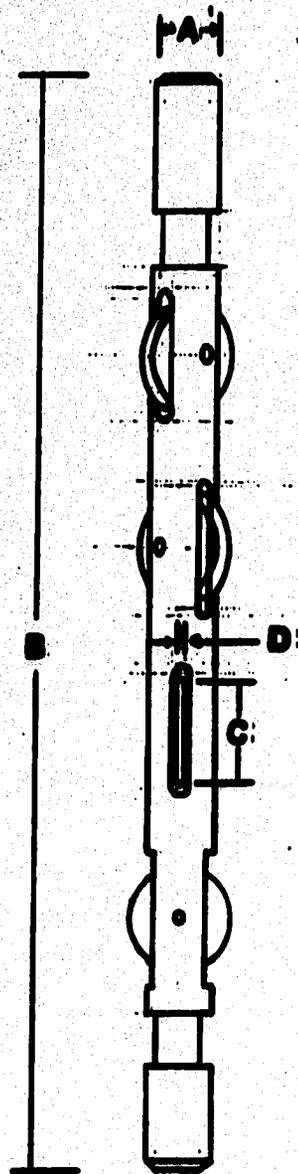
**Las uniones guía de varillas con ruedas reducen el desgaste y prolongan la vida de las varillas de succión y la T.P.**

**Estas centralizan la sarta de varillas en la T.P. y la acción de rodamiento de las ruedas en el interior de las paredes de la T.P. durante la carrera reduce la fricción y desgaste causado por el rozamiento o frotamiento de las varillas en la T.P.**

**Con un apropiado uso de las uniones guía de varillas con ruedas y efectivos programas de tratamientos químicos, varios operadores han prolongado un promedio de 4 veces más los periodos de mantenimiento a los pozos por causa del desgaste de las varillas de succión o de la T.P.**

**A mitad del año de 1984, quince de las veinte compañías petroleras más grandes del mundo han usado uniones guías de varillas con ruedas, una de las cuales llegó a utilizar arriba de 3,000.**

**FIG. N.4. UNION GUA DE VARILLAS CON RUEDAS**



**Los ángulos de las ruedas están diseñados para centrar la sarta de varillas en la T.P.**

Las ruedas se colocan verticalmente y en ángulos de 45 grados una con otra, a lo largo del eje del cuerpo de la guía-cople. Este diseño asegura que la sarta quede centrada en todos los coples de la varilla donde las uniones guía de varillas con ruedas se instalaron.

**La acción de rodamiento de las ruedas reduce la fricción, la carga de varillas y el desgaste.**

La instalación de las ruedas a través de las ranuras en el cuerpo de la guía-cople asegura que las ruedas rodarán suavemente en contacto con las paredes de la T.P. La acción de rodamiento de las ruedas en el interior de las paredes de la T.P. produce significativamente menos fricción, y menos desgaste, que hace que la sarta de varillas se roce o frote directamente contra las paredes de la T.P.

**El diseño de la instalación de las ruedas asegura una acción de rodamiento suave y de fácil reposición.**

Las ruedas se colocan en muñones de acero inoxidable y de rodillos con cabeza de alfiler para asegurar una acción de rodamiento suave. Ellas son fácilmente reemplazables en el campo con sólo un martillo y un punzón.

### **II.4.3.1.- APLICACIONES Y ESPECIFICACIONES.**

**Los coples guías deben ser instalados:**

- **En las primeras 2 o 3 varillas arriba de la bomba subsuperficial.**
- **Intermitentemente a lo largo de la sarta de varillas donde el desgaste se notó en dichas varillas o en la T.P.**
- **Donde se conoce la desviación del agujero.**
- **En las primeras 2 o 3 varillas abajo del estopero.**

## II.4.3.2.- APLICACIONES Y DIMENSIONES PARA LAS VARILLAS CON RUEDAS.

Modelo No. y Aplicaciones (1)	Máxima carga de Varillas (2)	Dimensiones			Peso
		A"	B"	C"	
20580 5/8" Varilla 2 3/8" T.P.	12,366	1.50	27	1.80	10 lbs
20340 3/4" Varilla 2 3/8" T.P.	19,600	1.50	27	1.80	10 lbs
25580 5/8" Varilla 2 7/8" T.P.	12,366	1.50	27	2.25	10 lbs 2 ozs.
25340 3/4" Varilla 2 7/8" T.P.	19,600	1.50	27	2.25	10 lbs 8 ozs.
25780 7/8" Varilla 2 7/8" T.P.	22,400	1.625	27	2.25	11 lbs 5 ozs.
30340 3/4" Varilla 3 1/2" T.P.	19,600	1.50	31	2.75	12 lbs 6 ozs.
30780 7/8" Varilla 3 1/2" T.P.	22,400	1.625	31	2.75	15 lbs
30100 1" Varilla 3 1/2" T.P.	35,000	2.0	31	2.75	19 lbs

**(1) Precaución con la temperatura.**

Los modelos normales son para aplicaciones en temperaturas de pozos hasta 175 grados F; (capacidades con ruedas de polietileno). Para servicio en temperaturas más altas, se verá más adelante.

**(2) Precaución con la carga de varillas.**

Los modelos normales están diseñados para aplicarse dentro este listado de Límites de Carga de Varillas. Para aplicaciones excediendo estos límites es necesario consultar con el fabricante.

**II.4.3.3.- MATERIALES DE CONSTRUCCION.**

**Cuerpos del cople-guía.**

Los cuerpos normales del cople-guía son maquinados de acero rollado al calor de 78,000 lbs. de esfuerzo de tensión.

### **Ruedas y rodillos con cabeza de alfiler.**

La rueda se coloca en muñones de acero inoxidable y rodillos con cabeza de alfiler. Las ruedas normales para aplicaciones hasta 175 grados F están hechas de polietileno.

### **Metales especiales.**

Existen metales especiales que se encuentran disponibles para cuando se tiene un esfuerzo extra y/o corrosión.

### **Ruedas especiales.**

Las ruedas blancas de polietileno UHMW son buenas para temperatura hasta 175 grados F. El azul o negro Nylon es bueno para temperaturas hasta 350 grados F, y el café Ryton es bueno para temperaturas hasta 450 grados F. Hay que considerar también la presión del agujero. Si por ejemplo, la temperatura del pozo no está arriba de 140 grados F, pero el pozo tiene mas de 5,000 pies, las ruedas de Nylon son recomendables para compensar la presión adicional.

Si se trabaja en condiciones corrosivas, se usará el cuerpo de la guía de varillas niquelado. Esto extiende la vida del cuerpo muy por arriba de un acero sin recubrir.

Otra característica de este sistema es que puede correrse existiendo parafina. Las ruedas de polietileno UHMW tienen un muy bajo coeficiente de fricción y la parafina generalmente no impedirá el rodamiento de las ruedas. En el probable caso que las ruedas no giren, el resultado será un material muy suave y flexible que frotará las paredes de la T.P. y un lado de la rueda se desgastará completamente evitando el desgaste de las paredes de la T.P.

Si una rueda se rompe, subirá a la superficie con el fluido. La rueda normal tiene una gravedad específica de 0.94. Una rueda no puede caer fuera de la ranura aun si un rodillo se quita o se rompe porque no hay bastante espacio libre entre el cuerpo de la guía de varillas y la pared de la T.P.

### **III. FALLAS EN LAS VARILLAS DE SUCCION.**

**Muchas fallas en las varillas de succión de un pozo dado resultan de un mismo problema, originando que estas fallas se repitan.**

**Simplemente, extraer la sarta, reemplazar las varillas dañadas, e introducir la sarta no arregla el problema. Si esto se practica, las fallas ocurrirán con frecuencia.**

**El camino para corregir, es comprender la causa del rompimiento y tomar una acción que remedie este problema. El momento propicio para hacer esta corrección, es cuando las varillas están fuera del agujero durante el primer trabajo de mantenimiento.**

**Muchas compañías exigen ahora un reporte de cada varilla que falla en algunos de los equipos de operación. Estos reportes proporcionan una gran información cuando son exactos, por lo que el reporte puede adquirir la habilidad necesaria para determinar la causa de la varilla rota. Todas las roturas dejan evidencias reveladoras sobre la causa por la que fallaron, generalmente en una manera directa.**

**Si una sarta de varillas de succión es apropiadamente diseñada, manejada, instalada y operada libre de corrosión y deterioro, no fallará mientras se encuentre dentro de su límite de resistencia a la fatiga.**

**El límite de la resistencia a la fatiga de una varilla de succión, es el nivel de esfuerzo máximo abajo del cual el metal resistirá un número infinito de inversiones de esfuerzos sin fallar. Estudios y pruebas han establecido, como mínimo 10 millones de carreras de esfuerzos para la resistencia a la fatiga. Esto significa que una sarta de varillas operando con estas condiciones no dará menos de 23 meses de servicio libre de falla y posiblemente mucho más.**

**Las experiencias de campo nos dicen que pocas sartas de varillas de succión tienen tal récord de servicio libre de fallas. Esto indica que la sarta de varillas tiene muchos enemigos en el servicio, incluyendo; corrosión, erosión y deterioro, daños en el manejo, y el rango de cargas. Estos, trabajando individualmente o en combinación producen aumento de esfuerzos los cuales causan que falle la varilla de succión. Un esfuerzo elevado es algo que reduce el área efectiva de la sección transversal de la varillas de succión o del cople.**

### **III.1. CORROSION.**

**La corrosión es un atacante destructivo en un metal, por medio de una reacción química o electroquímica. Los tipos de corrosión encontrados en el fondo del pozo son:**

### **III.1.1. CORROSION AMARGA POR ACIDO SULFHIDRICO.**

La corrosión por ácido sulfhídrico es muy severa y aparece en cerca del 40% de todos los pozos de aceite de los Estados Unidos. Se reconoce por el olor a huevo podrido y por la escama negra hierro-sulfuro formada en el metal. El ataque del ácido sulfhídrico generalmente se presenta como hoyos lisos con grietas ocultas. La grieta es debido a la concentración de esfuerzos en la raíz de los agujeros y el metal se vuelve quebradizo debido a la liberación del gas hidrógeno en el proceso de corrosión.

### **III.1.2. CORROSION DULCE POR BIOXIDO DE CARBONO.**

La corrosión dulce es causada por la presencia del bióxido de carbono el cual combinado con la humedad forma el ácido carbónico. El ácido combinado con el hierro forma el carbonato de hierro. El carbonato de hierro es una escama negra y dura la cual se adhiere firmemente a la superficie del metal. Esta escama crea una acción de corrosión por medio de una celda galvánica desde el hierro a la escama. El agujero es agudo y profundo, y algunas veces los agujeros están conectados para dar una apariencia de "gusano" o ranuras.

### **III.1.3. CORROSION POR OXIGENO.**

La corrosión por oxígeno es el tipo más común de corrosión en los campos de aceite. El oxígeno tiene afinidad con el hierro y se combina fácilmente con este para formar el óxido de hierro u óxido. Si el oxígeno se suministra continuamente a la superficie del acero, la oxidación continuará hasta que todo el acero presente este convertido en óxido. La velocidad depende de la temperatura, erosión, corrosión, películas presentes en la superficie del metal, y a la presencia de un electrolito. El factor más importante es la presencia de agua. La corrosión por oxígeno es causada normalmente por la entrada de aire a través del espacio anular de la T.R. y posteriormente entra a la columna de fluido. En muchos casos, el oxígeno libre será consumido en el proceso de corrosión antes de llegar a la cima de la tubería y varillas. Tal que el efecto de corrosión por oxígeno es normalmente en la T.R., T.P., bomba, y en la sección más baja de la sarta de varillas. Esta corrosión es reconocida por la profundidad uniforme de los agujeros.

### **III.1.4. SULFITO-REDUCTOR DE BACTERIAS.**

Debido a las operaciones de invasión y/o inyección de agua, muchos pozos están siendo contaminados con Sulfito-Reductor de bacterias. Estas bacterias anaeróbicas viven y son activas en la ausencia de oxígeno libre.

No corroen directamente al acero pero en una parte del proceso de su vida, cambian los iones sulfato en el agua por iones sulfuro, los cuales combinados con el hidrógeno forman celdas de corrosión producidas por el sulfuro de hidrógeno. El sulfuro de hidrógeno, entonces corroe el metal.

### **III.1.5. CORROSION GALVANICA O ELECTROLISIS.**

La electrólisis es causada por el flujo de una corriente eléctrica de un metal a otro. Puede haber varias fuentes de esta corriente destructiva. Por ejemplo, puede ser generada por el efecto galvánico entre la superficie y el equipo superficial o pueden ser corrientes grabadas por líneas cercanas. Este tipo de corrosión puede muy rápidamente causar daño severo en la sarta de varillas de succión. Algún dispositivo usado para el flujo de corriente por consiguiente, frenará la formación de agujeros.

### **III.2. EROSION, DESGASTE Y ROZADURAS.**

La remoción física del metal de las varillas de succión o del cople es llamada erosión, desgaste o rozadura.

### **III.2.1. EROSION.**

La erosión es mecánica en la naturaleza y puede ser causada por el flujo turbulento de fluidos encima de la superficie del metal. La turbulencia se produce por la velocidad del fluido, donde las cavidades se producen por la formación y repentino colapsamiento de las burbujas de gas. El fluido guiado a el vacío de este repentino colapsamiento de la burbuja ejerce una acción de golpeteo, el cual tiende a desgastar ligeramente el metal. También remueve la película protectora con la cual se expone al metal a otros tipos de corrosión. Los fluidos transportan sólidos tales como sales y arena, que también golpean al metal causando erosión. Una combinación de estos 3 tipos de acción hace más difícil la protección de las varillas de succión.

### **III.2.2. DESGASTE.**

El desgaste es el resultado del roce de dos superficies metálicas, bajo carga. El propósito de la lubricación es separar las dos superficies, pero la extrema presión puede causar que el lubricante sea expulsado fuera de entre las dos superficies, permitiendo el desgaste.

### **III.2.3. ROZADURA.**

La rozadura es una acción muy rápida y severa de desgaste en donde grandes secciones de metal son ligeramente desgarradas. La acción básica es la misma como la descrita para el desgaste.

### **III.3. DAÑO EN EL MANEJO.**

Se debe hacer lo todo lo posible para prevenir daños en el manejo, lo cual causa un aumento en las fallas al ser sometidas las varillas a un esfuerzo. Un manejo apropiado impedirá que las varillas fallen prematuramente.

Tales cosas como roscas dañadas, curvas, hendiduras, abolladuras, huellas de martilleo y elevador dañado, resultará en un área de sección transversal menos para soportar la carga aplicada.

### **III.3.1. CURVAS.**

Una varilla de succión curvada está dañada permanentemente y debe ser descartada. Si tal varilla es colocada en servicio se romperá. Una varilla de succión nueva se enderezará a no más de 1/32 de desviación de una recta de 5 pies.

Algún grado de curvatura incrementa el esfuerzo en el área cóncava de la varilla dentro de la curva. Cuando la barra de varillas se tuerce, el último esfuerzo sobre esta superficie del material se alcanza rápidamente, y las grietas por fatiga aparecen. Repetidas curvas o dobleces de la sección torcida causan el crecimiento de grietas y ocasionan que las varillas fallen.

### **III.3.2. HENDIDURAS, ABOLLADURAS Y HUELLAS DE MARTILLO.**

Hendiduras, abolladuras y martilleo en las varillas de succión y coples pueden causar también fallas. Todas las varillas de succión tienen una suave decarburización de piel de 0.005 a 0.008 pg. de espesor. Esta piel consiste de acero de bajo carbón o hierro y es una protección definitiva contra la corrosión y lo quebradizo debido a la presencia de hidrógeno. Arrojar herramientas hacia el montón de varillas, o pasar sobre

las varillas varias veces puede cortar fácilmente esta suave piel tal que la base del metal quede expuesta. La corrosión entonces puede atacar la varilla en este punto y generar un hoyo el cual se convertirá en un marcado esfuerzo.

### **III.3.3. DAÑO CON ELEVADOR.**

Las varillas pueden ser dañadas severamente con los elevadores de varilla. Atrapando la varilla en el elevador con demasiada fuerza puede producir el mismo efecto que el martilleo en la varilla y cortar o desgastar la piel decarburizada. También es muy fácil de hacer curvas con el elevador en las varillas de succión. Cuando el elevador soporta la carga de la sarta de varillas, la carga al gancho curvará la varilla de succión si la línea centro de la varilla de succión no coincide con la línea centro del muñon del elevador. Un asiento gastado del elevador puede producir esta condición.

Un servicio prolongado del asiento del elevador llevará a un desgaste tal que este sea un óvalo, en lugar de ser redondo. Este se desarrolla porque en el instante del impacto de asentamiento, la varilla de succión es lanzada hacia adelante de la abertura en el asiento del elevador. Este desgaste acelerado es en la mitad delantera del asiento adyacente a la abertura. Conforme el óvalo crece el círculo tangencial del diámetro exterior del cople de la varilla a la cara del asiento se baja a la mitad

**delantera del asiento del elevador. Este nuevo círculo no es perpendicular a el gancho-carga.**

**Cuando el desgaste ha formado suficientemente el asiento del elevador, cada varilla de succión atrapada es inclinada y torcida por el gancho-carga. También como el asiento del elevador está desgastado, la posición del asentamiento de la varilla de succión se mueve hacia adelante de la línea central del muñon.**

**Esto causa una desviación en el gancho-carga e inclinación en el cuerpo del elevador hacia adelante. Esta acción de inclinación, está compuesta por el momento de curvatura en la varilla de succión ya generado por la deformación del asiento del elevador. Esta curvatura causará un rompimiento debido al esfuerzo-fatiga en el cuerpo de la varilla justamente abajo del cople de la varilla, con una distancia igual al espesor del cuerpo del elevador.**

**INSPECCION Y TAMAÑO. Los elevadores de varillas de succión deben ser inspeccionados antes de cada trabajo. Deben ser reparados o reemplazados si el desgaste causa desalineamiento de la varilla de succión cuando se asiente en el elevador.**

**CARGA INFERIOR. La cresta del cople de la varilla de succión debe estar encima de la cima del elevador.**

**Es una práctica arriesgada usar los mismos elevadores de varillas de succión a medida que una combinación sube. La curvatura es mas**

pronunciada en diámetros de varillas de succión más pequeños cuando una combinación de elevadores gastados se usan, porque esto toma menos desgaste para desalinear las varillas de succión. Dan mejor servicio cuando se usan solamente en un tamaño de varillas de succión para el cual están diseñados.

### **III.4. RANGO DE CARGAS.**

El rango de cargas es la diferencia entre la carga en la carrera ascendente y la carga en la carrera descendente de la varilla pulida. El sistema de bombeo opera mejor cuando la diferencia entre estas cargas se conserva en lo mínimo. La carrera mas larga y lenta a la cual se obtendrá la producción deseada, desarrollará el rango mínimo de carga.

El rango de cargas esta relacionado a la velocidad de la varilla pulida y el peso del fluido. Por causa de la acción de la bomba, el peso el fluido está aplicado a las varillas de succión en la carrera ascendente, pero es transferido a la T.P. en la carrera descendente.

Mientras que la varilla de succión soporte la carga de fluido en la carrera ascendente, ésta se estira. Cuando la carga es transferida a la T.P. en la carrera descendente la varilla se contrae. Esto produce una acción de flexionamiento de la sarta de varillas.

Conforme se incrementa la velocidad de bombeo y la carga de fluido, esta acción de flexionamiento comienza a ser mas violenta. Este flexionamiento de la sarta de varillas es una evidencia del rango de cargas.

La diferencia en el rango de cargas en el ciclo de bombeo, produce un esfuerzo-fatiga en el metal de todo el equipo. El esfuerzo-fatiga es la característica básica generada de todos los tipos de fallas de varillas de succión. Cuando el rango de cargas se conserva en el mínimo, la vida de servicio de las varillas de succión se incrementa.

### **III.5. APRIETE DE JUNTAS DE VARILLAS DE SUCCION UTILIZANDO DESPLAZAMIENTO CIRCUNFERENCIAL.**

#### **III.5.1. GENERALIDADES.**

Para un funcionamiento óptimo es imperativo que todas las juntas de la sarta de varillas de succión sean apretadas con un nivel de esfuerzo de precarga dado, para prevenir la separación entre el hombro del pistón y la cara del cople durante el ciclo de bombeo.

**Hay muchas variables inherentes las cuales afectan el apriete de juntas. Entre estos están, la diferencia en materiales, lo liso del terminado de la superficie, y la calidad del lubricante, también como las características de operación y condiciones mecánicas de los equipos de pinzas de fuerza. Como un resultado, el torque aplicado no ha resultado ser el mas exacto, ni el medio mas práctico de medida del nivel de esfuerzo de precarga en juntas de varillas de succión.**

**Tanto datos de pruebas como cálculos técnicos muestran que el desplazamiento circunferencial es, además del apriete a mano suministrado al cople y piñón un medio exacto y repetible con el cual también se mide y define el esfuerzo de precarga en una junta de varilla succión.**

**En vista de lo anterior, esta práctica para uso del campo recomienda un valor fijo tolerante de desplazamiento circunferencial y procedimiento que cubran su uso, incluyendo un método para la calibración de las pinzas de fuerza.**

**El desplazamiento circunferencial tan usado en este asunto, es la distancia medida, después del apriete, entre las paredes desplazadas de una línea vertical, trazada a través de las superficies externas de la caja y piñón donde son apretadas a mano, antes del apriete final. Ver figura III.1. y III.2.**

**Los valores de desplazamiento circunferencial mostrados en la Tabla III.1., son los desplazamientos necesarios y recomendados para lograr un esfuerzo de precarga óptimo. Valores para una combinación de**

materiales y su aplicación se listan en el encabezado de las columnas 2 y 3 de la Tabla III.1. Elegir la columna correcta.

Debido a que las superficies de la interface de la junta son cepilladas o alisadas en el apriete inicial, los valores del desplazamiento en el apriete inicial son mas grandes que los de aprietes subsecuentes. Mientras esta diferencia en desplazamiento ocurre con todos los tipos de varillas, se observa que es consistente solamente en la varilla Grado D. Observación, los valores tabulados para el uso de varillas Grado D, cuando se están volviendo a meter son mas pequeños que aquellos del apriete inicial para varillas nuevas de Grado D.

No es recomendable establecer valores de desplazamiento para el apriete inicial de varillas de Grado C y K por la inconsistencia observada en los datos de las pruebas con estos materiales. Es por lo tanto recomendable que nuevas juntas de varillas de Grado C y K sean apretadas y aflojadas, en el campo, antes del apriete final en la instalación inicial.

Cuando se instalan coples nuevos en varillas usadas, previamente y a pesar de su grado, los valores de desplazamiento listados en la Tabla III.1., deben emplearse.

**TABLA III.1. VALORES DE DESPLAZAMIENTO CIRCUNFERENCIAL PARA JUNTAS DE VARILLAS DE SUCCION (Todas las dimensiones en pulgadas).**

1	2		3	
	Sarta de varillas metida por primera vez. Grado D. Valores de desplazamiento.		Sarta de varillas metida otra vez. Grado C, D, K. Valores de desplazamiento.	
Díámetro de varilla	mínimo	máximo	mínimo	máximo
1/2	6/32	8/32	4/32	6/32
5/8	8/32	9/32	6/32	8/32
3/4	9/32	11/32	7/32	17/64
7/8	11/32	12/32	9/32	23/64
1	14/32	16/32	12/32	14/32
1 1/8	18/32	21/32	16/32	19/32

**Nota.** Los valores de desplazamiento fueron establecidos a través de cálculos y pruebas de tensión estimadas.

### **III.5.2. RECOMENDACIONES GENERALES, PINZAS DE FUERZA.**

El uso de llaves de fuerza de aire o hidráulicas se recomienda para asegurar mejores resultados de apriete para todos los diámetros de varillas. Sin embargo, es imperativo que las llaves de fuerzas se mantengan de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

Cuando se están usando llaves de fuerza, se recomienda que el sistema de fuerza hidráulico sea circulado hasta que alcance una temperatura de operación normal y que se mantenga dentro de un rango razonable durante la calibración e instalación de varillas.

### **III.5.3. CALIBRACION DE PINZAS DE FUERZA.**

Las pinzas de fuerza deben ser calibradas para producir el desplazamiento circunferencial recomendado de acuerdo a los valores de apriete mostrados en la Tabla III.1. Después de la calibración inicial se recomienda que la calibración de las pinzas de fuerza sea checada cada 1000 pies y sean recalibradas por cada cambio en diámetro de varillas.

Hay tres métodos diferentes empleados en la calibración de pinzas de fuerza para varios Grados API de varillas y condiciones de campo. Es necesario seleccionar el método mas recomendable que se ajuste a las condiciones de campo.

### **III.5.4. CALIBRACION DE PINZAS DE FUERZA PARA VARILLAS NUEVAS API GRADO D.**

a) Checar las condiciones trazadas en la parte III.5.2.

b) Poner la presión de operación de las pinzas en el nivel bajo del valor estimado requerido para producir el valor de desplazamiento circunferencial pre-escrito, y mostrado por la Tabla III.1.

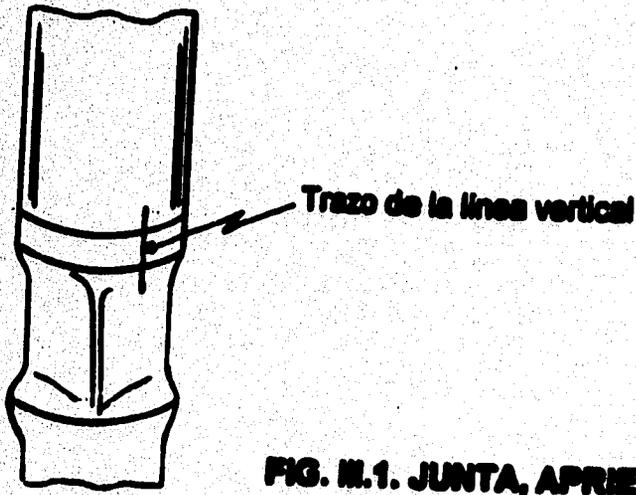
c) Enroscar la primera junta con el apriete a mano, al mismo tiempo trazar una línea vertical fina a través del hombro del piñón y cople para establecer la referencia del apriete a mano como se muestra en la figura III.1. No realizar la marca con un cincel, utilizar un gis o lápiz.

d) Desenrosque la junta 3 vueltas con las manos. Enrosque la junta con las llaves de fuerza trabajandolas a toda velocidad. Esto asegurará un torque consistente para todas las varillas de succión.

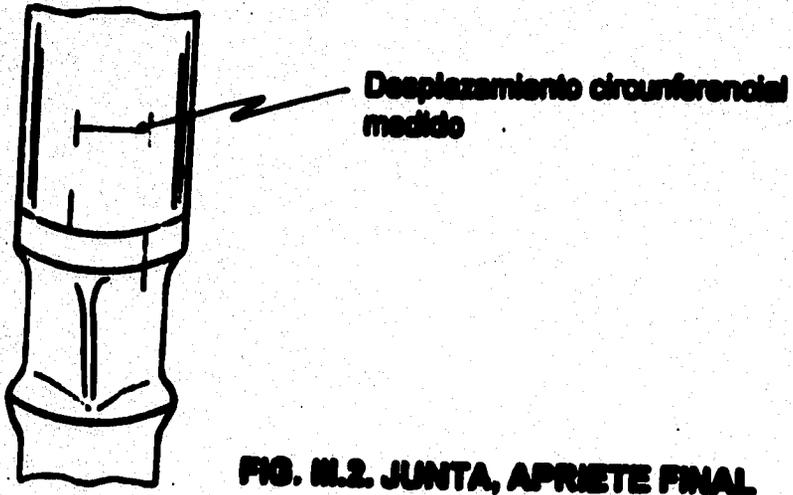
**e) Cuando se este realizando el apriete a toda velocidad no suelte el acelerador hasta que la llave se pare totalmente. No acelere la llave nuevamente.**

**f) Mida las distancia entre las lineas marcadas en el pistón y cople de la varilla enroscada. Use los valores de desplazamientos indicados en la Tabla III.1.**

**g) Ajuste la presión de operación de la llave y repita el procedimiento hasta que el desplazamiento deseado sea alcanzado. Para resultados consistentes cheque la calibración de la llave cada cuatro juntas enroscadas.**



**FIG. II.1. JUNTA, APRIETE A MANO**



**FIG. II.2. JUNTA, APRIETE FINAL**

### **III.5.5. CALIBRACION DE PINZAS DE FUERZA PARA VARILLAS API GRADO C y K.**

Para una varilla API Grado C y K que se usa por primera vez, un factor de corrección constante no puede ser recomendado por causa de las variables inherentes comprometidas. Por lo tanto es necesario apretar y romper la conexión antes, para la calibración de las pinzas de fuerza si se quiere asegurar una precarga.

Una vez que la junta se aprieta y se afloja, se sigue el mismo procedimiento como se trazó en los pasos de la parte III.5.4. del (a) al (g) usando los valores de desplazamiento circunferencial apropiados de la Tabla III.1., columna 3.

#### **III.5.5.1. CALIBRACION DE PINZAS DE FUERZA PARA VARILLAS QUE YA HAN SIDO METIDAS VARIAS VECES DE TODOS LOS GRADOS API Y PARA COPLES NUEVOS.**

Emplear los valores mostrados en la Tabla III.1.. columna 3 y seguir el mismo procedimiento como se indicó en los pasos de la parte III.5.4., del (a) al (g).

### **III.5.6. USO DE LLAVES DE VARILLAS PARA APRIETE MANUAL.**

El uso de llaves de varillas no se recomienda para diámetros de varillas más grandes que 3/4 de pg. La aplicación de llaves de varillas para lograr la precarga deseada es como sigue.

### **III.5.7. APRIETE MANUAL DE SARTAS DE VARILLAS NUEVAS API GRADO D.**

- a) Enrosque la varilla y cople a una posición de apriete a mano.
- b) Traze una línea vertical fina a través del pitón y cople para establecer una referencia del apriete a mano como se muestra en la figura III.1.
- c) Aplique la fuerza mecánica necesaria para lograr valores de desplazamiento recomendados como se muestra en la Tabla III.1., columna 3.

### **III.5.8. APRIETE MECÁNICO DE VARILLAS API GRADO C y K.**

d) Aplique la fuerza mecánica y apriete la junta una vez. Afloje y reapriete a la posición de apriete a mano.

e) Trace una línea vertical fina a través del pistón y cople para establecer una referencia del apriete a mano como se muestra en la figura III.1.

f) Aplique la fuerza mecánica necesaria para lograr valores de desplazamiento recomendados, como se muestra en la Tabla III.1., columna 3.

### **III.5.9. APRIETE MECANICO DE VARILLAS USADAS Y COPLES NUEVOS.**

g) Llevar el cople y pistón de la varilla a la posición de apriete a mano.

**h) Trazar una línea vertical a través del piñón y hombro del cople para establecer una referencia del apriete a mano como se muestra en la figura III.1.**

**l) Aplique la fuerza mecánica suficiente para lograr el desplazamiento circunferencial como se muestra en la Tabla III.1., columna 3.**

## **IV. DISEÑO DE VARILLAS DE SUCCION.**

### **IV.1. INTRODUCCION.**

#### **Movimiento primaria.**

**La función del movimiento principal es suministrar a la instalación, energía, la cual es transmitida a la bomba y usada para levantar el fluido. El movimiento primario seleccionado para una instalación dada debe, por supuesto, tener suficiente fuerza de salida para levantar el fluido al gasto deseado desde el nivel de fluido de trabajo en el pozo. El movimiento primario se puede obtener de un motor de combustión interna o de uno eléctrico.**

## **IV.2. ANALISIS TEORICO DEL MOVIMIENTO DE LA VARILLA.**

Si las varillas de succión estuvieran suspendidas estáticamente de una varilla pulida o si estuvieran subiendo o cayendo a una velocidad constante, la fuerza en la varilla pulida debería ser el peso,  $W_r$ , de las varillas de succión. Sin embargo, cuando las varillas de succión están en aceleración habrá en la varilla pulida una carga de aceleración adicional.  $(W_r/g)a$ . El factor de aceleración, o el factor por el cual debe ser multiplicado el peso muerto de las varillas para obtener la carga de aceleración máxima, está dado por:

$$\alpha = a/g$$

IV.1.

donde  $g$  es la aceleración máxima experimentada por la sarta de varillas de succión.

Un estudio de la manera en la cual el movimiento es transmitido del motor principal a las varillas de succión muestra que las varillas se encuentran aproximadamente en movimiento armónico simple.

Suponiendo un móvil  $Q$ , que se mueve sobre un círculo, fig. IV.1., con un movimiento circular uniforme. Al mismo tiempo, su proyección  $P$  (sistema de varillas), sobre un diámetro tal como  $MN$  se mueve entre  $M$  y  $N$ .

Si el móvil Q ocupa sucesivamente, a intervalos iguales de tiempo, las posiciones numeradas 1', 2', 3', ....., 12', 1', etc., sobre el círculo, fig. IV.2., su proyección P (sistema de varillas) ocupa en los mismos instantes las posiciones 1, 2, 3, ....., 12, 1, sobre el diámetro MN, fig. IV.2., efectuando así un movimiento oscilatorio que llamamos movimiento armónico simple.

El diámetro del círculo de referencia es igual a la longitud de carrera de la varilla pulida, y el tiempo para una revolución de la partícula alrededor del círculo es igual al tiempo para un ciclo completo de bombeo. La máxima aceleración del sistema de varillas toma lugar en el comienzo de la carrera ascendente y en el comienzo de la carrera descendente, o sea, cuando la proyección se dirige hacia el centro del círculo de referencia. En este tiempo de aceleración de la proyección (y así del sistema de varillas) es la misma, tal que del movimiento de la partícula alrededor del círculo, el cual es:

$$a = v_p^2 / r_c \quad \text{IV.2.}$$

donde  $v_p$  es la velocidad de la partícula, y  $r_c$  es el radio del círculo. Si el tiempo para una revolución de la partícula es T, entonces:

$$v_p = 2\pi r_c / T \quad \text{IV.3.}$$

y si N es el número de revoluciones por unidad de tiempo:

$$v_p = 2\pi r_c N \quad \text{IV.4.}$$

entonces  $N = 1/T$ , substituyendo en ecuación IV.1.

$$\begin{aligned} \alpha &= a/g = (v_p / r_c)^2 / g = v_p^2 / r_c^2 g \\ &= (2\pi r_c N)^2 / r_c^2 g \\ \alpha &= (4\pi^2 r_c N^2) / g \quad \text{IV.5.} \end{aligned}$$

para un pozo con bombeo,  $N$  es la velocidad de bombeo, y  $r_c$  está relacionado con la longitud de carrera de la varilla pulida,  $S$ :

$$r_c = S/2 \quad \text{IV.6.}$$

Entonces la ecuación IV.5., queda:

$$\alpha = (2\pi S N)^2 / g \quad \text{IV.7.}$$

La longitud de carrera de la varilla pulida se da normalmente en pulgadas y la velocidad de bombeo está dada en emboladas por minuto. Entonces:

$$\alpha = (2\pi SN)^2 / 32.2$$

$$= (\text{pg/min})^2 / (\text{pics/seg})^2 \times (1 \text{ pic}) / 12 \text{ pg}$$

$$\times (1 \text{ min})^2 / 3600 \text{ seg}^2$$

$$\alpha = (SN)^2 / 70500$$

IV.8.



### **IV.3. CARRERA EFECTIVA DEL EMBOLO.**

El volumen de aceite manejado durante cada carrera del émbolo de la bomba no depende de la longitud de carrera de la varilla pulida, pero si del movimiento del émbolo relativo al barril de trabajo. Este movimiento es llamada carrera efectiva del émbolo, y puede diferir significativamente del de la carrera de la varilla pulida.

Fundamentalmente, la carrera del émbolo y varilla pulida difieren por causa del alargamiento de las varillas y T.P., y además del sobreviaje del émbolo resultante de la aceleración. De un número de expresiones teóricas las cuales han sido desarrolladas en un intento por predecir el alargamiento de las varillas y T.P. y la sobrecarrera, las mas simples y probablemente con los resultados mas correctos son las del trabajo de Marsh y Coberly.

Como la válvula viajera y de pie de la bomba subsuperficial abre y cierra durante el ciclo de bombeo, la carga de fluido se transfiere alternativamente de la T.P. a la sarta de varillas de succión. Esto resulta en deformaciones elásticas periódicas de varillas y T.P., las cuales están defasadas una de otra por 180 grados.

Considerando el sistema durante la carrera descendente, cuando la válvula de pie está cerrada y la viajera está abierta, en este tiempo la carga de fluido está actuando sobre la T.P., causando cierta elongación de este elemento. En el comienzo de la carrera ascendente, la válvula viajera

cierra, causando elongación de las varillas. La apertura de la válvula de pie permite a la deformación salir de la T.P. La restauración de la T.P. a su longitud original, causa que el barril de trabajo se mueva ascendentemente, y la elongación de las varillas causa que el émbolo se mueva descendentemente. La carrera efectiva del émbolo es, por lo tanto, disminuida por una cantidad igual a la suma de las elongaciones de varilla y T.P. resultante de la carga de fluido.

Para una deformación elástica, hay una relación constante entre el esfuerzo aplicado a el cuerpo y la deformación resultante.

$$E = \text{Esfuerzo/deformación} \quad \text{IV.9.}$$

E, el modulo de elasticidad, es una característica del material al cual se aplica el esfuerzo. El esfuerzo es la fuerza aplicada por unidad de área:

$$\text{Esfuerzo} = F/A \quad \text{IV.10.}$$

y la deformación es el cambio fraccional en longitud:

$$\text{deformacion} = e/l \quad \text{IV.11.}$$

Convencionalmente, fuerza F, se expresa en libras, y el área de la sección transversal, A, del elemento bajo esfuerzo se expresa en pulgadas cuadradas. La elongación, e, y la longitud original, l, del elemento se puede

dar en las mismas unidades de longitud. Normalmente, las magnitudes de elongación y longitud son tal que estas cantidades son expresadas más lógicamente en pulgadas y pies, respectivamente, en cuyo caso la ecuación IV.11. se escribe:

$$\text{deformación} = e/12L \quad \text{IV.12.}$$

Substituyendo en ecuación IV.9. da:

$$E = (F/A)/(e/12L) = (12FL)/eA \quad \text{IV.13.}$$

y la elongación del elemento es:

$$e = 12 FL/ EA \quad \text{IV.14.}$$

La fuerza debida a la carga de fluido resulta de la presión diferencial a través del émbolo (con la bomba colocada en la profundidad L.) actuando sobre el área total del émbolo,  $A_p$ .

$$F = \Delta p \times A_p \quad \text{IV.15.}$$

Si se asume que la bomba se coloca en el nivel de fluido de trabajo en el pozo, la presión diferencial es la presión a la profundidad L. de una columna de fluido de densidad relativa G:

$$\Delta p = 0.433 GL$$

IV.16.

Para un caso más general, donde el nivel de fluido de trabajo está a la profundidad  $D$ , la presión (bajo el émbolo) debido a una columna de fluido de altura  $(L-D)$  en la T.R., se debe considerar:

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

$$\Delta p = 0.433 D$$

IV.17.

de ecuación IV.14.,

$$e = 12 \times 0.433 GDApL/EA$$

$$e = 5.20 GDApL/EA$$

IV.18.

La ecuación IV.18. es preferentemente general, en la que se da la elongación de algún elemento teniendo el área de la sección transversal  $A$ . Específicamente, la elongación de la T.P. es:

$$e_t = 5.20 GDApL/EA_t$$

IV.19.

donde  $A_1$ , es el área de la sección transversal de la pared de la T.P. Para la sarta de varillas:

$$e_r = 5.20 \text{ GDAP}L/EA_r \quad \text{IV.20.}$$

donde  $A_r$  es el área de la sección transversal de las varillas. En el caso de varillas telescopiadas, la ecuación debe ser aplicada para cada sección, o sea:

$$e_1 = 5.20 \text{ GDAP}L_1/EA_1,$$

$$e_2 = 5.20 \text{ GDAP}L_2/EA_2, \text{ etc.} \quad \text{IV.21.}$$

donde  $e_1$  es la elongación de  $L_1$  de la sección base de las varillas de área de sección transversal  $A_1$ ,  $e_2$  es la elongación de  $L_2$  de la base de las varillas de área de sección transversal  $A_2$ , etc. Entonce el alargamiento total de las varillas es:

$$e_r = (5.20 \text{ GDAP}/E)(L_1/A_1 + L_2/A_2 + \dots) \quad \text{IV.22.}$$

En adición al alargamiento de varillas causado por la carga de fluido. También hay un alargamiento de varillas debido a la propia carga de las varillas, la cual consiste del peso muerto de varillas más la carga por aceleración. Para una sarta no telescopiada, el peso de varillas suspendido bajo algún elemento de la sarta, varía uniformemente de cero en el fondo

de la sarta a  $W_r$  en la cima de la sarta. En promedio, el peso de las varillas tendiendo a causar elongación de un elemento es  $W_r/2$ . Esto es equivalente considerando que la masa entera de la sarta de varillas de succión sea concentrada en  $L/2$ . En todo caso, la elongación de las varillas resultantes de la carga de varillas en el fin de la carrera descendente será, de ecuación IV.14.,

$$e_d = (12(W_r + W_r \alpha)(L/2)) / (EA_r) \quad \text{IV.23.}$$

y la elongación de las varillas en el fin de la carrera ascendente será:

$$e_u = (12(W_r - W_r \alpha)(L/2)) / (EA_r) \quad \text{IV.24.}$$

puesto que las cargas por aceleración serán en direcciones opuestas. La sobrecarga del émbolo, o sea, la elongación neta resultante de la aceleración es:

$$e_p = e_d - e_u = 12 W_r \alpha L / EA_r \quad \text{IV.25.}$$

El peso de la sarta de varillas es:

$$W_r = \rho_r LA_r / 144 \quad \text{IV.26.}$$

donde  $\rho_r$  es la densidad de la sarta de varillas en libras por pie cúbico. La densidad de acero es aproximadamente 490 lb/pie<sup>3</sup>. Substituyendo ecuación IV.26. en ecuación IV.25.,

$$e_p = (12 L \alpha) / E A_r \times (490 L A_r) / 144$$

$$e_p = (40.8 L \alpha) / E \quad \text{IV.27.}$$

En la derivación de la ecuación IV.27., la geometría del equipo superficial y la posibilidad de una sarta de varillas telescopiadas se ignoraron. Si estos factores se consideran, es obvio que alguna ecuación generalmente aplicable para la sobrecarrera del émbolo debería ser de una forma mas compleja. Algunas autoridades prefieren el uso de:

$$e_p = 32.8 L \alpha / E \quad \text{IV.28.}$$

puesto que la constante de 32.8 es una corrección mas empírica para una unidad de geometría "promedio", que la constante 40.8 en la ecuación IV.27. y ecuación IV.28. dan valores de sobrecarrera de émbolo los cuales difieren por un 25%. La diferencia tiene poco efecto cuando la información se pone a comparación en cálculos de carrera efectiva del émbolo.

La carrera efectiva del émbolo es ahora vista como la carrera de la varilla pulida disminuida por los efectos del alargamiento de las varillas y T.P., resultante de la carga del fluido y aumentada por los efectos de la sobrecarrera del émbolo. Entonces la carrera efectiva del émbolo es:

$$S_p = S + e_p - (e_t + e_r) \quad \text{IV.29.}$$

Combinando las ecuaciones IV.19., IV.22., IV.27., y IV.29.,

$$S_p = S + \frac{((40.8L \alpha)^2}{E) - ((5.20 GDA_p)/E)(L/A_t +$$

$$+ L_1/A_1 + L_2/A_2 + \dots) \quad \text{IV.30.}$$

En el caso de una varilla no telescopiada, la ecuación IV.30. se reduce a:

$$S_p = S + \frac{((40.8L \alpha)^2}{E) - ((5.20 GDA_p L)/E)(1/A_t +$$

$$+ 1/A_r) \quad \text{IV.31.}$$

Como una nota final en lo que se refiere a la sobrecarrera del émbolo, se debe señalar que no puede haber alargamiento de la T.P. en caso de que esta esté anclada. Este caso puede manejarse mejor despreciando los términos que involucren  $A_t$  en las ecuaciones IV.30. y IV.31.

**TABLA 1.****DATOS DE VARILLAS DE SUCCION**

<b>Diámetro de varilla</b> pg.	<b>Area</b> pg <sup>2</sup>	<b>Peso</b> lb/pie
5/8	0.307	1.16
3/4	0.442	1.63
7/8	0.601	2.16
1	0.785	2.88
1 1/8	0.994	3.64

**TABLA 3.****DATOS DE TUBERIA DE PRODUCCION**

<b>Diámetro nominal</b> pg.	<b>Diámetro exterior</b> pg.	<b>Peso</b> lb/pie	<b>área de pared</b> pg <sup>2</sup>
1 1/2	1.900	2.90	0.800
2	2.375	4.70	1.304
2 1/2	2.875	6.50	1.812
3	3.500	9.30	2.590
3 1/2	4.000	11.00	3.077
4	4.500	12.75	3.601

#### **IV.4. CALCULO DE LAS CARGAS SOBRE LA VARILLA PULIDA.**

**La selección del equipo superficial para una instalación de bombeo es influenciada en sumo grado por la carga máxima esperada sobre la varilla pulida. La estimación preliminar del contrabalanceo requerido se basa en las cargas máxima y mínima de la varilla pulida. Estas cantidades deben, por lo tanto, ser determinadas con un amplio grado de exactitud, tanto como los datos disponibles lo permitan.**

**Varias expresiones han sido propuestas para el cálculo de las cargas sobre la varilla pulida. Las expuestas aquí son usadas por ser mas confiables sobre cálculos en un mas amplio rango de valores, y velocidades de bombeo.**

**En un tiempo u otro, durante el ciclo de bombeo, cinco factores contribuyen a la carga neta sobre la varilla pulida. Ellos son; 1) carga de fluido, 2) peso muerto de las varillas de succión, 3) carga por aceleración de las varillas de succión, 4) fuerzas de flotación en las varillas de succión sumergidas en el fluido, y 5) fuerzas de fricción. Las cargas de vibración, no son consideradas aquí. Alguna carga de aceleración asociada con el fluido que está siendo levantado, será despreciable. Experimentalmente esto es justificable, por causa de la relativa compresibilidad del fluido.**

**El peso de la sarta de varillas telescopiadas está dada por:**

$$W_r = M_1 L_1 + M_2 L_2 + \dots \quad \text{IV.32.}$$

donde  $M_1$  es el peso, en libras por pie, y  $L_1$  es la longitud en pies, de la sección 1 de una sarta telescopiada,  $M_2$  es el peso y  $L_2$  es la longitud de la sección 2, etc. Las cargas de aceleración máxima y mínima de las varillas están dadas por:(Fig. IV.3.)

$$\text{Cargas de aceleración máxima} = W_r \alpha \quad \text{IV.33.}$$

$$\text{Cargas de aceleración mínima} = - W_r \alpha \quad \text{IV.34.}$$

Considerando que la densidad del acero de las varillas es de 490 lb/pies. El volumen de la sarta de varillas y consecuentemente, el volumen de fluido desplazado por la sarta de varillas es:

$$\text{Volumen} = \text{Peso/densidad} = W_r / 490 \text{ (pies)} \quad \text{IV.35.}$$

La densidad del fluido desplazado de densidad relativa  $G$  es 62.4 lb/pies<sup>3</sup> x  $G$ .

La fuerza de flotación en las varillas, el cual es el peso del fluido desplazado, es:

$$\text{Fuerza de flotación} = - (W_r / 490) 62.4 G$$

$$\text{Fuerza de flotación} = - 0.127 W_r G \quad \text{IV.36.}$$

El signo negativo en la ecuación IV.36. es necesario porque la fuerza de flotación es siempre hacia arriba.

La carga de fluido que será usada en el cálculo de las cargas sobre la varilla pulida es el peso de la columna de fluido soportada por émbolo. El volumen de una columna teniendo como base el émbolo y como su altura la sarta de varillas de succión debe ser:

$$\text{Volumen} = L A_p / 144 \text{ (pies)}^3 \quad \text{IV.37.}$$

El volumen de fluido se obtiene restando de la ecuación IV.37. el volumen ocupado por las varillas dado por la ecuación IV.35.

$$\text{Volumen de fluido} = (L A_p / 144) - (W_r / 490) \quad \text{IV.38.}$$

Entonces la carga de fluido es:

$$W_r = 62.4 G((L A_p / 144) - (W_r / 490))$$

$$W_f = 0.433 G(LA_p - 0.294W_r)$$

IV.39.

Se debe recalcar en este punto que la carga de fluido es en la varilla pulida solamente durante la carrera ascendente.

La carga de fricción para instalaciones ya en operación se puede estimar de pruebas dinamométricas. Para problemas de diseño original se maneja de la manera como se explica a continuación. La carga por fricción se designa como +F en la carrera ascendente y -F en la carrera descendente, ya que las fuerzas de fricción en un cuerpo actúan en dirección opuesta a la dirección del movimiento del cuerpo.

En resumen, la carga máxima sobre la varilla pulida, la cual ocurre en la carrera ascendente es:

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

IV.40.

y la carga mínima sobre la varilla pulida, la cual ocurre en la carrera descendente es:

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

IV.41.

Cuando la ecuación IV.40. se usa para calcular la carga máxima, el último término generalmente se desprecia ya que es un valor a veces

calculado de pruebas dinamométricas y cuyo valor no tiene una razonable certeza. En este caso:

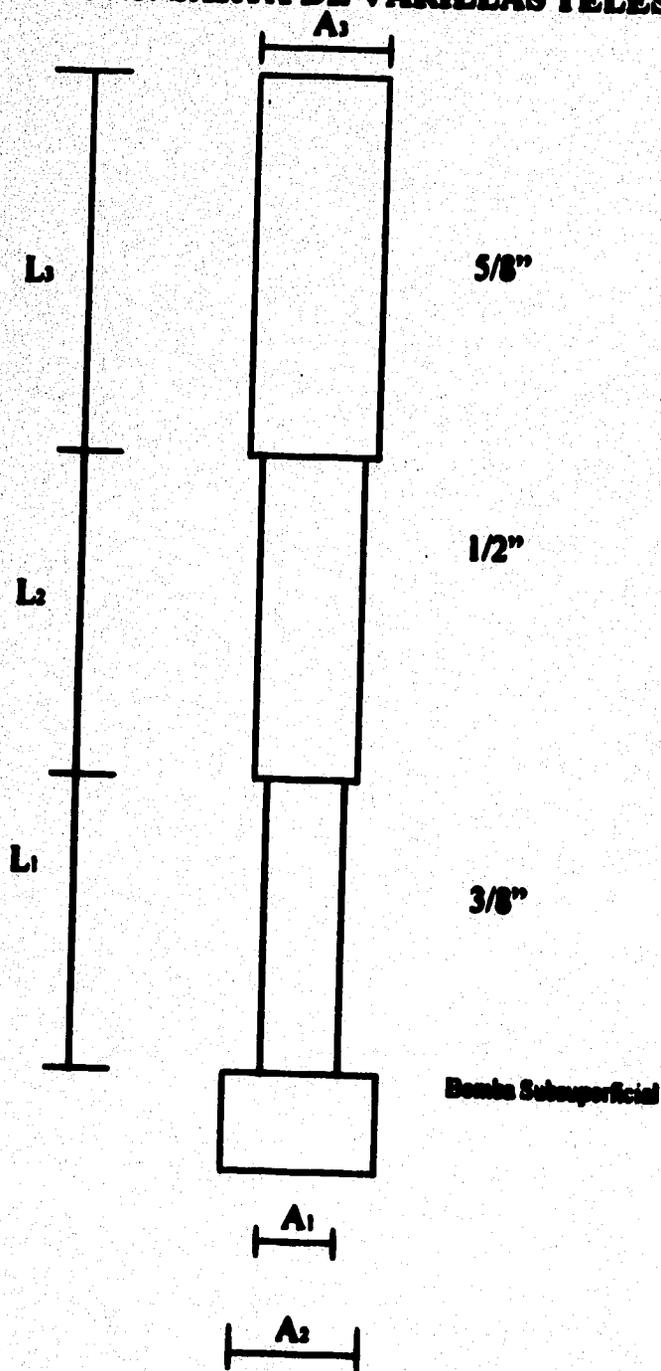
$$W_{\max} = W_f + W_f(1 + \alpha) \quad \text{IV.42.}$$

La ecuación IV.42. se conoce como la ecuación de Mills.

En el caso de la carga mínima, la flotación y la fricción son de la misma dirección. Aquí, solamente la fricción se desprecia, resultando la ecuación IV.43., la cual, aunque no es enteramente satisfactoria, es probablemente tan buena como alguna otra disponible.

$$W_{\min} = W_f(1 - \alpha - 0.127 G) \quad \text{IV.43.}$$

**FIG. IV.3. SARTA DE VARILLAS TELESCOPIADAS**



## **IV.5. DISEÑO DE LA SARTA DE VARILLAS DE SUCCION.**

Hay dos posibles enfoques para el diseño de sarta de varillas de succión telescopiadas. 1) Las longitudes de secciones individuales pueden ser seleccionadas de tal manera que el esfuerzo unitario en la cima de cada sección, sea el esfuerzo de trabajo máximo permisible, 2) o las longitudes puedan ser seleccionadas tal que el esfuerzo unitario en la cima de las secciones sean iguales. El segundo método es el más generalmente usado y su aplicación será tratada aquí.

En la determinación del esfuerzo en algún punto en la sarta de varillas, la fuerza que causa la tensión es considerada como el resultado de la carga del fluido en el émbolo y el peso de las varillas por debajo del punto considerado. Cuatro suposiciones simplemente son hechas; 1) condiciones estáticas, o sea, cargas por aceleración no son consideradas, 2) la densidad relativa del fluido del pozo es 1.0, 3) la carga del fluido actúa sobre el área total del émbolo, y 4) la bomba se coloca en el nivel del fluido de trabajo. Bajo estas condiciones la carga de fluido es;

**0.433 LAp (libras)**

Considerando primero una sarta telescopiada de dos secciones, consistentes de  $L_1$  pies de varillas, de área de sección transversal  $A_1$ ,  $\rho g_2$ , y peso  $M_1$  lb/pie, y  $L_2$  pies de varillas, de área de sección transversal  $A_2$   $\rho g_2$ ,

y peso  $M_2$  lb/pie. Dejando las partes fraccionales de la longitud total de varillas representadas por las secciones designadas como  $R_1$  y  $R_2$ , o sea,

$$R_1 = L_1/L \quad \text{y} \quad R_2 = L_2/L \quad \text{IV.44.}$$

donde  $L = L_1 + L_2$ . El esfuerzo en la cima de la sección mas baja es entonces:

$$(0.433 L A_p + L_1 M_1) / A_1 = (0.433 L A_p + L R_1 M_1) / A_1 \quad \text{IV.45.}$$

Así mismo, el esfuerzo en la cima de la sección superior es:

$$(0.433 L A_p + L_1 M_1 + L_2 M_2) / A_2 = (0.433 L A_p + L R_1 M_1 + L R_2 M_2) / A_2 \quad \text{IV.46.}$$

Si los esfuerzos en las cimas de las secciones son iguales:

$$(0.433 A_p + R_1 M_1) / A_1 = (0.433 A_p + R_1 M_1 + R_2 M_2) / A_2 \quad \text{IV.47.}$$

Para la varilla seleccionada y diámetro de émbolo, la longitud de cada sección puede ser determinada haciendo uso de la ecuación IV.47. más:

$$R_1 + R_2 = 1 \quad \text{IV.48.}$$

Para una sarta telescopiada consistente de más de dos secciones, el análisis debe diferir del presentado arriba solamente en el grado de complejidad. Para una sarta telescopiada de 4 secciones, por ejemplo, la ecuación IV.47. debe ser modificada como sigue:

$$(0.433 A_p + R_1 M_1) / A_1 = (0.433 A_p + R_1 M_1 + R_2 M_2 + R_3 M_3 + R_4 M_4) / A_4 \quad \text{IV.49.}$$

y en lugar de la ecuación IV.48., debemos usar:

$$R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 1 \quad \text{IV.50.}$$

Las ecuaciones IV.47., IV.49. y IV.50. se aplican a sarts de 4 secciones. Para dos secciones  $R_3$  y  $R_4$  son cero, y para 3 secciones  $R_4$  es cero.

Como un paso final en el diseño de la sarta de varillas es necesario checar el esfuerzo máximo esperado contra el esfuerzo permisible de trabajo de las varillas que estan siendo usadas. Esto puede ser hecho por el cálculo del esfuerzo máximo de la cima de la sarta de varillas, la cual es la carga pico sobre la varilla pulida dividida entre el área de la sección transversal de la cima de la sección de las varillas.

**TABLA IV.4.1.****DATOS PARA DISEÑO DE SARTAS DE VARILLAS  
TELESCOPIADA**

<b>Diámetro de varilla en la sarta.</b>	<b>Valores de R</b>
<b>5/8 - 3/4</b>	<b><math>R_1 = 0.759 - 0.0896A_p</math> <math>R_2 = 0.241 + 0.0869A_p</math></b>
<b>3/4 - 7/8</b>	<b><math>R_1 = 0.786 - 0.0566A_p</math> <math>R_2 = 0.214 + 0.0566A_p</math></b>
<b>7/8 - 1</b>	<b><math>R_1 = 0.814 - 0.0375A_p</math> <math>R_2 = 0.186 + 0.0375A_p</math></b>
<b>5/8 - 3/4 - 7/8</b>	<b><math>R_1 = 0.627 - 0.1393A_p</math> <math>R_2 = 0.199 + 0.0737A_p</math> <math>R_3 = 0.175 + 0.0655A_p</math></b>
<b>3/4 - 7/8 - 1</b>	<b><math>R_1 = 0.644 - 0.0894A_p</math> <math>R_2 = 0.181 + 0.0478A_p</math> <math>R_3 = 0.155 + 0.0416A_p</math></b>
<b>3/4 - 7/8 - 1 - 1 1/8</b>	<b><math>R_1 = 0.582 - 0.1110A_p</math> <math>R_2 = 0.158 + 0.0421A_p</math> <math>R_3 = 0.137 + 0.0364A_p</math> <math>R_4 = 0.123 + 0.0325A_p</math></b>

## **V. DETECCION DE FALLAS POR MEDIO DE LA CARTA DINAMOMETRICA.**

### **V.1. INTRODUCCION.**

**El dinamómetro superficial o de varilla pulida, es una herramienta que registra el movimiento de la varilla pulida durante el ciclo de bombeo y la variación de la carga. Aún cuando esta varilla está obligada, por la acción de la unidad de bombeo, a seguir un patrón de tiempo regular comparado con la posición, la gráfica de la carga está distorsionada severamente debido a que la sarta de varillas de succión separa la varilla pulida del punto en el cual ocurren generalmente las variaciones de carga durante cada carrera, a saber, del émbolo.**

**Una carta dinamométrica es un registro continuo de los resultados de todas las fuerzas actuando a lo largo del eje de la varilla pulida en algún instante particular de tiempo durante una embolada de la bomba. Esta curva de carga es registrada con respecto a la posición de la varilla pulida.**

**Cada punto en la curva de carga representa una fuerza resultante y está compuesta de los siguientes factores. 1), el peso total de la sarta; 2), el peso total del fluido en el émbolo de la bomba; 3), el factor de aceleración cualquiera de los dos, positivo o negativo; 4), todas las fuerzas resultantes de la fricción entre la varilla de succión y la tubería, y entre las varillas de**

succión y el fluido del pozo; Cinco, alguna fuerza adicional resultante de la vibración o acción de resorteo de la sarta de varillas de succión. El efecto de impulso del motor y variación de la velocidad del motor, y el efecto de contrabalanceo son también tomadas dentro de la cantidad del factor de aceleración antes mencionado.

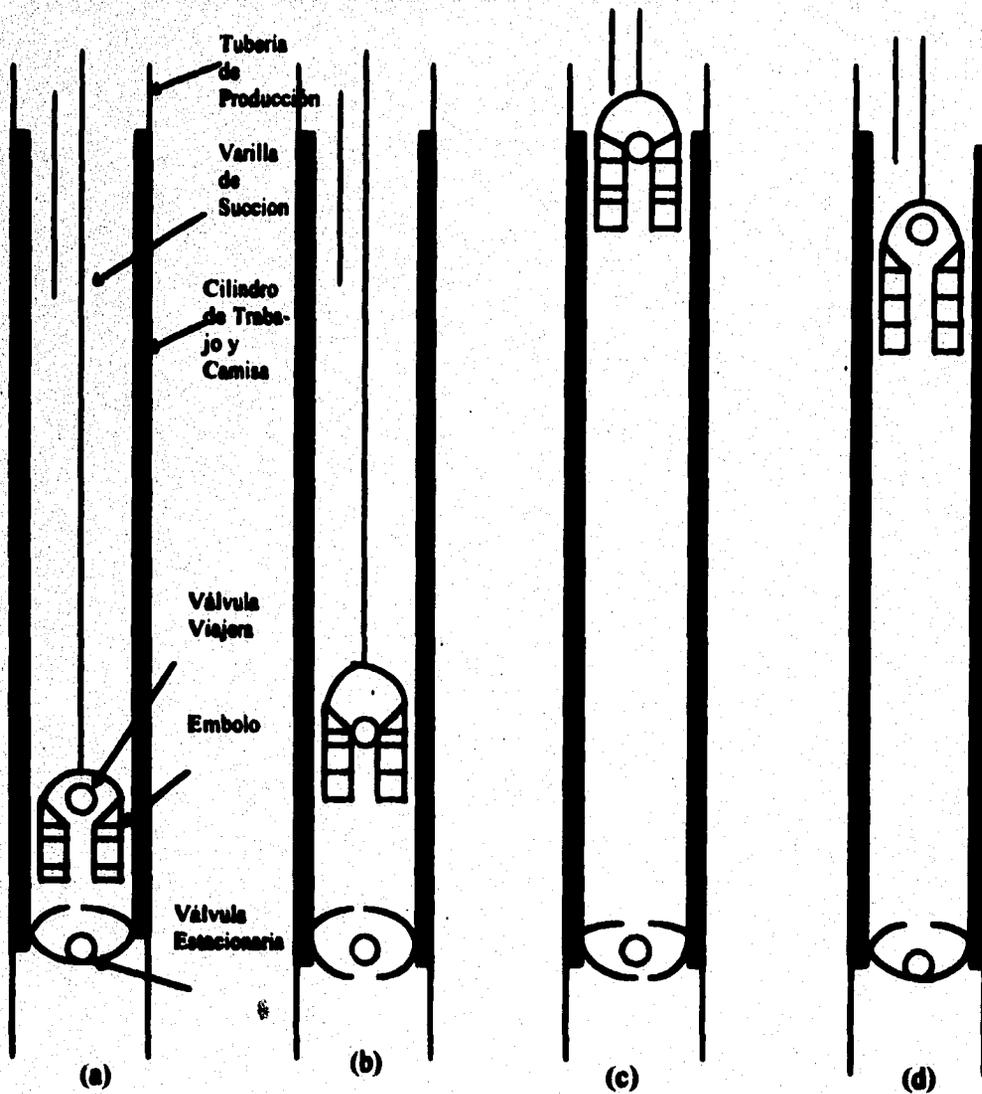
Debe mencionarse que las cartas dinamométricas tienen tres usos principales; para obtener información que se utilizará como base para hacer cambios en el equipo de bombeo y, en particular, para determinar los requisitos de carga, par de torsión y caballos de fuerza; para mejorar las condiciones de operaciones por ajustes en la velocidad de bombeo y la longitud de la carrera; para verificar las condiciones del pozo, después de la instalación del equipo, y para diagnosticar diversos problemas de operación.

### **V.1.1. LOS PASOS SUCESIVOS DEL REGISTRO DE UNA BOMBA EN OPERACION SON:**

1) En el comienzo de la carrera ascendente (punto a), la válvula viajera cierra. Fig. V.1.

2) De (a) a (b), la carga de fluido es levantada por las varillas, así el gas se expande en el espacio libre de la Presión de T.P. estática (Pt), a la presión de entrada de la bomba (PIP).

**FIG. V.1. EL CICLO DE BOMBEO.**



**Ciclo de Bombeo:** a) el émbolo se mueve hacia abajo cerca del fondo de la carrera; b) el émbolo sube, cerca del fondo de la carrera; c) el émbolo sube cerca de la parte superior de la carrera; d) el émbolo se mueve hacia abajo cerca del tope de la carrera.

**3) La válvula de pie abre en (b) , permitiendo la entrada de fluido a la bomba cuando la presión en la bomba se encuentra por abajo de la presión de entrada (PIP).**

**4) De (b) a (c), la carga de fluido es llevada por las varillas, así como el fluido llena la bomba.**

**5) En (c), la válvula de pie cierra, el émbolo comienza a bajar, la válvula viajera permanece cerrada.**

**6) De (c) a (d), el gas en la bomba (si está presente) se comprime y la carga de fluido se transfiere de las varillas a la T.P.**

**7) En (d), la presión de descarga ( $P_d$ ), igual a la presión en la T.P. estática ( $P_t$ ) y la válvula viajera abre.**

**8) De (d) a (a), el fluido es desplazado a través de la válvula viajera dentro de la T.P.**

## **V.1.2. DIAGRAMA TIPICO DE CARGAS SOBRE LA VARILLA PULIDA.**

### **SUPOSICIONES:**

- Las cargas de varillas y fluidos están concentradas en un solo punto.
  
- Sistema inelástico.
  
- No existe vibración.
  
- Ideal (válvulas abren y cierran a un mismo tiempo).
  
- No hay efectos de fricción.

### **PARTE I.**

**Fig. V.2. Es la parte donde comienza la carrera ascendente. La máxima carga de varillas y fluidos se levanta del fondo con máxima aceleración. Para tener una aceleración máxima se necesita un porcentaje mayor de peso de varillas y fluido. Esta zona se extiende desde el fondo**

hasta algún punto cerca de la mitad de la carrera ascendente. En esta zona el comportamiento de la fuerza de inercia se suma a la carga estática de varillas y fluido.

## **PARTE II.**

Es la parte de la carrera que se extiende desde cerca del punto medio hasta el tope de la carrera ascendente. En esta zona aun se tiene la masa de varillas y fluido, pero con una desaceleración. Consecuentemente el componente de inercia se está restando del peso estático total.

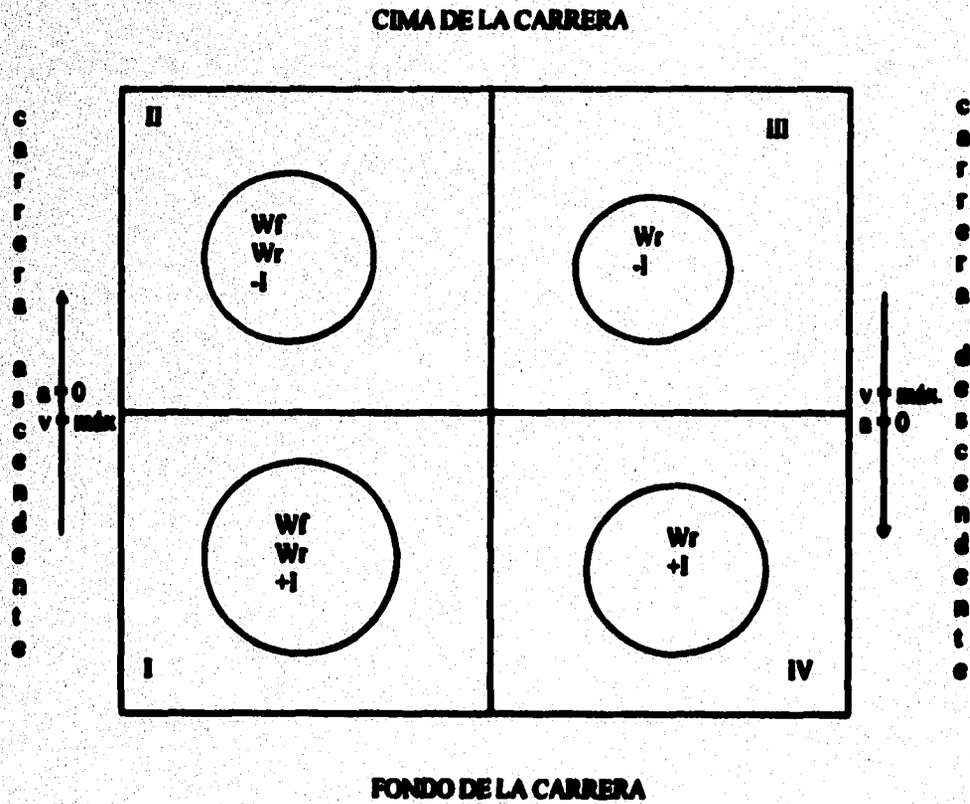
## **PARTE III.**

Se inicia en la parte superior de la carrera descendente, corriendo hacia abajo hasta algún punto cercano a la mitad de la carrera. En esta zona únicamente se tiene el peso de las varillas menos el componente de inercia. Normalmente en esta zona ocurre la máxima aceleración hacia abajo.

## **PARTE IV.**

Se inicia en algún lugar de la mitad de la carrera descendente, y se extiende hasta el fondo de la carrera. En esta zona, las varillas se desaceleran, en su preparación para detenerse en el fondo de la carrera, entonces el componente de inercia se suma al peso de las varillas.

**FIG. V.2. DIAGRAMA TIPICO DE CARGAS SOBRE LA VARILLA PULIDA.**



**$Wf$  = Peso del fluido.**

**$Wr$  = Peso de las varillas.**

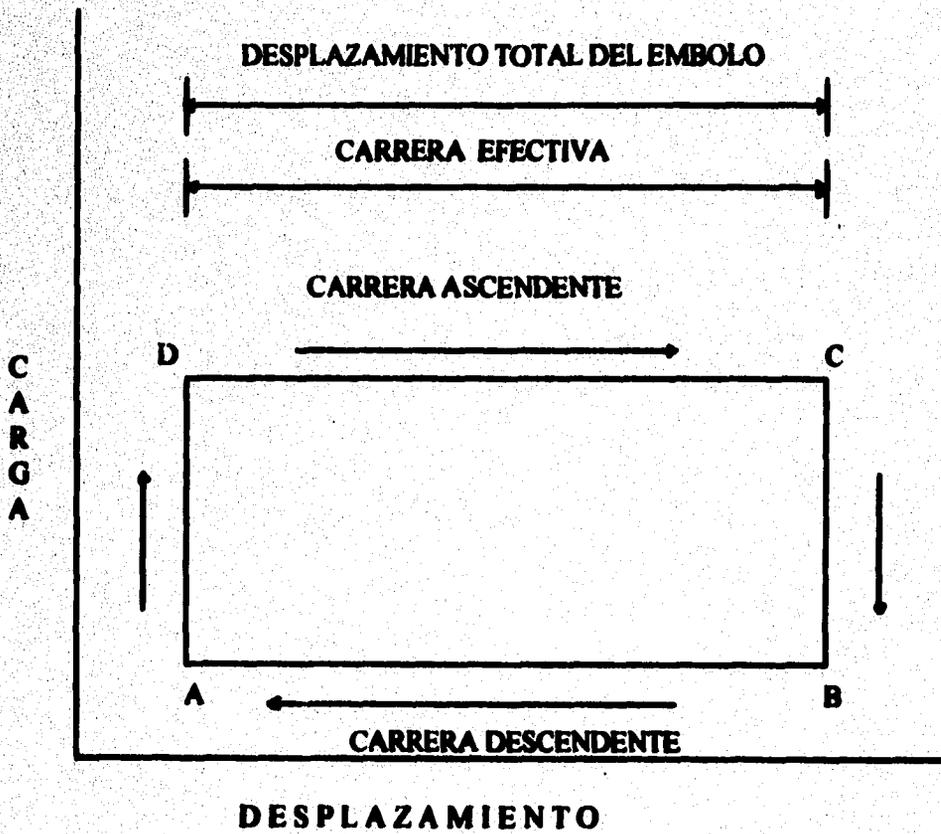
**$I$  = Factor de aceleración (inercia).**

## **V.2. CARTA DINAMOMETRICA A LA PROFUNDIDAD DE LA BOMBA.**

La carta dinamométrica correspondiente a la profundidad de la bomba o simplemente gráfica de la bomba, puede exhibir formas muy diversas, dependiendo de las condiciones de operación del pozo; sin embargo, bajo condiciones muy favorables su forma es rectangular. Es obvio que en la mayoría de los caso tal gráfica dista mucho de ser un rectángulo, por lo que es necesario conocer el efecto que producen los distintos factores que la afectan. Este conocimiento facilita su interpretación correcta y por consiguiente simplifica el diagnóstico del funcionamiento de equipo en el pozo. La gráfica ideal que indica una operación óptima de la bomba es aproximadamente de forma rectangular. Figura V.3.

El punto A de esta figura corresponde al instante en que el émbolo alcanza la posición inferior durante la carrera descendente. Inmediatamente después, se inicia la carrera ascendente y la válvula viajera cierra, transfiriéndose totalmente la carga del fluido de la tubería de producción a la sarta de varillas, punto B. Durante el trayecto del punto B al C, la válvula de pie permanece abierta permitiendo la entrada de fluidos del pozo al barril de la bomba. En el punto C se alcanza la posición superior del émbolo, iniciándose la carrera descendente; la válvula viajera abre, la válvula de pie cierra y la carga soportada por las varillas se transfiere totalmente a la tubería de producción, punto D. En el trayecto de D a A la válvula viajera permanece abierta, permitiendo el paso de los fluidos del interior del barril a la tubería de producción, hasta que el émbolo alcanza su punto inferior en A, iniciándose un nuevo ciclo.

**FIG.V.3. GRAFICA IDEAL OBTENIDA A LA PROFUNDIDAD DE LA BOMBA.**



**La gráfica de la figura V.3. es muy difícil de obtener en condiciones reales. Pueden lograrse diagramas similares en pozos que producen con poco gas y operan a velocidades de bombeo sumamente bajas; siempre y cuando se cuente con equipo subsuperficial en buenas condiciones.**

**A continuación se muestran en las figuras V.4. a V.8., los problemas mas frecuentes en bombeo mecánico y la manera en que se manifiestan en la gráfica.**

**Se advierte que en muchos casos la interpretación de la gráfica no es simple, debido a que dos o más efectos pueden presentarse simultáneamente. Sin embargo la dificultad que se tiene para interpretar la carta dinamométrica de la bomba no es comparable a la que se tendría para interpretar la gráfica superficial; la cual además de incluir los efectos originados durante la transmisión de la onda hasta la superficie, tiene el inconveniente de registrar la información defasada en el tiempo, lo que enmascara totalmente las condiciones reales de operación de la bomba.**

**La gráfica de la figura V.4. indica compresión y expansión de gas dentro del barril de la bomba. Este problema da lugar a que la carrera efectiva del émbolo disminuya notablemente, dependiendo de la cantidad de gas almacenado dentro del barril. Lo anterior puede deberse a una operación deficiente del separador de gas, o bien a que es necesario colocar la bomba a una profundidad mayor en donde exista menos gas libre.**

**La figura V.5. representa un caso típico de fuga en la válvula viajera o en el émbolo. Esta situación, originada por un asentamiento inadecuado**

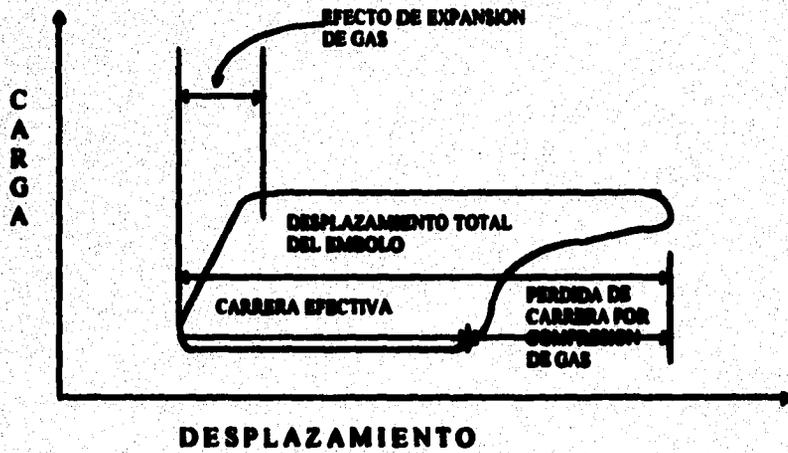
de la canica de la válvula viajera o por el desgaste excesivo del émbolo y el barril, resulta en disminuciones notables en la producción de aceite. La forma arqueada de la gráfica se debe a la pérdida de carga del líquido al inicio y al final de la carrera ascendente, cuando la velocidad del émbolo es menor. Obviamente la medida recomendable será extraer la bomba y reemplazar las piezas defectuosas.

La figura V.6. es la gráfica representativa de fuga en la válvula de pie. Como en el caso anterior, se origina por un asentamiento inadecuado de la canica de dicha válvula. Esto puede deberse a que la canica y/o el asiento se encuentra deteriorados o bien a que en el asiento se haya depositado algún material, como arena, impidiendo el sello correcto de la canica. La transferencia de carga de las varillas a la tubería de producción y viceversa es gradual, lo que ocasiona la concavidad hacia arriba de la figura.

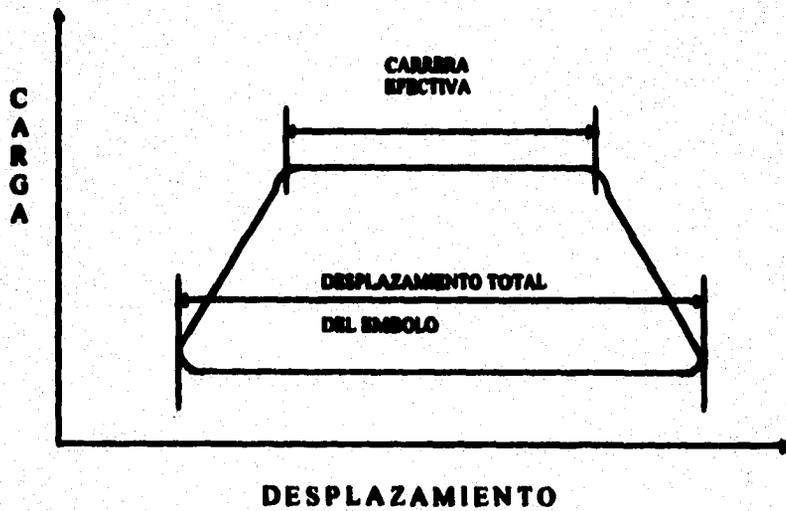
La figura V.7. muestra la gráfica de la bomba para el caso de tubería de producción desanclada. El problema solo puede detectarse con precisión en pozos que producen poco gas, ya que para aquellos que producen con altas relaciones gas-aceite, pueden confundirse con efectos de compresión y expansión de gas.

Los efectos combinados de tubería desanclada y fuga en la válvula viajera o en el émbolo se ilustran en la figura V.8. El problema puede detectarse en virtud de que al inicio de la carrera ascendente los efectos son del mismo sentido mientras que al final son de sentido contrario, lo que resulta en una gráfica como la mostrada.

**FIG. V.4. GRAFICA DE LA BOMBA INDICANDO COMPRESION Y EXPANSION DE GAS.**



**FIG. V.5. GRAFICA DE LA BOMBA INDICANDO FUGA EN LA VALVULA VIAJERA O EN EL EMBOLO.**



**En general, puede decirse que estos son los principales problemas que afectan la operación de la bomba en el fondo del pozo.**

**Debe tenerse en cuenta que la gráfica en el fondo es el resultado de diversos factores que inciden sobre la bomba; por lo que en muchos casos no será fácil hacer un diagnóstico muy preciso. La habilidad y experiencia del analista para interpretar las gráficas, así como un conocimiento detallado de las condiciones del pozo, serán de gran utilidad para diagnosticar las condiciones de operación de cada pozo.**

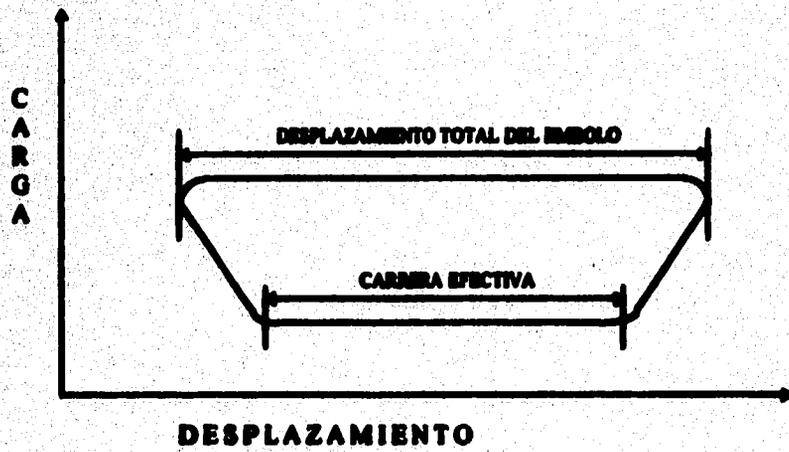
**Un factor que dificulta la interpretación de las gráficas es la fricción excesiva de las varillas de succión con la tubería de producción. Solo en este caso la técnica queda limitada, debido a que resultan gráficas que no es posible interpretar. El problema es frecuente en pozos que sufrieron desviaciones apreciables durante la perforación.**

**De la gráfica de la bomba puede obtenerse directamente la carrera total y efectiva del émbolo, la carga de fluido y la fuerza de flotación ejercida sobre las varillas. En la figura V.9. se ilustra la forma de obtener esta información.**

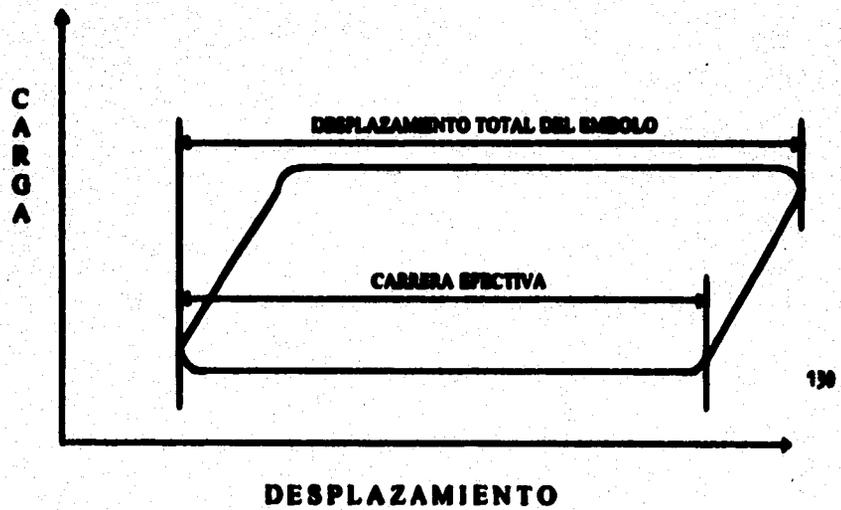
**Así mismo, la técnica propuesta en este trabajo, proporciona un método indirecto para estimar la presión de entrada a la bomba ( $P_i$ ) cuyo valor puede calcularse con la siguiente expresión:**

$$P_i = P_p - W_f / A_p$$

**FIG. V.6. GRAFICA DE LA BOMBA INDICANDO FUGA EN LA VALVULA DE PIE.**



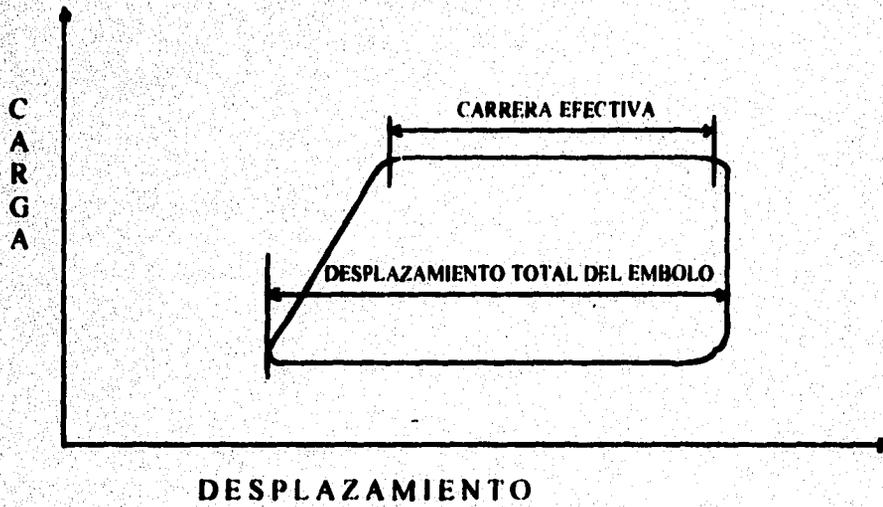
**FIG. V.7. GRAFICA DE LA BOMBA INDICANDO TUBERIA DESANCLADA.**



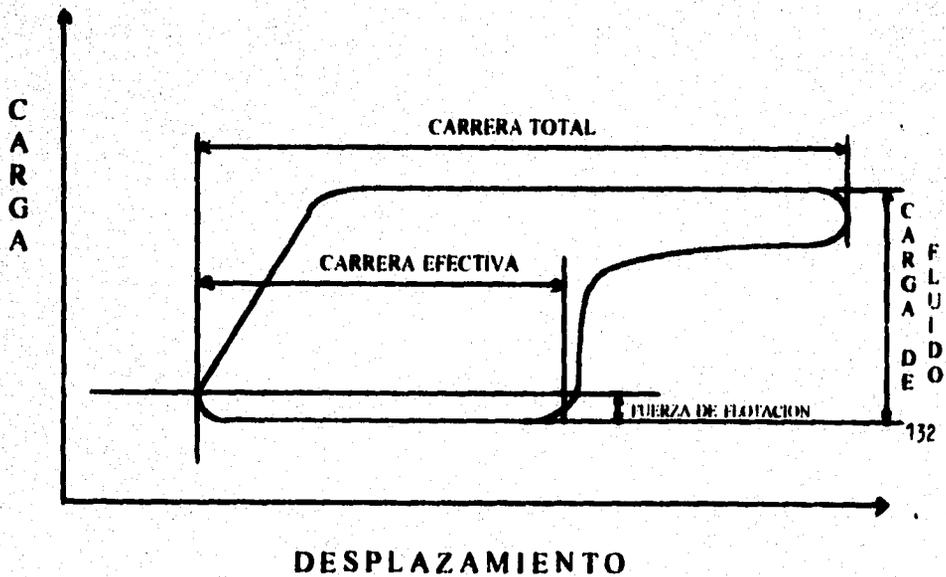
Con referencia a la figura V.10.,  $P_p$  representa la presión a la descarga de la bomba, se estima en función de la densidad media de los fluidos y la profundidad de bombeo, o mediante curvas de gradiente de presión para tuberías verticales.  $W_f$  y  $A_p$  denotan respectivamente la carga de fluido proporcionada por la bomba y el área del émbolo; su coeficiente  $W_f/A_p$  es la presión diferencial a través de la bomba. La carga  $W_f$  se obtiene directamente de la gráfica dinamométrica de la bomba, véase figura V.9.

Del estudio de la gráfica de la bomba es posible también detectar fugas en la tubería de producción. Para esto, se calcula el gasto diario de líquidos que se manejan en el fondo del pozo, en función de la carrera neta del émbolo, y se compara con la producción real obtenida en la superficie. Si la diferencia entre ambos gastos es apreciable, significa que existen fugas en la tubería de producción.

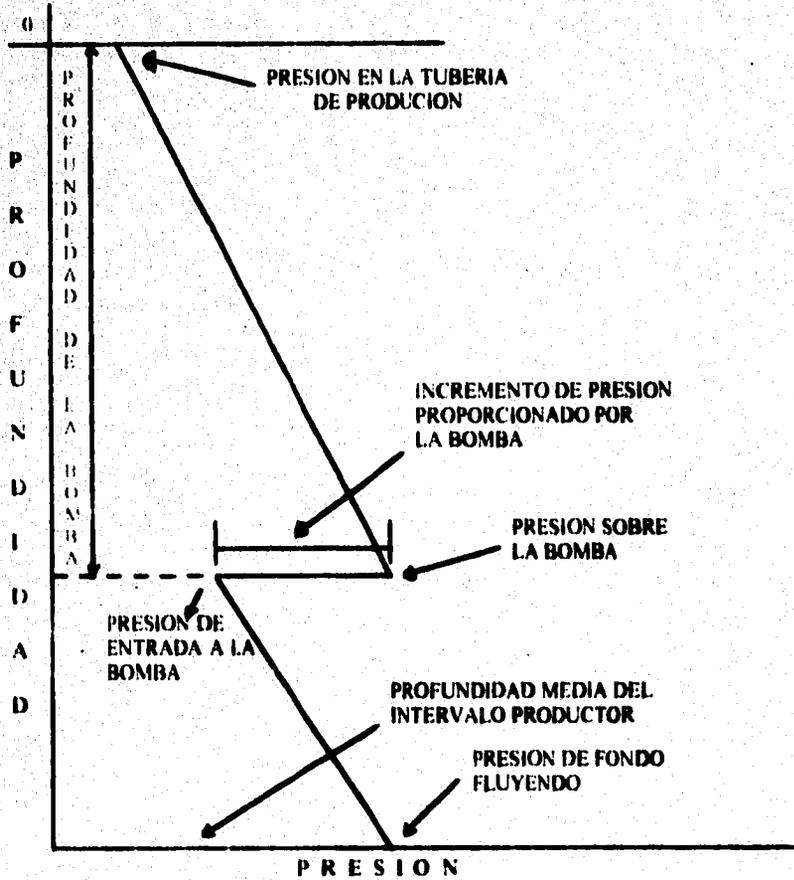
**FIG. V.8. GRAFICA DE LA BOMBA CON EFECTOS COMBINADOS DE TUBERIA DESANCLADA Y FUGA EN LA VALVULA VIAJERA O EN EL EMBOLO.**



**FIG. V.9. GRAFICA TIPICA OBTENIDA A LA PROFUNDIDAD DE LA BOMBA.**



**FIG. V.10. GRAFICA QUE MUESTRA LA RELACION PRESION-PROFUNDIDAD EN UN POZO DE BOMBEO MECANICO.**



## **V.3. CARTA DINAMOMETRICA SUPERFICIAL.**

### **V.3.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FORMA.**

Se ha escrito una gran cantidad de material acerca de los factores que influyen en la forma de las cartas dinamométricas, y algún esfuerzo ha sido hecho para analizar estos factores tal que la forma de la carta se pueda predecir. El análisis de los factores que influyen se usan también para determinar si la carta dinamométrica tomada es normal o al menos en alguna parte cierra tal como se debe esperar en la forma, y con las cargas mínima y máxima.

Para simplificar la discusión, los factores que influyen la forma de la carta serán tomados de acuerdo a su importancia.

#### **(1) VELOCIDAD Y PROFUNDIDAD DE BOMBEO.**

En un pozo en el cual se está bombeando y tiene una eficiencia volumétrica aparente de 70% o más, la velocidad de operación y profundidad de bombeo debe ser determinada de su forma general. Note los cambios de velocidad en las gráficas posteriores tomadas en el mismo pozo en el mismo día. También note el cambio de profundidad de bombeo en las gráficas posteriores (cambios de profundidad, velocidad constante),

en pozos con el mismo tamaño de bomba y operando a una velocidad de 18 epm. Estas son formas de ejemplos verdaderos.

Todos los factores de fricción son desconocidos, tal como la fricción entre varillas y T.P. y la fricción entre las varillas y el fluido del pozo. Un fluido viscoso puede amortiguar en un grado marcado la vibración natural de la sarta de varillas. La selección óptima de la velocidad de operación por medio de algún método teórico tiene inexactitudes inherentes.

## **(2) CONDICIONES DEL FLUIDO.**

Las condiciones del fluido pueden influir grandemente en la forma de la carta dinamométrica. Esto lo vemos a continuación en las gráficas con título de: Historia de pozos y pozos semi-fluyentes. Estas gráficas son ejemplos de cambios completos en la forma de la carta, también como cambios en la carga mínima, y potencia de la varilla pulida.

## **(3) CONDICIONES ANORMALES DE LA BOMBA.**

La gráfica con el título de: Embolo atascado, muestra precisamente a una bomba en condiciones anormales, es decir, la bomba tiene el émbolo atascado debido a la arena. Igualmente las cartas tomadas a las 11:25 a.m. y 1:35 p.m. son algo diferentes en la forma. Cuando las características de bombeo de un pozo son conocidas es posible decir cuando una bomba está cerca de fallar, por medio de una carta dinamométrica. Esto es enteramente razonable cuando se considera que la carga bombeada debe ser algo menor con una bomba usada que con una nueva. El golpeteo de fluido mostrado

en las gráficas posteriores muestran como un ineficiente llenado del barril de la bomba cambia la forma de la carta dinamométrica.

#### **(4) FACTORES DE FRICCIÓN.**

En el área de Seminole donde se tiene agujeros muy desviados, casi ninguna forma de carta puede ser obtenida. Ambas cargas y requerimientos de potencia son generalmente mas altos que los teóricos. La gráfica con título de baja carrera, muestra a un pozo de Seminole. El agujero tiene un desviación máxima de 32 grados con la vertical. Esto, combinado con una bomba grande, contribuye a las características de baja carrera mostrada por la carta dinamométrica. No hay pruebas de golpeteo de fluido, sin embargo la eficiencia volumétrica aparente es solamente de 37%.

### **V.3.2. ANALISIS.**

Con la carta dinamométrica y los datos dados a continuación, un análisis de los puntos importantes en la gráfica se discuten.

<b>Profundidad total</b>	<b>=</b>	<b>9000 pies</b>
<b>Producción aceite</b>	<b>=</b>	<b>22 bl/día, agua 683 bl/día</b>
<b>Densidad realtiva</b>	<b>=</b>	<b>39 grados API</b>

Longitud de embolada	=	64 pg.
Embolada por minuto	=	21.5
T.R., 6 pg.	=	4891 pies
T.P. 2.5 pg.	=	sin anclar
Varillas de succión	=	7/8", 1860 pies
		3/4", 2875 pies
Tipo de acero	=	Carbón, 0.35, Niquel, 0.65, Cromo, 0.40, Molibdeno, 0.09
Bomba	=	2.5 pg. x 2 1/4 pg. x 10 pies
Diámetro de émbolo	=	2.25 pg.
Unidad estimada	=	Carga, 19000 lbs. Torque pico, 200000 pg-lb

El punto A, Fig. V.11. representa el fin de la carrera ascendente y el comienzo de la carrera descendente. Como la varilla pulida comienza a caer hay un inmediato descenso de la carga. Esto muestra que la carga de fluido ha sido transferida de la sarta de varillas de succión a la T.P. y significa que la válvula viajera en la bomba abrió en el comienzo de la carrera descendente. Esto es característico en muchos pozos donde la eficiencia volumétrica aparente es de 75% o superior. En casos de pozos semifluentes o con agitación, la forma de la curva de carga está continuamente cambiando y una carta promedio no se obtiene.

El punto B representa la carga mínima, o el punto mas bajo de la carta dinamométrica. Este caso ocurre un poco más allá del centro de la carrera descendente. De B a C la varilla pulida está cayendo todavía, la carga sobre la varilla pulida se incrementa. esto es quizas uno de los mas difíciles hechos en visualizar para uno que no está familiarizado con las cartas dinamométricas. Cuando el movimiento de la varilla pulida se considera, es visto que su velocidad en la carrera descendente acelera hasta

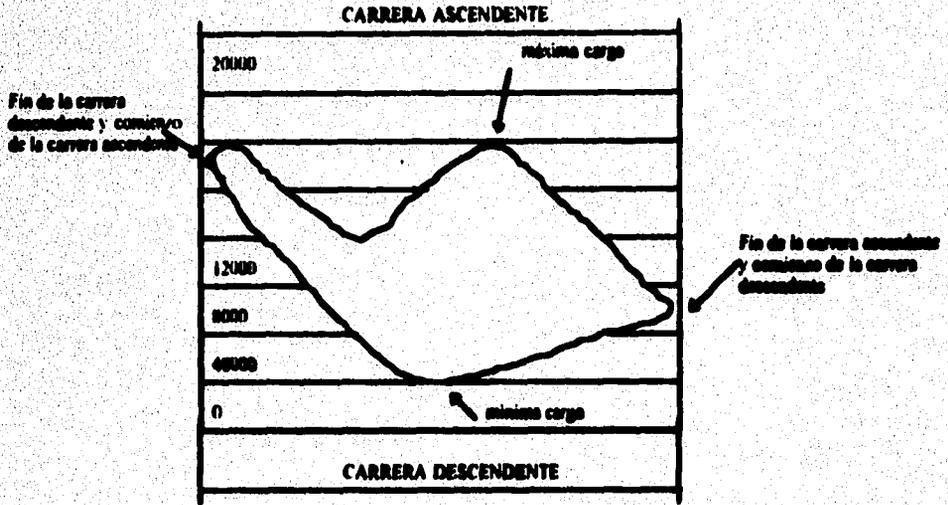
que alcanza una máxima velocidad cerca del centro de la carrera descendente. Entonces desacelera hasta llegar a un alto instantáneo en el fin de la carrera descendente. Para este pozo bombeando a 20 epm, 8800 lbs. de varillas de succión, la cuales han estado viajando a la velocidad de 7.1 pies/seg. son llevadas a un alto en 3/4 de segundo.

La fuerza total instantánea que se mide en la varilla pulida en el punto C, ha alcanzado entonces 16 000 lbs. El punto C es el fin de la carrera descendente y el comienzo de la carrera ascendente. Como la varilla pulida invierte su dirección la sarta de varillas de succión actúa como un resorte y se elonga además. Un incremento de carga se produce en la varilla pulida, el cual alcanza su pico en el punto D.

Del punto D al punto E la acción de resorteo de la sarta de varillas de succión devuelve algo de energía, la cual se acumuló cuando la sarta de varillas fué estirada en el fin de la carrera descendente. Del punto D al E la varilla pulida está llendo hacia arriba en un incremento de velocidad, moviendo no solamente la sarta de varillas de succión, sino también el peso del fluido. Todavía la energía devuelta al sistema por el resorteo en la sarta de varillas es suficiente para causar un decrecimiento de carga entre estos puntos.

La curva de carga de E a F representa una continuación de la carrera ascendente. La carga se incrementa como el fluido y la sarta de varillas de succión son movidas en un incremento de velocidad. El punto F representa la carga máxima, el cual se alcanza en el centro aproximadamente de la carrera ascendente.

**FIG. V.11.**



Máxima - mínima = rango de carga

Escala constante de 8000 lb/pg

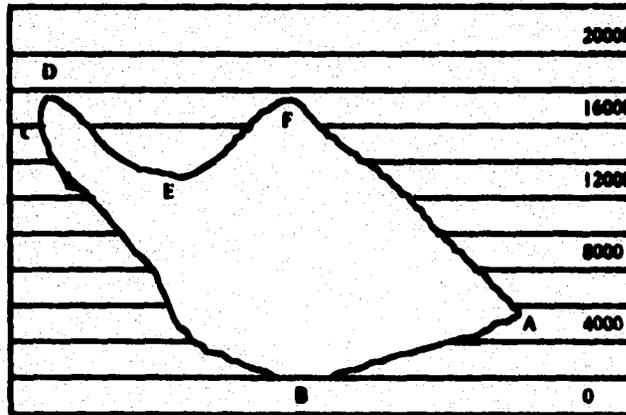
La potencia es representada por el área encerrada en la carta

$\text{Área de la carta} \times \text{escala constante (lb)} = \text{Fuerza efectiva media}$

Longitud de carta

Potencia de la varilla pulida = S.P.M.  $\times$  carrera(pg)  $\times$  Fza. efectiva media / (33000  $\times$  12)

**FIG. V.12.**



Del punto F al punto A la varilla pulida se desacelera, el cual se explica por el decrecimiento de carga en esta parte de la carrera ascendente. Esto completa el trazado de curvas de carga durante una embolada de fluido.

#### **V.4. GOLPETEO DE FLUIDO.**

Las varillas de succión están diseñadas para operar solamente en tensión. Sin embargo, el efecto del golpeteo de fluido es la causa repetida del esfuerzo de doblamiento en adición al esfuerzo normal por tensión. Esta acción es similar al doblamiento de una pieza de alambre una y otra vez hasta que se rompa. El doblamiento repetido causa que las fibras exteriores del acero de las varillas de succión se separen, así formando pequeñas grietas transversales comúnmente llamadas grietas por fatiga. Estas crecen muy rápidamente hasta que la falla ocurre. La grieta como primera forma, es el comienzo de otras muchas grietas, las cuales son abiertas en una pieza de acero cuando se está doblando una y otra vez. Una sarta de varillas bombeando a 20 epm está sujeta a 28 000 inversiones de esfuerzos en un día de operación. Cuando esto se considera, es fácil ver porque el golpeteo de fluido a menudo resulta en fallas prematuras en las varillas de succión.

Además del esfuerzo severo el cual el golpeteo de fluido impone a la sarta de varillas de succión, la T.P. está sujeta a esfuerzos de magnitud

comparable. Esto a menudo resulta en juntas flojas, así causando grietas en la T.P. o fallas completas en la cima de la sarta de la T.P.

Puesto que hay miles de pozos los cuales operan con un golpeteo de fluido y baja eficiencia volumétrica, es importante corregir esta práctica costosa. El golpeteo de fluido se elimina disminuyendo el desplazamiento de la bomba. Esto se puede llevar a cabo retrasando el descenso al pozo, acortando la carrera, o instalando un bomba mas pequeña. Algunas veces es necesario probar con una combinación de los soluciones antes mencionadas para prevenir un decremento en la producción.

#### EJEMPLO DE GOLPETEO DE FLUIDO. Fig. V. 13.

Carga máxima	=	14500 lbs
Carga mínima	=	2800 lbs
Rango	=	11700 lbs
Velocidad	=	18.5 epm
Carrera	=	54 pg.
HP varilla pulida	=	10.1
Varilla de succión	=	1500 pies - 7/8 pg. 2000 pies - 3/4 pg.
Bomba	=	1 3/4 pg.
Eficiencia volumétrica	=	27.7%



### FIG. V.13.1. VARILLAS ROTAS O DESCONECTADAS.

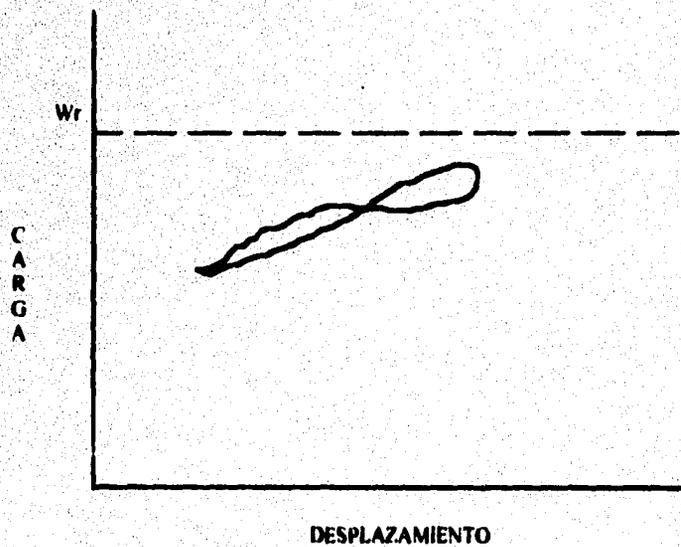


Figura que indica el problema de varillas desconectadas o rotas. La carga que se detecta en la varillas pulida es menor que la carga de la sarta de varillas.

Se reconoce generalmente por muchos productores que los esfuerzos perjudiciales son impartidos al equipo mecánico de una bomba cuando ocurre el golpeteo de fluido. Para visualizar más fácilmente que sucede cuando un pozo tiene golpeteo, el ejemplo anterior se da como una ilustración.

Fig. V.13. La varilla pulida viaja de A a B antes que la válvula viajera en la bomba abra. Esto significa que aproximadamente la tercera parte del barril de la bomba a partir de la cima se llena con fluido gaseoso, el cual debe ser comprimido a una presión superior a la del peso del fluido arriba de la válvula viajera antes que la válvula viajera abra. En este caso (3 500 pies de profundidad de bombeo), la cantidad de presión es de cerca de 1 400 psi. En el punto B, la presión abajo de la válvula viajera debe exceder 1400 psi. Cuando la válvula viajera se abre la carga de fluido es instantáneamente transferida de la sarta de varillas de succión a la T.P. El peso del fluido es ahora soportado por la válvula de pie, en lugar de la válvula viajera. En este caso tenemos una reducción repentina en la cantidad de carga de 8950 lbs.

En el movimiento de A a B las varillas de succión en la parte más baja de la sarta están sujetas a una carga por compresión, la cual causa una acción de pandeo. Cuando la válvula viajera abre en B, la sarta de varillas de succión se tensiona seguidamente en un intervalo de tiempo muy corto. Esta acción es llamada comunmente pandeamiento y flexionamiento de la sarta de varillas.

## **V.5. VELOCIDADES SINCRONICAS Y NO SINCRONICAS, EN SISTEMA DE VARILLAS DE SUCCION.**

John Slonneger, propuso la idea de que para alguna profundidad dada de un pozo, había una serie de velocidades de bombeo perjudiciales para la sarta de varillas, mientras otras serie de velocidades eran menos perjudiciales. La serie de velocidades de bombeo dañinas de la sarta se llaman, velocidades de bombeo "Sincrónicas", mientras que las velocidades de bombeo benéficas se llaman velocidades "No sincrónicas". Las velocidades de bombeo sincrónicas se supone elevan la carga pico normal de la varilla pulida, mientras las velocidades no sincrónicas se supone bajan la carga.

La determinación de las velocidades de bombeo deseables o no sincrónicas, se hace calculando la frecuencia natural de la sarta de varillas ( $f$ ), o sea dividiendo la constante 237 000 por la profundidad del pozo en pies y dividiendo esta constante por 1.5, 2.5, 3.5, 4.5, etc. Las velocidades de bombeo resultantes, se suponen serán las que ocasionen un menor daño en la sarta de varillas. Por otra parte, la frecuencia natural de la sarta ( $f$ ) dividida por 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, etc., determina la velocidad de bombeo sincrónica; estas dañan mas la sarta de varillas y se evitan.

Teóricamente, lo que se describe en seguida explica esto, desde un punto de vista práctico, existen algunas preguntas a cerca de la necesidad de diseñar la instalación para bombear a una velocidad no sincrónica

El concepto original es evitar una velocidad de bombeo tal que el valor máximo de la onda de esfuerzo, causada por el cierre de la válvula viajera, llegue a la superficie casi al mismo tiempo que el alargamiento y evitar que un segundo pico de carga estuviese ocurriendo. Es probablemente razonable que la suma de estas dos cargas pico causen una carga pico anormal alta en la varilla pulida, resultando en condiciones de bombeo perjudiciales para la sarta de varillas.

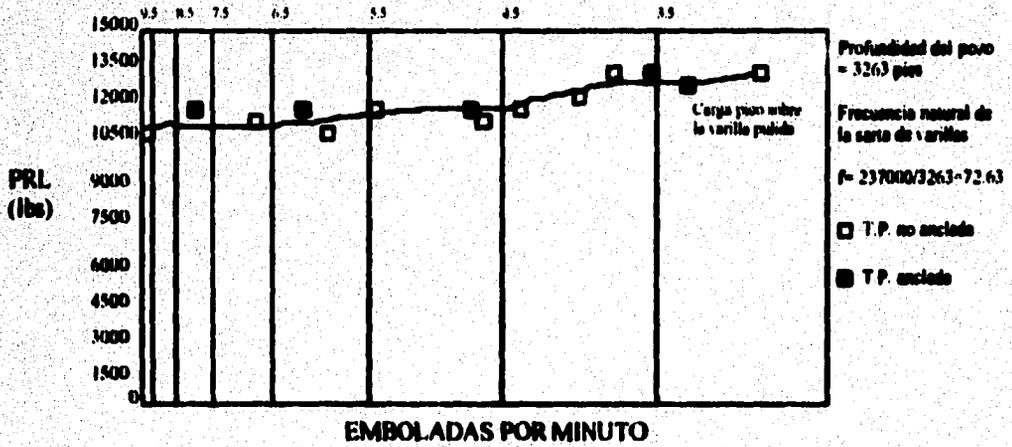
El Instituto de Investigaciones de Varillas de Succión (SRI), hizo un estudio para varios pozos con bombeo donde la carga pico de la varilla pulida para ambas T.P. anclada y no anclada, se grafica contra la velocidad de bombeo. La figura V.14. muestra esta curva para un pozo de 3263 pies. La frecuencia natural de la sarta de varillas ( $f$ ) fue calculada de 72.63 c/M y, dividiendo este valor sucesivamente por 3.5, 4.5, 5.5, 6.5, etc., las velocidades de bombeo no sincrónicas se determinaron y graficaron como una línea vertical en la curva continua de la carga pico de la varilla pulida. De la figura V.14. se nota que hay poca elección entre las velocidades de bombeo sincrónicas y no sincrónicas en cuanto a la carga pico de la varilla pulida. Como se incrementa la velocidad de bombeo, la varilla pulida ejecuta más trabajo por unidad de tiempo, y la carga pico en la varilla pulida llega a ser mas grande. Aun de la figura V.14. (un estudio riguroso de bombeo) hay poco para escoger entre velocidades de bombeo sincrónicas y no sincrónicas (al menos para esta aplicación en particular), en cuanto a la más alta o más baja carga pico de la varilla pulida.

La figura V.15. muestra la carga pico de la varilla pulida contra la velocidad de bombeo para un pozo de 7150 pies. La frecuencia natural de la sarta de varillas ( $f$ ) sera 32.15 c/M; dividiendo esto por 1.5, 2.5, 3.5, 4.5, etc., dará probabemetete la velocidad de bombeo óptima o no sincrónica, estas velocidades deseables son graficadas como un línea vertical en la

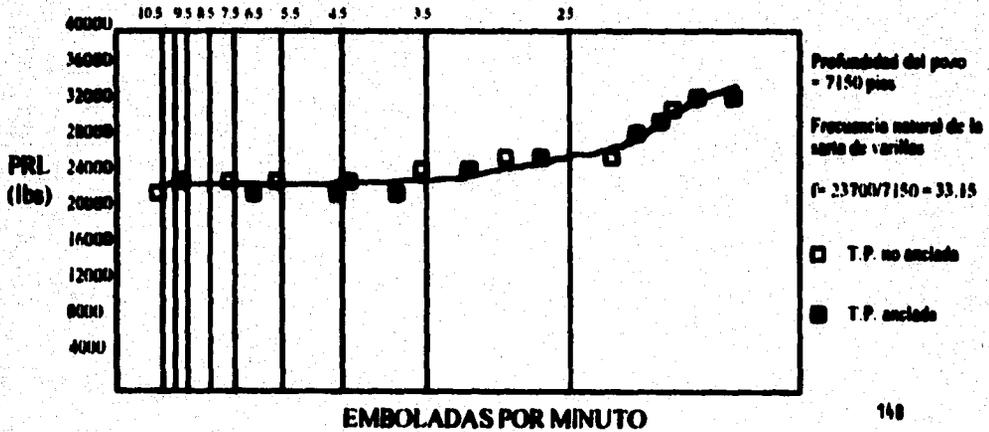
curva de la carga pico de la varilla pulida y otra vez hay poca elección entre las velocidades de bombeo sincrónicas y no sincrónicas. La velocidad sincrónica será a la mitad del camino entre dos velocidades no sincrónicas. Así, si estos estudios de investigación sobre las varillas de succión son correctos, hay poco beneficio desde el punto de vista de la reducción de la carga pico de la varilla pulida, en la selección de velocidades de bombeo no sincrónicas sobre una velocidad de bombeo sincrónica.

Posiblemente otras aplicaciones mostrarían una variación más grande de la carga pico de la varilla pulida, pero estos dos estudios con una variación amplia de la profundidad de los pozos, muestra que pequeñas consideraciones son necesarias para selección de una velocidad de bombeo especial. Aparentemente, una técnica adecuada de diseño sería seleccionar un gasto que produzca el volumen de fluido deseado sin violación de las limitaciones de torsión estructurales de los componentes del sistema.

**FIG. V.14. VARIACION EN LAS CARACTERISTICAS DEL POZO CON LA VELOCIDAD DE BOMBEO PARA T.P. ANCLADA Y LIBRE.**



**FIG. V.15. VARIACION EN LAS CARACTERISTICAS DEL POZO CON LA VELOCIDAD DE BOMBEO PARA T.P. ANCLADA Y LIBRE.**



## **CONCLUSIONES.**

1. La selección de una varilla apropiada, se obtiene prediciendo las condiciones de bombeo y teniendo un conocimiento amplio del comportamiento del acero, operando bajo condiciones similares. Es decir, el uso de una varilla de succión se basa en el diseño adecuado de la misma teniendo en cuenta la composición química y características físicas del acero así como las condiciones del pozo donde operará.

2. En este trabajo se analizó el problema teórica y prácticamente, y se observó que los factores más importantes para la selección de una varilla es tomar en cuenta la carga y el tipo de fluido. Las recomendaciones de selección de varillas de succión también están basadas en experiencias de campo, por lo tanto los valores dados como cargas máximas de trabajo no son estrictamente rigurosos y podrían ser modificados dependiendo de las condiciones locales del fluido. Se tomó como base la experiencia de campo dado que para la realización de un diseño teórico, se tiene que en los pozos con bombeo mecánico, los fluidos son considerados relativamente no corrosivos, sin embargo se reconoce que no existe tal condición de fluido verdaderamente no corrosivo.

3. Es conveniente observar que muchas veces en el campo la gente que está a cargo del manejo de las varillas de succión, no tiene pleno conocimiento del trabajo que está realizando e inclusive consideran a una varilla de succión como un "fierro" más que tienen que mover. Por lo que es importante que en toda operación de transporte, almacenamiento y manejo se debe tener mucho cuidado para impedir que las varillas o sus

extremos se pongan en contacto con algún objeto indebido. Si ésto llega a ocurrir existe una alta probabilidad de que la varilla se dañe permanentemente y cause un problema mayor durante su operación en el pozo.

4. Otro factor importante a considerar en el diseño de una sarta de varillas succión es la corrosión existente en diferentes medios donde la sarta opera. Se recomienda tomar en cuenta los diferentes métodos para prevenir o corregir la corrosión existente en diferentes medios. En la actualidad la economía es un factor importante por lo que la selección de un método en particular debe basarse también en este punto. La observación de prácticas adecuadas en el manejo de varillas resultará en una disminución en los costos de la sarta y mantenimiento.

5. Las fallas en las varillas de succión ocurren con frecuencia debido a que el problema no se resuelve desde la raíz. El extraer la sarta, reemplazar las varillas dañadas, e introducir la sarta no arregla el problema. El camino para corregir, es analizar y comprender la causa de la falla y tomar una acción que remedie el origen del problema. El momento propicio para hacer esta corrección, es cuando las varillas están afuera del agujero durante el primer trabajo de mantenimiento.

6. Para el apriete de juntas de varillas de succión, el API publica recomendaciones y valores de desplazamiento para un funcionamiento óptimo de las mismas. Esto es con el fin de prevenir la separación entre el hombro del pistón y la cara del cople durante el ciclo de bombeo. Existen variables inherentes, las cuales afectan el apriete de juntas, como son la diferencia de materiales y el terminado de la superficie.

**7. El diseño de una sarta de varillas de succión telescopiadas se realiza de dos formas diferentes:**

**a) Las longitudes de secciones individuales pueden ser seleccionadas, de tal manera que el esfuerzo unitario en la cima de cada sección sea el esfuerzo máximo de trabajo permisible.**

**b) Las longitudes pueden ser seleccionadas de tal forma que los esfuerzos unitarios en la cima de las secciones sean iguales.**

**8. Debe mencionarse que las cartas dinamométricas tienen tres usos principales: Para obtener información que se utilizará como base para hacer cambios en el equipo de bombeo y, en particular, para determinar los requisitos de carga, par de torsión y caballos de fuerza; para mejorar las condiciones de operación por ajuste en la velocidad de bombeo y la longitud de la carrera; para verificar las condiciones del pozo, después de la instalación del equipo, y para diagnosticar diversos problemas de operación. Algunos problemas que se pueden diagnosticar y que nos afectan para el buen funcionamiento de sarta de varillas de succión son:**

- Golpeteo de fluido.**
- Tubería rota o desconectada.**

## **BIBLIOGRAFIA.**

1. **SUCKER ROD HANDBOOK.  
JOHNSON-FAGG.  
BETHLEHEM STEEL COMPANY, 1953.**
2. **SUCKER ROD MANUAL.  
DOVER-CORPORATION/NORRIS DIVISION, 1982.**
3. **ESTUDIO DEL REGISTRO DEL DINAMOMETRO  
ELECTRICO DELTA II.  
ING. FRANCISCO GARAICOCHA P.  
IMP, MARZO 1975.**
4. **API RECOMMENDED PRACTICE FOR CARE AND  
HANDLING OF SUCKER ROD.  
AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE.  
API RP 11BR FIFTH EDITION, MARCH 1969.**
5. **SUCKER ROD FAILURES.  
W.B. STEWARD.  
DOVER CORPORATION/NORRIS DIVISION, 1982.**

6. **API RECOMMENDED PRACTICE FOR DESIGN  
CALCULATION FOR SUCKER ROD PUMPING SYSTEMS.  
AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, MAY 1982.**
  
7. **OIL WELL PUMPING DYNAGRAPH.  
WALTON E. GILBERT.  
DRILLING AND PRODUCTION PRACTICE, 1936.**
  
8. **1984 TUBING AND SUCKER ROD TABLES.  
WORLD OIL JANUARY 1984.**
  
9. **APUNTES DE CLASE.  
ING. HECTOR DIAZ ZERTUCHE, 1987.**