

**Universidad Nacional de Ingeniería**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO**  
**Y PETROQUÍMICA**



**"ESTUDIO DE ROTURAS DE VARILLAS DE SUCCION (SUCKER RODS) EN SISTEMAS DE BOMBEO MECANICO"**

**TITULACIÓN POR EXAMEN PROFESIONAL  
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO DE PETRÓLEO**

**WILLIAM LUCIO MONTESINOS MATEOS**

**PROMOCIÓN: 1988-I**

**LIMA - PERÚ**  
**1994**

## DEDICATORIA

A Dios, por la vida; a mi hijo William Edinson quien me motivó para iniciar este trabajo; a Flor, mi esposa por su apoyo constante; a mis padres, hermanos y a quienes me ayudaron a elaborar este estudio.

## CONTENIDO

1.-OBJETIVO

2.-INTRODUCCION

3.-CONCLUSIONES

4.-RECOMENDACIONES

5.-CONCEPTOS TEORICOS

5.1.-LA VARILLA DE BOMBEO

5.1.1.-CLASIFICACION API

5.1.2.-DISEÑO

5.2.-LA LEY DE HOOKE

5.3.-LA FATIGA

5.4.-EL DIAGRAMA MODIFICADO DE GOODMAN

5.5.-EL EFECTO VIBRACIONAL

5.6.-EL SISTEMA DE BOMBEO MECANICO

5.6.1.-DISEÑO API

6.-FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS ROTURAS

6.1.-POR AREA DE PRODUCCION

6.1.1.-LA VELOCIDAD DE BOMBEO Y LONG.DE CARRERA

6.1.2.-DIAMETRO DEL PISTON

6.1.3.-GEOMETRIA DE LA UNIDAD

6.1.4.-TRANSPORTE DE VARILLAS

6.1.5.-INSPECCION TECNICA

6.2.-POR PROBLEMAS DEL POZO

6.2.1.-LA CORROSION. TIPOS

6.2.2.-GOLPE DE FLUIDO

6.2.3.-GOLPE DE GAS

6.2.4.-BLOQUEO POR GAS

6.2.5.-DESVIACION

6.3.-POR AREA DE SERVICIO DE POZOS

6.3.1.-AJUSTE DE UNIONES

6.3.2.-LUBRICACION

6.3.3.-MARTILLO

6.3.4.-APLICACION DE TENSIONES

6.3.5.-USO DE ELEVADORAS

6.3.6.-USO DE ANCLAS DE TUBOS

7.-DETERMINACION DE CAUSAS DE ROTURAS

7.1.-USO DE LA CARTA DINAMOMETRICA

7.1.1.-CARTAS TIPICAS

7.2.-INSPECCION VISUAL

7.2.1.-FALLA POR TENSION

7.2.2.-FALLA POR FATIGA

7.2.3.-FALLA POR DOBLADURA

7.2.4.-FALLA POR FLEXION

7.2.5.-FALLA POR DAÑOS SUPERFICIALES

7.2.6.-FALLA POR AJUSTE INADECUADO

8.-DATOS ECONOMICOS

9.-DATOS ESTADISTICOS

BIBLIOGRAFIA

## 1.-OBJETIVO

Analizar las operaciones y métodos aplicados al uso de las varillas de succión, en los pozos con sistemas de bombeo mecánico desde el punto de vista técnico, operativo y económico, con el fin de incrementar la producción de petróleo, reducir la producción diferida y el costo de extracción debido a los servicios de pozos repetidos por roturas de varillas.

## 2.-INTRODUCCION

Dentro de los problemas que ocurren en la operación del sistema de Bombeo Mecánico en el Noroeste, un 20 % de los servicios de pozos mensualmente se debe a las roturas de varillas de succión, las cuales son fallas constantes que se que se traducen en servicios de pozos repetitivos

La práctica tradicional de sacar la sarta de varillas, reemplazar las dañadas y reinstalarlas ha demostrado que no soluciona el problema. La manera correcta de eliminar éste problema es empezar determinando la causa de la rotura inspeccionando la parte fallada, ya que todas las roturas dejan evidencia de tal forma que permiten detectar la falla de manera directa.

La experiencia de campo nos enseña que la sarta de varillas está afectada por muchos factores durante su trabajo en el pozo, los cuales serán presentados y entre los que están : la corrosión, el desgaste por fricción, daños por manipuleo y las cargas excesivas entre otros. Estos actúan en forma individual o en combinación para producir esfuerzos que superan el límite de resistencia a la fatiga y causan su rotura. Es así que una sarta de varillas correctamente diseñada, observando los cuidados en su manipuleo, torques de ajustes y condiciones de operación del equipo de subsuelo y de superficie con seguridad tendrá un largo y económico servicio.

### 3.-CONCLUSIONES

- La falta de un control estadístico de varillas, dificulta el análisis para determinar las causas de roturas y el tiempo real de vida de las varillas.
- Las principales causas de roturas de varillas son el golpe de fluido, desviación del pozo, manipuleo por servicio de pozos y falla del material debido al uso por encima de su tiempo estimado de vida.
- El golpe de fluido causa el daño más severo en la sarta de varillas y es además el problema más frecuente. Asimismo un daño similar causa el golpe de las varillas sobre la guía de la varilla del pistón de la bomba de subsuelo.
- El procedimiento de sacar las varillas y los tubos por etapas cuando la bomba de subsuelo está atascada en el niple de asiento ( por problema de producción de parafina, carbonato o finos de formación ), puede conducir a daños en las varillas por desprendimiento y por la aplicación continua de torque para desenrosque.
- Existe una inadecuada supervisión y fiscalización de los trabajos de "pulling" por la falta de mayor número de ingenieros de servicio de pozos y por el uso continuado de parámetros de control de operaciones respectivamente.

- La falta de varillas y niples ( "pony rod " ) en stock en buenas condiciones, están obligando al uso de varillas con desgaste, las que a su vez causan fallas prematuras en la sarta luego de un servicio de "pulling". A esto se suma la falta de una inspección técnica oportuna.

Las compañías de servicio de pozos no están cumpliendo correctamente las normas API para el manipuleo de varillas, causando principalmente golpes, torceduras y mal ajuste de las uniones.

Durante los trabajos de "pulling", se han encontrado sistemas de bombeo mecánico trabajando con el "ancla" de tubos instalada y descargada.

De acuerdo a las estadísticas de los meses Setiembre, Octubre y Noviembre de 1994, aproximadamente el 20 % de los servicios de "pulling" al mes, son originados por rotura de varillas.

- Las roturas de varillas dejan anualmente una pérdida de US\$ 1'397,610.00 aproximadamente.

- De la aplicación de un programa agresivo de capacitación al personal ,de supervisión constante y de inspección técnica a las sartas de varillas en operación, se puede lograr un ahorro anual de US\$ 708,235.00 aproximadamente.

#### 4.-RECOMENDACIONES

- Elaborar un programa de control estadístico de varillas, indicando básicamente el grado, tamaño, número de ciclos de trabajo acumulado, profundidad de operación e inspecciones efectuadas.

Analizar los problemas de roturas de varillas, usando pruebas dinamométricas e inspeccionando visualmente la falla en cada servicio de "pulling".

- Aplicar el concepto del índice de productividad ( IPR ), con la finalidad de optimizar la producción del pozo, disponer de mayor sumergencia para la bomba y reducir el GOR del pozo.

El ingeniero de servicio de pozos debe supervisar constantemente las labores de "pulling", insistiendo en el cumplimiento de las normas API para manipuleo de varillas.

- Modificar la forma actual de supervisar y fiscalizar los trabajos de "pulling", asignando un ingeniero de servicio de pozos por unidad contratada de servicio y a su vez cambiando el sistema de descanso de 21 x 9 a 15 x 15 .

- Adquirir mayor cantidad de varillas nuevas de acuerdo al estimado anual y establecer un programa de inspección a las varillas que tengan un tiempo máximo de trabajo estimado de 8 años, para aumentar su tiempo de vida. Las más antiguas deberán descartarse.

- Dictar charlas de campo para capacitar al personal que realiza los trabajos de "pulling" , concientizándolos en el cuidado del material que manipulan e inspeccionar con frecuencia las herramientas de trabajo.

El ingeniero de servicio de pozos debe verificar la fijación correcta del ancla de tubos, indicando en su reporte los datos de la herramienta y la maniobra.

Formar grupos compuestos por ingenieros de producción y servicio de pozos, para analizar los pozos con frecuente rotura de varillas.

- El programa de inspección técnica de varillas debe incluir un análisis del material para determinar el actual límite de resistencia a la fatiga de las varillas y evaluar su continuidad de uso.

## 5.-CONCEPTOS TEORICOS

### 5.1.-LA VARILLA DE BOMBEO

La sarta de varillas de bombeo como parte del sistema de bombeo mecánico es un complejo sistema vibratorio que tiene la función de transmitir el movimiento vertical y la energía de la unidad de bombeo a la bomba de subsuelo.

Actualmente se usan dos tipos de varillas: las de acero y las de fibra de vidrio. Este estudio se refiere a las varillas de acero.

El principal constituyente de las varillas es el hierro. La mayoría de varillas de acero contienen más de 90% de hierro en su composición. Con el fin de modificar sus propiedades mecánicas, los elementos que pueden formar parte de su composición química pueden ser los siguientes

Carbono, Manganeso, Silicio, Níquel, Vanadio, Cobre, Boro, Cromo y Molibdeno.

Los aceros son clasificados bajo diferentes sistemas, pero el más usado es el AISI (American Iron and Steel Institute).

Las varillas se fabrican en longitudes de 25 y 30 pies medidas desde la superficie de contacto del pin (espejo) a la correspondiente del cople. La Fig.1 muestra la forma del pin y cople de una varilla. Estos coples son de 4 pulgadas de longitud y pueden ser del tipo "full size" (mayor diámetro) o "slim hole" (menor diámetro). Las medidas deben cumplir las especificaciones del API Spec 11B.

VARILLAS - TROZOS DE MANIOBRAS Y CUPLAS  
DIMENSIONES GENERALES

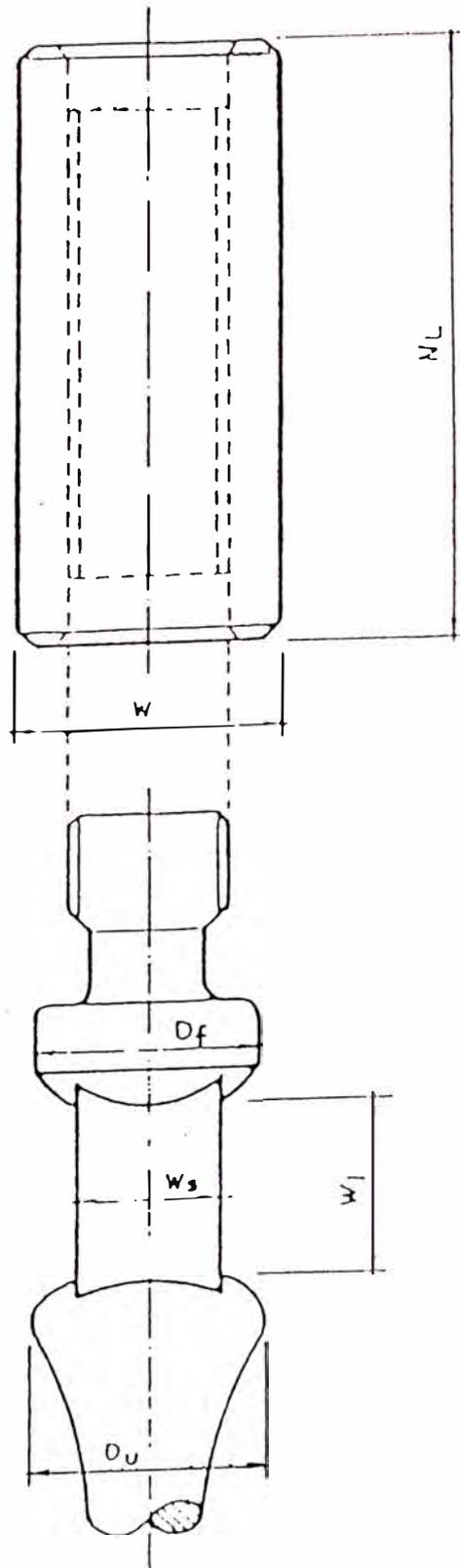


Fig.1

### 5.1.1.-CLASIFICACION API

Según el API (American Petroleum Institute), las varillas se clasifican en

#### **GRADO K**

Son varillas de aleación de níquel-molibdeno, resistentes a la corrosión. Son fabricados generalmente de aceros AISI 4621 y tienen un rango de esfuerzos a la tensión de 85,000 a 115,000 psi.

#### **GRADO C**

Son varillas de Carbono-Manganeso, fabricados en su mayoría de aceros AISI 1536 o 1036 y tienen un rango de esfuerzos a la tensión de 90,000 a 115,000 psi. Son las más usadas.

#### **GRADO D**

Son varillas de Carbono-Manganeso o de aleaciones Níquel-Cromo-Molibdeno. Son fabricados de diversos tipos de acero y tienen un rango de esfuerzos de tensión más altos que los anteriores : 115,000 a 140,000 psi. Se recomiendan en pozos profundos y/o de alta producción.

La tabla 1 muestra la composición química y la tabla 2 las propiedades mecánicas de las varillas suministradas por distintos fabricantes.

Tabla 1

SUCKER RODS											
CHEMICAL ANALYSIS, %											
Manufacturer	Type	Steel type	Carbon	Chromium	Manganese	Molybdenum	Nickel	Phosphorous	Silicon	Sulfur	Other
<b>SAE C steel</b>											
Oil Tool	30	AISI 1536M	.30-.37	.30 max	1.20-1.50	.065 max	.35 max	.035 max	.15-.35	.040 max	.028-.040 Columbian
IC	SAE	1036	.30-.37		1.20-1.50			.040 max	.15-.30	.050 max	
Inc.	S-60	1029Md	.22-.29	.20 max	1.00-1.32	.050 max	.15 max	.025 max	.15-.30	.040 max	.35 max Copper
/Corod Inc.	C	1536	.30-.37		1.20-1.50			.040	.10-.20	.050	
Oilwell	C	1536	.33-.43		1.20-1.65			.040 max	.15-.35	.050 max	
cker Rods	30	AISI 1536M	.34-.39	.30 max	1.15-1.45	.060 max	.35 max	.040 max	.20-.30	.040 max	.35 max Copper, .05-.07 Vanadium
r-Bleckmann	VM125	1536Md	.25-.40		1.20-1.50			.040 max	.15-.35	.050 max	
ustries	C11	1536	.30-.37	.25 max	1.20-1.50	.050 max	.25 max	.040 max	.20-.30	.040 max	.35 max Copper, .01-.03 Vanadium
	35	1536M <sup>8</sup>	.30-.37	.25 max	1.20-1.50	.050 max	.25 max	.040 max	.20-.30	.040 max	.01-.38 (Copper, Niobium, Vanadium)
<b>SAE K moly alloy</b>											
Oil Tool	SAE	AISI 4621M	.18-.23	.30 max	.70-.90	.20-.30	1.65-2.00	.035 max	.15-.35	.040 max	.05-.07 Vanadium
IC	S-59	4621	.18-.23		.70-.90	.20-.30	1.65-2.00	.035 max	.20-.35	.040 max	
Inc.	40	46XX	.14-.21		.55-.75	.20-.30	1.65-2.00	.025 max	.15-.35	.035 max	
Oilwell	K	4621Md	.20-.25	.30 max	.75-1.00	.20-.30	1.65-2.00	.030 max	.15-.30	.040 max	
cker Rods	40	AISI 4621M	.20-.25	.20 max	.60-.80	.15-.25	1.65-2.00	.035 max	.20-.30	.035 max	.35 max Copper, .05-.07 Vanadium
r-Bleckmann	N2P	4621Md	.18-.23	.25-.35	.70-.90	.20-.30	1.65-2.00	.040 max	.15-.30	.035 max	
ustries	K65	4623	.20-.25	.25 max	.75-1.00	.20-.30	1.65-2.00	.035 max	.20-.35	.040 max	.40 max Copper, .01-.03 Vanadium
	45	4623 <sup>8</sup>	.20-.25	.25 max	.75-1.00	.20-.30	1.65-2.00	.035 max	.20-.35	.040 max	.015-.43 (Copper, Niobium, Vanadium)
<b>SAE D steel</b>											
Oil Tool	S4	AISI 1541M	.40-.45	.30 max	1.30-1.60	.06 max	.35 max	.035 max	.15-.35	.040 max	.065-.085 Vanadium
IC	SAE	4142H	.39-.46	.75-1.20	0.65-1.10	.20-.30		.040 max	.20-.35	.040 max	
Inc.	S-67	1029Md	.22-.29		1.00-1.32	.05 max	.15 max	.025 max	.15-.30	.040 max	.35 max Copper
/Corod Inc.	D	1536	.30-.37		1.20-1.50			.040	.10-.20	.050	
/Corod Inc.	DR	1536	.30-.37		1.20-1.50			.040	.10-.20	.050	
Oilwell	MD	1539Md	.37-.43		1.20-1.65			.040 max	.15-.35	.040 max	
cker Rods	S4	AISI 1541VM	.40-.45	.30 max	1.35-1.55	.06 max	.35 max	.025 max	.20-.30	.030 max	.35 max Copper, .07-.09 Vanadium
ustries	D56	Special	.37-.42	.25 max	1.35-1.55	.05 max	.30 max	.035 max	.20-.35	.040 max	.35 max Copper, .05-.06 Vanadium
<b>moly alloy</b>											
Oil Tool	78	AISI 4142M	.40-.45	.80-1.10	.75-1.00	.15-.25	.45 max	.035 max	.15-.35	.040 max	.03-.04 Columbian
Inc.	S-87	3130Md	.22-.29	.41-.65	.71-1.00	.05 max	.70-1.00	.025 max	.15-.35	.035 max	.35 max Copper
/Corod Inc.	DL	4130	.27-.34	.80-1.15	.35-.65	.15-.25		.040	.20-.35	.040	
/Corod Inc.	DLR	4130	.27-.34	.80-1.15	.35-.65	.15-.25		.040	.20-.35	.040	
Oilwell	D	4142Md	.39-.46	.75-1.20	.65-1.10	.15-.30		.040 max	.20-.35	.050 max	
cker Rods	78	AISI 4142M	.40-.45	.90-1.10	.80-1.00	.15-.25	.45 max	.035 max	.20-.30	.035 max	.35 max Copper, .045-.065 Vanadium
r-Bleckmann	S200H	4135Md	.33-.38	.80-1.10	.70-0.90	.15-.25		.035 max	.15-.35	.040 max	
r-Bleckmann	S200H	4140Md	.33-.43	.80-1.10	.75-1.00	.15-.25		.035 max	.15-.35	.040 max	
ustries	D61	4142	.40-.45	.80-1.10	.75-1.00	.15-.25	.25 max	.035 max	.15-.30	.040 max	.45 max Copper, .02-.03 Vanadium
	75A	4142M <sup>8</sup>	.40-.45	.80-1.10	.70-1.00	.15-.25	.25 max	.035 max	.15-.35	.040 max	.02-.49 (Copper, Niobium, Vanadium)
<b>moly alloy</b>											
Oil Tool	75	AISI 4330M	.28-.33	.70-.90	.60-.80	.20-.30	1.65-2.00	.035 max	.15-.35	.040 max	.03-.05 Columbian
C	AVAN	211	.28-.33	.80-1	.80-1	.20-.30	1.65-2.00	.04 max	.20-.30	.040 max	.05 Vanadium
Oilwell	KD	Special	.18-.25	.60-1.05	.60-1.05	.20-.30	.90-1.50	.04 max	.15-.35	.040 max	
cker Rods	90	AISI 4320M	.18-.23	.70-.90	.80-1.00	.20-.30	1.15-1.50	.025 max	.20-.30	.025 max	.35 max Copper, .05-.07 Vanadium
r-Bleckmann	HNC	Special	.30-.37	.85-1.60	.40-.90	.15-.30	1.20-1.60	.035 max	.20-.40	.035 max	
ustries	D63	Special	.19-.23	.80-1.05	.85-1.05	.22-.30	.90-1.20	.035 max	.15-.35	.040 max	.40-.60 Copper, .020-.030 Vanadium
	75	Special <sup>8</sup>	.40-.44	.25 max	1.10-1.30	.05 max	.25 max	.035 max	.15-.30	.040 max	.05-.41 (Copper, Niobium, Vanadium)
	95	4720 <sup>8</sup>	.19-.23	.80-1.05	.85-1.05	.22-.30	.90-1.20	.035 max	.15-.35	.040 max	.42-.63 (Copper, Niobium, Vanadium)
<b>vanadium special service</b>											
Oil Tool	97	AISI 4330A	.30-.35	.80-1.00	.80-1.00	.20-.30	1.65-2.00	.035 max	.15-.35	.040 max	.035-.055 Vanadium
Inc.	S-88	3130Md	.22-.29	.41-.65	.71-1.00	.05 max	.70-1.00	.025 max	.15-.35	.035 max	.35 max Copper
/Corod Inc.	SM	4130	.27-.34	.8-1.15	.35-.65			.040	.2-.35	.040 max	
/Corod Inc.	SMR	4130	.27-.34	.8-1.15	.35-.65			.040	.2-.35	.040	
/Corod Inc.	SU	Ultra 150	.21-.27	1.8-2.00	1.40-1.60		.20-.35	<.008	<.10	<.005	
ogy Products	HS	4138M	.38-.42	.55-.85	1.10-1.40	.24-.32	.30 max	.035 max	.20-.35	.040 max	.35 max Copper, .03-.04 Niobium, .045-.065 Vanadium
Oilwell	EL	Special	.35-.39	.80-1.00	.75-.95	.20-.30	1.45-1.75	.025 max	.15-.30	.035 max	.03-.05 Vanadium, .30 max Copper
cker Rods	97	AISI 4340M	.38-.43	.70-.90	.70-.90	.20-.30	1.65-2.00	.035 max	.20-.30	.040 max	.35 max Copper, .05-.07 Vanadium
r-Bleckmann	ARD-3	Special	.33-.43	15.50-17.50	1.00 max	.90-1.30	1.00 max	.030 max	1.00 max	.045 max	
r-Bleckmann	HNC	Special	.30-.37	.85-1.60	.40-.90	.15-.30	1.20-1.60	.035 max	.20-.40	.035 max	
ustries	T66	Special	.35-.39	.80-1.00	.75-.95	.20-.30	1.45-1.75	.025 max	.15-.30	.035 max	.30 max Copper, .03-.05 Vanadium
	50	4337 <sup>8</sup>	.35-.39	.80-1.00	.75-.95	.20-.30	1.45-1.75	.025 max	.15-.35	.035 max	.03-.35 (Copper, Niobium, Vanadium)

Sucker rods generally are manufactured with, but not restricted to, steel type listed.

Tabla 2

SUCKER RODS									
MECHANICAL PROPERTIES									
Manufacturer	Type	Steel type	Yield strength, 1,000 psi	Tensile strength, 1,000 psi	Elongation 8 in., %	Reduction of area, %	Izod impact, ft-lb	Brinell hardness	Heat treatment
<b>GRADE C</b>									
<b>Low alloy steel</b>									
Arta Oil Tool	30	AISI 1536M	60 min	90/115	18 min	45 min		185-239	Normalized
SAIC	SAE	1036	65/72	93/100	18-25	55-65	70-80	192-207	Normalized
son Inc.	S-60	1029Md	90/105	100/115	13-20	55-65		207-235	Quenched and tempered
land/Corod Inc.	C	1536	60 min	90 min	18 min			235 max	
onal-Oilwell	C	1536	60/75	90/105	18-25	55-65		185-217	Normalized
is Sucker Rods	30	AISI 1536M	60 min	90/115	18 min	45 min		185-239	Normalized
eller-Bleckmann	VM125	1536Md	60 min	90/115	16 min	50 min		185-235	Normalized
Industries	C11	1536	60/75	90/115	18-23	50-65		190-205	Normalized
o Inc.	35	1536M	60 min	90/115	14-28	50-65		187-238	Full length, normalized, and tempered
<b>GRADE K</b>									
<b>Low alloy steel</b>									
Arta Oil Tool	40	AISI 4621M	60 min	85/115	16 min	60 min		163-239	Normalized and tempered
SAIC	SAE	4621	68/80	85/100	18-25	60-70	90-100	175-200	Normalized and tempered
son Inc.	S-59	46XX	90/105	100/115	13-20	55-65		207-235	Quenched and tempered
<b>GRADE K</b>									
<b>Low alloy steel</b>									
onal-Oilwell	K	4621Md	70/85	85/105	16-25	60-70		182-217	Normalized
is Sucker Rods	40	AISI 4621M	60 min	85/115	16 min	60 min		163-239	Normalized and tempered
eller-Bleckmann	N2P	4621Md	65 min	85/115	16 min	60 min		175-235	Normalized
Industries	K65	4623	75/85	90/110	16 min	60-70		180-220	Normalized and tempered
o Inc.	45	4623	65/82	85/115	16-30	40-65		174-238	Full length, normalized, and tempered
<b>GRADE D</b>									
<b>Low alloy steel</b>									
Arta Oil Tool	54	AISI 1541M	90 min	115/140	15 min	40 min		239-290	Normalized and tempered
SAIC	SAE	4142H	100/118	120/140	12-17	55-65	45-65	241-280	Normalized and tempered
son Inc.	S-67	1029Md	110/125	120/135	11-17	55-65		248-277	Quenched and tempered
land/Corod Inc.	D	1536	100 min	115 min	20 min			262 max	
land/Corod Inc.	DR	1536	100 min	115 min	20 min			262 max	
onal-Oilwell	MD	1539Md	90 min	115/110	10 min	50 min		227 min	Normalized and tempered
is Sucker Rods	54	AISI 1541VM	90 min	115/140	15 min	40 min		239-290	Normalized and tempered
Industries	D56	Special	85/110	115/140	14-18	45-60		240-290	Normalized and tempered
<b>Low alloy steel</b>									
Arta Oil Tool	78	AISI 4142M	90 min	115/140	10 min	45 min		239-290	Normalized and tempered
son Inc.	S-87	3130Md	115/130	125/140	12-17	55-65		248-285	Quenched and tempered
land/Corod Inc.	DL	4130	100 min	115 min	20 min			262 max	
land/Corod Inc.	DLR	4130	100 min	115 min	20 min			262 max	
onal-Oilwell	D	4142Md	95/110	115/135	10-13	50-60		227-247	Normalized and tempered
is Sucker Rods	78	AISI 4142M	90 min	115/140	10 min	45 min		239-290	Normalized and tempered
eller-Bleckmann	S200H	4135Md	90 min	115/140	10 min	50 min		235-285	Normalized and tempered
eller-Bleckmann	S200H	4140Md	90 min	115/140	10 min	50 min		235-285	Normalized and tempered
Industries	D61	4142	95/110	115/140	10-15	45-65		241-280	Normalized and tempered
o Inc.	7SA	4142M	90/110	115/140	10-21	45-65		238-289	Full length, normalized, and tempered
<b>Special alloy</b>									
Arta Oil Tool	75	AISI 4330M	90 min	115/140	14 min	40 min		239-290	Normalized and tempered
SAIC	AVAN	211	110/125	130/150	10-15	50-60	45-65	275-305	Normalized and tempered
onal-Oilwell	KD	Special	90 min	115 min	14-18	50-60		227-247	Normalized and tempered
is Sucker Rods	90	AISI 4320M	90 min	115/140	14 min	40 min		239-290	Normalized and tempered
eller-Bleckmann	HNC	Special	90 min	115/140	14 min	50 min		235-285	Normalized and tempered
Industries	D63	Special	95/110	115/140	14 min	50-60		227-260	Normalized and tempered
o Inc.	75	Special	90/110	115/140	10-23	45-68		234-289	Full length, normalized, and tempered
o Inc.	95	4720	90/110	115/140	10-21	45-65		238-289	Full length, normalized, and tempered
<b>Cellaneous special service</b>									
Arta Oil Tool	97	AISI 4330A	115 min	140/150	12 min	45 min		290-313	Normalized and tempered
son Inc.	S-88	3130Md	130/145	140/155	11-17	50-65		285-311	Quenched and tempered
land/Corod Inc.	SM	4130	115 min	130 min	13 min			302 max	
land/Corod Inc.	SMR	4130	115 min	130 min	13 min			302 max	
land/Corod Inc.	SU	Ultra 150	135 min	150 min	15 min			321 max	
Energy Products	HS	4138M	115 min	140/150	12 min	50 min		290-311	Normalized and tempered
onal-Oilwell	EL	Special						290	Normalized and tempered
is Sucker Rods	97	AISI 4340M	115 min	140/150	12 min	45 min		290-313	Normalized and tempered
eller-Bleckmann	ARD-3	Special	85 min	115/135	14 min	40 min		235-275	Normalized and tempered
eller-Bleckmann	HNC	Special	90 min	115 min	10 min	50 min		235 min	Normalized
Industries	T66	Special	115/125	140/150	10-18	40-55		295-311	Normalized and tempered
o Inc.	50	4337	105/125	140/160	8-19	45-55		289-333	Full length, normalized, and tempered

Properties not applicable. Rod performance is achieved with a residually stressed case that resists fatigue damage.

### 5.1.2.-DISEÑO DE VARILLAS

De los distintos métodos de diseño existentes, el método que usa el API como procedimiento estándar es el correspondiente al uso de sartas de varillas combinadas con esfuerzos iguales. Debido a las cargas actuantes en la sarta de varillas, las varillas combinadas ayudan a disminuir parte de dichas cargas, el costo de ellas y brinda mayor uniformidad en la distribución de las tensiones.

El método consiste en efectuar los cálculos de diseño de modo que los esfuerzos sean iguales en el tope de la varilla superior de cada sección. Al final de los cálculos habrá que verificar si el esfuerzo máximo calculado no excede el esfuerzo de trabajo permisible ( 30,000 psi o menos ). La fórmula usada será

$$\sigma_{\text{tope}} = W_{\text{max}} / A_{\text{tope}} \dots\dots\dots( 1 )$$

donde

$\sigma_{\text{tope}}$ , esfuerzo máximo en psi

$W_{\text{max}}$ , carga máxima en lbs.

$A_{\text{tope}}$ , área de la varilla superior en pulg<sup>2</sup>

La tabla 3 muestra algunos porcentajes de cada medida de varilla de acuerdo la combinación seleccionada. Los detalles del cálculo y diseño se encuentran en el API RP 11L.

Tabla 3

ROD AND PUMP DATA

1 Rod* No.	2 Plunger Diam., inches D	3 Rod Weight, lb per ft W <sub>r</sub>	4 Elastic Constant, in. per lb ft E <sub>r</sub>	5 Frequency Factor, F <sub>r</sub>	6 Rod String % of each size					
					7 1 1/8	8 1	9 3/4	10 5/8	11 1/2	
44	All	0.726	1.990 x 10 <sup>-6</sup>	1.000	.....	.....	.....	.....	.....	100.0
54	1.06	0.892	1.697 x 10 <sup>-6</sup>	1.128	.....	.....	.....	.....	40.5	59.5
54	1.25	0.914	1.659 x 10 <sup>-6</sup>	1.139	.....	.....	.....	.....	45.9	54.1
54	1.50	0.948	1.697 x 10 <sup>-6</sup>	1.142	.....	.....	.....	.....	54.5	45.5
54	1.75	0.990	1.525 x 10 <sup>-6</sup>	1.130	.....	.....	.....	.....	64.6	35.4
54	2.00	1.037	1.442 x 10 <sup>-6</sup>	1.095	.....	.....	.....	.....	76.2	23.8
55	All	1.135	1.270 x 10 <sup>-6</sup>	1.000	.....	.....	.....	.....	100.0	.....
64	1.06	1.116	1.441 x 10 <sup>-6</sup>	1.224	.....	.....	.....	28.1	33.1	38.8
64	1.25	1.168	1.368 x 10 <sup>-6</sup>	1.222	.....	.....	.....	31.8	37.5	30.7
64	1.50	1.250	1.252 x 10 <sup>-6</sup>	1.191	.....	.....	.....	37.7	44.5	17.8
64	1.75	1.347	1.116 x 10 <sup>-6</sup>	1.137	.....	.....	.....	44.7	52.7	2.6
65	1.06	1.291	1.150 x 10 <sup>-6</sup>	1.085	.....	.....	.....	31.3	68.7	.....
65	1.25	1.306	1.138 x 10 <sup>-6</sup>	1.093	.....	.....	.....	34.4	65.6	.....
65	1.50	1.330	1.119 x 10 <sup>-6</sup>	1.103	.....	.....	.....	39.2	60.8	.....
65	1.75	1.359	1.097 x 10 <sup>-6</sup>	1.111	.....	.....	.....	45.0	55.0	.....
65	2.00	1.392	1.071 x 10 <sup>-6</sup>	1.114	.....	.....	.....	51.6	48.4	.....
65	2.25	1.429	1.042 x 10 <sup>-6</sup>	1.110	.....	.....	.....	59.0	41.0	.....
65	2.50	1.471	1.010 x 10 <sup>-6</sup>	1.097	.....	.....	.....	67.4	32.6	.....
65	2.75	1.517	0.974 x 10 <sup>-6</sup>	1.074	.....	.....	.....	76.6	23.4	.....
66	All	1.634	0.883 x 10 <sup>-6</sup>	1.000	.....	.....	.....	100.0	.....	.....
75	1.06	1.511	1.030 x 10 <sup>-6</sup>	1.168	.....	.....	22.6	26.1	51.3	.....
75	1.25	1.548	1.006 x 10 <sup>-6</sup>	1.179	.....	.....	24.8	28.6	46.6	.....
75	1.50	1.606	0.969 x 10 <sup>-6</sup>	1.185	.....	.....	28.3	32.6	39.1	.....
75	1.75	1.674	0.924 x 10 <sup>-6</sup>	1.180	.....	.....	32.4	37.4	30.2	.....
75	2.00	1.754	0.874 x 10 <sup>-6</sup>	1.160	.....	.....	37.2	42.8	20.0	.....
75	2.25	1.843	0.816 x 10 <sup>-6</sup>	1.128	.....	.....	42.5	49.2	8.3	.....
76	1.06	1.787	0.822 x 10 <sup>-6</sup>	1.061	.....	.....	25.9	74.1	.....	.....
76	1.25	1.798	0.818 x 10 <sup>-6</sup>	1.066	.....	.....	27.8	72.2	.....	.....
76	1.50	1.816	0.811 x 10 <sup>-6</sup>	1.073	.....	.....	30.9	69.1	.....	.....
76	1.75	1.836	0.803 x 10 <sup>-6</sup>	1.080	.....	.....	34.3	65.7	.....	.....
76	2.00	1.861	0.793 x 10 <sup>-6</sup>	1.087	.....	.....	38.5	61.5	.....	.....
76	2.25	1.888	0.782 x 10 <sup>-6</sup>	1.094	.....	.....	43.1	56.9	.....	.....
76	2.50	1.919	0.770 x 10 <sup>-6</sup>	1.096	.....	.....	48.3	51.7	.....	.....
76	2.75	1.953	0.756 x 10 <sup>-6</sup>	1.096	.....	.....	54.1	45.9	.....	.....
76	3.75	2.121	0.690 x 10 <sup>-6</sup>	1.043	.....	.....	82.5	17.5	.....	.....
77	All	2.224	0.649 x 10 <sup>-6</sup>	1.000	.....	.....	100.0	.....	.....	.....
85	1.06	1.709	0.957 x 10 <sup>-6</sup>	1.237	.....	15.9	17.7	20.1	46.3	.....
85	1.25	1.780	0.919 x 10 <sup>-6</sup>	1.250	.....	17.9	19.9	22.5	39.7	.....
85	1.50	1.893	0.858 x 10 <sup>-6</sup>	1.242	.....	21.0	23.4	26.5	29.1	.....
85	1.75	2.027	0.786 x 10 <sup>-6</sup>	1.218	.....	24.8	27.5	31.0	16.7	.....
85	2.00	2.181	0.703 x 10 <sup>-6</sup>	1.180	.....	29.0	32.3	36.3	2.4	.....
86	1.06	2.008	0.757 x 10 <sup>-6</sup>	1.127	.....	19.3	21.9	58.8	.....	.....
86	1.25	2.035	0.748 x 10 <sup>-6</sup>	1.136	.....	20.7	23.5	55.8	.....	.....
86	1.50	2.079	0.733 x 10 <sup>-6</sup>	1.148	.....	23.0	26.0	51.0	.....	.....
86	1.75	2.130	0.716 x 10 <sup>-6</sup>	1.157	.....	25.6	29.0	45.4	.....	.....
86	2.00	2.190	0.696 x 10 <sup>-6</sup>	1.162	.....	28.7	32.5	38.8	.....	.....
86	2.25	2.257	0.674 x 10 <sup>-6</sup>	1.158	.....	32.1	36.5	31.4	.....	.....
86	2.50	2.334	0.650 x 10 <sup>-6</sup>	1.146	.....	35.8	41.6	22.6	.....	.....
86	2.75	2.415	0.621 x 10 <sup>-6</sup>	1.125	.....	40.3	45.6	14.1	.....	.....

## 5.2.-LA LEY DE HOOKE

La varilla tiene un cierto grado de elasticidad. Cuando se aplica una carga a una barra de acero, ésta se estira y retorna a su tamaño inicial una vez que cesa la carga. El estudio de la resistencia de materiales se basa en la ley de la proporcionalidad de esfuerzo a la deformación, esto es, la ley de Hooke.

De este modo, el módulo de elasticidad ( o de Young ) se define como el esfuerzo imaginario en psi que causa una deformación igual a la longitud original del material. Esto es :

$$E = \sigma \times D / e \dots\dots\dots( 2 )$$

donde :

E , módulo de young en psi

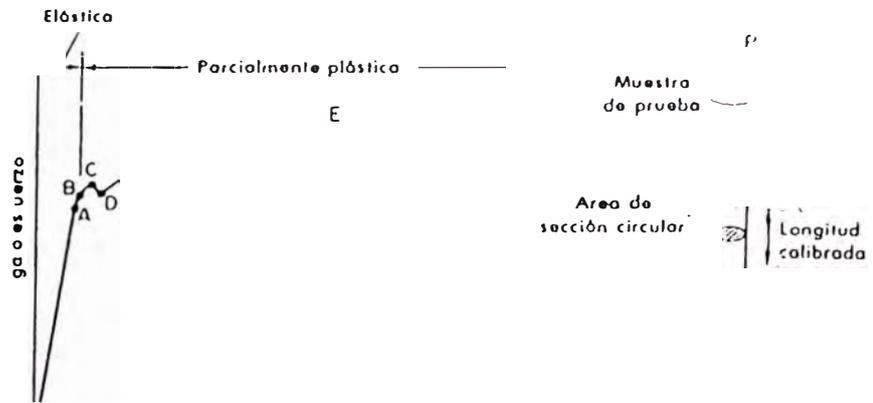
$\sigma$  , esfuerzo ( carga/ área ) en psi

D , longitud en pulg.

e , elongación en pulg.

Para el acero, el módulo de Young es de 29 a 30 x 10<sup>6</sup> psi

La ley de Hooke se aplica solo dentro de ciertos límites. Todos los materiales tienen un límite elástico que se define como el máximo esfuerzo que puede soportar dicho material sin quedar deformado en forma permanente. Si se excede este límite se alcanzará el límite de fluencia del material a partir del cual quedará deformado en forma permanente. La fig.2 muestra una curva de esfuerzo - deformación para el acero dulce.



Extensión o deformación unitaria  
 Curva típica de la prueba hecha al acero dulce

Fig.2

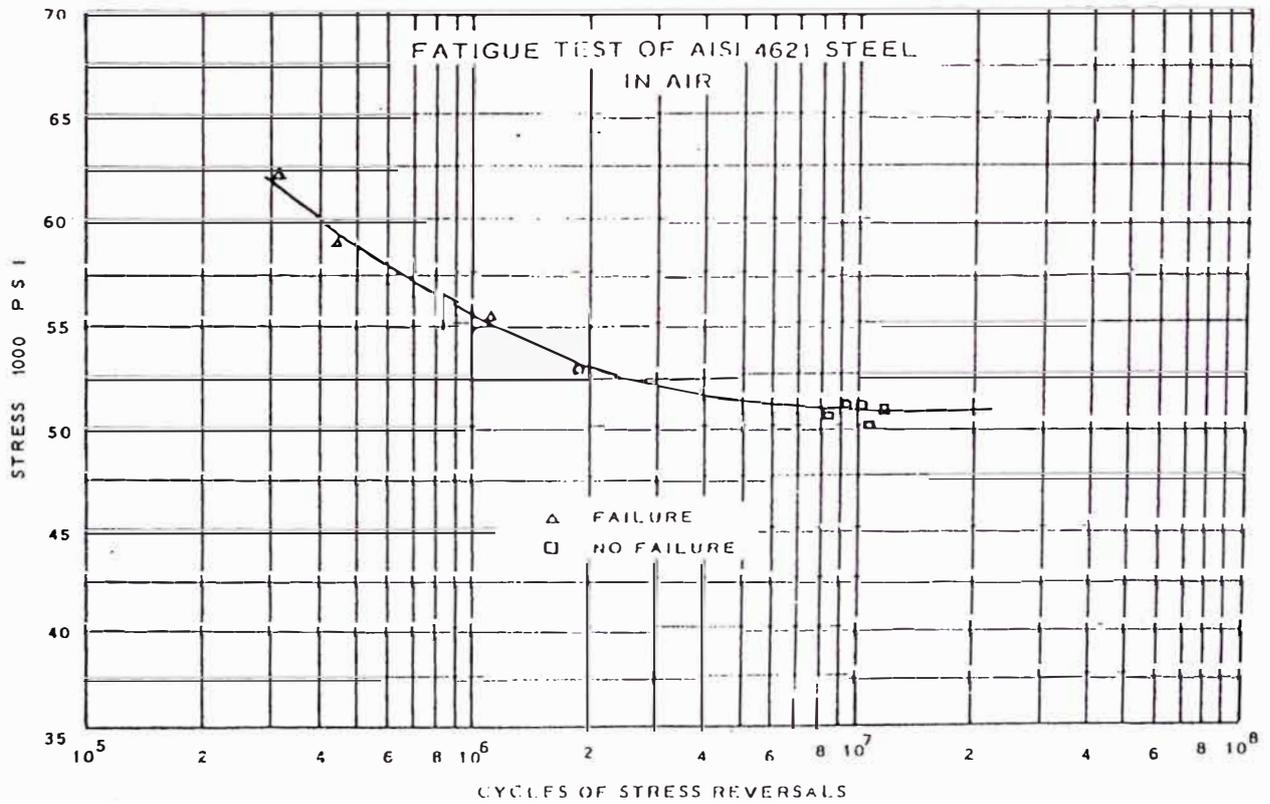


Fig.3

### 5.3.-LA FATIGA

Es la falla del material debido a cargas cíclicas y representa la más frecuente causa de roturas en las varillas. El comportamiento de los materiales por fatiga se describe generalmente por medio de una curva de esfuerzos vs. número de ciclos en papel semilogarítmico, elaborada con datos que se obtienen de la prueba de fatiga o límite de durabilidad (endurancia). En esta prueba se somete una muestra del material con superficie pulida, a esfuerzos cíclicos de tensión y compresión de igual magnitud, hasta encontrar el esfuerzo debajo del cual el material puede resistir un infinito número de ciclos sin llegar a la fatiga (sin romperse). A este valor de esfuerzo se le llama límite de durabilidad o de esfuerzos repetidos.

Se ha determinado para los aceros que el número de ciclos equivalente a este límite es de 10'000,000.(ver fig.3).

### 5.4.-EL DIAGRAMA MODIFICADO DE GOODMAN

Es un gráfico recomendado por el API usado como referencia para determinar el rango de esfuerzos permisibles y los esfuerzos de trabajo para una sarta de varillas. Los esfuerzos máximos permisibles se calculan según la fórmula

$$S_A = ( T/4 + 0.5625 \times S_{\min} ) \times S.F.....( 3 )$$

donde

$S_A$ , esfuerzo máximo permisible en psi.

T, esfuerzo equivalente a la resistencia mínima a la tensión.

$S_{min}$ , esfuerzo mínimo ( calculado o medido ) en psi.

S.F., factor de servicio.

Para aplicar este diagrama, hay que elaborar gráficos para cada resistencia mínima a la tensión según el grado de la varilla ( ver la fig.4 ) Asi para una varilla grado C (  $T = 90,000$  psi ), la relación será :

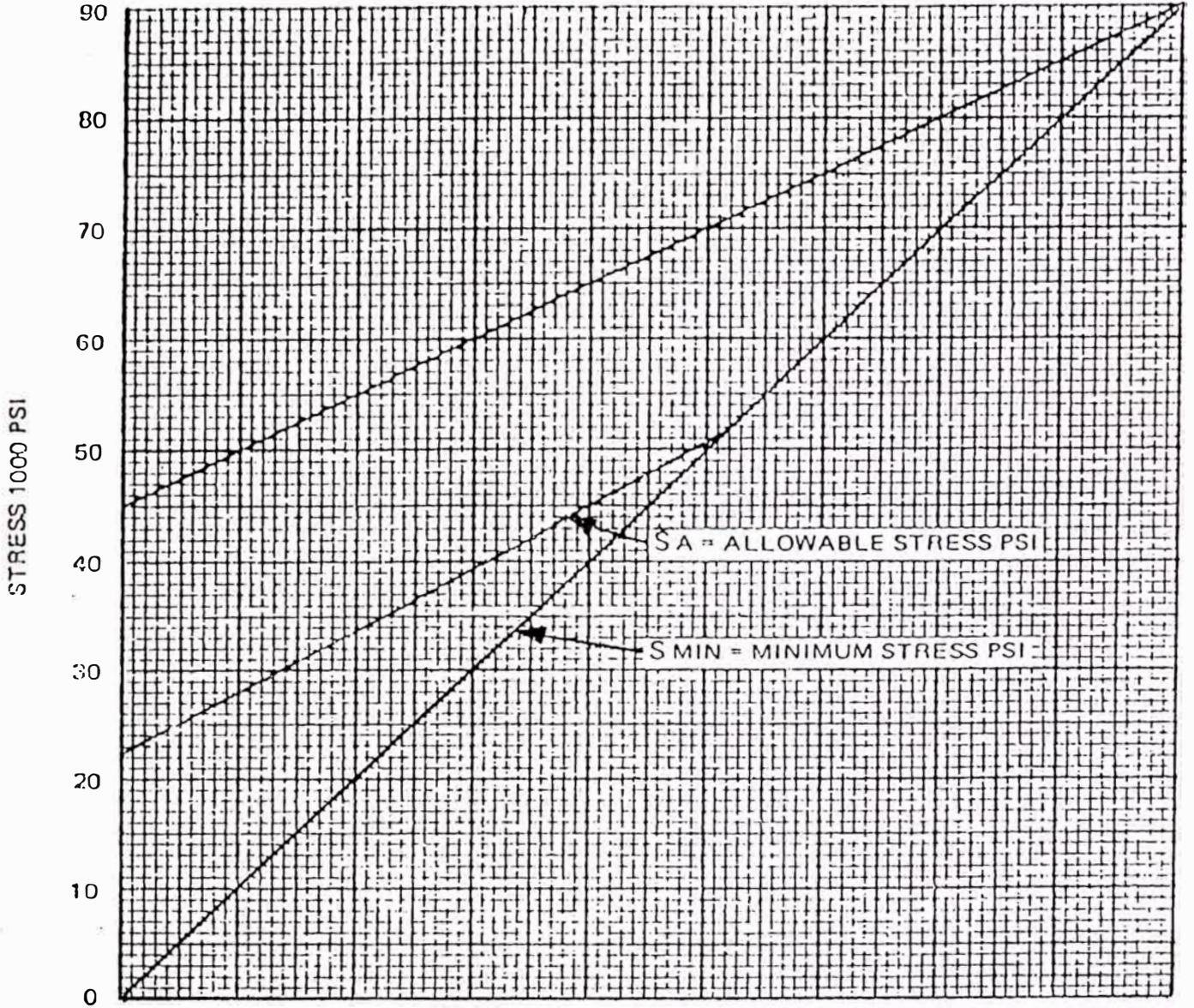
$$S_A = ( 22,500 + 0.5625 \times S_{min} ) \times S.F.$$

#### 5.5.-EL EFECTO VIBRACIONAL

El movimiento del sistema de varillas se puede asemejar al del movimiento armónico simple y es comparable a un sistema de resorte con el extremo superior ( varillón pulido ) fijo y en el inferior ( pistón de la bomba ) libre para vibrar ( oscilar ) en una dirección paralela a su eje longitudinal, en el que intervienen vibraciones forzadas, vibraciones naturales y efectos de amortiguamiento. Este tipo de movimiento se puede representar mediante ecuaciones diferenciales, cuyas soluciones se obtienen en base de la teoría de las vibraciones.

Consideremos la sarta de varillas suspendida y en reposo. Si aplicamos una carga hacia abajo en el extremo libre y luego la soltamos, se transmitirá una fuerza al otro extremo

MINIMUM TENSILE STRENGTH



$$S_A = (22,500 + 0.5625 S_{MIN}) SF$$

WHERE:  $S_A$  = MAXIMUM ALLOWABLE STRESS, PSI

$$S_{MIN} = \text{MINIMUM STRESS, PSI (CALCULATED OR MEASURED)} = \frac{MPRL}{\text{ROD AREA}}$$

$SF$  = SERVICE FACTOR

MODIFIED GOODMAN DIAGRAM FOR ALLOWABLE STRESS AND RANGE OF STRESS FOR API GRADE C SUCKER RODS.  
SERVICE FACTOR = 1.0

Fig.4

de la sarta a una velocidad de propagación dada, en la forma de onda longitudinal.

Aplicando este criterio al funcionamiento del sistema de bombeo mecánico, al inicio de la carrera ascendente, una vez producido el estiramiento de las varillas, se cierra la válvula viajera y comienza un período de vibración con la frecuencia natural de la sarta debido a la acción de la carga del fluido. De igual modo al iniciarse la carrera descendente, la sarta de varillas se contrae debido a la transferencia de la carga del fluido a la tubería por la apertura de la válvula viajera y comienza un nuevo período de vibración con la frecuencia natural de la sarta.

La frecuencia natural de vibración se puede obtener de la siguiente relación

$$N_0 = 245,000 / L \dots \dots \dots ( 4 )$$

donde

$N_0$ , frecuencia natural de vibración en ciclos/min.

$L$ , longitud de la sarta en pies.

Si consideramos adicionalmente la fuerza impartida por el movimiento de la unidad de bombeo, tendremos las vibraciones forzadas las cuales ejercen sobre la sarta una serie de impulsos con una frecuencia equivalente a la velocidad de bombeo ( Strokes por minuto ).

El movimiento resultante de las vibraciones forzadas y las naturales es afectado por el factor de amortiguamiento, el cual representa las fuerzas de fricción del sistema entre

el fluido y las varillas; el fluido y la tubería ; y por la fricción interna de las varillas.

La combinación de las vibraciones forzadas y naturales puede dar como resultado un aumento de la energía vibratoria ( ondas en fase ) dando lugar a un movimiento sincrónico ( dañino ) y en el otro caso ( ondas superpuestas ) dando lugar a un movimiento no sincrónico ( deseable ).

Si los impulsos causados por las vibraciones forzadas son controlados en forma que coinciden con la frecuencia natural del sistema, dan lugar a una vibración de 1er. orden. Cuando la frecuencia del impulso es la mitad, se denomina vibración de 2do. orden y así sucesivamente.

La fig.5 representa una serie de curvas usando la profundidad por absisa y la velocidad de bombeo en la ordenada, mostrando las velocidades que están en sincronismo con la frecuencia natural del sistema. Las líneas discontinuas son vibraciones de 1er, 2do, 3er, etc ordenes y corresponden a velocidades sincrónicas, en tanto que las vibraciones de orden  $1\frac{1}{2}$  ,  $2\frac{1}{2}$ .,  $3\frac{1}{2}$  , etc corresponden a las velocidades no sincrónicas.

#### 5.6.-EL SISTEMA DE BOMBEO MECANICO

Es un método de producción artificial de pozos de petróleo y está compuesto básicamente de cinco partes

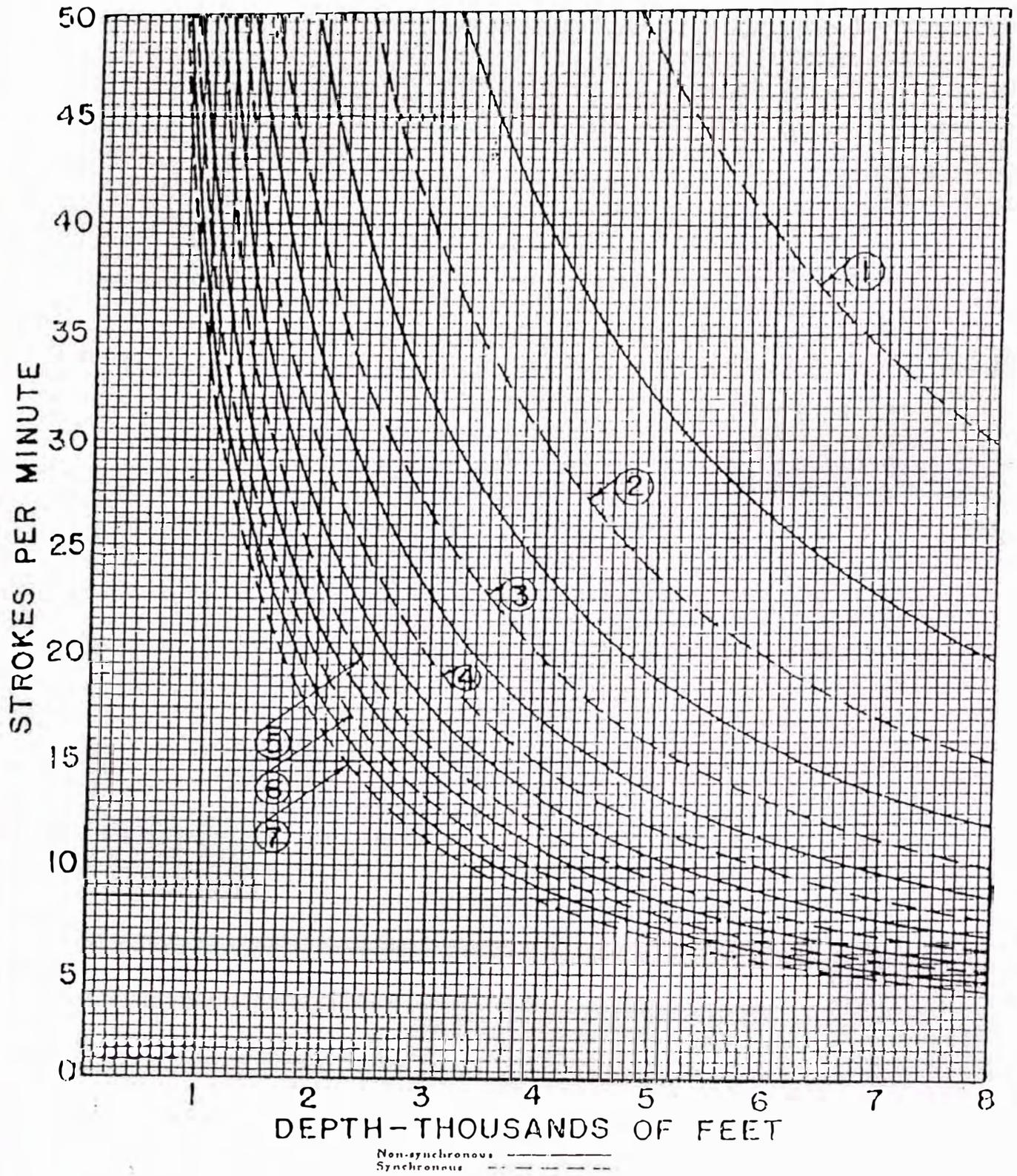


Fig.5

- 1) La bomba de subsuelo, la cual esta compuesta de : el barril, las válvulas viajera y fija y el pistón. (Ver fig.6).
- 2) La sarta de varillas, que transmite el movimiento del equipo de superficie a la bomba. También se incluye la tubería.
- 3) El equipo de superficie (Unidad de bombeo), que cambia el movimiento rotativo del motor en movimiento reciprocante (Ver fig.7).
- 4) La caja reductora o unidad de transmisión de fuerza, que reduce las altas revoluciones con bajo torque del motor en bajas revoluciones con alto torque.
- 5) El motor, que genera la potencia necesaria al sistema.

#### 5.6.1.-DISEÑO API

Es un método de prueba y error que se puede resumir en tres pasos

- 1) Selección preliminar de componentes para la instalación.
- 2) Características de operación en base a la información disponible. Los cálculos se efectúan en base a fórmulas, diagramas y Tablas.
- 3) Comparación de desplazamiento de la bomba y las cargas calculadas, con las cargas máximas permisibles para cada grado y tamaño de varilla, de acuerdo al

# BOMBA DE PROFUNDIDAD ( ESQUEMA )

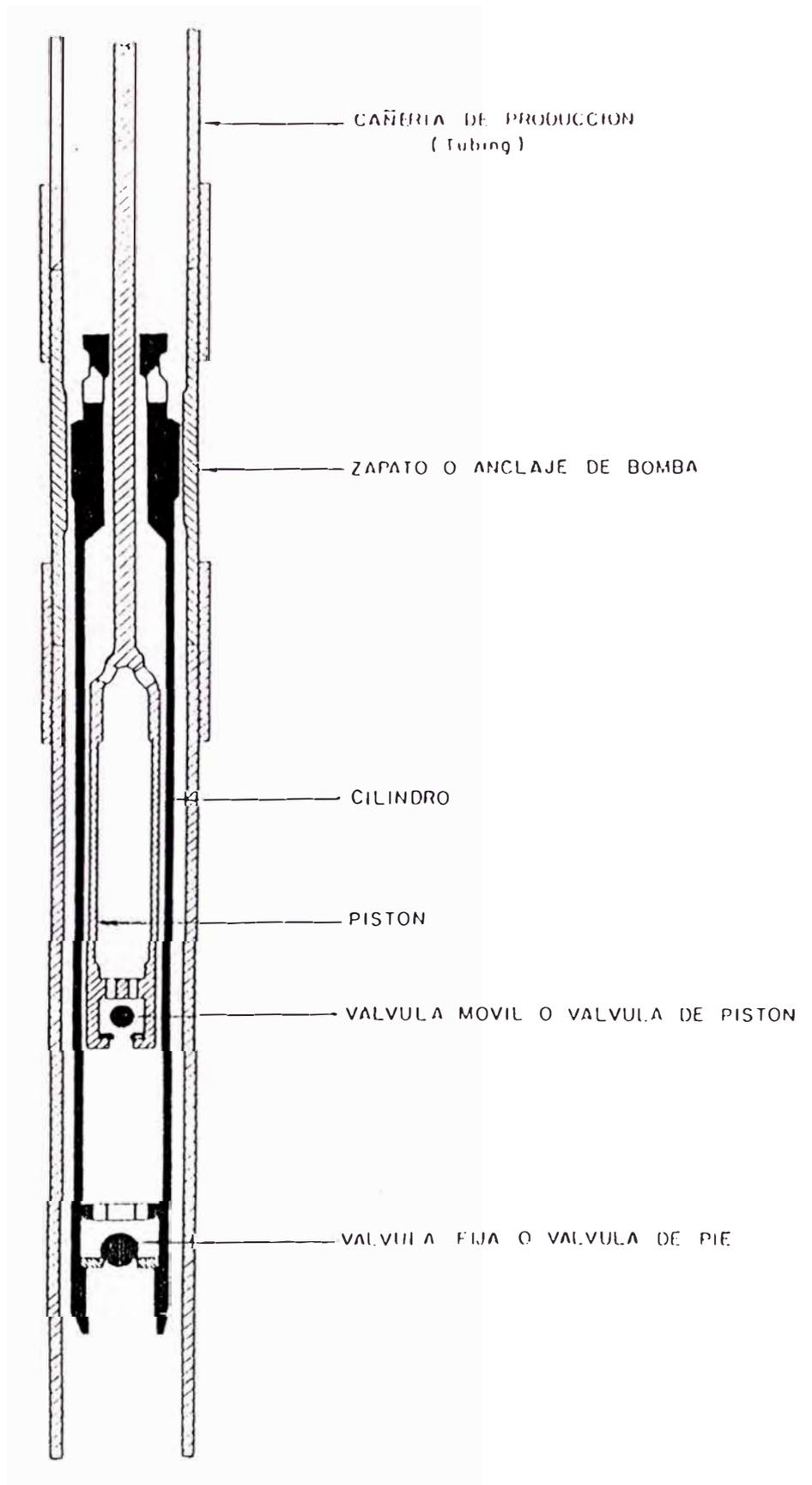


Fig.6

## UNIDAD DE BOMBEO CONVENCIONAL

1. Balancín
2. Cabezal del balancín
3. Cables colgadores del cabezal
4. Porta vástago
5. Cojinete del perno de manivela
6. Contrapeso
7. Escalera
8. Base
9. Palanca del freno
10. Motor de accionamiento
11. Cable del freno
12. Guardacorrea
13. Freno
14. Caja reductora
15. Biela
16. Poste maestro
17. Equilibrador de bielas
18. Cojinete del equilibrador de bielas
19. Cojinete del balancín
20. Manivela

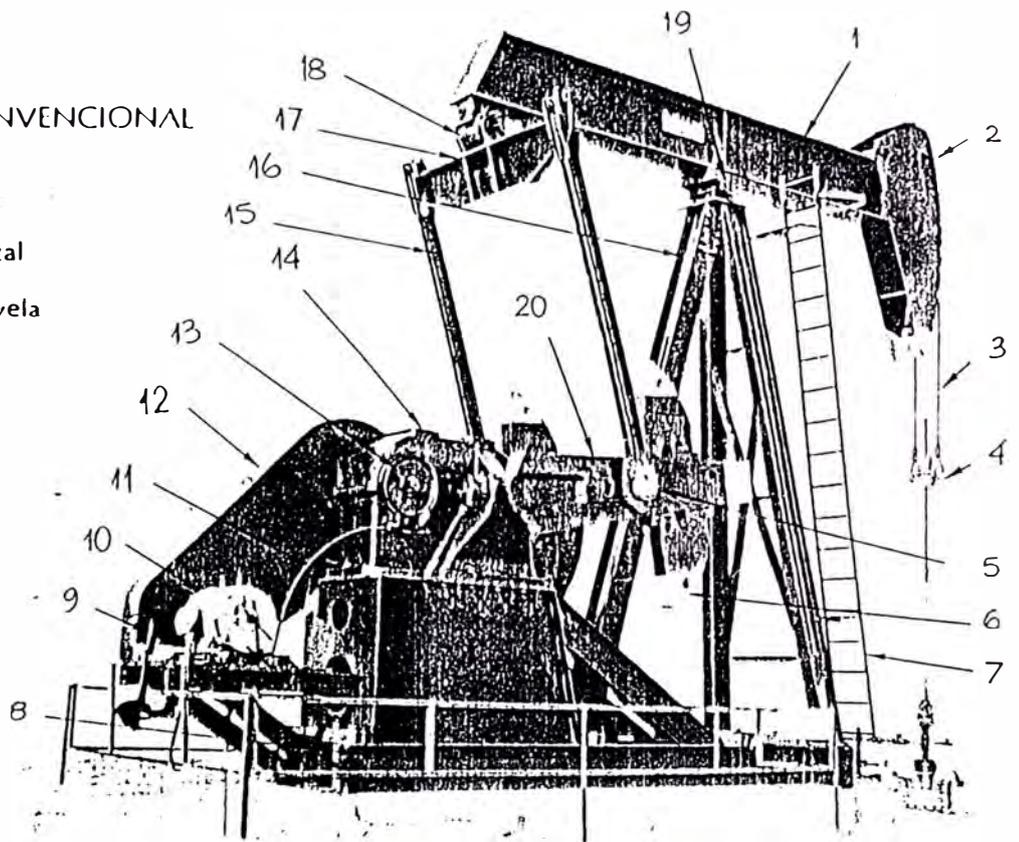


Fig.7

diagrama modificado de Goodman y otras limitaciones de la selección preliminar.

La información preliminar requerida es

- Nivel de fluido
- Profundidad de la bomba
- Velocidad de bombeo
- Longitud de carrera en superficie
- Diámetro del pistón de la bomba
- Gravedad específica del fluido
- Diámetro de tubería y si estará anclada
- Diseño de varillas
- Geometría de la unidad.

Cabe indicar que un diseño inicialmente bueno puede volverse inadecuado si cambian las condiciones del pozo

#### **6.-FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS ROTURAS**

Para nuestro estudio se han dividido en tres secciones que representan las áreas de trabajo de las operaciones comprometidas en el uso de las varillas así como aquellos relacionados con el pozo.

## 6.1.-AREA DE PRODUCCION

Se refiere a los problemas en las varillas que se ocasionan como consecuencia del diseño inadecuado de la sarta y la falta de control de las variables de campo que forman parte del diseño. El otro aspecto se refiere a problemas de transporte, almacenamiento y falta de inspección técnica.

### 6.1.1.-LA VELOCIDAD DE BOMBEO Y LA LONG.DE CARRERA

Al seleccionar la velocidad de bombeo más adecuada se debe tener en cuenta que es uno de los principales factores que puede influir en el orden de vibración de la sarta de varillas.

Si por ejemplo tenemos un pozo de 5000', la frecuencia natural de vibración será

$$N_0 = 245,000 / 5000 = 49 \text{ ciclos/min}$$

entonces las velocidades de bombeo más convenientes serán

$$49/1.5 = 32.7 \text{ spm} ; 49/2.5 = 19.6 \text{ spm} , \text{ etc.}$$

Asimismo el factor de aceleración (  $a$  ) está dado por la fórmula

$$a = S \times N^2 / 70,500 \dots\dots\dots ( 5 )$$

donde

$S$  , es la carrera del pistón en superficie en pulg.

N , es la velocidad de bombeo en spm.

y la carga máxima en el varillón pulido ( PPRL ) se obtiene de

$$PPRL = W_f + W_r \times ( 1 + a ) \dots \dots \dots ( 6 )$$

donde :

$W_f$  , es el peso de fluido

$W_r$  , es el peso de las varillas

De las ecuaciones 5 y 6 observamos la influencia que tienen la velocidad y la longitud de la carrera en la determinación del PPRL, pues el factor de aceleración representa la componente inercial y además durante la carrera ascendente se tendrá la máxima carga estática que se elevará con la máxima aceleración.

### 6.1.2.-DIAMETRO DEL PISTON

Para seleccionar el diámetro de pistón adecuado hay tablas y gráficos. En ambos casos su valor dependerá siempre de la velocidad de bombeo y de la carrera efectiva del pistón.

Se sabe que  $W_f = 0.433 \times G \times ( L \times A_p - 0.294 \times W_r )$

donde

$A_p$  , es el área de la sección transversal del pistón.

y de aquí se observa el efecto que tiene seleccionar un diámetro inadecuado, pues influirá en la carga impuesta a las varillas y al equipo de bombeo.

### 6.1.3.-GEOMETRIA DE LA UNIDAD

En general hay tres tipos básicos de unidades de bombeo, las que se diferencian por su geometría y clase de contrapeso (Ver fig.8)

- Unidad convencional
- Unidad de geometría especial (Mark II)
- Unidad balanceada por aire

La unidad convencional basa su geometría en un sistema de palanca de clase I con un punto de apoyo en el medio de la viga balancín y emplea contrapesos mecánicos.

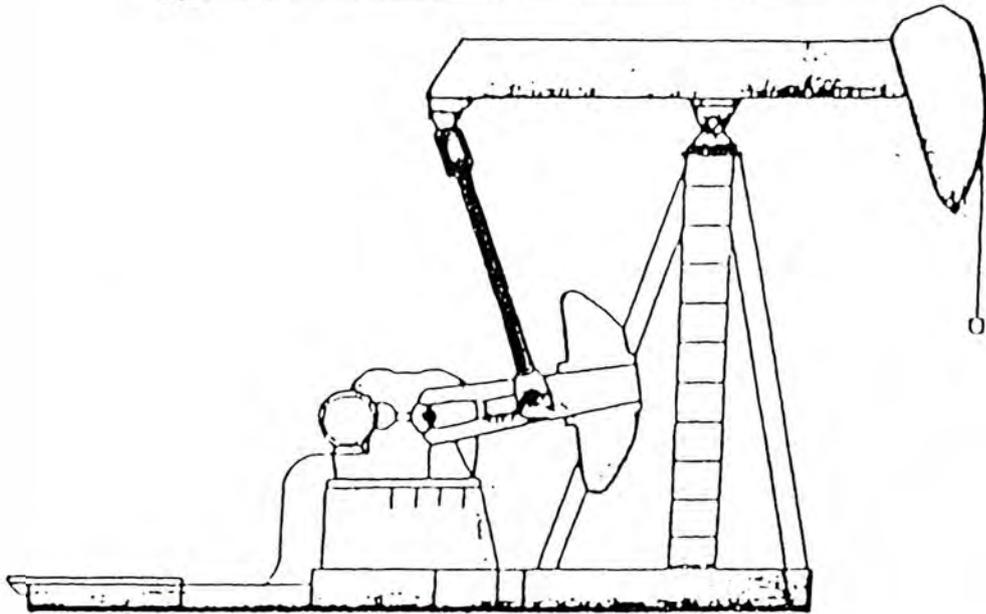
La unidad Mark II utiliza un sistema de palanca de clase III de empuje ascendente asimétrico y contrapeso mecánico.

La Unidad balanceada por aire también utiliza un sistema de palanca clase III con punto de apoyo en el extremo del balancín y es de empuje ascendente y simétrico.

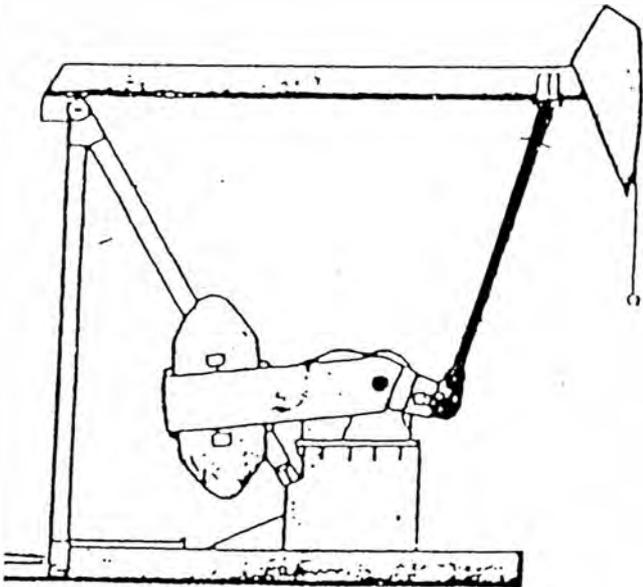
A pesar que es difícil generalizar, la geometría de la unidad de bombeo tiene un efecto significativo sobre las cargas en la estructura y en las varillas, el torque del reductor y el recorrido neto de la bomba.

Las cargas más importantes a considerar son las debidas al peso de las varillas, el peso del fluido y las aceleraciones máximas a que están sujetos durante el ciclo de bombeo. Dado que la carga sobre el varillón (fuerza) es igual al producto de la masa por la aceleración, la máxima carga en el varillón (PPRL) ocurrirá cuando la máxima masa (de varillas y de fluido) es elevada a la máxima aceleración.

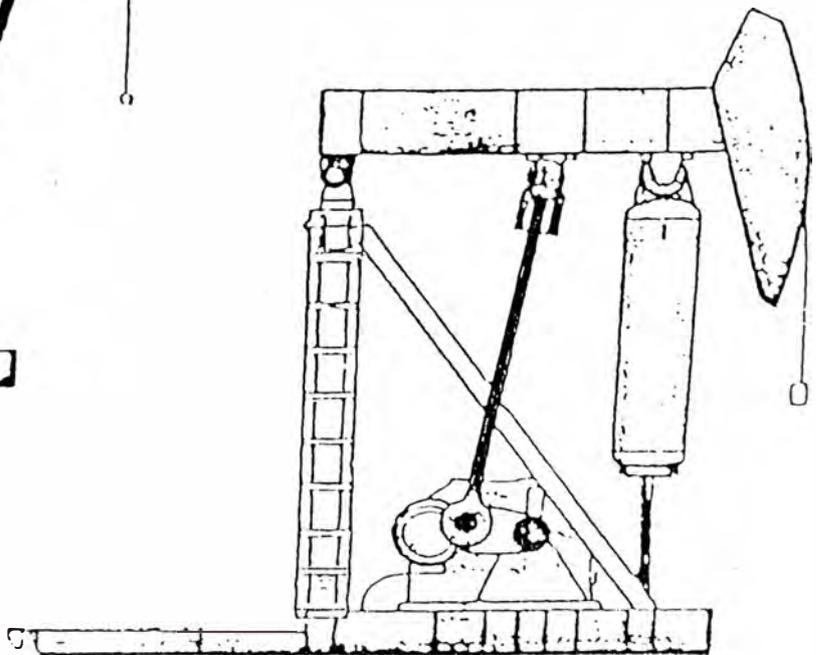
UNIDADES DE BOMBEO A BALANCIN



UNIDAD CONVENCIONAL (CLASE I, SIMETRICO)



UNIDAD MARK II  
(CLASE III, ASIMETRICO)



UNIDAD BALANCEADA A AIRE  
(CLASE III, SIMETRICO)

Cuanto más baja sea ésta aceleración, menor será la fuerza requerida para elevar las varillas y el fluido, y menores serán los esfuerzos en las varillas y la carga estructural en la unidad. Por la ubicación del mecanismo biela-manivela, la unidad convencional produce la inversión de la carrera del varillón en el punto muerto inferior (final de la carrera descendente) con aceleración relativamente alta y la inversión en el punto muerto superior (final de la carrera ascendente) con aceleración relativamente baja. Este es el principal inconveniente de la unidad convencional, es decir que al final de la carrera descendente, cuando la válvula viajera se cierra y el peso de fluido se transfiere a las varillas, la aceleración está en su máximo. En consecuencia las varillas y la estructura soportarán los máximos esfuerzos.

En las unidades con sistema de palanca clase III, las características de aceleración están revertidas. El sistema de empuje ascendente comienza la carrera ascendente con baja aceleración (menor que la unidad convencional), pero hace que la reversión en el tope sea algo más rápida que en la unidad convencional.

Esta es la principal ventaja de las unidades clase III ya que mueven la máxima carga de varillas y fluido al dejar el fondo con aceleración relativamente baja.

#### 6.1.4.-TRANSPORTE DE VARILLAS

En lo que se refiere al transporte, almacenamiento y manipuleo, las normas están establecidas en la sección 1 de las recomendaciones del API RP 11BR.

En nuestras operaciones a veces se cometen malas operaciones, tales como transportar las varillas en camiones plataforma que no cubren la longitud entera de las varillas, por lo que éstas sobresalen y se pandean durante el viaje al pozo. Asimismo las varillas no son transportadas apoyadas sobre soportes ni menos aún con separadores entre ellas, sino agrupadas unas sobre otras.

El otro problema ocurre durante la descarga del camión. Cuando las varillas son levantadas por ambos extremos sin apoyo en el centro se flexionan y pueden dar lugar posteriormente a una falla por dobladura (se explicará mas adelante). Asimismo las varillas son transportadas muchas veces a la locación del pozo antes que ingrese la unidad de servicio de pozos y al no encontrar soportes, se abandonan a un lado del terraplén sin protección alguna.

#### 6.1.5.-INSPECCION DE VARILLAS

La inspección permite detectar problemas en el cuerpo, pin y cople de la varilla y luego seleccionarla dentro de un rango permisible de trabajo, permitiendo así "recuperar" el material que pudo haber fallado durante su trabajo.

En nuestro medio existen compañías que brindan servicio de inspección electromagnética de tubos y varillas. Debido al reducido número de varillas en operación, no se efectúan las inspecciones técnicas necesarias que permitan disponer de una sarta de varillas confiable. El costo de inspección es de aproximadamente 8 US\$ por varilla ( 25 % del valor nuevo ).

## 6.2.-POR PROBLEMAS DEL POZO

En este caso nos referiremos a aquellos problemas que son ocasionados por las condiciones adversas existentes en el pozo y que se presentan en forma individual o en combinación para causar las fallas. Estas condiciones anómalas pueden ser la corrosión, el golpe de fluido, golpe de gas y la desviación del pozo.

### 6.2.1.-LA CORROSION

Se denomina así al ataque destructivo del metal ocasionado por una reacción química o electroquímica. Existen varias formas de corrosión que afectan a las varillas de un modo diferente, así tenemos

**CORROSION ACIDA.-** Es la corrosión por la acción del sulfuro de hidrógeno (  $H_2S$  ) y se reconoce por el olor a huevos

podridos y la formación de hoyos ( picaduras ) en las zonas de ataque.

CORROSION DULCE.- Es la corrosión causada por la presencia de dióxido de carbono y se identifica por producir ataque en forma de acanalamientos o ranuras en la superficie del metal.

CORROSION POR OXIGENO ( OXIDACION ).- Es el tipo de corrosión más común en los campos de petróleo. El oxígeno tiene afinidad por el hierro y al combinarse forma óxido de hierro. Esta corrosión se origina generalmente por el ingreso de aire en el espacio anular (forros) entre la tubería de revestimiento ("casing") y la tubería de producción ("tubing") para pasar luego a la columna de fluido. Asimismo la presencia de agua en el pozo es un factor que promueve la corrosión.

Este tipo de corrosión se reconoce por la presencia de picaduras en las varillas y parte de la instalación más profunda.

BACTERIAS REDUCTORAS DE SULFATOS.- Aparecen contaminando los pozos en las operaciones de inyección de agua. Estas bacterias anaeróbicas viven y se activan rápidamente en ausencia de oxígeno libre. Estas no corroen el acero directamente sino que como parte de su proceso de vida cambian los iones sulfatos del agua en sulfuros y al

combinarse con el hidrógeno forman  $H_2S$  que si corroe el metal.

CORROSION GALVANICA.- Conocida también como electrólisis, es el deterioro del metal causado por acción de un flujo de corriente eléctrica de un punto del sistema a otro, lo cual puede ocurrir por corrientes externas tales como líneas de superficie cercanas o fugas de corriente en el equipo de superficie.

#### 6.2.2.-EL GOLPE DE FLUIDO

Es el peor factor causante de roturas, principalmente en pozos con bajo nivel de fluido.

El fenómeno se origina por un llenado parcial del barril de la bomba durante la carrera ascendente del pistón (ver fig.9).

Cuando se inicia la carrera descendente, todo el fluido y la carga de las varillas se mueven hacia abajo en caída libre hasta que el pistón golpea el nivel del fluido en el barril, la válvula viajera se abre transfiriendo así en forma brusca la carga a la tubería y ésto a su vez causa una disminución rápida de la carga en el varillón el cual transmite la onda de choque a través del sistema dañando diversas partes del mismo.

La condición más dañina aún se presenta cuando el golpe ocurre cerca a la mitad de la carrera descendente, pues la

# GOLPE DE FLUIDO

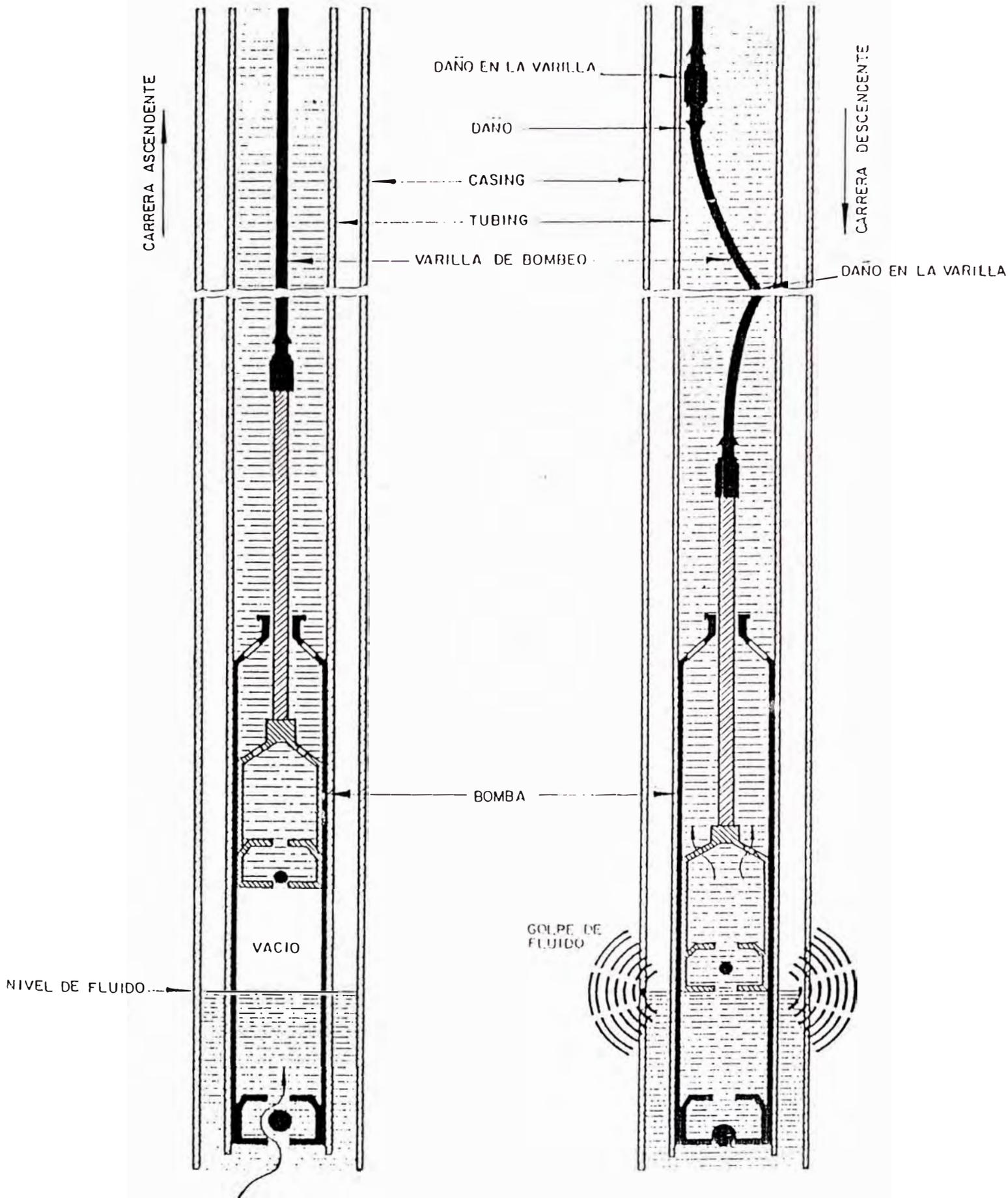


Fig.9

velocidad de caída de la carga es máxima y el efecto de la onda de choque es mayor.

Los daños que puede ocasionar en la varilla son los siguientes :

La varilla tiende a torcerse en el mismo lugar en cada carrera descendente debido al efecto de pandeo. Este esfuerzo repetitivo de torcedura creará un agrietamiento, fatigando el material y causando su falla.

La película de la parte de la varilla que golpea contra la pared de la tubería se desgasta por acción del rozamiento. Este desgaste abrasivo causará también una falla.

- Contribuye al desenrosque de la varilla al inducir una pérdida en el ajuste inicial de la conexión pincaja.

El golpe de fluido puede identificarse de las siguientes formas :

- La onda de choque en pozos superficiales puede ser apreciable con solo colocar la mano sobre el varillón.

Una típica carta dinamométrica mostrará que su pendiente por efecto del golpe de fluido es excesiva.

### 6.2.3.-EL GOLPE DE GAS

Ocurre en pozos con problema de gas ( GOR alto ). Esta presencia de gas libre o en solución causa una baja eficiencia en la bomba.

Durante la carrera ascendente el barril de la bomba se llena de fluido y gas libre (ver fig.10), originando espuma. Sobre la carrera descendente, las varillas y el peso de fluido encima del pistón comprimen el gas hasta que la presión arriba y abajo de la válvula viajera la permiten abrirse y transferir la carga a la tubería. En este caso una onda de choque similar a la anterior pero amortiguada, se transmitira de igual forma y causando daños similares al fenómeno anterior.

El golpe de gas se puede identificar de las siguientes formas :

El fluido en la válvula de purga ("spitch"), es espumoso y tiende a crear un reventón en vez de fluir.

- Una toma de nivel de fluido con el "sonolog" registra en el anular un nivel engañoso debido a la espuma.
- La eficiencia de bombeo es muy baja.

La carta dinamométrica mostrará cambios en forma constante.

# GOLPE DE GAS

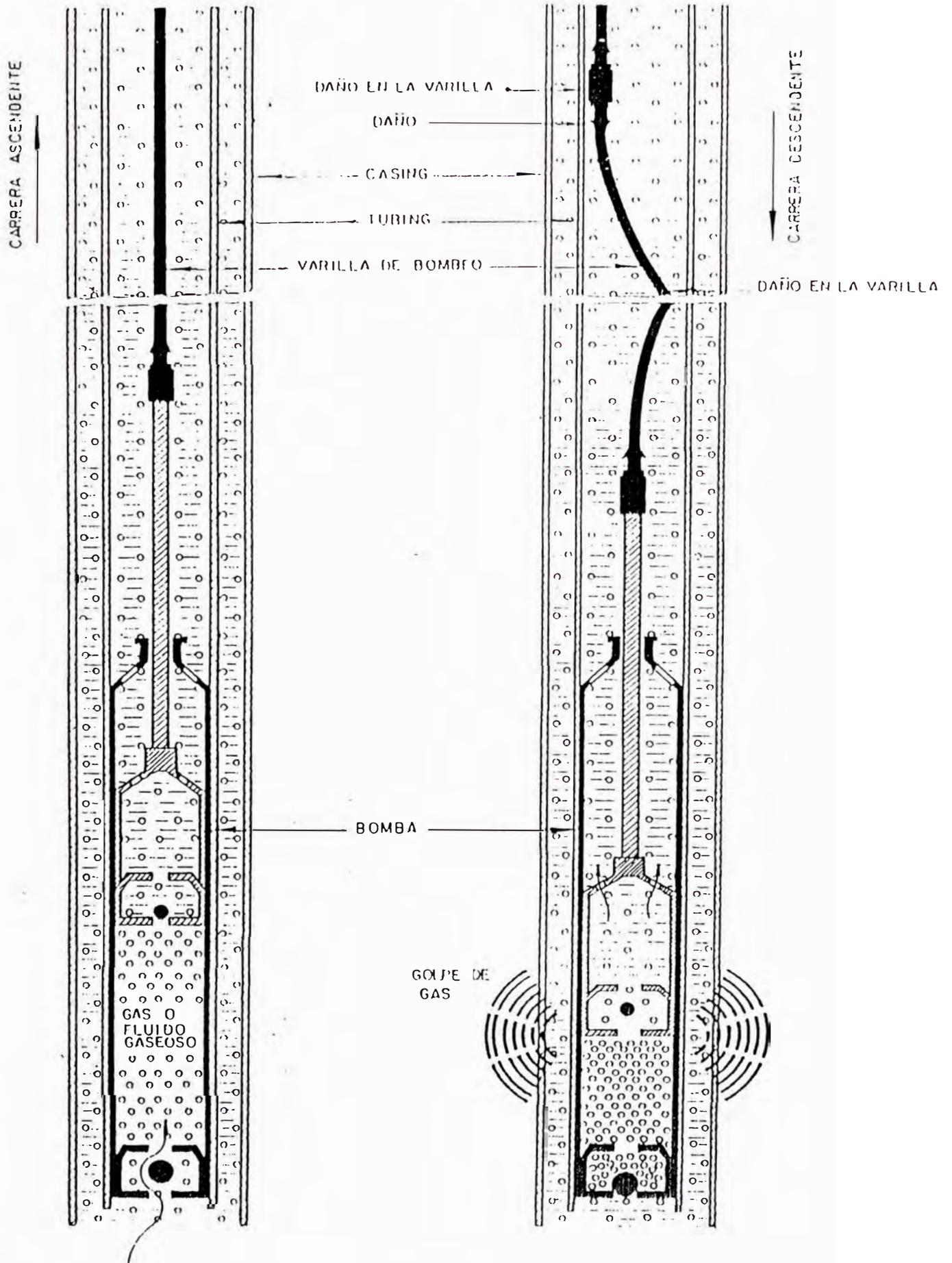


Fig.10

#### 6.2.4.-EL BLOQUEO POR GAS

Aunque no es un factor directo que origina fallas en las varillas, si lo es indirectamente.

Ocurre cuando durante la carrera descendente la presión que se desarrolla dentro del barril no es suficiente como para equilibrar el peso de la columna de fluido dentro de la tubería, por lo que la válvula viajera no se abre y durante la carrera ascendente, la válvula fija tampoco se abre y en consecuencia el único trabajo realizado es el de comprimir y expandir el gas dentro del barril de la bomba.

Este problema se detecta ya sea por que el pozo no produce o mediante el análisis de una carta dinamométrica. Asimismo decíamos que es un factor indirecto por que el operador de campo frecuentemente "soluciona" el problema causando un golpe sobre la bomba, con la finalidad de romper el bloqueo y para conseguir esto aumenta la carrera en superficie el tiempo necesario hasta que el pozo comience a producir. Es precisamente el golpe que se repercute a través de la sarta que puede causar daños similares a los ya indicados.

#### 6.2.5.-DESVIACION

La desviación del pozo es la causa de fallas principalmente en el cople de la varilla debido al desgaste por rozamiento con la pared interna de la tubería. El efecto se incrementa si ésta tubería se encuentra en forma de

tirabuzón debido a herramientas tales como empaques o anclas fijadas inadecuadamente.

Para reducir la fricción en las varillas se usan centralizadores y también guías para varillas, las cuales se distribuyen en la sarta de acuerdo a un espaciamiento, calculando para ello el punto neutral de la tubería debajo del cual ocurre el pandeo.

### 6.3.-AREA DEL DPTO.SERVICIO DE POZOS

Se refiere a los problemas ocasionados por entera responsabilidad del personal de campo de Servicio de Pozos.

Ocurren durante el uso de las varillas cuando se efectúa un servicio en el pozo con el fin de cambiar la bomba de subsuelo si el pozo está sin producir o remediar algún problema en la instalación de subsuelo.

Estas fallas se pueden reflejar en hilos de roscas dañados por efectos de golpes, abolladuras en el cuerpo y en los coples de las varillas.

#### 6.3.1.-AJUSTE DE UNIONES

El ajuste excesivo de una conexión, ejerce una fuerte compresión en el extremo del cople en contacto con el espejo del pin, lo que puede originar una grieta en el cople y su posterior rotura debido a las cargas impuestas y a la vibración de la sarta. En el caso de un ajuste insuficiente,

las uniones se desenroscan originando un "juego" entre sus hilos que luego ceden por fatiga.

Al efectuar las conexiones de las varillas se requiere que cada una sea ajustada con un determinado torque que asegure un adecuado ajuste del pin, usando para esto de preferencia una tenaza hidráulica.

Un torque efectivo se logra siguiendo las recomendaciones de la norma API RP 11 BR que establece los valores de desplazamiento circunferencial de ajuste requeridos para lograr una óptima precarga del pin. Dicho desplazamiento generará una fuerza de fricción entre las superficies de los espejos. La fig 11 muestra el calibre de control y su aplicación.

### 6.3.2.-LUBRICACION

El deterioro de los hilos de las roscas de las varillas por la falta de uso de lubricante es otro de los problemas que se vienen ocasionando desde tiempo atrás. El uso de un lubricante adecuado es muy importante, debido a que el diseño de los hilos de las roscas son en forma recta. El pin de la varilla está diseñado para ejercer un contacto total con la superficie interior del cople, pues es la fricción entre estas superficies las que permiten un ajuste efectivo. Por lo tanto nunca deberá usarse un lubricante para tubería de producción y menos aún de tubería de perforación ya que

# CONTROL DEL TORQUE POR DESPLAZAMIENTO

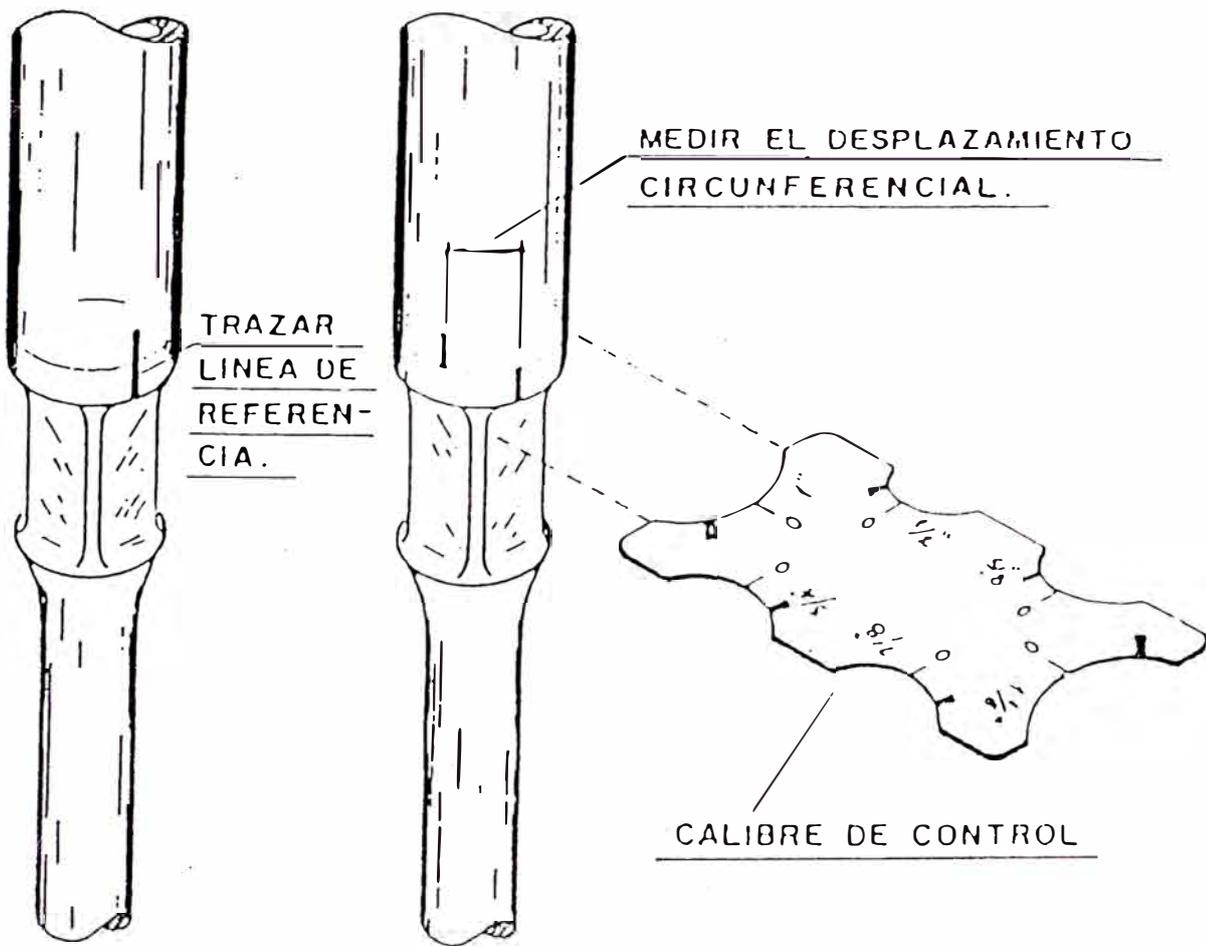


Fig.11

son muy pesados y además de dificultar el ajuste pueden dañar seriamente los hilos.

El API recomienda como un excelente lubricante el uso de una mezcla de 50% de aceite SAE 40 con 50 % de un inhibidor de corrosión.

### 6.3.3.-MARTILLO

Es un factor frecuente que causa daño a la varilla. Se ocasiona con la intención de "aflojar" una conexión muy apretada, dándole golpes a la superficie exterior del cople. Los cortes y abolladuras causados por esta mala práctica dañan la capa con que está recubierto el cople . Esta capa es de 0.005" a 0.008" de carburo que le dá protección contra la corrosión .

Los daños causados de ésta forma se constituirán en puntos de concentración de tensiones y posteriormente cederán por fatiga. Asimismo el martilleo del cople afecta también al pin de la varilla correspondiente, deformando la superficie interior de contacto lo que reducirá la fricción de un posterior ajuste en esa conexión. Por lo tanto cualquier varilla y cople dañado de este modo se deberá descartar y reemplazar.

### 6.3.4.-APLICACION DE TENSIONES

Con frecuencia se encuentran en el pozo problemas de bomba atascada en el niple de asiento (N.A.), debido a

problemas de carbonato, arena de formación o de fracturamiento compactado en el espacio anular barril de bomba- tubería y también por acción del golpe sobre la bomba causado para romper un posible bloqueo por gas, por lo que es necesario tensionar la sarta de varillas repetidas veces hasta lograr desasentar la bomba.

La aplicación de una tensión mayor a la que puede soportar la varilla más débil de la sarta, puede dejar la varilla con deformación permanente o en el peor de los casos fallar por tensión.

Las normas de la industria indican no exceder un esfuerzo de tensión mayor al 90% del límite de cedencia de la varilla de menor diámetro en la sarta y disminuir este porcentaje si las varillas muestran desgaste, o están muy trabajadas.

Las varillas dañadas en forma permanente se pueden identificar en el campo cuando están colgadas desde la repisa para varillas de la unidad de servicio de pozos, identificando las que exceden en tamaño a las otras y previa verificación de centralizadores colocados entre varillas. Se debe considerar que las varillas que son de 25 pies, pueden tener hasta 4 pulgadas adicionales como máximo (equivalente a la longitud de un cople). Si miden mas deberán reemplazarse.

#### 6.3.5.-USO DE ELEVADORAS

Las elevadoras de varillas desgastadas imparten una curvatura en la varillas en la transición entre el recalque y el cuerpo. Cuando ésta elevadora soporta la carga de la sarta de varillas, la línea central a lo largo del eje de la varilla, debe coincidir con la línea central de la elevadora. Sino ocurre esto la elevadora se inclina de modo que el ángulo entre el eje de la varilla y el cuerpo de la elevadora no es de 90°.

Luego del continuo trabajo y cuando la elevadora es sometida a sobrecargas, el asiento de ésta se desgasta, se deforma y se torna mas ovalado que redondo como era originalmente. Por esta razón la varilla que cuelga de ella se inclina hacia la parte delantera y abierta de la elevadora. Asimismo como la forma del recalque de la varilla no coincide con el contorno del asiento, ésta le produce marcas similares a las ocasionadas por el martilleo y nuevamente tendremos un punto de concentración de tensiones, hasta fatigarse justo bajo el recalque en un intervalo igual al espesor del cuerpo de la elevadora.

#### 6.3.6.-USO DE ANCLAS DE TUBOS

Las anclas de tubos (ver fig.12), son herramientas que se instalan como parte de la sarta de la tubería de producción y se fijan contra la tubería de revestimiento a cierta profundidad con la finalidad de inmovilizar los tubos, evitar su pandeo y reducir el desgaste de los coples de las

# ANCLA CATCHER

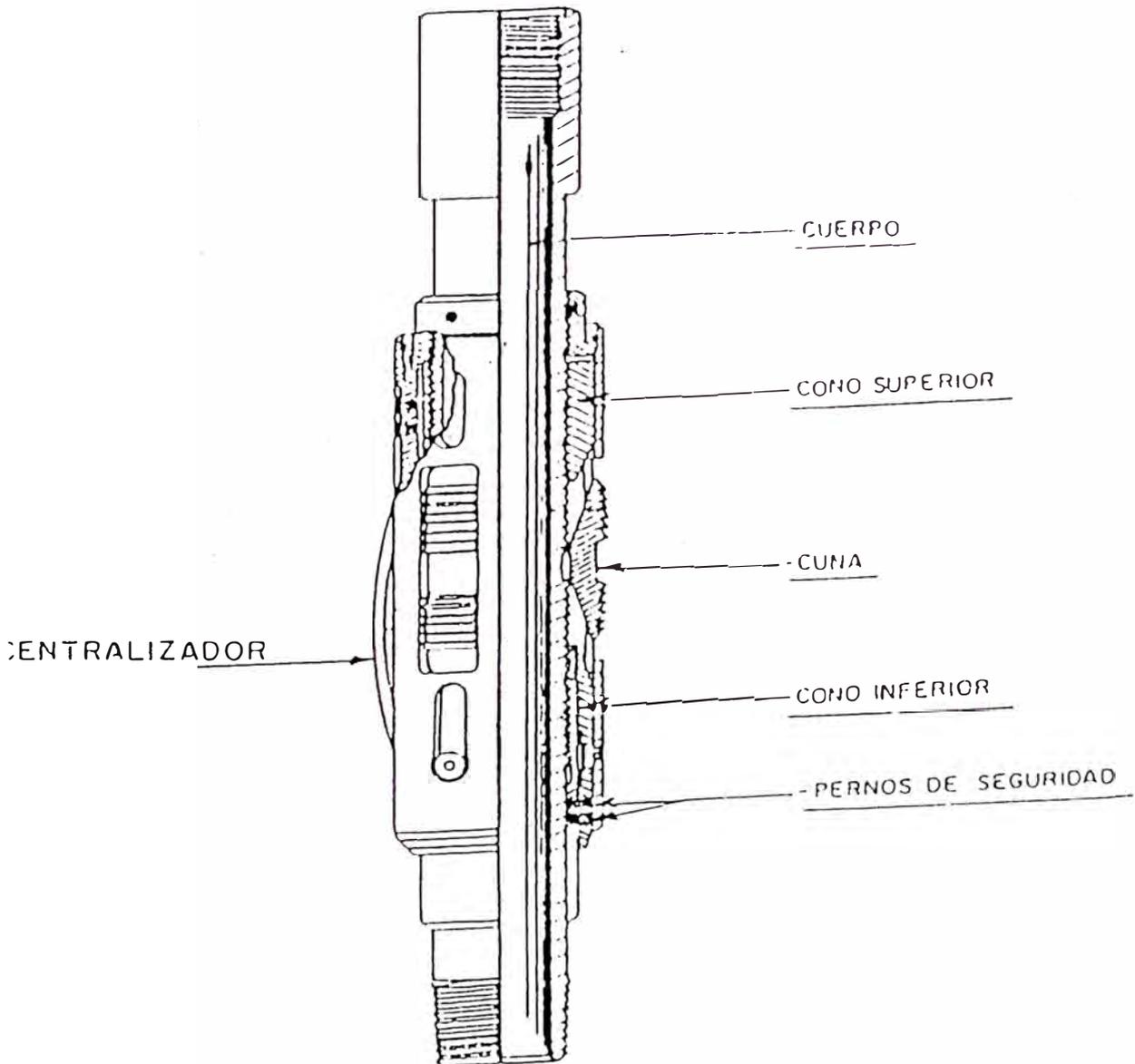


Fig.12

varillas por fricción con los tubos y por el lado de producción, permite al pistón de la bomba una mayor carrera en el fondo del pozo.

Si durante el ciclo de bombeo la sarta de tubería no está anclada, el movimiento alternativo de la carga de fluido al actuar sobre la tubería le causará un estiramiento durante la carrera descendente y un encogimiento con enrosque alrededor de las varillas en la carrera ascendente. Este problema incrementa la carga máxima en el varillón.

Actualmente existen distintos tipos de anclas entre las que podemos citar las anclas hidráulicas, a compresión, a tensión, compensadas y de tensión con mecanismo de agarre "anchor catcher" ).

Las anclas de tubos a tensión son las mas adecuadas para reducir la fricción, ya que al mantener la sarta de tubos en tensión, reduce su pando y por ende la fricción con las varillas. La falta de un buen conocimiento del uso de este tipo de anclas origina tubería mal anclada o en el peor de los casos la tubería queda sin anclar.

Una gran desventaja del uso de ésta herramienta es la posibilidad de ocasionar "pescas" de tubería cuando se traba el mecanismo de descarga al estar fijada a una profundidad mayor a la permitida por la tubería.

## **7.-DETERMINACION DE CAUSAS DE ROTURAS**

Con la finalidad de analizar el comportamiento de la instalación de bombeo mecánico, es importante la determinación y registro del valor de las cargas en el varillón pulido durante el ciclo de bombeo. Esta información que servirá para identificar algunos de los factores que causan roturas de varillas se obtiene mediante el uso del dinamómetro. Asimismo en los casos en que la falla ya ocurrió, mediante una minuciosa inspección visual, se podrá determinar el o los factores dañinos y tomar medidas correctivas para minimizar y en el mejor de los casos anular el problema.

#### 7.1.-LA CARTA DINAMOMETRICA

La fig.13 A muestra la forma ideal de una carta dinamométrica que solo está afectada por el estiramiento y la contracción de la sarta de varillas, en tanto que la fig.13 B muestra una carta real, modificada por el efecto de los esfuerzos dinámicos que están presentes durante el trabajo del sistema de bombeo mecánico.

##### 7.1.1.-CARTAS TIPICAS

Mediante un análisis cualitativo de la forma de la carta dinamométrica se podrá identificar algunos de los factores que ocasionan roturas en la varillas, tales como : Golpe de fluido (fig.14) ; Golpe de gas (fig.15 A y B) y Bloqueo por

## CARTA DINAMOMETRICA IDEAL

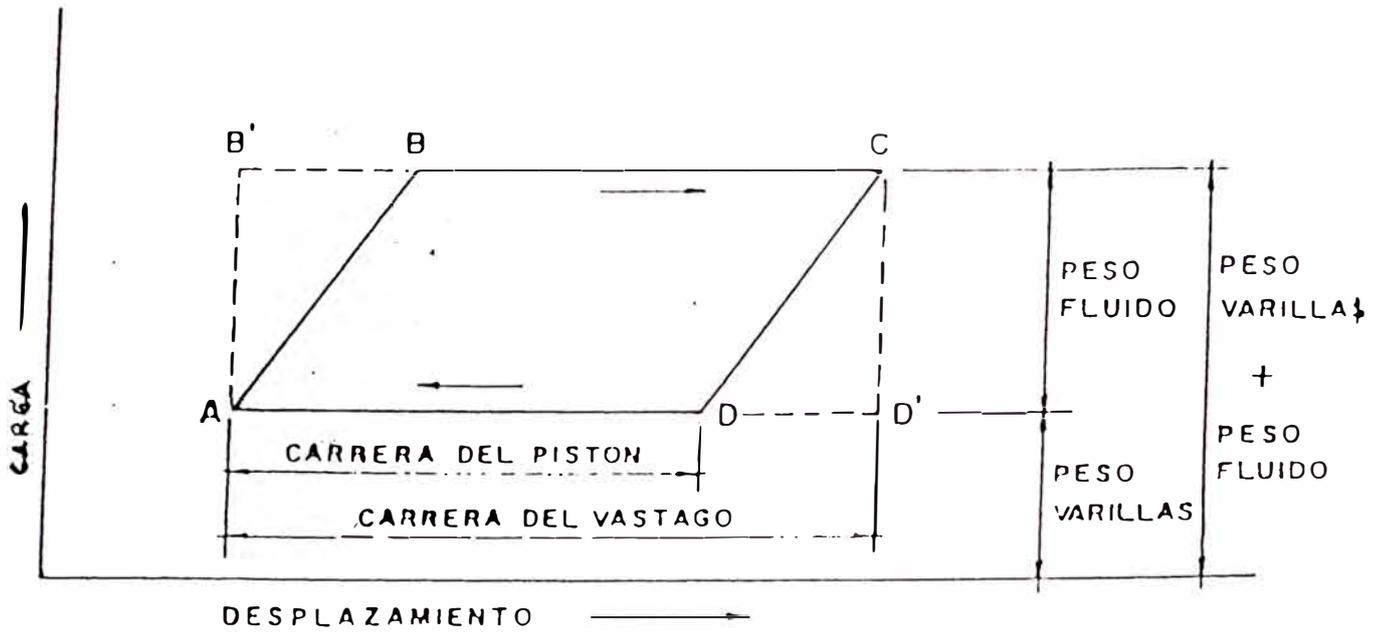


Fig.13 A

## CARTA DINAMOMETRICA REAL

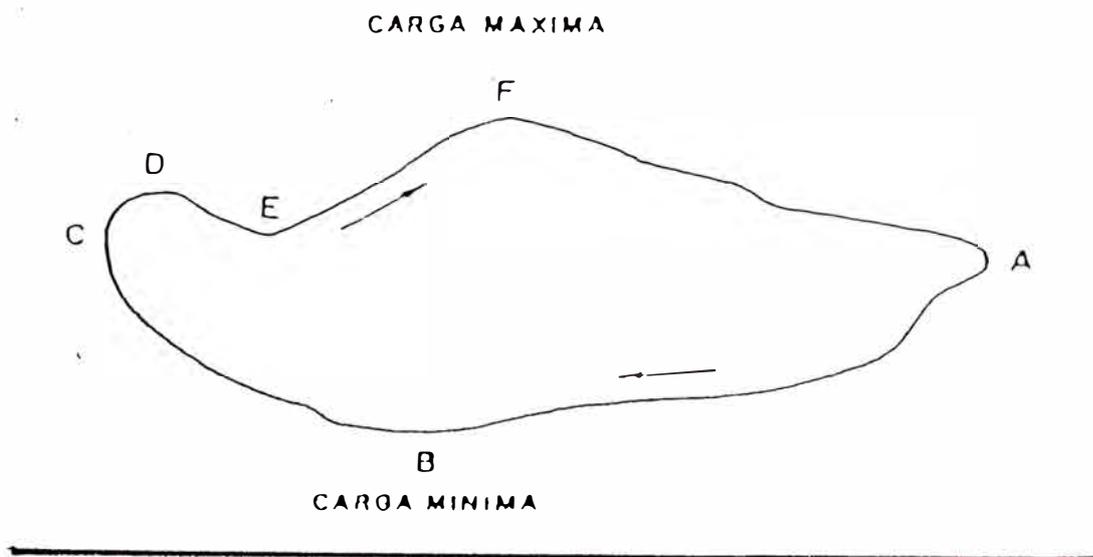


Fig.13 B

CARTAS DINAMOMETRICAS TIPICAS DE GOLPE DE FLUIDO

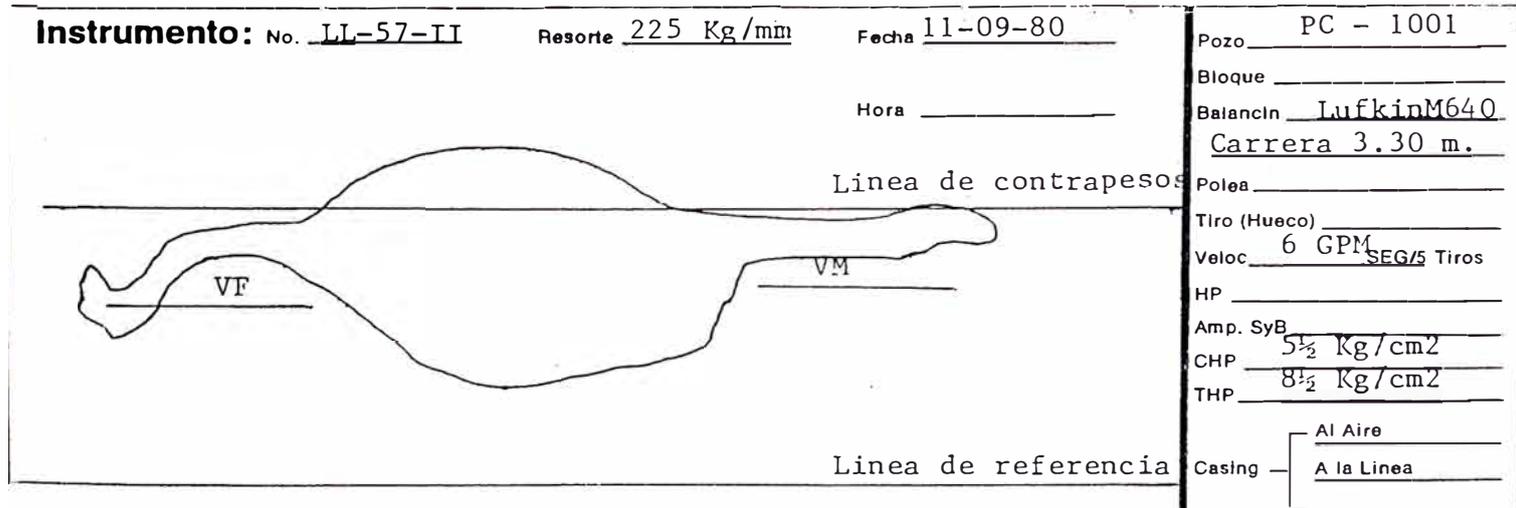
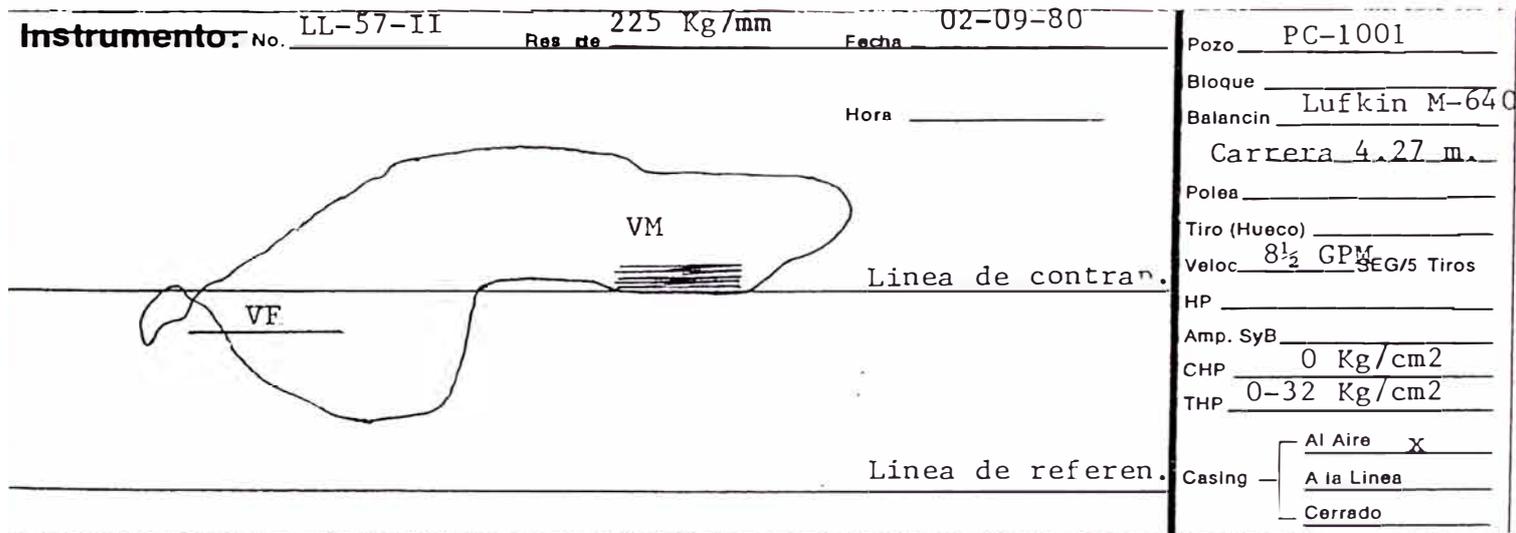
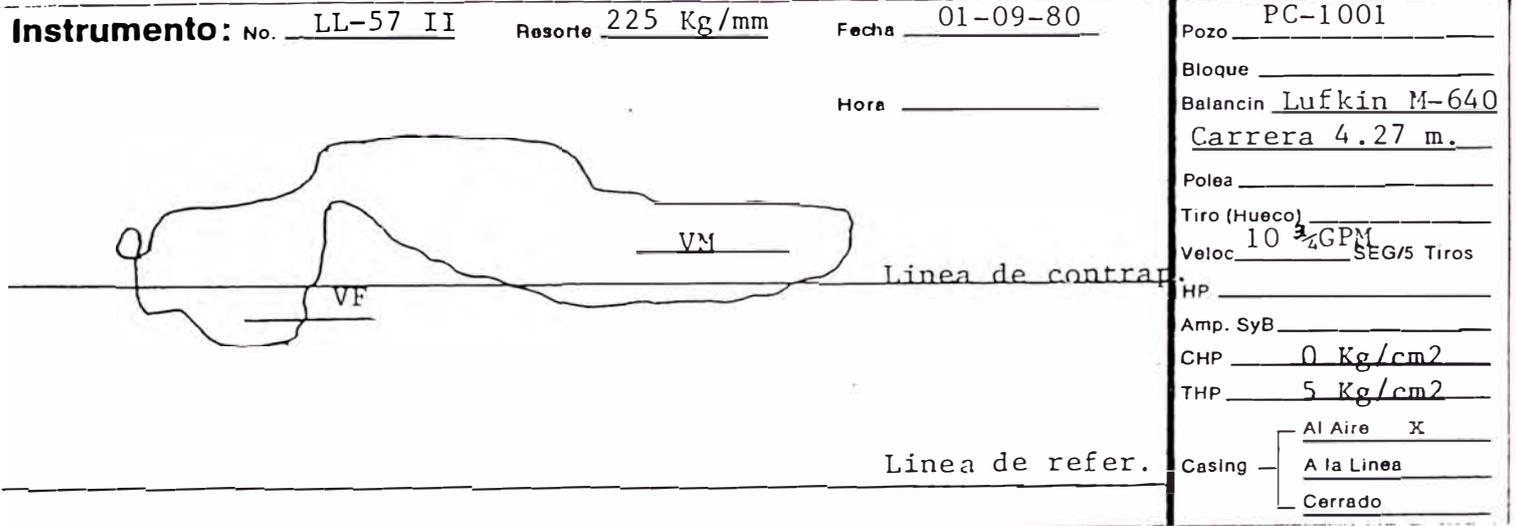
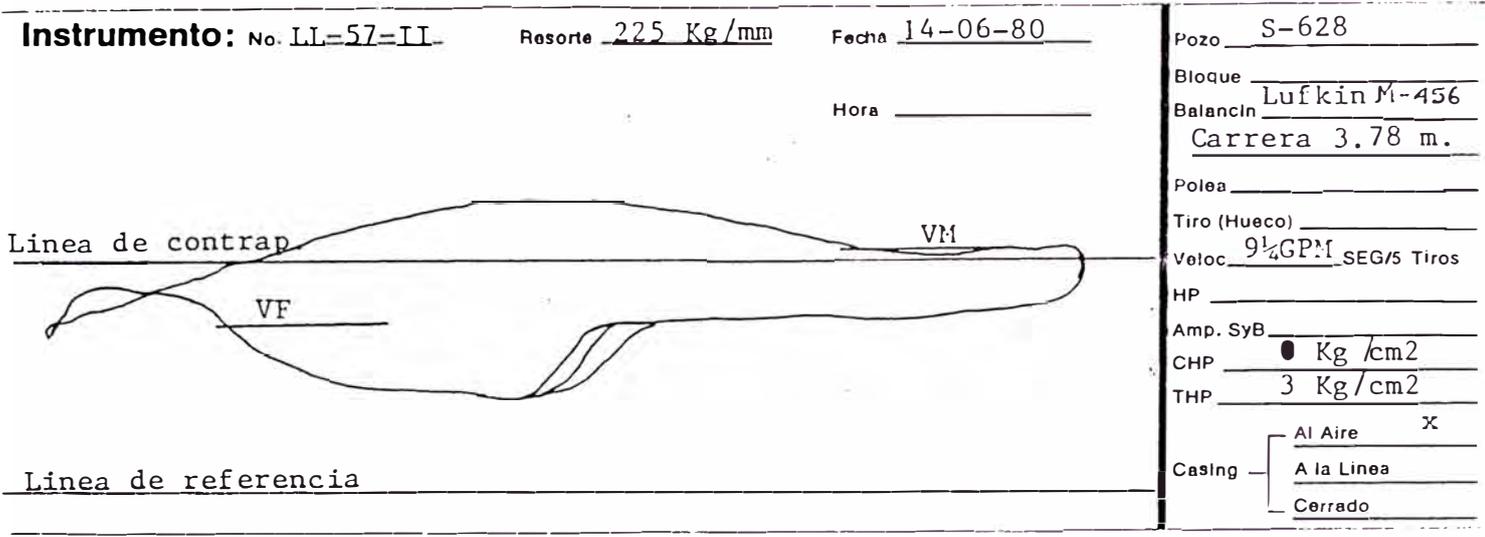
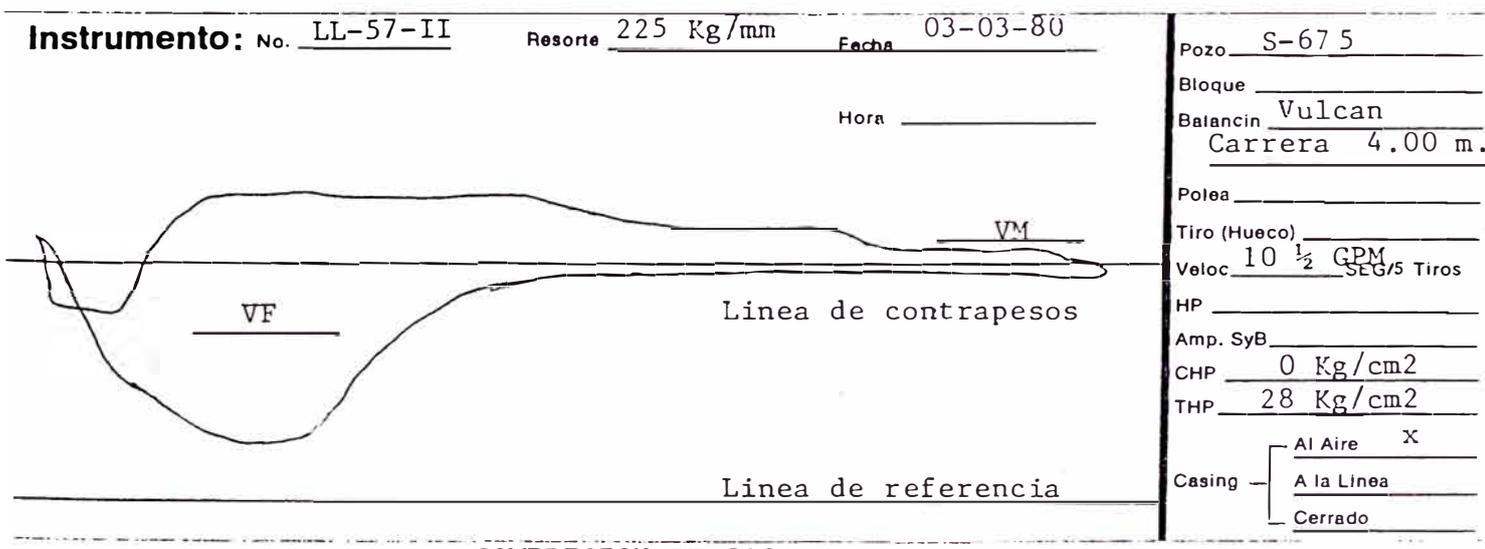


Fig.14



COMPRESION DE GAS

Fig.15 A



COMPRESION DE GAS

Fig.15 B

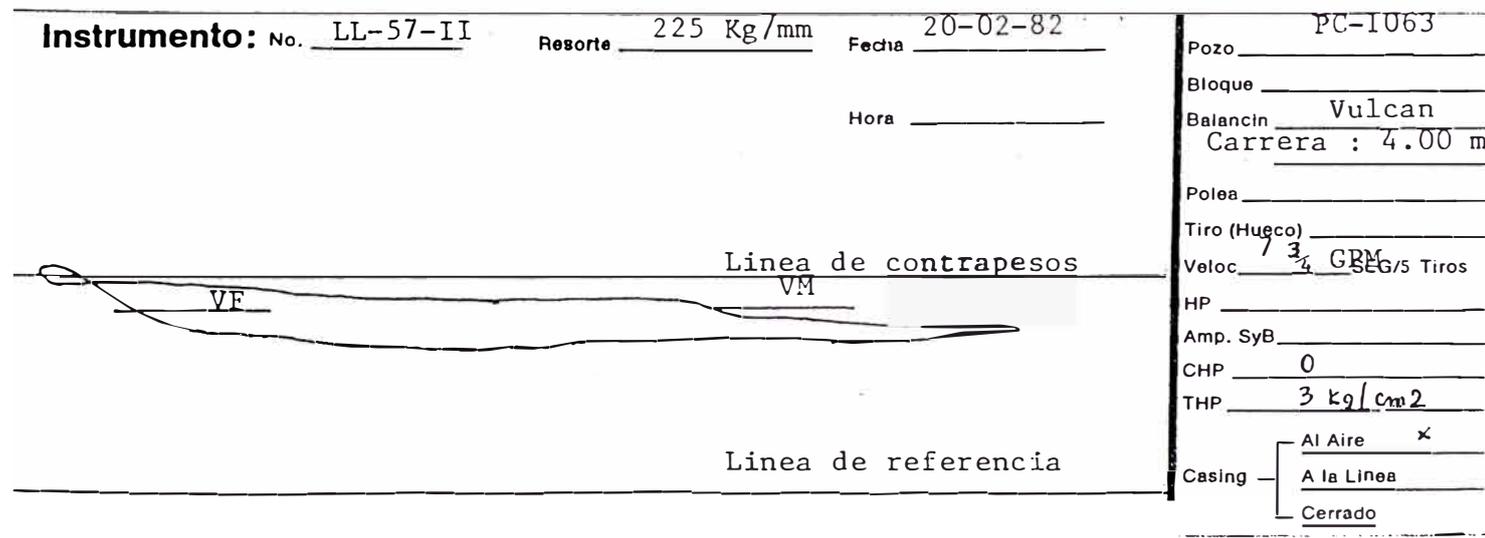


Fig.15 C

Instrumento: No. LL-57-II Resorte 225 Kg/mm Fecha 01-04-80

Hora \_\_\_\_\_

Pozo s-627

Bloque \_\_\_\_\_

Balancin CKH 10  
carrera : 2.10 m

Polea \_\_\_\_\_

Tiro (Hueco) \_\_\_\_\_

Veloc. 11 GPM SEG/5 Tiros

HP \_\_\_\_\_

Amp. SyB \_\_\_\_\_

CHP 0

THP 0

Casing  Al Aire  X  
 A la Línea  
 Cerrado

Línea de contrapesos



Línea de referencia

Valores reales V. Teóricos (Kgs.)

	Valores reales	V. Teóricos (Kgs.)
CARGA MAXIMA	2829	9958
CARGA MINIMA	2231	3211
PESO DE VLLS. SUM.	2438	4980
PESO DE FLUIDO	0	3250

Instrumento: No. LL-57-II Resorte 225 Kg/mm Fecha 8-8-80

Hora \_\_\_\_\_

Pozo PC-1001

Bloque \_\_\_\_\_

Balancin Lufkin M 640  
Carrera : 4.27 m.

Polea \_\_\_\_\_

Tiro (Hueco) \_\_\_\_\_

Veloc. 11 GPM SEG/5 Tiros

HP \_\_\_\_\_

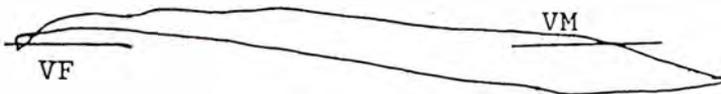
Amp. SyB \_\_\_\_\_

CHP 0

THP 1 1/2 Kg/cm2

Casing  Al Aire  X  
 A la Línea  
 Cerrado

Línea de contrapesos



Línea de referencia

Valores reales V. Teóricos (Kgs.)

	Valores reales	V. Teóricos (Kgs.)
CARGA MAXIMA	4094	9800
CARGA MINIMA	1725	2150
PESO DE VLLS. SUM.	3013	4150
PESO DE FLUIDO	184	2939

Fig.16

gas (fig 15 C). Asimismo se podrá determinar si la rotura ya ocurrió.(fig.16A y B).

Del análisis cuantitativo se pueden obtener datos para determinar la carga actual de la unidad de bombeo, sarta de varillas y el motor. Entre los datos que pueden calcularse estan:

- Carga máxima en el varillón (PPRL)
- Carga mínima en el varillón (MPRL)
- Torque máximo (PT)
- Efecto de los contrapesos
- Esfuerzo máximo en las varillas
- Potencia en el varillón

De la fig.13 B se puede ver que la carga máxima corresponde a la máxima deflección registrada en la carta y ocurre normalmente en la carrera ascendente. El valor se obtiene tomando la distancia desde la línea cero hasta la máxima deflección multiplicada por la constante de resorte del dinamómetro.

De nuestro interés es el esfuerzo máximo en las varillas, el cual se podrá comparar con el esfuerzo permitido de acuerdo al grado de la varilla. El esfuerzo máximo en el varillón se obtiene dividiendo la carga máxima en el varillón entre el área de la sección transversal de la varilla superior

## 7.2.-INSPECCION VISUAL

Cuando la rotura ya ocurrió y se ha solicitado el retiro de la sarta de varillas del pozo , habrá que identificar la causa que originó la falla mediante una inspección visual. A continuación se dan ejemplos de fallas frecuentes indicando como reconocerlas.

#### 7.2.1.-FALLA POR TENSION

Ocurren por sobreesfuerzos que exceden el límite de resistencia a la tensión. La fig.17 muestra una falla de este tipo. Cuando se aplican cargas muy altas, su efecto se concentra en un punto específico de la sarta, produce una reducción de la sección por elongación y la falla se produce en la zona de menor diámetro.

#### 7.2.2.-FALLA POR FATIGA

La característica de esta falla se nota claramente en la cara de la rotura (ver fig.18), donde la mitad superior de la cara muestra una superficie lisa y pulida. Esto se podría entender considerando que la carga que se aplica se distribuye mas o menos por igual a lo largo de la sección transversal, entonces en la base del punto de fatiga se forma una grieta y la varilla trata de separarse a cada lado de la grieta la cual va avanzando perpendicularmente al eje de la varilla. De esta forma las caras de la grieta se tornan parejas y pulidas hasta el punto en que la reducción

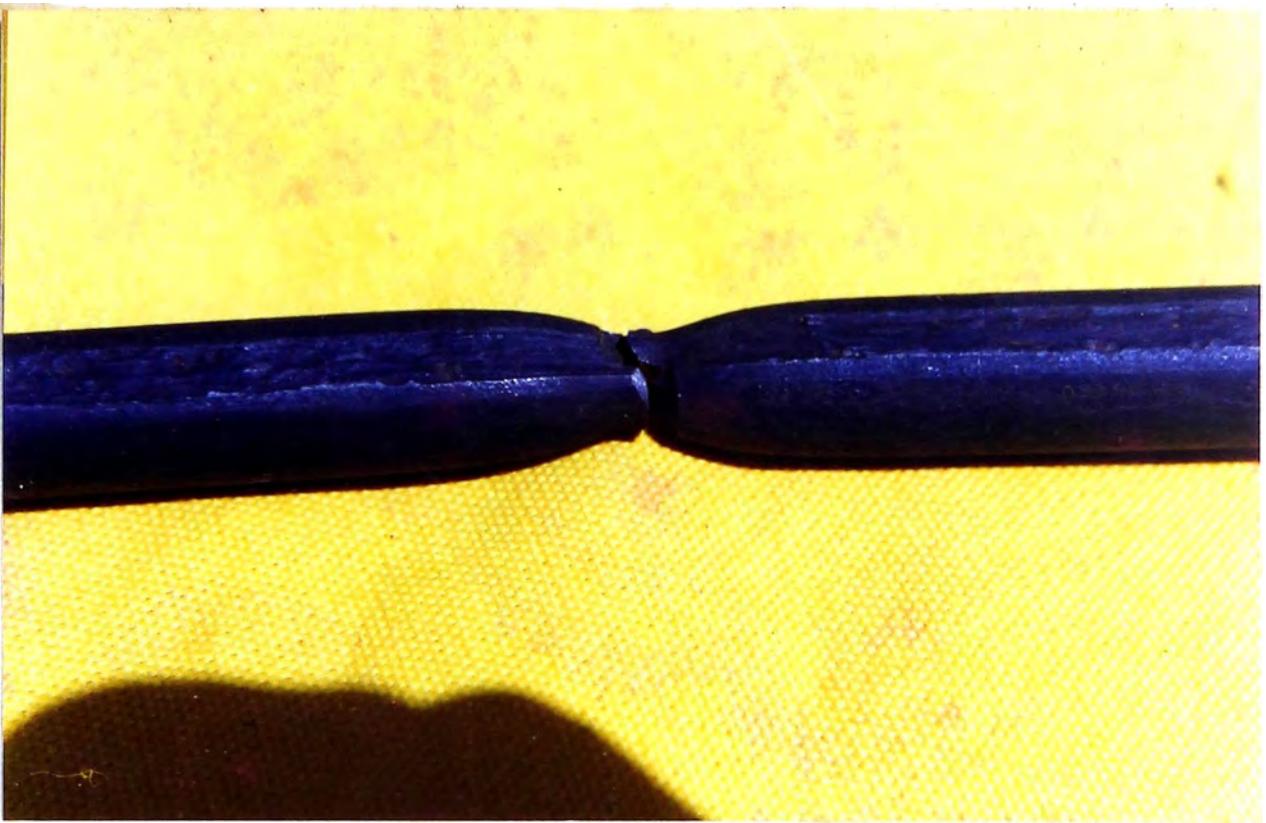


Fig.17



Fig.18

del área es tal que no hay suficiente metal para soportar la carga y la varilla falla. Esta zona de falla se puede identificar por presentar un área áspera y granular. Es importante insistir que cualquier daño superficial que reduzca el diámetro de la varilla, aumenta la carga o el esfuerzo en ese punto.

Si se examina el borde de la grieta de tensión, esto es, el lado opuesto de la parte áspera de la rotura, se debe encontrar algún indicio de lo que causó la falla y que podría ser de naturaleza mecánica ( golpes, abolladuras, etc) o química ( por picaduras de corrosión ).

#### 7.2.3.-FALLA POR DOBLADURA

Las varillas son confeccionadas de tal forma que tienen una rectitud que apenas varía en 1/8" cada 5 pies, de modo que son tan rectas que ruedan fácilmente sobre una base horizontal con sólo cinco puntos de apoyo.

Las curvaturas que se forman luego de su fabricación se deben a cambios de la estructura metálica y a concentración de esfuerzos en la curva. Las fallas ocasionadas por varillas dobladas se originan en el lado cóncavo de la curva y avanzan hacia el lado convexo y además la cara de la rotura no queda en ángulo recto con relación al eje de la varilla. Este tipo de falla se puede identificar rearmando ambos lados de la rotura, de modo que las superficies parejas queden en paralelo.

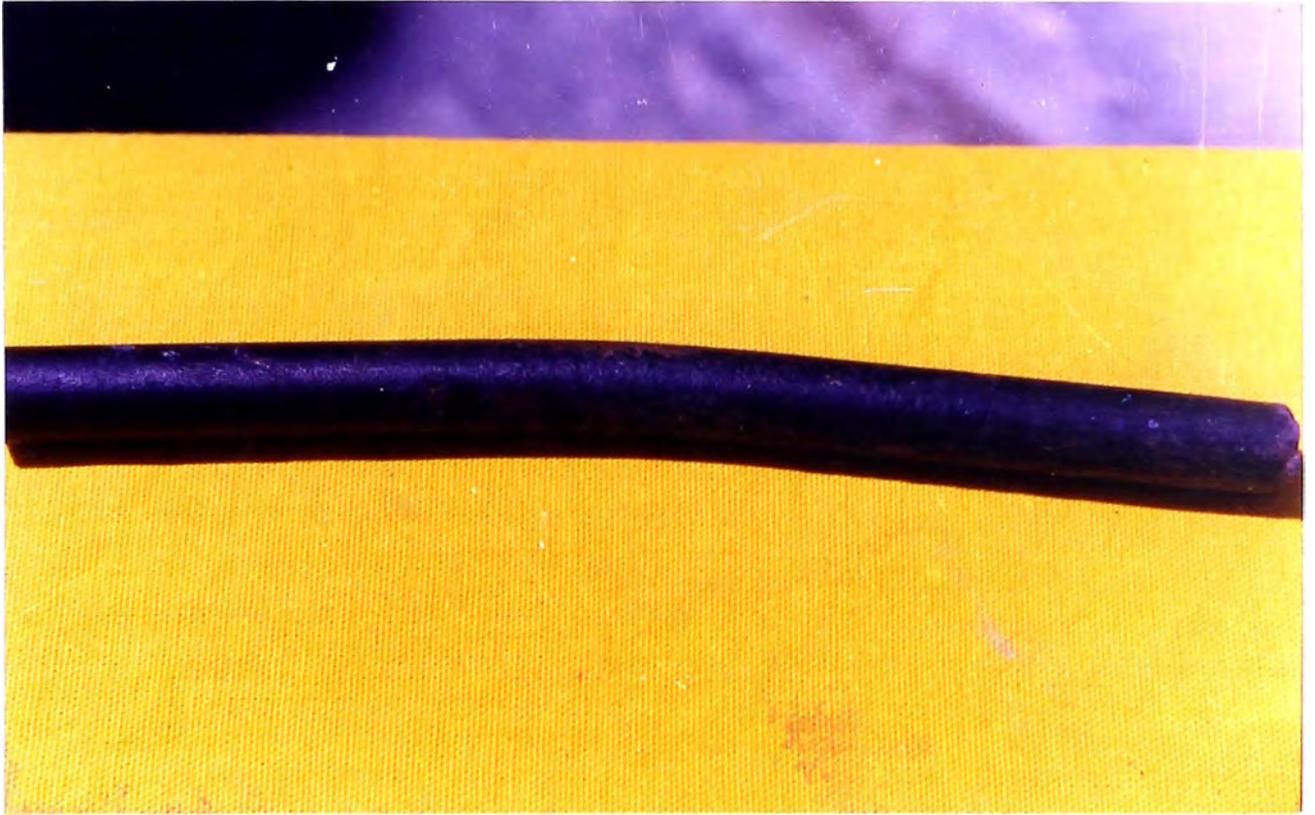


Fig.19

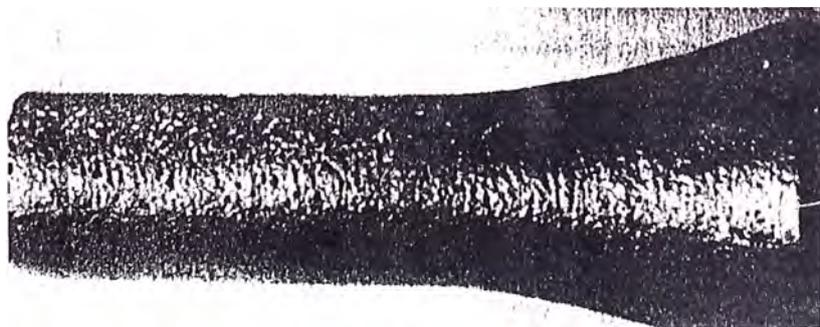


Fig.20

La fig.19 muestra una falla por un arqueamiento del cuerpo de la varilla.

#### 7.2.4.-FALLA POR FLEXION

Estas fallas son ocasionadas por el movimiento de la sarta de varillas durante el ciclo de bombeo debido a que se encuentran en un estado de compresión.

El esfuerzo por fatiga se concentra en el punto de máxima curvatura y se identifica por la presencia de muchas grietas en línea a lo largo del cuerpo de la varilla afectada (ver fig.20). Las picaduras de corrosión o el daño mecánico aceleran la falla por fatiga. Si la varilla roza en ese punto contra la pared interior de la tubería, se observará desgaste por abrasión (ver fig.21), además no se encontrará la varilla encorvada debido a que el problema ocurre cuando la sarta se mueve.

Esta flexión puede originarse por golpe de fluido o gas, por altas velocidades de bombeo o un ancla mal fijada. Cabe indicar que el movimiento de flexión se transmite a través del cople y el recalque rígidos hacia el cuerpo que es más flexible.

#### 7.2.5.-FALLAS POR DAÑOS SUPERFICIALES

Son fallas ocasionadas por discontinuidades (fisuras,abolladuras) en la superficie del cople o de la

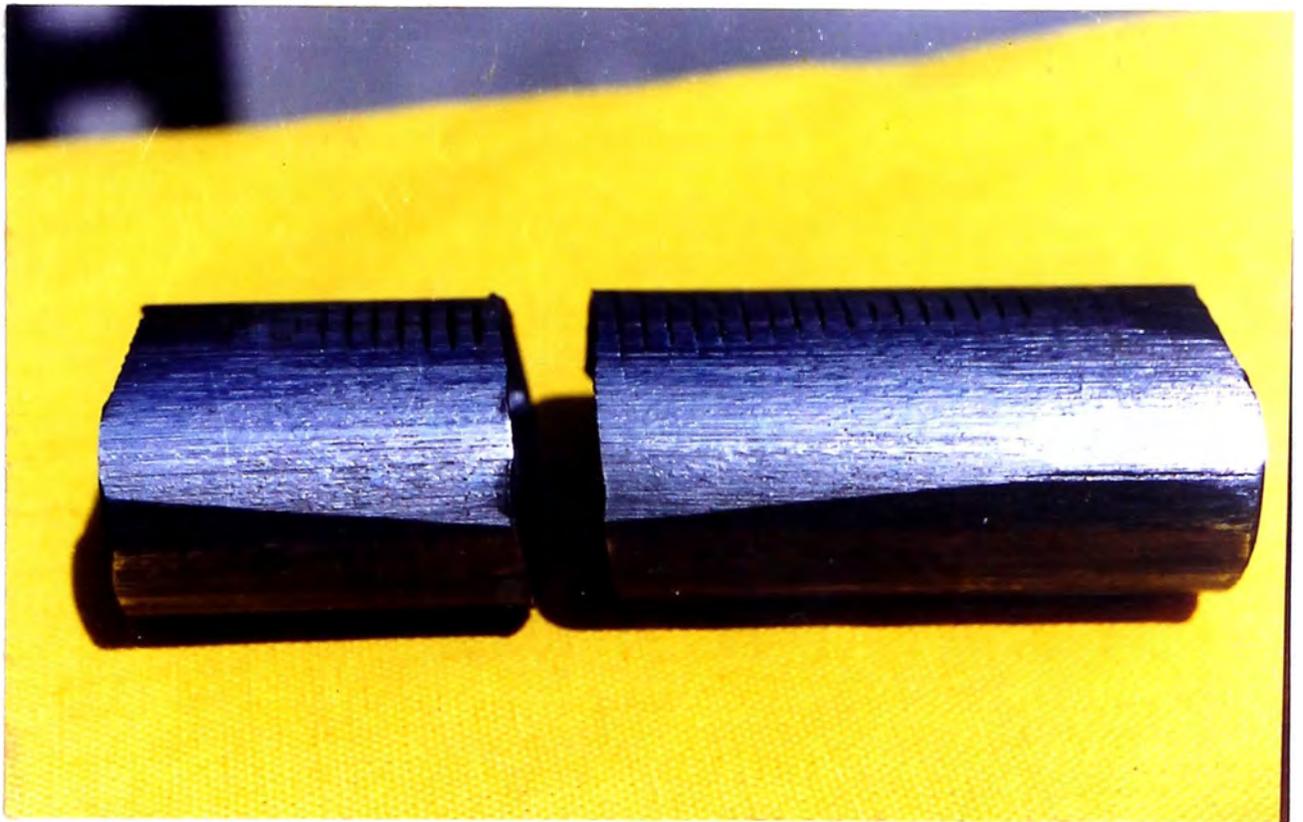


Fig.21



Fig.22

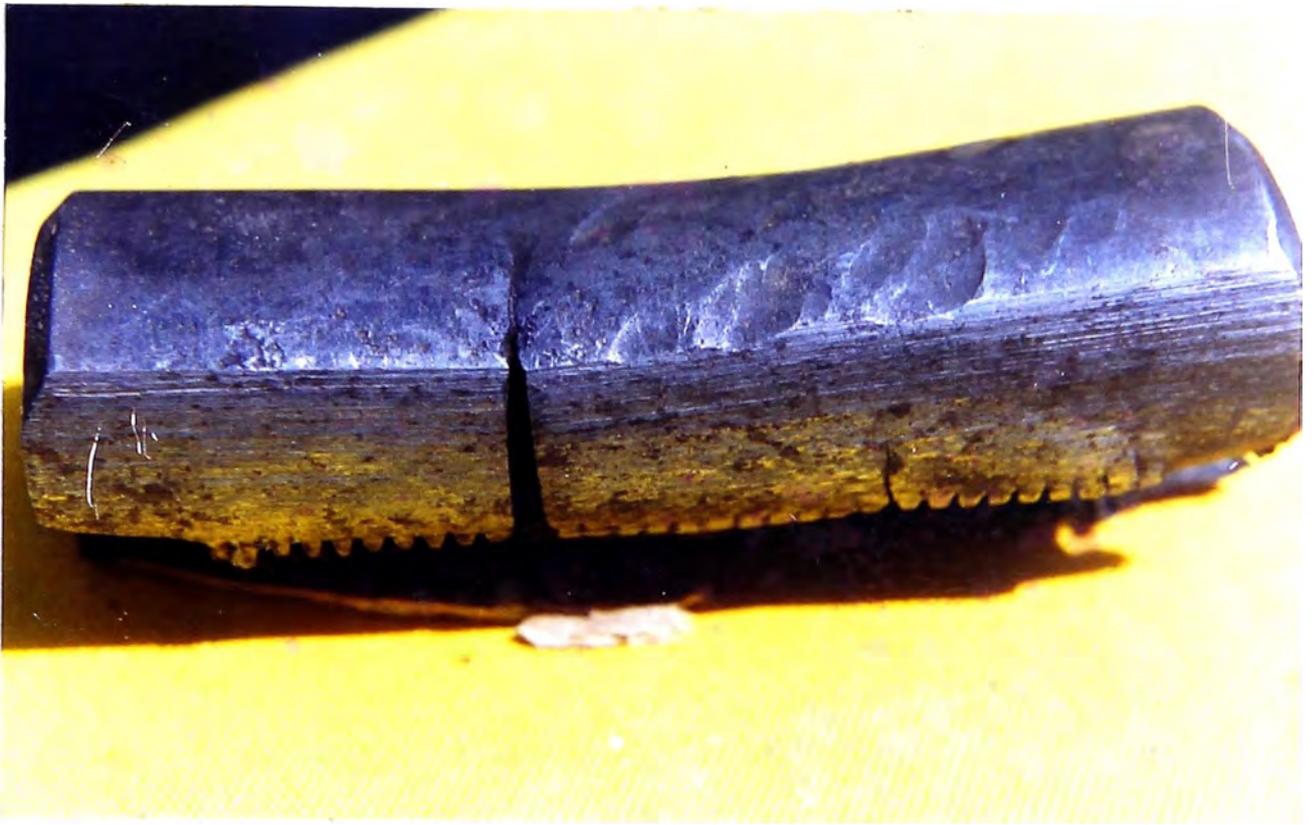


Fig. 23



Fig. 24

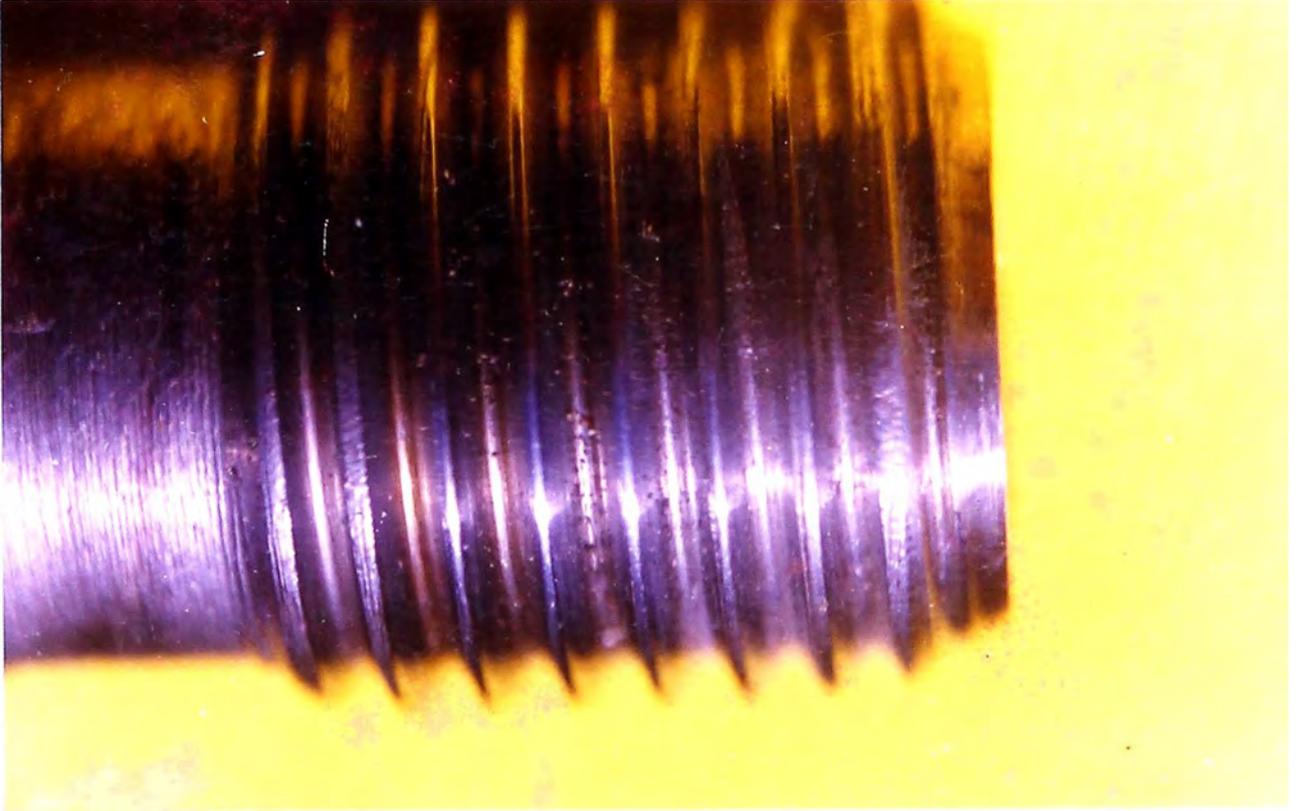


Fig.25

varilla (ver figs. 22, 23 y 24), provocados por acción mecánica que crean puntos de debilidad en la sarta y ceden por las condiciones de trabajo normales y no por causa de tensiones excesivas ni de otros factores ya explicados anteriormente.

#### 7.2.6.-FALLAS POR AJUSTE INADECUADO

Se pueden identificar por roturas en el pin, que se inician en el primer hilo de la rosca como resultado de un excesivo ajuste, o los hilos muestran un aplastamiento y/o desgaste debido posiblemente a un ajuste insuficiente, suciedad en los hilos o excesiva vibración en la sarta que causa una pérdida del ajuste inicial y luego su desprendimiento.(ver fig.25).

## 8.-DATOS ECONOMICOS

Como parte del control de gastos de las operaciones del Dpto. de Explotación y para encontrar mejores alternativas que permitan extraer el petróleo al más bajo costo, se planteó para el año de 1994 el siguiente objetivo

Lograr como máximo un (1) servicio o intervención por pozo por año. Asimismo, los servicios repetitivos (mas de uno por año), incrementan el presupuesto ejecutado y a su vez aumenta el costo del barril extraído.

Para lograr éste objetivo, se hace imprescindible resolver el problema de los servicios frecuentes por rotura de varillas, por lo que se plantea el siguiente análisis económico para la inspección y control de las varillas de succión unida a algunos cambios en el sistema de supervisión y la aplicación de análisis de ingeniería de producción.

Cabe indicar que actualmente los servicios de pozos efectuados por las compañías contratistas son controlados por medio de supervisión directa y de parámetros ( tiempos promedio establecidos para una operación dada ) cuando el supervisor no puede estar presente en el equipo de "pulling".

**ANALISIS ECONOMICO PARA LA INSPECCION Y CONTROL DE LAS  
VARILLAS DE SUCCION**

**JUSTIFICACION.-**

La falta de un programa de mantenimiento preventivo y de control de las varillas en las operaciones del Lote X, trae como consecuencias las siguientes pérdidas:

20 % de servicios adicionales cada mes por fallas de varillas

17 % de incremento del tiempo normal por cada servicio.

- 30 % de incremento del requerimiento anual por varillas nuevas.

Producción diferida de petróleo como consecuencia de mayores horas por servicio.

**DATOS A CONSIDERAR**

No.de pozos activos con unidad de bombeo 1,000

No.de pozos nuevos al año : 30

No.de pozos reactivados y reacondicionados al año 40

Profundidad promedio de los pozos : 5,000'

Tarifa promedio de Unidad de "pulling" : 95.00 \$/hr

Duración promedio del servicio : 18 hrs

No.de servicios de mensuales : 150

Producción promedio de petróleo por pozo : 14 BPD

Costo del petróleo en el mercado : 18.00 \$/BL

Costo de inspección de varillas : 25 % del valor nuevo.

Costo de prueba dinamométrica : 130.00 \$ c/u

Tabla 4

DIAMETRO (PULG)	PESO LINEAL (LB/PIE)	TORQUE (LB-PIE)		COSTO (US\$/PIE)*	
		GRADO C	GRADO D	GRADO C	GRADO D
5/8	1.13	220	242	1.00	1.16
3/4	1.63	350	385	1.20	1.52
7/8	2.22	520	572	1.52	1.92

\* Referencia Última compra de varillas (Enero 94). Sin IGV

I.-PERDIDAS ESTIMADAS ANUALES.-

I.1.-Servicios de pozos adicionales por roturas

$$20 \% \times 150 \text{ serv.} = 30 \text{ servicios/mes}$$

$$30 \text{ serv/mes} \times 18 \text{ hrs/serv} \times 95 \text{ \$/hr} \times 12 \text{ meses} =$$

$$615,600 \text{ \$ ... (a)}$$

I.2.-Incremento en el tiempo normal por servicio

$$17 \% \times 18 \text{ hr/serv} = 3 \text{ hrs/servicio}$$

$$3 \text{ hr/serv} \times 150 \text{ serv/mes} \times 95 \text{ \$/hr} \times 12 \text{ meses} =$$

$$513,000 \text{ \$ ... (b)}$$

I.3.-Incremento en el requerimiento anual de varillas nuevas

El requerimiento anual es de  $30 + 40 = 70$  sartas.

Se estima en un 50 % del requerimiento anual, las necesidades de varillas para reemplazo, pero con la inspección y control se puede reducir el requerimiento al 20 % , lo que significa que adicionalmente se requiere :  $50 \% - 20 \% = 30 \%$ .

Entonces las sartas adicionales anuales serán :

$$30 \% \times 70 \text{ sartas} = 21 \text{ sartas de varillas nuevas.}$$

I.3.1.-Cálculo del costo de una sarta de varillas nuevas :

(1)	(2)	(3)	(4)=5000 x (3)	(2)x(4)
Diámetro	Costo(\$/pie)	% Distrib.	Longitud	Costo(\$)
5/8	1.18	50	2,500	2,950
3/4	1.42	30	1,500	2,130
7/8	1.79	20	1,000	1,790

El costo de una sarta nueva será

$$2,950 + 2,130 + 1,790 = 6,870 \$$$

y el requerimiento anual:  $21 \times 6,870 \$ = 144,270 \$ \dots (c)$

#### I.4.-Por producción diferida :

La producción diferida se calcula en función al número de horas del pozo en servicio, entonces

$$\text{De I.1, } 30 \text{ serv/mes} \times 18 \text{ hr/serv} = 540 \text{ hrs/mes}$$

$$\text{De I.2, } 3 \text{ hrs/serv} \times 150 \text{ serv/mes} = 450 \text{ hrs/mes}$$

Las horas sin producción serán  $540 + 450 = 990 \text{ hrs/mes}$

$$990 \text{ hr/mes} \times 14 \text{ BPD} \times 1 \text{ D/24 hr} \times 18 \text{ \$/Bl} \times 12 \text{ meses} =$$

$$124,740 \$ \dots (d)$$

La pérdida total será :  $(a) + (b) + (c) + (d) =$

$$615,600 + 513,000 + 144,270 + 124,740 = 1'397,610 \$$$

## II.-COSTO DE APLICACION DEL PROGRAMA.-

Se sugiere inspeccionar las sartas de varillas cada 4 años, priorizando los pozos de mayor producción, los de mayor frecuencia de fallas y las sartas no mayores de 8 años (si es posible determinarlo). Asimismo para efectos de control de esfuerzos de carga durante el trabajo de la sarta, tomar 2 pruebas dinamométricas adicionales por pozo.

### Costo por inspección:

Existen 1,000 pozos o sartas en operación, entonces  
anualmente se deberán inspeccionar  $1,000/4 = 250$  sartas  
 $25 \% \times 6,870\$/sarta \times 250 \text{ sartas/año} = 429,375 \$ \dots (e)$

### Costo por prueba dinamométrica:

$1,000 \text{ pozos} \times 2 \text{ prueb./pozo} \times 130 \text{ \$/prueb.} = 260,000 \$ \dots (f)$

Entonces el costo total será :  $(e) + (f) =$

$429,375 + 260,000 = 689,375 \$$

### III. AHORRO PARA LA EMPRESA.-

En base a los cálculos efectuados, las pérdidas anuales  
ascienden a US\$ 1'397,610 y la inversión para evitarlas es  
de US\$ 689,375 , lo que dá un ahorro anual de US\$ 708,235 .

## 9.-DATOS ESTADISTICOS.-

Como dato estadístico, para el período Enero a Diciembre de 1993 en el Distrito Laguna - Zapotal ( Producción promedio de 2,500 BPD y con pozos de profundidad promedio del niple de asiento de 7,000 pies), de 146 pozos activos ( producción promedio por pozo de 17 BPD ), se efectuaron 216 servicios con el siguiente resultado : el 32.4% (70) de los servicios fueron originados por rotura en coples, varillas, bomba o varillón; el 4.6% (10) por problemas en los tubos; el 7.4% (16) por carrera de la bomba pegada y el 55.6% (120) de los servicios por deficiencia en la bomba de subsuelo. Asimismo, el 27% del total de roturas se identifico en coples de varillas de 7/8" y el 19% en cuerpo de varillas de 5/8".

A continuación se presentan cuadros estadísticos de los servicios de "pulling" originados por algún problema en la sarta de varillas ,( tales como roturas de varillas, pin, cople, desenrosque por bomba de subsuelo aprisionada y cambios de diseño ), efectuados durante los meses de Setiembre-Octubre y Noviembre de 1994.

**UNIDAD DE SDP : PETREX-314 Y VULCANO**

FECHA	POZO	AREA	FALLA Y TIPO	DIAMETRO	PROF.ROTURA	OBSERVACIONES
22/9/94	PB-286	O.PATRIA	COPELE ROTO	7/8	1515'	CAMBIO 11 V.7/8 Y 6 V.DE 5/8.HIZO DESENR.
7/10/94	7124	ZAPOTAL	VARILLA ROTA	7/8	1650'	CAMBIO COPLES Y 10 V.7/8
26/10/94	6313	ZAPOTAL	COPELE ROTO	7/8	1295'	CAMBIO COPLES
15/11/94	7117	ZAPOTAL	COPELE SOBADO	7/8	68'	CAMBIO 18 COPLES E HIZO DESENROSQUE

**UNIDAD DE SDP : COSMOS-1**

FECHA	POZO	AREA	FALLA Y TIPO	DIAMETRO	PROF.ROTURA	OBSERVACIONES
3/9/94	2241	LAGUNA	COPELE SOBADO	3/4	140'	CAMBIO 8 VLLS.
9/9/94	5913	ZAPOTAL	DESENROSQUE	5/8	NO HUBO	CAMBIO 30 COPLES
15/9/94	7893	REVENT	COPELE ROTO	3/4	2126'	CAMBIO 8 VLLS.
17/9/94	7513	ZAPOTAL	COPELE ROTO	7/8	675'	CAMBIO COPLE
20/9/94	1340	TAIMAN	CUERPO VLLA.	7/8	1750'	CAMBIO 30 VLLS.
25/9/94	7036	ZAPOTAL	CUERPO VLLA.	7/8	1278'	CAMBIO 141 VLLS.
27/9/94	7169	ZAPOTAL	CUERPO VLLA.	3/4	4375'	CAMBIO 20 VLLS.
5/10/94	6264	ZAPOTAL	COPELE SOBADO	3/4	1900'	CAMBIO VLLS.
8/10/94	5619	LAGUNA	COPELE ROTO	7/8	2000'	CAMBIO COPLE Y 4 VLLS.
14/10/94	2189	REVENT	COPELE ROTO	7/8	1800'	CAMBIO COPLE
19/10/94	7027	LAGUNA	PIN ROTO	7/8	800'	CAMBIO 5 VLLS.
20/10/94	2276	LAGUNA	COPELE ROTO	7/8	1500'	CAMBIO COPLE
21/10/94	6408	CARRIZO	COPELE ROTO	7/8	860'	CAMBIO COPLE
26/10/94	5867	TAIMAN	COPELE ROTO	7/8	1370'	CAMBIO COPLES Y VARILLAS
28/10/94	6264	ZAPOTAL	COPELE ROTO	7/8	1570'	CAMBIO 2 VLLS. Y COPLES
16/11/94	6673	CARRIZO	COPELE ROTO	3/4	290'	CAMBIO 4 V.SOBADAS

## UNIDAD DE SDP : COSMOS 2

FECHA	POZO	AREA	FALLA Y TIPO	DIAMETRO	PROF. ROTURA	OBSERVACIONES
6/9/94	6407	ZAPOTAL	COPELE ROTO	7/8	1023'	CAMBIO COPLE
7/9/94	7914	TAIMAN	DESENROSQUE	3/4	NO HUBO	CAMBIO 18 V.3/4
10/9/94	5616	TAIMAN	COPELE SOBADO	7/8	1690'	CAMBIO 15 V.7/8
13/9/94	7923	LA TUNA	COPELE ROTO	3/4	3500'	CAMBIO COPLE Y 10 V.3/4
14/9/94	7492	MERINA	DESENROSQUE	5/8	NO HUBO	CAMBIO 8 V.5/8
16/9/94	5812	ZAPOTAL	CUERPO VLLA.	7/8	600'	CAMBIO 4V.7/8
17/9/94	1861	LAGUNA	PIN ROTO	7/8	900'	CAMBIO 10V.7/8
19/9/94	A-71	LA TUNA	DESENROSQUE	3/4	NO HUBO	CAMBIO 20 VLLS.
20/9/94	7194	ZAPOTAL	CUERPO VLLA.	3/4	2710'	CAMBIO 3V.3/4
21/9/94	1690	BALLENA	COPELE SOBADO	3/4	NO HUBO	CAMBIO 10V.3/4 Y 10V.7/8
2/10/94	5899	ZAPOTAL	COPELE SOBADO	3/4	1800'	CAMBIO 60V.5/8;120V.3/4 Y 40V.7/8
5/10/94	6447	ZAPOTAL	COPELE SOBADO	3/4	NO HUBO	CAMBIO 43 V.3/4
7/10/94	5751	LAGUNA	CUERPO VLLA.	5/8	NO HUBO	CAMBIO 15V.5/8;5V.3/4 Y 10V.7/8
7/10/94	5879	TAIMAN	COPELE SOBADO	7/8	5050'	CAMBIO COPLES
9/10/94	7084	ZAPOTAL	DESENROSQUE	7/8	NO HUBO	CAMBIO 15 V.7/8
15/10/94	7174	ZAPOTAL	CUERPO VLLA.	7/8	1500'	CAMBIO 12 V.7/8
16/10/94	7501	ZAPOTAL	COPELE SOBADO	5/8	NO HUBO	CAMBIO 40 V.5/8
27/10/94	6231	LAGUNA	CUERPO VLLA.	5/8	6100'	CAMBIO 15V.5/8;25V.3/4 Y 15V.7/8
1/11/94	7006	LAGUNA	CUERPO VLLA	7/8	1250'	CAMBIO 18 V.7/8 Y 23 V.3/4.
3/11/94	7983	TAIMAN	COPELE SOBADO	7/8	2000'	CAMBIO 28 V.5/8
3/11/94	6169	LAGUNA	CUERPO VLLA.	5/8	5500'	CAMBIO 12 V.5/8
4/11/94	2519	BALLENA	CUERPO VLLA.	7/8	1600'	CAMBIO 36V.5/8;34 V.3/4 Y 10 V.7/8
8/11/94	1678	P.NEGRA	CUERPO VLLA.	3/4	3200'	CAMBIO 30 V.3/4
8/11/94	1722	P.NEGRA	COPELE ROTO	3/4	3000'	CAMBIO COPLE
19/11/94	6327	ZAPOTAL	CUERPO VLLA.	3/4	2500'	CAMBIO 4 VLLS.

**UNIDAD DE SDP : COSMOS 4**

FECHA	POZO	AREA	FALLA Y TIPO	DIAMETRO	PROF.ROTURA	OBSERVACIONES
7/9/94	6368	CARRIZO	CUERPO VLLA.	5/8	1010'	CAMBIO 18 V.5/8
10/9/94	7881	CARRIZO	CUERPO VLLA.	5/8	3125'	CAMBIO 40 V.5/8
14/9/94	7876	P.NEGRA	DESENROSQUE	7/8	NO HUBO	CAMBIO 4V.7/8
23/9/94	6712	TAIMAN	COPELE ROTO	7/8	60'	CAMBIO COPLE
25/9/94	7001	ZAPOTAL	CUERPO VLLA.	7/8	1274'	CAMBIO 9 V.7/8
2/10/94	6214	RESTIN	COPELE SOBADO	7/8	322'	CAMBIO 10V.7/8 Y 15 V.3/4
7/10/94	7061	ZAPOTAL	PIN ROTO	7/8	1825'	CAMBIO 18V.7/8
12/10/94	2451	TAIMAN	COPELE SOBADO	5/8	3505'	CAMBIO 25 V.5/8
23/10/94	2078	P.NEGRA	VLLA.SUELTA	5/8	5000'	CAMBIO 10V.5/8 Y 10V.3/4
1/11/94	7043	ZAPOTAL	CUERPO VLLA.	7/8	1843'	CAMBIO 74 V.7/8
7/11/94	2372	LAGUNA	COPELE ROTO	7/8	1897'	CAMBIO 15 V.7/8
10/11/94	6289	P.NEGRA	CUERPO VLLA.	5/8	7195'	CAMBIO 11V.5/8
10/11/94	2189	P.NEGRA	COPELE ROTO	7/8	1950'	CAMBIO COPLE
11/11/94	5630	CALAMAR	CUERPO VLLA.	5/8	5652'	CAMBIO 17V.5/8
14/11/94	6256	P.NEGRA	COPELE SOBADO	3/4	2840'	CAMBIO COPLES
21/11/94	2046	REVENT	COPELE ROTO	7/8	1680'	CAMBIO COPLE Y 12 V.7/8

**UNIDAD DE SDP : COSMOS 6**

FECHA	POZO	AREA	FALLA Y TIPO	DIAMETRO	PROF.ROTURA	OBSERVACIONES
22/10/94	6177	TAIMAN	DESENROSQUE	3/4	NO HUBO	CAMBIO COPLE
25/10/94	7983	TAIMAN	COPELE SOBADO	3/4	2500'	CAMBIO COPLES ,10V.5/8 Y 10V.3/4
29/10/94	PB-286	O.PATRIA	COPELE ROTO	3/4	3150'	CAMBIO COPLE
3/11/94	1763	P.NEGRA	COPELE ROTO	7/8	44'	CAMBIO COPLE
5/11/94	2109	LAGUNA	CUERPO VLLA.	5/8	6120'	CAMBIO 5V.5/8
6/11/94	7152	ZAPOTAL	COPELE SOBADO	7/8	915'	CAMBIO COPLE
12/11/94	1925	TAIMAN	CUERPO VLLA.	5/8	6680'	CAMBIO 6 V.5/8
13/11/94	PB-267	O.PATRIA	COPELE SOBADO	5/8	1600'	CAMBIO 10V.5/8 Y 4V.7/8
16/11/94	1284	CENTRAL	COPELE SOBADO	5/8	1875'	CAMBIO COPLE
17/11/94	6886	LA TUNA	COPELE ROTO	5/8	4500'	CAMBIO 10 V.5/8

**UNIDAD DE SDP : PROPETSA 6 Y 7**

FECHA	POZO	AREA	FALLA Y TIPO	DIAMETRO	PROF.ROTURA	OBSERVACIONES
3/9/94	2399	LAGUNA	PIN MALO	7/8	376'	CAMBIO 20V.7/8
21/9/94	7043	ZAPOTAL	NIPLE VLLA.	7/8	30'	CAMBIO NIPLE Y COPLES
14/10/94	6244	REVENT	CUERPO VLLA.	5/8	6691'	CAMBIO TODA LA SARTA
22/10/94	2326	LAGUNA	COPELE ROTO	3/4	4805'	CAMBIO 25 V.5/8,52 COPLES DE 3/4 Y CENTRAL
16/11/94	7876	REVENT	CUERPO VLLA.	5/8	4166'	CAMBIO VLLA.
17/11/94	5617	LAGUNA	COPELE ROTO	5/8	5252'	CAMBIO 20 COPLES 5/8 Y 69 V.7/8
22/11/94	1973	O.SUR	COPELE ROTO	7/8	671'	CAMBIO 6 COPLES 5/8 ;32 DE 7/8 Y 3V.7/8
28/11/94	7312	MERINA	COPELE SOBADO	7/8	900'	CAMBIO COPLES,40 V.7/8;10 V.3/4 Y 10 V.5/8

**UNIDAD DE SDP : VEGSA-165 Y 365**

FECHA	POZO	AREA	FALLA Y TIPO	DIAMETRO	PROF.ROTURA	OBSERVACIONES
2/9/94	5691	O.SUR	COPELE ROTO	3/4	1849'	CAMBIO 26 COPLES 3/4
3/9/94	2277	LAGUNA	CUERPO VLLA.	5/8	6601'	CAMBIO 15 V.5/8
6/9/94	5775	REVENT	COPELE SOBADO	5/8	6130'	CAMBIO COPILE Y 20 V.5/8
7/10/94	6019	ZAPOTAL	COPELE SOBADO	7/8	557'	CAMBIO 280 V.NUEVAS
22/10/94	6259	ZAPOTAL	COPELE SOBADO	7/8	1786'	CAMBIO COPILE
22/10/94	1729	VERDE	COPELE SOBADO	7/8	267'	CAMBIO COPILE
24/10/94	T-20	TUNAL	COPELE ROTO	7/8	390'	CAMBIO COPLES
7/11/94	2028A	VERDE	CUERPO VLLA.	5/8	6335'	CAMBIO 14V.5/8 Y 30 COPLES
11/11/94	6176	BALLENA	VLLA.SUELTA	5/8	2020'	CAMBIO VLLS.
12/11/94	6246	TAIMAN	COPELE SOBADO	7/8	181'	CAMBIO COPILE E HIZO DESENROSQUE

**UNIDAD DE SDP : CAVELCAS 403-404-405**

FECHA	POZO	AREA	FALLA Y TIPO	DIAMETRO	PROF.ROTURA	OBSERVACIONES
17/9/94	5860	TAIMAN	COPELE SOBADO	7/8	1055'	CAMBIO COPILE ,4V.5/8 Y 3V.7/8
17/9/94	7189	ZAPOTAL	PIN MALO	5/8	7130'	CAMBIO VLLA.
26/9/94	6246	TAIMAN	COPELE ROTO	7/8	1183'	CAMBIO COPILE
14/10/94	5711	TAIMAN	CUERPO VLLA.	7/8	112'	CAMBIO VLLA.
20/11/94	6101	O.SUR	COPELE ROTO	7/8	1356'	CAMBIO COPILE

## BIBLIOGRAFIA

- E. HEARN RESISTENCIA DE MATERIALES
  
- JOHN J. DAY AND J.P. BYRD BEAM PUMPING DESIGN  
AND ANALYSIS
  
- CURSO TECNICO MANUAL DE OPERADORES DE  
(AMOCO ARGENTINA) PRODUCCION Y SERVICIO DE  
POZOS
  
- CURSO TECNICO INTRODUCCION AL DIAGRAMA  
(AMOCO ARGENTINA) DINAMOMETRICO
  
- API RP 11BR RECOMMENDED PRACTICE FOR  
CARE AND HANDLING OF  
SUCKER RODS
  
- API RP 11 L RECOMMENDED PRACTICE FOR  
DESIGN CALCULATIONS FOR  
SUCKER RODS PUMPING  
SYSTEMS
  
- API SPEC 11 B SPECIFICATIONS FOR SUCKER  
RODS

- SLONNEGER J.C.

VIBRATIONS PROBLEMS IN  
OIL WELLS

- W.B. STEWARD

SUCKER RODS FAILURES