

**ESTABLECER UNA METODOLOGÍA PARA LA OPTIMIZACION DEL  
LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL POR BOMBEO MECANICO PARA LA  
COMPAÑÍA PARKO SERVICES S.A.**

**RONAL PERDOMO RUBIANO**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA DE PETROLEOS  
NEIVA  
2009**

**ESTABLECER UNA METODOLOGÍA PARA LA OPTIMIZACION DEL  
LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL POR BOMBEO MECANICO PARA LA  
COMPAÑÍA PARKO SERVICES S.A**

**RONAL PERDOMO RUBIANO**

**Proyecto de grado presentado para optar  
El titulo de Ingeniero de Petróleos**

**Asesora:**

**Haydee Morales  
Ingeniera de Petróleos**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA DE PETROLEOS  
NEIVA  
2009**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

HAYDEE MORALES  
Directora del proyecto

---

Firma del jurado  
LUIS FERNADO BONILLA C.

---

Firma del jurado  
ERVIN ARANDA ARANDA

Neiva, Febrero 06 de 2009

## **AGRADECIMIENTOS**

Los más sinceros agradecimientos a las siguientes personas:

**PARKO SERVICES.** A todo el personal y en especial al Ingeniero Luis Alberto Embus y al Ingeniero Carlos Mauricio Salas Toro, por dedicarme parte de su tiempo en la realización de este trabajo de grado.

### **UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA**

A los Asesores Ingeniera Haydee Morales, al Ingeniero Ervin Aranda Aranda Ingeniero Luis Fernando Bonilla por su valiosa colaboración y asesoría oportuna en el desarrollo de trabajo de grado.

## **DEDICATORIA**

A Dios que con su voluntad nos permitió estar en este momento importante de nuestra vida, iluminándome y brindándome conocimiento y salud para llegar hasta esta meta.

A mis padres que han sido el motor fundamental por el cual estamos en estos momentos.

A mi hijo y a mi esposa quienes me brinda todo su amor y cariño en los momentos más difíciles de mi carrera profesional.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	12
1. GENERALIDADES	14
1.1 Generalidades de la empresa	14
1.2 Generalidades para el uso del software especializado	15
2. METODOLOGIA PARA LA EJECUCION DEL PROYECTO	18
3. METODOLOGIA PARA LA OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE LEVANTAMIENTO POR BOMBEO MECANICO	19
3.1 FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE LAS BOMBAS DE SUBSUELO	22
3.2 MEDICION EN CAMPO DEL NIVEL DE FLUIDO Y DINAGRAMA	23
3.2.1 Registro Acústico del Nivel de Fluido mediante el Well Analyzer	23
3.2.1.1 Procedimiento para la Toma del Nivel de Fluido en Campo	23
3.2.1.2 Manejo del Programa TWM (Total Well. Management).	24

3.2.1.3	Análisis de los Datos Acústicos para Determinar el Nivel de Fluido	26
3.2.1.3.1	Ventana para la determinación del nivel de Fluido	26
3.2.1.3.2	Ventana para la determinación de la profundidad	28
3.2.1.3.3	Ventana de la Presión de Fondo (BHP).	29
3.2.2	Registro de Dinagrama y Prueba de Válvulas mediante el Well Analyzer.	30
3.2.2.1.	Procedimiento para la Toma del Dinagrama y Prueba de Válvulas (Fija y Viajera).	30
3.2.2.2.	Manejo del Programa TWM (Total Well Management)	32
3.2.2.2.1	Pruebas de las Válvulas Fijas y Viajera	33
3.2.2.3	Análisis de la Carta del Dinagrama	36
3.3	ANALISIS Y DIAGNOSTICO DEL SISTEMA CON EL SOFTWARE RODDIAG	38
3.3.1	Explicación de los Resultados generados por el Roddiag	40
3.3.1.1	Cargas Máximas y Mínimas en la Barra Pulida	42
3.3.1.2	Eficiencia Volumétrica de la Bomba	42

3.3.1.3	Carga en la Estructura de la Unidad	42
3.3.1.4	Análisis de los esfuerzos en la sarta de varillas	43
3.3.1.5	Análisis del Torque	43
3.4.	DISEÑO DE SISTEMA DE BOMBEO MECANICO CON EL SOFTWARE RODSTAR	44
3.4.1	Diseño de la Sarta de Varillas y Análisis de Esfuerzos	44
3.4.2	Consideraciones para realizar los Diseños de Bombeo Mecánico	46
3.5.	BALANCEO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECANICO CON EL SOFTWARE C-BALANCE	48
3.5.1	Aplicaciones del C-Balance en el balanceo de la Unidad	48
4.	CONCLUSIONES	50
5.	RECOMENDACIONES	52
	BIBLIOGRAFÍA	53
	ANEXOS	54



## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Análisis de los esfuerzos	43
Tabla 2. Tensión mínima y máximas en el tope de las varillas	45

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Instalación de la Pistola de Gas al anular del Pozo	24
Figura 2. Datos adquiridos en el TWM	25
Figura 3. Ventana del TWM que Determina el Nivel de Fluido	27
Figura 4. Ventana del TWM Deph Determination	28
Figura 5. Datos obtenidos en el TWM	29
Figura 6. Instalación de la Grapa a la Barra Lisa	31
Figura 7. Instalación de la Celda de Carga	31
Figura 8. Datos adquiridos en el Dinagrama	33
Figura 9. Datos adquiridos en la Prueba de Válvulas	34
Figura 10. Prueba de válvula viajera	34
Figura 11. Prueba de válvula fija	35
Figura 12. Datos obtenidos en la sección de Dinagramas	37
Figura 13. Cargas Permisibles en la carta de Dinagrama	39
Figura 14. Reporte generado por Roddiag	41
Figura 15. Reporte generado por C-balance	49

## ANEXOS

		<b>Pág</b>
Anexo A	Funcionamiento, Componentes y Aplicaciones del Equipo Well Analyzer-Echometer	19
Anexo B	Generalidades del Sistema de Bombeo Mecánico	19
Anexo C	Identificación de los problemas en la bomba a partir de las formas del dinagrama	75

## INTRODUCCIÓN

El bombeo mecánico es el más común de los métodos de levantamiento artificial, aproximadamente el 95% de todos los pozos en los Estados Unidos están bajo levantamiento artificial. El bombeo mecánico abarca cerca del 90% de todos los pozos haciendo de este el método primario de levantamiento domestico.

A nivel de Colombia el 95% de los pozos producen por métodos de levantamiento artificial tales como: gas lift, electrosumergible, hidráulico, cavidades progresivas y bombeo mecánico, representando este ultimo cerca del 40% de la producción directa. El campo con mayor cantidad de pozos en bombeo mecánico es la Cira-Infantas con 1200 pozos y casabe con 400 pozos aproximados.

Beam Pumping (otra forma de llamar al bombeo por varillas cuando una unidad con viga viajera es usada) es el más antiguo y ampliamente usado método de levantamiento artificial costa adentro. Es usualmente el más económico y el sistema más fácil de mantener cuando es diseñado y operado apropiadamente.

En los años recientes, la tecnología de la computadora ha revolucionado cada aspecto del bombeo mecánico, ahora se pueden usar computadoras para diseñar, identificar problemas de la Bomba Subsuelo, balancear, y monitorear sistemas de bombeo mecánico.

Los desarrollos más recientes en tecnología de computadora para bombeo mecánico incluyen simuladores muy precisos del sistema de bombeo y programas de computadoras "Inteligentes"; Estos paquetes de herramientas son el estado del arte de la tecnología en una forma fácil de usar, si bien esta tecnología es nueva, esta avanzando rápidamente.

La necesidad de extraer de los pozos el petróleo o los fluidos de la forma más rentable posible, podría resultar en un incremento en el uso de computadoras en los años por venir, todavía la habilidad de los poderosos programas de computadoras no ha podido eliminar la necesidad de entender las bases del bombeo mecánico

Para reducir los costos de operación, incrementar la producción de petróleo y aumentar las ganancias netas se requiere un análisis integrado del sistema de bombeo incluyendo el comportamiento y la interacción de todos sus elementos: dispositivo motriz, equipo de superficie, bomba de subsuelo, ancla de gas y yacimiento.

| Este análisis puede hacerse basado en datos obtenidos desde la superficie (Toma de registros de nivel de fluido y dinagrama) sin necesidad de introducir

ninguna herramienta en el fondo del pozo y debe producir una representación exacta de las condiciones del sistema, con el propósito de diagnosticar el comportamiento del sistema de bombeo mecánico, detección de fallas en los equipos de subsuelo/superficie y aplicar los correctivos que permitan incrementar la rentabilidad de la operación.

Para optimizar el comportamiento del sistema de levantamiento artificial por bombeo mecánico es importante analizar el índice de productividad del pozo, estado mecánico, identificar y entender los problemas que reducen la rentabilidad. Las dos principales fuentes de reducción de rentabilidad son baja eficiencia del sistema de bombeo (Bomba de subsuelo desgastada, golpe de fluido, interferencia por gas, varilla partida, etc.) y fallas en la unidad o mal diseño.

La compañía PARKO SERVICES S.A. considera que esta metodología de optimización es una herramienta de entrenamiento para el personal, y esta diseñada para ayudar a entender los principios básicos del bombeo mecánico y para familiarizar con la tecnología moderna de diagnóstico.

Una buena comprensión de los fundamentos del bombeo mecánico y el uso inteligente de las actuales tecnologías avanzadas de computadoras para bombeo mecánico (TWM, Roddiag, C-balance, Rodstar) pueden cambiar el punto de vista en problemas de campo.

La tecnología de la computadora ha revolucionado cada aspecto del bombeo mecánico. Ahora se pueden usar software para diseñar, identificar, balancear, y monitorear sistemas de bombeo.

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1 Generalidades de la empresa**

**PARKO SERVICES S.A.**, se encuentra incorporada a Colombia desde febrero de 1978, por iniciativa de CHARLES DALE PARKS, y a partir de allí como compañía de servicios para el sector de Hidrocarburos, ha venido suministrando equipos y maquinaria, y prestando servicios técnicos a la empresas de exploración, perforación y producción de hidrocarburos en el país.

Desde su vinculación a Colombia, ha sido representante exclusiva para el territorio Colombiano, de prestigiosas empresas extranjeras fabricantes de equipos y herramientas, con personal técnico debidamente entrenado que puede dar el soporte técnico a las compañías del sector.

A nivel nacional sus instalaciones están ubicadas en Neiva-dina, Bogotá, Barrancabermeja y Yopal, donde prestar los servicios y suministros orientando los esfuerzos a atender las expectativas de los clientes, manteniendo la armonía con los empleados, proveedores, los inversionistas, la comunidad y el medio ambiente, haciendo énfasis permanente en la innovación, el mejoramiento operacional y la máxima calidad en todo lo que realicemos.

Actualmente la empresa ofrece los siguientes servicios:

#### **PERFORACION**

- ✓ Soldadura de cabezales
- ✓ Reparación, mantenimiento, ensamble y prueba de cabezales de pozo.
- ✓ Corazonamiento
- ✓ Alquiler de herramienta para la corrida de casing con empaque inflable (tam ccp).
- ✓ Corrida de liner hanger

#### **PRODUCCION**

- ✓ Servicio integral de bombeo mecánico
- ✓ Taller de reparación de bombas de subsuelo
- ✓ Calibración de válvulas de gas lift
- ✓ Corrida de empaques de producción

## SEVICIOS PROPIOS

- ✓ Alquiler de camiones de vació
- ✓ Alquiler de frac tanks
- ✓ Limpieza de tanques
- ✓ Servicio de toma y análisis de Nivel de Fluido y Dinagrama
- ✓ Preparación y reacondicionamiento de fluidos de completamiento y workover.

### 1.2 Generalidades para el uso de software especializado

En el desarrollo de esta metodología de optimización se utiliza cuatro software (Total Well Management, Roddiag, C-balance, Rodstar), donde cada uno genera información del funcionamiento de los diferentes componentes del bombeo mecánico; Luego estos resultados se integran para realizar un análisis completo del sistema por bombeo mecánico.

El **Total Well Management** (TWM) es utilizado en conjunto con el equipo well analyzer (ver anexo A) para tomar en campo los registros de nivel de fluido y dinagrama; la cual, permite indagar en los siguientes interrogantes:

#### A partir del registro de nivel de fluido

- ¿Hay líquido por encima de la bomba? ¿A que profundidad esta el tope de la columna de líquido?
- ¿Esta el nivel de liquido aumentando o disminuyendo?
- ¿Hay gas fluyendo por el anular y a que rata?
- ¿Cual es el porcentaje de líquido en la columna de fluido en el anular?
- ¿Cual es la presión en cabeza del casing (CHP)?.Esta variando con el tiempo.

#### A partir de la carta de dinagrama

- ¿Esta el pozo bombeando con la bomba vacía (pump off)?
- ¿Qué tipo de problema presenta la bomba?
- ¿Cual es el porcentaje de llenado de la bomba?
- ¿Están las válvulas fija y/o viajera con fuga?
- ¿Cual es el desplazamiento de la bomba en barriles por día?
- ¿Cual es la velocidad de bombeo?

- ¿Están las cargas máximas y mínimas de la barra lisa dentro de la capacidad de la unidad de bombeo y de las varillas?
- ¿Cual es el desplazamiento efectivo del pistón?
- ¿Esta la unidad balanceada?
- ¿Requiere todo el sistema de bombeo un análisis detallado o rediseño?

Mediante el **Roddiag** se exporta la carta de dinagrama calculada con el TWM para determinar la longitud del stroke neto, la carga de las varillas en cada una de la secciones, mínimo esfuerzo en el fondo y tope de cada sección, con lo cual se determina si la sarta de varillas se encuentra trabajando en compresión o tensión, funcionamiento de la bomba de subsuelo, carga en la caja reductora, máximo momento de contrabalanceo, carga en la estructura de la unidad, eficiencia volumétrica, etc.

El Roddiag es útil como una herramienta de diagnostico para detectar prácticamente todos los problemas de superficie y subsuelo del sistema. Estos incluyen:

- Tamaño incorrecto del motor (HP)
- Carga en la caja reductora
- Carga en la estructura de la unidad y las varillas
- Daño en la válvula fija o viajera de la bomba
- Llenado incompleto de la bomba.
- Baja eficiencia de la bomba
- Bomba golpeando arriba o abajo
- Desbalance de las diferentes unidades de bombeo

El **C-balance** es utilizado para hallar el adecuado balanceo de las diferentes unidades de bombeo balanceadas por pesas (Convencionales, Mark II, Reverse Mark, etc.). Para realizar el balanceo de la unidad se requiere conocer la posición sobre el crank, tipo y números de pesas que deberían tener la unidad de bombeo. El C-balance determina este valor para cada condición de bombeo, ya que, para sus cálculos requiere el tipo de crank, pesas y el momento de contrabalanceo adecuado.

Este software va de la mano con el Roddiag y el Rodstar, dado que nos ayuda a determinar el adecuado balanceo cuando se esta diseñando y diagnosticando el funcionamiento del equipo de superficie.



El alcance del **Rodstar** y la facilidad de uso permiten diseñar el funcionamiento del sistema de bombeo mecánico más económico porque calcula el consumo de energía.

Igualmente nos ayuda a determinar cuales serán las cargas en cada una de las secciones de la sarta de varillas diseñada (para verificar tensión o compresión de la misma), velocidad de bombeo (spm) de acuerdo a la producción esperada y recorrido seleccionado. También nos ayuda a seleccionar el diámetro de la bomba ideal de acuerdo al fluido total esperado, y así verificar las cargas con las cuales va a operar la unidad de bombeo (caja reductora y estructura)

A continuación una lista parcial de las preguntas que **RODSTAR** puede responder cuando diseña un sistema de bombeo mecánico:

- ¿Que velocidad de bombeo se necesita para obtener la producción deseada?
- ¿Qué tipo de unidad de bombeo debe usarse?
- ¿Qué tamaño de unidad de bombeo se necesita ahora y cual en el futuro?
- ¿Cuál es el efecto del tipo y tamaño de unidad de bombeo en el consumo de energía?
- ¿Qué tipo de sarta de varillas se necesitan y de que grado?
- ¿Cuales serian las cargas en la caja reductora si la unidad no estuviese balanceada?
- ¿Cuántas barras de peso se necesitan para asegurar que la sarta de varillas de fibra de vidrio no esta en compresión?

## **2. METODOLOGIA PARA LA EJECUCION DEL PROYECTO**

La metodología llevada a cabo en este proyecto es de tipo descriptivo, debido a que el procedimiento se fundamenta básicamente en recopilar y revisar las condiciones del pozo: Condiciones de operación, características de los fluidos, características de diseño, características y metalurgia de la bomba de subsuelo, tipos de problemas en las bombas subsuelo, pruebas de producción del pozo.

Como primera medida se recibe capacitación en HSE, políticas de la empresa, procedimientos e instructivos sobre los temas que abarca el servicio integral de bombeo mecánico que es necesario para poder realizar la toma de registro de nivel de fluido y dinagrama en campo.

Antes de utilizar el software Total Well Management (TWM) para la toma de registro de nivel de fluido y dinagrama, Roddiag, C-balance y RodStar para cualquier pozo se deben completar todos los datos que pide el programa lo más exacto que sea posible, esto con el fin de que el informe que nos presenta el software sea confiable y preciso.

Los resultados obtenidos se analizan y se generan recomendaciones para seleccionar el equipo de superficie y subsuelo adecuado para las condiciones del pozo. Por lo tanto se hace necesario indagar acerca de dichos software, esta captación es suministrada por el ingeniero de operaciones.

Establecida y aprobada la metodología que se empleara para optimizar los sistemas por bombeo mecánico se realizara una inducción y capacitación a todo el personal que estará involucrado en la prestación de este servicio.

### 3. METODOLOGIA PARA LA OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE LEVANTAMIENTO POR BOMBEO MECANICO

La metodología aplicada para optimizar el sistema de bombeo mecánico para un campo petrolero se basa en revisar las condiciones de operación del pozo, índice de productividad, estado mecánico del pozo, características de los fluidos, características de diseño, características de la bomba de subsuelo; lo cual dará como producto un adecuado diseño del equipo superficie/fondo del sistema.

La necesidad del ingeniero de producción para encontrar, corregir, prevenir y minimizar los problemas que se presentan en el equipo de superficie (Unidad) y de fondo (Bomba de Subsuelo, Sarta de varillas, etc.) pueden ser evaluados utilizando los siguientes pasos:

1. Identificar los factores que afectan la eficiencia de las bombas de subsuelo.
2. Toma de registros confiables de nivel de fluido y dinagrama en campo.
3. Análisis de los resultados obtenidos del TWM
4. Diagnosticar los problemas de superficie y subsuelo con el Roddiag
5. Realizar simulación del comportamiento del pozo en bombeo mecánico.
6. Balancear la unidad de bombeo con el C-balance

Descripción:

**Paso 1:** Identificar los factores que afectan la eficiencia de las bombas de subsuelo (condiciones de operación del pozo, condiciones mecánicas, índice de productividad, características de los fluidos, características de diseño, metalurgia y estado de uso de las bombas).

**Paso 2:** Toma de registros confiables de nivel de fluido y dinagrama en campo utilizando el equipo WELL ANALIZER para analizar el sistema completo del Bombeo Mecánico (ver Anexo A y B).

- Instalar el equipo WELL ANALIZER correctamente

- Identificar errores en la entrada de datos tales como: Tipo de unidad, tamaño de la bomba, velocidad de bombeo, nivel de fluido, longitud de la carrera, etc.
- Identificar errores en la medición de cargas. (Lecturas de la celda de carga muy altas o muy bajas).

**Paso 3:** Analizar los resultados obtenidos del TWM y formular los problemas presentes.

- Para la interpretación de la información obtenida se deben tener en cuenta los siguientes datos: Potencial del pozo, Propiedades de los fluidos, Histórico de trabajos de subsuelo y de registros anteriores (Dinagramas y nivel de fluido) y el nivel de confiabilidad de los datos generados.
- Determinación del nivel Dinámico-Estático del fluido.
- Determinar correctamente la sumergencia de la bomba y el nivel ajustado de líquido.
- Interpretar las formas de las cartas dinagráficas de superficie e identificar los tipos de problemas que se presentan en la bomba (Golpe de fluido, varilla partida, fugas en la válvula fija o viajera, etc.).
- Determinar correctamente el desplazamiento de la bomba.

**Paso 4:** Adecuación de la data del TWM (.DYN) al software RODDIAG para diagnosticar los problemas de superficie y subsuelo del sistema basado en la solución matemática de la ecuación de onda. Este método permite modelar el comportamiento de la sarta de varillas y calcular las cargas en cualquier punto de la sarta de varillas.

- Completar todos los datos que pide el programa, lo más exacto que sea posible. Esto con el fin de que el informe que presenta el programa sea confiable.
- Detectar y corregir los errores en la data de entrada, tales como lecturas muy bajas o altas de la celda de carga o un nivel de fluido incorrecto.
- Calcular la carta dinamométrica de fondo a partir de la carta de superficie tomada en la barra pulida.

- De las cartas dinagráficas de fondo calcular cargas pico y mínima en las varillas, la carrera neta, el fluido producido debido a la carrera neta y el porcentaje de llenado de la bomba.

**Paso 5:** Realizar la simulación en el RODSTAR para encontrar la mejor geometría de la unidad de bombeo y modelar los efectos de la inercia causada por el fluido usando la ecuación de onda y la cinemática (características de movimiento) de manera muy precisa, de la misma forma permite comparar el comportamiento de diferentes unidades de bombeo para aplicaciones especificadas.

Al realizar el cotejo entre las cartas dinagráficas medidas (Roddiag) y la simulada por el Rodstar nos permite:

- Identificar errores en la entrada de datos tales como: tamaño incorrecto de la bomba, velocidad de bombeo, nivel de fluido, longitud de la carrera, etc.
- Predecir correctamente la forma de las cartas dinagráficas de superficie y de fondo para bomba llena. Si la forma de la carta dinagráfica predictiva coincide con la carta tomada se sabrá que la bomba está en buenas condiciones mecánicas.
- Calcular correctamente la tensión mínima de fondo para cada sección de varillas en la sarta, strokes por minuto (SPM), diámetro del pistón según la producción esperada, a la vez calcular automáticamente el mejor diseño de sarta de varillas.
- Predecir correctamente la producción teórica, cargas, esfuerzos, torque y consumo de energía para diferentes geometrías de unidades de bombeo.
- Incrementar la confianza en la exactitud de las simulaciones realizadas para solucionar problemas del sistema (con bomba llena y nivel en la bomba).

**Paso 6:** Usar el software C-balance para verificar o balancear la unidad de bombeo balanceadas por pesas (Convencional, mark II, etc.) con las nuevas condiciones de operación.

El C-BALANCE es una herramienta muy útil cuando se usa junto a RODSTAR y RODDIAG debido a que permite:

- Identificar errores en la entrada de datos tales como: descripción incorrecta de la unidad, tipo de crank y pesas disponibles para realizar el cálculo.

- Minimizar el tiempo y los gastos requeridos para balancear la unidad de bombeo.
- Eliminar la necesidad de medir en el campo el efecto de contrabalanceo.
- Calcular correctamente la nueva posición requerida de las contrapesas para balancear la unidad en un solo paso.

### 3.1 FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE LAS BOMBAS DE SUBSUELO

Los factores que afectan la eficiencia de las bombas están agrupados en cuatro categorías:

- **Condiciones del pozo.** Profundidad, diámetro de tubería y casing, Presiones (THP, CHP y PWF), índice de productividad y nivel de fluido.

Antes de seleccionar el equipo de levantamiento artificial (subsuelo y superficie) de un pozo se debe realizar una IPR para conocer la verdadera capacidad de aporte de fluidos del pozo.

La IPR es una gráfica de rata de producción vs presión de formación. Existen varios métodos para hallar la IPR, pero los más conocidos y usados son los métodos de PRODUCTIVITY INDEX y VOGEL.

- **Condiciones mecánicas del pozo.** Profundidad, diámetro de tubería y casing, profundidad de asentamiento de la bomba, longitud de la carrera, velocidad de bombeo (SPM), sumergencia de la bomba y desviación del pozo, daños o alteraciones del casing, accesorios en fondo (empaques, anclas, sensores, etc.).
- **Características de los fluidos.** Viscosidad, temperatura, cantidad de gas en solución, gravedad del fluido, BSW, GOR, parafinas y asfáltenos, posible corrosividad (CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S).
- **Características de diseño y estado de las bombas.**

## **3.2 MEDICION EN CAMPO DEL NIVEL DE FLUIDO Y DINAGRAMA**

**3.2.1. Registro Acústico del Nivel de Fluido mediante el Well Analyzer.** El principio general de este registro consiste en generar una onda de energía sónica en la superficie y registrar el tiempo que toma la emisión de esta onda en su regreso a la superficie. La energía que se genera proviene de la descarga del gas (Dióxido de Carbono) que se carga en la cámara de la pistola a una presión mayor que la presión del anular del pozo.

**3.2.1.1. Procedimiento para la Toma del Nivel de Fluido en Campo.** Antes de realizar la toma de niveles de fluido se debe tener en cuenta:

- Realizar la prueba de operación del equipo electrónico y de los cables en el taller, lo cual se hace usando la sección del TWM (Equipment Check). El propósito de esta función es determinar rápidamente en donde está la falla del equipo, y en particular revisar que las baterías estén cargadas apropiadamente, que los circuitos del transductor y cables no estén en corto o no estén haciendo contacto, que los amplificadores del Well Analyzer estén operando dentro de las especificaciones.
- Actualizar la base de datos de los pozos a los cuales se le hayan efectuado cambios en el último servicio o cambios en las condiciones de operación desde la última vez que se le tomó registro.

Una vez llegado al pozo los pasos a seguir son:

- Al bajar del vehículo utilice los elementos de protección personal adecuados.
- Evaluar los riesgos que se presenten durante la realización del trabajo tales como: Válvulas del anular en mal estado, contrapozo sin rejillas o rejillas de este en mal estado o mal aseguradas, altas presiones en la operación, fugas en conexiones, cables eléctricos desencauchetados, etc.
- Se carga la pistola con CO<sub>2</sub> o N<sub>2</sub> mediante la manguera del cilindro. Como norma se debe usar una presión en la pistola de 200 libras por encima de la presión que tenga el anular.
- Conectar y ajustar con llave de tubo la pistola en la conexión de 2" del anular, previamente revise que la válvula del anular se encuentre libre de parafinas y líquidos; Para prevenir escape de gas utilice teflón en la rosca de la pistola.

- Se conecta el cable principal (cable de dos conectores), el conector de tres pines va al solenoide y el conector de seis pines va al transductor de presión. Luego conectar el cable del micrófono (cable delgado y de un solo conector).
- Abrir la válvula del anular donde se conecta la pistola y cerrar la válvula de corte del anular o de venteo para evitar que el disparo se vaya por esta línea, previamente revisar que el anular no este presurizado y si está, se debe aliviar presión para registrar correctamente la presión de operación del anular.
- Se enciende el equipo Well Analyzer y el computador portátil, se entra al programa **TWM** (Total Well. Management).

**Figura 1. Instalación de la Pistola de Gas al anular del Pozo**



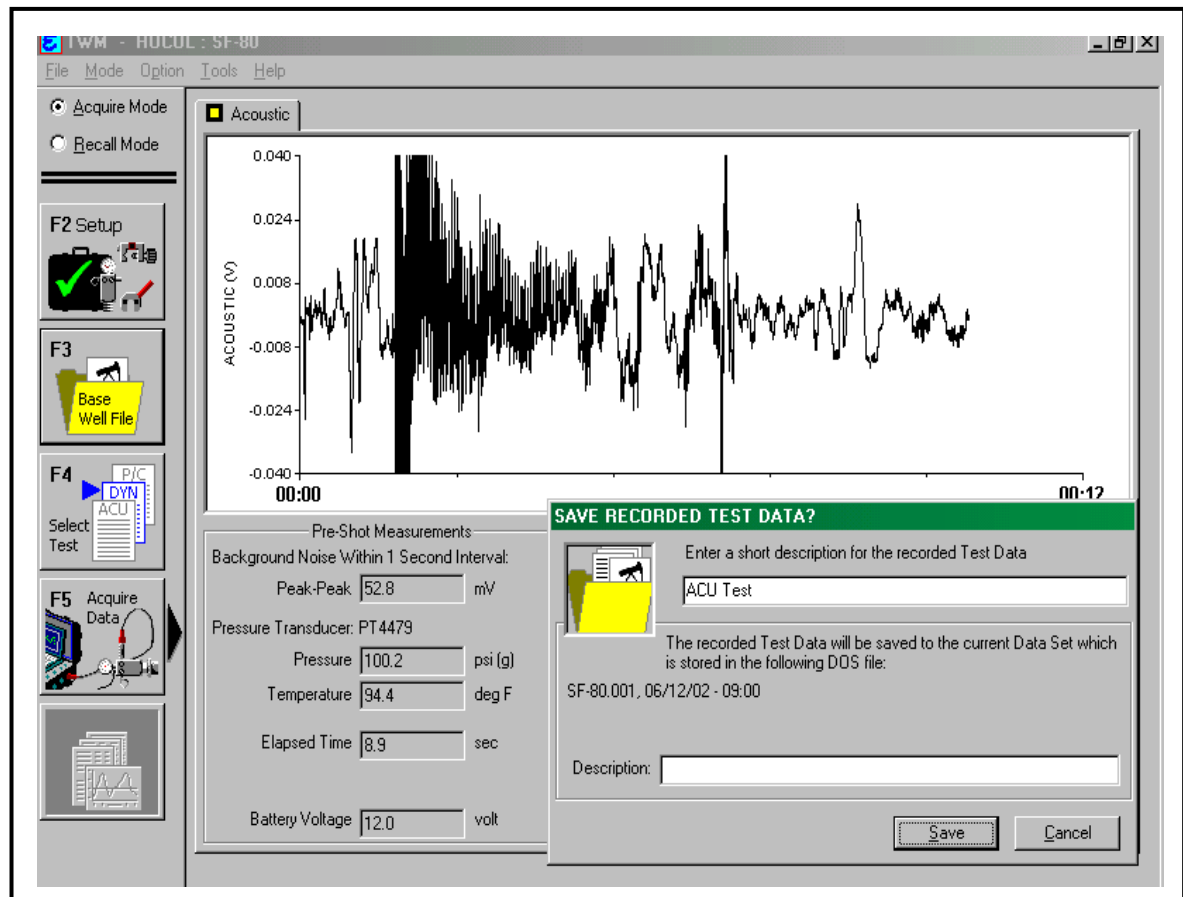
**3.2.1.2 Manejo del Programa TWM (Total Well Management).** Para adquirir los datos del Nivel de Fluido.

- En el mismo Acquire Mode se selecciona Base Well File (tecla F3) para seleccionar el pozo al que se le va a realizar el registro de Nivel de fluido.



- Una vez seleccionado el pozo, en su base de datos se anexarán las modificaciones encontradas como estado de mallas, presión del tubing, frecuencia del variador, amperaje, voltios y presión de PHD (registrador de presión de fondo).
- En el modo Acquire o tecla F4 se selecciona el tipo de registro a realizar, en este caso nivel de fluido (Acoustic level).
- En el modo (Acquire Mode) F5, se comienza a adquirir la presión y la temperatura que se haya encontrado en el anular, así como el nivel de ruido del mismo.
- En el caso de que el ruido sea muy alto, se debe utilizar una mayor carga de CO<sub>2</sub> en la pistola.
- Una vez que el programa registra la presión del anular verifique que no existan escapes y se procede a disparar utilizando Alt – 5 (Fire shot).

**Figura 2. Datos adquiridos en el TWM**



- Para su análisis y cálculo de variables se va a la tecla F6, utilizando allí el mejor método para su interpretación e identificar posibles errores de adquisición para corregir con un nuevo registro.

Mientras se esta calculando el nivel de fluido, el software simultáneamente registra el incremento de presión que hay en el anular, debido a que se encuentran cerradas sus válvulas. Este incremento se realiza durante un periodo de cinco minutos y calcula la producción de gas del pozo por el anular del mismo.

- Una vez detectado el nivel de fluido, se procede a salvar este registro, ha retirar el equipo y se revisa que el pozo quede con las condiciones normales de operación.

### **3.2.1.3 Análisis de los Datos Acústicos para Determinar el Nivel de Fluido.**

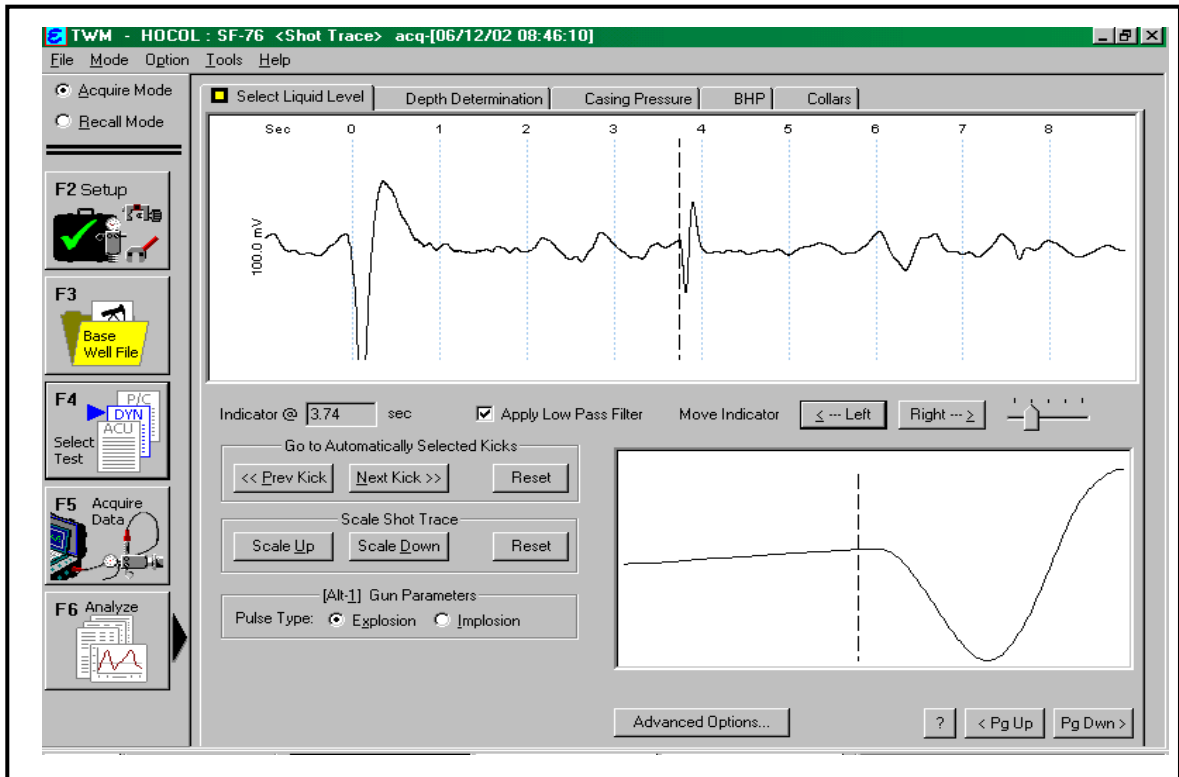
Este análisis se debe realizar en campo, ya que si los datos adquiridos no son confiables se debe repetir el registro. La calidad de los datos acústicos grabados se determina por las condiciones del pozo y la energía contenida en el pulso acústico. La razón señal/ruido se debe maximizar para obtener datos acústicos adecuados y confiables es necesario usar una presión más alta en la cámara de la pistola para obtener un pulso acústico más grande y una mejor razón señal/ruido.

Cuando el ruido del pozo se muestra antes de que el pulso acústico se dispare, el operador debe estar pendiente si este ruido excede 5 mv, si esto sucede, el operador debe usar una presión de recarga más alta que la presión del anular del pozo.

**3.2.1.3.1 Ventana par la determinación del Nivel de Fluido.** Después de que los datos se adquieren y se graban, se presenta una pantalla de los datos y del nivel de líquido que seleccionó automáticamente el computador.

Para visualizar los datos acústicos se oprime la tecla F6, inmediatamente el TWM presenta las opciones para seleccionar el nivel de liquido, determinar la profundidad del liquido, calcular a través de una prueba de restauración de presión en el revestimiento la tasa de gas circulando en el anular, etc.

**Figura 3. Ventana del TWM que Determina el Nivel de Fluido**



En la Figura 3 una línea punteada marca la señal del nivel de líquido, más probable y su correspondiente tiempo que gasta la onda para encontrar el nivel de fluido (indicador). En la parte inferior derecha se ilustra una amplificación de la señal en la vecindad del nivel de líquido.

La selección automática del nivel de líquido que realiza el software ocasionalmente no es la correcta ya que por las condiciones inusuales en el pozo tales como la presencia de un ancla en la tubería de producción, tubería corta de producción, restricciones, indican una señal que no corresponde al nivel del fluido.

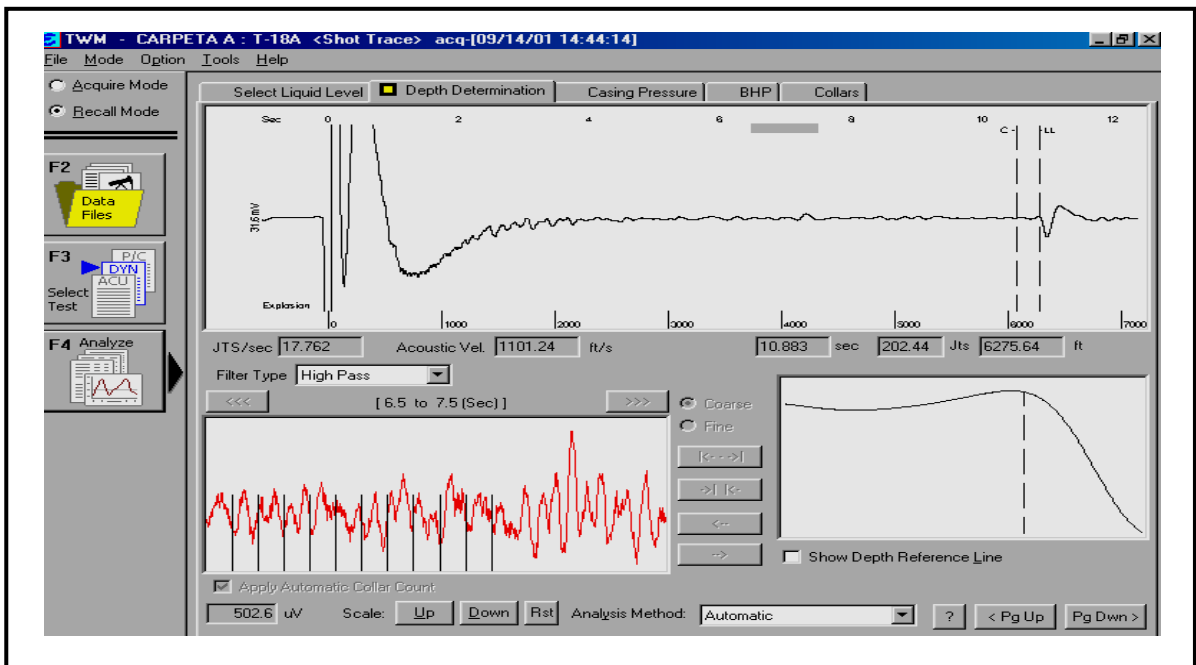
El operador puede utilizar los siguientes métodos para seleccionar o ajustar el nivel de líquido:

- Usar los controles señal anterior/siguiente (Prev/Next kick) para ajustar el indicador entre otros puntos automáticamente señalados que podrían indicar el nivel de líquido
- Usar los botones left/Right para mover el indicador del nivel del líquido hacia delante y hacia atrás en incrementos de 0.1 a 0.001 Sg, controlado por el deslizador localizado a la derecha de los botones.

Cuando la selección del nivel de líquido sea la correcta, la sección de determinación de Profundidad (Depth Determination) se selecciona para seguir con el procesamiento de datos.

**3.2.1.3.2 Ventana para la Determinación de la Profundidad.** La selección del nivel de líquido se muestra en detalle en la parte inferior derecha de la Figura 4. El segmento de línea gris, horizontal y gruesa en la escala de tiempo que aparece en las primeras trazas marca la parte de la señal que se analiza para calcular la frecuencia de los ecos provenientes de las uniones. Esta parte de la señal se muestra en el formato del filtro (Filter Type) ubicada en la parte inferior de la pantalla.

**Figura 4. Ventana del TWM Depth Determination**



El operador tiene la opción de procesar cualquier intervalo de datos originales que se muestran en la traza superior para determinar la profundidad del nivel del líquido; Usando los controles Filter type, Analysis Method, se puede inspeccionar la señal acústica en gran detalle, para obtener los mejores datos de uniones posibles y asegurar una buena precisión en el nivel del fluido y cálculo de presión de fondo de pozo. En lo posible el conteo de uniones debe cubrir un 80-90% del total de las juntas del pozo. Un bajo porcentaje de uniones contadas indica que el nivel de señal es muy bajo y cercano a la señal de ruido o que una frecuencia incorrecta de uniones se usó para filtrar la señal.

El operador debe repetir el disparo con una presión más alta en cámara de la pistola para mejorar la razón señal/ruido.

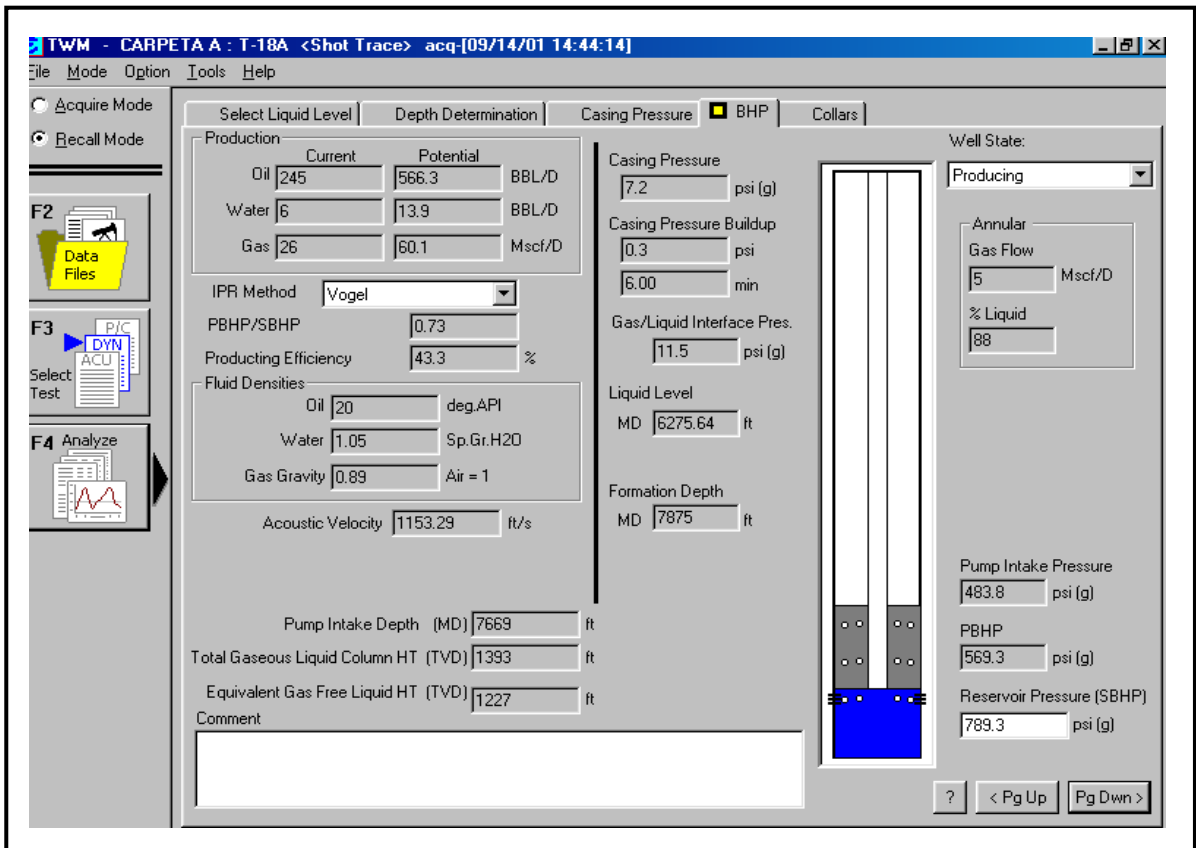
**3.2.1.3.3 Ventana de Presión de Fondo (BHP).** Esta sección calcula la presión de fondo del pozo basándose en los datos acústicos medidos y presión del revestimiento, además, de los datos del pozo y fluido en el archivo del pozo.

El objetivo de esta sección es proveer un análisis completo de las condiciones del pozo, y a su vez se divide en dos secciones:

- A la derecha de la Fig.5 hay un diagrama del pozo indicando si el pozo está produciendo o nó, si el pozo es vertical o desviado, resultados del flujo de gas y presiones (PIP, Pwf, Pws).
- A la izquierda hay varios datos acerca del desempeño del pozo, datos del fluido, profundidad y sumergencia de la bomba, profundidad del nivel de fluido, profundidad de los perforados, y presión en el revestimiento (csg).

Una vez la presión dinámica de fondo del pozo se calcula, el valor se compara con la presión estática de fondo del pozo y la relación de Vogel la más recomendada, se usa para determinar la eficiencia del desempeño de afluencia y las máximas tasas de flujo.

**Figura 5. Datos obtenidos en el TWM**



### **3.2.2. Registro de Dinagrama y Prueba de Válvulas mediante el Well Analyzer.**

Los métodos para analizar el desempeño del sistema de bombeo mecánico se basan en el desarrollo del dinamómetro realizado por Gilbert y Fagg en donde la carga en la barra lisa se registra gráficamente en función de su posición para generar una grafica que representa el trabajo hecho en superficie por la unidad de bombeo mecánico para cada carrera de la bomba.

#### **3.2.2.1. Procedimiento para la Toma del Dinagrama**

Antes de realizar la toma de dinagramas se deben tener en cuenta:

- En el taller se realiza la prueba de operación del equipo electrónico, calibración de la celda de carga y de los cables se hace usando el mode acquire y la sección del TWM (Equipment Check).

El propósito de esta función es determinar rápidamente en donde esta la falla del equipo y en particular revisar que las baterías estén cargadas apropiadamente, que los circuitos de la celda y cables no estén en corto o no estén haciendo contacto y que los amplificadores del Well Analyzer estén operando dentro de las especificaciones.

- Actualizar la base de datos de los pozos a los cuales se les hayan efectuado cambios durante el servicio o cambio en las condiciones de operación (cambio de recorrido, unidad, SPM, etc.) desde el ultimo registro tomado.

Una vez llegado al pozo los pasos a seguir para instalar la celda de carga son:

- Al bajar del vehículo utilice los elementos de protección personal adecuados.
- Evaluar los riesgos que se presenten durante la realización del trabajo tales como: Válvulas del anular en mal estado, contrapozo sin rejillas o rejillas de este en mal estado o mal aseguradas, altas presiones en la operación, fugas en conexiones, cables eléctricos desenchuchados, freno de la unidad o embrague del motor a gas en mal estado y ruidos extraños en las unidades de bombeo.
- Detenga la unidad de bombeo a  $\frac{3}{4}$  de la carrera descendente, coloque el freno a la unidad y asegúrese que quede retenida; Instale y asegure la grapa de  $1\frac{1}{2}$  o  $1\frac{1}{4}$  pulgada en la barra lisa por encima del protector de Stuffing box.

**Figura 6. Instalación de la grapa a la barra lisa**



- Accione la unidad para que todo el peso de la sarta descargue en la grapa que se colocó y crea un espaciamiento entre la grapa fija que soporta la sarta de bombeo y el carrier bar.

Tan pronto se obtenga suficiente espacio para insertar la celda de carga, detenga la unidad accionando el freno, y coloque la celda de carga asegurándola con el pin.

**Figura 7. Instalación de la celda de carga**



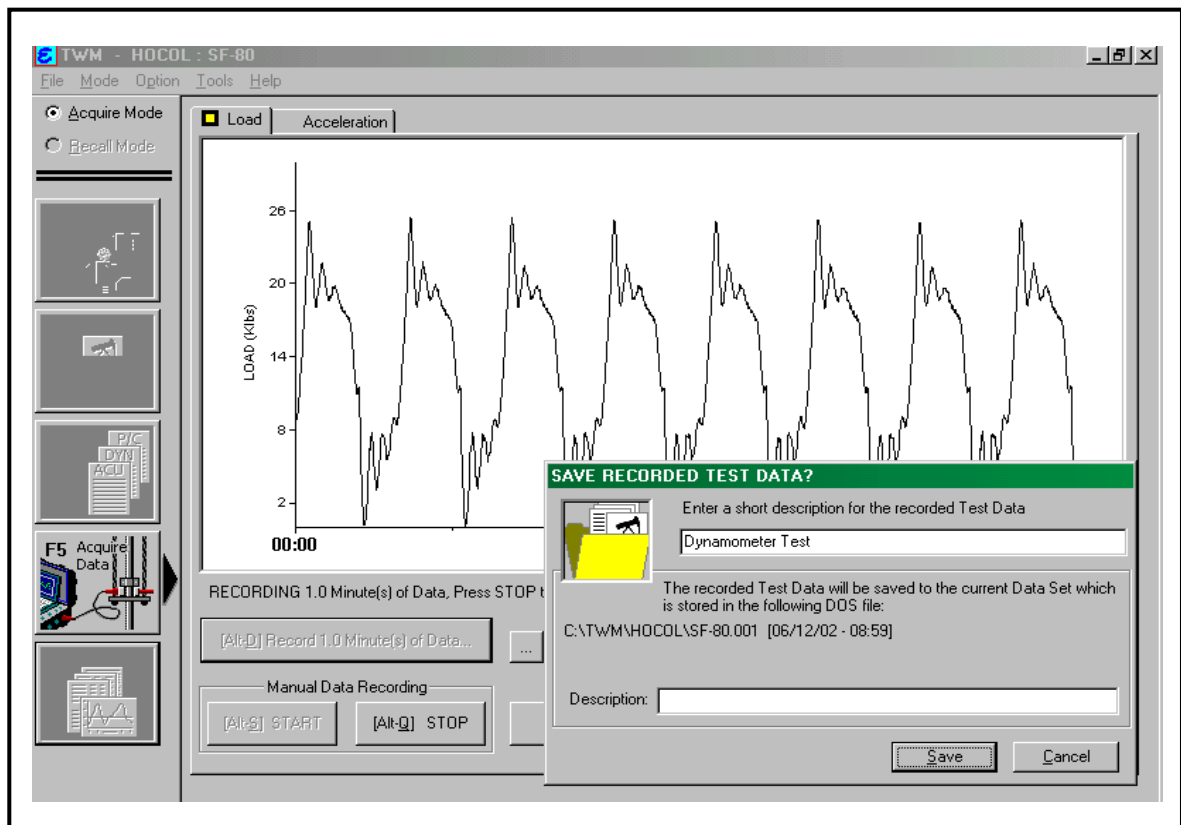
- Achique lentamente la distancia entre el carrier bar y la celda de carga usando el freno.
- Retirar o aflojar la grapa encima del protector del stuffing box y poner en marcha la unidad de bombeo.
- Se conecta el cable de la celda de carga a la interface.

**3.2.2.2. Manejo del Programa TWM (Total Well Management).** Para adquirir el registro del Dinagrama y la Prueba de Válvulas.

- En el mismo Acquire Mode se selecciona Base Well File (F3) para seleccionar el pozo al que se le va a realizar el registro de dinagrama y válvulas.
- Una vez seleccionado el pozo, en su base de datos se anexarán las modificaciones encontradas desde el último registro tomado tales como: tipo de unidad de bombeo, longitud del stroke, tipo de motor, posición y tipo de pesas, estado de la barra pulida, presión de tubing, si el cabezal de la unidad esta desbalanceado, si la base de la unidad presenta vibración o esta suelta, presión máxima y mínima en el cilindro para las unidades balanceadas por aire.
- En el modo (Acquire Mode) tecla F4, se selecciona el tipo de registro a realizar (Dinagrama, prueba de válvulas viajera o fija, efecto de contrabalanceo).
- En el modo (Acquire Mode) tecla F5, se comienza a adquirir las cargas en la carrera descendente y ascendente. Se recomienda dejar cierto tiempo de funcionamiento antes de grabar el dinagrama, para que el programa ajuste las cargas en su escala y obtenga una buena estabilización en el ciclo de bombeo.
- Una vez que el programa registre las cargas durante todo el ciclo (un minuto), se procede a salvar esta información y así analizar las cargas máximas y mínimas por los diferentes strokes.



**Figura 8. Datos adquiridos en el Dinagrama**



**3.2.2.2.1 Pruebas de las Válvulas Fijas y Viajera.** La mayoría de los dinamómetros registran las cargas en las varillas como una función del tiempo durante el chequeo de válvulas.

Si las cargas permanecen constantes por cerca de 10 segundos entonces tanto la válvula viajera como el pistón están en buenas condiciones.

Una caída de cargas constante o repentina sugiere un daño en la válvula viajera o el pistón.

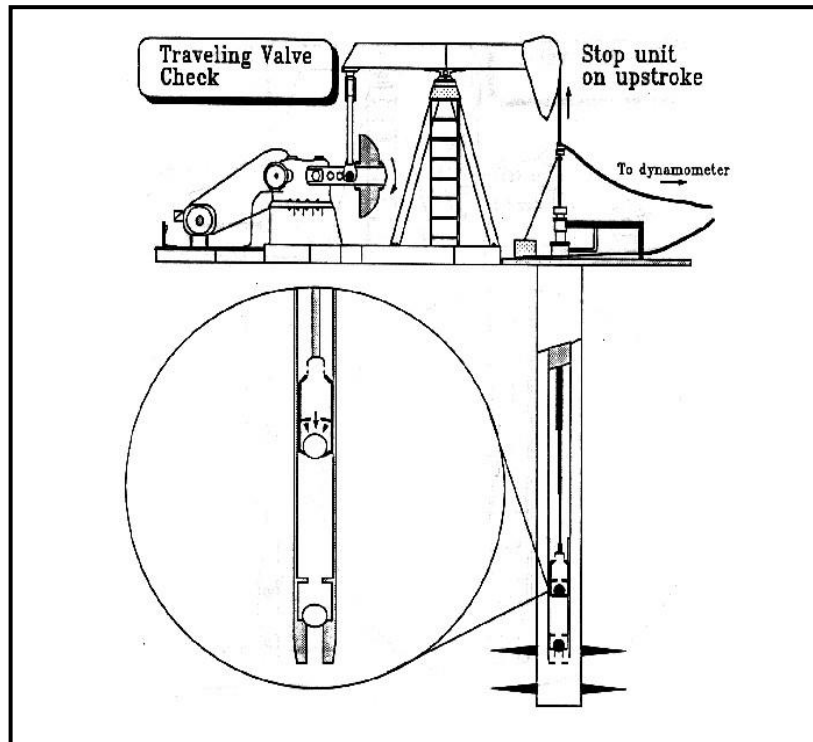
En el mismo modo "Acquire Mode" – F4 y con las teclas Alt+2 se procede a seleccionar la toma de las dos válvulas fija o viajera.

Figura 9. Datos adquiridos en la Prueba de Válvulas



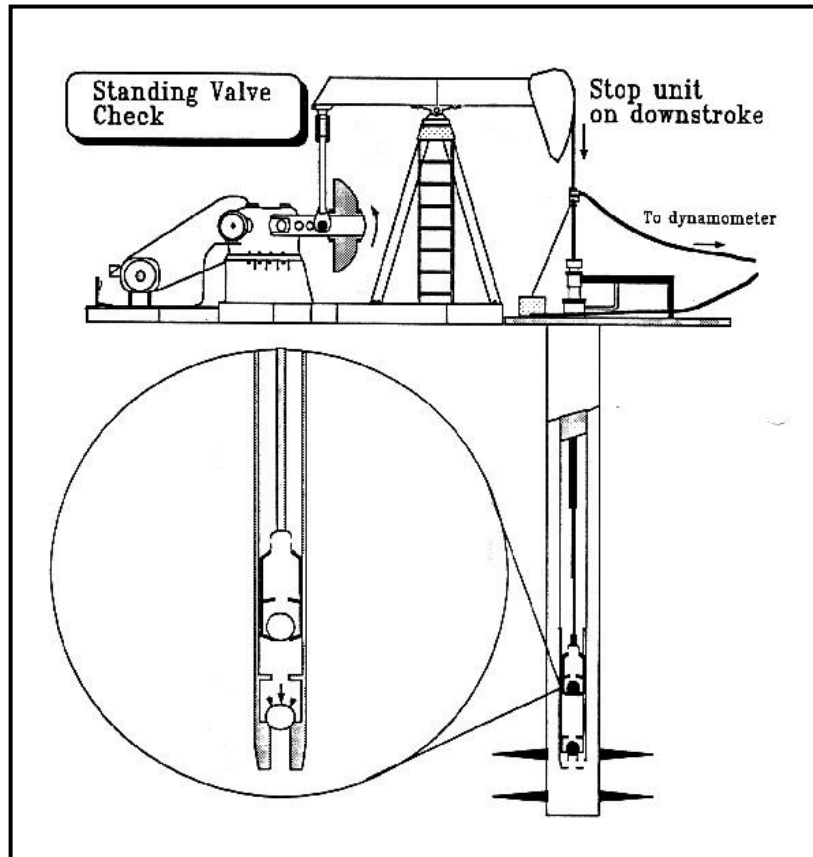
La **Válvula Viajera**, se detiene la unidad de bombeo aplicando lentamente el freno a  $\frac{3}{4}$  de su recorrido ascendente y se espera 25 segundos para que se observe la posible fuga que tenga la válvula viajera (ver figura 10).

Figura 10. Prueba de válvula viajera



La **Válvula Fija**, se detiene la unidad de bombeo aplicando lentamente el freno a  $\frac{3}{4}$  de su recorrido descendente y se espera 25 segundos para que se observe la posible fuga que tenga la válvula fija (ver figura 11).

**Figura 11. Prueba de válvula fija**



Generalmente las pruebas de las válvulas se hace dos veces.

- Se oprime Stop y se salva esta información de las válvulas.
- Con la tecla F6 se procede al análisis del escurrimiento o pérdida de fluido en barriles por día de la válvula viajera si lo tiene, así como la presión de entrada en la válvula fija.

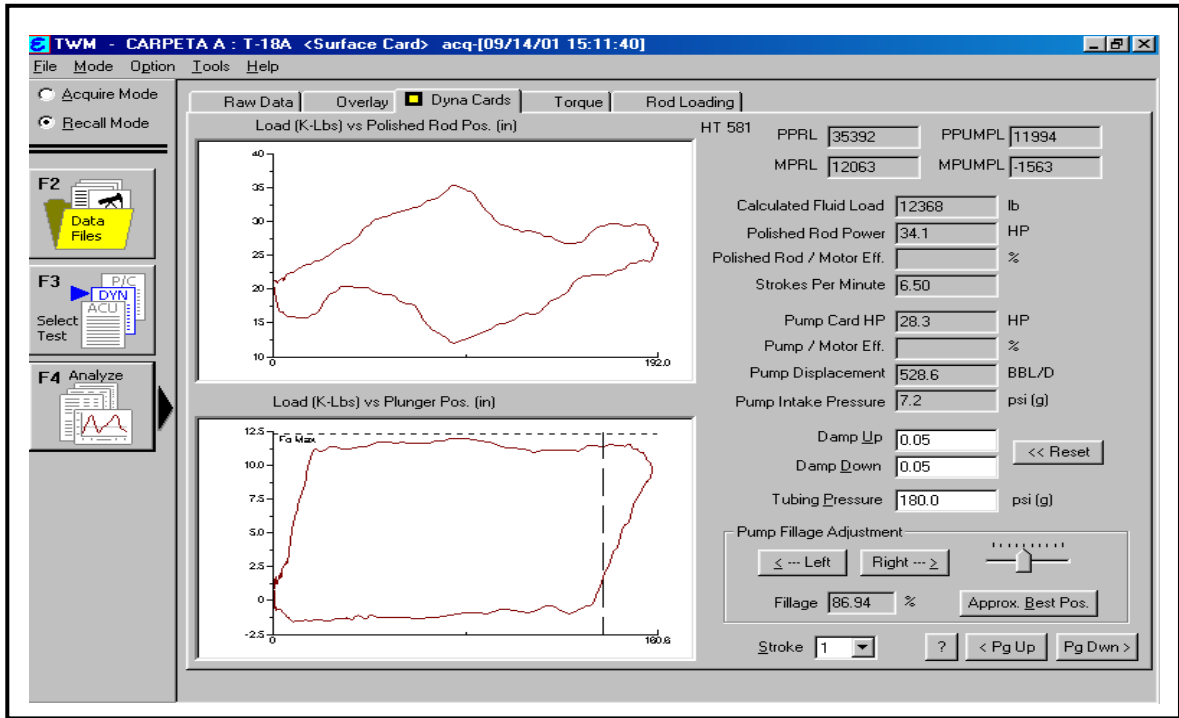
### Terminación del registro de dinagrama

- Se dirige al motor de la unidad de bombeo y suspende la corriente si es eléctrico o se desembraga si es a gas, frenando la unidad a 3/4 de la carrera descendente, para proceder a quitar la celda de carga que se instaló.
- Se debe colocar la grapa de 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> o 1<sup>1</sup>/<sub>4</sub> pulgada en la barra pulida por encima del protector c apretando su tornillo.
- Dar arranque a la unidad para que termine la carrera descendente, así, todo el peso de la sarta descansa en la grapa que se ajustó (1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> ,1<sup>1</sup>/<sub>4</sub> in) y haya un espaciamiento entre la grapa fija que sostiene la sarta de bombeo y el carrier bar.
- Cuando se logra un espaciamiento adecuado se puede retirar la celda de carga soltando el pin que la asegura
- Finalmente se recupera el espaciamiento realizado, liberando lentamente el freno de la unidad. Luego se retira la grapa 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> o 1<sup>1</sup>/<sub>4</sub> in instalada sobre el stuffing box.
- Se coloca la unidad de bombeo en operación.

**3.2.2.3 Análisis del registro de Dinagrama.** La interpretación de la carta de dinagrama de fondo permite distinguir entre problemas mecánicos de la bomba como: fuga por válvulas o pistón, sarta de varillas incompleta, bomba desasentada y problemas con el manejo de fluidos como interferencia por gas o golpe de fluido. El dinagrama tomado permite evaluar el problema que pueda presentar una bomba cuando el pozo no fluye a superficie o presenta pérdidas de producción.

El operador puede ver el dinagrama grabado en el TWM oprimiendo la tecla F6 y seleccionando la sección dinagramas (Dyna cards), luego una grafica se presenta para realizar el análisis como se muestra en la siguiente figura:

**Figura 12. Datos obtenidos en la sección de Dinagramas**



En la figura 12 se muestra dos (2) cartas de dinagrama que representan las cargas versus la longitud del stroke; En la parte superior es el dinagrama de superficie y la inferior es el dinagrama de fondo, la diferencia entre las dos cartas es que el dinagrama de fondo obtiene una representación mas exacta del funcionamiento de la bomba de subsuelo, ya que, considera la elongación de las varillas, se obtiene una medida mas real de las carga en cada carrera y la longitud del stroke.

El desplazamiento muestra la carrera de la bomba a condiciones de fondo; un marcador se muestra en el dinagrama de la bomba y permite ajustarse usando las flechas para ubicar el punto donde la válvula viajera se abre durante la carrera descendente. Esto define la carrera efectiva de la bomba, el programa luego calcula el volumen de fluido por día que debería ser desplazado por la bomba y la potencia hidráulica consumida por la bomba.

El análisis de los posibles problemas que se presentan en las bombas de subsuelo, por comparación con formas de condiciones conocidas es simple, siempre y cuando la forma del dinagrama de fondo calculada, coincida con una forma de dinagrama conocida para cada problema (Ver anexo C).

Para detectar con precisión los problemas en la bomba de subsuelo, se debe comprender y entender cómo la condición mecánica de la bomba y la presión del fluido afectan la forma de la carta de dinagrama; Además, indagar en el

comportamiento de las cargas máximas y mínimas en cada carrera sobre la barra lisa, la cual permite identificar si la sarta de varillas esta completa, la sarta de varillas está en tensión o compresión, fugas en las válvulas fijo o viajera, llenado completo de la bomba, etc.

### **3.3 ANALISIS Y DIAGNOSTICO DEL SISTEMA CON EL SOFTWARE RODDIAG**

Mediante el software Roddiag se analiza el desarrollo de los sistemas de Bombeo Mecánico.

El diagnostico del Roddiag esta basado en la solución matemática de la ecuación de onda; Este método permite modelar el comportamiento de la sarta de varillas y calcular las cargas en cualquier punto de la sarta de varillas.

Hay que recordar que sólo se usa RODDIAG para detectar problemas en sistemas existentes de bombeo mecánico; Este software es utilizado para evaluar el comportamiento de las cargas del sistema, tales como: Cargas en la caja reductora, cargas en cada una de las secciones de la sarta de varillas, carga estructural, etc. Además, se usa en conjunto con el C-balance para hallar el momento de contrabalanceo para las unidades balanceadas con pesas (Convencionales, Mark II), y para las balanceadas con aire el Roddiag reporta la presión del cilindro para un momento de contrabalanceo adecuado.

RODDIAG no es un programa de diseño, y por lo tanto no puede ser usado para realizar corridas predictivas. Para diseñar sistemas de bombeo por varillas o para evaluar cambios a sistemas existentes se debe usar un programa computarizado predictivo como RODSTAR.

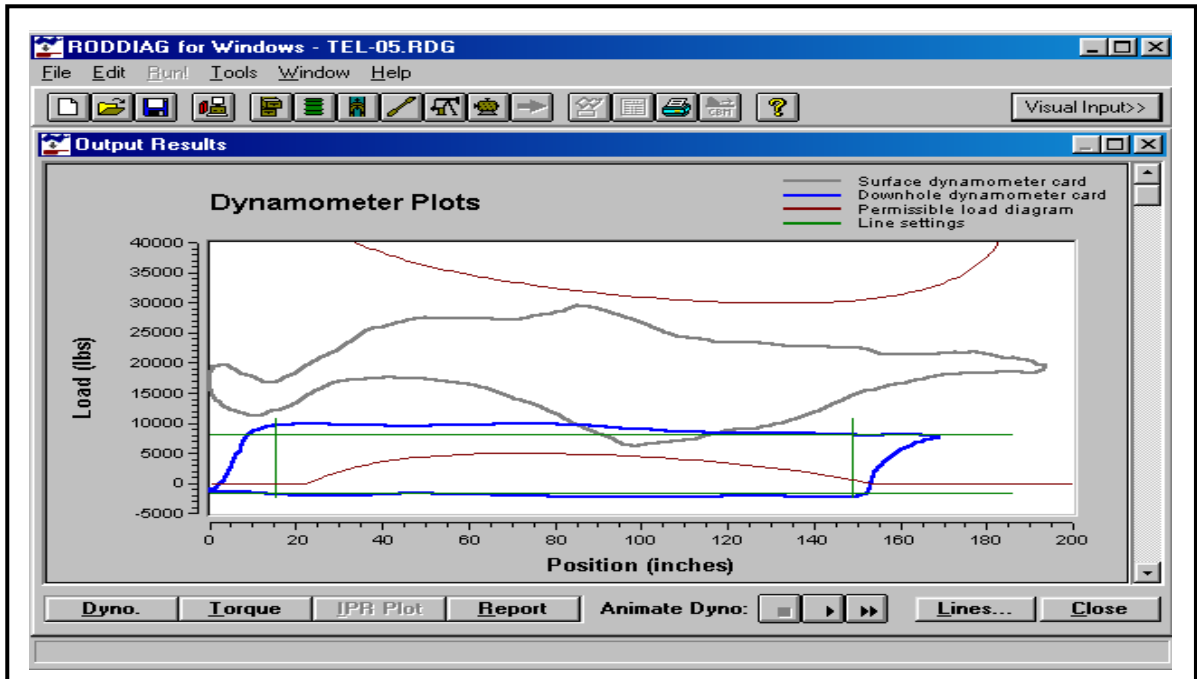
El dinagrama de fondo es mucho más fácil de interpretar que el dinagrama de superficie, ya que depende principalmente de la condición de la bomba; Por tal razón el Roddiag genera este dinagrama, para diagnosticar las cargas permisibles en una determinada condición de operación del pozo.

Por ejemplo aunque en una carta de superficie se puede determinar el golpe de fluido, con la carta de subsuelo del Roddiag se puede calcular el stroke neto, la carga de las varillas en cada una de la secciones, mínimo esfuerzo en el fondo de cada sección, efecto del golpe de fluido en la caja reductora y otros parámetros.

Antes de hacer la corrida en el Roddiag para cualquier pozo, se deben completar todos los datos que pide el programa de la manera más exacta que sea posible tales como: Información del pozo, producción de los fluidos, información del tubing, la bomba, sarta de varillas, características de la unidad de bombeo y motor principal. Esto con el fin de que el informe del análisis que nos presenta el programa sea confiable.

Para generar el dinagrama de fondo se exporta la carta de superficie generada en el TWM extensión punto DYN (TWM.DYN) como muestra la siguiente figura:

**Figura 13. Cargas Permisibles en la carta de Dinagrama**



La Figura13 muestra las cartas dinagráficas de fondo, de superficie (TWM), el diagrama de carga permisible y los ajustes de línea vertical.

Si la línea curva del diagrama de carga permisible corta el dibujo de la carta dinagráfica de superficie, es evidencia, de que el torque neto de la caja reductora excede el rango de la caja de engranaje.

Además de mostrar si la caja reductora está sobrecargada, el diagrama de carga permisible de RODDIAG indica si la carga en la barra pulida excede el rango estructural de la unidad de bombeo o si la carga mínima en la barra pulida está cerca de cero.

El diagrama de carga permisible muestra qué tanto una unidad de superficie cumple con los requerimientos de carga del sistema; Si la carta dinagráfica de superficie encaja bien sobre del diagrama de carga permisible y tiene la misma tendencia o algo similar que el segundo diagrama, demuestra una buena concordancia entre el equipo de fondo y el de superficie.

Si la carta dinográfica predictiva de superficie muestra una tendencia opuesta al diagrama de carga permisible, es una evidencia que la unidad de superficie puede no rendir el mejor desempeño basado en el equipo de fondo.

El Roddiag es útil como una herramienta de diagnóstico para detectar prácticamente todos los problemas de superficie y subsuelo del sistema. Estos incluyen entre otros:

- Tamaño incorrecto del motor (HP)
- Sobrecargas en la caja reductora
- Sobrecargas en la estructura de la unidad y las varillas
- Daño en la válvula fija o viajera de la bomba
- Llenado incompleto de la bomba.
- Baja eficiencia de la bomba
- Bomba golpeando arriba o abajo
- desbalanceo de la unidad

### **3.3.1 Explicación de los Resultados generados por el Roddiag.**

La Figura 14 muestra un reporte generado por Roddiag, la primera parte de los resultados indica el nombre de la compañía, nombre del pozo, nombre del usuario, fecha del análisis y el nombre del archivo RODDIAG que contiene la entrada de datos para este sistema.

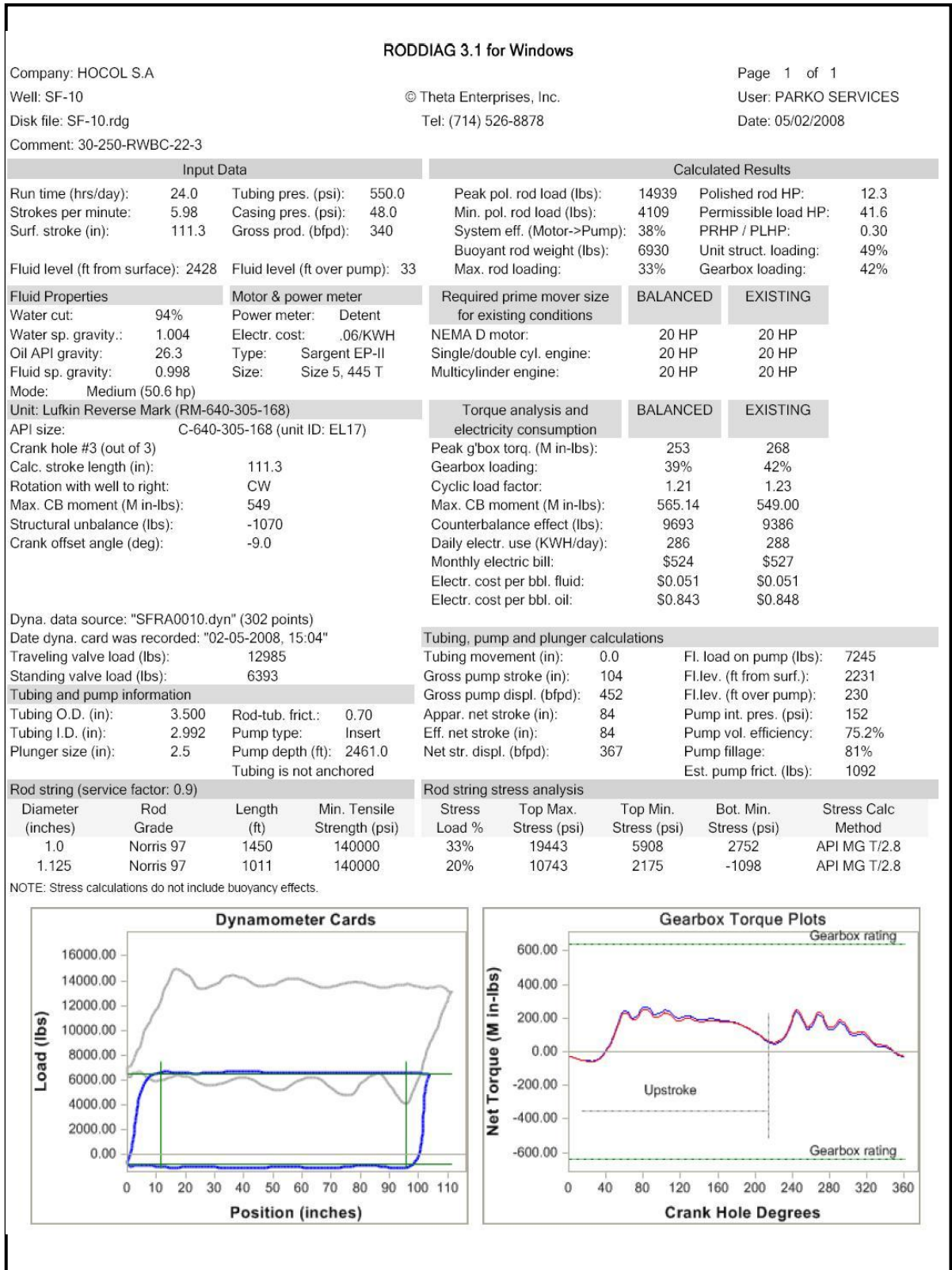
La parte izquierda superior de los resultados, a continuación del nombre de la compañía, pozo y usuario se indica la información solicitada por el software tales como: producción neta, propiedades de los fluidos, características del tubing, la bomba, sarta de varillas, tipo de unidad de bombeo, etc.

La parte superior derecha reporta todos los resultados de las cargas del sistema, los esfuerzos en la sarta de varilla, torque de la caja reductora, consumo de energía por el motor primario, etc.

A continuación en la Figura 14 muestra una explicación detallada de las cantidades calculadas por el programa.



**Figura 14. Reporte generado por Roddiag**



**3.3.1.1 Cargas Máximas y Mínimas en la Barra Pulida.** RODDIAG calcula este parámetro a partir de la distribución de la sarta de varillas y al llenado de la bomba. Las cargas soportadas por la barra lisa determinan si la sarta de varillas está en tensión o compresión. La exactitud de estas cargas calculadas por RODDIAG, dependerá de la exactitud del dinagrama de superficie tomado con el TWM y la confiabilidad de los datos que requiere el software.

**3.3.1.2 Eficiencia Volumétrica de la Bomba.** Este parámetro indica la eficiencia de la bomba para desplazar fluido, una eficiencia de bomba entre 75% y 95% es excelente. Una alta eficiencia volumétrica de la bomba indica que la bomba está con buenas condiciones de operación, existe un llenado completo del barril, que las válvulas no presentan fuga y que la producción del pozo es la esperada.

Una fuga en tubería puede causar baja eficiencia volumétrica en la bomba, las fugas en tubería no suelen afectar la forma de la carta dinagráfica de fondo, pero, disminuyen las cargas que soporta la barra lisa, se incrementa el nivel de fluido y disminuye la producción del pozo.

Entonces, antes de decidir sacar la tubería bajo sospecha de la existencia de una fuga en la tubería, hay que realizar una prueba de presión o manométrica para verificar que tal fuga existe. La eficiencia de la bomba en conjunto con la forma de la carta dinagráfica de fondo calculada, pueden ayudar a diferenciar entre un problema con la bomba, problemas de manejo de fluido (corrosión, desgaste) o de otros componentes diferentes de la bomba.

**3.3.1.3 Carga en la Estructura de la Unidad.** Esta medida es un porcentaje y muestra la relación de la carga máxima en la barra pulida con el rango de carga estructural de la unidad que se utilice. Este valor debe ser menor al 100% para evitar daños o fallas estructurales de la misma.

Cuando se tienen cargas máximas en la barra pulida, y la unidad que se utilice no maneja estas cargas, se debe seleccionar una unidad adecuada considerando un buen factor de seguridad, para no tener problemas de sobrecargas.

**3.3.1.4 Análisis de los esfuerzos en la Sarta de Varillas.** Esta sección muestra el porcentaje calculado de carga sobre cada sección de varillas según: El diámetro, grado, distribución de las varillas y el factor de servicio que se haya introducido.

La sarta de varillas no solo sostienen el peso del fluido, sino también, su peso propio; las varillas trabajan bajo condiciones de repetidas y cíclicas cargas por tanto, están expuesta a fallas por fatiga que pueden ocurrir en las diferentes partes de la misma como el cuerpo y las uniones.

A continuación se ilustra un ejemplo del análisis de esfuerzos de la sarta de varillas:

**Tabla 1. Análisis de esfuerzos**

Rod string (service factor: 0.9)				Rod string stress analysis				
Diameter (inches)	Rod Grade	Length (ft)	Min. Tensile Strength (psi)	Stress Load %	Top Max. Stress (psi)	Top Min. Stress (psi)	Bot. Min. Stress (psi)	Stress Calc Method
1.0	Norris 97	1000	140000	57%	35463	16021	12771	API MG T/2.8
0.875	Norris 97	3800	140000	72%	41188	16681	5397	API MG T/2.8
0.75	Norris 97	4608	140000	72%	36425	7346	-6415	API MG T/2.8

NOTE: Stress calculations include buoyancy effects.

Asumiendo los resultados del análisis de esfuerzo de la sarta de varillas para este pozo (Tabla 1) se indica que la sarta es de tipo telescópica, esta compuesta por tres tipos de diámetro de varillas (1", 7/8", 3/4"), grado norris 97. Se observa el calculo de las máximas y mínimas cargas en el tope de cada sección, con que esta trabajando la sarta.

A través de la carga máxima que soporta en el tope para cada diámetro, metalurgia, peso y grado de la varilla que se utilice, se compara este valor con la carga máxima en el tope calculada por el Roddiag para diagnosticar si la varilla esta cerca del punto de ruptura; Caso contrario cuando se analiza las cargas mínimas en el tope, y se determina si la varilla se encuentra en compresión.

**3.3.1.5 Análisis del Torque.** En esta sección el programa calcula el torque máximo para la caja de reductora, porcentaje de carga en la caja reductora, factor de carga cíclica, momento máximo de contrabalanceo y efecto de contrabalance; este ultimo, se utiliza en el C-balance para hallar el adecuado balanceo de la unidad.

El Roddiag para el cálculo del torque máximo ejercido sobre la caja reductora, pregunta si se conoce o quiere que determine el momento de contrabalanceo; esto con el fin de realizar sus cálculos en las condiciones reales o ideales (balanceada), para evaluar la carga en la caja reductora.

Para alargar la vida de la caja de reductora se debe mantener un porcentaje de carga menor 100%, el valor del factor de carga cíclico debe ser pequeño y la unida de operar en condiciones de balanceo.

### 3.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO MECANICO CON EL SOFTWARE RODSTAR

RODSTAR es un programa de computadora desarrollado por Theta Enterprise, representa el estado del arte en diseño de pozos por bombeo mecánico. RODSTAR usa un modelo de la ecuación de onda para la sarta de varillas y el modelo cinemático exacto de la geometría de la unidad de bombeo.

Igualmente nos ayuda a determinar cuales serán las cargas en cada una de las secciones de la sarta de varillas diseñada (para verificar tensión o compresión de la misma), velocidad de bombeo (spm) de acuerdo a la producción esperada y recorrido seleccionado. También nos ayuda a seleccionar el diámetro de la bomba ideal de acuerdo al fluido total esperado, y así verificar las cargas con las cuales va a operar la unidad de bombeo (caja reductora y estructura)

A continuación una lista parcial de las preguntas que **RODSTAR** puede responder cuando diseña un sistema de bombeo mecánico:

- ¿Que velocidad de bombeo se necesita para obtener la producción deseada?
- ¿Qué tipo de unidad de bombeo debe usarse?
- ¿Qué tamaño de unidad de bombeo se necesita ahora y cuál en el futuro?
- ¿Cuál es el efecto del tipo y tamaño de unidad de bombeo en el consumo de energía?
- ¿Qué tipo de sarta de varillas se necesitan y de qué grado?
- ¿Cuales serian las cargas en la caja reductora si la unidad estuviera desbalanceada?
- ¿Cuántas barras de peso se necesitan para asegurar que la sarta de varillas de fibra de vidrio no esté en compresión?

**3.4.1 Diseño de la sarta de varillas y análisis de esfuerzos.** El programa predice las tensiones en el tope de cada sección de la sarta de varilla que se diseñe. Se tiene como regla para evaluar el comportamiento de la sarta de varillas, los límites de esfuerzos que pueden soportar las diferentes clases de varillas.

De acuerdo a los esfuerzos mínimos o máximos que simule el Rodstar para cada sección, se compara con los límites permisibles de esfuerzo de la varilla (fabricante, metalurgia, etc.); Con el esfuerzo mínimo se determina si la sarta esta compresión, para esfuerzos menores a los que se indican en la tabla 2, caso contrario, si el esfuerzo máximo es mayor, entonces, la sarta esta cerca del punto de ruptura.

Para los dos casos anteriores es necesario cambiar el diseño de la sarta de varillas o variar las condiciones de bombeo.

**Tabla 2. Tensión mínima y máximas en el tope de las varillas**

**Norris Sucker Rods Type Specifications.**

Norris Rod Type	30	40	54	78	90	97
<b>AISI Grade</b>	C-1536M	A-4621-M	C-1541-VM	A-4142HM	A-4320-M	A-4330M1
<b>API Grade</b>	C	K	D	D	D	SPECIAL
<b>Chemical Properties, %</b>						
<b>Carbon</b>	.30/.39	.18/.25	.36/.45	.38/.45	.18/.24	.28/.35
<b>Maganese</b>	1.10/1.40	.60/.80	1.35/1.65	.80/1.00	.80/1.00	.70/.90
<b>Phosphorus</b>	.040 MX	.035 MX	.040 MX	.035 MX	.025 MX	.035 MX
<b>Sulphur</b>	.045 MX	.035 MX	.040 MX	.035 MX	.025 MX	.040 MX
<b>Silicon</b>	.15/.35	.15/.35	.15/.35	.15/.35	.15/.35	.15/.35
<b>Copper</b>	.35 MX	.35 MX	.35 MX	.35 MX	.35 MX	.35 MX
<b>Nickel</b>	.35 MX	1.65/2.00	.35 MX	.45 MX	1.15/1.50	1.65/2.00
<b>Chromium</b>	.30 MX	.25 MX	.30 MX	.80/1.10	.70/.90	.70/.90
<b>Molybdenum</b>	.06 MX	.15/.25	.06 MX	.15/.25	.20/.30	.20/.30
<b>Vanadium</b>	.02/.07	.03/.07	.04/.09	.03/.07	.03/.07	.03/.07
<b>Physical Properties</b>	Normalized 1,550' +/- 25' F., Tempered 1,200' +/- 25' F (Approx)					
<b>Tensile, KSI</b>	90/115	90/115	115/140	115/140	115/140	140/150
<b>(Mpa)</b>	(621/793)	(621/793)	(793/965)	(793/965)	(793/965)	(965/1034)
<b>Yield, KSI, 2% Offset</b>	60 Min	60 Min	85 Min	85 Min	85 Min	115/125
<b>(Mpa)</b>	(414)	(414)	(586)	(586)	(586)	(793/862)
<b>Elong., 8"</b>	15 Min	16 Min	15 Min	10 Min	12 Min	10 Min
<b>Reduction, %</b>	45 Min	55 Min	50 Min	45 Min	40 Min	45 Min
<b>Rod Size, OD</b>	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1-1/8"	
<b>(mm)</b>	(15.88)	(19.05)	(22.23)	(25.40)	(25.88)	
<b>Rod Length</b>	25' (7.62m) or 30' (9.14m) (+/- 2.0" per API Requirements) (±50.80mm)					

*Specifications are subject to change without notice. The above values are average values and may vary from actual measurements.*

El API especifica tres grados de varillas, K, C y D. La siguiente es la mínima y máxima resistencia a la tensión en PSI:

Grado K (85.000 - 115.000).  
Grado C (90.000 - 115.000).  
Grado D (115.000 - 140.000).

### **3.4.2 Consideraciones para realizar los Diseños de Bombeo Mecánico.**

Cuando se diseña un sistema de bombeo mecánico se debe especificar el equipo de superficie/fondo, los strokes por minuto (spm) y longitud del stroke necesario para obtener la producción deseada al menor costo posible y mínimo de esfuerzo.

Para seleccionar el mejor diseño se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Tasa de producción deseada
- Costo del capital (Equipo de superficie/fondo requerido)
- Cargas en la sarta de varillas
- Carga en la caja reductora
- Eficiencia volumétrica de la bomba.
- Costos de consumo de energía por el motor primario.

Para lograr un óptimo diseño se requieren equipos de superficie/fondo, información exacta que podría no estar disponible, solo los parámetros del sistema más obvios son usualmente considerados. En muchos casos la tasa de producción es el primer parámetro que se considera seguido de las cargas en la varilla, cargas en la caja reductora y el costo de energía.

Si evaluamos el costo de consumo de energía como alto, se puede reducir usando una bomba de mayor diámetro y una velocidad de bombeo mínima; Sin embargo, una bomba de mayor diámetro incrementa las cargas en las varillas, el torque en la caja reductora y una unidad de bombeo mas grande debe usarse, razón por la cual se incrementa el capital del costo de la unidad.

Por lo general se debe lograr una equivalencia entre la eficiencia de la bomba, las cargas en la varilla, el tamaño de la unidad y el costo de operación para mantener la producción deseada en ciertas condiciones de bombeo.

Un aspecto muy importante del diseño, es la tasa de bombeo, si es conocida la máxima tasa de producción del pozo, se puede diseñar el sistema para una tasa de producción deseada, esto asegura suficiente capacidad en la bomba considerando las perdidas de eficiencia de la bomba.

Sin embargo si la tasa de bombeo es más alta que la capacidad de aporte del pozo, resultaría que el pozo quedara sin nivel de fluido y a su vez producir un problema en la bomba por golpe de fluido.

El golpe de fluido es un problema en el diseño de la capacidad de la bomba, ya que el golpe de fluido afecta la bomba, sarta de varillas y la unidad de bombeo; si no se toman las medidas necesarias para minimizar este problema se reduce la eficiencia de bombeo y la vida útil del equipo superficie/fondo.

El golpe de fluido se puede reducir de la siguiente manera:

- Disminuir strokes por minuto, spm
- Recortar la longitud del stroke
- Reducir el tamaño de la bomba

Para evitar sobredimensionamiento en la capacidad de bombeo del sistema se recomienda diseñar con una eficiencia de la bomba entre el 75 -85%.

A continuación algunas pautas que puede ayudar mientras se diseña un sistema de bombeo mecánico.

- Para bombas a más de 3500 ft de profundidad siempre se debe anclar la tubería lo más cerca posible a la bomba y por encima del ultimo intervalo de perforados para evitar los problemas por arena; Además, se recomienda utilizar sarta de varillas telescópicas, Estas sartas son siempre diseñadas con diámetros mayores en la parte superior y los diámetros menores en la parte inferior, ya que, a mayores diámetros en la primera sección de la sarta, va ha soportar mejor los esfuerzos por tensión.
- Minimizar en lo posible los problemas de golpe de fluido e Interferencia de gas.
- Variar las condiciones de bombeo primero con largos recorridos y bajos strokes.
- Usar las recomendaciones de los fabricantes acerca del diseño, transporte, almacenamiento, manejo, corrida y reparación de bombas, varillas y tuberías (ver tabla 1).
- La sarta de varillas se debe diseñar de tal forma que el esfuerzo sea el mismo en cada uno de los topes de cada sección de varillas.

### **3.5 BALANCEO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECANICO CON EL SOFTWARE C-BALANCE**

Una unidad de bombeo apropiadamente balanceada es importante para optimizar el sistema; La caja reductora de una unidad balanceada durará más tiempo que una unidad fuera de balance. También, si se mantiene la unidad balanceada puede usarse un motor más pequeño, esto no solo reduce el costo del equipo de superficie, sino también, incrementa la eficiencia del sistema y reduce los costos del consumo de energía, además, evita los daños en la bomba, varillas y tubería.

Usualmente, balancear la unidad minimiza el factor de cargas cíclicas y ayuda a minimizar el torque neto sobre la caja reductora; La unidad puede balancearse ajustando las contrapesas de manera que el torque pico de la caja reductora en la carrera ascendente sea igual o muy similar al torque pico de la caja reductora en la carrera descendente.

El balanceo de unidades de bombeo puede simplificarse usando programas que están específicamente diseñados para este propósito, como es el caso **C-BALANCE**, que contiene datos de manivelas y contrapesas para la mayoría de los fabricantes de unidades de bombeo.

#### **3.5.1 Aplicaciones del C-Balance en el balanceo de la Unidad**

Balancear la unidad con este programa de computadora es más preciso y mucho más rápido que usando un amperímetro; Una vez se calcula la posición de las contrapesas para balancear la unidad, las pesas se mueven en un solo paso. Con este método la unidad de bombeo podría balancearse para condiciones de estabilización, la única limitación de este método es que no se utiliza para unidades balanceadas por aire.

El C-balance es utilizado para hallar el adecuado balanceo de las diferentes unidades de bombeo balanceadas por pesas (Convencionales, Mark II, Reverse Mark, etc.). Para realizar el balanceo de la unidad se requiere conocer la posición sobre el crank, tipo y números de pesas que deberían tener la unidad de bombeo. El C-balance determina este valor para cada condición de bombeo, ya que, para sus cálculos requiere el tipo de crank, pesas y el momento de contrabalanceo adecuado.

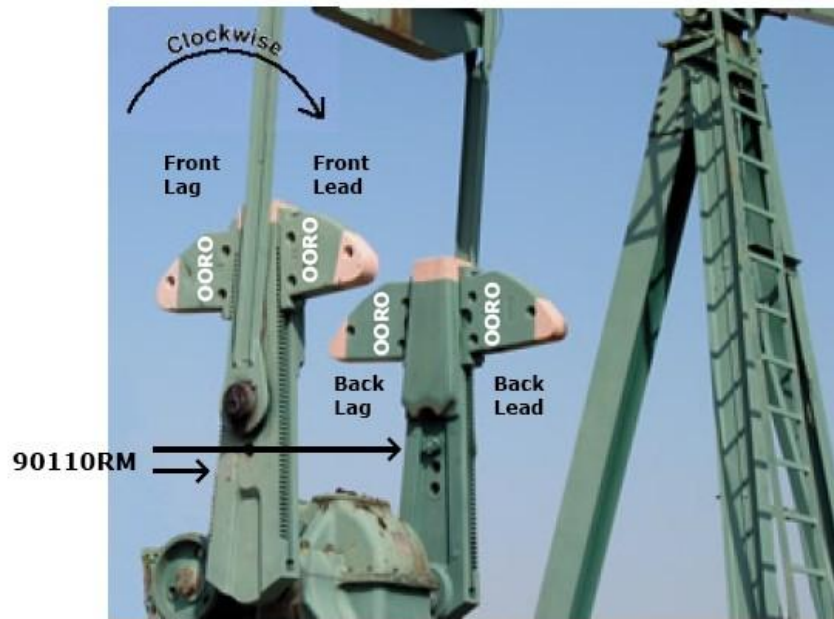
Este software es utilizado para hallar el adecuado balanceo de las unidades de bombeo mecánico que son balanceadas por pesas y requiere tener la descripción de la unidad de bombeo, tipo de crank y pesas disponibles para realizar el cálculo.



**Figura 15 Reporte generado por C-Balance**

BALANCED COUNTERWEIGHT POSITIONS (inches from end of crank):					
	Option 1	Option 2	Option 3	Option 4	Option 5
Front Lead (OORO):	1,46*	2,92*	2,92*	0,00	0,00
Front Lag (OORO):	1,46*	0,00	0,00	2,92*	2,92*
Back Lead (OORO):	1,46*	2,92*	0,00	2,92*	0,00
Back Lag (OORO):	1,46*	0,00	2,92*	0,00	2,92*

\*: shows new counterweight position



La Figura 15 muestra un ejemplo del reporte generado por este programa, además, nos indica las opciones que se tienen para mover las pesas y lograr un buen balanceo de la unidad.

El **C-BALANCE** es una herramienta muy útil cuando se usa junto a **RODSTAR** y **RODDIAG** debido a que permite:

- Minimizar el tiempo y los gastos requeridos para balancear la unidad de bombeo.
- Maximizar el tiempo de vida de la caja reductora.
- Elimina la necesidad de medir en el campo el efecto de contrabalanceo.
- Evita la ruptura varillas o fallas estructurales de la unidad.

## 4. CONCLUSIONES

- Esta metodología es una herramienta de consulta, para el personal que labora en la compañía, como también para los estudiantes de ingeniería de petróleos.
- A través de la realización de este Proyecto de grado se indaga más en los conocimientos adquiridos, durante la formación profesional de la carrera; Además, se lograr atender o dar apoyo a las necesidades que tiene la industria del petróleo.
- La oportunidad de realizar cualquier tema o investigación en una compañía petrolera, es de gran elogio, ya que esta permite enriquecer las relaciones entre las distintas empresas, medir las capacidades de liderazgo y responsabilidad en los diferentes proyectos que ejecuta la empresa.
- El desarrollo de esta metodología es una guía para entender y aplicar las herramientas computarizadas como: El Total Well Management, Roddiag, C-balance, Rodstar; La cual nos ayudan a ser más eficiente o diagnosticar los diferentes problemas, que se presentan en el levantamiento artificial por bombeo mecánico.
- Antes de aplicar cualquiera de estas herramientas se actualiza con información confiable, para que los resultados y análisis sean precisos.
- El Total Well Management (TWM) es utilizado en conjunto con el equipo well analyzer para tomar en campo los registros de nivel de fluido y dinagrama; la cual, permite indagar en los diferentes tipos de problemas que presenta el equipo de superficie (unidad) y fondo (bomba, sarta de varillas) del bombeo mecánico.
- Mediante el Roddiag se exporta la carta de dinagrama calculada con el TWM, para determinar la longitud del stroke neto, la carga de las varillas en cada una de la secciones, máximo o mínimo esfuerzos en el fondo y tope de cada sección, con lo cual, se determina si la sarta de varillas se encuentra trabajando en compresión o tensión, funcionamiento de la bomba de subsuelo, carga en la caja reductora, máximo momento de contrabalanceo, carga en la estructura de la unidad, eficiencia volumétrica, etc.

- El C-balance es utilizado para hallar el adecuado balanceo de las unidades balanceadas por pesas (convencionales, mark II); Esto se logra determinando la posición y cantidad de pesas sobre el crank.
- El Rodstar determinar cuales serán las cargas en cada una de las secciones de la sarta de varillas diseñada (para verificar tensión o compresión de la misma), velocidad de bombeo (spm) de acuerdo a la producción esperada y recorrido seleccionado. También nos ayuda a seleccionar el diámetro de la bomba ideal de acuerdo al fluido total esperado, y así verificar las cargas con las cuales va a operar la unidad de bombeo (caja reductora y estructura).
- Finalmente, esta metodología permite conseguir los sistemas de bombeo mecánico más eficientes y económicos. Ya que dependiendo del aporte de fluidos del pozo, estado mecánico y propiedades de los fluidos se puede obtener las cargas en la sarta de varillas, caja reductora y condiciones de bombeo para una producción deseada.

## 5. RECOMENDACIONES

- Cuando las compañías dan la oportunidad a los estudiantes para realizar cualquier trabajo de grado, deben resaltar las actitudes y habilidades para lograr los objetivos y metas propuestas.
- Se recomienda variar las condiciones de bombeo a largos recorridos y bajos strokes por minuto.
- La sarta de varillas se debe diseñar de tal forma que el esfuerzo sea el mismo en cada uno de los topes de cada sección de varillas.
- Minimice en lo posible los problemas de bomba por golpe de fluido ya que la sarta de varilla puede estar al 100% de carga en cada sección y puede romperse.
- Trabaje la unidad de bombeo siempre balanceada ya que alarga la vida útil de la caja reductora, minimiza los costo por consumo de energía, minimiza el torque neto sobre la caja reductora.

## BIBLIOGRAFÍA

Ferrigno. Lufkin Argentina. SPE 95046. 6 P. Kermit, Brown. THE TECHNOLOGY OF ARTIFICIAL LIFT METHODS. Tulsa, Oklahoma. Mc Graw Hill, 1980. V1.

Articulo. H. Moyano, R.D. Fiore, R. Mazzola, and C. Ponce, Application of Intelligen Well MANAGEMENT SISTEM TO OPTIMIZE FIELD PERFORMANCE IN GOLFO SAN JORGE BASIN – ARGENTINA. Pan American Energy LLC, and E.

KEN, Arnold. MAURICE, Stewart. SURFACE PRODUCTION OPERATIONS. DESIGN OF OIL-HANDLING SYSTEMS AND FACILITIES. HOUSTON, GULF PUBLISHING CO. 414 p.

SALAS Jose Guillermo, DINAGRAMAS MANUAL DE INTERPRETACION, Universidad del Zulia, Maracaibo-Venezuela.

API11L-3(Sucker Rod Pumping System design Book).

API RP 11L (Desing Calculations for Sucker Rod Pumping Systems).

API 11AX (Subsurface Sucker rod Pumps and Fittings)

API 11AR (Recommended Practice for Care and Use Of Subsurface Pumps).

Echometer Company, WELL ANALIZER AND TWM SOFTWARE, Operating Manual.

Theta Enterprises, Inc. Software RODDIANG, ROSTAR, Operating Manual.

MEJORES PRÁCTICAS DE CAMPO, INCREMENTANDO LA EFICIENCIA DEL BOMBEO MECÁNICO. Noviembre 1999. Vol. 220 No. 11

# ANEXOS



**Anexo A.**

**FUNCIONAMIENTO, COMPONENTES Y APLICACIONES DEL EQUIPO  
WELL ANALIZER-ECHOMETER**

## **FUNCIONAMIENTO, COMPONENTES Y APLICACIONES DEL EQUIPO WELL ANALIZER-ECHOMETER**

El objetivo del Well Analyzer es proveer al operador todos los datos para analizar el desempeño de un pozo productor.

El equipo Well Analyzer consiste de un computador portátil, Software TWM, un convertidor análogo a digital (Interface), pistola a gas con disparo remoto y sensores para adquirir la información.

### **Componentes del Well Analyzer**



Las siguientes son las pruebas que se pueden realizar con el Well Analyzer:

1. Datos Acústicos de Nivel de Fluido
2. Datos Dinamométricos
3. Datos de Trasciente de Presión
4. Datos de Corriente y Potencial del Motor

Las aplicaciones e interpretación de las medidas que se hacen con el Well Analyzer pueden dar respuestas a numerosas preguntas relacionadas con la producción de pozos por bombeo.



La siguiente es una lista de algunas de las preguntas que se pueden responder con el uso y con la interpretación adecuada de las mediciones del analizador.

**A partir de las medidas acústicas en el pozo:**

- Hay liquido por encima de la bomba? A que profundidad esta el tope de la columna de liquido?
- Esta el nivel de liquido aumentando o disminuyendo?
- Hay gas fluyendo por el anular? A que rata?
- Cual es el porcentaje de liquido en la columna de fluido en el anular?
- Cual es la presión en cabeza del casing (CHP)?.. Esta variando con el tiempo.

**A partir de las medidas del dinamómetro:**

- Esta el pozo bombeando con la bomba vacía (pump off)?
- Cual es el porcentaje de llenado de la bomba?
- Están las válvulas fija y/o viajera con fuga?
- Cual es el desplazamiento de la bomba en barriles por día?
- Cual es al velocidad de bombeo?
- Están las cargas máximas y mínimas de la barra lisa dentro de la capacidad de la unidad de bombeo y de las varillas?
- Cual es el desplazamiento efectivo del pistón?.
- Esta la unidad balanceada?
- Requiere todo el sistema de bombeo un análisis detallado o rediseño?

**A partir del estudio de trasiente de presiones:**

- Cual es la presión de yacimiento?.
- Cual es la presión dinámica de fondo del pozo?.
- Cual es la tasa de restauración de presión?.
- Hay algún daño de formación?.

## DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO WELL ANALIZER

### **Computador portátil:**

El computador controla la adquisición de datos, procesa y analiza los datos a través del software TWM que esta grabado en el disco duro del computador y se carga automáticamente en la memoria, esta diseñado para ser usado de la manera más simple posible.

### **Interface:**

Es una unidad electrónica compacta. Consiste de un microprocesador con un convertidor electrónico de análogo a digital. Adquiere y digitaliza las señales del micrófono y transductor de presión. Estas señales se envían al computador para su procesamiento.

### **Interface (Well Analyzer)**



Contiene una batería interna de 12 voltios y puede conectarse a un cargador apropiado cuando no está en uso. Cuando el interruptor de potencia maestro se prende un indicador amarillo se ilumina indicando que el circuito A/D se ha activado.

El Indicador cambiará a verde cuando el procesador se ha inicializado y está listo para comunicarse con el computador.

### **Pistola a Gas con Disparo Remoto:**

La pistola a gas contiene un micrófono que capta la señal acústica y contiene una cámara la cual se llena con gas comprimido, CO<sub>2</sub> o nitrógeno, para enviar un pulso acústico al pozo, el cual se produce al dispararla remotamente desde la Interfase accionando una válvula solenoide, liberándose el gas comprimido.

El micrófono detecta el disparo, las uniones o collares de la tubería, el nivel de fluido y otros ecos del pozo.

### **Interface (Well Analyzer)**



El solenoide funciona como un gatillo para iniciar el pulso acústico. Cuando el solenoide se energiza, se levanta un pistón que alivia la presión ejercida por el gas comprimido que contiene la cámara.

La presión hace que la válvula del gas suba y se abra, causando un pulso acústico que se libera al pozo por el anular.

La pistola contiene un manómetro que mide la presión en la cámara. Este se utiliza para determinar la adecuada presión en la cámara para generar el pulso acústico.

### **Celda de Carga Tipo Herradura:**

Es de tipo herradura, con una capacidad nominal de 50000 lb, y se calibra para producir una exactitud total de 0.5% del rango de operación.

Es instalado entre el carrier bar y la grapa fija de la barra pulida. Se manufactura con acero inoxidable de grado instrumentación e incorpora un acelerómetro de alta

exactitud a partir del cual el programa TWM calcula la velocidad y posición de la barra lisa.

### **Celda de Carga Tipo herradura**



### **Celda de Carga Tipo Tornillo:**

Es un sensor muy apropiado para mediciones rápidas y cuando no se pueda usar la celda de carga tipo herradura o pozos con problemas de intentos de pega de bomba.

### **Celda de Carga Tipo Tornillo**



### **Elemento Medidor de Presión:**

El transductor de presión mide la presión y temperatura del anular. Se usa para registro de ascenso de presión.

Tiene un rango de trabajo de 0 – 1500 psi , los datos de salida aplican factores de calibración.

### **Transductor de Presión**



**Anexo B.**

**GENERALIDADES DEL SISTEMA DE BOMBEO MECANICO**

## **GENERALIDADES DEL SISTEMA DE BOMBEO MECANICO**

La función del sistema de bombeo por varillas de succión es la de levantar los fluidos del yacimiento a la superficie. La bomba de varillas de succión, bombea el fluido que fluye de la formación al pozo, disminuyendo la presión en el fondo del pozo. Una amplia presión diferencial entre la formación y la cara del pozo incrementa la rata de producción.

El principio de operación de todas las unidades de balancín es el mismo, un motor hace girar la caja reductora mediante bandas en V., la caja reductora varia el número de revoluciones por minuto mediante un mecanismo de piñones, convirtiendo el bajo torque y altos R.P.M del motor en altos torques y bajos R.P.M requeridos para operar la unidad que transforma el movimiento en reciprocante, el cual es transmitido a la bomba por la sarta de varillas.

Durante el movimiento ascendente, el fluido provoca el cierre de la válvula viajera y es transportado a través de la tubería de producción hasta la cabeza del pozo. Simultáneamente se crea un vacío sobre la válvula estacionaria permitiendo la abertura de esta y por consiguiente la entrada del fluido de formación al barril.

En el inicio de la carrera descendente, el pistón se desplaza a través del fluido que se aloja en la tubería de producción, consecuentemente la válvula viajera se abre y la estacionaria se cierra transfiriéndose de esta manera el fluido del barril a la tubería de producción.

La caída de las varillas en la carrera ascendente no debe ser forzada, prácticamente todo el levantamiento del fluido se realiza durante la carrera ascendente del ciclo de bombeo. Durante la carrera descendente las varillas al caer actúan como una fuerza impulsora para mover la unidad de superficie, es la carrera descendente para posteriormente suplir de energía durante la carrera ascendente.

El contrabalanceo debe contribuir a la distribución de las cargas y reducir el momento rotacional máximo (torque) durante el ciclo de bombeo. La selección adecuada del efecto de contrabalanceo es uno de los aspectos mas importantes del diseño de una instalación de bombeo, un efecto incorrecto somete a cargas excesivas la estructura, los rodamientos, la caja reductora y el motor, limitando su vida útil.

Además, el consumo de electricidad es mayor cuando la unidad no está correctamente balanceada.

La caja de estopas “stuffing box” se utiliza para evitar el escape de los fluidos producidos. El poste maestro “sampson’s post” y el brazo o brazos angulares deben tener la suficiente rigidez y resistencia para sostener más de 2 veces la carga máxima en el varilla pulida.

Existen básicamente tres tipos de geometrías en las unidades de bombeo como son:

- Unidades Tipo Convencional.
- Unidades balanceadas por Aire.
- Unidades Tipo Mark II.

Una instalación típica de un sistema de bombeo mecánico incluye:

- Equipo de superficie (unidad de bombeo).
- Motor primario.
- Varillas.
- Bomba de subsuelo

Cualquier diseño que se haga debe considerar estos cuatro componentes.

### **Unidad de Bombeo.**

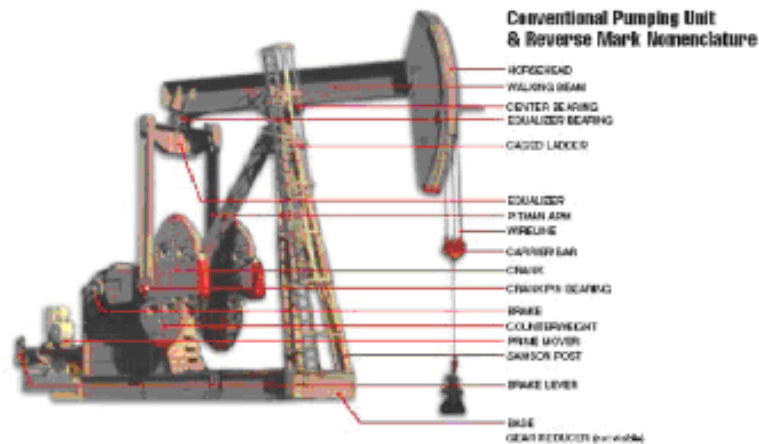
La función de la unidad de bombeo es convertir el movimiento rotatorio del motor principal en movimiento ascendente y descendente de la sarta de varillas.

Este movimiento es denominado recorrido, es el principal método de levantamiento artificial en el mundo, con aproximadamente el 85% de los pozos productores.

Existen básicamente tres tipos de geometrías en las unidades de bombeo:

- **Tipo convencional:** Esta tiene el punto de apoyo del balancín en su punto medio (sistema de palanca Clase I con geometría montada en la parte posterior y contrabalanceo por Crank). Se fabrican con diversas especificaciones, los recorridos varían de 12 a 192 pulg, y las cajas reductoras varían de 25.000 a 912.000 pulg-lb ver Fig 1 .

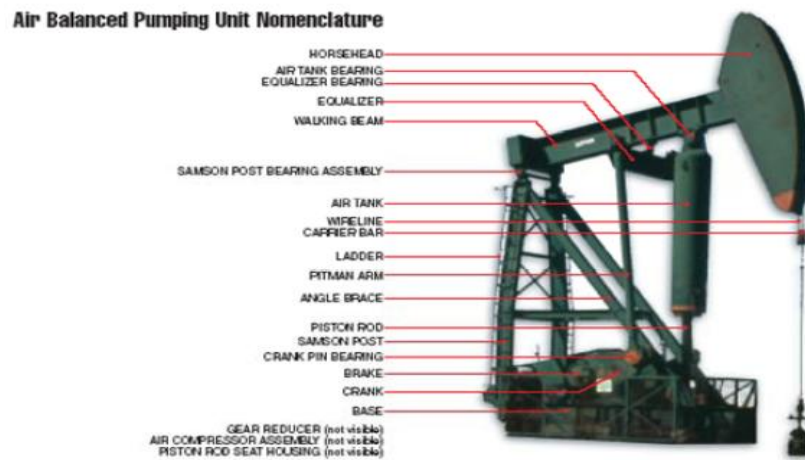
**Fig 1. Unidad de Bombeo Tipo convencional**



En las unidades convencionales el efecto del contrabalanceo se obtiene colocando contrapesos en el crank. Los contrapesos pueden moverse a lo largo del crank para producir un efecto de mayor o menor contrapeso.

- **Unidades Balanceadas por Aire:** En estas unidades el punto de apoyo del balancín esta en uno de sus extremos (Sistema de palanca Clase III, montada en el frente y contrabalanceo por aire). Son unidades más livianas y compactas El sistema de contrabalanceo neumático es capaz de suministrar altos efectos de contrabalanceo con un pequeño incremento en la presión del cilindro de la unidad. Las unidades de bombeo neumático tienen mayor aplicación para pozos profundos, el bombeo de altos volúmenes con carreras largas y el bombeo de crudos viscosos (ver Fig. 2).

**Fig 2. Unidad Balanceada por Aire**

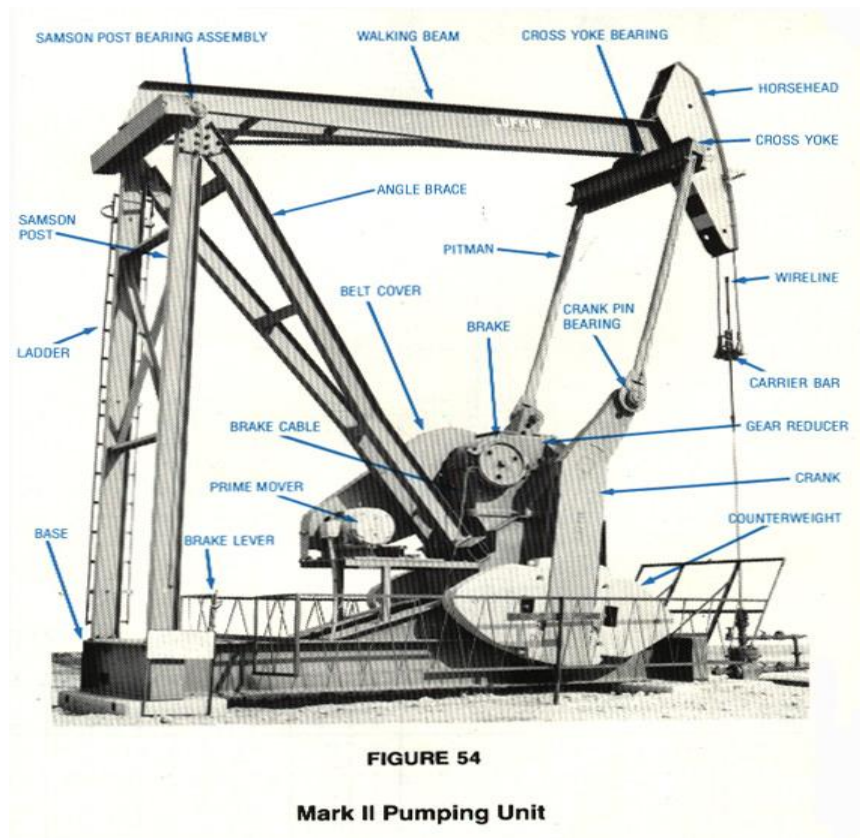




Hay unidades neumáticas disponibles en el mercado que tienen longitudes de carreras de 64 a 300 pulg, y cajas reductoras que varían de 114.000 a 3'648.000 pulg-lbs.

- **Unidad Tipo Mark II.** En estas unidades el punto de apoyo del balancín esta en uno de sus extremos (Sistema de palanca Clase III, geometría montada en el frente y contrabalanceo en el crank). Están diseñadas con el objeto de mantener un torque neto uniforme en la caja reductora y en el motor (ver Fig. 3).

**Fig 3. Unidad Mark II**



La reducción en el torque máximo hasta de un 40% y la carga máxima en la varilla pulida es hasta de un 10% en condiciones ideales.

Las unidades Mark II están equipadas con contrapesos en el Crank. Estas unidades tienen longitudes de carrera que van desde 64 a 216 pulg, y cajas reductoras que varían de 114000 a 1'280.000 pulg-lb.

Los principales elementos de la Unidad de Bombeo son:

**-Caja Reductora (Gear Reducer):** Se utiliza para convertir un movimiento rotatorio de alta velocidad (altos RPM) y bajo torque proveniente del motor en un movimiento rotatorio de baja velocidad (bajos RPM) y torque alto, ya que son necesarios bajos RPM para accionar la unidad de bombeo.

**-Balancín (Walking beam):** Su función principal es transmitir el movimiento recíproco a la varilla pulida y funciona como brazo de balance entre los contrapesos y conjunto de la sarta.

**-Contrapesos (Counterweights):** El tamaño de la caja reductora es minimizado utilizando contrapesos, estos ayudan a la caja reductora en la carrera ascendente (cuando la varilla pulida se encuentra en la parte superior).

En la carrera descendente, la caja reductora levanta los contrapesos con la ayuda del peso de la sarta de varillas.

El funcionamiento ideal consiste en igualar los torque de la carrera ascendente y descendente, usando el valor correcto de momento de contrabalanceo, cuando esto ocurre la unidad se encuentra balanceada.

**-Varilla pulida:** conecta la unidad de bombeo con la sarta de varillas para transmitirle el movimiento vertical ascendente y descendente; su principal función es soportar el peso de la sarta de varillas, la bomba y el fluido.

**-“Stuffing box”:** es un empaque que está diseñado para permitir el movimiento vertical ascendente y descendente de la varilla pulida y no permitir el escape de fluido que viene del subsuelo por la tubería a las líneas de flujo, es hermético para prevenir las fugas.

### **Motor principal (motor eléctrico).**

La función del motor principal es suministrar la energía requerida para suplir las necesidades del sistema haciendo girar la caja reductora mediante bandas en V., los motores eléctricos son los más comunes en bombeo mecánico. La potencia del motor depende de la profundidad de la bomba, nivel de fluido, de la velocidad de bombeo y del balanceo de la unidad. Las principales ventajas son el bajo costo del equipo, fácil y bajo costo de mantenimiento, encajan fácilmente en un sistema de automatización de un campo petrolero. Una de las desventajas son los altos costos de electricidad que se ha incrementado con los años.

## **Sarta de Varillas y Tubería de Producción.**

Conecta la bomba de subsuelo con la varilla pulida, su principal función es transmitir el movimiento recíprocante de la varilla pulida a la bomba. Las varillas están disponibles en acero y fibra de vidrio. Aprox. el 90% de las sargas son en acero, pero en algunos campos hay sargas combinadas de varillas en acero y fibra de vidrio. El API especifica tres grados de varillas, K, C y D. La siguiente es la mínima y máxima resistencia a la tensión en PSI:

Grado K (85.000 - 115.000).  
Grado C (90.000 - 115.000).  
Grado D (115.000 - 140.000).

### **Tipos de varillas:**

- a. Varillas de Fibra de Vidrio
- b. Varillas de Acero

#### a. Características de las Varillas de Fibra de Vidrio:

- Diámetros de 1-1/2", 1-1/4", 1.2", 1-1/8", 1", 7/8" y 3/4".
- Elaboradas en longitudes de 37.5 ft, también están disponibles de 25 y 30 ft.
- Reduce el número de uniones y hace que la sarta sea más liviana, y por lo tanto reduce las cargas en la unidad de bombeo.
- Resistentes a la corrosión.
- Tres veces más liviana que el acero.

#### b. Características de las Varillas de Acero:

- Menor resistencia a la corrosión.
- Diámetros de 1-1/8", 1", 7/8", 3/4", 5/8".
- Elaboradas en longitudes de 25 y 30 ft.
- Mas fáciles de pescar que las de fibra de vidrio.
- Menos elongables que las de fibra de vidrio.

• **Carga en las varillas:** La carga en las varillas depende del nivel de fluido, diámetro del pistón, velocidad de bombeo, longitud del recorrido y material de las varillas.

#### • **Fallas en la sarta de varillas:**

- Diseño inadecuado de la sarta, especialmente en sargas telescópicas.
- Error en los diseños pueden causar distribución inadecuada de los esfuerzos.

- Inapropiado enrosque de las sartas causan problemas en las conexiones de pin o caja.
- Fluidos corrosivos disminuyen el área transversal de las varillas.
- Las varillas fallan frecuentemente cuando tienen contacto con el tubing en pozos desviados o que tienen alto dogleg. (el uso de centralizadores reduce este problema).
- Malos manejos de la sarta en superficie causan rotura en el cuerpo de las varillas.
- El golpe de fluido severo también es otra causa de falla en las varillas.

• **Tubería de producción:** el fluido producido es levantado por el anular varillas-tubería de producción a la superficie. Cuando la tubería se encuentra anclada al revestimiento, esta tiene un menor efecto en funcionamiento del sistema, pero si la tubería de producción no está anclada ésta afecta la carga de las varillas y el desplazamiento de la bomba debido al encogimiento y estiramiento por transferencia de la carga de fluido durante los recorridos ascendentes y descendentes.

### **Bomba de Subsuelo.**

La bomba de varillas de succión es de desplazamiento positivo y Las partes básicas de la bomba de subsuelo son simples, pero construidas con una gran precisión para asegurar su intercambiabilidad y eficiencia, la cual está compuesta por un barril, un pistón y dos válvulas. La válvula fijada al barril actúa como una válvula de succión y es llamada válvula fija. El pistón alberga una segunda válvula llamada válvula viajera que actúa como descarga. Estas dos válvulas operan como un cheque, abriéndose y cerrándose durante el movimiento ascendente y descendente del pistón para desplazar los fluidos a la superficie.

### **Partes de la bomba:**

- **Barril.** Existen dos tipos de barriles.
  - Barriles para bombas insertas.
  - Barriles para bombas de tubería.

Existen barriles de pared delgada para pozos poco y medianamente profundo, y barriles de pared gruesa para bombas de mayor diámetro o para utilizarla para pozos más profundos donde las cargas son mayores. Estos varían en el espesor de la pared, sistemas de roscas y material en el cual son fabricados.

Los barriles para pistones de metal tienen una tolerancia ID de base menos cero a base +0.002.

La tolerancia para los barriles de empaques blandos es de base -0.0022 a +0.0062 pulgadas.

La profundidad del pozo y volumen de producción de fluido, son factores a tener en cuenta para la escogencia del tipo y tamaño del barril. El asentamiento de la bomba depende de factores como el espesor del barril y el diámetro del pistón, los cuales se aprecian.

• **Pistón.** Según la sección de sellado se clasifican en:

- Metálicos.
- No Metálicos.

La longitud del pistón metálico y no metálico se determina por una regla práctica de un (1 ft) de longitud de pistón por cada 1000 ft de profundidad de la bomba.

La tolerancia de los pistones va de menos cero a -0.005 pulgadas.

**Pistones Metálicos.** Son generalmente usados en pozos profundos o en pozos donde la producción de sólidos no es significativa. Los sólidos abrasivos desgastan mucho más rápido estos pistones y son recomendables los pistones de empaques blandos.

La superficie de los pistones metálicos pueden ser de acero común, cromo o nickelado y de metal pulverizado (spray metal), siendo éste el más popular.

Son fabricados con una tolerancia de 0 a 0.005 pulgadas.

Los pistones cromados (dureza Rock well 70) son recomendados para condiciones de abrasión severa sin presencia de corrosión por H<sub>2</sub>S.

**Pistones no Metálicos (Soft packed):** Los pistones con empaque blando se adecuan mejor donde la calidad de lubricación sea pobre o no existente y donde los fluidos cargados de abrasivos se adhieran a los pistones de metal.

Los pistones no metálicos se dividen en tipo copas y tipo anillo.

Los de tipo copa están fabricados en nylon y plásticos. La selección de estas copas se basa generalmente en la gravedad específica y la temperatura del fluido. Los pistones de este tipo son usados generalmente en pozos con profundidades menores a 3000 ft., las ventajas de estos pistones es compensar el desgaste del barril y el bajo costo de los mismos.

Los pistones de empaque blando tipo anillo son más usados que lo de tipo copa, ya que pueden ser usados hasta profundidades de 7000 ft. Vienen en tamaño que van desde 1 in hasta 4- ¾.

Los anillos más usados en la industria son los anillos Flexite (HF). Son fabricados en dos diseños, angostos para profundidades hasta de 5000 ft y diseño ancho para grandes presiones y profundidades hasta de 12000 ft. Estos están hechos de una resina termofraguada impregnada con grafito.

Los pistones de anillo flexite son excelentes para pozos con alta producción de agua y pozos con problema de corrosión ocasionadas por los fluidos del pozo.

### **Algunos Problemas del Sistema de Bombeo Mecánico.**

- **Golpe de Fluido (Fluid Pound).** Se presenta cuando la capacidad de levantamiento de la bomba es mayor que el aporte de fluidos de la formación al pozo. En este caso, el barril de la bomba no es llenado completamente con el liquido durante la carrera ascendente y al iniciar la carrera descendente el pistón baja en caída libre hasta encontrar el fluido produciéndose un choque o impacto el cual es transmitido a lo largo de la sarta hasta el equipo de superficie y por lo tanto reduce la eficiencia de la operación de bombeo.

**Fig 4. Representación Física de Golpe de Fluido**



El golpe de fluido puede causar los siguientes daños:

- Falla por fatiga en la unidad de bombeo.
- Falla por fatiga en los dientes del engranaje y en los cojinetes de la unidad.
- Falla por fatiga en la base de la unidad de bombeo.
- Falla por fatiga en la sarta varilla.
- Daño en la válvula viajera y jaula.

- El golpe de fluido acelera el deterioro de las roscas de la tubería causando pérdidas. Esta es la causa más frecuente de las fallas de la tubería por rupturas en las tuberías.

• **Golpe de Gas (Gas Pound).** El golpe de gas es muy similar al golpe de fluido, pero es diferente en los siguientes aspectos: no hay “pump off” ni restricción de entrada. El golpe de gas es causado por gas libre impidiendo que el barril se llene completamente.

• **Bloqueo por Gas (Gas lock).** Ocurre cuando la cámara de compresión entre la válvula viajera y la válvula fija es llenada por gas impidiendo que en la carrera descendente la válvula viajera se abra y no permita el paso de fluido hacia la tubería de producción.

- **Interferencia de Gas.**
- **Fuga en Válvulas.**
- **Válvulas Pegadas.**
- **Fuga en Pistón.**
- **Cargas Cíclicas.**
- **Fricción.**

**Dinagramas:** Es un gráfico de las tensiones que soporta la varilla pulida a través de su carrera, las tensiones son causadas por la variación de cargas de la bomba durante el ciclo de bombeo, a las cuales se le suman las cargas producidas por el peso del fluido, fricción y aceleración, es decir, si el dinagrama se tomara directamente encima de la bomba exento de las cargas extraordinarias.

• **Dinamómetros:** Es la herramienta mas utilizada para analizar el sistema de bombeo, al registrar las cargas que actúan en la sarta de varillas. Estas cargas pueden ser medidas en superficie con un dinamómetro de varilla pulida o la profundidad de la bomba con un dinamómetro especial de bomba. En ambos casos, las cargas en las varillas son graficadas vs. Desplazamiento del pistón o tiempo, para uno o más ciclos de bombeo. La variación de estas cargas es el resultado de todas las fuerzas que actúan a lo largo de la sarta de varillas y reflejan las condiciones de operación del sistema tanto en fondo como en superficie.

**Well Analyzer\_Echometer:** Es un equipo digital utilizado para la toma de registros de dinagramas y niveles de fluido. Consta de: una interfase, celdas de carga y cables de conexión.

**Interfase:** Equipo que convierte los impulsos de corriente, generados por la celda de valores de carga en libras.

**Celda de carga:** Equipo que se utiliza para la medición de cargas en la barra pulida, además de medir los ciclos por minuto (Spm) y recorrido.



**Anexo C.**

**IDENTIFICACION DE LOS PROBLEMAS EN LA BOMBA A PARTIR DE  
LA FORMAS DEL DINAGRAMA**

**Bomba con Interferencia por Gas.** La Figura 11 muestra una típica carta dinográfica de fondo cuando presenta interferencia por gas. Para entender por qué la carta tiene tal forma debemos ver en detalle los cambios de presión en el barril de la bomba durante el ciclo de bombeo.

Esta figura nos muestra lo que sucede en la bomba en puntos clave del ciclo de bombeo; Debemos recordar que la presión en el barril de la bomba debe ser mayor que la presión sobre el pistón para abrir la válvula viajera.

Para abrir la válvula fija, la presión en el barril de la bomba debe ser menor a la presión de entrada a la bomba, la presión en la tubería sobre el pistón de la bomba permanece constante durante todo el ciclo de bombeo; siempre y cuando exista un flujo continuo a superficie.

La entrada de presión a la bomba también permanece constante ya que ésta depende del nivel de fluido en el revestimiento. Cuando hay interferencia por gas una mezcla de líquido y gas libre están entrando en la bomba.

A continuación una explicación detallada de la figura 11 de cómo la carga en el pistón cambia durante la carrera ascendente y la descendente:

- En el punto A, el pistón comienza a subir. Sin embargo, antes que la válvula fija pueda abrir, la presión en el barril de la bomba debe ser menor que la entrada de presión a la bomba.

El pistón se mueve de A hasta B antes que la presión en el barril caiga lo suficiente para recoger completamente la carga del fluido y abra la válvula fija. Desde A hasta B el pistón está expandiendo el gas en la bomba. Si no hubiere gas en el barril de la bomba, la presión caería muy rápido y la válvula fija abriría tan pronto el pistón comience a subir. Pero, debido al gas libre en la bomba, una parte significativa del se desperdicia expandiendo gas en lugar de producir más líquido. Espaciando el pistón de la bomba más cerca del fondo de la bomba se puede minimizar ésta pérdida de recorrido debido a la expansión de gas.

- En el punto B, la carga del fluido es soportada completamente por el pistón, la válvula fija está abierta, y el fluido está entrando en el barril de la bomba. Esto continúa durante el resto del recorrido hasta el punto C.
- En el punto C, el pistón de la bomba ha alcanzado el tope de su recorrido y se acerca a una parada momentánea antes de empezar a descender.
- En el punto D, el pistón se está moviendo hacia abajo. La válvula viajera está cerrada ya que la presión sobre ella es mayor que la presión debajo. Debido

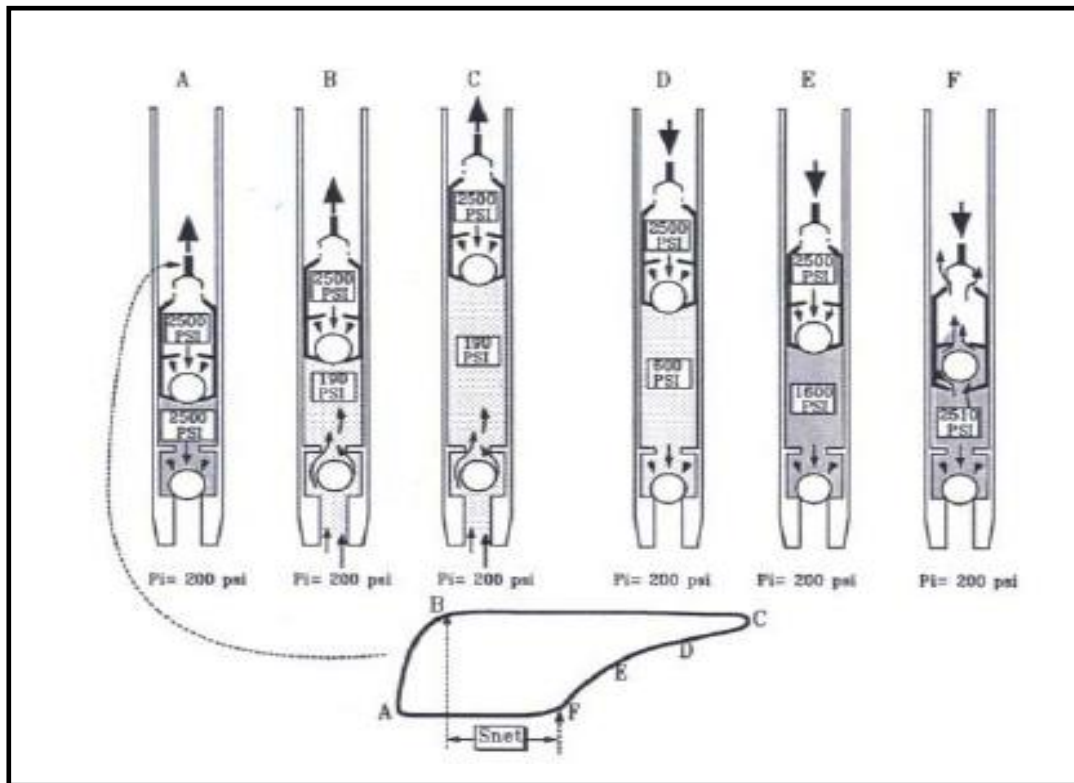
a que la presión del barril está aumentando, la carga en las varillas está bajando.

- En el punto E, el pistón ha bajado más y ha comprimido la mezcla de gas y líquido en la bomba a una presión aun mayor. Esto reduce aun más la carga de las varillas. Ya que la presión en este punto sigue siendo menor que la presión sobre el pistón, la válvula viajera continúa cerrada.
- En el punto F, el pistón ha bajado lo suficiente para comprimir el fluido en el barril a una presión mayor que la que está sobre el pistón. En este instante la válvula viajera abre y el fluido en el barril de la bomba es transferido a la tubería. La válvula viajera permanece abierta durante el resto de la carrera descendente.

Durante la carrera ascendente, el pistón tuvo que moverse desde A hasta B antes que la válvula fija abriera. El recorrido de A hasta B no produjo fluido alguno.

Similarmente, en la carrera descendente el pistón tuvo que moverse desde C hasta F antes que la válvula viajera abriera. De nuevo, esta parte del recorrido no produjo fluido, en consecuencia, el recorrido neto aquí es desde B hasta F como se ve en la Figura 11 ya que es la única parte del ciclo de bombeo donde se produce fluido. Note que debido a la interferencia del gas, el recorrido neto (de B a F) es pequeño comparado con el recorrido total (de A a C). Esto explica por qué la eficiencia del sistema es baja por interferencia por gas.

**Figura 11. Diagrama de bomba con interferencia por gas**

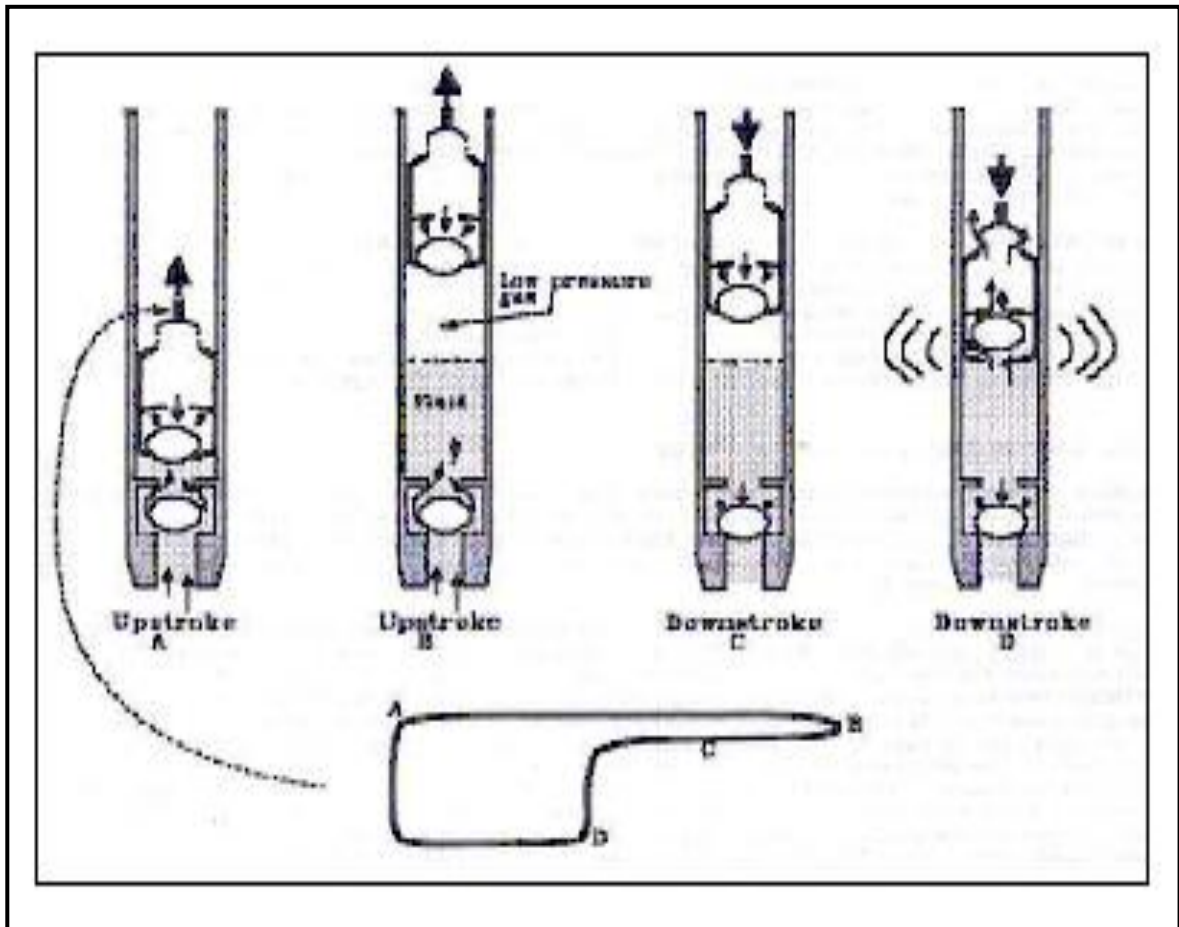


**Bomba con Golpe de Fluido.** La figura 12 muestra lo que sucede en la bomba cuando el pozo se achicó y golpea el fluido; En el punto A de la figura 12, el pistón comienza a subir, la válvula viajera cierra, y la válvula fija abre. Desde A hasta B, el fluido está entrando en el barril y el pistón soporta toda la carga del fluido. Sin embargo, debido a que no hay suficiente fluido para llenar el barril de la bomba, al final de la carrera ascendente la bomba no se ha llenado adecuadamente.

Al iniciar la carrera descendente, al no haber fluido para abrir la válvula viajera, esta permanece cerrada. La carga en el pistón permanece alta (excepto por una pequeña caída debido a la fricción varilla-tubería), hasta que el pistón encuentra el fluido dentro del barril, punto D\*. Luego desde D\* la válvula viajera abre y transfiere la carga al tubing quedando las varillas con carga mínima

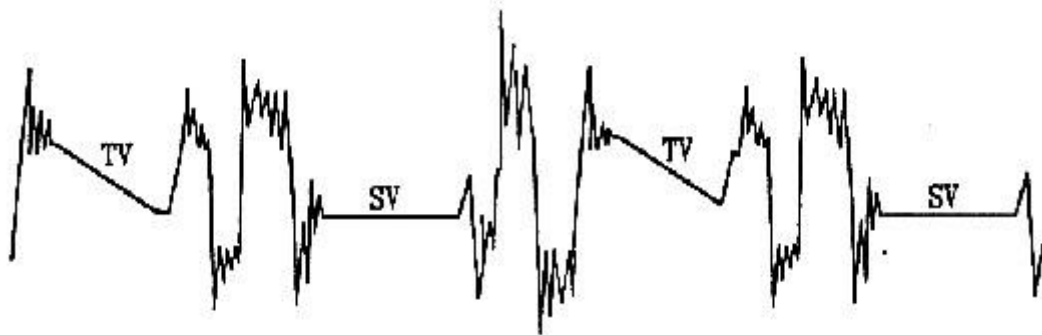
En este instante, la válvula viajera abre y el fluido se transfiere rápidamente del pistón a la tubería. Debido a que en este punto el pistón está viajando cerca de su máxima velocidad, el pistón, el barril de la bomba y las varillas están sujetos a un fuerte impacto como se ve en la Figura 12. Este impacto del pistón sobre el fluido a alta velocidad es la causa de muchos problemas asociados a golpe de fluido.

Figura 12. Diagrama de Bomba con Golpe de Fluido



**Bomba con Fuga en Válvula Viajera o el Pistón.** Una fuga por la válvula viajera o por el pistón son problemas muy comunes. La Figura 13 ayuda a explicar la forma de una carta dinagráfica de fondo que corresponde a una válvula viajera o un pistón con fuga. La principal característica de la forma de esta carta dinagráfica es lo redondeado en la mitad superior de la carta. Esto sucede porque la válvula viajera o el pistón no pueden tomar completamente la carga del fluido como se puede apreciar en una carta de bomba llena.

Al iniciar el pistón su carrera ascendente, toma lentamente la carga del fluido. Pero, debido a que el fluido se está fugando hacia el barril de la bomba, la presión en el barril de la bomba no cae lo suficientemente rápido para que el pistón recoja la carga completa del fluido.



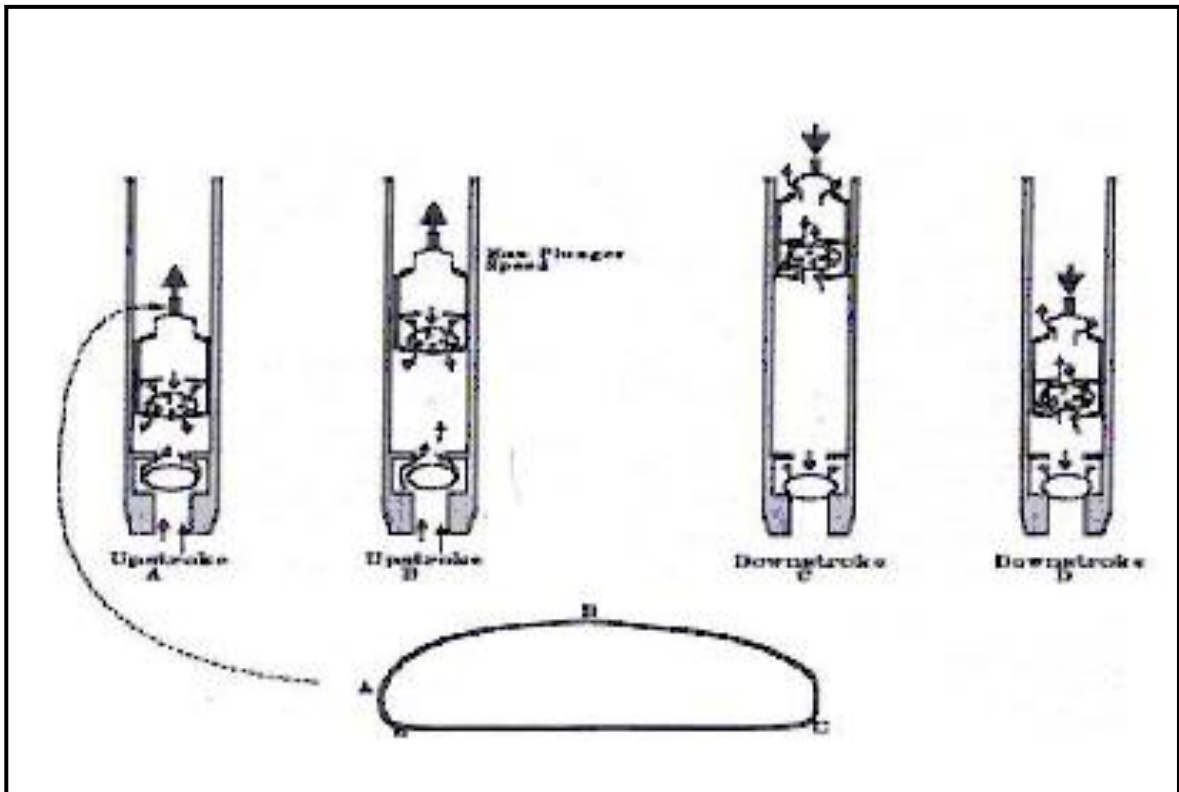
(b) Leaking Traveling Valve or Plunger

Dependiendo de la severidad de la fuga, el pistón podrá o no, recoger completamente la carga del fluido. La carga máxima de fluido en el pistón ocurre aproximadamente a la mitad de la carrera donde el pistón viaja a su máxima velocidad. Sin embargo, después de este punto, al bajar la velocidad del pistón, la fuga de fluido provoca una pérdida de carga en el pistón.

El paso del fluido del pistón hacia el barril, hace aumentar la presión dentro del barril de la bomba. Esto se traduce en menos y menos carga de fluido sobre el pistón a medida que su velocidad se reduce hacia el final de su recorrido.

En la carrera descendente, cuando la válvula viajera abre y la carga de fluido es transferida a la tubería, la fuga en la válvula viajera o el pistón no tiene efecto alguno. Por tanto, la carga del fluido durante la carrera descendente permanece constante e iguala la fuerza de flotación en el fondo de la sarta de varillas.

**Figura 13. Diagrama de Bomba con fuga en la válvula viajera o pistón**



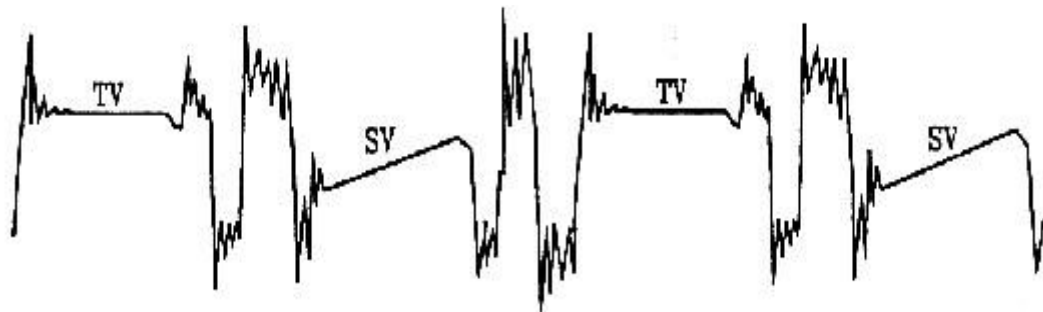
**Bomba con Fuga en la Válvula Fija.** Como muestra la Figura 14, la forma de una carta dinagráfica de fondo correspondiente a fuga en la válvula fija es una imagen de espejo de la forma de una carta para fuga en la válvula viajera o pistón.

Para comprender la forma de una fuga por válvula fija debemos recordar que una carta dinagráfica de fondo representa los cambios de carga contra posición justo sobre el pistón. En consecuencia, la forma de una fuga a través de la válvula fija muestra el efecto que tiene sobre la carga del pistón una fuga en la válvula fija.

En la carrera ascendente, al iniciar el pistón su movimiento hacia el punto A, la válvula viajera cierra y el pistón recoge la carga del fluido; simultáneamente la válvula fija abre permitiendo que el fluido entre en el barril de la bomba. Hasta este punto, la fuga en la válvula fija no tiene efecto sobre la carga en el pistón. Al iniciar la bomba su carrera descendente la válvula fija gastada tiene un impacto significativo sobre la carga del pistón y de allí la forma de la carta.

Si la válvula fija está en buenas condiciones, al iniciar el pistón su viaje descendente comprime el fluido en el barril de la bomba, esto hace que la presión en el barril de la bomba aumente rápidamente a una presión mayor que la

presente sobre el pistón; Esto abre la válvula viajera y transfiere la carga del fluido de las varillas a la tubería.



(c) Standing Valve Leak

Sin embargo, debido al desgaste de la válvula fija, la presión en el barril de la bomba no puede aumentar con suficiente rapidez ya que el fluido se está fugando a través de la válvula fija, entonces, para que la presión en el barril aumente con suficiente velocidad para liberar por completo la carga del fluido del pistón a la tubería, el pistón debe moverse rápido para sobreponerse a la fuga.

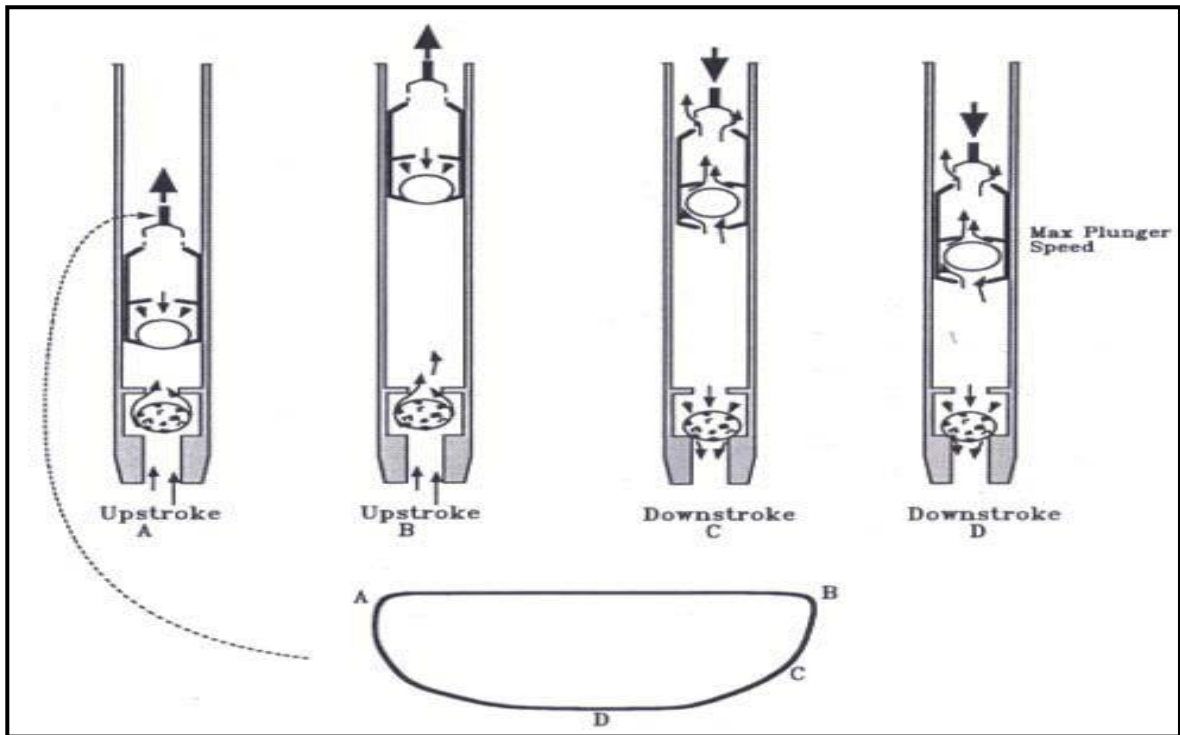
Dependiendo de la severidad de la fuga puede no ser posible liberar completamente la carga del fluido, la carga mínima de fluido sobre el pistón durante la carrera descendente ocurre aproximadamente a la mitad de la carrera cuando el pistón tiene su máxima velocidad.

Después de este punto mientras el pistón desacelera, la fuga de fluido provoca aumento de carga en el pistón al pasar el fluido por la válvula fija disminuye la presión dentro del barril de la bomba.

Esto resulta en un aumento cada vez mayor de la carga de fluido sobre el pistón mientras su velocidad disminuye hacia el final de la carrera descendente.

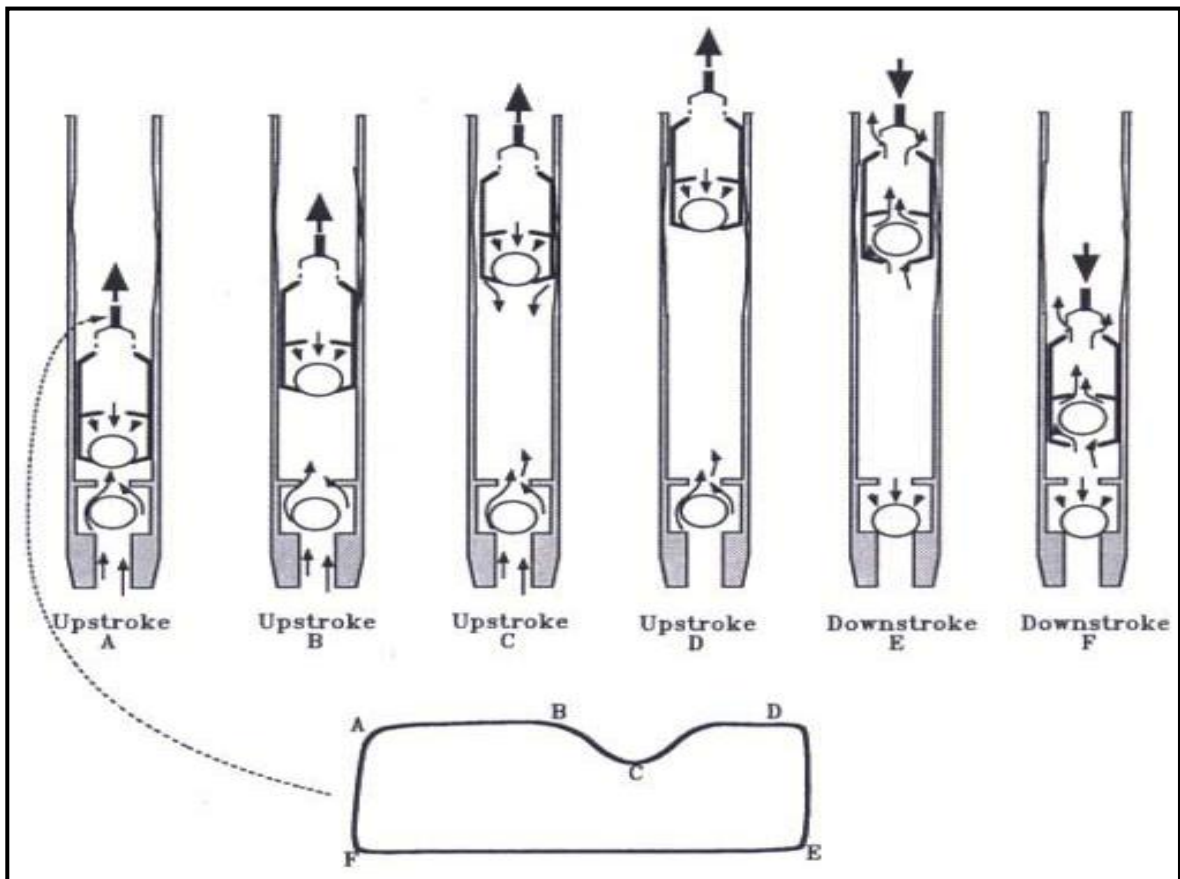


Figura 14. Diagrama de Bomba con Fuga en la Válvula Fija



**Barril de la Bomba Gastado o Partido.** Cuando el barril de la bomba está gastado o partido, la carta dinagráfica de fondo puede tener una forma como la de Figura 15, desde el principio de la carrera ascendente en el punto A hasta el punto gastado en el barril, las cargas son normales. Cuando el pistón atraviesa la sección gastada del barril en C, una fuga de líquido pasa el pistón causando una caída de carga hasta que el pistón pasa la sección gastada y se establece de nuevo un buen sello entre el pistón y el barril.

Figura 15. Diagrama Barril de la Bomba Gastado o Partido.



En la carrera descendente la válvula viajera permanece abierta, la carga del pistón parece normal, sin embargo, si el barril de la bomba está gastado, se puede ver un aumento de carga correspondiente al mismo punto; Esto puede suceder si la sección gastada causa suficiente pérdida de presión en el barril de la bomba para que la válvula viajera comience a tomar la carga del fluido.