



*UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO*

---

*FACULTAD DE INGENIERIA*

*INFORME:*

*"Componentes de bombeo mecánico su uso y  
aplicación en Chicontepepec"*

*PRESENTA:*

*César Vargas Delgado*

*PARA OBTENER EL TÍTULO EN INGENIERÍA PETROLERA*



*Director: Ing. Horacio Andrés Ortega Benavides*

*MÉXICO, D.F. CIUDAD UNIVERSITARIA*

*2012*

ÍNDICE

<u>INTRODUCCIÓN</u>	1
<u>BOMBEO MECÁNICO (BM)</u>	6
<b>1. <u>Sistema de Fondo.</u></b>	7
1.1. <u>Sarta de tubería.</u>	7
Separador de gas.	7
Zapata candado (niple de asiento mecánico).	8
Niple de copas (niple de sello).	9
Ancla empacador (Tubing in).	10
Ancla mecánica.	11
1.2. <u>Bombas de fondo.</u>	13
Bomba de tubería de producción.	13
Bomba de inserción.	13
Bombas de tubería de revestimiento.	13
Bomba de inserción subsuperficial de dos etapas.	15
Bomba subsuperficial API 25-125-RHBM-AC-18-5-4.	17
1.3. <u>Varillas de succión.</u>	19
Varilla De Succión Grado D 3/4", 7/8" y 1" X 25 ft.	19
Varillas de succión Weatherford de alta resistencia.	20
Cople liso y combinación API clase SM para varilla de succión.	22
<b>2. <u>Sistema Superficial.</u></b>	23
2.1. <u>Conexiones superficiales.</u>	23
Brida colgadora.	23
Preventor.	24
Tee de flujo.	25
Varilla pulida.	25
Estopero Preventor.	26
Grampa para varilla pulida.	26
2.2. <u>Unidades superficiales.</u>	28
Clasificación de las unidades.	29
UBM Convencional.	29



UBM Aerobalanceada.	29
UBM Mark II.	29
UBM Bajo perfil.	30
UBM Rotaflex.	31
UBM Tieben.	31
UBM Mini V y VSH2.	34
2.3. <u>Registro de nivel y dinagramas.</u>	36
El registro de nivel o ecómetro.	36
Pistola compacta de gas.	37
Pistola de disparo remoto.	37
Toma de nivel de fluido con el Well Analyzer.	38
Los registros de dinagramas o cartas dinamometricas.	41
Well Analyzer	41
Transductor de carga.	41
Principio de operación.	42
Ciclo de bombeo.	43
Toma de Dinamómetro con PRT ( <i>Polished Rod Transducer</i> )	47
Toma de Dinamómetro con Celda de Carga ( <i>Horseshoe Load Cell</i> )	48
<b>3. <u>Diseño de BM.</u></b>	51
3.1. <u>Selección del tamaño de la bomba.</u>	51
3.2. <u>Diseño de la sarta de varillas.</u>	52
Carga Total de la Varilla Pulida.	53
Carrera efectiva del embolo.	55
Elongación de la tubería ( $e_t$ ) y la varilla ( $e_p$ )	55
Sobre carrera del embolo	57
3.3. <u>Software Rodstar.</u>	59
Ventanas básicas de Rodstar.	59
Ejemplo.	64
<b>4. <u>Conclusiones</u></b>	74



ÍNDICE DE IMÁGENES

I.1	Sistema integral de producción	4
I.2	Sistema de bombeo mecánico	6
1.1	Separadores de gas integral	7
1.2	Separadores de gas Poor Boy	8
1.3	Zapata candado	9
1.4	Niple de copas	9
1.5	Ancla Tubing in	10
1.6	Posición de asentamiento del ancla Tubing in	11
1.7	Ancla mecánica	11
1.8	Bombas subsuperficiales	13
1.9	Descripción API para bombas subsuperficiales	14
1.10	Bomba de dos etapas	16
1.11	Bomba de doble anclaje	17
2.1	Conjunto de conexiones superficiales de BM	23
2.2	Brida colgadora	24
2.3	Preventor	25
2.4	Tee de flujo	25
2.5	Varilla pulida	26
2.6	Estopero preventor	26
2.7	Grampas	27
2.8	Unidades de bombeo mecánico	28
2.9	Clasificación de la unidad	29
2.10	Clasificación de la unidad Tieben	31
2.11	Sistema operativo del Tieben	33
2.12	Sistema operativo de la unidad Hidroneumática	35
2.13	Pistola de disparo manual	37
2.14	Pistola de disparo remoto y transductor de presión	38
2.15	TWM adquisición de datos	38
2.16	TWM nuevo archivo de pozo	39
2.17	TWM prueba de ecómetro	40
2.18	Analizador (Well Analyzer)	41
2.19	Transductor de carga	42
2.20	Ciclo de bombeo	43
2.21	Patrón típico de cargas	44
2.22	Dinagrama de fondo y superficie ideal	45
2.23	Referencia básica de dinagramas de fondo y superficie	46
2.24	TWM prueba de dinagrama y de válvulas	50



---

3.1	Barra de herramientas de Rodstar	59
3.2	Cuadros básicos: nuevo, abrir y guardar	59
3.3	Ventana de configuración	59
3.4	Ventana de información de pozo	60
3.5	Ventana de información de producción	60
3.6	Ventana de información de bomba y tubería	60
3.7	Ventana de sarta de varilla	61
3.8	Ventana de información de desviación	61
3.9	Ventana de información de unidad de bombeo	61
3.10	Venta de información del motor	62
3.11	Cuadros de desplazamiento	62
3.12	Cuadros de ejecutar y reporte	62
3.13	Ventana de reporte	62
3.14	Ventana de envío de correo	63
3.15	Cuadro de imprimir	63
3.16	Ventana de exportación	63
3.17	Ventana de ayuda	63
3.18	Estado mecánico inicial	64
3.19	Ventana de información de pozo	65
3.20	Ventana de información de producción	65
3.21	Ventana de información de bomba y tubería	66
3.22	Ventana de sarta de varilla	66
3.23	Ventana de información de desviación	67
3.24	Vista 3D de desviación	67
3.25	Ventana de información de unidad de bombeo	68
3.26	Ventana de información del motor	68
3.27	Reporte de Rodstar (preliminar)	69
3.28	Carta dinamométrica y torque (preliminar)	69
3.29	Graficas de resultados (preliminar)	70
3.30	Ingreso manual de la sarta de varilla	70
3.31	Estado mecánico (final)	71
3.32	Reporte de Rodstar (final)	72
3.33	Carta dinamométrica y torque (final)	72
3.34	Graficas de resultados (final)	73



ÍNDICE DE TABLAS

I.1	Clasificación de los yacimientos	2
1.1	Especificaciones del separador	7
1.2	Especificaciones de la zapata candado	9
1.3	Especificaciones del niple de copas	9
1.4	Especificaciones del ancla Tubing in	10
1.5	Aplicaciones de materiales	15
1.6	Composición y características de la varilla grado D	19
1.7	Composición y características de varillas T66/XD y EL	21
1.8	Características de los coples	22
2.1	Dimensión de la unidad de bajo perfil	30
2.2	Dimensión de la unidad tieben	32
2.3	Dimensión de la unidad hidroneumática	35
3.1	Longitud de la sarta de varillas	52



## I. INTRODUCCIÓN

En la industria petrolera, la explotación de los pozos es de suma importancia ya que representan el medio de obtención de hidrocarburos desde el yacimiento hasta la superficie, lo cual reviste a su vez un interés de aspecto económico para el país.

Por lo anterior, existe una preocupación de los ingenieros petroleros para que la producción de dichos pozos se efectúe en forma óptima; es decir, que el pozo produzca a un gasto tal que la vida productiva de éste sea lo más prolongada posible, claro está que sin dejar de importar el aspecto económico.

Además debe tenerse en cuenta que se debe producir todo el volumen posible de hidrocarburos de los pozos, esto es, que el volumen de aceite remanente final sea el menor posible.

El comportamiento de la producción de un pozo es función de diversas variables:

$$q = F(P_{\text{Yacimiento}}, D_{\text{Tubería de producción}}, D_{\text{Estrangulador}}, D_{\text{Línea de descarga}} \dots)$$

Una modificación en cualquiera de estas variables causa un cambio en el comportamiento del pozo. Cuando se diseña un pozo nuevo, o cuando se analiza uno ya existente, es necesario encontrar la combinación de valores que permitan optimizar el comportamiento del pozo.

Una práctica común es usar el análisis nodal como un método de “optimización” para decidir el diámetro de tubería, presión en la cabeza del pozo, diámetro del estrangulador o si se requiere un sistema de levantamiento artificial.

Dentro de los métodos artificiales se encuentran los siguientes: bombeo mecánico, cavidades progresivas, bombeo neumático, electro sumergible, hidráulico, bombeo tipo jet, entre otros.

El método más utilizado en el área de Chicontepec para el proyecto de Aceite Terciario del Golfo es el de Bombeo mecánico, para este trabajo se mostraran los distintos componentes que conforman este sistema artificial de producción, sus características, aplicación y uso. Estos componentes varían según el pozo y el yacimiento.



I.1 Descripción de un pozo fluvente.

Pozo fluvente puede definirse desde el punto de vista de producción como aquel que es capaz de vencer las caídas de presión a través del medio poroso, tuberías verticales, línea de descarga, estrangulador y el separador, con la energía propia del yacimiento.

Se debe tener conocimiento de los tipos de yacimiento del cual el pozo está produciendo.

TABLA I.1 CLASIFICACIÓN DE LOS YACIMIENTOS

tipo Características	Yacimiento de aceite y gas		Yacimiento de Gas y Condensado		
	De bajo encogimiento (Aceite Negro)	De alto Encogimiento (Aceite Volatil)	Gas y condensado	Gas humedo	Gas seco
Diagrama de Fases					
Temperatura	$T_y < T_c$	$T_c \geq T_y$	$T_c < T_y < \text{Cricondentherma}$	$\text{Cricondentherma} < T_y$	$\text{Cricondentherma} < T_y$
Punto critico	P.C a la derecha de la Cricondentherma	P.C cercano a la Cricondentherma	P.C a la izquierda de la Cricondentherma	P.C a la izquierda de la Cricondentherma	P.C a la izquierda de la Cricondentherma
Estado en el yacimiento	Si $P > P_b @ T_y$ yacimiento Bajosaturado [1 fase] Si $P < P_b @ T_y$ yacimiento Saturado [2 fases]	Si $P > P_b @ T_y$ yacimiento Bajosaturado [1 fase] Si $P < P_b @ T_y$ yacimiento Saturado [2 fases]	Si $P > P_b @ T_y$ yacimiento Bajo saturado [1 fase] Si $P < P_b @ T_y$ yacimiento Saturado [2 fases]	$P_y$ nunca entra a la región de dos fases, en el yacimiento siempre esta en estado gaseoso	$P_y$ nunca entra a la región de dos fases. En el yacimiento siempre se esta en estado gaseoso
Curvas de calidad	Muy pegado a la línea de Punto de rocío	Mas separado de la Línea de rocío	Tienden a pegarse a la Línea de puntos de burbuja	Mas pegados a la línea de puntos de burbuja	Casi pegados a la línea de puntos de burbuja
Singularidades	_____	_____	Fenómenos retrogados	_____	_____
Producción en superficie	Dentro de la región (2 fases)	Dentro de la región (2 fases)	Dentro de la región (2 fases)	Dentro de la región (2 fases)	Dentro de la región (1 fase)
Composición	Grandes cantidades de Pesados en la mezcla original	Grandes cantidades de Intermedios en la mezcla original	Regulares cantidades de Intermedios en la mezcla original	Pequeñas cantidades De intermedios en la Mezcla original	Casi puros componentes ligeros en la mezcla original
RGa [ $m^3/m^3$ ]	< 200	200 --- 1,000	500 --- 15,000	10,000 --- 20, 000	< 20,000
Densidad liquido [ $g/cm^3$ ]	>0.85	0.85 --- 0.75	0.80 --- 0.75	0.80 --- 0.75	> 0.75

Para poder predecir correctamente la vida fluvente de un pozo, deben conocerse factores tales como: porcentaje de agua, relación gas – aceite, declinación de la presión de fondo, índice de productividad, terminación del pozo, tipos y propiedades de los fluidos producidos entre otros. La energía para mantener fluviendo un pozo, (sin sistema artificial de producción) es la presión propia del yacimiento.

El diámetro de tubería de producción afecta la presión de fondo fluviendo requerida para un conjunto particular de condiciones de un pozo. En general, la presión de fondo fluviendo requerida disminuirá al reducirse el gasto de flujo para un diámetro de tubería de producción constante. Sin embargo, la velocidad de flujo deberá ser lo suficientemente grande para que los líquidos no resbalen hacia el fondo de la sarta de producción.





Para predecir el gasto máximo posible de un pozo fluyente es necesario utilizar tanto curvas de gradiente de presión en tubería vertical como horizontal (o correlaciones de flujo multifásico).

En la mayoría de los casos se debe suponer una presión en la cabeza del pozo (corriente arriba). Sin embargo, en la práctica, la longitud y diámetro de la línea de descarga y la presión de separación controlan dicha presión.

Para el estudio del comportamiento de un pozo fluyente es necesario analizarlo como un sistema integral constituido por:

- Comportamiento del flujo de entrada, es decir, el flujo de aceite, agua y gas de la formación hacia el fondo del pozo, se representa en cuanto a la producción de líquidos se refiere, por el índice de productividad (IP) del pozo o en términos generales por el IPR.
- Comportamiento del flujo a través de la tubería vertical, implica pérdidas de presión en ésta debidas al flujo multifásico.
- Comportamiento del flujo a través del estrangulador superficial.
- Comportamiento del flujo a través de la línea de descarga hasta el separador.

Después de los separadores, desde que las fases se han separado, se presentan únicamente problemas de flujo en una sola fase. Por lo que para pozos fluyentes es necesario considerar el flujo hasta el separador porque es la última restricción posible al flujo que afecta el comportamiento del pozo.



## I.2 Componentes en un sistema de producción.

El Sistema integral de producción es un conjunto de elementos que transporta los fluidos del yacimiento hacia la superficie, los separa en aceite, gas y agua y los envía a instalaciones para su almacenamiento y comercialización.

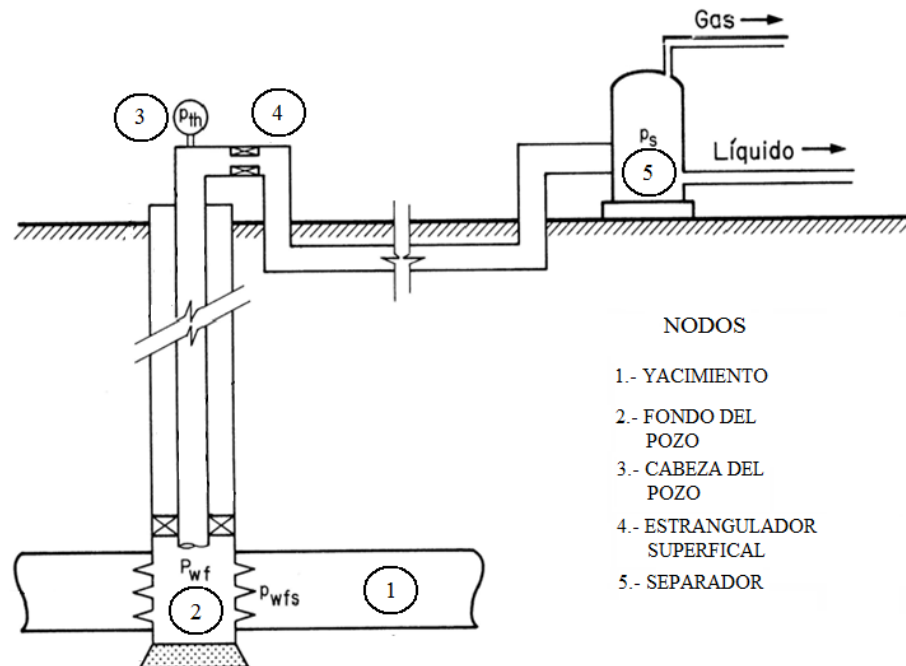


FIGURA I.1 SISTEMA INTEGRAL DE PRODUCCIÓN

**Yacimiento:** Porción de una trampa geológica que contiene hidrocarburos, la cual se comporta como un sistema interconectado hidráulicamente.

**Pozo:** Es un agujero que se hace a través de la roca hasta llegar al yacimiento y en el cual se instalan tuberías y otros elementos con el fin de establecer un flujo de fluidos controlado desde el yacimiento hasta la superficie.

**Tubería de descarga:** Conducto de acero cuya finalidad es transportar la mezcla de hidrocarburos y agua desde la cabeza del pozo hasta la batería de separación.

**Estrangulador:** Aditamento instalado en pozos productores para establecer una restricción al flujo de fluidos y así obtener el gasto deseado.

**Separadores:** Son equipos utilizados para separar la mezcla de aceite, gas y agua que proviene del pozo; pueden ser verticales, horizontales o esféricos.

**Tanques de almacenamiento:** Son recipientes metálicos de gran capacidad para almacenar la producción de hidrocarburos; pueden ser instalados en tierra firme o pueden ser buquetanques.

### I.3 Sistemas de levantamiento artificial.

Los pozos productores con Sistema Artificial de Producción (SAP), son aquellos que necesitan adicionarles algún tipo de energía ajena al yacimiento para que pueda aportar fluidos desde el fondo del pozo hasta la superficie.

Así mismo, cuando un pozo llega al fin de su vida de flujo natural, es decir, si la presión de fondo fluyendo a la cual se está produciendo, llega a ser tan baja que el pozo no pueda producir un gasto deseado o peor aún, que no produzca nada, entonces nos veremos en la necesidad de instalar algún método de producción artificial.

Por otra parte, debe tenerse en cuenta, el que un pozo sea capaz de fluir naturalmente no significa que no deba considerarse algún tipo de sistema artificial para un tiempo determinado.

El diseño del método artificial de producción depende además de las condiciones de producción. Las condiciones severas del clima también afectan la elección del método. Calor o frío extremos, fuertes vientos, polvo, o nieve, pueden limitar la elección del método artificial. La corrosión es un factor muy importante en la selección de los métodos artificiales, donde la arena, la sal, las parafinas y el contenido de finos son incluidos. La profundidad del intervalo productor y la desviación de los pozos deben de ser considerados para el adecuado potencial del método en el futuro. RGA y/o la relación aceite-agua pueden limitar el tipo de aplicación del método.

Los objetivos de producción a largo o corto plazo son dependientes de las características del yacimiento. El diseño y selección del sistema artificial deben reflejar esos objetivos.

Pueden ser aplicables más de un método artificial a un pozo o grupo de pozos dados. Dependiendo de las consideraciones económicas, el método de levantamiento deberá satisfacer o mejorar los resultados esperados.

Dentro de los métodos artificiales se encuentran los siguientes:

- Bombeo mecánico
- Bombeo de cavidades progresivas
- Bombeo neumático
- Bombeo electro sumergible
- Bombeo hidráulico
- Embolo viajero
- otros métodos



### **BOMBEO MECÁNICO (BM)**

El bombeo mecánico es el método más común, donde el movimiento es transmitido desde la superficie hasta la bomba por medio de una sarta de varillas acopladas colocadas dentro de la tubería de producción, y es el sistema más utilizado ya que no requiere de mucha infraestructura cuenta con una gran variedad de herramientas y accesorios que nos permiten manejar tanto las condiciones superficiales como las subsuperficiales, prácticamente puede ser utilizado en cualquier pozo, en la figura I.2 se muestra este sistema.

Los pozos que están operando con este sistema en Chicontepec tienen las siguientes características.

- a) Profundidades van de 800 m a los 2500 m
- b) Fluidos de 18 API a 35 API
- c) Pozos verticales y horizontales
- d) Producciones de 5 bpd hasta 300 bpd
- e) Maneja altos volúmenes de gas 55 mpcd
- f) Se puede instalar en espacios muy reducidos
- g) Pozos de exploración que tienen poca infraestructura
- h) Se utilizan motores de combustión interna o eléctrica

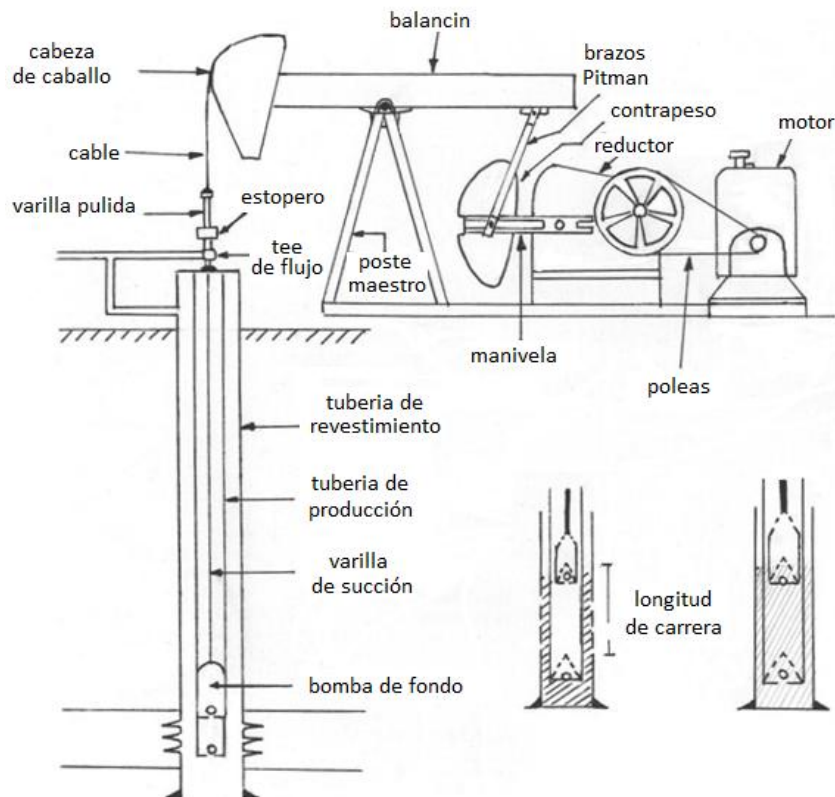


FIGURA I.2 SISTEMA DE BOMBEO MECÁNICO

1. **Sistema de Fondo.**

1.1. Sarta de tubería.

La sarta de tubería para un sistema de bombeo mecánico está compuesta generalmente por un separador de gas, anclaje de la bomba subsuperficial y ancla mecánica. El sistema puede variar y/o carecer de alguno de estos elementos según las condiciones del pozo.

**Separador de gas.** El separador de gas se coloca cuando el diseño nos muestra una zona de disparos por debajo de la zapata candado, existen varios tipos de separadores pero los que actualmente se ocupan son dos, el separador integral y el separador poor boy.

- El separador de gas integral, fue diseñado para proporcionar un método que permite separar el gas en solución y migrar por el espacio anular, previniendo el bloqueo de gas en la bomba del pozo, incrementando así la eficiencia de la bomba y la producción. La configuración es muy sencilla ya que consiste en una cámara y un tubo el cual en la parte inferior toma el fluido; con unos orificios en la parte superior lo que nos permite la entrada del fluido al separador, con esto permite alcanzar una velocidad de caída preestablecida, que permite disponer de tiempo para que el gas en solución emigre al espacio anular, como se observa en la figura 1.1.

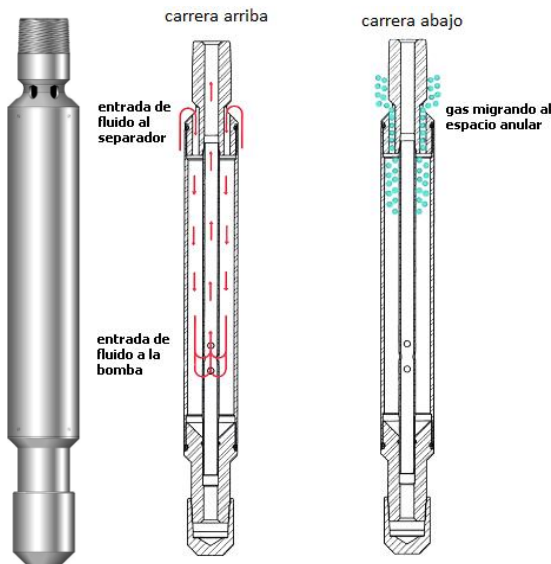


FIGURA 1.1 SEPARADOR DE GAS INTEGRAL

TABLA 1.1 ESPECIFICACIONES DEL SEPARADOR

TR O.D. (in)	O.D. (in)	Longitud (in)	Conexión (in)	Producción Diaria BPD
4 ½	3.25	89.4	2-3/8 EU	126
5 ½	4.25	89.4	2-7/8 EU	251
7	5.25	89.4	3-1/2 EU	377



- Separador de gas poor boy, diseñada originalmente para trabajar en el área de succión de las bombas reciprocantes para bombeo mecánico. Permite separar mediante diferencia de densidades los gases de los líquidos para asegurar un ingreso a la bomba de fluidos líquidos, lográndose obtener mayores eficiencias de bombeo y menor daño a la bomba al evitar problemas de gasificación. Su configuración es la siguiente y se muestra en la figura 1.2.

- Reducción concéntrica de 2" X 1-1/4"Ø, roscas NPT
- Cople para tubería Separación (1-1/4"Ø)
- Tramo de tubería separación (1-1/4"Ø X 20 pies)
- Cople para TP 2-7/8"
- Niple perforado de 2-7/8"Ø J-55 para TP (longitudes de 6, 8, 12 pies)
- Tramo TP 2-7/8"Ø (1 ó 2 pz, largo)
- Bull Plug o Tapón Macho XH para TP 2-7/8"Ø

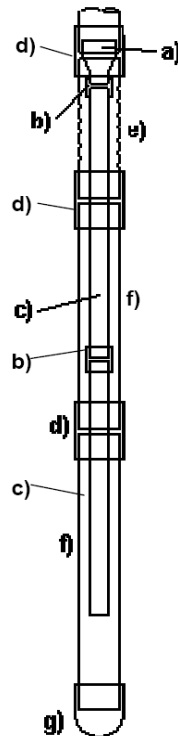


FIGURA 1.2 SEPARADOR DE GAS POOR BOY

**Zapata candado (niple de asiento mecánico).** Se utiliza para una sujeción de traba inferior mecánica y sirve como una válvula fija tipo recuperable en las bombas de tubería de producción, y como un ancla mecánica inferior para las bombas de inserción. Disponibles para ser utilizadas en bombas API RHBM así como API RWBM.

TABLA 1.2 ESPECIFICACIONES DE LA ZAPATA CANDADO

Diámetro de la TP (in) y tipo de rosca	D.I. (in)	D.E. (in)	Designación API.	Largo (in)
2 3/8 EUE 8 Rd (2")	1.375	2.594	N12-20	12
2 7/8 EUE 8 Rd (2 1/2")	1.750	3.094	N12-25	12
3 1/2 EUE 8 Rd (3")	2.250	3.750	N12-30	12

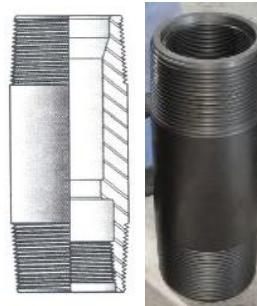


FIGURA 1.3 ZAPATA CANDADO

**Niple de copas (niple de sello).** Se utiliza para realizar una sujeción de tipo copas, la cual sella y retiene las bombas de inserción en la parte superior o inferior con copas de fricción. Se recomienda para pozos con bajas presiones de fondo o crudos de alta gravedad. Se mantienen estrechas tolerancias de los componentes para asegurar la compatibilidad con los niples de asiento de API. Disponibles para ser utilizadas en bombas API RHBM AC así como API RWBM AC.

TABLA 1.3 ESPECIFICACIONES DEL NIPLE DE COPAS

Diámetro de la TP (in) y tipo de rosca	D.I. (in)	D.E. (in)	Designación API.	Largo (in)
2 3/8 EUE 8 Rd (2")	1.780	2.594	N11-20	18
2 7/8 EUE 8 Rd (2 1/2")	2.280	3.094	N11-25	18
3 1/2 EUE 8 Rd (3")	2.780	3.750	N11-30	18

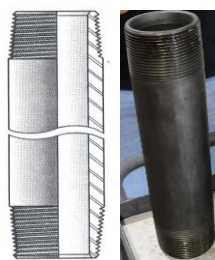


FIGURA 1.4 NIPLE DE COPAS



**Ancla empacador (Tubing in).** El ancla para bomba de inserción es una herramienta de producción que ha probado su efectividad y utilidad para anclar y empaque bombas en pozos donde no se cuenta con un niple de asiento (zapata candado), esta es colocada en la bomba en lugar de la nariz de anclaje, esta herramienta se ve en la figura 1.5 y se describe su anclaje en la figura 1.6.

Características:

- Acción vertical completa: asentamiento, empaque, liberación y recolocación sin necesidad de rotación (auto colocación).
- El diseño de auto-aseguramiento permite asentar y liberar el empaque y las cuñas sin peligro de pre-asentamiento. El cono separado es el que asegura a la tubería de producción al expandirse mediante un anillo de acero de aleación otorgándole la fuerza característica de un cono sólido.
- Elemento de empaque de compresión mejorado, está unido a un inserto roscado de acero para eliminar el daño del empaque cuando el ancla es asentada, liberada o recolocada.
- Posicionamiento automático, se posiciona automáticamente para recolocación cuando es liberada, lo que permite ser asentada más arriba o abajo sin tener que sacarla del pozo.

TABLA 1.4 ESPECIFICACIONES DEL ANCLA TUBING IN

Diámetro TP (in)	Peso TP (lb/pie)	D.E. (in)	D.I. (in)	Conexión inferior caja	Conexión superior piñon
2-3/8"	4.70	1.850	0.690	1" NPT	1.4704"
2-7/8"	6.50	2.290	1.130	1-1/4" NPT	1.8024"
3-1/2"	9.30	2.844	1.500	1-1/2" NPT	2.1095"



FIGURA 1.5 ANCLA TUBING IN



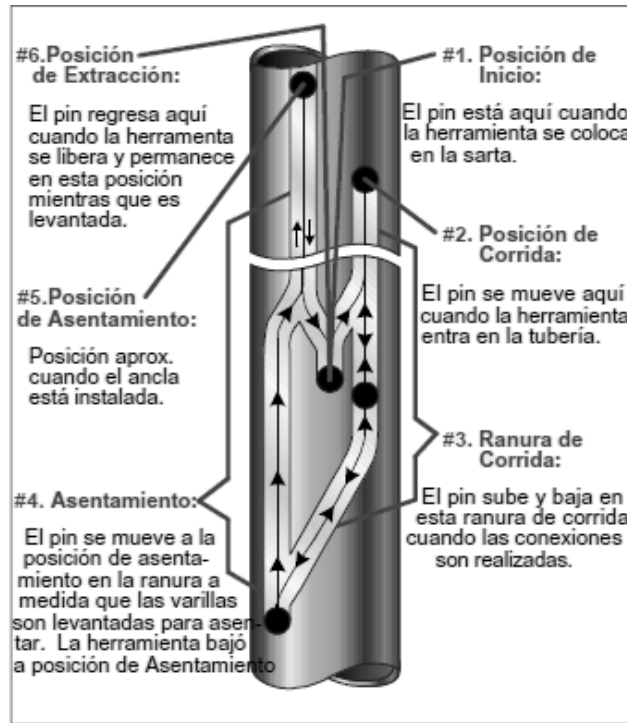


FIGURA 1.6 POSICIÓN DE ASENTAMIENTO DEL ANCLA TUBING IN

**Ancla mecánica.** Es un mecanismo que va alojado a determinada profundidad del pozo en la sarta de tubería de producción, ligeramente por arriba de la bomba (se ancla entre la TP y la TR pero sin impedir la comunicación a la largo del espacio anular) e impide el movimiento de T.P. durante el ciclo de bombeo, aumentando así la eficiencia de la bomba y disminuyendo el desgaste de la varilla, de la tubería de producción y la de revestimiento.



FIGURA 1.7 ANCLA MECÁNICA



El ancla mecánica es una herramienta de diseño robusto, de operación segura y confiable debido a que tiene un mecanismo de operación sencillo, es capaz de soportar los movimientos compuestos provocados por extensiones por debajo del ancla (tubos de cola).

Es un componente importante en pozos donde el sistema de extracción, como bombeo mecánico, induce a la TP a un movimiento que es necesario evitar.

Este movimiento quita eficiencia al sistema de extracción por pérdida de carrera efectiva, incrementa los problemas de rozamiento entre varilla y TP, debido a la diferencia de presión existente entre la parte interior y exterior de la TP.

Características.

- Doble agarre mecánico que le permite permanecer con peso, tensión o neutro.
- Fija girando a la derecha y libra a la izquierda.
- Sistema de librado de emergencia por corte de pernos calibrados
- Block de arrastre que garantiza la operación de fijado y librado.
- Mínimo costo de mantenimiento.
- Fácil reparación
- Conexión inferior integral, resistente a los movimientos por debajo del ancla.

Operación de anclaje.

Determinar el estiramiento necesario, bajar el ancla de TP hasta la profundidad deseada, girar la TP a la derecha, de 6 a 10 vueltas hasta notar un incremento en el torque. Manteniendo el torque aplicar peso y tensión con la TP hasta lograr el valor de estiramiento calculado.

Operación de librado.

Quitar la tensión a la TP hasta lograr el punto neutro a la profundidad del ancla, girar la TP a la izquierda de 8 a 10 vueltas hasta verificar el librado.

Librado de emergencia.

En el caso de no poder librar el ancla de manera convencional se aplica tensión a la profundidad de la herramienta, hasta el valor de corte de los pernos fijados previamente. El sistema de librado de emergencia se arma con un valor de corte de 10 000 lbs. Mayor que la tensión de trabajo que se dejará en el pozo.

## 1.2. Bombas de fondo.

Las bombas son el componente básico de un sistema artificial de bombeo mecánico, estas tienen una gran variedad en tamaños, materiales y componentes, así como infinidad de combinaciones que se pueden realizar para adecuarlo a las características de cada pozo, se observan algunas en la figura 1.8.

Su función es admitir el fluido de la formación al interior de la sarta de producción y elevar el fluido admitido hasta la superficie.

Las bombas sub-superficiales movidas por varillas se dividen en tres tipos: bombas de tubería de producción, bombas de inserción y bombas de tubería de revestimiento.



FIGURA 1.8 BOMBAS SUBSUPERFICIALES

**Bomba de tubería de producción.** Estas bombas por ser de un diámetro mayor pueden manejar grandes volúmenes de líquidos que las bombas de inserción, sin embargo, la carga de fluido sobre la unidad de bombeo es mayor.

La desventaja de estas bombas estriba en que el barril forma parte de la misma tubería de producción, para efectuar alguna reparación o reposición de partes, es necesario extraer la tubería de producción completa, lo que significa una operación más complicada.

Estas bombas operan mejor en pozos que tienen alto nivel de fluidos y donde la verticalidad del mismo haya sido comprobada.

**Bomba de inserción.** Se les denomina así porque el conjunto total de la bomba (barril, émbolo y válvulas) que va conectado en el extremo inferior de la sarta de varillas se inserta en un niple de asiento (zapata candado) instalado en la tubería de producción. Esto representa una ventaja sobre las bombas de tubería de producción, ya que para hacer una sustitución o reparación de la bomba, no es necesario extraer toda la tubería de producción. La bomba se desancla y se extrae con la sarta de varillas.

**Bombas de tubería de revestimiento.** Este tipo de bombas son sólo una versión más grande de las bombas de tubería de producción.



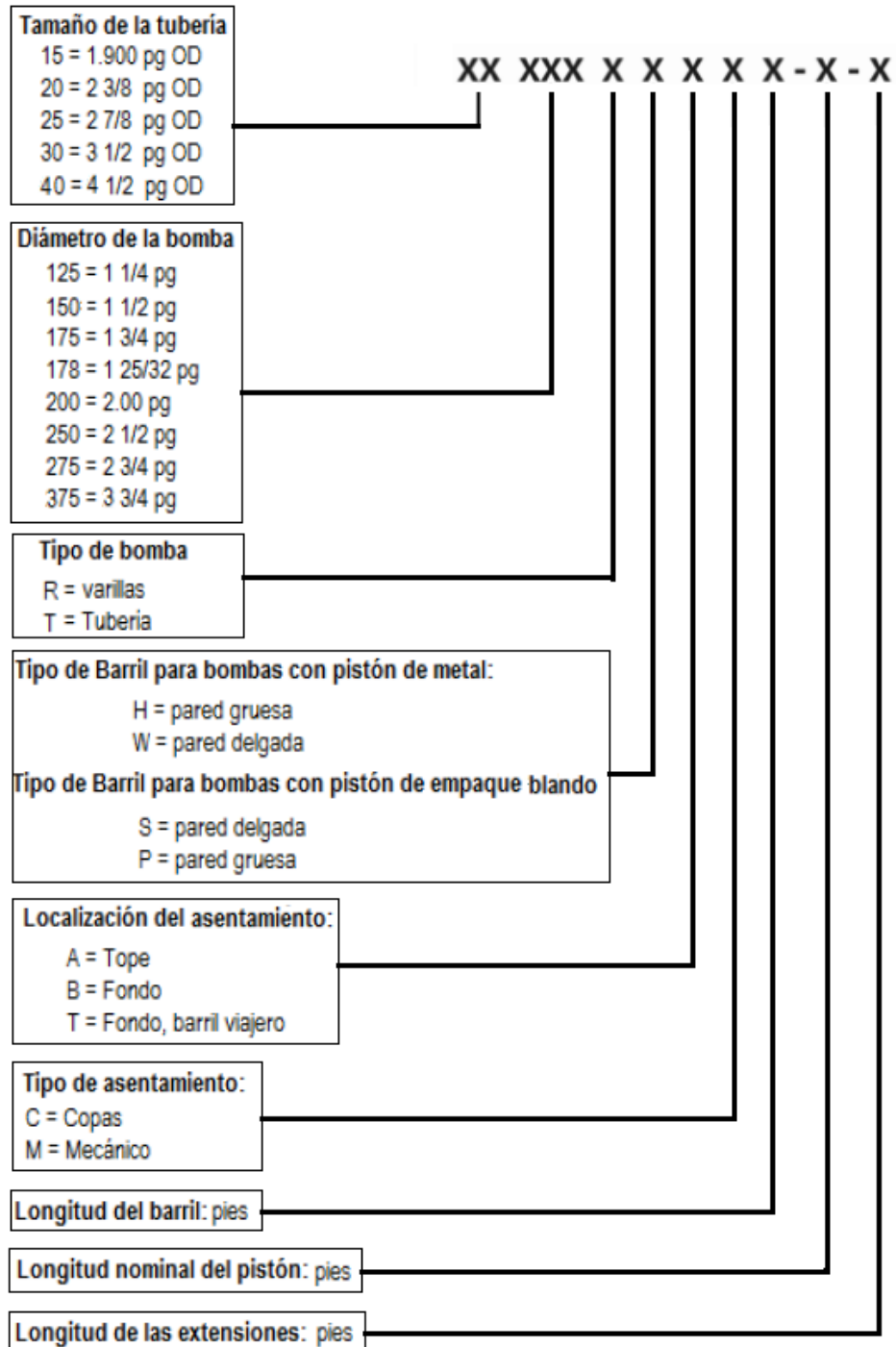


FIGURA 1.9 DESCRIPCIÓN API PARA BOMBAS SUBSUPERFICIALES

TABLA 1.5 APLICACIÓN DE MATERIALES

Material	Servicio					
	Abrasión				Corrosión	
	Bajo	Moderado	Severo	Ninguno	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S
Acero regular	X			X	X	
Acero cementado	X	X		X	X	
Acero regular (D.I. cromado)			X	X	X	
Bronce	X			X		X
Bronce (D.I. cromado)		X		X		X
Acero Tri-Carb			X	X	X	X
Bronce Tri-Carb			X	X	X	X

Como se mencionó antes existe una gran variedad de bombas con distintos componentes y materiales, para efecto de ejemplo se describen dos de las más usadas en el campo de Chicontepec.

**Bomba de inserción subsuperficial de dos etapas (Hollow-Valve) con empaque superior de sello.** La Bomba de Varilla Hueca “Hollow Valve” de Dos Etapas y empaque de sello superior, es una bomba de inserción del tipo estacionaria con barril de pared delgada “RW” o pared gruesa “RH”, utiliza anclaje inferior tipo mecánico o de copas y un dispositivo de sello en su parte superior para evitar que se pegue por arena dentro de la TP, diseñada para usarse en pozos con alta relación gas/aceite y condiciones moderadas de producción de arena.

La bomba está diseñada con un mecanismo de dos etapas, compuesto por un conector provisto de cuatro orificios simétricos unido a la parte superior del pistón y a la parte inferior de una varilla hueca la cual esta comunicada a una válvula de carga (bola y asiento) en su parte superior para evitar candado de gas y que en su posición estática cierra por gravedad evitando que la arena que está en suspensión entre dentro de la bomba; de manera conjunta su diseño incorpora otro mecanismo en la parte superior externa compuesto por un elemento sellante de Viton (sand top protector packer) que se activa contra el diámetro interno de la TP para evitar que se pegue la bomba por arena en el anular TP – Barril de la bomba; este dispositivo se activa al sentar la bomba en la zapata candado simplemente por la acción del peso de la sarta de varillas; razón por la cual no se requiere la utilización del tubo barril en el aparejo de fondo, se observa en la figura 1.10 como esta compuesta.





FIGURA 1.10 BOMBA DE DOS ETAPAS

Su diseño con anclaje inferior mecánico utiliza un sello de bronce en un cuerpo provisto de cuatro patas terminadas en ángulos-relieve (nariz de anclaje) que ayudan a soportar el conjunto de sello a la zapata candado; esta zapata incorpora en su diseño superior interno una superficie pulida y cónica en donde sella metal-metal con el anillo de bronce.

El funcionamiento de una bomba de varilla hueca de dos etapas es esencialmente igual a la de una bomba API normal con la excepción de que el fluido es descargado a través del conjunto varilla hueca - jaula superior abierta dentro de la sarta de la TP, en lugar de descargarlos a través de la guía del vástago sólido en una bomba convencional.

La bomba de varilla hueca de dos etapas, permite aislar la carga hidrostática en la TP durante la carrera descendente la cual es sostenida por la bola de la válvula viajera, el resultado de este efecto es que la válvula viajera abre más fácilmente al iniciar su recorrido descendente ya que el peso total que debería sostener fue aislado y la presión en la cámara de la bomba que mantiene gas en compresión puede vencer más fácilmente la presión que ejercería la carga hidrostática en una bomba convencional.

El conector perforado que une al pistón con la varilla hueca permite que el fluido bombeado tenga acceso al anular entre el barril y la varilla hueca, ingresando a este anular en la carrera descendente y saliendo en la carrera ascendente ya que la mezcla gas/aceite presente se redisuelve al ser comprimida e ingresa nuevamente a través de los orificios del conector perforado hacia la descarga de la bomba. De esta manera, la división del flujo minimiza el asentamiento de partículas abrasivas sobre el pistón.

Una de las consideraciones fundamentales de su diseño, es que permite comprimir la mezcla gas/aceite dos veces, este efecto se logra con el espaciado inverso de la bomba; es decir, se debe lograr que en su diseño el recorrido neto de la bomba sea el más ajustado al recorrido seleccionado en la unidad de superficie para que durante el ciclo de bombeo, sea comprimida al máximo toda la mezcla gas/aceite que se encuentre en la cámara superior e inferior de la bomba.

La varilla Hueca, es más resistente a la flexión por compresión en la carrera descendente que la varilla sólida, esto ha resuelto problemas frecuentes de falla en las varillas sólidas y por ende la falla prematura en el sistema.

Metalurgia.

Depende de las condiciones de los fluidos y aporte de arena encontrados en los pozos. Esta bomba fue diseñada teniendo en cuenta las condiciones encontradas en los pozos del paleocanal de Chicontepec – Pemex. Interferencia por gas, presencia de arena, cortes de agua bajos, °API del aceite entre moderado – alto, corrosión baja.

- Barril, acero con recubrimiento de cromo en su parte interna tipo RH.
- Pistón, acero con tratamiento externo por Spray Metal
- Válvulas, carburo de Tungsteno para bola y asiento
- Jaulas, acero reforzado y guías endurecidas
- Conexiones, acero al carbón
- Conjunto de anclaje, tipo mecánico por anillo de bronce
- Empaque de sello superior, en Viton.

**Bomba subsuperficial API 25-125-RHBM-AC-18-5-4.** La bomba de varilla sólida de doble anclaje, es un diseño de inserción del tipo estacionaria con barril de pared delgada “RW” o pared gruesa “RH”, utiliza anclaje inferior tipo mecánico y superior de copas que sella en su parte superior para evitar que se pegue por arena dentro de la TP, diseñada para usarse en pozos con moderadas relaciones gas/aceite y condiciones moderadas de producción de arena, se muestra en la figura 1.11.



FIGURA 1.11 BOMBA DE DOBLE ANCLAJE

Buena opción para pozos con moderada relación gas-aceite debido a la proximidad entre las válvulas fija y viajera durante la carrera descendente siempre y cuando la bomba haya sido espaciada correctamente.

Usada en pozos que bombean con bajos niveles de fluido debido a que las dos válvulas se encuentran cerca a la zapata candado y el fluido viaja una distancia muy corta hasta la cámara de desplazamiento de la bomba.

Es recomendable para profundidades de bombeo de moderadas a altas y alguna condición de golpe de fluido ya que la carga del fluido durante la carrera descendente es transferida desde



la válvula fija a la tubería, lo que permite eliminar la carga por tensión ejercida sobre el barril.

Su diseño incorporado de doble anclaje, evita que la arena se deposite en el anular entre el barril y la TP y la pegue. Su pared es de mayor espesor y su diámetro externo es mayor que el de un barril de pared delgada estas características evitan que el barril se expanda más en el fondo, lo que produciría una gran pérdida de producción debido a una mayor cantidad de escurrimiento entre el barril y el pistón

Tipo “Stroke through” recorrido completo, este puede salir fuera del barril dentro de sus extensiones superior e inferior.

En pozos con depositación de carbonatos (scale), yeso y/o arena, y en la carrera ascendente ayuda a limpiar el pistón y el barril de alguna depositación de estos materiales

Metalurgia.

- Barril, acero con recubrimiento de Cromo en su parte interna – tipo RH.
- Pistón, acero con tratamiento externo por Spray Metal
- Válvulas, carburo de tungsteno para bola y asiento
- Jaulas, acero reforzado y guías endurecidas
- Conexiones, acero al carbón
- Conjunto de anclaje, tipo mecánico por anillo de bronce y copas en la parte superior.

En su diseño se incorpora un elemento conocido como válvula de anillo (Ring Valve), el cual ayuda a manejar el candado de gas en la bomba.



1.3. Varillas de succión.

La varilla de succión es el elemento que constituye el enlace entre la unidad de bombeo mecánico superficial y la bomba subsuperficial. El diseño de la sarta de varilla generalmente lleva distintos diámetros (arreglo telescópico) siendo la varilla de mayor diámetro la que se coloca por arriba, esto para reducir las cargas.

Para poder identificar este arreglo de varillas se utiliza un código API (de dos números) en el cual el diámetro de las varillas se describe en octavos de pulgada y se utiliza el numerador, siendo el de mayor diámetro el primer número y el de menor diámetro el segundo número.

Ej. Si se ocupa el siguiente arreglo, varilla de 1", 7/8" y 3/4" y esto lo pasamos a octavos de pulgada 8/8", 7/8" y 6/8" el código API lo describiría como un arreglo de varilla 86.

**Varilla De Succión Grado D 3/4", 7/8" y 1" X 25 ft.** Las varillas de succión API se fabrican bajo las especificaciones API 11B . Estas varillas ofrecen cuerdas de rosca completamente rodadas, frío-formadas diseñadas para proporcionar una estructura exacta, lisa, reforzada de la cuerda mediante una máquina cortadora normal de rosca. Se desplaza en vez de quitar el metal, y el trabajo en frío resultante consolida la raíz de la cuerda.

El cople liso API clase SM (con superficie endurecida) de acero grano fino AISI-8630 con recubrimiento de níquel-cromo (0.010"-0.020" de espesor) ya sea en diámetro completo (full size) o en diámetro reducido (slim hole)

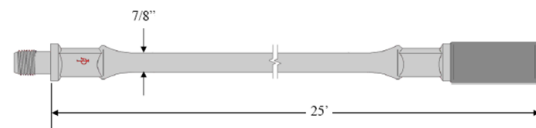
TABLA 1.6 COMPOSICIÓN Y CARACTERISTICAS DE LA VARILLA GRADO D

Análisis químico de las varillas de succión grado D								
AISI	% Carbón	% Manganeso	% Silicio	% Fosfato	% Azufre	% Niquel	% Cromo	% Molibdeno
4142SR	0.40-0.45	0.75-1.0	0.15-0.30	0.035 máx.	0.04 máx.	0.25 máx.	0.80-1.10	0.15-0.25

Análisis físico de las varillas de succión con cople				
Elongación %	% Área reducción	Dureza Brinell	Esfuerzo de Cedencia (psi)	Esfuerzo de Tensión (psi)
10 mín.	45 mín.	240-294	100 000 mín.	115 000-140 000

Diámetro API disponibles (in)				
5/8" Ø	3/4" Ø	7/8" Ø	1" Ø	1-1/8" Ø

Longitud de varillas disponibles					
2 ft	4 ft	6 ft	8 ft	25 ft	30 ft



**Varillas de succión Weatherford de alta resistencia.** Weatherford en su división de sistemas artificiales de extracción ofrece varillas de succión de calidad Premium de alta resistencia a grandes relaciones de carga además de propiedades de alta resistencia a la corrosión. Maquinados con roscas que cumplen con las especificaciones API. Weatherford tiene varillas de grado T66/XD y por arriba de esta la varilla de grado EL

Beneficios.

- Ahorro de energía (debido al bombeo con una sarta más ligera).
- Mayor producción de fluido con la unidad existente.
- Reducción en el tamaño de la unidad de bombeo sin sacrificar la producción.
- Uso de una tubería de producción de menor diámetro.
- Incremento de velocidades de bombeo para conseguir producción adicional.
- Vida de servicio extendida.
- Evita el uso de técnicas de recuperación no convencional y costosa.

- Varillas de succión clase EL de alta resistencia.

Diseñadas para proveer una alta relación de carga y resistencia a la fatiga por corrosión, las varillas clase EL son la línea Premium de Weatherford en varillas de succión de alta resistencia. El exclusivo proceso de endurecimiento por inducción les proporciona a estas varillas el último avance y resistencia a la fatiga. Las varillas de succión ordinarias tienden a fallar por fatiga la cual se origina en superficie, sección que se encuentra en tensión. La ingeniería única de las varillas grado EL de Weatherford las coloca como la mejor opción con alta resistencia. La capa en compresión en la superficie de cada varilla permanece en compresión, inclusive bajo las cargas normales de operación a tensión. Con esta superficie “protegida” a los esfuerzos de tensión, la oportunidad del desarrollo de grietas o cracks por fatiga queda reducida

Aplicaciones

Capacidad alta de carga, para uso en ambientes suaves, dulces (CO<sub>2</sub>) y amargo (H<sub>2</sub>S) con alto contenido de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S cuando son aplicables y seguidas las prácticas de inhibición de corrosión.

Especificaciones

Acero especial de aleación cromo-molibdeno

Tratamientos de endurecimiento por medio de normalizado, templado e inducción

Extremos roscados conseguidos bajo norma API

- Varillas De Succión Clase T66/XD De Alta Resistencia

Las varillas T66/XD son extremadamente confiables y están diseñadas para servicios y aplicaciones donde se requiere resistencia a una alta relación de carga. Estas varillas están fabricadas con acero de aleación Cromo-Molibdeno, haciéndolas capaces de manejar los más severos esfuerzos. El uso de este acero de aleación especial proporciona mayor resistencia a los esfuerzos de grietas o cracks por sulfuros que el acero de aleación Niquel – Cromo - Molibdeno utilizado en varillas de succión de alta resistencia de generaciones pasadas.

Las varillas son forjadas, normalizadas, templadas, tratadas bajo ráfagas de pellets de acero (short Blaster) y pines formados bajo especificaciones API.

Especificaciones

Acero especial de aleación cromo-molibdeno

Tratamiento de endurecimiento por medio de normalizado, templado.

Extremos roscados conseguidos bajo norma API

TABLA 1.7 COMPOSICIÓN Y CARACTERISTICAS DE VARILLAS T66/XD Y EL

Análisis químico de las varillas de succión grado EL								
AISI	% Carbon	% Manganeso	% Silicio	% Fosfato	% Azufre	% Niquel	% Cromo	% Molibdeno
Especial	0.38-0.42	1.00-1.30	0.20-0.35	0.035 máx.	0.04 máx.	0.30 máx.	0.55-0.85	0.24-0.55

Análisis químico de las varillas de succión grado T66/XD								
AISI	% Carbon	% Manganeso	% Silicio	% Fosfato	% Azufre	% Niquel	% Cromo	% Molibdeno
4138M	0.38-0.42	1.00-1.30	0.20-0.35	0.035 máx.	0.04 máx.	0.30 máx.	0.55-0.85	0.24-0.32

Análisis físico de las varillas de succión con acoplamiento grado T66/XD						
Elongación (% en 8 in)	% Reducción de Área	Dureza Brinell Típica	Esfuerzo de cedencia (1000 psi)	Esfuerzo de tensión (1000 psi)		
10 Mín.	45 Mín.	286-319	115 Mín.	140/150		

Algunas propiedades para varillas de succión con acoplamiento grado EL				
	3/4" Ø	7/8" Ø	1" Ø	1-1/8" Ø
Torque límite (pie-lb)	900	1 000	1 600	2 500

Diámetro API disponibles (in) EL y T66/XD				
5/8" Ø	3/4" Ø	7/8" Ø	1" Ø	1-1/8" Ø

Longitudes Estándar (ft) EL y T66/XD					
2 ft	4 ft	6 ft	8 ft	25 ft	30 ft



**Cople liso y combinación API clase SM para varilla de succión.** Los coples API se fabrican bajo las especificaciones API 11B y certificadas con ISO 9001/API Q1.

Son fabricados en acero de aleación de grano fino AISI-8630 para una tensión máxima de 140 000 psi. la base de metal es preparada con acabado a norma antes de recubrirlo. Esto provee una adherencia metalúrgica entre la base y el recubrimiento spray metal (SM). Los coples SM y COHARD incorporan un recubrimiento para una máxima resistencia contra la abrasión/corrosión por su bajo coeficiente de fricción reduciendo el desgaste en la tubería de producción y en el cople mismo; siendo estos coples recomendados para aplicaciones en pozos desviados.

**TABLA 1.8 CARACTERISTICAS DE LOS COPLES**

<b>Dimensiones y pesos de coples</b>				
Dimensiones API (in)	Diámetro Exterior (in)		Pesos (lb/kg)	
	Diámetro Completo (Fullsize)	Diámetro Reducido (Slimhole)	Diámetro Completo (Fullsize)	Diámetro Reducido (Slimhole)
3/4	1-5/8	1-1/2	1.50/0.68	1.26/0.57
7/8	1-13/16	1-5/8	1.80/0.82	1.50/0.68
1	2-3/16	2	2.58/1.17	2.01/0.91

<b>Propiedades mecánicas de los coples</b>			
Tensión mínima (psi)	Dureza (HRA)	Espesor del Recubrimiento (in)	Dureza del Recubrimiento mínima
110	56-62	0.010-0.020	595 HV200

<b>Propiedades físicas de los coples combinación</b>			
Esfuerzo de Tensión (1000 psi)	Espesor de recubrimiento (in)	Dureza RHA típica	Dureza de recubrimiento mínima
95 mínimo	0.010-0.020	52 – 62	595 HV200

Los coples combinación son utilizados para conectar secciones de varilla de diferentes diámetros y conformar integralmente la sarta de producción. Son fabricado con el método de formado de roscas por trabajo en frío, en el cual el material es desplazado en lugar de ser cortado consiguiendo mejores resistencias probadas. Este proceso proporciona una estructura exacta y esfuerzo comprensivo en la raíz de la rosca, otorgando mayor resistencia a la fatiga que los coples convencionales de rosca cortadas.

Disponibles en tamaños de diámetro exterior completo (full site) o diámetro reducido (slimhole).

## 2. Sistema Superficial.

### 2.1. Conexiones y unidades superficiales.

Las conexiones superficiales para los sistemas de bombeo mecánico tienen un arreglo particular y está compuesto por varios elementos los cuales se muestran en la figura 2.1 y que se mencionaran solo algunos de ellos.

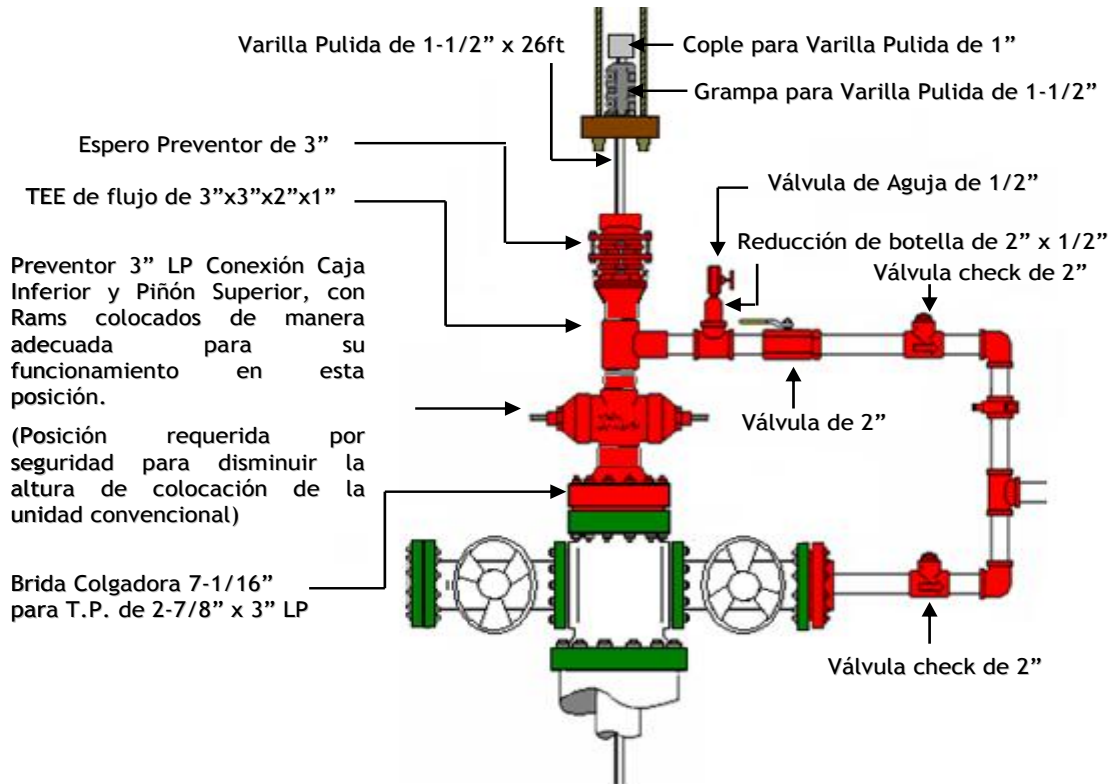


FIGURA 2.1 CONJUNTO DE CONEXIONES SUPERFICIALES DE BM

**Brida colgadora.** Las bridas colgadoras se utilizan cuando las terminaciones requieren un árbol de válvulas roscado o dirigen la transición al equipo de bombeo, (ver figura 2.2).

Este adaptador, tiene una cuerda del colgador de tubo que proporciona la suspensión de la tubería del pozo cuando este es requerido, cuenta con ranura para junta de acero. Para asentar el árbol del pozo con cabeza de 6\".

Los adaptadores se encuentran con bridas de tamaño nominal de 7 1/16\", de conexiones roscadas para tubo a partir de 2 3/8\" y hasta 3 1/2\" y rangos de presión que llegan a 5,000 Psi cumpliendo con las especificaciones API. Rosca piñón en Rosca 8HV ó 8HRR y caja 8HRR.



Incluye:

- 1 pz Anillo R-45 de acero fabricado de acuerdo a la última edición API.
- 12 pz Espárragos de 1-1/8" Ø x 9" long con sus respectivas tuercas.

Características:

- Diámetro de 7-1/16"
- Presión de 3000 psi
- Rosca piñon 3"D.E. x 2-1/2"D.I. 8HV x caja 2-7/8" 8HRR
- Peso aproximado 101 lbs

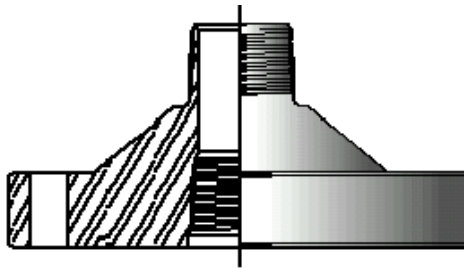


FIGURA 2.2 BRIDA COLGADORA

**Preventor.** Es un mecanismo de seguridad que ha sido diseñado, para impedir en caso necesario, el paso de fluidos al exterior. Sólo se pueden accionar cuando la U.B.M no está operando, ya que en su interior tiene unos sellos de hule llamados “Rams”, que aprietan a la varilla pulida para sellar y evitar el paso del hidrocarburo. Los preventores son vitales para realizar el cambio de hules (sellos) del estopero colocado en la parte más alta del árbol, también son vitales para evitar la salida del hidrocarburo a la atmósfera, por ruptura de la sarta, o la varilla pulida se vaya al fondo del pozo. Cuando la U.B.M. está operando deben permanecer abiertos.

El preventor (BOP) opera como los rams blancos para un cerrado completo (p.e. cuando no tiene varilla pulida), y se cierran en todos los tamaños de varilla hasta 1 1/2", se muestra en la figura 2.3.

Las dos piezas de preventor incorporan un diseño de pin y socket que conecta un elemento de goma del preventor en forma de L con una placa dúctil en el ram de hierro. La placa del preventor utiliza ambas partes, la posterior y la tapa del caucho del preventor. Este diseño le da fuerza para controlar el empuje ascendente de la presión del pozo y evitar los problemas en incidentes asociados al diseño de otros preventores. Este BOP tiene o-rings sellados, se abre completamente, y permite cambiar los rams o el hule.

La presión de prueba es de 4000 psi y la presión de funcionamiento 2000 psi. Peso de 41 libras. Alturade 9 1/2". Conexión: hembra – macho (rosca) 3" de 8 HPP EVE o LP o 2-7/8", 8HRR EUE, de acuerdo a la norma API SPEC 6A.

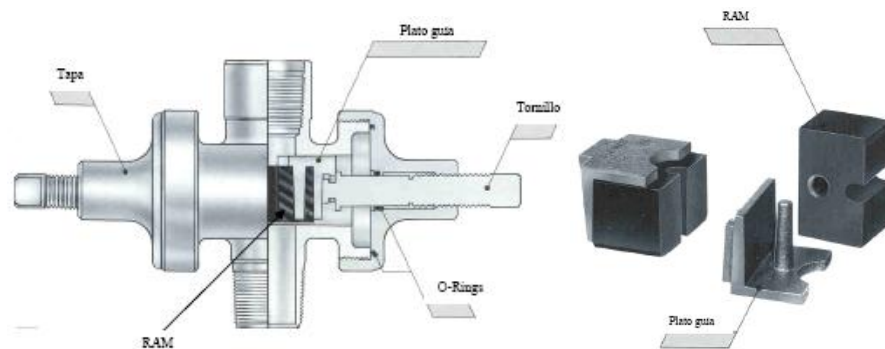


FIGURA 2.3 PREVENTOR

**Tee de flujo.** Esta conexión no es más que una unión entre el preventor (BOP), el estopero preventor y la línea de producción. Tiene las siguientes dimensiones: 3" x 3" x 2" con salida lateral de 1" y tapón ciego, la presión de trabajo máxima es de 3 000 psi, el material del cual está formado es acero al carbón.



FIGURA 2.4 TEE DE FLUJO

**Varilla pulida.** Las varillas pulidas son fabricadas bajo las especificaciones API 11B, cumpliendo con las normas ISO 9001/APIQ1.

Elaboradas con material de acero de aleación carbón, manganeso, cromo, molibdeno, cuentan con acabado espejo (basado en especificaciones API SPEC 11B).

Características:

- Gran capacidad de resistencia a la tensión de 95 000 a 160 000 libras de carga.
- Diámetros disponibles de 1-1/8"Ø, 1-1/4"Ø, 1-1/2"Ø.
- Longitud estándar de 16, 22, 26, 30 y 36 pies.
- Rosca de 10 hilos UNR rosca redonda, como estándar, conforme a la norma API 11B grado 2.
- Incluye cople de 7/8", estos para una tensión mínima de 95 000 psi tipo SM de diámetro API 7/8 para diámetros de varilla de 1-1/4"Ø y 1-1/2"Ø ó de 1"Ø.





FIGURA 2.5 VARILLA PULIDA

**Estopero Preventor.** Mecanismo de seguridad que se localiza en la parte superior del árbol de válvulas, sobre la Tee de flujo de 3"Ø y cuya función principal es la de contener los fluidos para que no se manifiesten a su exterior, se observa en la figura 2.6.

La función principal del estopero es sellar sobre la superficie de la varilla pulida por medio de los hules sellos construidos con elastómero resistente al rozamiento, la diferencia del estopero y del preventor, son los hules sellos que son necesarios cambiar cada vez que se presente desgaste y que deben tener el ajuste debido, para evitar la fuga de aceite que se presenta en la parte superior de éste, cuando la U.B.M. está operando. En la operación de cambiar los sellos, se suspende la operación de la unidad y se cierran los Rams del preventor, para poder trabajar con facilidad en el estopero.

Es un mecanismo de seguridad que consta básicamente de tres secciones, en las cuales van distribuidos una serie de sellos cónicos, los cuales se van ajustar por medio de un conjunto de tornillos alternadamente, con la finalidad de impedir el paso de fluidos al exterior, permitiendo libremente el desplazamiento de la varilla pulida. Disponible con empaques cónicos para otros tamaños de varilla pulida (desde 1" a 1 3/4").

Presión de trabajo 1 500 psi, presión de prueba 2 000 psi, conexión macho 3" EUE 8HRR Y 3" LP 8HV, altura 15" estándar.

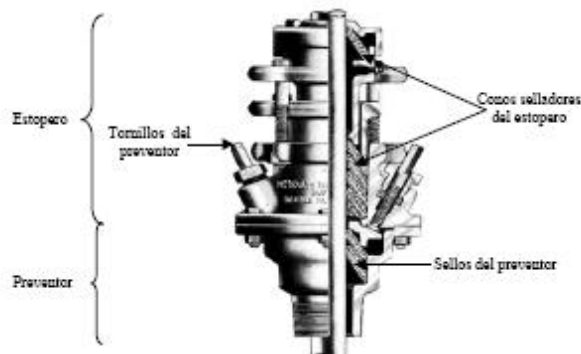


FIGURA 2.6 ESTOPERO PREVENTOR

**Grampa para varilla pulida.** Este dispositivo sirve para conectar el block colgador a la varilla pulida, estas grampas pueden ser de uno, dos o tres tornillos, incrementándose, por supuesto la seguridad, con el aumento del número de los mismos. Es recomendable el uso de un solo tornillo para pozos someros y conforme aumenta la profundidad es preferible la utilización de grampas con mayor número.



### Características

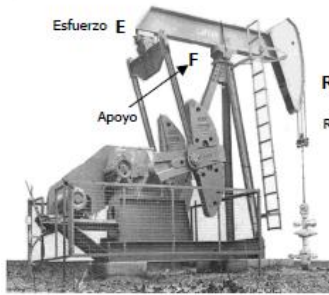
- Las más bajas concentraciones de tensión en las varillas pulidas
- La capacidad de sujeción mas alta a cualquier torque de la tuerca
- Diámetro de giro pequeño para el uso con rotadores de varilla
- Cubierta de cinc fosfato proporciona una mejorada resistencia a la corrosión
- Carga nominal 13 000 lbs carga de prueba máxima 32 000 lbs
- Carga nominal 26 000 lbs carga de prueba máxima 64 000 lbs
- Carga nominal 40 000 lbs carga de prueba máxima 76 000 lbs  
Para diámetro de varilla pulida de 1", 1 ¼" y 1 ½"
- Fabricada en acero forjado con tratamiento térmico



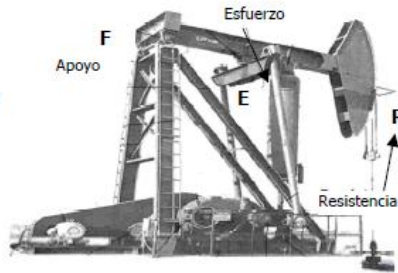
FIGURA 2.7 GRAMPAS

2.2. Unidades superficiales.

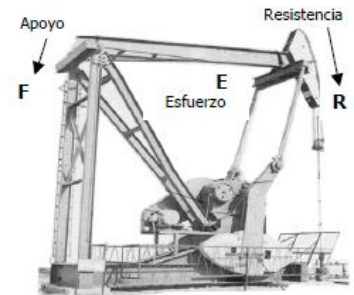
La unidad de bombeo es un mecanismo que nos permite transformar el movimiento giratorio del motor en un movimiento recíprocante impartido a la varilla pulida. En la actualidad existen varios tipos de unidades de bombeo. A continuación se muestran en la figura 2.8 y se mencionan algunas de las unidades más utilizadas:



U.B.M. Convencional



U.B.M. Aerobalanceada



U.B.M. Mark II



U.B.M. de Bajo Perfil



U.B.M. Rotaflex



UBM. TIEBEN



UBM. MINI V

UBM VSH2

FIGURA 2.8 UNIDADES DE BOMBEO MECÁNICO

Clasificación de las unidades.

De la misma forma que las bombas, las unidades manejan una clasificación para describir el tipo de unidad así como las cargas y longitudes principales, si se requiere conocer más a detalle las dimensiones de las unidades (para su instalación) se debe de consultar el catalogo del fabricante.

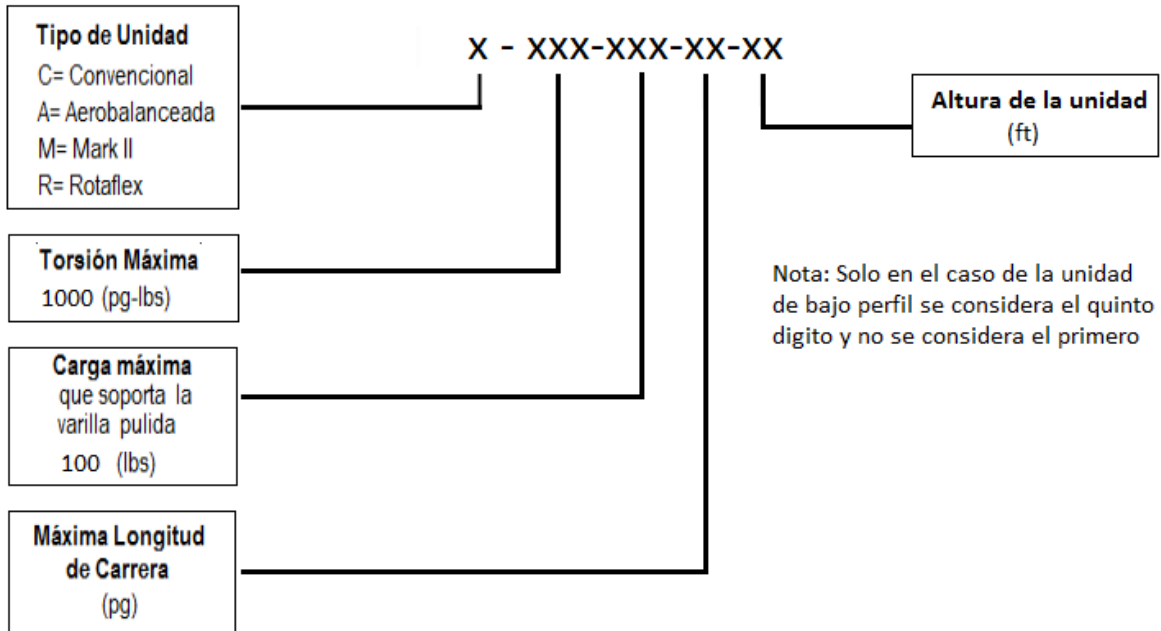


FIGURA 2.9 CLASIFICACIÓN DE LA UNIDAD

**UBM Convencional.** Este tipo de unidades tiene el reductor de engranes colocado en la parte trasera con apoyo a la mitad del balancín, se aprecia el apoyo (F) cerca del centro, el esfuerzo del motor principal (E) aplicado en el extremo del balancín y la resistencia de la carga del pozo (R) está aplicada en el extremo opuesto del balancín. La rotación de los contrapesos hace que el balancín pivotee sobre el eje del rodamiento central, realizando en la varilla pulida un movimiento recíprocante a través de sus diferentes conexiones. Los contrapesos localizados en la manivela, son bloques pesados de hierro fundido. Estos contrapesos pueden moverse a lo largo de la manivela para producir mayor o menor efecto de contrapeso.

**UBM Aerobalanceada.** Aparte de las ventajas de diseño y eficiencia con las que cuenta este tipo de unidad, tiene más aplicaciones, principalmente para el bombeo profundo, en bombeo de altos volúmenes con carreras largas, en bombeo de crudos pesados, etc. la unidad aerobalanceada se fabrica hasta el tamaño A-2560D-470-240. Esta unidad tiene 240 plg. de carrera máxima con un torque de 2,560,000 lbs-plg, o sea, casi el doble de capacidad de torque que la más grande unidad Mark II.

**UBM Mark II.** Esta es la llamada unidad con montaje frontal, en la cual se distinguen las siguientes características de diseño:



El contrapeso, que está colocado directamente encima del reductor. Esto produce una carrera ascendente y descendente de 195° y 165° respectivamente. Asimismo, la carrera ascendente de 195° reduce la aceleración cuando la carga es máxima y, por lo tanto, se reduce la carga máxima en la varilla pulida. Otra ventaja de colocar el contrapeso hacia delante, es que se obtiene una ventaja mecánica al levantar la carga y se reduce la ventaja mecánica durante la carrera descendente, es decir, el factor máximo de torque durante la carrera ascendente se disminuye y durante la carrera descendente se incrementa.

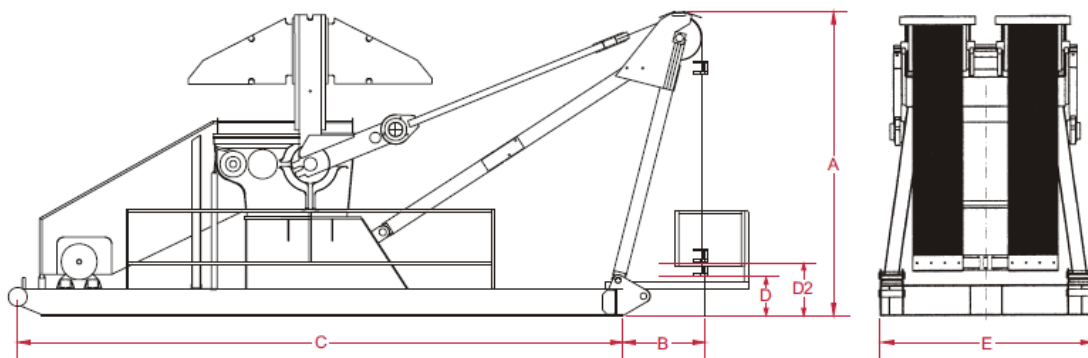
Los contrapesos están colocados en forma descentrada (con un cierto ángulo) en la manivela. Esto produce un torque de contrabalanceo que al principio de la carrera ascendente se “retarda” del torque del pozo, en forma similar, al inicio de la carrera descendente, el torque de contrabalanceo queda “adelantado”.

Con las modificaciones anteriores, se consigue que la unidad trabaje igual durante la carrera ascendente y descendente de la varilla pulida y al mismo tiempo se reduzcan las carreras. Además, se obtiene un sistema de unitorque que produce una reducción del torque máximo requerido hasta en un 40%.

**UBM Bajo perfil.** Esta unidad combina longitud máxima en el recorrido de la bomba y requisitos mínimos de la altura lo que le permite operar continuamente en sistemas de riego activo. La unidad es especialmente adecuada para aplicaciones especiales donde se debe reducir al mínimo el impacto visual con su "perfil bajo" el diseño.

TABLA 2.1 DIMENSIONES DE LA UNIDAD DE BAJO PERFIL

TAMAÑO DE UNIDAD	A	B	C	D	D2	E
114-173-54-8'	8'	25"	218 3/4"	17"	22"	79 1/2"
160-173-54-8'	8'	25"	218 3/4"	17"	22"	79 1/2"
160-200-74-10'	10'	32"	276"	18"	28"	88"
228-246-74-10'	10'	32"	276"	18"	28"	88"
320-246-74-10'	10'	32"	276"	18"	28"	88"
228-246-84-11 1/2'	11' 6"	37 1/2"	276"	26"	36"	88"
320-246-84-11 1/2'	11' 6"	37 1/2"	276"	26"	36"	88"



## Características y ventajas

- Bajos requerimientos de limpieza.
- El diseño permite profundidades someras
- Puede eliminar los costos asociados al entrar en espacios confinados
- Una mayor seguridad en las zonas de H2S
- La carrera ascendente y descendente con velocidades esencialmente iguales
- Diseñado para funcionar sin una cabeza de caballo
- Son unidades fácilmente removibles
- El poste maestro puesto se pliega para facilitar así el servicio (reintervención)

**UBM Rotaflex.** Este tipo de unidades opera con contrapesos de hierro, al igual que las unidades de balancín, pero su diferencia es que el contrabalanceo es de trayectoria vertical, diseñada para altos volúmenes de producción y tiene una carrera fija hasta de 306 pulgadas según la unidad, manejando así velocidades más lentas y carrearas más largas.

## Características y ventajas

- Eficiente manejo de grandes volúmenes, altas cargas y pozos desviados
- Reduce el desgaste de las varillas y de la tubería ya que realiza menos ciclos.
- Aumenta la eficiencia del sistema por las velocidades bajas.
- Reduce la carga dinámica
- Facilidad de servicio e instalación - enviado en una sola pieza
- Proporciona una mejor relación de bombeo de compresión para ayudar a eliminar problemas de bloqueo de gas.

**UBM Tieben.** Esta unidad también es conocida como unidad hidráulica (aunque opera también de manera neumática), su funcionamiento es un poco más complejo, estas unidades se clasifican de acuerdo al tipo de montaje, carrera y motor con el que pueden operar en la figura 2.10 se describe su clasificación y la capacidad de carga es de 40 000 lbs, y más adelante se describe el principio de operación y se muestra en la figura 2.11.

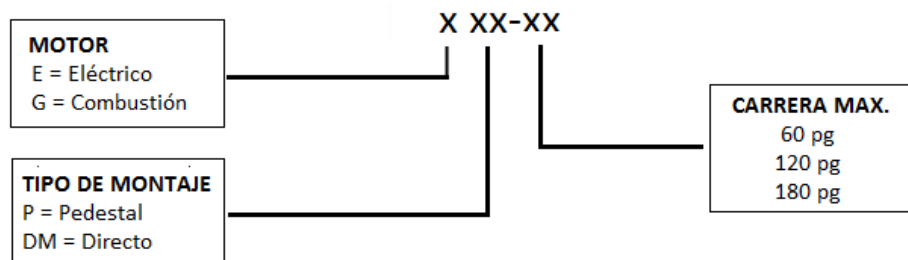
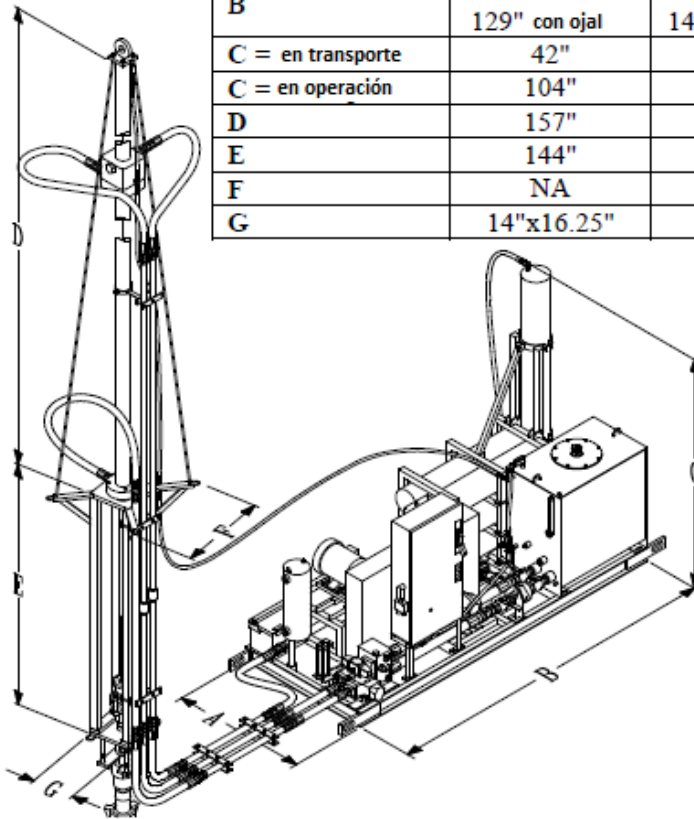


FIGURA 2.10 CLASIFICACIÓN DE LA UNIDAD TIEBEN



TABLA 2.2 DIMENSIONES DE LA UNIDAD TIEBEN

DIMENSION	ALTURA DE LA UNIDAD		
	60"	120"	180"
A	48"	48"	48"
B	120"	138"	138"
	129" con ojal	147.5" con ojal	147.5" con ojal
C = en transporte	42"	48"	62.5"
C = en operación	104"	104"	101"
D	157"	277"	413.5"
E	144"	215.5"	montaje directo
F	NA	33" x 33"	montaje directo
G	14"x16.25"	14"x16.25"	montaje directo



La unidad se puede describir en dos partes, el pedestal y el paquete motriz, de los cuales a su vez se enuncian los elementos que contiene.

Pedestal.

- Cilindro (acumulador y motriz)
- Válvula check
- Arreglo unión
- Sensores
- Plato
- Conexiones

Paquete motriz

- Válvula direccional
- Controlador de válvula direccional
- Manifold
- Bomba maestra

- Bomba auxiliar
- Tanque piloto
- Tablero
- Depósito de aceite
- Acumulador de nitrógeno
- Tanques almacenadores de nitrógeno

El principio de operación.

1. El gas (nitrógeno) empuja el pistón del acumulador, el fluido hidráulico debajo del pistón es forzado dentro del cilindro, este fluido a su vez empuja al pistón del cilindro hacia arriba, esta acción contrabalancea el peso de la sarta de varillas.
2. El aceite a presión de la bomba es enviado dentro del cilindro a través de la válvula de control empujando el pistón hacia arriba y hacia abajo usando poca potencia, debido a que el nitrógeno proporciona aproximadamente las dos terceras partes de la potencia. Los sensores de proximidad activan la válvula de control al tope y fondo de cada embolada.

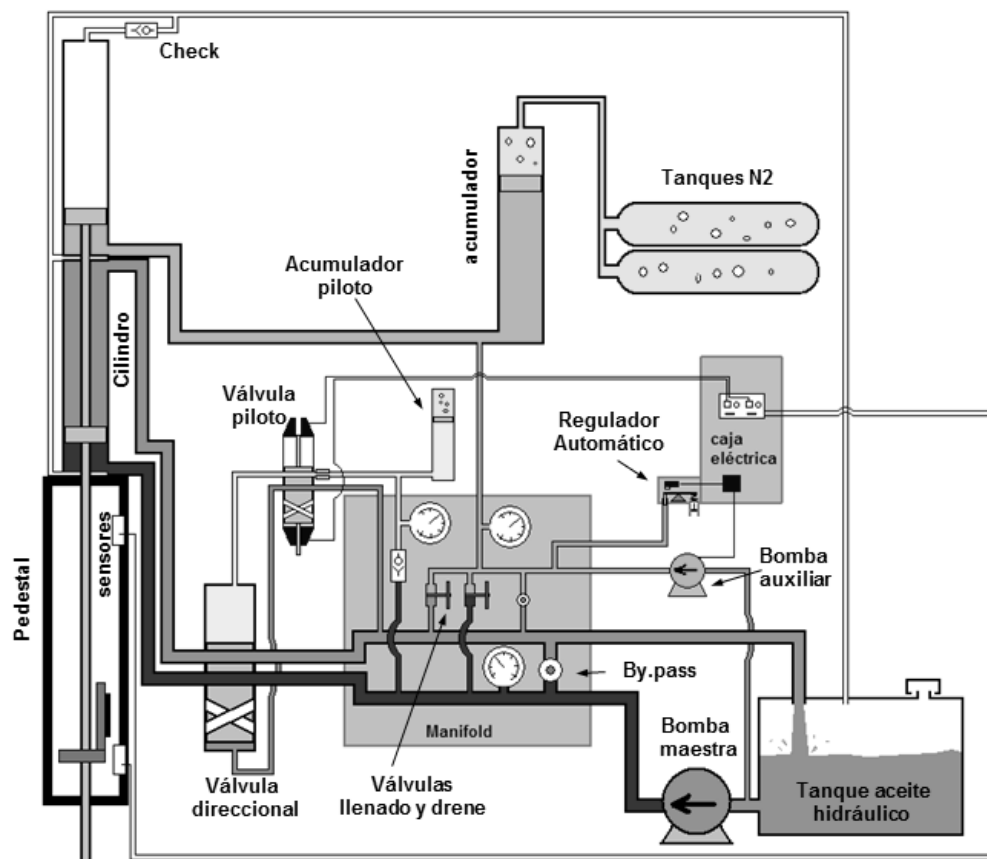


FIGURA 2.11 SISTEMA OPERATIVO DEL TIEBEN



**UBM Mini V y VSH2.** Conocida también como unidad de bombeo hidroneumático. Estas unidades comprenden a la segunda generación de unidades Tieben en la cual el mini V es una unidad de carrera corta de 60” y el VSH2 comprende las carreras de 120” y 150”, se puede observar en la figura 2.12 y se describe más adelante.

La unidad de bombeo hidroneumático reciprocante es diseñada específicamente para campos de aceite pesado y pozos con problemas de desprendimiento de varilla. Esta tecnología incrementa la capacidad de carga y, en la mayoría de los casos, utiliza menor energía que las unidades de bombeo convencionales.

La unidad de bombeo tiene la capacidad de levantar cargas de varilla de hasta 40 000 lbs y hasta profundidades de 11000 ft. Las emboladas por minuto (EPM) pueden ser cambiadas de manera sencilla con los botones de control.

Un buen direccionamiento de la superficie de bombeo es vital para la optimización de la producción de un yacimiento

#### Aplicaciones

- Bombeo de aceite pesado.
- Reemplazo de equipos de bombeo en reparación.
- Pruebas de pozos nuevos y reactivados.
- Reparaciones temporales.
- Pozos que requieren bombas grandes.

#### Características y ventajas.

- El consumo de energía, en la mayoría de casos, es menor que la de las unidades convencionales.
- El nitrógeno provee aproximadamente dos tercios de la energía de bombeo, disminuyendo la potencia requerida.
- Con solo 3 partes móviles, esta unidad ofrece un mantenimiento bajo y una rentabilidad alta. El mantenimiento consiste en un cambio de filtro al año y una inspección visual periódica del equipo.
- La unidad VSH2 es liviana, compacta y de diseño sencillo lo cual minimiza la preparación de la locación, el transporte y los costos iniciales.
- El control de velocidad variable provee de una mayor flexibilidad durante la operación del equipo y ajustes a las condiciones del pozo.
- Capacidad de operar una amplia variedad de pozos.
- Disponible con arrancador automático para unidades con suministro de energía eléctrica.

#### Principio de operación.

1. El nitrógeno empuja hacia abajo el embolo del acumulador. El aceite hidráulico debajo de ese embolo empuja hacia arriba el pistón de la cámara superior del cilindro. Esta acción contrabalancea los pesos de la sarta de succión.





2. La servo-válvula dirige el aceite hidráulico desde la bomba hacia la parte inferior de la etapa de abajo. Esto ejecuta el ciclo de carreras del cilindro usando menos energía ya que el nitrógeno aporta las dos terceras partes aproximadamente de la misma.
3. Los sensores de proximidad activan la servo-válvula, cambiando el sentido de la carrera.
4. Los botones de control son girados para regular las EPM. (Embarque)

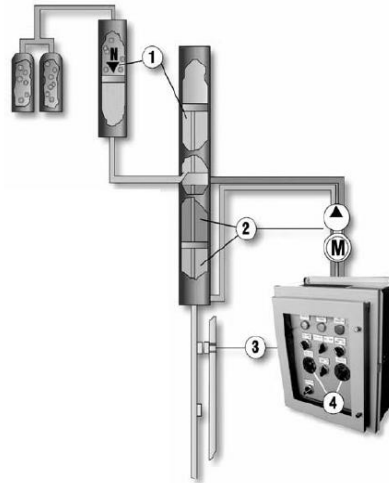
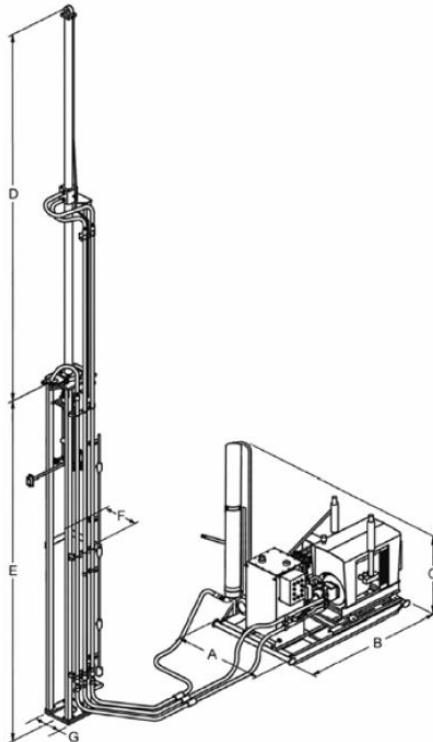


FIGURA 2.12 SISTEMA OPERATIVO DE LA UNIDAD HIDRONEUMÁTICA

TABLA 2.3 DIMENSIONES DE LA UNIDAD HIDRONEUMÁTICA



Unit model	60	120	150
Carrera máxima (in./mm)	60 1,524	120 3,048	150 3,810
Carrera mínima (in./mm)	24 610	52 1,321	72 1,829
Maximas EPM <sup>1</sup>	11	10	9
Carga máx. varillas <sup>2</sup> (lb/kg)	35,000 15,876	40,000 18,144	
Tamaño de cilindro (in./mm)	4 101.6		

<sup>1</sup>La velocidad máxima (EPM) puede variar, dependiendo de la carga de varillas.

<sup>2</sup>El rango de cargas puede variar, dependiendo de la velocidad (EPM).

Modelo de unidad	60	120	150
A Ancho (ft/m)	5.1 1.5		
B Largo (ft/m)	8.5 2.6		
C Altura de embarque (ft/m)	4.8 1.4		
C Altura de trabajo, 90° (ft/m)	5.2 1.6	6.2 1.9	
C Altura de trabajo, vertical (ft/m)	6.9 2.1	9.6 2.9	
D Altura de cilindro (ft/m)	13.1 4.0	21.3 6.5	23.1 7.0
E Altura de pedestal (ft/m)	12.0 3.7	18.0 5.5	21.2 6.5
F Ancho embarque, m. (in./mm)	26.0 660		
G Ancho del mastil (in./mm)	18.5 470		



2.3. Registro de nivel y dinagramas.

El monitoreo constante de un sistema artificial es indispensable para poder determinar con anticipación las posibles fallas que pudiera presentar el sistema, así como para obtener el mejor desempeño de este. Los registros de nivel y los dinagramas (ó cartas dinamométricas) son herramientas que nos ayudan a diagnosticar el funcionamiento del sistema de bombeo mecánico.

**El registro de nivel o ecómetro.** Es una prueba que se realiza para saber la profundidad a la que se encuentra el nivel dinámico o estático del pozo, lo cual nos ayuda a optimizar la velocidad de bombeo y carrera de la bomba, también si se necesita de una bomba de características diferentes.

Principio de operación.

Está basado en una onda acústica que viaja a través del gas. Es por esta razón que es importante conocer la velocidad acústica en el gas para poder determinar los niveles de líquido.

El nivel de líquido de un pozo es determinado al generar una onda acústica debido a un diferencial de presión en el gas en el espacio anular formado entre la tubería de producción y la tubería de revestimiento, esta onda llega hasta el nivel del líquido el cual refleja de vuelta la onda a la superficie. Con el conocimiento de la velocidad acústica del gas, la distancia que ha viajado la onda (de la superficie al nivel del líquido y a la superficie) es simplemente el tiempo de viaje multiplicado por la velocidad acústica y la distancia al nivel del líquido sería la mitad:

$$D = (TV)/2$$

Dónde:

D = Distancia al nivel del líquido. Pies

T = Tiempo entre la generación de la onda inicial y la onda reflejada. Seg

V = Velocidad acústica. pie/seg

Un equipo digital utilizado para la toma de registros de nivel es el “ECHOMETER Total Well Management (TWM)”.

El Analizador es un instrumento computarizado para adquirir los datos acústicos de nivel de líquido y datos del dinamómetro, el cual consiste en una computadora portátil y el paquete de la electrónica alojadas en un maletín. La computadora controla la adquisición de datos, procesa y analiza los datos, y despliega los resultados. El Analizador usa un ensamble al micrófono de la pistola de gas para determinar la profundidad del nivel de líquidos en el pozo.

**Pistola compacta de gas.** La pistola compacta de gas (se observa en la figura 2.13) consiste en una cámara de 10 pulgadas cúbicas y una válvula de gas de apertura rápida. La cámara se llena normalmente con bióxido de carbono o gas de nitrógeno a una presión por arriba de la presión del pozo. Cuando la válvula se abre, un pulso de presión se genera que viaja a través del gas del pozo. La cámara puede llenarse como se necesite para obtener el registro deseado.

Si la presión del gas del pozo es suficiente puede llenarse del pozo hacia la cámara de volumen para crear un pulso de presión (modo de implosión). Una fuente de gas externa no se necesita en esta situación. Operando la pistola de gas compacta en el modo de la implosión permite que impurezas del pozo se introduzcan en la cámara de la pistola, requiriendo mayor mantenimiento y el reemplazo ocasional de los o-rings, el rango de presión es de 15 000 psi con una conexión macho de 2”.



FIGURA 2.13 PISTOLA DE DISPARO MANUAL

**Pistola de disparo remoto.** Dispositivo que genera un pulso acústico y detecta las reflexiones del mismo que se producen dentro del pozo. La pistola remota tiene una cámara de volumen que se llena con nitrógeno o con dióxido de carbono para distribuir el pulso acústico en el pozo. Un micrófono alojado en el interior de la pistola de gas detecta el disparo, las uniones, el nivel de fluido y otras reflexiones que pudiera haber dentro del pozo. Es un aparato sensible a la presión con discos gemelos que elimina las interferencias debido a la vibración. El micrófono no se debe remover a menos que la pistola se vaya a reparar.

Una válvula solenoide suelta el gas de la cámara de gas en el pozo. El solenoide de 12-voltio se opera automáticamente desde el sistema del Analizador. Esta pistola no puede operarse en el modo de implosión.

Se tiene un transductor de presión que se muestra en la figura 2.14, y transforma las presiones adquiridas del espacio anular TR-TP (casing-tubing) en una señal electrónica que es captada por el “Well Analyzer”, el traductor mantiene un rango de operación de 0 a 1500 psi. Normalmente se proporciona con un manómetro de 1500 psi y un transductor de presión de 1500 psi. Pueden cambiarse el manómetro y el transductor de presión a 2000 psi que permiten el funcionamiento a 2000 psi.





FIGURA 2.14 PISTOLA DE DISPARO REMOTO Y TRANSDUCTOR DE PRESIÓN

**Toma de nivel de fluido con el Well Analyzer.** Para la toma de niveles se tiene que realizar el siguiente procedimiento:

- Verificar la posibilidad de conectarse en las válvulas del anular así como las condiciones y posiciones de las válvulas de la TR (casing), posterior cerrar la válvula de TR (casing) donde se conectará la pistola.
- Cargar la pistola con CO<sub>2</sub> o Nitrógeno con una presión de 100 a 200 libras por encima de la presión de anular registrada y conectarla a la TR
- Encender el “Well Analyzer”, abrir el programa realizando doble clic en el icono de acceso directo del TWM.
- Seleccionar la modalidad “Acquire Mode”.

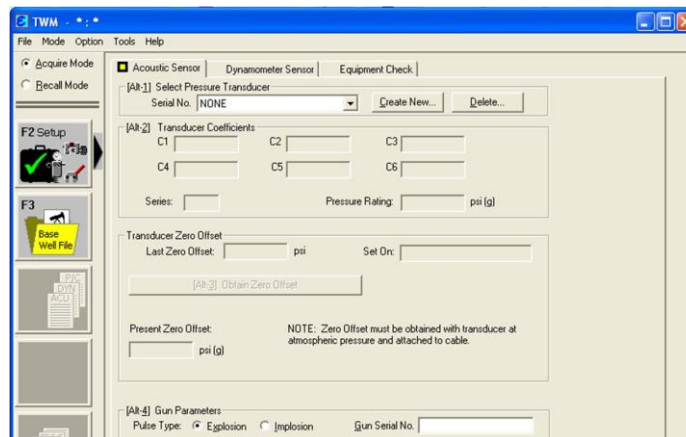


FIGURA 2.15 TWM ADQUISICIÓN DE DATOS

- Verificar o ingresar los coeficientes del transductor de presión en la sección “Acoustic Sensor”. Cuando se va a utilizar por primera vez el transductor, como se

observa en la figura 2.15, seleccionar el número de serie del transductor de presión. Use “Create New”, si el número de serial no aparece en la lista o si la información del transductor no aparece en la lista asegurar de que todos los coeficientes del transductor son introducidos, tal y como están en el transductor. También se deben ingresar los parámetros de la pistola.

- Conectar el transductor de presión a la pistola, conectar los cables a la pistola y después al “Well Analyzer”.
- Pasar a la pestaña “Acoustic Sensor”, asegurarse que la válvula de alivio este abierta, hacer clic en el botón “Obtain Zero Offset” dos veces para calibrar el transductor de presión, verificar que la válvula de alivio de la pistola remota esté cerrada.
- Seleccionar la opción de Archivo Base del pozo “(F3) Base Well File”, de ser un nuevo pozo al cual no se le ha tomado registro con este equipo, hacer clic en “New” como se muestra a continuación en la figura 2.16.

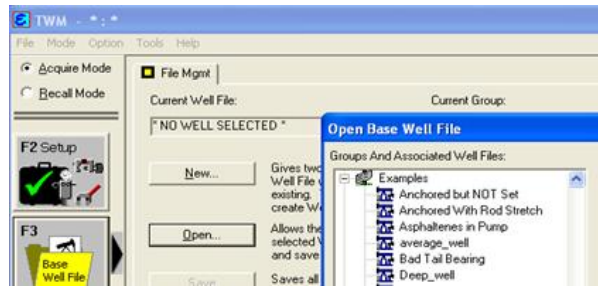


FIGURA 2.16 TWM NUEVO ARCHIVO DE POZO

- Ingresar el nombre del Pozo y de ser necesario el nombre de la carpeta donde se quiere almacenar el registro, hacer clic en “Create”.
- De acuerdo con el estado mecánico del pozo se ingresan los datos requeridos por el software en cada una de las fichas que se muestran en la parte superior para la corrida del registro. Como mínimo se debe ingresar la profundidad de la bomba y de los disparos.
- Hacer clic en “(F4) Select Test” Seleccionar en las fichas el Test “Acoustic”.
- Abrir lentamente la válvula del casing del lado donde está conectada la pistola y cerrar la válvula que sale del casing al sistema (se encuentra en el lado opuesto al que se encuentra conectada la pistola).
- Hacer clic en “(F5) Acquire Data”, esperar a que la onda se comporte de una forma regular para realizar el disparo. Esperar como mínimo 20 segundos.



- Identificar el Botón “(Alt S) Fire Shot” en la pantalla de la computadora y presionarlo como se muestra a continuación en la figura 2.17

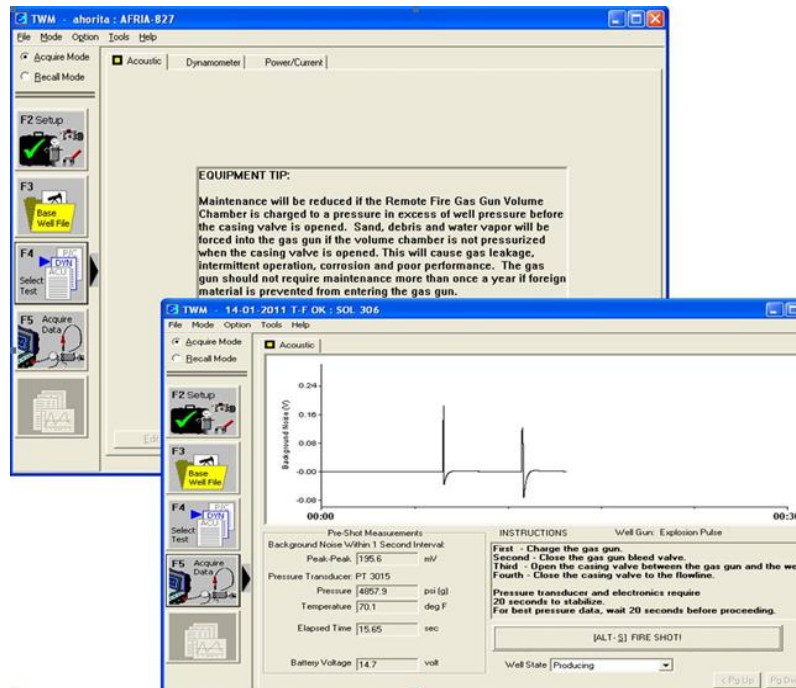


FIGURA 2.17 TWM PRUEBA DE ECOMETRO

- Una vez finalizada la prueba, automáticamente el software mostrara un anuncio de guardar o cancelar el registro. En la pantalla se debe ver una variación en el ancho de onda que representa el cambio de medio.
- Inspeccionar los datos en la pantalla de la computadora.  
NOTA: Si se obtiene una señal insuficiente del nivel de líquido o los datos no son satisfactorios, incremente la presión en la cámara y repita el procedimiento para tomar la prueba, de acuerdo al criterio que se explicó previamente. Cancelar y repetir.
- Al Iniciar el proceso de adquisición de datos de presión en el anular esperar mínimo un minuto para registrar cuatro puntos de presión. Si no se observa una tendencia a una línea recta, tomar tantos datos de presión como sean necesarios (hasta que se defina). Terminar el proceso de adquisición de datos de presión pasando a la pestaña “Casing Pressure”, presionando el botón “End Build up”.
- Cerrar la válvula de la TR (Casing), abrir la válvula de alivio de la pistola lentamente para liberar la presión acumulada y abrir lentamente la válvula de la TR (casing) contraria a donde se conecto la pistola.

- Desconectar los cables de la pistola, el analizador, desinstalar la pistola remota y apagar el “Well Analyzer”.
- Reportar en “Base Well File”, (pestaña general) en el campo en blanco las condiciones en las que se encontraron y entregaron las instalaciones posterior apagar la computadora.  
Nota: verificar que las condiciones en que se encontró el pozo sean las mismas que cuando finalice el registro.

**Los registros de dinagramas o cartas dinamométricas.** Son pruebas que se realizan para saber el funcionamiento de la bomba y de sus válvulas, esto nos ayuda a determinar si es necesaria cambiar la bomba o realizar un ajuste para tener un mejor desempeño, así como para saber si se tiene un problema con la sarta de varillas, el ancla mecánica o la tubería de producción.

**Well Analyzer.** Se muestra en la figura 2.18 y es una unidad electrónica compacta, esta unidad adquiere y digitaliza las señales del micrófono y transductor de presión. Estos datos se envían a la computadora para procesarlos. El Well Analyzer es un instrumento de canal dual, el cual posee un microprocesador amplificador/ registrador, el cual permite una mejor interpretación de las anomalías que se presentan en el anular ya que posee dos filtros que son usados para mejorar la señal de interpretación. La información que se toma de los distintos sensores se digitaliza a través de un convertidor análogo a digital, siendo estos datos procesados en la computadora y con esto poder medir la presión del espacio anular, la presión de fondo, el balanceo de la unidad y la medición de carga sobre la varilla pulida.

Este equipo permite una interpretación inmediata de la información obtenida en él ya que a medida que emite señal, registra.



FIGURA 2.18 ANALIZADOR (WELL ANALYZER)

**Transductor de carga.** Los dinagramas (o cartas dinamométricas) son registros de cargas, sobre la barra pulida o barra lisa para determinar la carta en superficie del comportamiento de



la bomba durante cada ciclo de bombeo y por medio de la ecuación de onda determinar la carta de fondo de la bomba y la carga sobre los tramos de varillas.

Los datos del dinamómetro se obtienen mediante el transductor de cargas, mostrados en la figura 2.19. Un transductor de carga es un aparato que transforma la potencia eléctrica en acústica a mecánica. El transductor de carga puede ser de dos tipos:

- Tipo herradura. Consiste en una celda con un sensor de carga muy preciso. Esta completado con un sensor, para medir la aceleración en la varilla pulida y calcular así las emboladas y la posición. Este tipo de transductor de carga es muy preciso pero también requiere mayor tiempo y trabajo en su instalación.
- Tipo C o PRT. Este transductor es muy fácil y rápido de instalar, pero no es tan preciso como el de tipo herradura en cuanto a los valores de carga se refiere, ya que consta de una serie de sensores muy sensibles que miden las variaciones en el diámetro de la varilla pulida, también tiene el sensor de aceleración, para calcular la posición y las emboladas. El gran problema que presenta es que durante la prueba se puede descalibrar y se tiene que volver a instalar.



FIGURA 2.19 TRANSDUCTOR DE CARGA

Principio de operación.

El dinamómetro más simple sería un resorte con una escala y una pluma unida en uno de sus extremos para registrar las deflexiones del resorte sobre un papel que se desplaza en forma perpendicular al eje del resorte.

El peso  $W$  representa la carga de varillas que alarga el resorte hacia abajo y luego es liberado de dicha carga. El patrón de fuerzas describe una curva senoidal, el área bajo la primera mitad del ciclo es positiva y es negativa la segunda mitad.

Debido a que el trabajo se define como la fuerza multiplicada por la distancia sobre la que actúa, el área bajo un diagrama de fuerza continua es proporcional al trabajo realizado. A este diagrama de fuerzas contra desplazamiento, se le llama carta dinamométrica y da la medida exacta del trabajo efectuado en la varilla pulida, además de que informa de las condiciones de bombeo.

En el caso expuesto anteriormente, el peso  $W$  deflexiona al resorte y luego liberado, regresa a su posición inicial, así que el trabajo neto realizado es cero.



Ciclo de bombeo (ver figura 2.20)

- En el Punto A, la válvula viajera cierra y se inicia la carrera ascendente del pistón.
- Del Punto A al Punto B la carga de fluido es transferida de la tubería de T.P., a la sarta de varillas de succión.
- En el Punto B la válvula de pie se abre y permite la entrada de fluidos del pozo a la cámara de compresión de la bomba.
- De punto B al punto C la carga de fluido es elevada por el émbolo, al mismo tiempo que se está llenando la cámara de compresión.
- En el Punto D se inicia la carrera descendente y cierra la válvula de pie, la válvula viajera permanece cerrada.
- En el Punto E, abre la válvula viajera y la carga es transferida de la sarta de varillas a la tubería de producción.
- Del Punto E al punto F, se desplaza el fluido de la cámara de compresión a la T.P.
- Se repite el ciclo.

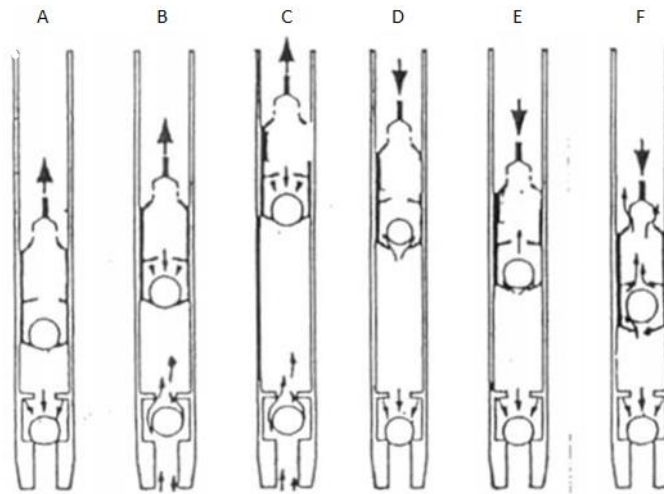


FIGURA 2.20 CICLO DE BOMBEO

Todos los sistemas de bombeo mecánico que operan a una velocidad finita, tienen como característica común el patrón típico de cargas, no tomando en cuenta los efectos de las fuerzas de fricción y armónicas, esto se muestra en la figura 2.21.

Iniciando en el fondo de la carrera de la varilla pulida y moviéndose hacia arriba, se tiene:



Zona 1.- Es la parte de la carrera donde la máxima carga de varillas y fluido se levanta del fondo con máxima aceleración. Esta zona se extiende desde el fondo hasta algún punto cerca de la mitad de la carrera ascendente. En ésta zona, el componente de la fuerza de inercia se suma a la carga estática de la masa de varillas y fluido. Debido a que la máxima aceleración hacia arriba ocurre en esta zona, normalmente el producto de la carga compuesta de varillas y fluido por la máxima aceleración, da como resultado la carga pico o carga máxima en la varilla pulida.

Zona 2.- Es la parte de la carrera ascendente que se extiende desde cerca del punto medio hasta el tope de la carrera. En ésta zona, aún se tiene la máxima masa de varillas y fluido, pero se está desacelerando, consecuentemente, el componente de inercia de la masa de varillas y fluido se está restando del total del peso estático.

Zona 3.- Se inicia en la parte superior de la carrera descendente desplazándose hacia abajo hasta algún punto cerca de la mitad de la carrera. En esta zona únicamente se tiene el peso de las varillas flotando menos el componente de inercia. Normalmente es en esta zona donde ocurre la máxima aceleración hacia abajo.

Zona 4.- Se inicia cerca de la mitad de la carrera descendente y se extiende hasta el fondo de la carrera. En esta zona las varillas flotando se desaceleran en su preparación para detenerse en el fondo de la carrera, entonces, el componente de la inercia se suma al peso de las varillas.

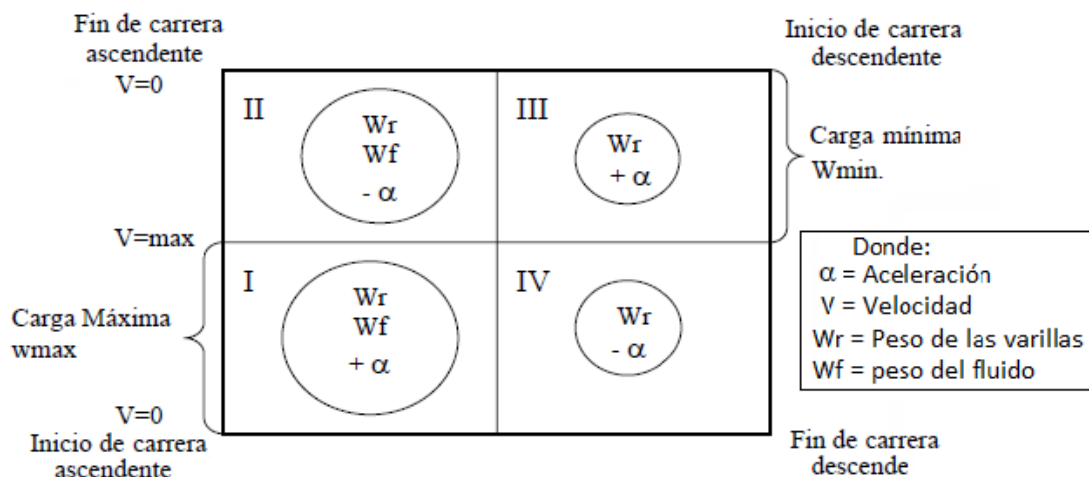


FIGURA 2.21 PATRÓN TÍPICO DE CARGAS

Todo lo anterior es una simplificación de un tema complejo, debido a que se supuso una masa no elástica de varillas y fluidos, considerando inercia simple y despreciando las fuerzas de fricción y armónicas que están involucradas. Esta simplificación en la práctica, no es completamente verdadera, debido a que en una columna elástica de varillas y fluido, las fuerzas armónicas constantemente se suman y restan a las fuerzas estáticas y de inercia, de tal

forma, que las cargas exactas en la varilla pulida pueden producirse únicamente utilizando modelos matemáticos complejos.

En un pozo con bombeo mecánico de profundidad somera a media, donde las cargas de varillas y fluido actúan como una masa concentrada, el patrón típico de cargas se considera aproximadamente verdadero. En pozos profundos, aunque dicho patrón puede ser verdadero en muchos casos, hay ocasiones en que las fuerzas armónicas modifican las cargas básicas de inercia y estáticas para producir un desplazamiento de fuerzas con un patrón de comportamiento muy complejo. Sin embargo, en cualquiera de los casos, el concepto de las cuatro zonas es muy importante para entender apropiadamente el desplazamiento de las fuerzas en un sistema de bombeo mecánico.

Para el análisis de las cartas dinamométricas (dinagramas) se puede hacer el análisis a partir de la carta de fondo y/o superficie, como las de la figura 2.22.

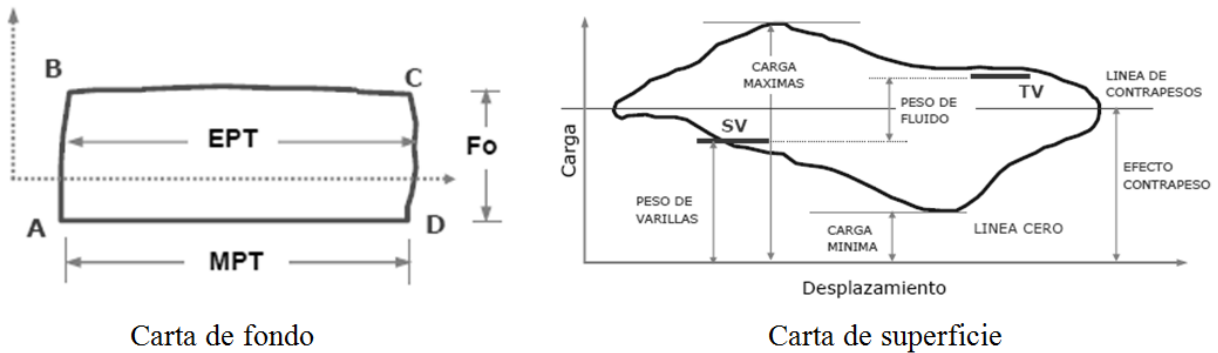


FIGURA 2.22 DINAGRAMA DE FONDO Y SUPERFICIE IDEAL

MPT (maximun plunger travel): Máxima longitud de movimiento del pistón respecto del barril durante una carrera completa.

EPT (efective plunger travel): longitud de la carrera del pistón cuando la carga total del fluido está actuando sobre la válvula de pie.

Fo (fluid load): es una fuerza que actúa sobre el pistón debido al diferencial de presión que actúa sobre el mismo.



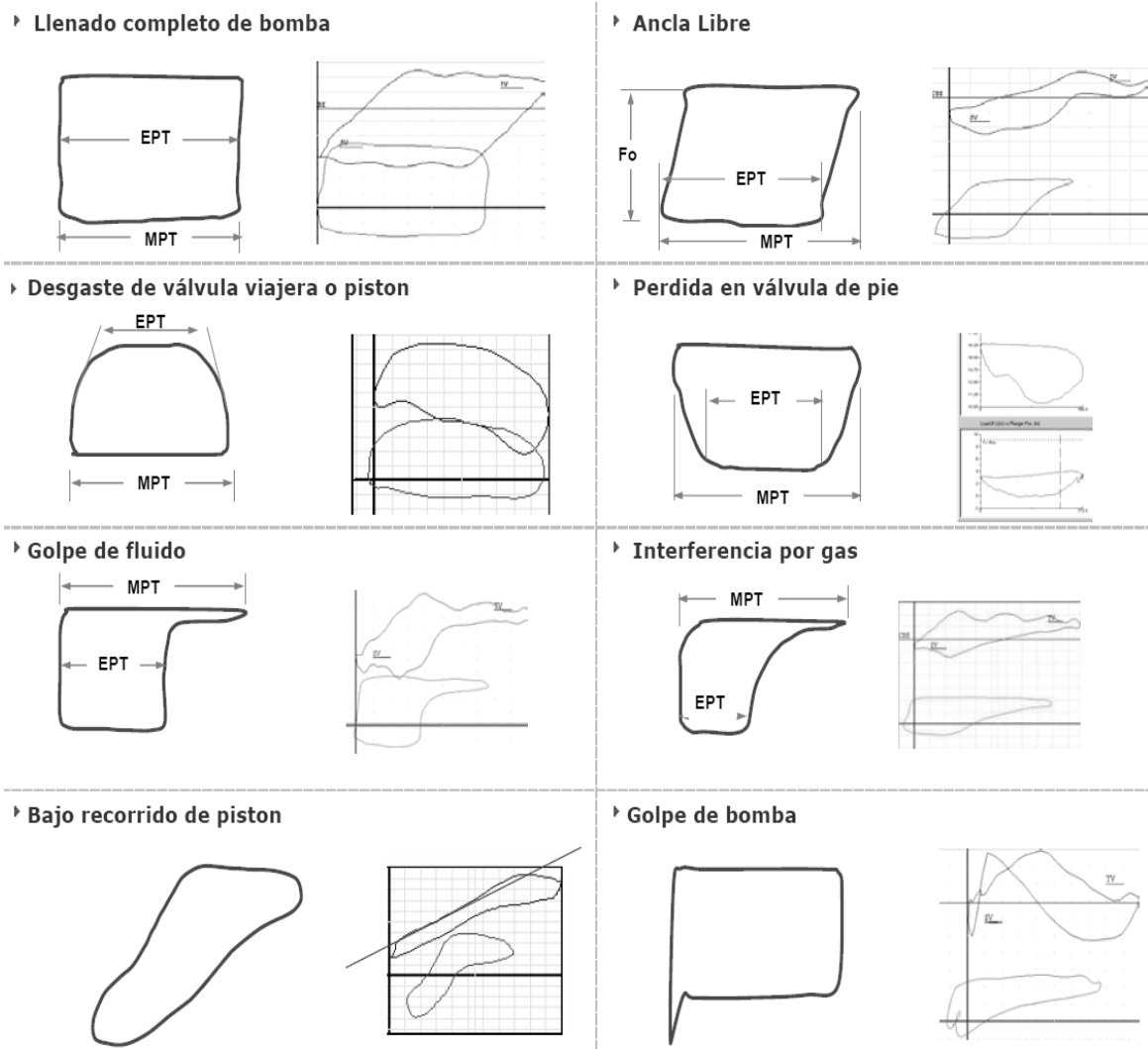


FIGURA 2.23 REFERENCIA BÁSICA DE DINAGRAMAS DE FONDO Y SUPERFICIE

Toma de Dinagramas (ó cartas dinamométricas) con el Well Analyzer.

Para poder realizar la toma de un registro dinamométrico con el equipo digital y el software de la compañía *Echometer* es necesario conocer por lo menos los siguientes datos:

- Tipo de unidad
- Emboladas por minuto
- Carrera
- Prof. de colocación del ancla
- Prof. de colocación de la bomba
- Diámetro de la bomba
- Diámetro, longitud y grado de las varillas

*Existen dos tipos de transductores:* la forma de obtener los datos es básicamente la misma, lo único que cambia es la forma de instalación y calibración de éstos, a continuación se enumeran los pasos para realizar un registro dinamométrico con el PRT y la celda de carga.

Introducir información. Los datos son insertados a la computadora primero en configuración (*setup* F2), introducir los datos del transductor a utilizar, ya sea creando uno nuevo registro o seleccionando uno ya existente (creado anteriormente), a continuación en la hoja de información del pozo (*Base Well file* F3) se selecciona el pozo a tomar el dinamómetro o creando una nueva base de datos siguiendo el mismo procedimiento de entrada de datos del pozo a analizar.

### **Toma de Dinamómetro con PRT (*Polished Rod Transducer*)**

- Para conectar el cable al transductor y al dinamómetro, El extremo del cable en espiral se une al cable en forma de “Y”, este mismo se conecta en la entrada principal del analizador.
- Encienda el analizador esperando a que el Led se ponga verde para poder encender la computadora e inicie el programa TWM.
- Inicie TWM en adquirir datos, seleccione la pestaña con la leyenda “*Equipment check*”, ésta despliega el voltaje y la temperatura de la batería interna, indicando que la computadora y el analizador tienen buena comunicación.
- Seleccione el pozo que desea analizar utilizando el botón “(F3) *Base Well File*”, donde aparecerá una lista con los pozos existentes.
- Seleccione el tipo de prueba que desea realizar utilizando el botón “(F4) *Select test*” puede seleccionarse entre prueba dinamométrica (Alt-1) o prueba de válvulas viajera y de pie (Alt-2).
- Oprima el botón adquirir datos (F5 *Acquire Data*) e inmediatamente aparecerá una ventana indicando la manera de conectar el transductor al cable.
- A continuación aparecerá una ventana indicando que elija el tamaño de la varilla pulida y una ventana donde indica que puede conectar el transductor en la varilla pulida, para esto previamente se debe de poner fuera de operación la unidad de bombeo casi al final de la carrera descendente el transductor se conecta a la varilla pulida aproximadamente 6 pg. debajo del “*carrier bar*” (el lugar de la varilla pulida donde se va a conectar el transductor debe estar limpio y libre de corrosión).
- El PRT tiene una posición específica en la varilla pulida, la cual se define al momento de apretarlo de frente y con la mano derecha, en caso de que el transductor este al revés se observara una ventana indicando la anomalía.



- Se calibra a cero la salida del transductor apretando suavemente el tornillo en la varilla pulida y con ayuda del software (aparecerá una regla con un triángulo invertido) para no exceder el apriete y dañar el transductor. La salida del transductor no tiene que ser necesariamente cero puede ser entre  $\pm 1$  mV/V (la regla tiene marcas de la escala en mV/V). La aparición de esta regla indica que el transductor está demasiado apretado y que podría dañarse. (too tight).
- Asegurarse que ningún elemento móvil (cable, PRT, etc) sufrirá daños al operar la unidad. Contemplado esto se procede a encender la unidad Bombeo Mecánico.
- El programa automáticamente comenzará con la adquisición de datos, en el caso de que usted haya seleccionado tomar dinamómetro mostrando una gráfica de carga contra tiempo, aparecerá un botón en la parte inferior para grabar datos o en su defecto, repetir la prueba.
- Si lo desea, puede seleccionar realizar prueba de válvulas, por lo que regresará a pantalla “(F4) *Select test*” seleccionando prueba de válvulas y presionando el botón de adquisición de datos “(F5) *Acquire Data*” en este paso, aparecerán instrucciones en la pantalla de cómo realizar la prueba, básicamente, con la unidad operando, se detiene la unidad durante 30 seg. Aproximadamente a más  $\frac{3}{4}$  de la carrera ascendente para determinar problemas en la válvula viajera, se deja correr la unidad nuevamente, y se detiene pero ahora a más  $\frac{3}{4}$  de la carrera descendente durante un tiempo igual para la válvula de pie, aparecerá un botón en la parte inferior para grabar los datos obtenidos o en su defecto repetir la prueba.
- Finalmente se procede a grabar la prueba introduciendo un nombre para identificarla.
- Para retirar el PRT se detiene la unidad cerca de la parte más baja de la carrera descendente, y con mucha precaución se afloja el tornillo de ajuste hasta liberar completamente el PRT.
- Se pone a operar la unidad, dejándola en las mismas condiciones de operación en la que se encontraba.

#### **Toma de Dinamómetro con Celda de Carga (Horseshoe Load Cell)**

- Para conectar el cable al transductor y al dinamómetro, El extremo del cable en espiral se une al cable en forma de “Y”, este mismo se conecta en la entrada principal del analizador.
- Encienda el analizador esperando a que el Led se ponga verde para poder encender la computadora e inicie el programa TWM.

- Inicie TWM en adquirir datos, seleccione la pestaña con la leyenda Equipment check, ésta despliega el voltaje y la temperatura de la batería interna, indicando que la computadora y el analizador tienen buena comunicación.
- En la pestaña “*Dynamometer sensor*” elegir el número de serie del transductor a utilizar, en caso de que no esté en la lista dar click en el botón “*Create New*” e ingresar los coeficientes indicados. Con la celda de carga conectada correctamente y sobre una superficie plana y estable hacer doble click en el botón “*Obtain Zero Offset*” para calibrar la celda a cero, antes de colocarla en la varilla pulida.
- Seleccione el pozo que desea analizar utilizando el botón “(F3) Base Well File”, donde aparecerá una lista con los pozos existentes.
- Seleccione el tipo de prueba que desea realizar utilizando el botón “(F4) Select test” puede seleccionarse entre Prueba dinamométrica (Alt-1) o prueba de válvulas viajera y de pie (Alt-2), en la figura 2.24 se muestran estas opciones.
- Detenga la unidad de bombeo cerca del final de la carrera descendente, para colocar la celda de carga. con la unidad parada y cerca del punto más bajo en carrera descendente, coloque una grampa, en la varilla pulida con el objetivo de poder liberar un espacio suficiente entre el “carrier bar” y la grampa permanente por lo menos 4 pg.
- Retirar cualquier equipo adicional que este sobre el estopero como lubricadores, sensor de fugas, etc; que no sea capaz de soportar el peso de la sarta de succión más el peso del fluido, ajuste los tornillos de carga del estopero, asegúrese que la grampa temporal está perfectamente apretada.
- Operar la unidad suavemente de modo que al alcanzar el punto más bajo, se produzca la separación necesaria, entre el “carrier bar” y la celda permanente; esto se logra mediante pequeños movimientos de los contrapesos en sentido de avance mediante combinaciones de clutch y freno en caso de unidades con motor de combustión interna y switch de encendido / apagado y freno en caso de unidades con motor eléctrico, siempre cuidando que dichos movimientos sean sutiles y lentos para no dañar ningún elemento de la unidad superficial de bombeo.
- Con mucha precaución colocar la celda de carga con el pin de seguridad en el espacio entre el “carrier bar” y la grampa permanente, asegurarse de que el freno está correctamente accionado una vez que el área del cabezal está despejada y el personal está completamente fuera del radio de alcance de los contrapesos, nuevamente operar la unidad, con pequeños movimientos de los contrapesos en sentido de avance, a modo de que el “carrier bar” aprisione la celda de carga entre la grampa permanente. Nunca permita que el “carrier bar” suba de manera súbita ya que esto dañara la celda de carga de manera permanente.



- Retirar la grampa temporal, una vez que la celda de carga esta fija en su lugar, detener la unidad y con el freno puesto, retirar la grampa temporal.
- Operar la unidad superficial de bombeo mecánico.
- El programa automáticamente comenzará con la adquisición de datos, en el caso de que usted haya seleccionado tomar dinamómetro mostrando una gráfica de carga contra tiempo, aparecerá un botón en la parte inferior para grabar datos o en su defecto, repetir la prueba.
- Si lo desea, puede seleccionar realizar prueba de válvulas, por lo que regresará a pantalla “(F4) Select test” seleccionando prueba de válvulas y presionando el botón de adquisición de datos “(F5) Acquire Data” en este paso, aparecerán instrucciones en la pantalla de cómo realizar la prueba, básicamente, con la unidad operando, se detiene la unidad durante 30 seg. Aproximadamente a más  $\frac{3}{4}$  de la carrera ascendente para determinar problemas en la válvula viajera, se deja correr la unidad nuevamente, y se detiene pero ahora a más  $\frac{3}{4}$  de la carrera descendente durante un tiempo igual para la válvula de pie, aparecerá un botón en la parte inferior para grabar los datos obtenidos o en su defecto repetir la prueba.
- Para retirar la celda cuidadosamente se siguen los mismos pasos de la instalación.
- Se pone a operar la unidad, dejándola en las mismas condiciones de operación en la que se encontraba.

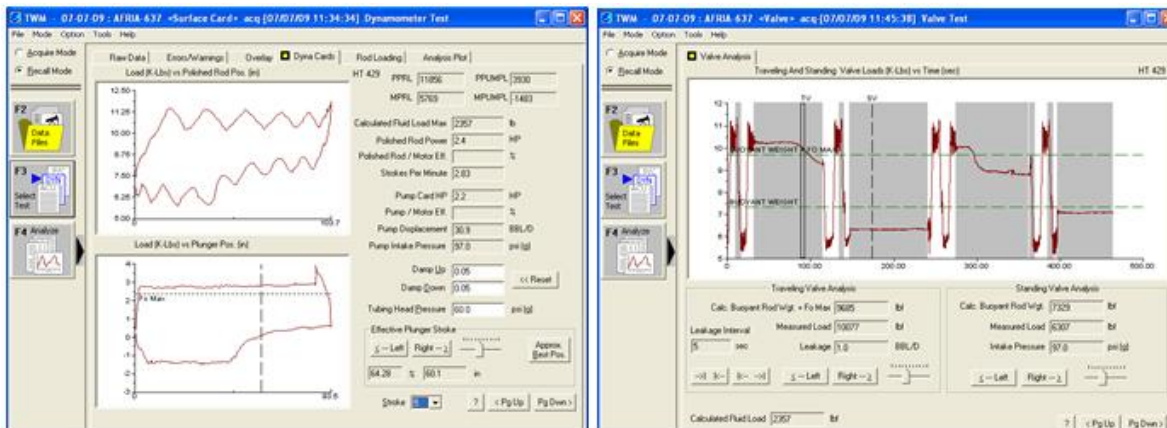


FIGURA 2.24 TWM PRUEBA DE DINAGRAMA Y DE VÁLVULAS



**3. Diseño de BM.**

3.1. Selección del tamaño de la bomba.

Para una profundidad de colocación de la bomba y un volumen de producción dado, existe un tamaño apropiado de ésta que es el resultado de mantener una carrera efectiva del émbolo y una velocidad de operación moderada. El factor más importante a considerar en la selección de una bomba es el volumen de fluido que es capaz de desplazar por cada pulgada de carrera del émbolo, el cual depende del diámetro de la bomba.

El desplazamiento teórico de la bomba en el fondo (PD) es determinado por:

$$PD = A_p (\text{plg}^2) S_p \left[ \frac{\text{plg}}{\text{embolada}} \right] N \left[ \frac{\text{embolada}}{\text{minuto}} \right] \left[ \frac{1440 \text{ min/día}}{9702 \text{ plg/bls}} \right] \dots\dots\dots (1)$$

$$PD = 0.1484 A_p S_p N \text{ (BPD) barriles por día}$$

Donde:

- $A_p$  = Área de la sección transversal del émbolo (plg<sup>2</sup>)
- $S_p$  = Carrera efectiva del émbolo (plg)
- $N$  = Velocidad de bombeo, embolada /min. (spm)

El gasto de producción en la superficie (q) es menor que el desplazamiento teórico de la bomba, debido a la eficiencia volumétrica de la bomba (E<sub>v</sub>), la cual es calculada como la relación de gastos.

$$E_v = (q/PD)(100) \dots\dots\dots (2)$$

$$q = (E_v)(PD)/100 \dots\dots\dots (3)$$

La eficiencia volumétrica es un factor muy importante a considerar en la solución de los problemas, desafortunadamente se conoce hasta que se define el gasto de producción deseado.

La liberación de gas es un factor muy significativo en la estimación de la eficiencia volumétrica, ya que por ejemplo: en pozos con alta relación gas-líquido se tienen eficiencias muy bajas, del 25% al 50%, en aquellos donde existe una buena separación del gas de formación se tendrán eficiencias del 50% al 70%, en pozos con una buena separación y buena sumergencia de la bomba las eficiencias serán del orden del 70% al 80% y para pozos sin gas pero con un alto nivel de fluido las eficiencias volumétricas pueden aproximarse al 100%.

Para la selección del tamaño óptimo del émbolo a un gasto de producción deseado y una cierta profundidad, es importante considerar que se deben obtener altas eficiencias y prevenir cargas innecesarias en la sarta de varillas y el equipo superficial.



3.2. Diseño de la sarta de varillas.

Como las varillas no sólo sostienen su propio peso sino también el peso del fluido, la carga en la sarta de varillas se incrementa progresivamente desde el fondo del pozo hacia la superficie, por lo que a mayores profundidades de bombeo, es más usual instalar una sarta de varillas telescopiadas.

Estas sartas consisten en varillas de dos o más diámetros y diferente longitud, con los tamaños más grandes hacia la superficie donde las cargas sobre la sarta son mayores, el uso de sartas telescopiadas da como resultado una disminución de cargas y costos. Así como para prever una distribución más uniforme de los esfuerzos en las varillas.

Existen dos métodos para diseñar una sarta de varillas telescopiadas, estos son:

**Esfuerzo máximo.**- Consiste en asignar a cada sección de la sarta un esfuerzo máximo, si se pasa de este valor máximo, se selecciona una varilla de mayor diámetro.

**Esfuerzos iguales.**- Es el método más usado, y consiste en diseñar la sarta de varillas de tal manera que los esfuerzos sean iguales en la parte superior de cada sección.

TABLA 3.1 LONGITUD DE LA SARTA DE VARILLAS

Diámetro de la sarta (pg)	Valores de “R”
5/8 – 3/4	R1=0.759-0.0896Ap R2=0.241+0.0896Ap
3/4 – 7/8	R1=0.786-0.0566Ap R2=0.214+0.0566Ap
7/8 – 1	R1=0.814-0.375Ap R2=0.186+0.375Ap
5/8 – 3/4 – 7/8	R1=0.627-0.1393Ap R2=0.199+0.0737Ap R3=0.175+0.0655Ap
3/4 – 7/8 – 1	R1=0.664-0.0894Ap R2=0.181+0.0478Ap R3=0.155+0.0416Ap
3/4 – 7/8 – 1 – 1 1/8	R1=0.582-0.1110Ap R2=0.158+0.0421Ap R3=0.137+0.0364Ap

	$R_4 = 0.123 + 0.0325A_p$
--	---------------------------

Una vez definido el porcentaje de cada sección de varilla, se calcula la longitud de cada una de ellas considerando que:

$$LR_i = L_i \dots\dots\dots (4)$$

$$\Sigma L_i = L \quad i = 1, 2, 3, \dots n,$$

Donde:

$R_i$  – Porcentaje fraccional de cada sección de varilla (%).

$L$  – Longitud total de la sarta de varillas (pies).

$L_{1,2,3,\dots n}$  – Longitud de cada sección de varillas (pies).

$\Sigma$  – Sumatoria de todas las secciones de varillas (pies).

La carga máxima ( $W_{m\acute{a}x}$ ) y mínima ( $W_{m\acute{i}n}$ ) que se espera durante el ciclo de bombeo en la sarta de varillas deben ser determinadas correctamente para poder seleccionar el equipo superficial adecuado que pueda manejar estas cargas.

La cuantificación de las cargas en la varilla pulida serán más o menos reales, dependiendo de los datos con los que se disponga. Para el cálculo de estas cargas, se han propuesto diferentes expresiones, confiables y que pueden utilizarse en un amplio rango de velocidades de bombeo.

**Carga Total de la Varilla Pulida.**

Dentro del ciclo de bombeo se presentan algunos factores que contribuyen a formar la carga total de la varilla pulida, estos factores son:

- 1) El peso muerto de la sarta de las varillas ( $W_r$ ) y está dado por:

$$W_r = \Sigma m_i L_i \dots\dots\dots (5)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Donde:

$m_i$  = Peso unitario de cada sección de varillas (lbs/pie).

$L_i$  = La longitud de cada sección de la sarta de varillas (pie).

- 2) La carga por aceleración de la sarta de varillas, las cargas máximas y mínimas por aceleración están dadas por:

Carga máxima por aceleración =  $W_r \alpha \dots\dots\dots (6)$

Carga mínima por aceleración =  $- W_r \alpha \dots\dots\dots (7)$



Donde:

$\alpha$  = Factor de aceleración.

El factor de aceleración es calculado mediante la ecuación de Mills:

$$\alpha = \frac{SN^2}{70500} \dots\dots\dots (8)$$

3) Fuerza de flotación de las varillas

Considerando que la densidad de las varillas es de 490 lbs/pie<sup>3</sup>, el volumen de la sarta de varillas y consecuentemente el volumen del fluido desplazado (Vd) por la sarta es:

$$Vd = W_r / 490 \text{ lbs/plg}^3 \dots\dots\dots (9)$$

La densidad del fluido desplazado en función de la densidad relativa es:

62.4 G lbs/pie

Donde:

G = Densidad relativa del fluido.

La fuerza de flotación de las varillas (Ff), es decir, el peso del fluido desplazado es entonces:

$$Ff = - (W_r / 490) (62.4 G) \dots\dots\dots (10)$$

$$Ff = - 0.127 W_r G \dots\dots\dots (11)$$

El signo negativo de la ecuación anterior indica que la fuerza de flotación es siempre ascendente.

4) La carga del fluido para determinar las cargas en la varilla, será el peso del fluido que es soportado por el área neta del émbolo. De acuerdo a esto, el volumen de la columna de fluido (Vc), teniendo como base el área del émbolo y la longitud total de la sarta de varillas será:

$$Vc = L A_p / 144 \text{ pie}^3 \dots\dots\dots (12)$$

El volumen del fluido (Vf) va a ser la diferencia entre el volumen de la columna de fluido sobre el émbolo, menos el volumen desplazado por la sarta (Vd), es decir:

$$Vf = (L A_p / 144) - (W_r / 490) \dots\dots\dots (13)$$

Entonces la carga del fluido (Wf) será:



$$W_f = 62.4 G [(L A_p/144) - (W_r/490)] \dots\dots (14)$$

$$W_f = 0.433 G (L A_p - 0.294 W_r) \dots\dots (15)$$

La carga del fluido sobre la varilla pulida es únicamente durante la carrera ascendente.

### **Carrera efectiva del émbolo.**

El volumen de aceite manejado durante cada carrera del émbolo no depende de la longitud de carrera de la varilla, si no de un movimiento relativo del émbolo en el barril de trabajo. Este movimiento es conocido como carrera efectiva del émbolo y difiere significativamente de la carrera de la varilla pulida. Esta diferencia se debe a las elongaciones en la varilla ( $e_r$ ) y en la tubería ( $e_t$ ), así como también a la sobrecarga del émbolo ( $e_p$ ) como resultado de la aceleración.

La carrera efectiva del émbolo, es la carrera de la varilla pulida disminuida por los efectos de elongación en las varillas y la tubería, debido a la carga del fluido e incrementada por el efecto de la sobrecarga del émbolo como resultado de la aceleración. Por lo tanto la carrera efectiva del émbolo es:

$$S_p = S + e_p - (e_t + e_r) \dots\dots (16)$$

Donde todos los términos involucrados en la ecuación anterior deberán estar expresados en pulgadas.

### **Elongación de la tubería ( $e_t$ ) y la varilla ( $e_r$ )**

Dado que las válvulas viajera y de pie, abren y cierran durante el ciclo de bombeo, la carga del fluido es transferida alternativamente de la tubería a la sarta de varillas, lo que ocasiona deformaciones elásticas periódicas. Durante la carrera descendente, cuando la válvula de pie está cerrada y la válvula viajera está abierta, la carga del fluido está sobre la tubería, lo que provoca una cierta elongación en este miembro, en cambio, al inicio de la carrera ascendente, cuando la válvula viajera está cerrada y la válvula de pie está abierta, se origina una elongación en las varillas.

La restauración de la longitud original de la tubería ocasiona que el barril de trabajo se mueva hacia arriba y la elongación de las varillas provoca que el émbolo se mueva hacia abajo. Sin embargo, la carrera efectiva del émbolo disminuye en una cantidad igual a la suma de las elongaciones.

Para una deformación elástica, se tiene una relación constante entre la tensión aplicada al cuerpo de la varilla y el esfuerzo interno de la misma; esta relación es el llamado “módulo de elasticidad” (E), el cual depende del tipo de material manejado.



$$E = \frac{\text{Tensión}}{\text{Esfuerzo interno}} \dots\dots (17)$$

Si la tensión es una fuerza (F) aplicada sobre una unidad de área (A), entonces:

$$\text{Tensión} = F/A \text{ (lbs/plg}^2 \text{)} \dots\dots (18)$$

El esfuerzo interno es un cambio fraccional en la longitud.

$$\text{Esfuerzo interno} = \frac{e}{12 L} \dots\dots (19)$$

Donde:

e = Elongación del elemento de análisis (plg).

L = Longitud del elemento de análisis (pie).

Sustituyendo las ecuaciones anteriores se tiene:

$$E = \frac{F/A}{e/12 L} = \frac{12 FL}{e A} \dots\dots (20)$$

Entonces, la elongación del elemento de análisis será:

$$e = \frac{12 FL}{E A} \dots\dots (21)$$

Donde la fuerza (F), debido a la carga del fluido, resulta de la presión diferencial ( $\Delta_p$ ) que se tenga a través del émbolo y que actúa sobre el área total del émbolo ( $A_p$ ).

$$F = \Delta_p A_p \dots\dots (22)$$

Si se considera que la bomba se coloca a la profundidad del nivel dinámico (D), la presión diferencial será la presión de una columna de fluido de densidad relativa (G) a una profundidad L.

$$\Delta_p = 0.433 G L \dots\dots (23)$$

Para un caso más general, la presión bajo el émbolo debido a la columna de fluido en la T.R., será mayor de (L-D), entonces:

$$\Delta_p = 0.433 G L - 0.433 G (L-D) \dots\dots (24)$$

$$\Delta_p = 0.433 G D \dots\dots (25)$$

Sustituyendo la ecuación anterior:



$$F = 0.433 G D A_p \dots\dots (26)$$

Sustituyendo la ecuación esto en la primera ecuación:

$$e = \frac{12(0.433G D A_p )L}{E A} \dots\dots (27)$$

$$e = \frac{5.20G D A_p L}{E A} \dots\dots (28)$$

Entonces, de acuerdo con la ecuación anterior, la elongación de la varilla será:

$$e_r = \frac{5.20G D A_p L}{E A_r} \dots\dots (29)$$

y la elongación de la tubería será:

$$e_t = \frac{5.20G D A_p L}{E A_t} \dots\dots (30)$$

En el caso de una sarta de varillas telescopiadas la ecuación de elongación anterior se aplicará a cada sección, de tal forma que la elongación de las varillas será:

$$e = \frac{5.20 G D A_p}{E} \left[ \frac{L_1}{A_1} + \frac{L_2}{A_2} \dots \right] \dots\dots (31)$$

Estos valores de elongación también pueden calcularse con las siguientes fórmulas:

$$e_r = E_r W_f L \dots\dots (32)$$

$$e_t = E_t W_f L \dots\dots (33)$$

### Sobre carrera del émbolo

Además de las elongaciones de la tubería y las varillas se debe considerar la elongación originada por el peso de las varillas flotando en el fluido, debido a la aceleración de las mismas en cada carrera del émbolo, esta elongación es llamada sobrecarrera del émbolo.

En una sarta, el peso de la varilla va aumentando gradualmente desde cero en el fondo hasta  $W_r$  en la parte superior. En promedio, el peso de la sarta que origina la elongación es de  $W_r/2$  y en términos de longitud será de  $L/2$ . De tal forma que la elongación de las varillas como resultado de su propio peso, al final de la carrera descendente ( $e_p$ ) y de acuerdo con la ecuación de elongación será:



$$e_d = \frac{12 (Wr + Wr\alpha) L/2}{E Ar} \dots\dots\dots (34)$$

Recordando que, en la carrera descendente se tiene la máxima carga por aceleración (+Wr α) y que cerca del tope de la carrera ascendente, justo cuando las varillas comienzan a bajar, se tiene la mínima carga por aceleración (-Wr α), entonces la elongación de las varillas al final de la carrera ascendente (e<sub>u</sub>) será:

$$e_u = \frac{12 (Wr - Wr\alpha) L/2}{E Ar} \dots\dots\dots (35)$$

La elongación neta, resultante de la aceleración o de la sobrecarga del émbolo es:

$$e_u = e_d - e_u = \frac{12 Wr\alpha L}{E Ar} \dots\dots\dots (36)$$

y si el peso de la sarta es:

$$Wr = p_r L Ar/144 \dots\dots\dots (37)$$

Donde p<sub>r</sub> es la densidad del acero de las varillas y es aproximadamente 490 lbs/pie<sup>3</sup>.  
Sustituyendo el peso de la sarta en la ecuación de elongación se tiene:

$$e_p = \frac{12 \alpha L}{E Ar} \left[ \frac{490 L Ar}{144} \right] = \frac{40.8 \alpha L^2}{E} \dots\dots\dots (38)$$

Finalmente, se tiene la ecuación plantada por Marsh-Coberly, basada en las ecuaciones anteriores y sustituyendo se conoce la carrera efectiva del émbolo para la sarta de varillas de un solo diámetro:

$$Sp = S + \frac{40.8 L^2 \alpha}{E} - \frac{5.20 GD ApL}{E} \left[ \frac{1}{A_t} + \frac{1}{Ar} \right] \dots\dots\dots (39)$$

y para la sarta de varillas de varios diámetros (telescopiada)

$$Sp = S + \frac{40.8 L^2 \alpha}{E} - \frac{5.20 GD ApL}{E} \left[ \frac{1}{A_t} + \frac{L_1}{Ar_1} + \frac{L_2}{Ar_2} + \frac{L_3}{Ar_3} \right] \dots\dots\dots (40)$$





### 3.3. Software Rodstar.

El Software Rodstar es la herramienta utilizada para el diseño del sistema de bombeo mecánico, este requiere información básica de las condiciones del pozo y de los fluidos, A continuación se presenta una explicación más detallada de cada botón en la barra de herramientas de izquierda a derecha:

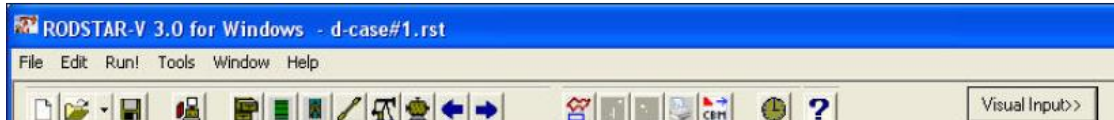


FIGURA 3.1 BARRA DE HERRAMIENTAS DE RODSTAR

**Nuevo archivo:** Este es el primer botón de la barra de herramientas y muestra una imagen de una página en blanco. Haga clic en este botón para comenzar a introducir los datos de un nuevo caso e inicia colocando la pantalla de información del pozo.

**Abrir archivo:** Este es el segundo botón de la barra de herramientas y muestra el icono de archivo estándar abierto. Haga clic en este botón para leer un archivo RODSTAR, que estaba previamente almacenado en el disco.

**Guardar archivo:** Este es el tercer elemento en la barra de herramientas y muestra una imagen de un disco de un disquete. Haga clic aquí para guardar los datos en la memoria del disco, es recomendable después de llenar una ventana del diseño guardar la información.

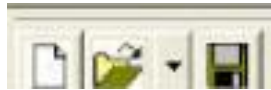


FIGURA 3.2 CUADROS BÁSICOS: NUEVO, ABRIR Y GUARDAR

**Configuración:** Este es el cuarto punto de la barra. Haga clic aquí para ver la ventana de Configuración de RODSTAR. Esto le permite especificar las entradas y las preferencias que normalmente no se cambian con frecuencia, tales como: nombre de la empresa, el costo de la electricidad, las unidades de medida, longitud estándar de varillas de bombeo, la unidad de bombeo y el costo de varilla de bombeo, las opciones de informe impreso, y la hoja de resumen.

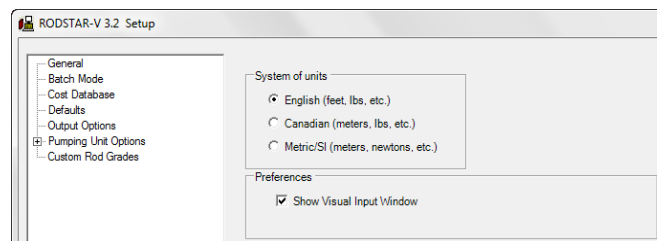


FIGURA 3.3 VENTANA DE CONFIGURACIÓN



**Información del pozo:** Este es el quinto punto de la barra de herramientas y muestra una imagen de un archivero. La primera vez que carga RODSTAR este icono (y en los próximos cinco iconos) está inactivo hasta que introduzca los datos y la información. Esta ventana contiene datos tales como la profundidad de la bomba, tiempo de ejecución, condición de la bomba, la presión en la TP y TR, la gravedad específica de los fluidos, etc.

FIGURA 3.4 VENTANA DE INFORMACIÓN DE POZO

**Información de producción:** Este es el sexto punto de la barra y muestra una imagen de un barril. Haga clic aquí para abrir la ventana de información de producción que tiene datos como el nivel de líquido, los objetivos de producción, datos de IPR, etc.

FIGURA 3.5 VENTANA DE INFORMACIÓN DE PRODUCCIÓN

**Información de la bomba y tubería de producción:** Este es el séptimo punto de la barra y muestra una imagen de una bomba de fondo. Haga clic aquí para ver los datos del tipo de bomba, tubería de producción, profundidad del ancla mecánica, coeficientes de fricción de la varilla y la tubería y los efectos de la inercia del fluido.

FIGURA 3.6 VENTANA DE INFORMACIÓN DE BOMBA Y TUBERÍA

**Información de la sarta de varillas:** Este es el punto ocho en la barra de herramientas y muestra una foto de una varilla de bombeo. Aquí es donde se especifica el tipo de varilla con el cual Rodstar diseñara la sarta, también, puede introducir su propio diseño sarta de varillas, etc.

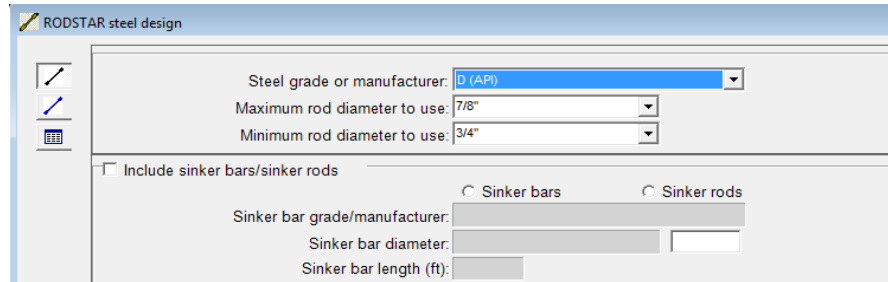


FIGURA 3.7 VENTANA DE SARTA DE VARILLA

**Desviación del pozo:** Este es el noveno punto de la barra y muestra una foto de un pozo desviado. Sólo está disponible en RODSTAR-D, ya que esta es la ventana de entrada para el estudio de la desviación del pozo. Aquí se observa la dirección e inclinación del pozo y también se puede ver la gráfica 3-D del pozo.

The screenshot shows the 'Deviation Profile Information' window. It contains a table with the following data:

#	Meas. depth (ft)	Inclination (°)	Azimuth (°)	Dogleg sev. %/100ft	TVD (ft)	N-S (ft)	E-W (ft)
1	0	0	0	0	0	0	0
2	328	1.35000023	202.0399932	0.41	327.97	-3.58	-1.45
3	416.56	2.190000057	327.9700012	3.59	416.51	-3.11	-2.74
4	514.96	6.289999961	347	4.35	514.62	3.74	-4.95
5	603.52	10.27999973	353.9599914	4.64	602.24	16.33	-6.87
6	698.64	14.27999973	353.8099975	4.21	695.17	36.44	-9.03
7	787.2	17.84000015	352.9200134	4.03	780.26	60.77	-11.88
8	882.32	22.23999977	351.4299926	4.66	869.6	93.04	-16.36

FIGURA 3.8 VENTANA DE INFORMACIÓN DE DESVIACIÓN

**Información de la unidad de bombeo:** este es el decimo punto y muestra una foto de una unidad convencional, aquí se muestra los datos para el tipo de la unidad bombeo, la rotación de la manivela, la longitud de carrera, desbalanceo estructural y los datos de contrapeso.

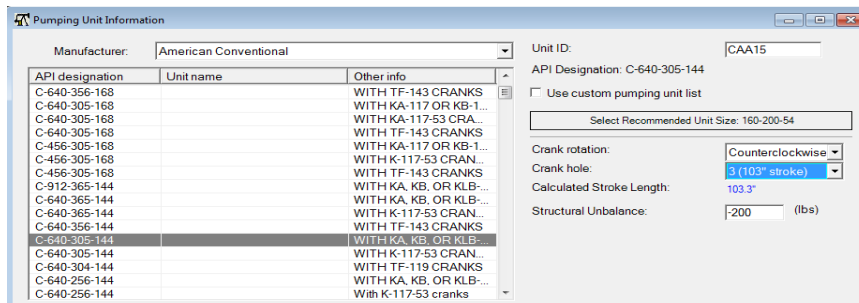


FIGURA 3.9 VENTANA DE INFORMACIÓN DE UNIDAD DE BOMBEO

**Información del motor:** Este icono muestra una foto de un motor. Haga clic aquí para abrirla ventana de información del motor que tiene los datos de costo de la electricidad, el



tipo de medidor de potencia, de motor y el tamaño, momentos de inercia y si se incluye la variación de velocidad del motor.

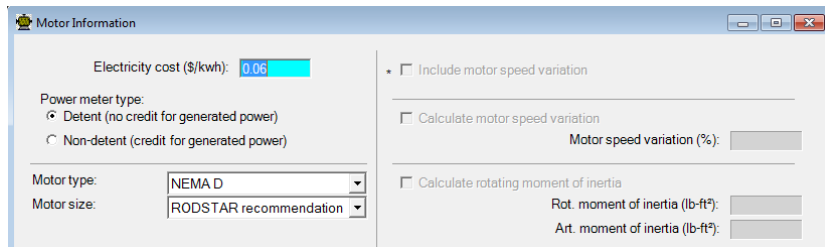


FIGURA 3.10 VENTANA DE INFORMACIÓN DEL MOTOR

**Ventana anterior:** Este icono muestra una flecha que apunta hacia la izquierda. Haga clic en él para volver a la ventana de entrada anterior.

**Ventana siguiente:** Esto muestra una flecha que apunta hacia la derecha. Haga clic aquí para avanzar a la siguiente ventana cuando se introducen datos por primera vez.



FIGURA 3.11 CUADROS DE DESPLAZAMIENTO

**Ejecutar:** Este icono muestra una carta dinamométrica de superficie y fondo. Haga clic aquí para ejecutar RODSTAR después de ingresar todos sus datos o después de cambiar algún dato de entrada, en cuanto termine de procesar los datos le mostrara el reporte.



FIGURA 3.12 CUADROS DE EJECUTAR Y REPORTE

**Reporte:** Este punto muestra una imagen de una hoja impresa. Haga clic aquí para ver el resultado guardado en la memoria. Esto le permite ver el reporte guardado de un archivo que acaba de cargar desde el disco, o para volver a la pantalla de salida. Si este botón está inactivo significa que no hay ningún informe de resultados en la memoria.

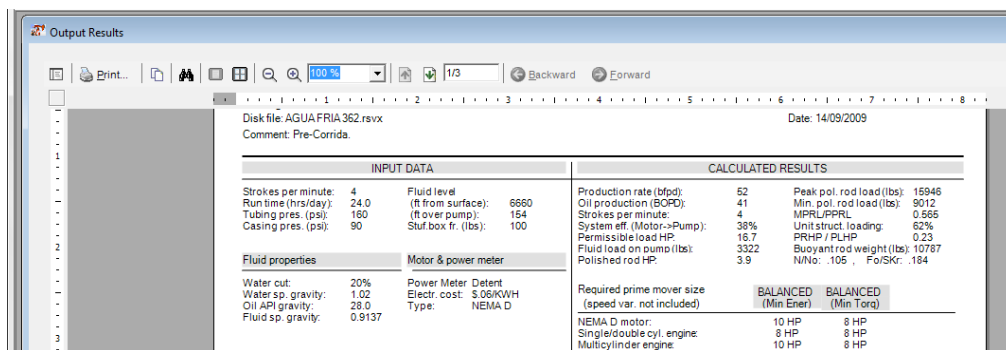


FIGURA 3.13 VENTANA DE REPORTE

**Icono de correo electrónico:** Haga clic en este icono para enviar un correo electrónico de uno o más casos de Oilfield Services Theta, en caso de tener preguntas.

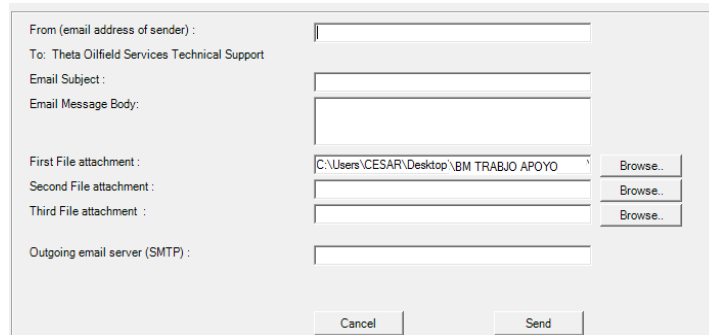


FIGURA 3.14 VENTANA DE ENVÍO DE CORREO

**Imprimir:** Este botón sigue en la barra de herramientas y muestra una imagen de la impresora. Haz clic para enviar el trabajo a la impresora.



FIGURA 3.15 CUADRO DE IMPRIMIR

**Exportación CBM:** Este icono es el penúltimo de la barra de herramientas y muestra una imagen de una manivela y un contrapeso. Este botón se activa después de haber ejecutado RODSTAR o después de cargar un archivo guardado. Haga clic para exportar a CBALANCE y colocar el momento máximo (de modo que CBALANCE puede calcular la posición de contrapeso para equilibrar la unidad)

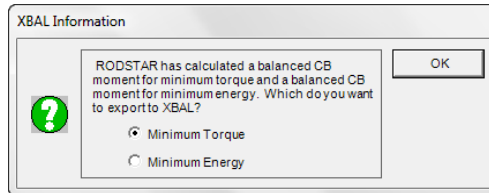


FIGURA 3.16 VENTANA DE EXPORTACIÓN

**Ayuda:** Este es el último elemento de la barra de herramientas y muestra una imagen de un signo de interrogación. Haga clic en este botón en cualquier momento para obtener ayuda.

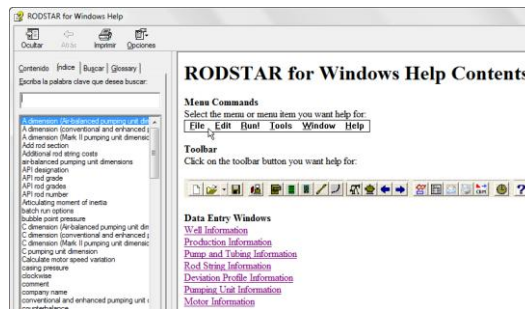


FIGURA 3.17 VENTANA DE AYUDA



**Ejemplo:** En el pozo Agua fría D1 entrara equipo el equipo de reparación de pozos, para retirar el aparejo actual (aparejo fluyente) y colocar el sistema de bombeo mecánico como sistema artificial de producción, el cual cuenta con dos intervalos y bajo el análisis previo se tienen los siguientes datos.

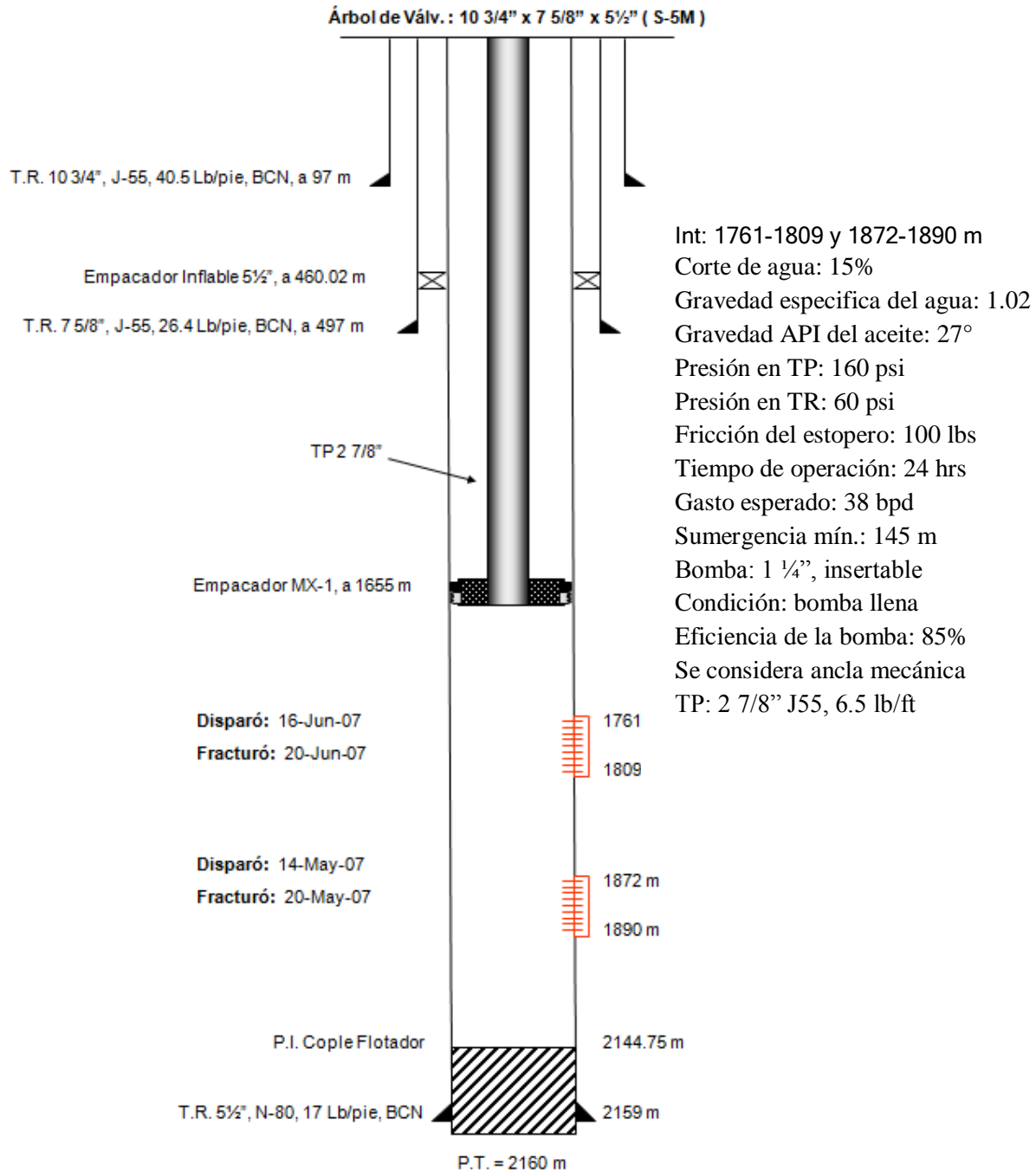


FIGURA 3.18 ESTADO MECANICO INICIAL

- **Información del pozo.**

Para este primer punto se quiere que la bomba tenga una sumergencia de 450 m. por lo que se toma la cima del primer intervalo y a partir de ahí se suman los 145 m. por lo que la profundidad a la que se encontrara la bomba es 1906m (6251.68 ft)

The screenshot shows a 'Well Information' window with the following data:

Company name:	PEMEX	Date:	09 de Noviembre de 2011
Well name:	Agua Fria D1	Pump depth (ft):	6251.68
User name:	Cesar Vargas	Run time (hrs/day):	24
Comment:	intervalos 1761-1809 y 1872-1890 MD	Stuffing box friction (lbs):	100
Pump condition:	<input checked="" type="radio"/> Full pump <input type="radio"/> Fluid pound <input type="radio"/> Gas interference <input type="radio"/> Calculate pump condition and fillage	Tubing pressure (psi):	160
Pump efficiency (%):	85	Casing pressure (psi):	60
Pump fillage (%):		Water cut (%):	15
		Water specific gravity:	1.02
		Oil gravity (API °):	27
		Fluid specific gravity:	0.9118 <input type="checkbox"/> Calculate

FIGURA 3.19 VENTANA DE INFORMACIÓN DE POZO

- **Información de producción.**

El nivel del fluido a la superficie es la cima del primer intervalo 1761m (5776.08 ft) y la producción estimada es de 38 BPD.

The screenshot shows a 'Production Information' window with the following data:

<input checked="" type="radio"/> Enter fluid level <input type="radio"/> Enter pump intake pressure <input type="radio"/> Calculate pump intake pressure from target production and IPR data	Fluid level (ft from surface):	5776.08
<input type="radio"/> Enter pumping speed <input checked="" type="radio"/> Enter target production <input type="radio"/> Calculate production from inflow performance data	Target production (BFPD):	38
	IPR Data	

FIGURA 3.20 VENTANA DE INFORMACIÓN DE PRODUCCIÓN



- **Información de la bomba y tubería.**

La profundidad del ancla mecánica se debe de colocar lo más cerca posible de la profundidad de la bomba, pero la limitante está en que no se puede colocar por debajo de los disparos ya que estos son un punto de restricción y en el cual se puede atorar la herramienta, y por efecto operativo se colocara 30 metros por arriba de la cima del primer intervalo.

The screenshot shows a software window titled "Pump And Tubing Information". It contains the following fields and options:

- Tubing size (in): 2 7/8
- O.D. (in): 2.875
- I.D. (in): 2.441
- Tubing anchored
- Tubing anchor depth (ft): 5678
- Pump type:
  - Insert pump
  - Tubing pump
  - Large bore pump
- Calculate plunger size
- Plunger size: 1.25 (in)
- Upstroke rod-fluid damping coefficient: 0.3
- Downstroke rod-fluid damping coefficient: 0.3
- Pump friction (lbs): 100
- Include buoyancy effects
- Include fluid inertia effects
- Fluid compressibility index: (empty field)

FIGURA 3.21 VENTANA DE INFORMACIÓN DE BOMBA Y TUBERÍA

- **Información de la sarta de varillas.**

Para este caso se propone una sarta 76 de grado D (posiblemente se tenga que regresar varias veces a modificar esta parte, dependiendo de los esfuerzos a los que sea sometida la sarta, teniendo en cuenta la vida útil de la sarta y sin dejar a un lado el costo).

The screenshot shows a software window titled "RODSTAR steel design". It contains the following fields and options:

- Steel grade or manufacturer: D (API)
- Maximum rod diameter to use: 7/8"
- Minimum rod diameter to use: 3/4"
- Include sinker bars/sinker rods
  - Sinker bars
  - Sinker rods
  - Sinker bar grade/manufacturer: (empty field)
  - Sinker bar diameter: (empty field)
  - Sinker bar length (ft): (empty field)
- Other rod string information
  - Additional rod costs (\$): 0
  - Steel rod service factor: 0.9
  - Cost description: (empty field)
  - Friction Coefficient: 0.2

FIGURA 3.22 VENTANA DE SARTA DE VARILLA



- **Información de la desviación del pozo.**

La desviación del pozo se puede extraer de un archivo Excel colocando la profundidad medida, inclinación y el Azimuth. (Se manejan dos versiones de Rodstar para pozos verticales y desviados)

#	Meas. depth (ft)	Inclination (°)	Azimuth (°)	Dogleg sev. °/100ft	TVD (ft)	N-S (ft)	E-W (ft)
1	0	0	0	0	0	0	0
2	328	1.35000023	202.0399932	0.41	327.97	-3.58	-1.45
3	416.56	2.190000057	327.9700012	3.59	416.51	-3.11	-2.74
4	514.96	6.289999961	347	4.35	514.62	3.74	-4.95
5	603.52	10.27999973	353.9599914	4.64	602.24	16.33	-6.87
6	698.64	14.27999973	353.8099975	4.21	695.17	36.44	-9.03
7	787.2	17.84000015	352.9200134	4.03	780.26	60.77	-11.88
8	882.32	22.23999977	351.4299926	4.66	869.6	93.04	-16.36
9	974.16	26.81999969	352.1199951	5	953.12	130.77	-21.8
10	1072.56	31.45000076	354.4500122	4.84	1039.05	178.34	-27.33
11	1164.4	35.22999954	354.7799987	4.12	1115.77	228.58	-32.06
12	1262.8	40	353.5400085	4.91	1193.69	288.3	-38.2

FIGURA 3.23 VENTANA DE INFORMACIÓN DE DESVIACIÓN

Se puede también observar de manera rápida la desviación y orientación del pozo.

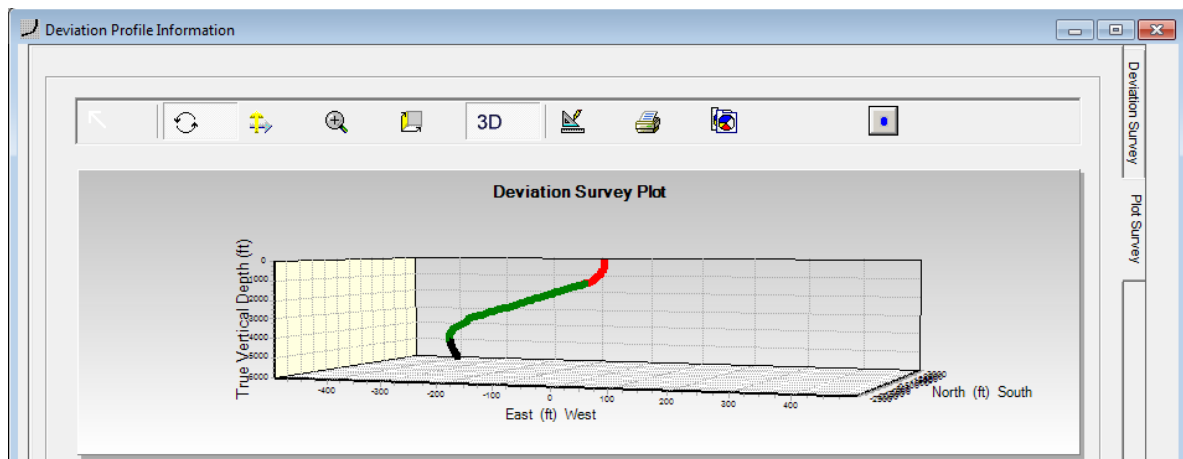


FIGURA 3.24 VISTA 3D DE DESVIACIÓN



- **Información de la unidad de bombeo.**

Existe una gran variedad de proveedores y de unidades con características similares, lo que se debe de tomar en cuenta es la carrera que manejara, los contrapesos y sobre todo que la unidad soporte los esfuerzos y cargas a los que estará sometida, pero sin que este sobredimensionada ya que una unidad más grande va relacionada a un mayor costo, (en muchas ocasiones la opción de la unidad superficial está limitada a los contratos y compañías proveedoras).

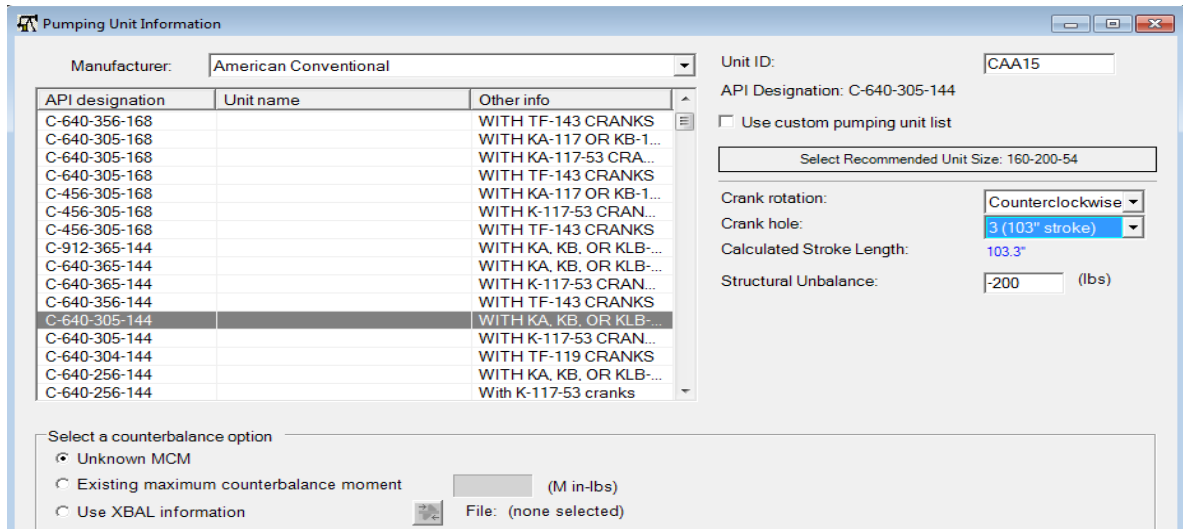


FIGURA 3.25 VENTANA DE INFORMACIÓN DE UNIDAD DE BOMBEO

- **Information motor**

El programa considera moteres electricos esto para determinar el costo que tiene el la operar la unidad, (en muchas ocasiones se debe de colocar un motor de combustion interna, debido a que no siempre se cuenta con una toma de corriente electrica)

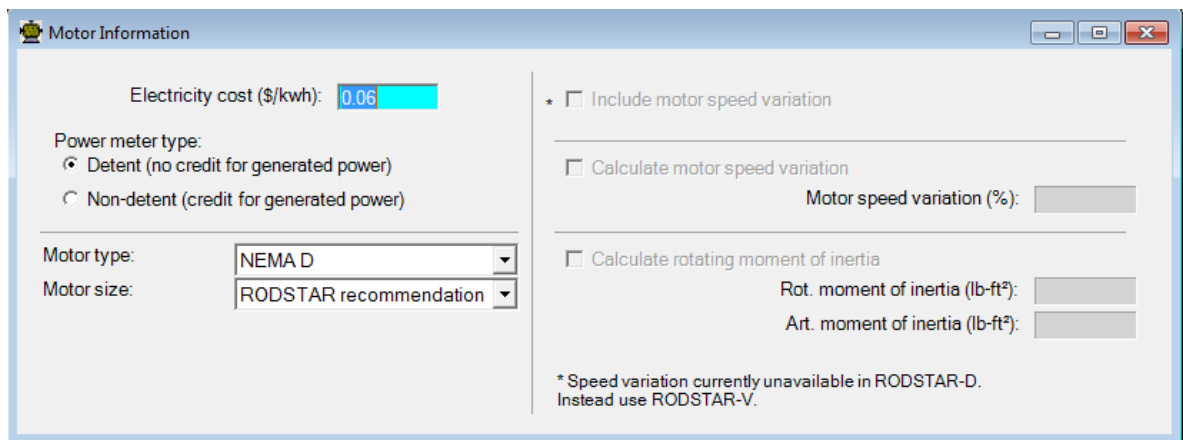


FIGURA 3.26 VENTANA DE INFORMACIÓN DEL MOTOR

Después de esto se realiza la corrida del programa y este nos arroja una tabla de datos separados en dos columnas la primera son los datos de entrada y en la segunda columna muestra los datos calculados.

INPUT DATA				CALCULATED RESULTS					
Strokes per minute:	3	Fluid level		Production rate (bfpd):	57	Peak pol. rod load (lbs):	16307		
Run time (hrs/day):	24.0	(ft from surface):	5776	Oil production (BOPD):	48	Min. pol. rod load (lbs):	5204		
Tubing pres. (psi):	160	(ft over pump):	476	Strokes per minute:	3	MPRL/PPRL	0.319		
Casing pres. (psi):	60	Stuf. box fr. (lbs):	100	System eff. (Motor->Pump):	17%	Unit struct. loading:	53%		
<b>Fluid properties</b>				Permissible load HP:	22.8	PRHP / PLHP	0.41		
<b>Motor &amp; power meter</b>				Fluid load on pump (lbs):	2405	Buoyant rod weight (lbs):	6364		
Water cut:	15%	Power Meter Detent		Fluid level TVD (ft from surface):	4678	N/No: .074 , Fo/SKr: .088			
Water sp. gravity:	1.02	Electr. cost: \$/06/KWH		Polished rod HP:	9.4				
Oil API gravity:	27.0	Type:	NEMA D	<b>Required prime mover size</b>					
Fluid sp. gravity:	0.9118			(speed var. not included)	BALANCED (Min Torq)				
<b>Pumping Unit: American Conventional</b>				NEMA D motor:	20 HP				
API size: C-640-305-144 (unit ID: CAA15)				Single/double cyl. engine:	15 HP				
Crank hole number	#1 (out of 3)			Multicylinder engine:	20 HP				
Calculated stroke length (in):	144.1			<b>Torque analysis and electricity consumption</b>					
Crank Rotation with well to right:	CCW			BALANCED (Min Torq)					
Max. CB moment (M in-lbs):	Unknown			Peak g'box torq.(M in-lbs):	455				
Structural unbalance (lbs):	-200			Gearbox loading:	71%				
Crank offset angle (deg):	0.0			Cyclic load factor:	1.4				
<b>Tubing and pump information</b>				Max. CB moment (M in-lbs):	812.37				
Tubing O.D. (ins):	2.875	Upstr. rod-fl. damp. coeff:	0.300	Counterbalance effect (lbs):	11847				
Tubing I.D. (ins):	2.441	Dnstr. rod-fl. damp. coeff:	0.300	Daily electr. use (KWH/day):	234				
Pump depth (ft):	6252	Tub. anch. depth (ft):	5678	Monthly electric bill:	\$428				
Pump condition:	Full	Pump vol. efficiency :	85%	Electr. cost per bbl. fluid:	\$0.247				
Pump type:	Insert	Pump friction (lbs):	100.0	Electr. cost per bbl. oil:	\$0.290				
Plunger size (ins)	1.25			<b>Tubing, pump and plunger calculations</b>					
<b>Rod string design (rod tapers calculated)</b>				<b>Rod string stress analysis (service factor: 0.9)</b>					
Diameter (inches)	Rod Grade	Length (ft)	Min. Tensile Strength (psi)	Fric. Coeff	Stress Load %	Top Maximum Stress (psi)	Top Minimum Stress (psi)	Bot. Minimum Stress (psi)	Stress Calc. Method
.875	D (API)	1152	115000	0.2	86%	27279	8814	6420	API MG
.75	D (API)	5100	115000	0.2	86%	27198	8517	-226	API MG

FIGURA 3.27 REPORTE DE RODSTAR (PRELIMINAR)



FIGURA 3.28 CARTA DINAMOMETRICA Y TORQUE (PRELIMINAR)



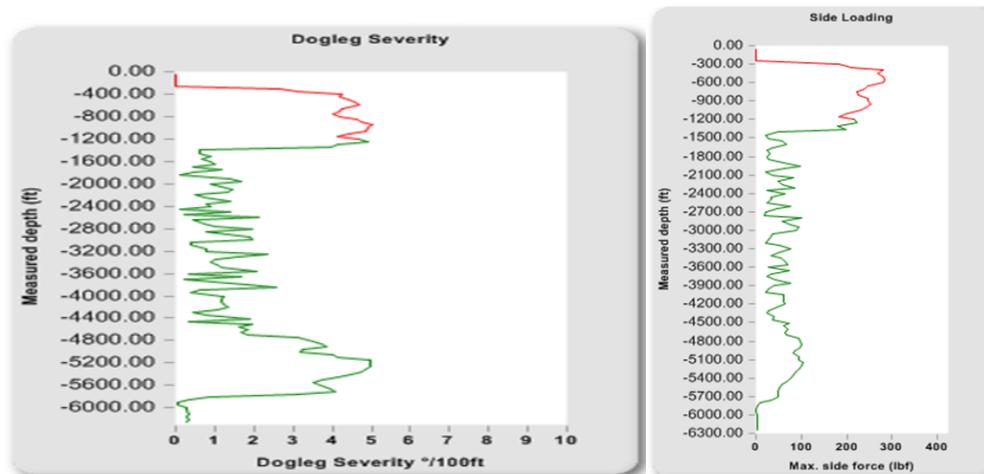


FIGURA 3.29 GRAFICAS DE RESULTADOS (PRELIMINAR)

- Unidad de bombeo: La carga máxima en la varilla pulida es de 16307 (lbs), el Torque es de 455 (M in-lbs), la unidad está sometida estructuralmente a un 53% y a un 71% en la caja de torque. La unidad puede someterse hasta un 85% de su capacidad (esto varía dependiendo del criterio de la persona que está diseñando).
- Sarta de varillas: Se observa que el esfuerzo máximo para ambos diámetros de varillas está entre los 27200 (psi) con un 86% de su capacidad, el programa ubica el cambio de diámetro a 1152 (ft) y también sugiere una gran cantidad de centradores.
- Opción 1: El cambio de varilla se sugiere a 1400 ft donde el “dog let” es menor, esto incrementara el esfuerzo de la varilla de 7/8” y reducirá el de la varilla de 3/4”, se mantiene el arreglo 76 de grado D.
- Opción 2: Es cambiar la sarta de varillas por un arreglo 66 grado XD, esto reducirá el estrés de la sarta y el peso al ocupar un solo diámetro, las fricciones se reducen, aunque el costo se incrementa, en algunos casos donde los pozos son muy profundos o el dog let es alto y se mantiene por más de 300 mts resulta mejor opción una sarta de un solo diámetro y mayor grado aunque en principio sea más costoso a la larga es la mejor opción.
- Para ambos casos se descartan los centradores sugeridos por el programa ya que solo se incrementara el peso de la sarta, las fricciones, y los costos. Para este caso se toma la opción 1 y se realiza el cambio manual como se ve en la figura 3.14.

Manual rod string entry

#	Rod Grade	Rod Size (in)	Actual diam. (in)	Length (ft)	* Fric Coef
1	D (API)	7/8"	0.875	1400	0.2
2	D (API)	3/4"	0.75	4852	0.2

FIGURA 3.30 INGRESO MANUAL DE LA SARTA DE VARILLA

Para terminar se presenta el estado mecánico final y el reporte final de Rodstar junto con sus graficas.

En donde se puede observar que el esfuerzo de las varillas está por debajo del 86% lo cual nos indica que no presentara falla y que de 400 a 1200 ft deberemos de incluir coples FS esto por el rozamiento que tendrán las varillas con la tubería, la carga estructural de la unidad esta al 54% por lo que se puede colocar una unidad más pequeña.

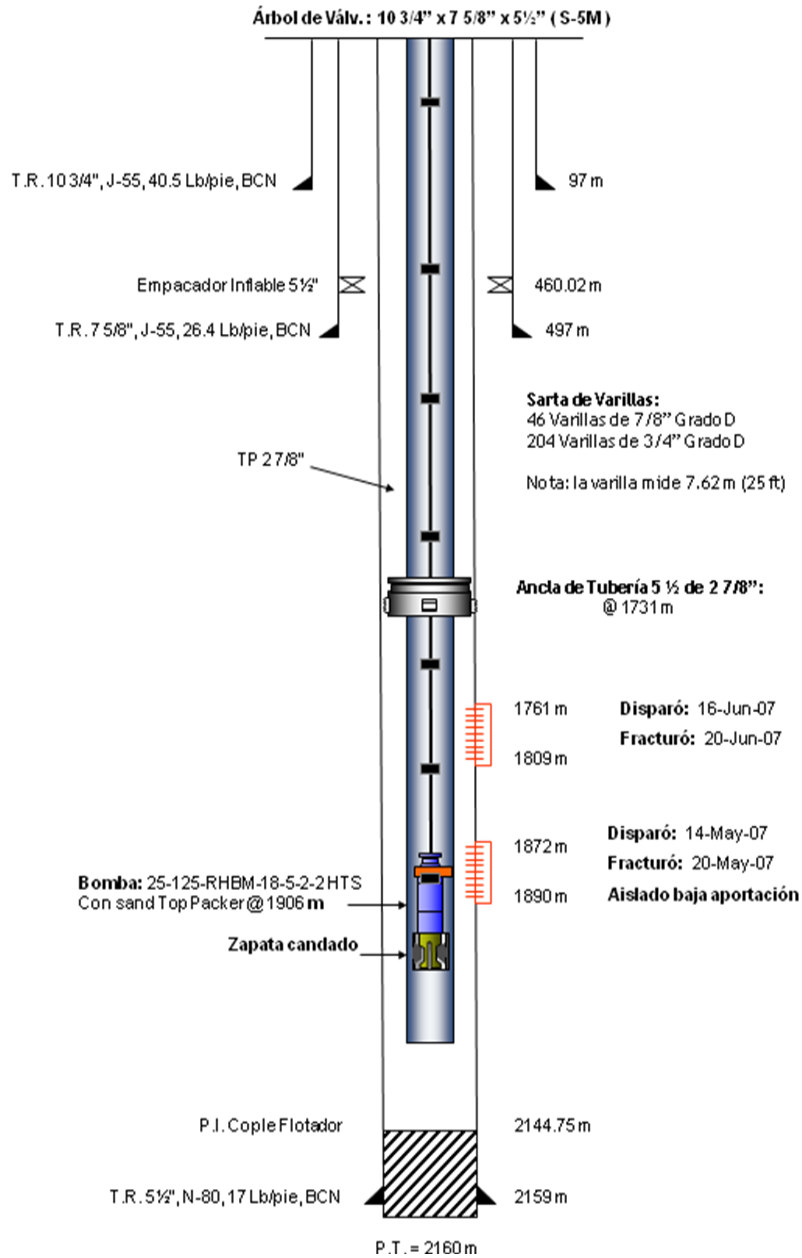


FIGURA 3.31 ESTADO MECANICO FINAL



# SISTEMA ARTIFICIAL DE PRODUCCIÓN

## RODSTAR-D 3.2.3

Company: PEMEX  
 Well: AGUA FRIA D1  
 Disk file: AGUA FRIA D2.rsdX  
 Comment: int: 1761-1809 y 1872-1890

© Theta Oilfield Services, Inc. (www.gotheta.com)

Page 1 of 11  
 User: Cesar Vargas  
 Date: 09/11/2011

INPUT DATA				CALCULATED RESULTS						
Strokes per minute:	3	Fluid level (ft from surface):	5776	Production rate (bfpd):	38	Peak pol. rod load (lbs):	16452			
Run time (hrs/day):	24.0	(ft over pump):	476	Oil production (BOPD):	32	Min. pol. rod load (lbs):	5297			
Tubing pres. (psi):	160	Stuf.box fr. (lbs):	100	Strokes per minute:	3	MPRL/PPRL:	0.322			
Casing pres. (psi):	60			System eff. (Motor->Pump):	17%	Unit struct. loading:	54%			
<b>Fluid properties</b>				<b>Motor &amp; power meter</b>		Permissible load HP:	22.9	PRHP / PLHP:	0.41	
Water cut:	15%	Power Meter:	Detent	Fluid load on pump (lbs):	2405	Fluid level TVD (ft from surface):	4678	Buoyant rod weight (lbs):	6429	
Water sp. gravity:	1.02	Electr. cost:	\$ .06/KWH	Polished rod HP:	9.4	N/No: .073	Fo/SKr: .106			
Oil API gravity:	27.0	Type:	NEMA D	<b>Required prime mover size</b>		<b>BALANCED</b>				
Fluid sp. gravity:	0.9118			(speed var. not included)		(Min Torq)				
<b>Pumping Unit: American Conventional</b>				<b>NEMA D motor:</b>		20 HP				
API size:	C-640-305-144 (unit ID: CAA15)			Single/double cyl. engine:		15 HP				
Crank hole number:	#1 (out of 3)			Multicylinder engine:		20 HP				
Calculated stroke length (in):	144.1			<b>Torque analysis and electricity consumption</b>		<b>BALANCED</b>				
Crank Rotation with well to right:	CCW			Peak g'box torq. (M in-lbs):		458				
Max. CB moment (M in-lbs):	Unknown			Gearbox loading:		72%				
Structural unbalance (lbs):	-200			Cyclic load factor:		1.4				
Crank offset angle (deg):	0.0			Max. CB moment (M in-lbs):		820.97				
<b>Tubing and pump information</b>				<b>Counterbalance effect (lbs):</b>		11975				
Tubing O.D. (ins):	2.875	Upstr. rod-fl. damp. coeff:	0.300	Daily electr.use (KWH/day):		235				
Tubing I.D. (ins):	2.441	Dnstr. rod-fl. damp. coeff:	0.300	Monthly electric bill:		\$431				
Pump depth (ft):	6252	Tub.anch.depth (ft):	5678	Electr.cost per bbl. fluid:		\$0.247				
Pump condition:	Full	Pump vol. efficiency:	85%	Electr.cost per bbl. oil:		\$0.291				
Pump type:	Insert	Pump friction (lbs):	100.0	<b>Tubing, pump and plunger calculations</b>		<b>Stress Load %</b>				
Plunger size (ins):	1.25			Tubing stretch (ins):		.4				
<b>Rod string design</b>				<b>Prod. loss due to tubing stretch (bfpd):</b>		0.2				
Diameter (inches)	Rod Grade	Length (ft)	Min. Tensile Strength (psi)	Fric. Coeff	<b>Top Maximum Stress (psi)</b>		<b>Top Minimum Stress (psi)</b>			
.875	D (API)	1400	115000	0.2	86%		27519			
.75	D (API)	4852	115000	0.2	80%		25689			
				<b>Bot. Minimum Stress (psi)</b>		8969				
				<b>Stress Calc. Method</b>		6254				
						-226				
						API MG				
						API MG				

NOTE Stress calculations do not include buoyancy effects.

FIGURA 3.32 REPORTE DE RODSTAR (FINAL)



FIGURA 3.33 CARTA DINAMOMETRICA Y TORQUE (FINAL)



Las siguientes graficas muestran los máximos esfuerzos, los esfuerzos axiales de la varilla, efectos de Buckling, y desviaciones que tiene el pozo (dog let) asi como las vistas de planta, y direcciones de norte a sur y de este a oeste.

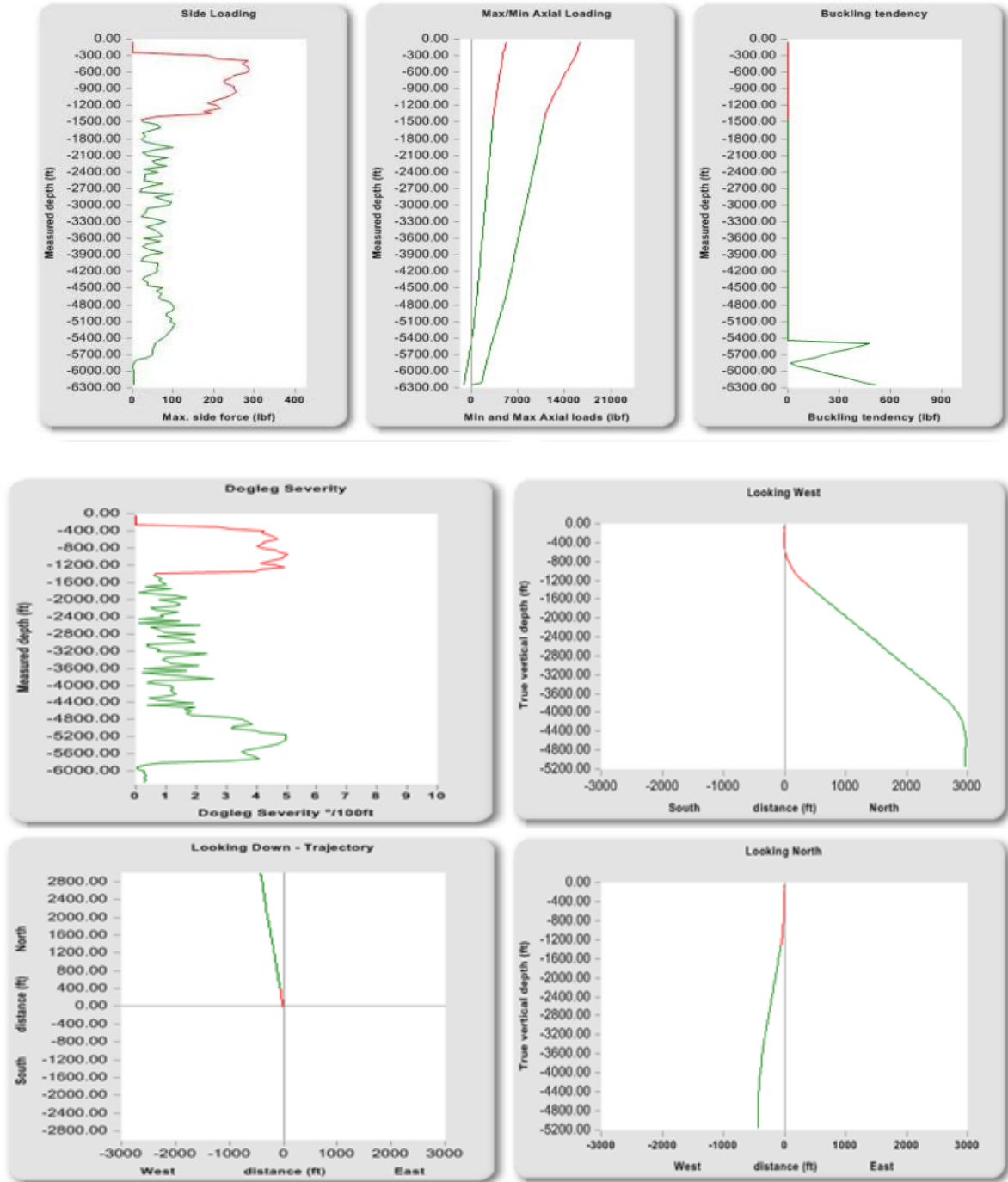


FIGURA 3.34 GRAFICAS DE RESULTADOS (FINAL)



#### 4. Conclusiones.

El yacimiento en Chicontepec manejan permeabilidades de 0.1 a 2.0 milidarcy, porosidades de 8 a 10% y densidades que van de 18 a 35 API y tienen una vida de pozo fluyente de entre los tres y seis meses en promedio,

Este último factor hace que se tenga que contemplar un sistema artificial para su explotación, esto al poco tiempo de su terminación o incluso como parte de la misma

Actualmente se cuenta con los siguientes sistemas artificiales de producción

- Bombeo mecánico (65%)
  - Bombeo neumático (25%)
  - Bombeo de cavidades progresivas (5%)
  - Bombeo electro centrífugo (3%)
  - Otros (2%)
- 
- El sistema de bombeo mecánico es el sistema más accesible ya que no requiere de mucha infraestructura, cuenta con una gran variedad de herramientas y accesorios que nos permiten manejar tanto las condiciones superficiales como las subsuperficiales, prácticamente puede ser utilizado en cualquier pozo.
  - Al diseñar se debe de procurar colocar la bomba por debajo de la zona disparada para evitar el trabajar con gas en la bomba o que la unidad se tenga que parar por falta de nivel dinámico.
  - Si no se puede colocar por debajo de los disparos esto por el aporte de arena ya que al decantarse esta termina por taponar la tubería de producción. Algunas de las acciones preventivas es colocar la bomba por arriba de los intervalos productores, operar con mayor número de emboladas y que el recorrido de la bomba sea el máximo con esto tratando de impedir que la arena se deposite en la TP y que se pueda engasar la bomba.
  - Con respecto a las varillas se debe de considerar el esfuerzo al que estarán sometidas y que la sarta no ocupe varios diámetros de varillas, porque esto genera restricción al flujo y mayor peso.
  - Si las desviaciones que tiene el pozo “dog let” son muy altas (por arriba de 3) se debe de considerar un mayor grado de varilla aunque el costo inicial se incremente nos dará mayor vida útil, en algunos casos en que el diseño se tenía propuesto con un arreglo 86 grado D y se cambio a un arreglo 66 EL también se pudo modificar la unidad de bombeo por una de menores dimensiones y el costo final del aparejo se redujo.
  - Este sistema requiere de constante monitoreo y mantenimiento, y esto es una problemática que se incrementa día a día en Chicontepec, debido al aumento del número de pozos,



actualmente de la totalidad de estos los sistemas artificiales representan el 47%, los fluyentes el 23% y los que muestran un flujo de intermitencia son el 30%. Para lo cual se está implementando la automatización, requiriendo menos personal y se abordan las problemáticas de forma más directa esto se está aplicando tanto para pozos con sistema artificial y pozos fluyentes.

- Una limitante mas que se presenta esta en los contratos ya que estos son muy generales y en muchas ocasiones no satisface las necesidades del pozo ni de las condiciones operativas, haciendo que se manejen herramientas y accesorios estandarizados, olvidando que cada pozo y zona de este campo tiene grandes diferencias.
- Se recomienda explotar todos los intervalos ya sea en conjunto o independientemente y al finalizar estos considerar el sistema artificial, esto mientras los tipos de fluidos lo permitan y así no tener que generar el costo de un aparejo para cada intervalo, no quiero decir que todos los pozos tengan que tener ABM hasta el término de la explotación de todos los intervalos de interés lo que recomiendo es que cada zona se optimice y si para esto requiere un sistema artificial previo y/o posterior que se ejecute. El propósito es tener el mayor gasto y recuperación al menor costo posible.

