

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

**Monitoreo de Nivel de Fluido y
Análisis de Cartas Dinamométricas
por medio de Echometer ® en el
Campo Independiente.**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Petrolero

P R E S E N T A

Adolfo Sánchez Robles

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Israel Castro Herrera



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2020

Agradecimientos

Primero quiero agradecer a Dios por haberme permitido llegar hasta esta etapa de mi vida junto con las personas que más quiero.

A mi papá Adolfo Sánchez Carrillo por su apoyo incondicional y cariño durante tantos años. Gracias por brindarme un hogar, cuidar de mí y por anteponer siempre mis necesidades a las tuyas, hoy sé que no sólo heredé tu nombre, sino tu fortaleza y tu gran corazón. Estoy muy orgulloso de ti y te amo papá.

A mi mamá Lorena Robles Cárdenas por ser mi angelito de la guarda, gracias por tus abrazos cuando más lo necesitaba y por estar siempre orgullosa de mí, sin importar cuantas veces cayera. Gracias por tu bondad infinita, te amo con todo mi corazón.

A mi mamá Emilia Carrillo Palacios por creer siempre en mí, hoy quiero devolverle una de tantas alegrías que usted me dio y dedicarle este trabajo profesional. Quiero que sepa que usted fue una de las razones por las que nunca abandoné el camino.

A mi tía María Concepción Mercado Carrillo, por sus cuidados durante una de las etapas más difíciles de mi vida, usted siempre estuvo con nosotros apoyándonos como solo lo haría una madre. Con mucho cariño le dedico este trabajo profesional.

A mi mejor amigo y hermano mayor Alfredo Sánchez Robles por enseñarme el camino que me llevó a la Universidad, por ser la fuente de inspiración para estudiar esta carrera, por cuidar siempre de mí, por nunca dejarme solo, por allanarme el camino y por su entusiasmo para compartir su conocimiento siempre conmigo. Este trabajo profesional es una manera de agradecerte todo lo que has hecho por mí, cuando sea grande, quiero ser como tú.

A mis hermanos Ricardo Sánchez Robles, Sergio Aldair Robles, Elizabeth Sánchez y Emiliano Sánchez, gracias por su cariño que me llevó a terminar este trabajo profesional. Esto sólo es un poco de lo que ustedes pueden llegar a hacer. Ustedes son nuestro próximo orgullo.

A mi tío Martín Sánchez Carrillo por su cariño y preocupación para que tuviéramos siempre lo necesario para poder seguir adelante. Muchas gracias tío.

A mi tío Ernesto Sánchez Carrillo por su gran cariño y enseñarme que el conocimiento no está peleado con la humildad. Lo quiero mucho tío.

A mi tía Laura Sánchez Carrillo por su cariño y confiar siempre en que llegaría este momento. Gracias por su ejemplo de trabajo, perseverancia y honestidad.

A mamá Linda Cárdenas y papá Guadalupe Robles por sus oraciones y bendiciones, sepan ustedes que es un honor y un orgullo llevar su apellido y su ejemplo de trabajo y nobleza, los quiero con todo mi corazón.

A mis padrinos Coni e Ismael Robles por recibirme con los brazos abiertos y por tanto cariño que siempre me dan. ¡Los quiero mucho!

A mi familia Robles, a la cual estoy muy orgulloso de pertenecer, por contagiarme de alegría y heredarme la grandeza de su corazón.

A mis primos y primas por su cariño y confiar siempre en que llegaría hasta este momento.

A mis amigos de la carrera Gibram, Alan, Armandito, Fer, Ricardo, Héctor, Alejandra, Mario, Alan Miguel, Angelito y demás compañeros por tantas aventuras que pasamos juntos, sin ustedes no hubiera sido lo mismo.

A mis amigos de la vocacional Ricardo, Leonardo, Pedro, Angélica y Oscar Nava, por hacerme fuerte con sus palabras de aliento y siempre creer en mí.

A mis amigos de la secundaria Alejandro, Esteban, Omar, Moisés, Mónica, Karla, Salvador por acompañarme hasta este momento de mi vida y recordarme mis capacidades cuando llegué a dudar de mí.

A una persona muy especial Dyhaney Ivonne García Madrid, por cuidar de mí y acompañarme de la mano durante tantos años en las buenas y a pesar de las malas. Este trabajo profesional nos costó bastante y por eso te lo dedico con mucho cariño y admiración. Gracias por tanto amor.

A Ricardo Sánchez Colón, Mauricio Jazmín Mercado, Mario y Antonio Carrillo por el legado que nos dejaron con su vida. Gracias, sé que están orgullosos de este logro que también les pertenece.

Contenido

Resumen.....	VI
Introducción	VII
Capítulo I Descripción del Sistema de Bombeo Mecánico	1
Mecanismos Subsuperficiales de Bombeo.....	3
Bomba Subsuperficial.....	3
Tipos de Bombas Subsuperficiales	6
Sarta de varillas de succión	9
Mecanismos Superficiales de Bombeo	10
Motor Primario.....	10
Caja de Engranés	12
Unidad de Bombeo Mecánico	13
Unidad de Bombeo Convencional.....	13
Unidad de Bombeo Mark II	16
Unidad de Bombeo Aerobalanceada	19
Unidad Hidroneumática de Bombeo Reciprocante Tieben	21
Unidad de Bombeo de Carrera Larga Rotaflex.....	24
Nomenclatura de las Unidades de Bombeo Mecánico	26
Conexiones y accesorios superficiales	28
Grampas	29
Varilla Pulida.....	30
Estopero	32
Preventores	33
Válvulas de Retención	35
TEE de Flujo	36
Capítulo II El Echometer®	37
Introducción	37
Descripción del Echometer®	38
Descripción del Analizador de pozo	40

**MONITOREO DE NIVEL DE FLUIDO Y ANÁLISIS DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS POR
MEDIO DE ECHOMETER® EN EL CAMPO INDEPENDIENTE**

Equipo utilizado para monitoreo de Nivel de Fluido	42
Pistola a gas de 5000 psi	42
Cilindro de Gas Externo	45
Equipo utilizado para Medidas Dinamométricas	45
Celda de Carga de Varilla Pulida (PRT)	45
Celda de Carga Tipo Herradura	46
Capítulo III Monitoreo de Nivel de Fluido por Medio de Echometer®	47
Introducción	47
Principio de Operación	47
Procedimiento para Determinar el Nivel de Fluido	49
Análisis de Datos Adquiridos	61
Capítulo IV Análisis de Cartas Dinamométricas por medio de Echometer®	91
Introducción	91
Dinamómetro	92
Dinamometría aplicada al Bombeo Mecánico	92
El dinamómetro de Echometer®	97
Principio de Operación del Dinamómetro Echometer®	97
Carta Dinamométrica de superficie	98
Carta dinamométrica de fondo	98
Procedimiento para Adquisición de datos Dinamométricos con celda de carga (PRT)	98
Análisis de Cartas Dinamométricas	118
Capítulo V Casos de Estudio en el Campo Independiente	141
Descripción del Campo Independiente	141
Antecedentes Históricos	141
Estado Actual	142
Problemática del Campo Independiente	146
Casos de Estudio	146
Monitoreo de Nivel de Fluido por medio del Echometer®	149
Obtención de Carta Dinamométrica	150
Análisis de información obtenida	151
Monitoreo del nivel de Fluido por medio del Echometer®	158

**MONITOREO DE NIVEL DE FLUIDO Y ANÁLISIS DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS POR
MEDIO DE ECHOMETER® EN EL CAMPO INDEPENDIENTE**

Obtención de carta dinamométrica.....	160
Análisis de la Información obtenida.....	161
CONCLUSIONES	162
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	164

Resumen

En la actualidad, la baja producción de petróleo en México, se ha vuelto uno de los más grandes retos para la industria petrolera, debido a que la mayoría de sus campos se encuentran en una etapa de madurez caracterizada por una constante declinación en la producción derivado del agotamiento de la presión por el largo tiempo de explotación.

Dentro de las diferentes opciones que se pueden implementar para aumentar o mantener la producción y extender la vida útil de estos campos, se encuentran los Sistemas Artificiales de Producción (SAP), cuya función principal es corregir la baja productividad. El presente trabajo se orienta al Campo Independiente en el cual uno de los SAP más utilizados es el Bombeo Mecánico (BM), por ser de bajo costo en comparación con los demás sistemas de levantamiento artificial y por la versatilidad de su operación ya que se pueden cambiar fácilmente las condiciones de operación para optimizar su funcionamiento. No obstante, el BM requiere de monitoreo constante para mantener las condiciones de operación bajo las cuales fue diseñado o bien, detectar oportunamente anomalías en alguno de sus elementos. Una herramienta que nos ayudará a cumplir estos propósitos es el Echometer ®, cuyo objetivo principal es proveer al operador de información que permita un diagnóstico del funcionamiento del sistema de bombeo y del comportamiento del pozo para hacer un rediseño de las condiciones de bombeo si es necesario. En el presente trabajo, se hace énfasis en el Bombeo Mecánico por ser uno de los más utilizados en México, describiendo detalladamente sus componentes para conocer el principio de su funcionamiento. Se describe minuciosamente el equipo Echometer ® y su instalación paso a paso en campo, se explica el funcionamiento del programa Total Well Manager para adquisición de datos y se muestra el proceso para determinar la profundidad del nivel de líquidos, así como el proceso para obtener datos dinamométricos. Se darán a conocer diferentes resultados de la adquisición de datos y su interpretación con casos de estudio reales.

Uno de los propósitos de este escrito es dar a conocer los conceptos fundamentales y la metodología con la cual el ingeniero de producción en campo lleva a cabo las tareas de monitoreo y optimización del Sistema Bombeo Mecánico para contribuir con el aumento de la productividad petrolera.

Introducción

La producción petrolera en México ha sufrido un retroceso en los últimos años y necesita detener y revertir la caída en la producción de aceite y gas, dado que ésta es una de las actividades principales del país.

Como se muestra en la figura 1, la fuerte caída en años pasados de los precios del petróleo y la baja inversión, así como la complejidad de los yacimientos maduros y declinación natural de los campos son elementos que contribuyeron a la reducción de los niveles de producción del país; si consideramos los 3,256 Mbd de crudo producido en 2006, respecto a los 1,686 Mbd de 2020, la reducción alcanza casi un 50% según datos del Plan de Negocios de Pemex y sus EPS 2021-2025.

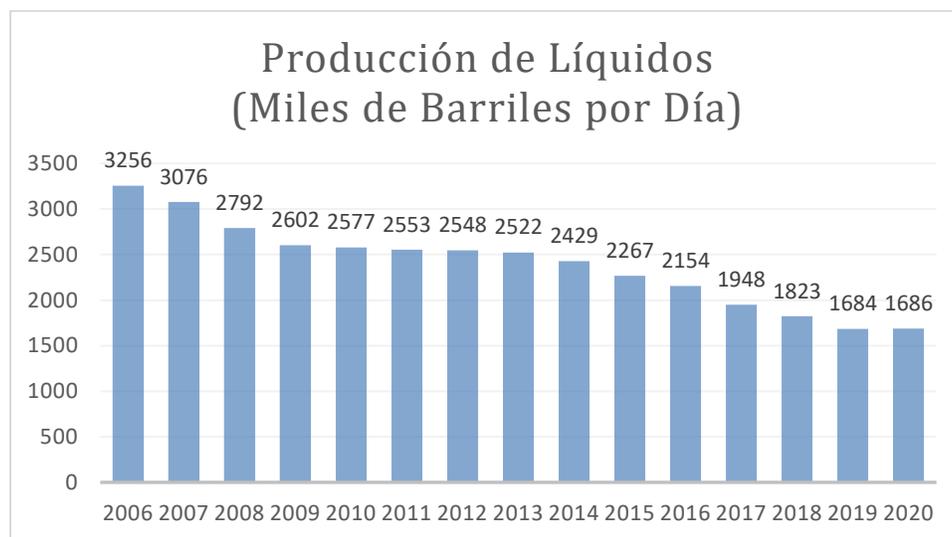


Figura 1 Producción de líquidos 2006-2020
PEMEX. (2021). Plan Nacional de PEMEX y sus EPS.
Sitio web: https://www.pemex.com/acerca/plan-de-negocios/Documents/pn_2021-2025-completo.pdf

En función de lo anterior, una de las estrategias que se debe de implementar en la industria, es incrementar el factor de recuperación y reservas en campos maduros que se definen según el Dr. Edgar Rangel Germán, como aquellos que alcanzaron su pico de producción y han comenzado su periodo de declinación.

En la actualidad, México cuenta con un total de 750 campos petroleros de los cuales 485 pueden considerarse como Campos Maduros, donde 294 son productores de aceite y 191 son productores de gas. En estos Campos Maduros podemos encontrar el 81% del Volumen Original 3P de Aceite Nacional y el 87% de Volumen Original 3P de Gas Natural Nacional. (Franco H. Gaspar, 2018)

Según datos de la Comisión Nacional de Hidrocarburos al 1 de enero del 2018, prácticamente la producción que se ha obtenido en México proviene de campos maduros con un 96% de la producción de aceite y 98% en cuanto al gas.

Dentro de esta clasificación se encuentra el Campo Independiente con un gran potencial de hidrocarburos remanentes. Este campo es explotado tanto con pozos fluyentes y pozos con sistema artificial de producción. Los principales métodos de producción en los campos terrestres son: bombeo mecánico, bombeo neumático (intermitente), bombeo hidráulico y pozos fluyentes. Para los pozos fluyentes se realiza toma de información (medición, registros de presión de fondo, pruebas de presión producción, toma de muestras de fluidos, etc.) que ayuda a modelar el comportamiento del pozo a través de un análisis nodal y del análisis de la prueba de presión producción y con esto definir si el pozo es candidato a realizarle un cambio de estrangulador, inducción mecánica, limpiezas de aparejo, estimulación o conversión al sistema artificial de producción más apropiado.

En el presente trabajo de investigación nos enfocaremos en los pozos con Sistema Artificial de Producción, específicamente con Bombeo Mecánico teniendo como principal objetivo mostrar la metodología de monitoreo continuo con la toma de información por medio del Echometer ®, obteniendo cartas dinamométricas y registro de nivel de fluido para su análisis e interpretación que servirá para predecir el comportamiento del sistema de bombeo, corregir posibles fallas o modificar las condiciones actuales de operación con el propósito de hacer más eficiente el proceso de bombeo, revirtiendo la baja productividad de los pozos y aumentando la vida útil de los campos.

Capítulo I

Descripción del Sistema de Bombeo Mecánico

El Bombeo Mecánico (Figura 2), es el método de levantamiento artificial más antiguo y uno de los más populares por sus bajos costos en operación, además que resulta muy versátil, debido a que, una vez instalado, se pueden realizar cambios en las condiciones de operación para adaptarlo a las características del pozo

En la industria petrolera, los yacimientos que producen por medio de Bombeo Mecánico tienen determinada presión, la cual será suficiente para que el aceite alcance cierto nivel en el pozo. Por tanto, el Bombeo Mecánico no es más que un Sistema Artificial de Producción que se encargará de succionar y transferir hasta la superficie de manera casi continua, el aceite que el yacimiento acumuló en el pozo.

La succión es efectuada por una bomba compuesta por un pistón y un barril que se encuentra en el fondo del pozo y una sarta de varillas de bombeo que serán las responsables de transmitir el movimiento alternativo de la Unidad de Bombeo que se encuentra en superficie. Esta Unidad de Bombeo (Balancín o Bimba) es accionada gracias a un motor eléctrico o de combustión interna que le dará el movimiento alternativo al pistón que se encuentra dentro del barril en la Bomba de Profundidad.

Dentro del mecanismo de bombeo, un pistón (parte móvil de la bomba) se desplaza dentro del barril que se encuentra estático anclado a la tubería de producción, este movimiento alternativo, así como la apertura y cierre de las válvulas es lo que produce el efecto de bombeo.

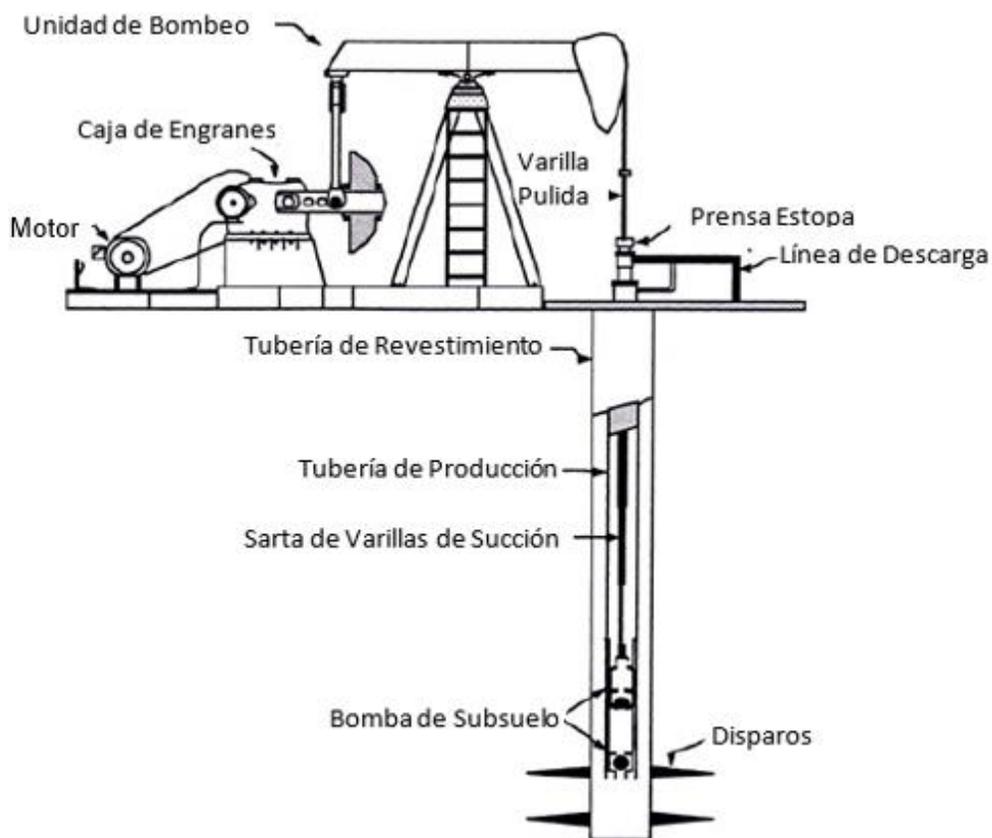


Figura 2 Principales Componentes del Sistema de Bombeo Mecánico
Fuente: Theta Enterprise. Manual de Bombeo Mecánico, Venezuela

Básicamente el Sistema de Bombeo Mecánico se divide en dos grandes grupos:

- Mecanismos Subsuperficiales
- Mecanismos Superficiales.

Mecanismos Subsuperficiales de Bombeo

Los Mecanismos Subsuperficiales son aquellos que se encuentran en el fondo del pozo o bien, que sirven como elementos conectores entre el fondo del pozo y la superficie. Entre ellos se encuentran:

Bomba Subsuperficial

Es una bomba reciprocante de desplazamiento positivo compuesta por un barril y un pistón que es la parte móvil de la bomba. Una válvula fija colocada en el extremo inferior de la bomba, permite el acceso de fluido de la formación acumulado en la tubería de revestimiento, esto debido al efecto de succión cuando el pistón se encuentra en la carrera ascendente. En la carrera descendente, la válvula fija se sella y una segunda válvula colocada en el pistón (válvula viajera) se abre, expulsando el fluido almacenado en el barril hacia la sarta de producción. Este proceso se realiza en ciclos periódicos con la finalidad de elevar el fluido admitido hasta la superficie.

Elementos que conforman una Bomba Subsuperficial

- Barril
- Émbolo o Pistón
- Válvula fija
- Válvula viajera

Barril

Es el elemento dentro del cual se mueve el émbolo en su recorrido ascendente y descendente, éste debe ser lo suficientemente largo para adaptarse a la carrera máxima del émbolo. Se utilizan diversos materiales para su construcción que sean resistentes a la corrosión y abrasión.

Émbolo o Pistón

Es el elemento móvil de la bomba. El émbolo es construido a partir de una amplia variedad de materiales siendo los más utilizados los aceros aleados, aleaciones de bronce y acero inoxidable. Habitualmente posee acabados superficiales pulidos o son cromados para disminuir el desgaste en su superficie, reducir abrasión, así como disminuir la fricción en caso de entrar en contacto con el barril.

Válvula Viajera y Válvula Fija

Se encuentran formados por un sistema de bola y asiento (Figura 4), la válvula que permite la descara del fluido del yacimiento al interior de la bomba recibe el nombre de Válvula Viajera y se encuentra colocada en el extremo inferior del pistón, abre en la carrera descendente y cierra en la carrera ascendente, por otra parte, la Válvula Fija o Válvula de Pie es aquella que consta generalmente de una válvula tipo “check” con sello de bola colocada en el extremo inferior de la bomba. La válvula de pie, permanece cerrada en la carrera descendente y se abre para admitir fluidos en la carrera ascendente.

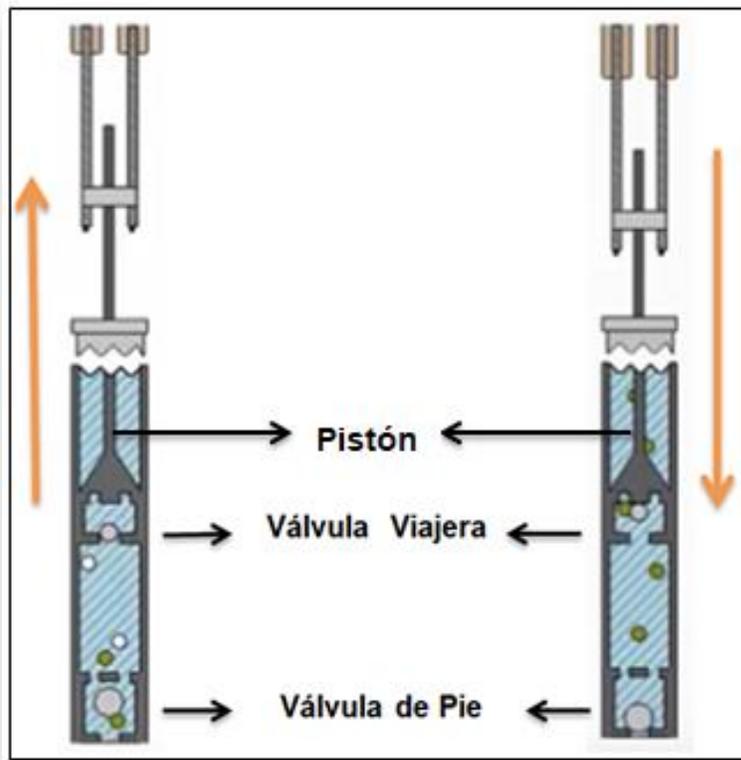


Figura 3 Principales Elementos de la Bomba Subsuperficial

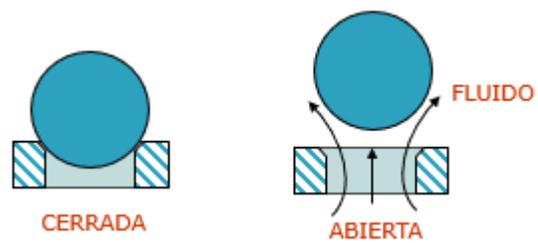


Figura 4 Válvula de Bola

Tipos de Bombas Subsuperficiales

- Bombas de tubería de producción
- Bombas de inserción
- Bombas de tubería de revestimiento

Bombas de tubería de producción

Estas bombas pueden manejar volúmenes mayores de líquidos que las bombas de inserción por ser de un diámetro mayor, por esta razón operan mejor en pozos que tienen alto nivel de fluidos y donde la verticalidad de los mismos ha sido comprobada. La desventaja de las Bombas de Tubería de Producción (Figura 5), radica en la reparación o reposición de alguna de sus partes ya que el barril forma parte de la misma tubería de producción, lo que significa extraer la tubería de producción completa si la bomba requiriera de alguna intervención. Además, debido al peso generado por el volumen de líquidos, es necesario considerar la elongación de la sarta de varillas ya que reduce la carrera efectiva del pistón.

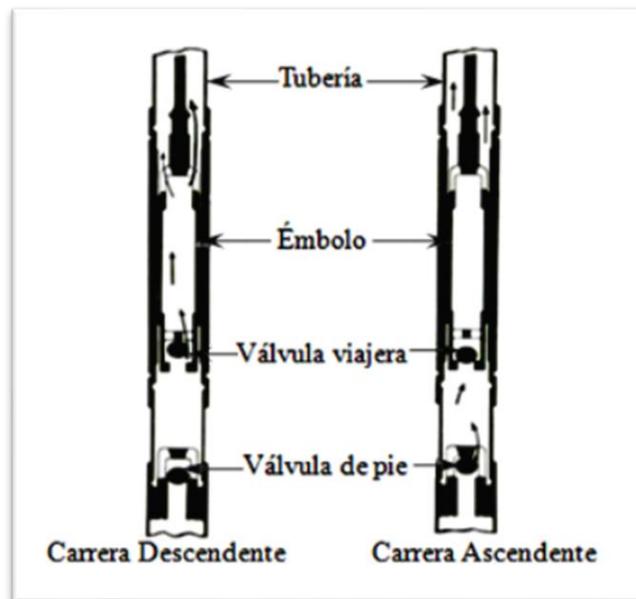


Figura 5 Bomba de Tubería de Producción

Bombas 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 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 utilizando un camión varillero. En la figura 6, se puede observar un diagrama de una Bomba de Inserción con diferentes tipos de anclaje.

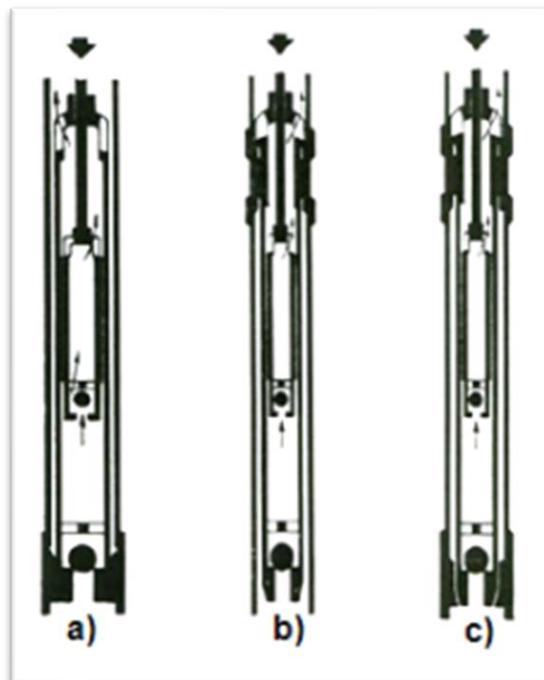


Figura 6 Bomba de Inserción, a) Bomba de Anclaje Inferior, b) Bomba de Anclaje Superior, c)
Bomba de Anclaje Mixto

Bombas de tubería de revestimiento

Son la versión más grande de las bombas de tubería de producción.

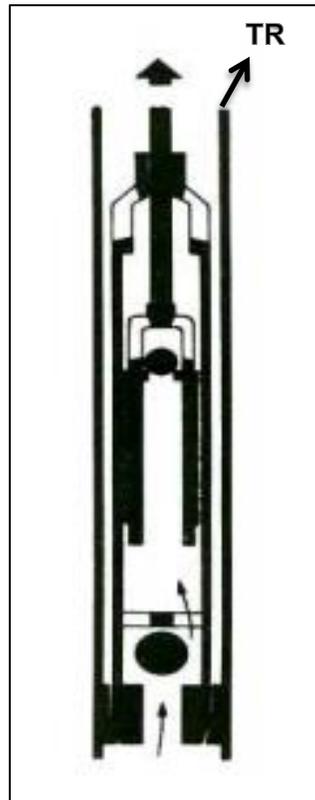


Figura 7 Bomba de Revestimiento

Sarta de varillas de succión

La varilla de succión (Figura 8), es el elemento que constituye el enlace entre la unidad de bombeo mecánico superficial y la bomba subsuperficial. El movimiento vertical de la unidad de bombeo mecánico es transmitido a la bomba subsuperficial por medio de la varilla de succión, es considerada una de las partes principales del equipo, ya que éstas tienen que soportar cambios de esfuerzos, temperatura y corrosión.



Figura 8 Varillas de succión

Foto tomada en el Campo Independiente

Mecanismos Superficiales de Bombeo

Son las partes del sistema de bombeo que podemos observar porque se encuentran a nivel de suelo. El equipo de superficie está constituido por un motor primario, el cual proporciona la energía que acciona la Unidad de Bombeo. Mediante la acción de bandas, la energía del motor primario, se transfiere a una caja de engranes donde se reduce la velocidad y se transforma en movimiento rectilíneo recíprocante a través de la manivela, la biela y el balancín. Este movimiento se transmite a la bomba subsuperficial por medio de la sarta de varillas de bombeo.

Motor Primario

Su función es proporcionar la fuerza motriz para el funcionamiento del sistema que será transmitida a la bomba y será usada para el levantamiento artificial de los fluidos. Puede ser eléctrico como se muestra en la figura 9 o de gas como se muestra en la figura 10. El motor afecta al consumo de energía y a las cargas de la caja de engranes. La potencia del motor depende de la profundidad del pozo, nivel dinámico de fluido o sumergencia, velocidad de bombeo y balanceo de la unidad.

Los motores eléctricos

Son de bajos torques, pero de altas velocidades y tienen un bajo costo de mantenimiento.



Figura 9 Motor Eléctrico
Foto tomada en el Campo Independiente

Los motores de gas

Tienen la ventaja de controlar la velocidad en forma más flexible y opera en un rango más amplio de condiciones de carga. Los motores de combustión interna generalmente son más baratos para operar que los motores eléctricos. Sin embargo, los costos de mantenimiento son casi siempre más elevados. Este tipo de motores son más ruidosos y son utilizados en lugares con difícil acceso a energía eléctrica.



Figura 10 Motor a gas

Foto tomada en el Campo Independiente

Caja de Engranés

Se utiliza para reducir la velocidad rotativa del motor primario a la velocidad requerida de bombeo y aumenta el torque disponible. Esta operación se realiza con la conexión de la máquina motriz a una caja de engranes por medio de bandas. En la figura 11, se puede observar el arreglo de engranes que van por dentro de la caja y en la figura 12, se observa la caja de engranes instalada en la unidad de bombeo.

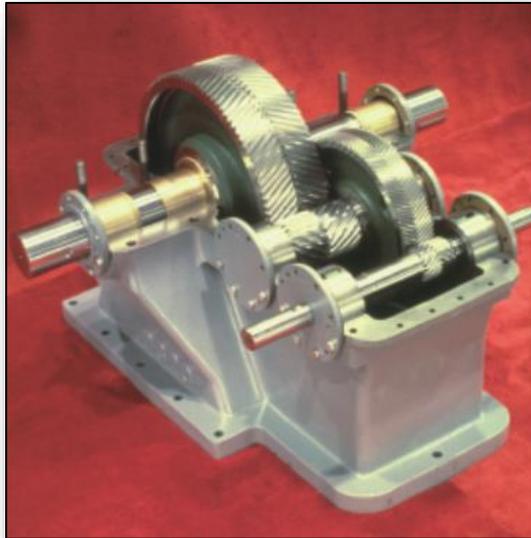


Figura 11 Arreglo de engranes



Figura 12 Caja de engranes instalada en la unidad de bombeo
Foto tomada en el Campo Independiente

Unidad de Bombeo Mecánico

Es un mecanismo cuya función principal es accionar la sarta de varillas y la bomba con el fin de elevar los fluidos desde el subsuelo hasta la superficie. Existen una gran variedad de Unidades de Bombeo, sin embargo, las más utilizadas son las siguientes:

- Unidad Convencional
- Unidad Mark II
- Unidad Aerobalanceada
- Unidad Hidroneumática de Bombeo Reciprocante Tieben
- Unidad de Bombeo de Carrera Larga Rotaflex

Unidad de Bombeo Convencional

La unidad convencional es un sistema que tiene amplio rango de aplicación, es de fácil operación y por lo general son instalados a profundidades que van de los 60 a 3,000 metros, sin embargo, existen diseños de mayor profundidad.

Su balanceo es a través de contrapesos y su rotación contraria a las manecillas del reloj, aunque puede operar en sentido contrario. Debido a que los sistemas están constituidos a partir de materiales metálicos se tiene cierta inmunidad a las características fisicoquímicas del petróleo, además de que tiene un límite de temperatura de hasta 371 °C aproximadamente.

Este sistema es ampliamente utilizado en pozos con aceite de alta gravedad API o con elevado corte de agua, así como también en pozos con aceites pesados y extra pesados estimulados con inyección de vapor. Cabe mencionar que tienen un bajo costo de mantenimiento y bombea más rápido que una unidad Mark II. En la figura 13, se observa la Unidad de Bombeo Convencional y la identificación de sus principales elementos que la conforman. En la figura 14, se muestra la unidad instalada en uno de los pozos del Campo Independiente

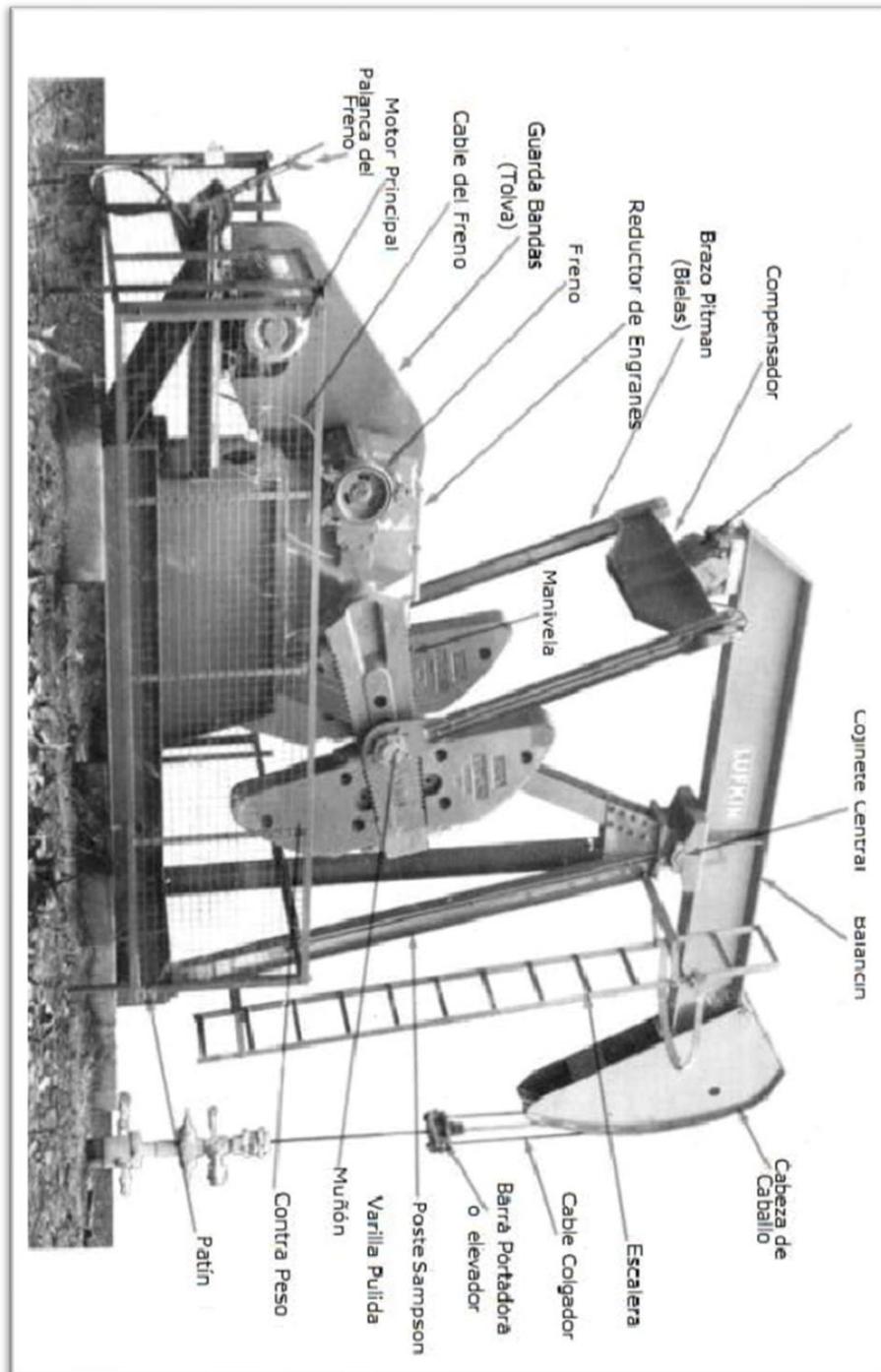


Figura 13 Elementos de la Unidad de Bombeo Convencional

Fuente: Apuntes de Bombeo Mecánico, M. en I. José Ángel Gómez Cabrera, Ing. Carlos Jesús Navarrete Álvarez



Figura 14 Unidad de Bombeo Mecánico Convencional
Foto tomada en el Campo Independiente

Unidad de Bombeo Mark II

Estas unidades (Figura 15), basan su geometría en tres características, las cuales reducen el torque y la carga con respecto a una Unidad Convencional son:

- La ubicación de la caja reductora
- Un punto de apoyo en el extremo de la unidad
- Una manivela desfasada

También los costos de electricidad y el tamaño del motor pueden ser reducidos. Tienen bajo costo de mantenimiento, además, con el uso de varillas de acero se puede reducir el torque.

Algunas de las desventajas de este tipo de unidades son:

- No puede bombear tan rápido como una Unidad Convencional
- Gira solamente en sentido contrario de las manecillas del reloj
- Los fluidos pesados pueden causar daño a la bomba y a las varillas

En la figura 16, se ilustra un conjunto de Unidades de Bombeo Mark II operando en pozos del Campo Independiente.

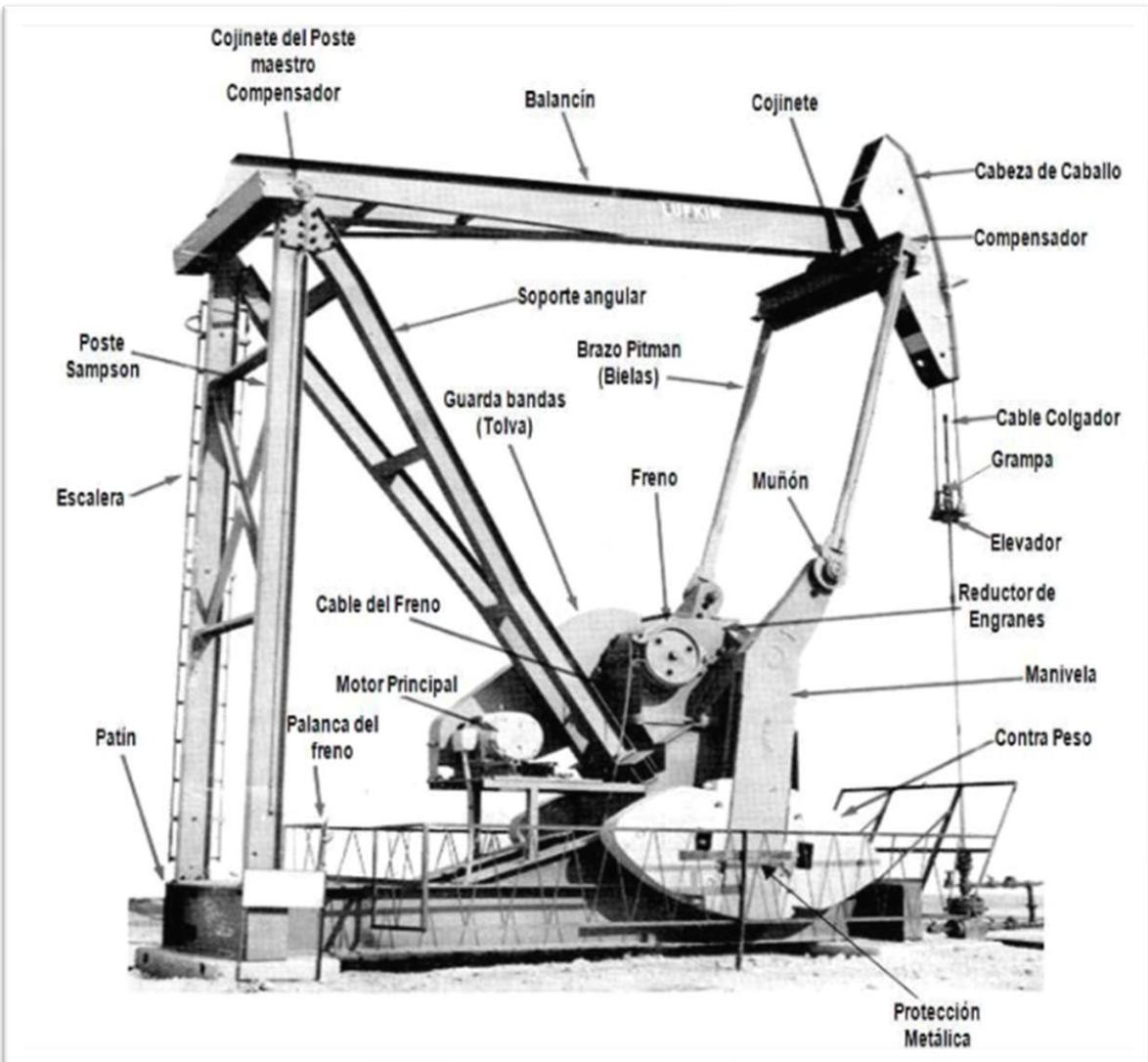


Figura 15 Componentes de la Unidad de Bombeo Mecánico Mark II

Fuente: Apuntes de Bombeo Mecánico, M. en I. Miguel Ángel Gómez Cabrera, Ing. Carlos Jesús Navarrete Álvarez



Figura 16 Unidad de Bombeo Mecánico Mark II
Foto tomada en el Campo Independiente

Unidad de Bombeo Aerobalanceada

En la Unidad Aerobalanceada (Figura 17), el balanceo se realiza mediante aire suministrado por un motocompresor hacia un cilindro amortiguador. El motocompresor se calibra a un paro y arranque automático, dependiendo del peso de la sarta de varillas para que el motor principal opere sin esfuerzos. Su rotación y el sistema de lubricación de reductor de engranes es igual al de la unidad convencional.

Es una unidad más compacta y fácil de balancear que otras, además de que los costos de transportación son menores. Puede girar en dos sentidos.

Por otro lado, los problemas que se pueden presentar son:

- Condensación de agua en el cilindro
- Es más complicada y requiere mayor mantenimiento
- La caja de velocidades se puede dañar si el cilindro pierde presión de aire.

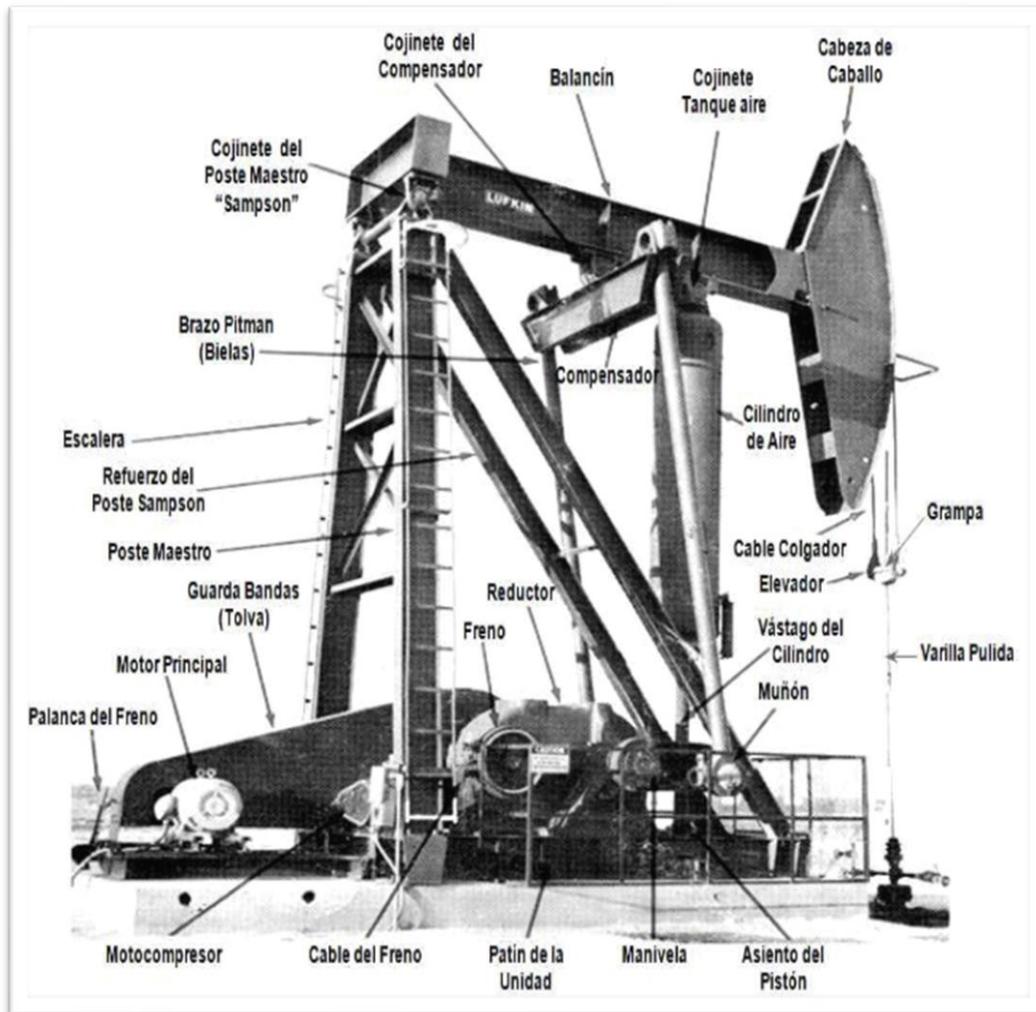


Figura 17 Unidad de Bombeo Mecánico Aerobalanceada

Fuente: Apuntes de Bombeo Mecánico, M. en I. Miguel Ángel Gómez Cabrera, Ing. Carlos Jesús Navarrete Álvarez

Unidad Hidroneumática de Bombeo Reciprocante Tieben

Esta es una unidad de bombeo alternativo para el movimiento de varillas, cuyo principio de funcionamiento se basa en presiones hidráulicas compensadas debido a la comprensión y expansión de nitrógeno, este nitrógeno se encuentra dentro de un acumulador que soporta 2/3 partes de carga total de las varillas y reemplaza los contrapesos de la Unidad de Bombeo Mecánico Convencional.

Con el principio hidroneumático se pueden levantar cargas de hasta 40, 000 libras en la varilla pulida, con una carrera efectiva de máximo 120 pulgadas y hasta con 8 emboladas por minuto, estas se pueden modificar según las necesidades de operación.

Este tipo de unidades tienen las siguientes ventajas: son económicas, tienen un bajo consumo de energía, sus motores requieren un 30% menos de energía, tienen bajo costo de mantenimiento, es fácil de transportar e instalar, reduce al mínimo los problemas de producción diferida. A continuación, en la figura 18, se mencionan los principales elementos de una Unidad de Bombeo Tieben y en la figura 19, se observa una unidad instalada en el Campo Independiente.

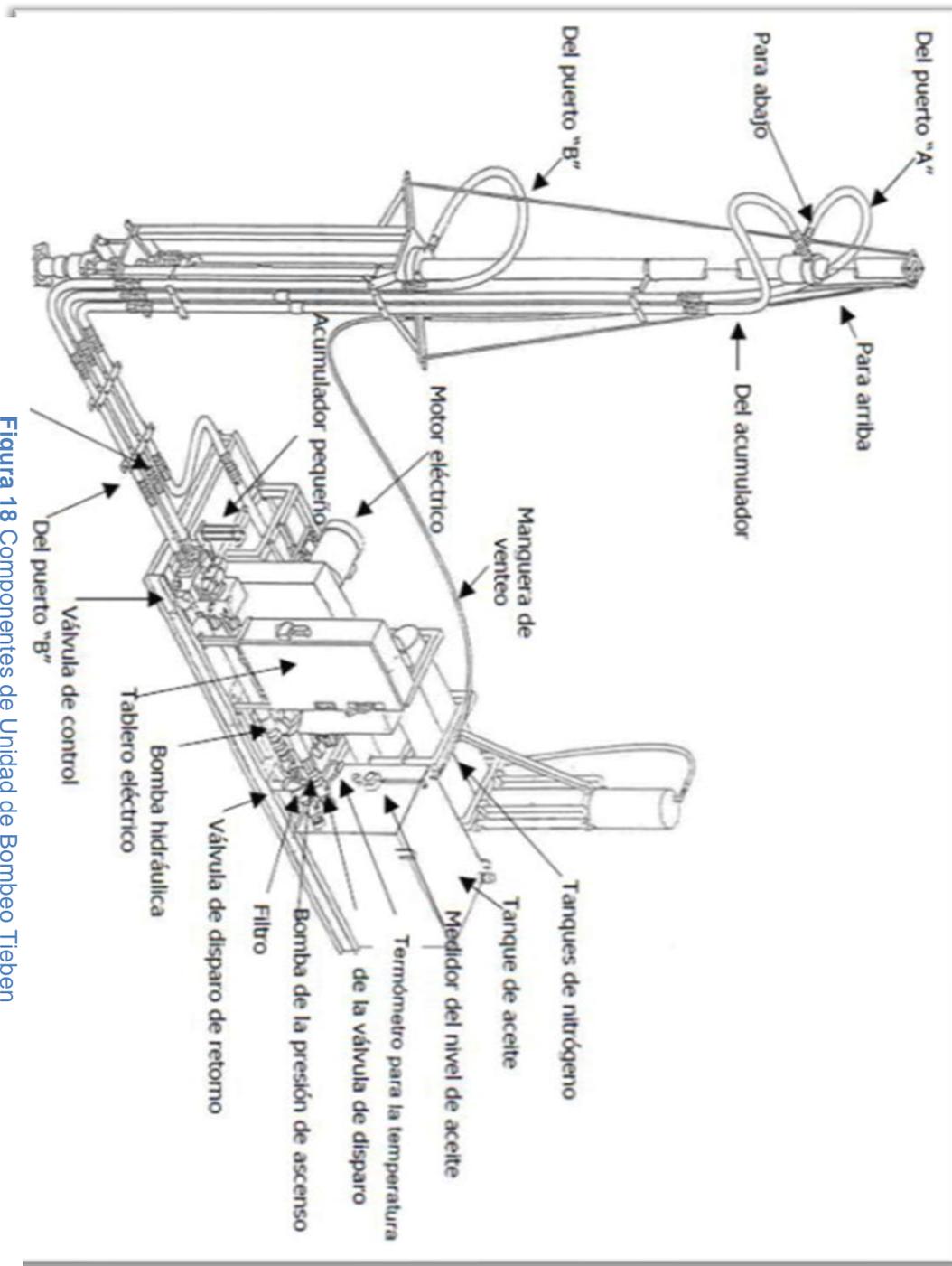


Figura 18 Componentes de Unidad de Bombeo Tieben
Fuente: Apuntes de Bombeo Mecánico, M. en I. Miguel Ángel Gómez Cabrera, Ing. Carlos Jesús Navarrete Álvarez



Figura 19 Unidad Tieben
Foto tomada en el Campo Independiente

Unidad de Bombeo de Carrera Larga Rotaflex

El Rotaflex (Figura 20), es una unidad de baja velocidad de bombeo y carrera larga. La carrera larga va de 288 a 306 pulgadas y la velocidad lenta se refiere a 4.5 emboladas por minuto. Estas bajas velocidades y las carreras largas permiten un llenado más completo de la bomba, además de reducir el ciclo de esfuerzo de las varillas, reduce el desgaste de las partes móviles, minimiza los problemas de interferencia de gas, reduce los problemas por golpe de fluido, se pueden producir hasta 250 BPD.

En estos equipos el motor eléctrico está directamente conectado a un a caja reductora, la cual transmite el movimiento de rotación a una rueda dentada motora que conduce una cadena a velocidad relativamente constante. Dicha cadena viaja entre la rueda dentada mencionada y otra fijada en la parte superior de la torre. El contrapeso se encuentra conectado a su vez con la cinta flexible y esta cinta se conecta con la varilla pulida. De esta manera con la carrera ascendente de la sarta de varillas, el contrapeso baja; mientras que, con la carrera descendente, el contrapeso sube.

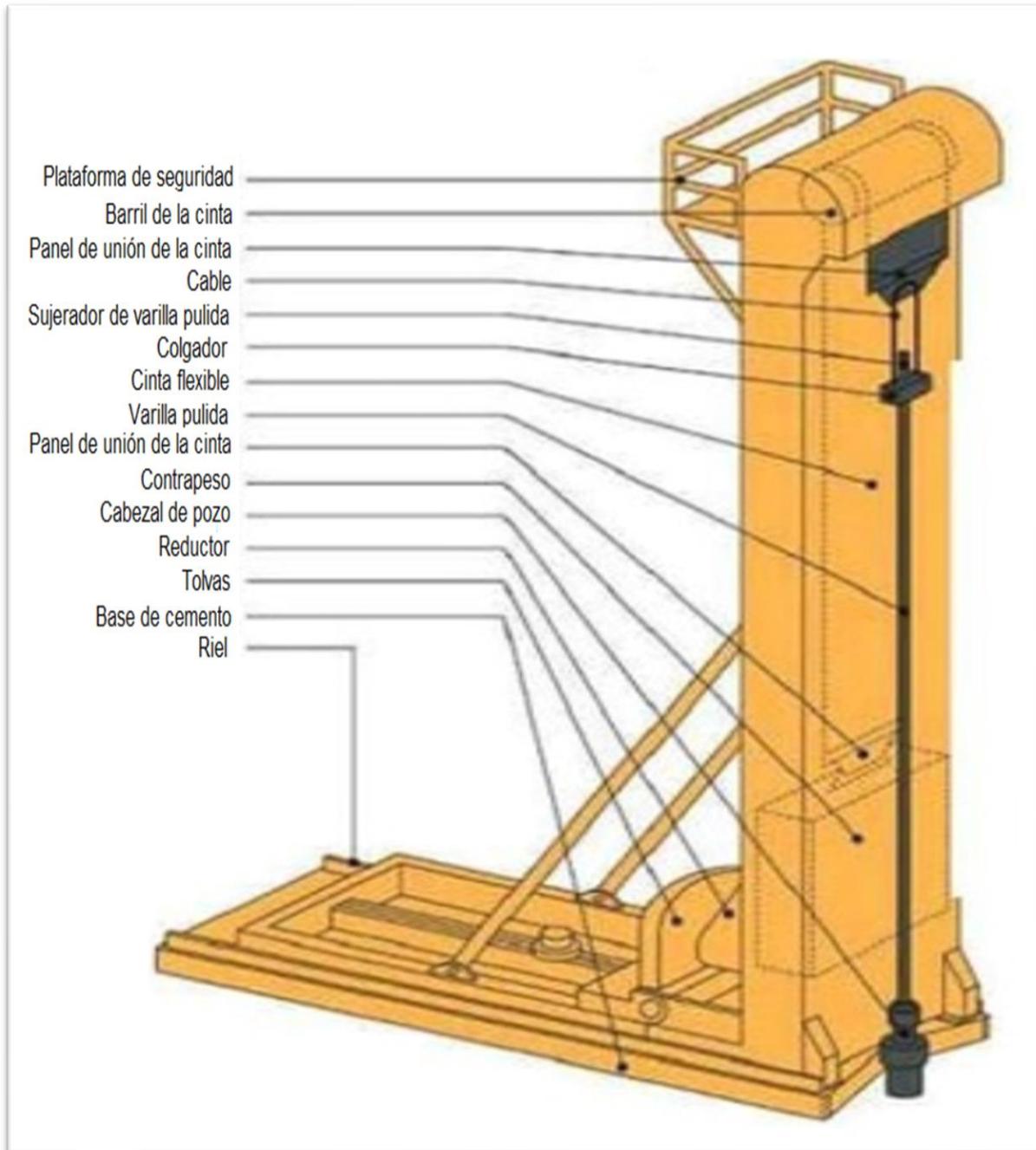


Figura 20 Unidad de Bombeo de Carrera Larga "Rotaflex"

Fuente: Apuntes de Bombeo Mecánico, M. en I. Miguel Ángel Gómez Cabrera, Ing. Carlos Jesús Navarrete Álvarez

Nomenclatura de las Unidades de Bombeo Mecánico

API ha desarrollado un método estándar para identificar y describir las Unidades de Bombeo Mecánico como se muestra en la figura 21. En la figura 22, se describe la nomenclatura de identificación de Unidades de Bombeo Mecánico.

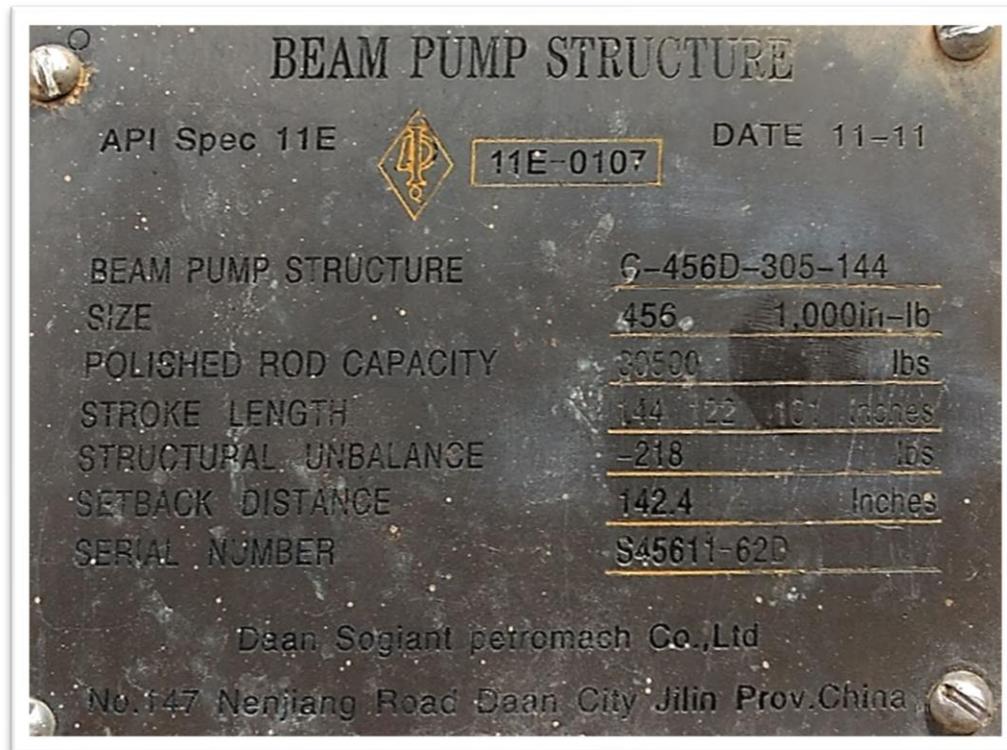


Figura 21 Placa con la nomenclatura de una Unidad de Bombeo
Foto tomada en el Campo Independiente

Donde:

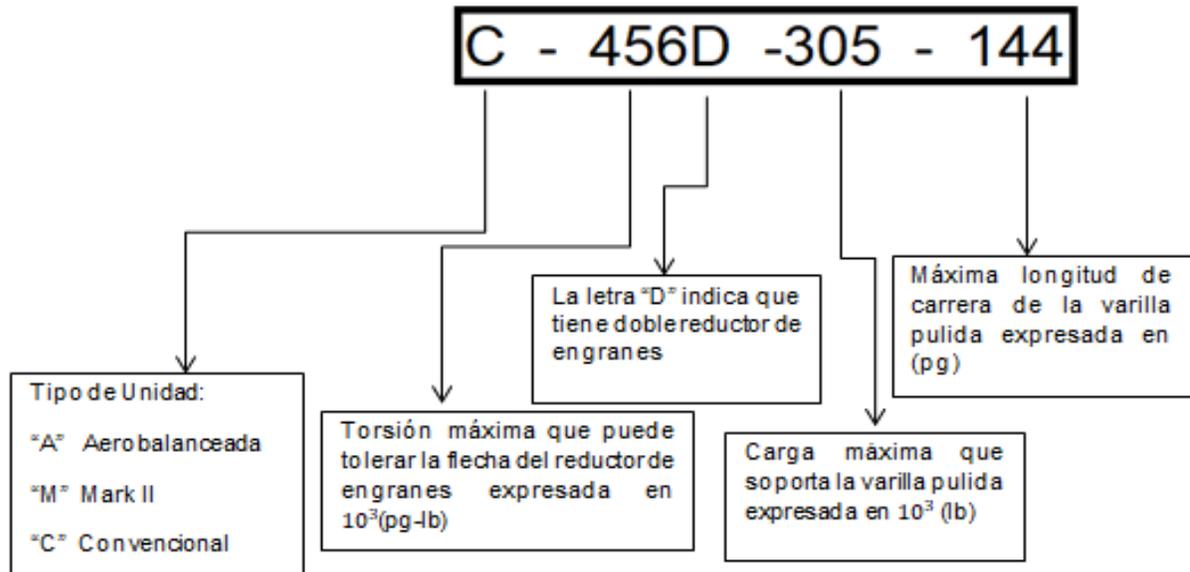


Figura 22 Descripción de la Nomenclatura de la Unidad de Bombeo

Conexiones y accesorios superficiales

En la figura 23, se muestran las conexiones superficiales que tienen la función de conducir los hidrocarburos producidos por el pozo a la línea de descarga y, por ende, hasta la batería de separación. Dos accesorios superficiales (varilla pulida y grampa) tienen la función de transmitir el movimiento alternativo a la sarta de varillas de succión, otros accesorios (estopero y preventor) tienen la función de dar seguridad, a fin de evitar derrames de hidrocarburos al medio ambiente y las válvulas de retención o “check” cuya función es dejar pasar los fluidos en una sola dirección. A continuación, se explicará más a detalle cada uno de estos elementos.

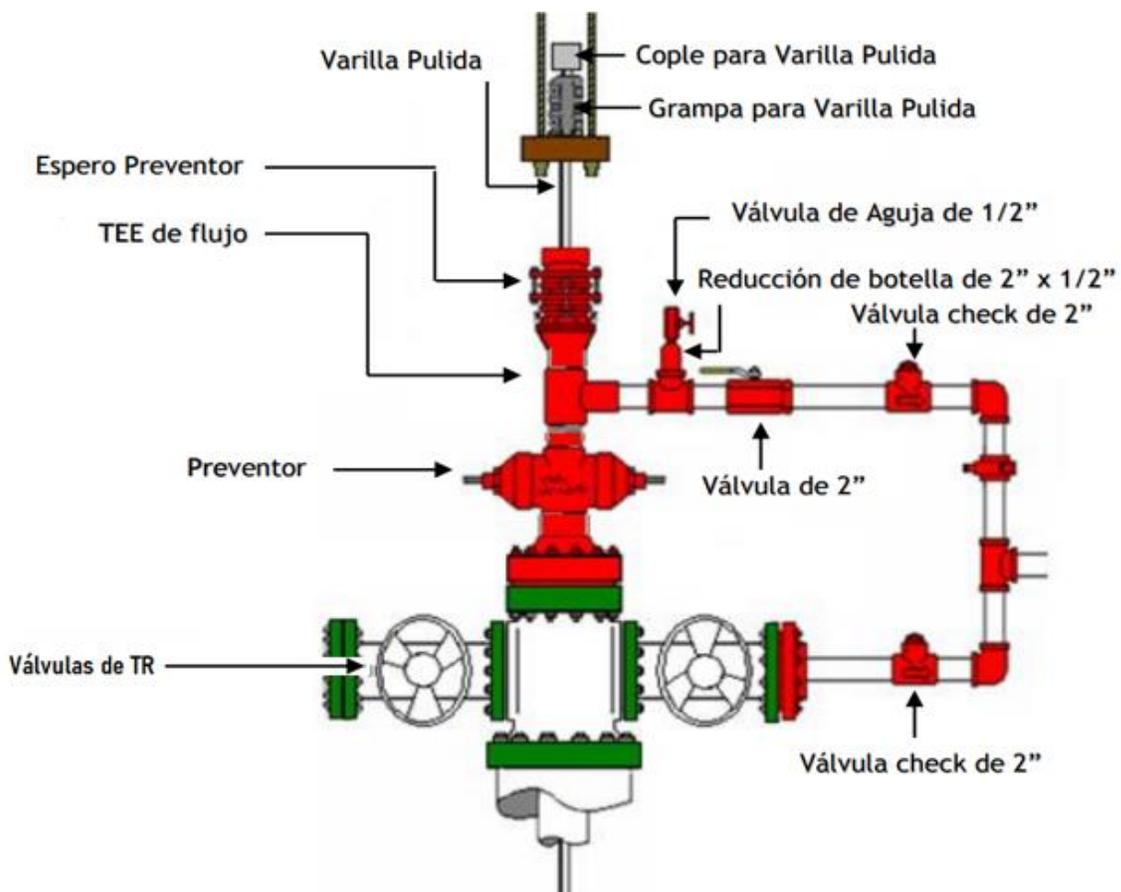


Figura 23 Árbol de Válvulas para Bombeo Mecánico

Grampas

Este dispositivo sirve para sujetar la varilla pulida por apriete. Se coloca en forma permanente después de que se efectuó una intervención al pozo. También se utiliza para movimientos que se efectúan con la sarta de varillas, ya sea para eliminar un golpe en la bomba subsuperficial, sacar un registro dinamométrico o re-anclar una bomba. Cuando quedan permanentes las grampas y junto con el cable colgador soportan todo el peso de la sarta de varillas y el peso del fluido. Estas grampas pueden usar uno, dos o tres tornillos para el apriete como se muestra en la figura 24, incrementándose la seguridad con el número de los mismos. Es recomendable el uso de grampas con menos tornillos para pozos someros, conforme aumenta la profundidad es preferible la utilización de grampas con mayor número de tornillos.

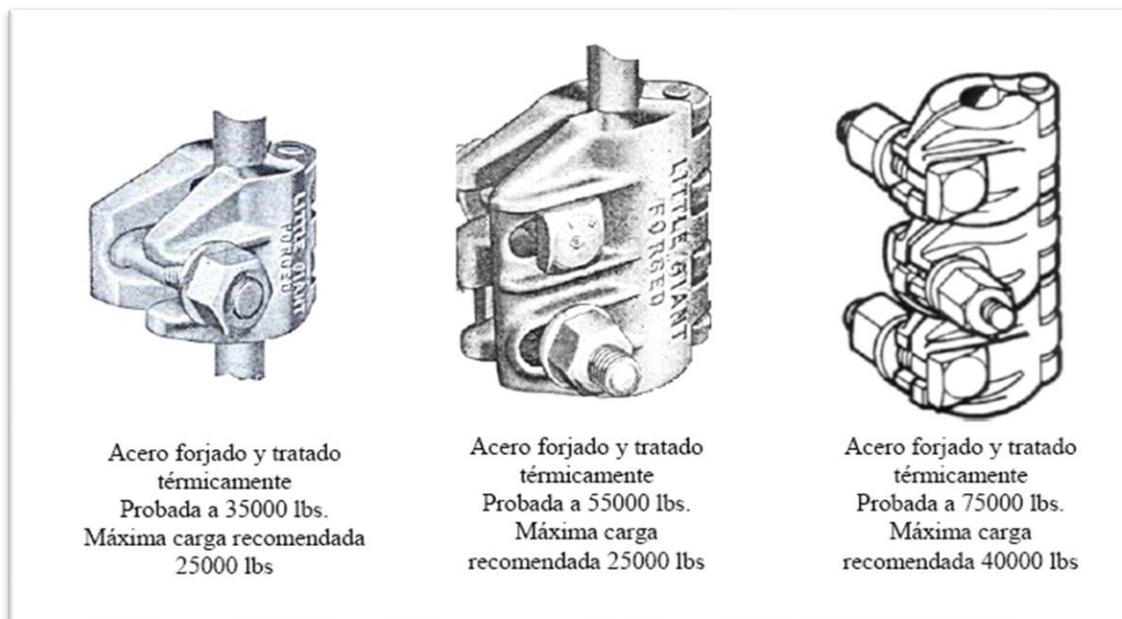


Figura 24 Grampas

Fuente: Martínez, I (2013). Tesis “Diagnóstico de Falas y Optimización del Bombeo Mecánico”. IPN.

Varilla Pulida

Es la unión directa entre la sarta de varillas de succión y el equipo superficial, en otras palabras, es el eje final de la sarta de varillas, su función es soportar el peso total de la sarta de varillas; brindar una superficie lisa y libre de imperfecciones para evitar la fuga de fluidos al exterior; además de acoplar la sarta de varillas a la unidad de bombeo. La varilla pulida (Figura 25), juega un papel muy importante en la toma de información, ya que es en ella donde el equipo de dinamometría se conecta para medir la carga ejercida en la varilla con respecto a su posición y así calcular su correspondiente carta dinamométrica. En la figura 26, se observa la varilla pulida instalada en una Unidad de Bombeo Mecánico en el Campo Independiente.



Figura 25 Varilla pulida

Fuente: Martínez, I (2013). Tesis "Diagnóstico de Falas y Optimización del Bombeo Mecánico". IPN.



Figura 26 Localización de Varilla Pulida
Fuente: Foto tomada en el Campo Independiente

Estopero

El estopero (Figura 27 y 28), es un mecanismo de seguridad que se localiza en la parte superior del árbol de válvulas para pozos con sistema de bombeo mecánico, sobre la TEE de flujo y cuya función principal es la de contener los fluidos para que no se manifiesten a su exterior por medio de un conjunto de sellos construidos con materiales resistentes al rozamiento, los cuales se van a ajustar al diámetro de la varilla pulida, cuando ésta tenga un movimiento ascendente o descendente proporcionado por la unidad de bombeo mecánico (U.B.M.); debido a este movimiento, los sellos sufren desgaste por lo que es necesario sustituirlos periódicamente y solamente se pueden cambiar con la U.B.M. inoperante.

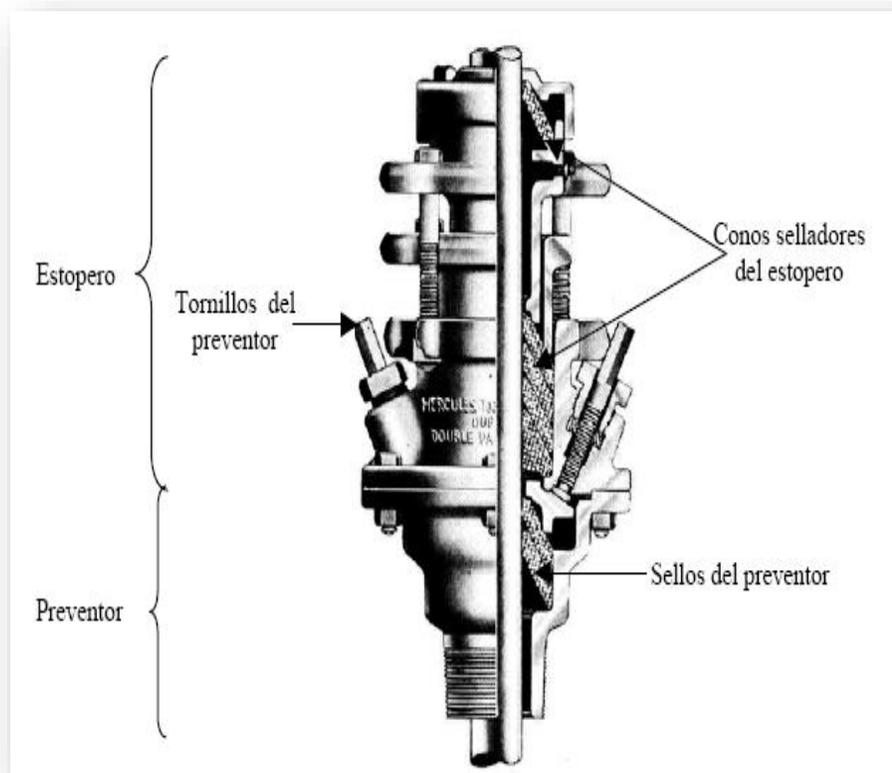


Figura 27 Diagrama del Estopero

Fuente: Martínez, I (2013). Tesis "Diagnóstico de Falas y Optimización del Bombeo Mecánico". IPN.



Figura 28 Estopero instalado en campo
Foto tomada en el Campo Independiente

Preventores

Son mecanismos de seguridad que han sido diseñados para impedir, en caso necesario, el paso de fluidos al exterior. Sólo se pueden accionar cuando la U.B.M. no está operando, debido a que en su interior tiene unos sellos de hule llamados “Rams”, que aprietan a la varilla pulida para sellar y evitan el paso del hidrocarburo.

Los preventores (Figura 29), son vitales para llevar a cabo 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, cuando por alguna rotura de la varilla pulida ésta se precipite al interior del pozo junto con la sarta de varillas. En campo los preventores se pueden observar como se ilustra en la figura 30.

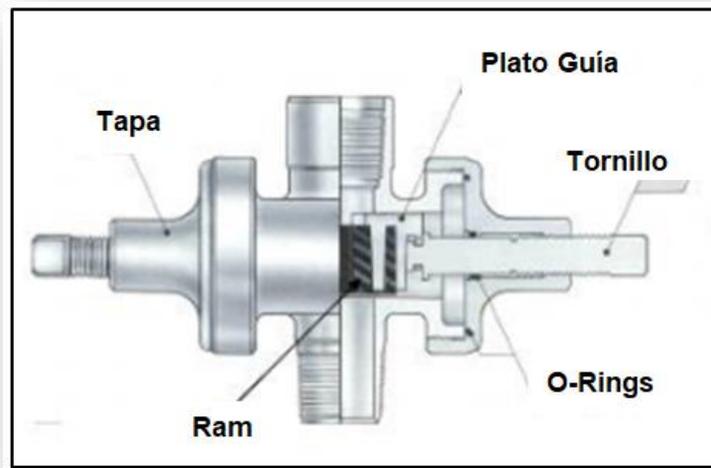


Figura 29 Diagrama de un Preventor
Fuente: Vargas, C. (2012). Tesis “Componentes de bombeo mecánico su uso y aplicación en Chicontepec”, UNAM.



Figura 30 Preventor Instalado en Campo
Foto tomada en el Campo Independiente

Válvulas de Retención

El objetivo principal de este tipo de válvulas (Figura 31), comúnmente conocidas como check, es el de permitir el paso de un flujo por una línea en una sola dirección, impidiendo así, el regreso del fluido cuando se presenten contrapresiones altas. En campo, se identifican como se muestra en la figura 32.

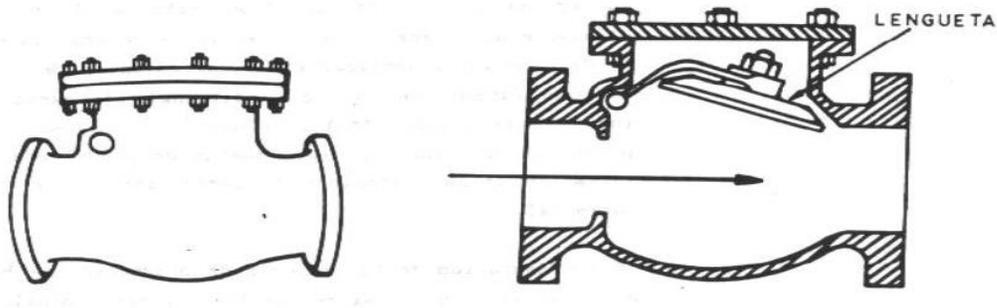


Figura 31 Válvula de Retención tipo Check



Figura 32 Válvula Check Instalada en Campo
Foto tomada en el Campo Independiente

TEE de Flujo

Esta conexión no es más que una unión entre el preventor, el estopero y la línea de producción. En la siguiente figura se ilustran instalados en las conexiones superficiales, el estopero, el preventor y la Tee de flujo.



Figura 33 Tee de Flujo, Estopero y Preventor Instalados en Campo
Foto tomada en el Campo Independiente

Capítulo II

El Echometer®

Introducción

Una vez que se instalan todos los equipos del Sistema de Bombeo Mecánico, es necesario monitorear su operación constantemente con el objetivo de garantizar la máxima producción posible de fluidos de acuerdo al potencial del yacimiento y determinar posibles fallas que pudiera presentar el sistema. Por lo tanto, no solo es necesario conocer la cantidad de fluido que puede aportar el yacimiento, sino que se debe relacionar con las cargas dinámicas que soporta la varilla pulida con respecto a su posición para hacer un diagnóstico del comportamiento de los componentes subsuperficiales del sistema o saber si las condiciones bajo las cuales se diseñó el Sistema de Levantamiento Artificial han cambiado para anticipar o corregir fallas que pudiera presentar el sistema. La toma de información en los pozos nos ayudará para mantener condiciones de equilibrio en la operación y de ser necesario reacondicionar los mecanismos para evitar el sobredimensionamiento o el sub-dimensionamiento del sistema, ya que la producción de fluidos no es constante a largo plazo.

El Echometer® es una herramienta útil y de bajo costo que nos ayudará a cumplir con los objetivos del monitoreo y toma de información por medio de registros de nivel y de diagramas dinamométricos. Estos datos se analizan y se interpretan para obtener un diagnóstico del funcionamiento del Sistema de Bombeo Mecánico.

Descripción del Echometer®

El Analizador de Pozos Echometer®, es un equipo que se utiliza para la adquisición y diagnóstico de datos en pozos con levantamiento artificial que permite maximizar la producción de petróleo minimizando gastos operativos. Tiene como objetivo principal, proveer todos los datos necesarios para analizar el desempeño de pozos petroleros. Consta de un Sistema Analizador de Pozos que se controla por medio de un computador portátil. El computador opera desde un programa de diagnóstico "Total Well Management" (TWM) grabado en el disco duro. El TWM es el que controla la adquisición de datos, los procesa y muestra los resultados específicos para cada medida que se vaya a realizar. El Analizador de Pozo tiene la función de comunicar el pozo con la computadora para la transferencia de información.

A partir de la aplicación e interpretación de las medidas que se hacen con el Analizador de Pozo, podemos saber a qué profundidad se encuentra el nivel de fluido en el pozo y saber cuál es la sumergencia efectiva de la bomba. Esta información nos servirá para detectar alguna anomalía y tomar decisiones al momento de optimizar el pozo.

Básicamente el equipo que se utiliza para la adquisición de información en campo es el que se muestra en la figura 34.

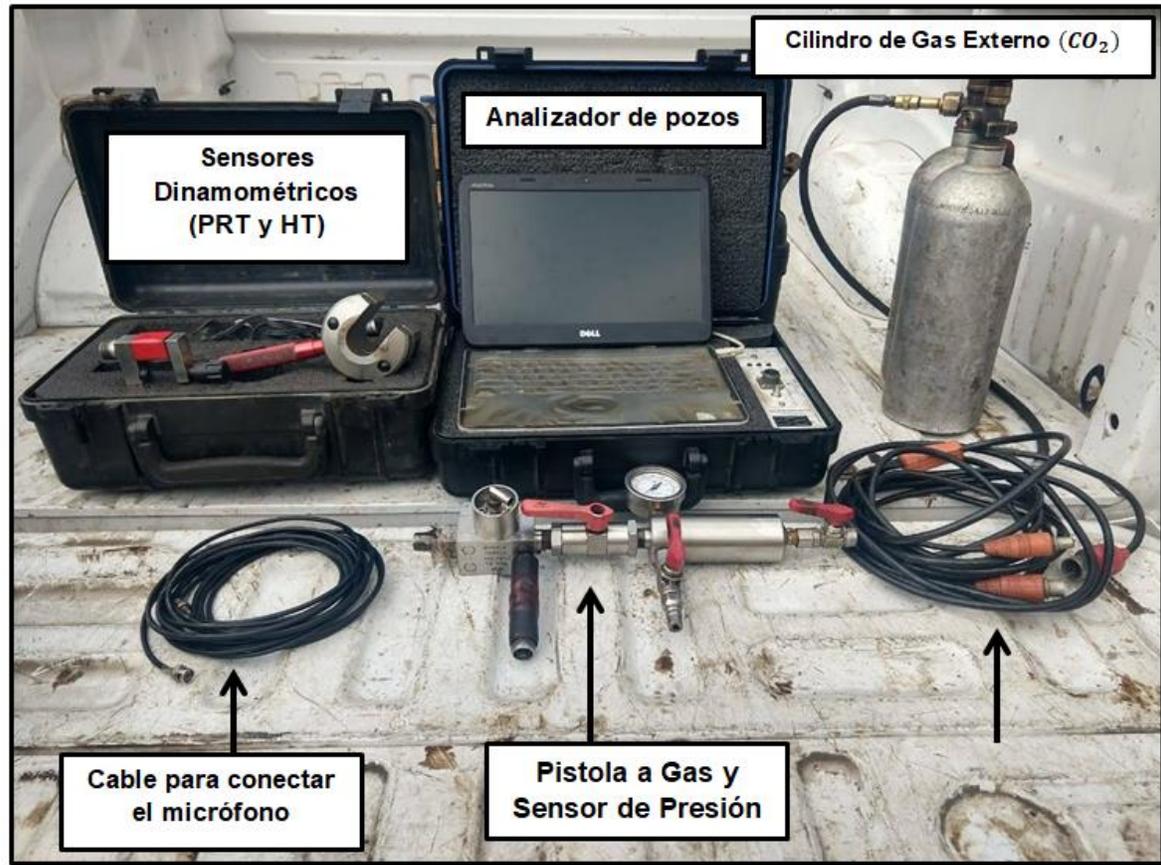


Figura 34 Equipo Echometer®
Foto tomada en el Campo Independiente

Descripción del Analizador de pozo

El analizador de Pozo, es una unidad electrónica compacta. Esta unidad adquiere y digitaliza las señales del micrófono y del transductor de presión. Estas señales se envían a la computadora para su procesamiento. La computadora controla al Analizador de pozos por medio del programa Total Well Management (TWM) instalado en el disco duro. Tanto el analizador de pozo, como la computadora portátil, se pueden observar en la figura 35 que se muestra a continuación.

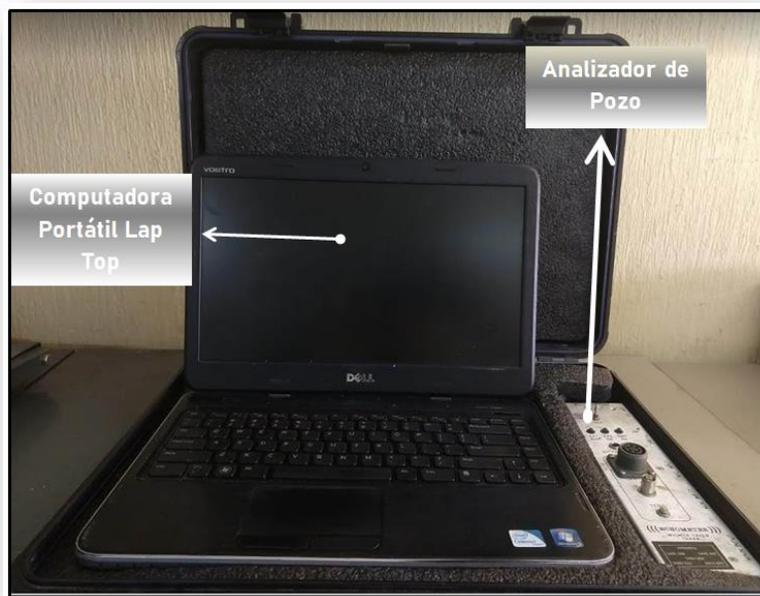


Figura 35 Analizador de Pozo y Computadora Portátil

El Analizador de Pozo, cuenta con un Convertidor de Análogo a Digital (A/D), que digitaliza las señales eléctricas provenientes de los instrumentos de medición, las señales se transmiten al computador para su procesamiento y grabado. Los instrumentos se conectan al Convertidor (A/D) por medio de cables en sus diferentes entradas (Figura 36), que se enlistan a continuación:



Figura 36 Entradas (Input) del Analizador de Pozo

1. Entrada (A/D) de 8 Pin, por medio de esta entrada se conecta el sensor de presión para el Registro de Nivel de Fluido y las celdas de carga para las mediciones del Dinamómetro.
2. Entrada coaxial (A/D): en esta entrada se conecta el cable del micrófono para el Registro de Nivel de Fluido.
3. Toma de corriente
4. Otras entradas hacia el convertidor (A/D)

Equipo utilizado para monitoreo de Nivel de Fluido

Pistola a gas de 5000 psi

La pistola a gas de 5000 psi genera un pulso acústico y detecta los ecos del fondo del pozo. Esta pistola a gas contiene una cámara que se llena con gas comprimido para enviar un pulso acústico al pozo. La pistola a gas contiene un micrófono que detecta el disparo, ecos en los coples, ecos en los liners, ecos en las anclas, otros ecos en el pozo debido a cambios en el área seccional y el nivel de fluido. La pistola, se conecta a la TR por medio de una reducción de diámetro de tubería llamado "botella". Cuando la válvula de la TR se abre, la presión del pozo se transmite a la cámara.

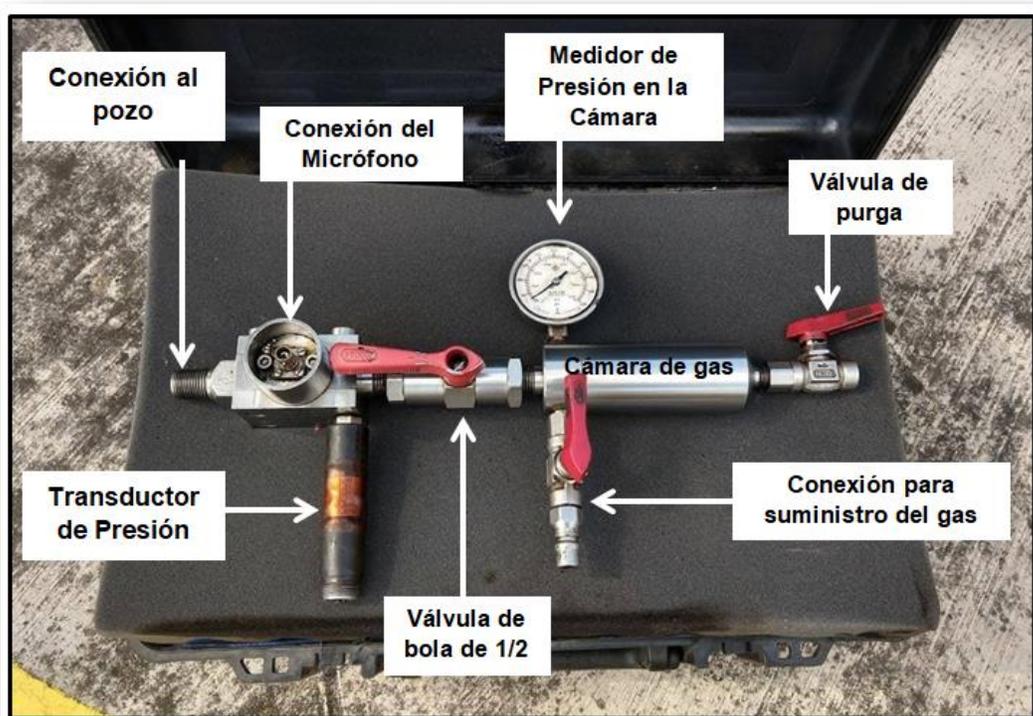


Figura 37 Pistola a Gas
Foto tomada en el Campo Independiente

En la figura 37, se muestran los principales componentes de la pistola a gas que se describen a continuación:

Conexión al pozo. - Conecta la pistola al pozo por medio de una rosca de ½ pulgada.

Medidor de presión en la cámara. - Es un manómetro que indica la presión en la cámara de la pistola a gas. Si la válvula de la pistola a gas está abierta y la válvula del anular está abierta, el manómetro registra la presión del espacio anular.

Transductor de presión. - Se instala a un costado de la pistola para registrar la presión del espacio anular automáticamente en el Analizador de Pozo usando el programa TWM.

Micrófono. - Es un aparato sensible a la presión. Su función es detectar el rebote de la onda acústica para que el TWM lo registre en la unidad de cómputo. Se recomienda detener la Unidad de Bombeo para un registro satisfactorio.

Válvula de bola de ½. - Girando esta válvula, continua y rápidamente a 180°, descarga rápidamente la presión cargada en la cámara de la pistola al pozo, si es disparo por explosión. Cuando el disparo es por implosión, la válvula de bola de ½, descarga la presión del pozo hacia la cámara de la pistola; en ambos tipos de disparo se genera una onda que se propaga en el pozo que será recibida por el micrófono.

Conexión para suministro del gas. - Se usa para presurizar la cámara de la pistola con CO_2 o nitrógeno en el modo de explosión. Cuenta con una válvula de carga de ¼ para controlar la entrada y la purga de la cámara. La carga de la cámara se efectúa usando el gas de la botella de suministro externo.

Cámara de gas. - Es un cilindro que almacena el gas que será disparado para crear el pulso por explosión o que admitirá el gas del pozo para crear el pulso acústico por implosión.

Válvula de Purga. - Sirve para aliviar la presión almacenada en la pistola.

Tipos de disparo

Dependiendo de la presión del pozo, el disparo de la pistola a gas puede ser generado por:

- a) Explosión
- b) Implosión

Disparo por Explosión

La pistola a gas de 5000 psi, se puede utilizar en el modo de explosión cuando la presión en el pozo es baja (menor a 100 psi). En el modo explosión, se utiliza una fuente de gas externa para presurizar el volumen de la cámara de la pistola al menos lo doble de la presión que presente el pozo. Luego, el gas es liberado rápidamente al pozo por medio de la válvula de bola de $\frac{1}{2}$ para generar un pulso acústico. La cámara de la pistola puede ser presurizada con gas CO_2 o nitrógeno.

Disparo por Implosión

Cuando se conecta la pistola a la tubería donde se realizará la prueba y la presión del pozo resulta alta (mayor a 100 psi), el disparo por explosión no resulta ser satisfactorio. En este caso, el pulso acústico puede ser generado dejando que el gas a alta presión del pozo entre a la cámara de la pistola a través de la válvula de bola de $\frac{1}{2}$, creando una onda de vacío la cual se propaga en el pozo.

Cilindro de Gas Externo

En la figura 38, se ilustra el cilindro que puede contener gas CO_2 o nitrógeno que se usa para cargar la pistola en el modo explosión. Cuenta con un adaptador por donde se transfiere el gas a la cámara de la pistola.



Figura 38 Cilindro de Gas Externo
Foto tomada en el Campo Independiente

Equipo utilizado para Medidas Dinamométricas

Celda de Carga de Varilla Pulida (PRT)

El transductor de varilla pulida (Figura 39), es un sensor muy práctico para mediciones dinamométricas rápidas y seguras. Consiste en una pequeña abrazadera tipo “C” que se coloca en la varilla pulida, por debajo del elevador. Este instrumento con medidores extremadamente sensibles registra el cambio en el diámetro de la varilla pulida, debido a la variación de cargas durante el ciclo de bombeo. Este transductor contiene un sensor de aceleración o acelerómetro que determina la posición de la varilla pulida.

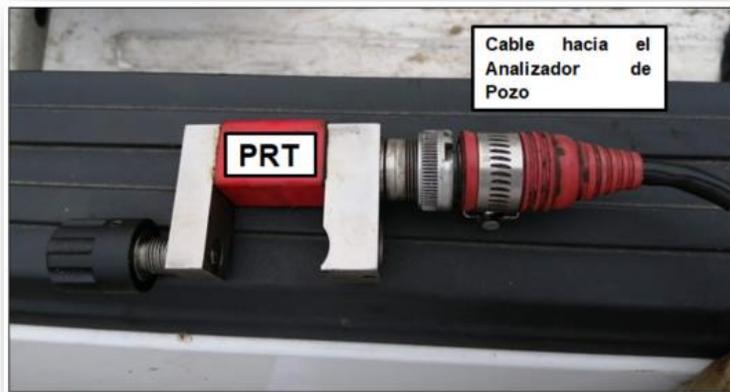


Figura 39 Celda de Carga de Varilla Pulida
Foto tomada en el Campo Independiente

Celda de Carga Tipo Herradura

La figura 40, muestra la Celda de Carga tipo Herradura que es un transductor altamente exacto, diseñado para proveer un valor de carga preciso cuando sea necesario. Esta celda de carga se coloca en la varilla pulida entre la grampa permanente de la varilla pulida y la barra portadora. Esta tiene también un acelerómetro que mide la aceleración de la varilla pulida. El programa calcula la velocidad y posición de la varilla pulida, por medio de integración numérica de la señal de aceleración versus tiempo.



Figura 40 Celda de carga tipo Herradura
Foto tomada en el Campo Independiente

Capítulo III

Monitoreo de Nivel de Fluido por Medio de Echometer®

Introducción

El analizador de pozos no sólo es un equipo que nos permite realizar mediciones de nivel de fluido para determinar la sumergencia de la bomba, sino que también, el software realiza cálculos de presiones, tanto del cabezal del pozo, como la presión de fondo. Además, tiene la capacidad de calcular la cantidad de gas en el espacio anular y estimar la cantidad de gas presente en la columna de fluido que se acumula en el espacio anular. Todo esto con el propósito de obtener un diagnóstico del comportamiento del pozo y realizar ajustes en el diseño de bombeo o detectar alguna anomalía en las tuberías.

Principio de Operación

Utiliza como principio de operación la reflexión del sonido a través del gas que se encuentra en el espacio anular y refleja los cambios en el área seccional entre la Tubería de Revestimiento (TR) y la Tubería de Producción (TP), debido a coples, liners, anclas, nivel de fluido, además de otras obstrucciones en el espacio anular.

La onda acústica es generada en la superficie por una pistola que contiene dióxido de carbono confinado a presión en un cilindro (Figura 41). El pulso acústico se propaga por el espacio anular a determinada velocidad y cada vez que pasa sobre las uniones de la tubería (coples) o llega al nivel de líquido, se produce una reflexión que es detectada por un micrófono localizado en la superficie. En la figura 42, podemos apreciar el registro de los cambios seccionales que el pulso acústico detecta a lo largo del pozo hasta el nivel de líquido.

MONITOREO DE NIVEL DE FLUIDO Y ANÁLISIS DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS POR MEDIO DE ECHOMETER® EN EL CAMPO INDEPENDIENTE

El micrófono se encarga de identificar los cambios de área y define su ubicación. Todo este proceso es registrado en la computadora por medio del TWM para su análisis e interpretación.

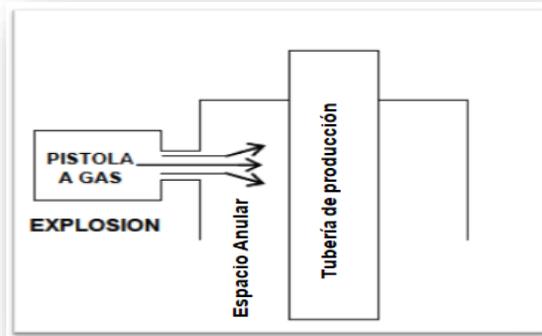


Figura 41 Generación del Pulso Acústico por Explosión
Fuente: Unlimited Petroleum Consulting, Inc., Venezuela

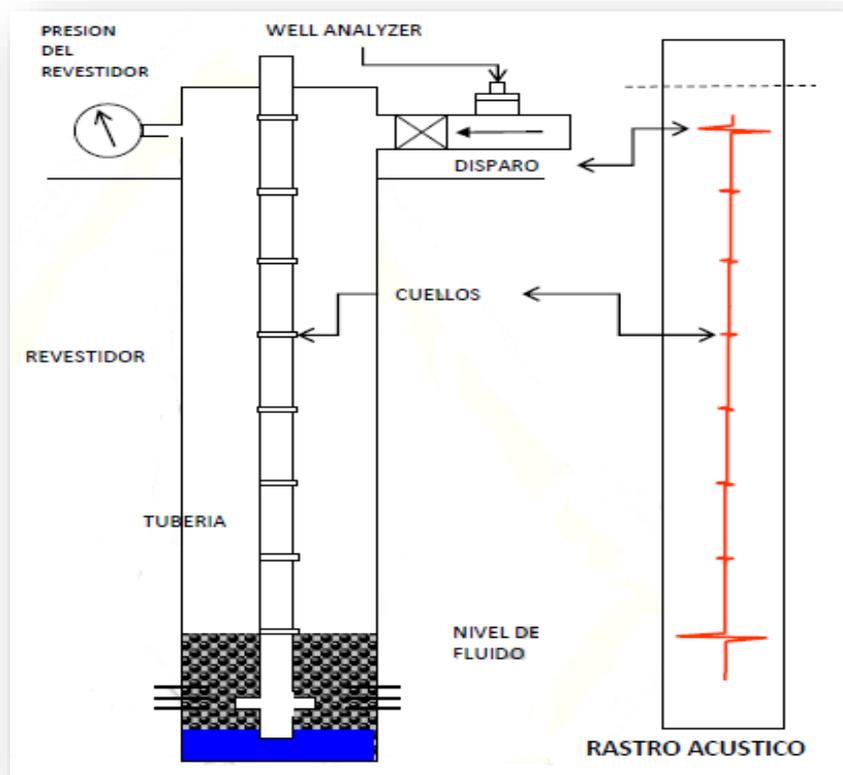


Figura 42 Ecos debido a los cambios seccionales y detección de nivel de líquido
Fuente: Unlimited Petroleum Consulting, Inc., Venezuela

Procedimiento para Determinar el Nivel de Fluido

En el Bombeo Mecánico, las pruebas de monitoreo de nivel de líquido se realizan en el espacio anular ya que es donde se alojan los fluidos de la formación que entran a la bomba para su producción. Debemos recordar que el Echometer®, monitorea la profundidad del nivel de líquido a partir del tiempo de viaje de la onda y la velocidad acústica a través del gas del pozo. Por esta razón se debe de aislar la conexión entre la pistola y el espacio anular, es decir, cerrar la válvula de la TR que va a producción para que el pulso acústico no se pierda y direccionarlo al fondo del pozo, así mismo, se debe de instalar la pistola en la conexión más cercana a la TR y sin cambios de dirección en la tubería. A continuación, se describe la operación para la toma de nivel en un pozo con Bombeo Mecánico.

1. Medir la presión del espacio anular para asegurar que la presión del espacio anular no exceda la capacidad de la pistola a gas. Posteriormente, cerrar ambas válvulas de la TR y después conectar la pistola a gas a la TR por medio de una reducción de diámetro de tubería de 2" a 1/2".
2. Conectar el transductor de presión y el cable del micrófono a la pistola a gas (Figura 43) y posteriormente, éstos mismos cables al Analizador de Pozos como se muestra en la figura 44.

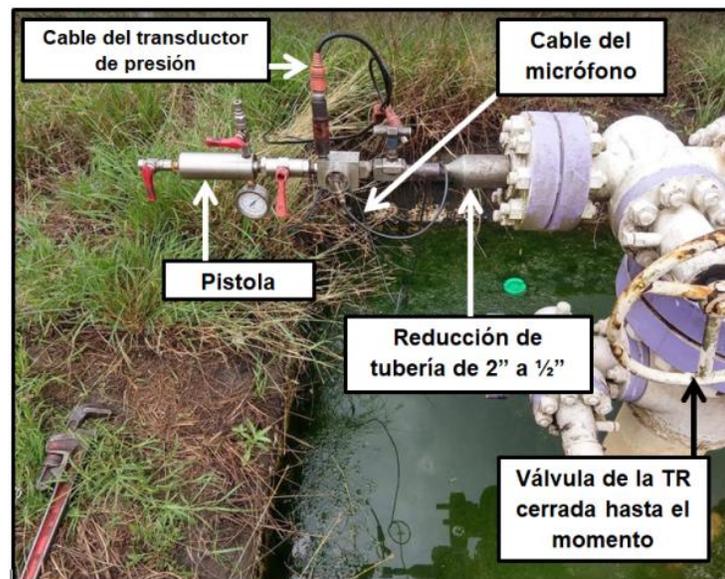


Figura 43 Instalación de la pistola a gas y del transductor de presión a la pistola
Foto tomada en el Campo Independiente



Figura 44 Instalación de cables al Analizador de Pozos
Foto tomada en el Campo Independiente

3. Prender el Analizador de Pozos y esperar la luz verde, posteriormente prender la computadora y abrir el programa TWM como se muestra en la figura 45.

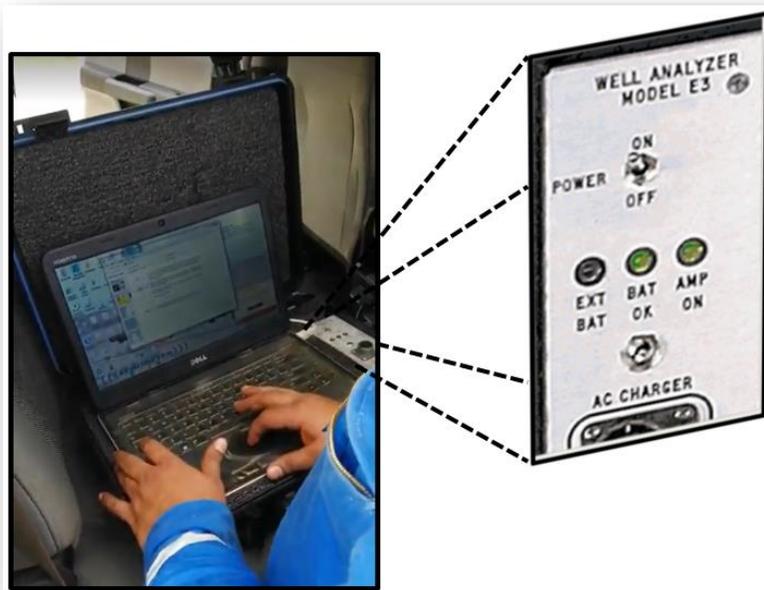


Figura 45 Analizador de pozo y computadora activados
Foto tomada en el Campo Independiente

- 3.1 Seleccionar la modalidad Adquisición de Datos (**Acquire Mode**).
- 3.2 Seleccionar el transductor de presión. Si no aparece el número de serie del transductor en la lista, utilizar la opción **Create New**, para introducir el número de serie de forma manual.
- 3.3 Se debe revisar que todos los coeficientes son introducidos como aparecen en la etiqueta del transductor (Figura 47).
- 3.4 Hasta ahora, la válvula de la TR aún debe estar cerrada. En este momento se calibra la pistola a presión atmosférica. Esto se logra abriendo todas las válvulas de la pistolay, en seguida, oprimiendo el botón **Obtain Zero Offset**, hasta que las presiones en las opciones **Last Zero Offset** y **Present Zero Offset**, sean iguales.
- 3.5 Seleccionar el tipo de disparo de acuerdo con la presión registrada en el paso 1.

En la figura 46, se muestra la secuencia a seguir del paso número 3.

3.1

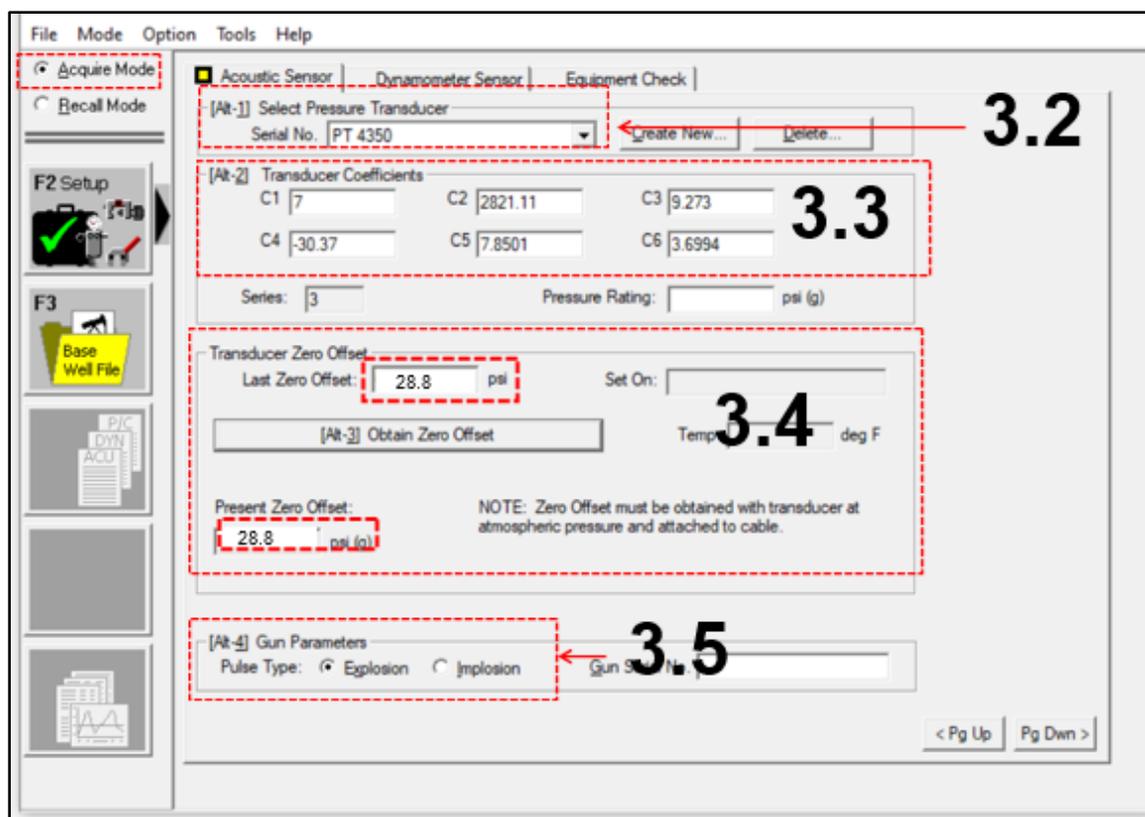


Figura 46 Procedimiento del paso 3

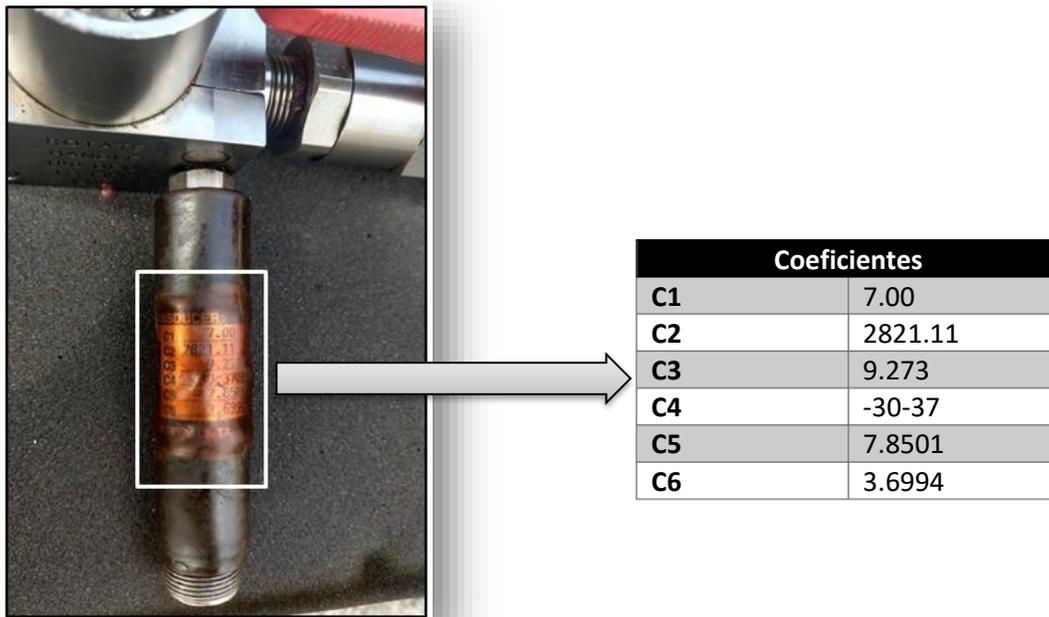


Figura 47 Coeficientes del transductor de presión

Foto tomada en el Campo Independiente

- 4 Seleccionar la opción “Archivo del Pozo” (**Base Well File**), automáticamente se visualizará la sección “Administrador de Archivos” (**File Management**), donde se abrirán (Open), o se crearán (New...) los datos del pozo que se va a probar. En este caso se selecciona el pozo Independiente 48, como se puede visualizar en la figura 48.

MONITOREO DE NIVEL DE FLUIDO Y ANÁLISIS DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS POR MEDIO DE ECHOMETER ® EN EL CAMPO INDEPENDIENTE

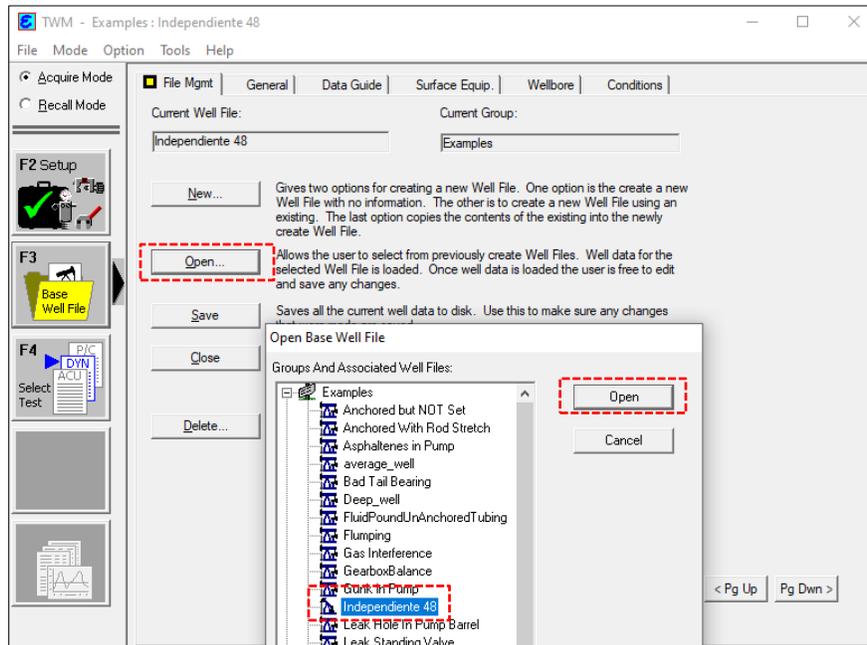


Figura 48 Selección del pozo

- 5 Al elegir el pozo a probar, se activará la opción “Seleccionar Prueba” (**Select Test**), la cual se deberá oprimir (Figura 49).

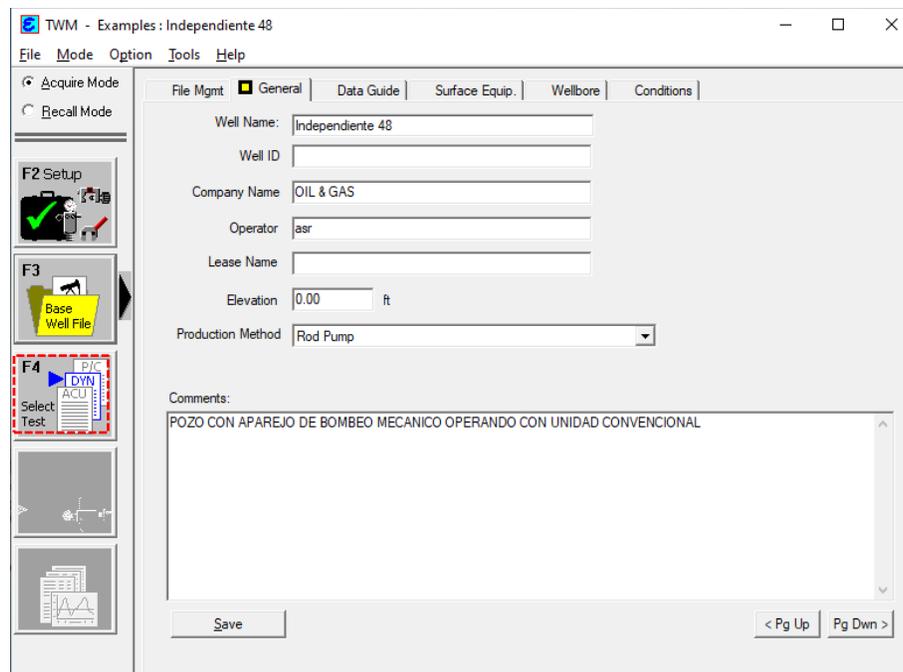


Figura 49 Oprimir Select Test

6 Una vez en la pantalla de “Adquirir datos” (**Acquire Data**), se escogerá la prueba **Acoustic**, que indica que se va a efectuar un registro de nivel.

6.1 Ya que se escogió la prueba de registro de nivel (**Acoustic**), presionaremos la tecla F5 o daremos click sobre la opción **Acquire Data**, para iniciar la toma de información.

Estos pasos se pueden visualizar en la figura 50 que se muestra a continuación.

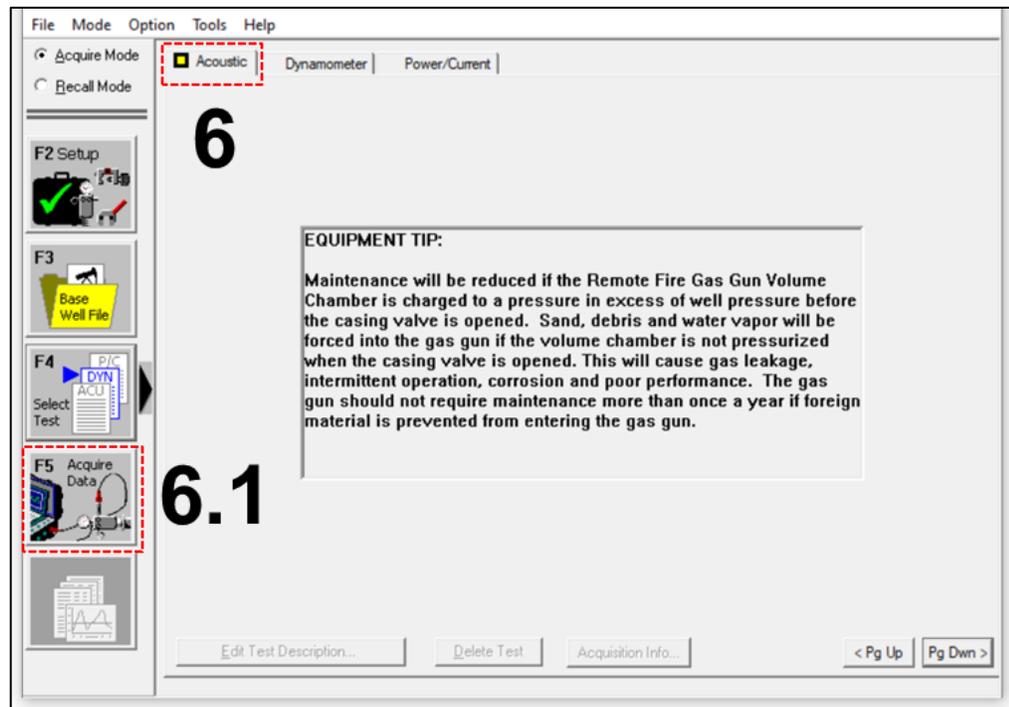


Figura 50 Pantalla Acquire Data

7 El TWM mostrará la pantalla para iniciar la prueba como se observa en la Figura 51. Se deberán seguir las siguientes instrucciones para preparar el disparo

***Nota:** Es importante poner atención en la presión que registra el transductor una vez que se abre la válvula que se encuentra entre la pistola y el espacio anular, ya que dependiendo de esta lectura se decidirá hacer el disparo por explosión o implosión. Si la presión está por arriba de 100 psi, el disparo se realizará por implosión. Si está por debajo de 100 psi, el disparo será por explosión

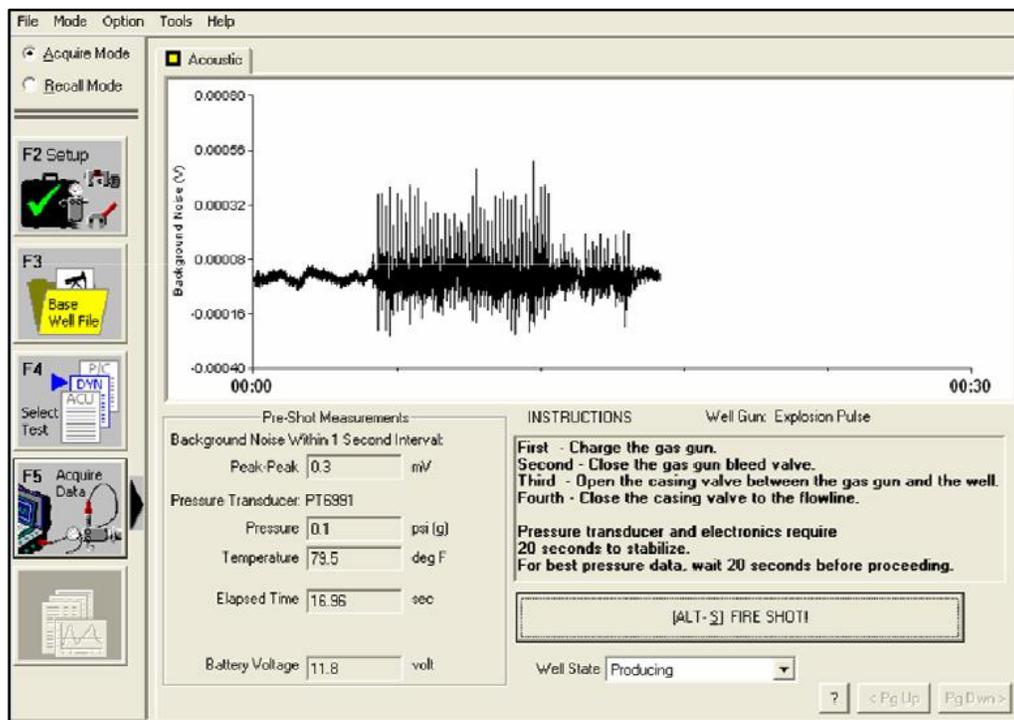


Figura 51 Pantalla para realizar el disparo

Para realizar el disparo por explosión:

7.1 Cargue la pistola. - Para llenar el volumen de la cámara, se conecta la válvula de bola de ¼" al suministro de gas externo. Se abre la válvula de bola de ¼" y se cierra la válvula de bola de ½ ". Abra la válvula del suministro de gas externo y llene la cámara de la pistola con 200 psi por encima de la presión del pozo. Luego cierre la válvula de bola de ¼ ". En la figura 52, se muestra el esquema para realizar la carga de la pistola.

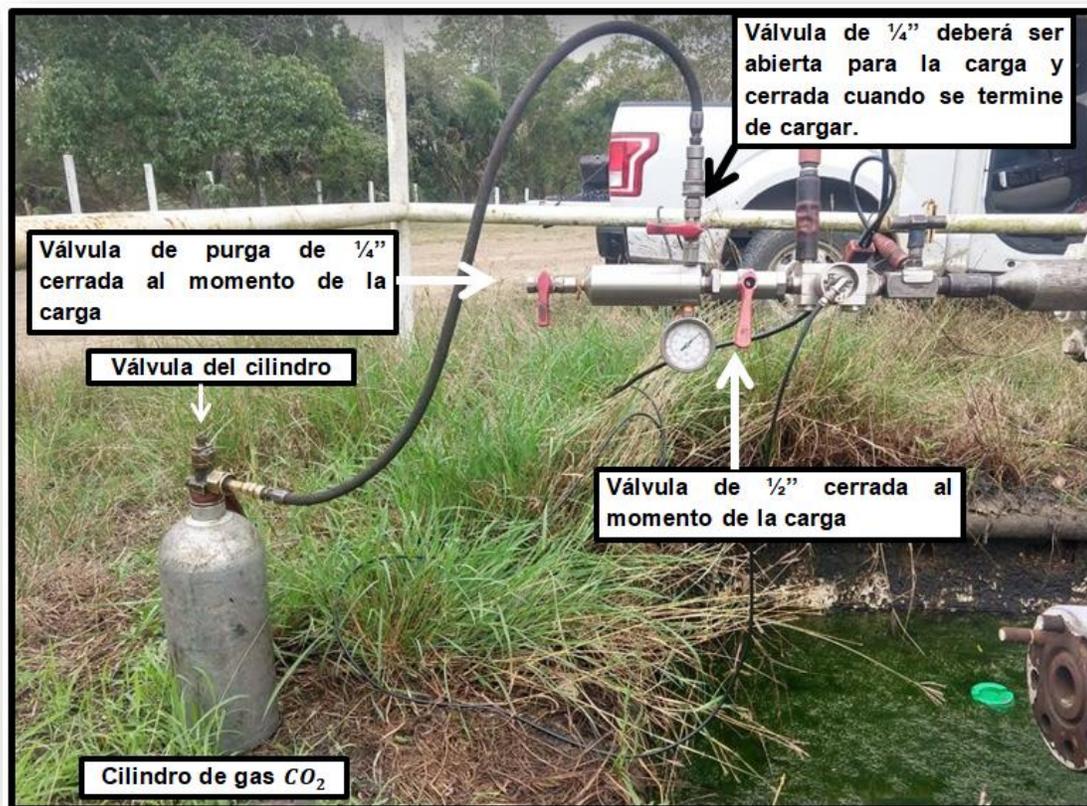


Figura 52 Carga de la Pistola a Gas
Foto tomada en el Campo Independiente

7.2 Abra lentamente la válvula del espacio anular que se encuentra entre la pistola y el pozo como se muestra en la figura 53

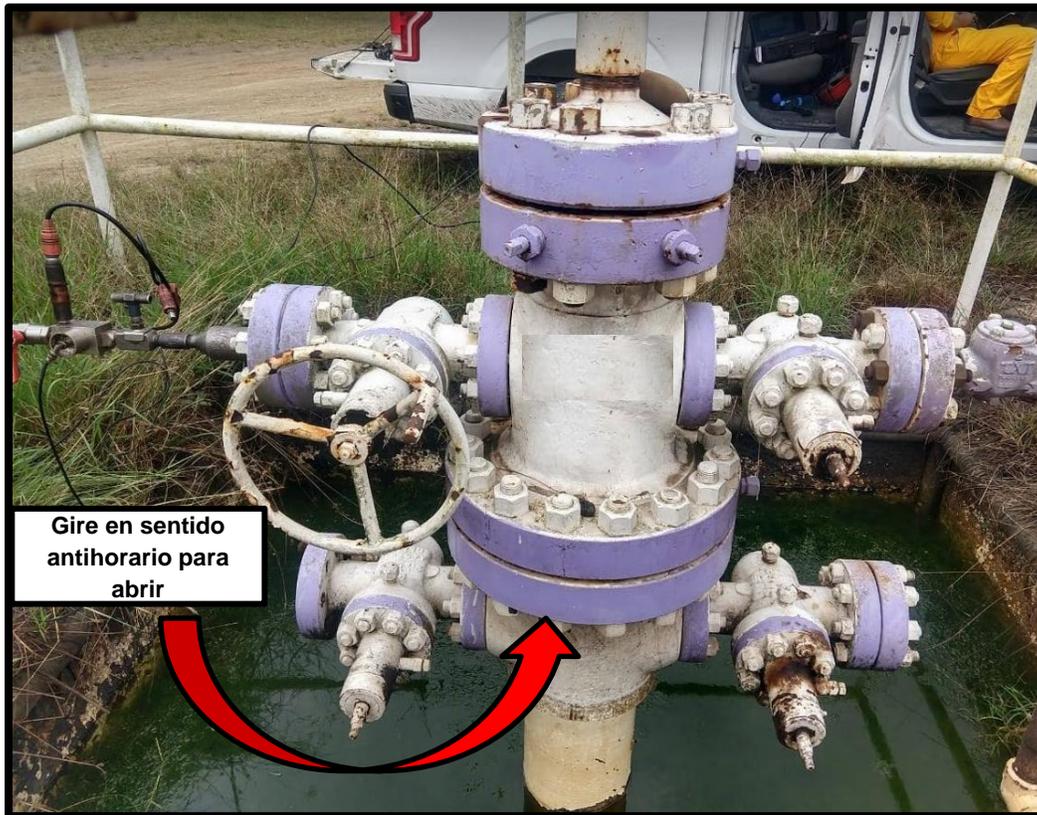


Figura 53 Procedimiento para abrir la válvula de la TR
Foto tomada en el Campo Independiente

Nota: Este procedimiento se realiza para dirigir el pulso acústico hacia el fondo del espacio anular.

- Realizar el disparo presionando **FIRE SHOT**, o presionando [Alt+S], se escuchará un sonido (BEEP), que será la señal para generar el pulso acústico girando 180° la válvula de bola de ½ (rápidamente y en un solo movimiento), permitiendo la descarga del gas desde la cámara de la pistola hacia el pozo.

Nota: Generalmente, si una amplitud de ruido de pico a pico está por encima de 5 mV indica que el ruido del pozo es considerable. En este caso se recomienda usar una presión mayor en la cámara. Si existe ruido excesivo, cerraremos la válvula del casing entre el pozo y la pistola para determinar si el ruido proviene del fondo del pozo o desde la superficie. Si el ruido proviene de las vibraciones de la superficie, será necesario parar la unidad de bombeo. En la figura 54, se muestra la sección donde se puede observar el ruido presente a la hora de realizar el disparo. En este caso, la cantidad de ruido es bajo y adecuado para realizar un disparo efectivo.

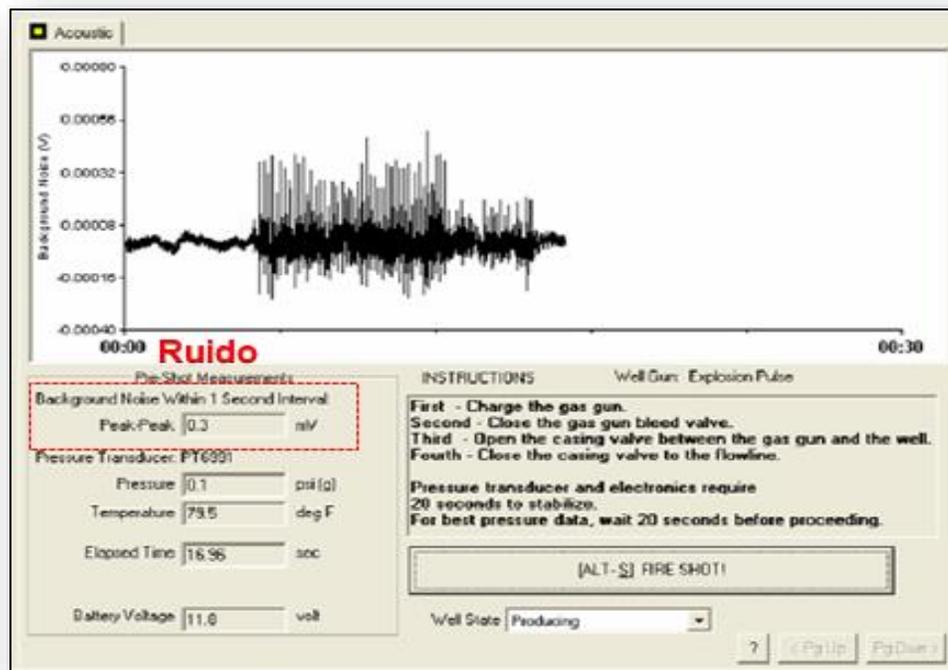


Figura 54 Sección donde se muestra la cantidad de ruido momentos antes de iniciar la prueba

+

- 9 Una vez que la pistola fue disparada, la información comienza a ser registrada. La prueba tiene una duración predeterminada basada en la información de profundidad de la formación introducida.

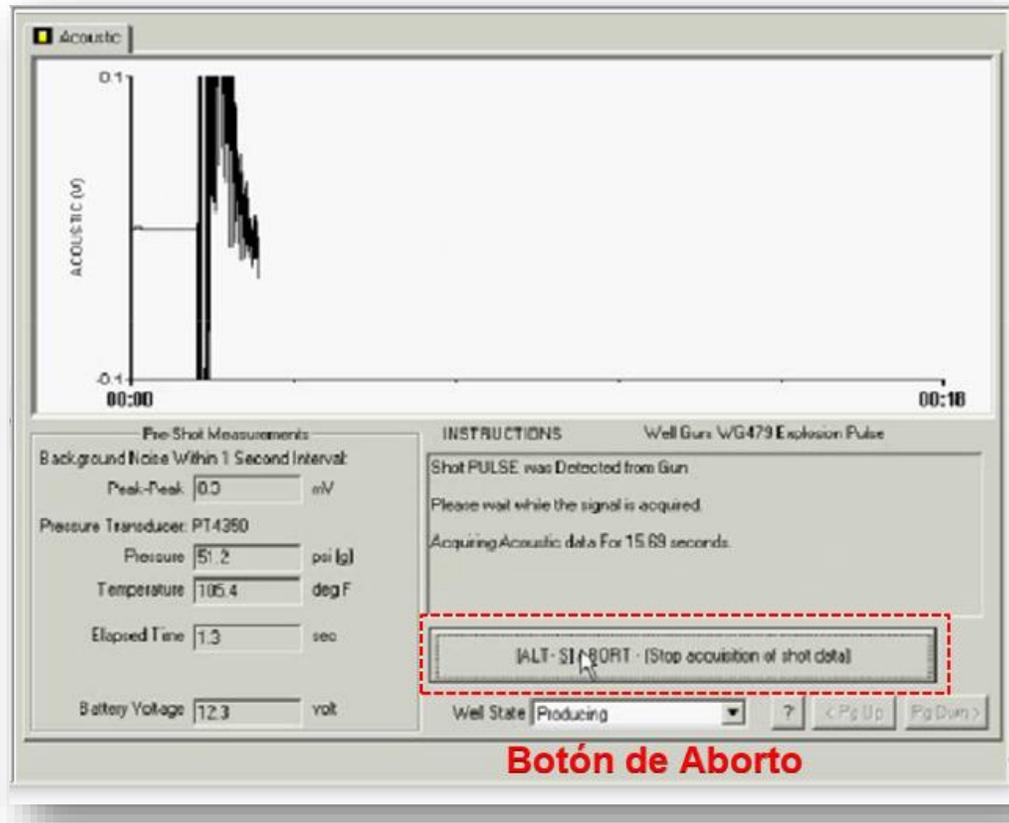


Figura 55 Pantalla del comienzo de la prueba y botón de Aborto

Nota: Si el pulso del disparo no fue detectado luego que la pistola haya sido disparada, se tendrá que abortar la prueba y recargar nuevamente la cámara de la pistola con una presión mayor y repetir la prueba. En la figura 55, se muestra el botón para detener o abortar la prueba según convenga.

- 10 Una vez que el disparo haya sido exitoso, aparecerá un cuadro de dialogo para guardar o descartar los datos de la prueba. Se puede introducir un breve comentario en el espacio de descripción. Para guardar los datos de la prueba se deberá presionar **Save** o **Cancel** para descartar como se puede observar en la figura 56.

Nota: A pesar de que la información del disparo ha sido guarda, el TWM continúa midiendo la presión del revestidor cada 15 segundos por un máximo de 15 minutos o antes de este periodo si se detiene manualmente.

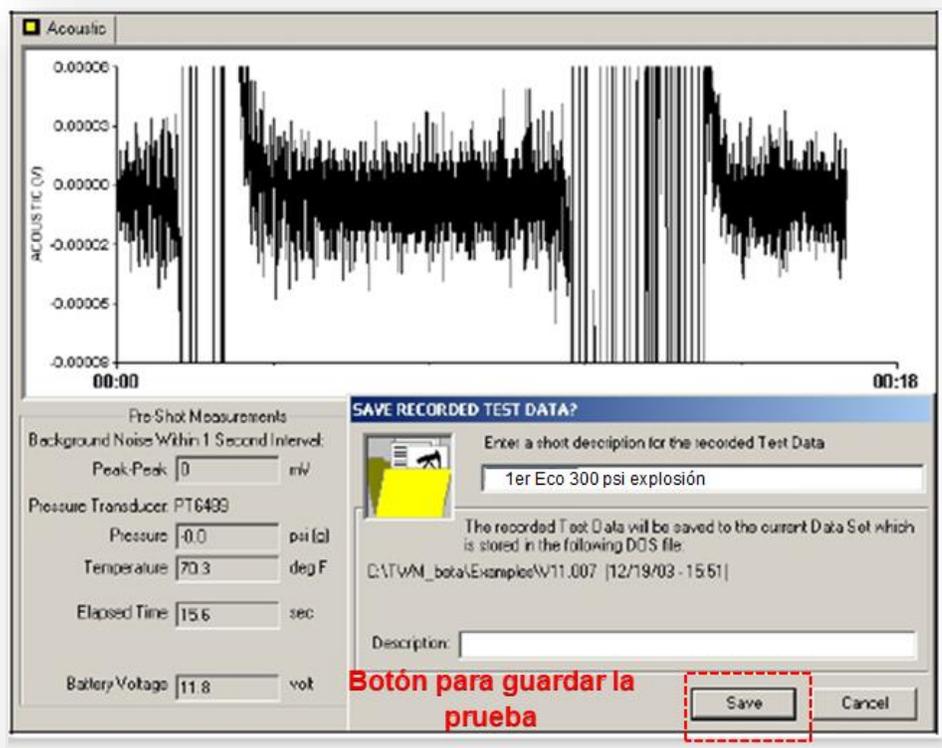


Figura 56 Cuadro de diálogo para guardar o desechar la información del disparo

Análisis de Datos Adquiridos

11 Después de guardar los datos de la prueba, se habilitará la sección de **Analyze**, donde se mostrarán los resultados de la prueba. En esta sección, en la etiqueta “**Select Liquid Level**”, el TWM automáticamente identificará el nivel de líquido más probable y su correspondiente posición en el tiempo con una línea vertical punteada. En ocasiones la selección automática de nivel de líquido falla por condiciones poco frecuentes en el pozo, tales como, la presencia de un ancla de tubería de producción, liners o alguna otra restricción. Por esto, el programa podría indicar una señal que no corresponda al nivel de líquido correcto. Sin embargo, el operador puede ajustar el indicador de nivel de líquido de dos formas:

11.1 Usar los botones **Prev Kick** y **Next Kick**, para ajustar el indicador entre otros puntos automáticamente señalados que podrían indicar un nivel de líquido.

11.2 Usar los botones **Left** y **Right**. Estos controles mueven el indicador del nivel de líquido hacia adelante y hacia atrás en incrementos de 0.1 a 0.001 segundos, controlado por el deslizador localizado a la derecha de los botones.

En la figura 57, se señalan las dos maneras en las cuales podemos ajustar el indicador de nivel de líquido.

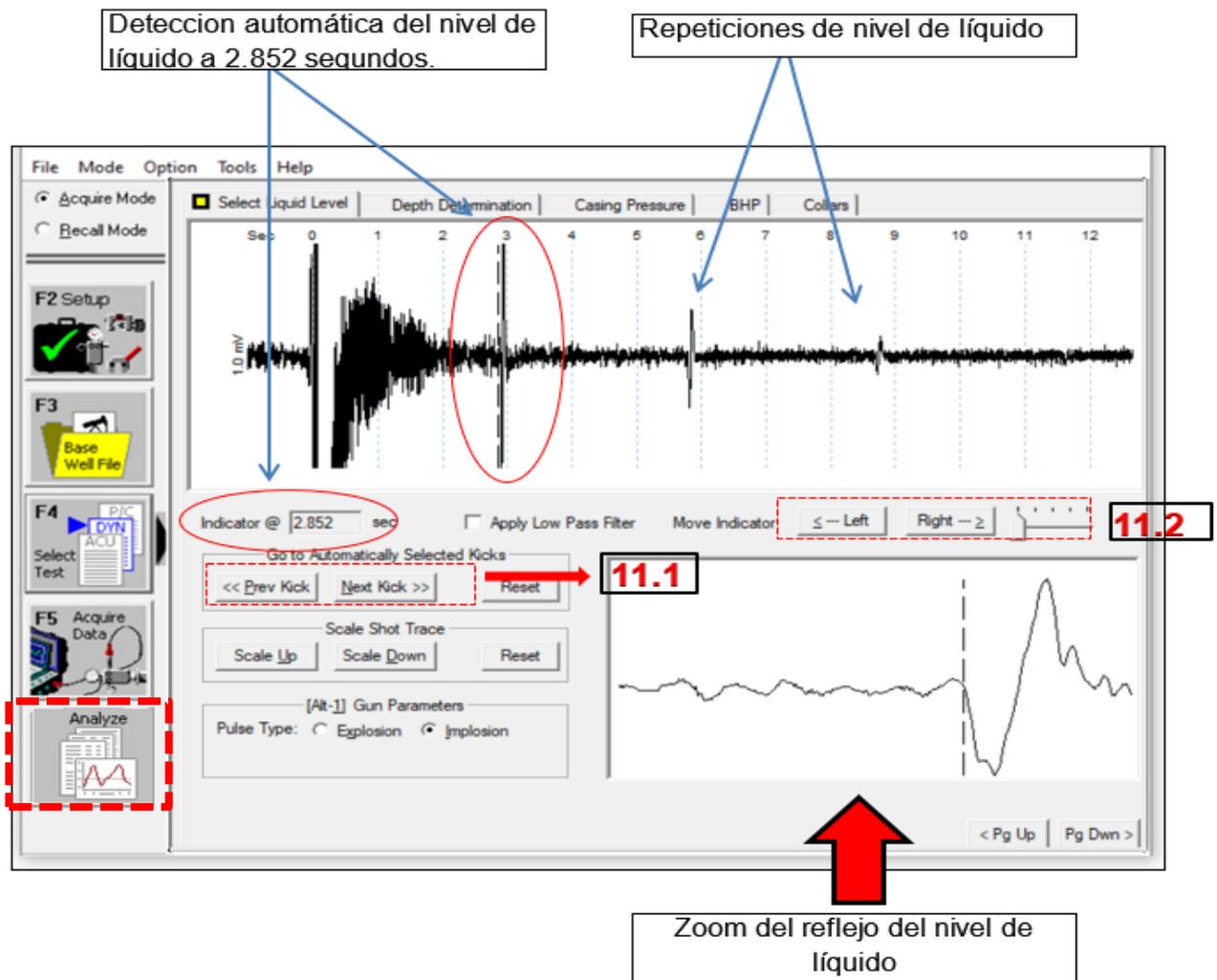


Figura 57 Detección automática de nivel de líquido

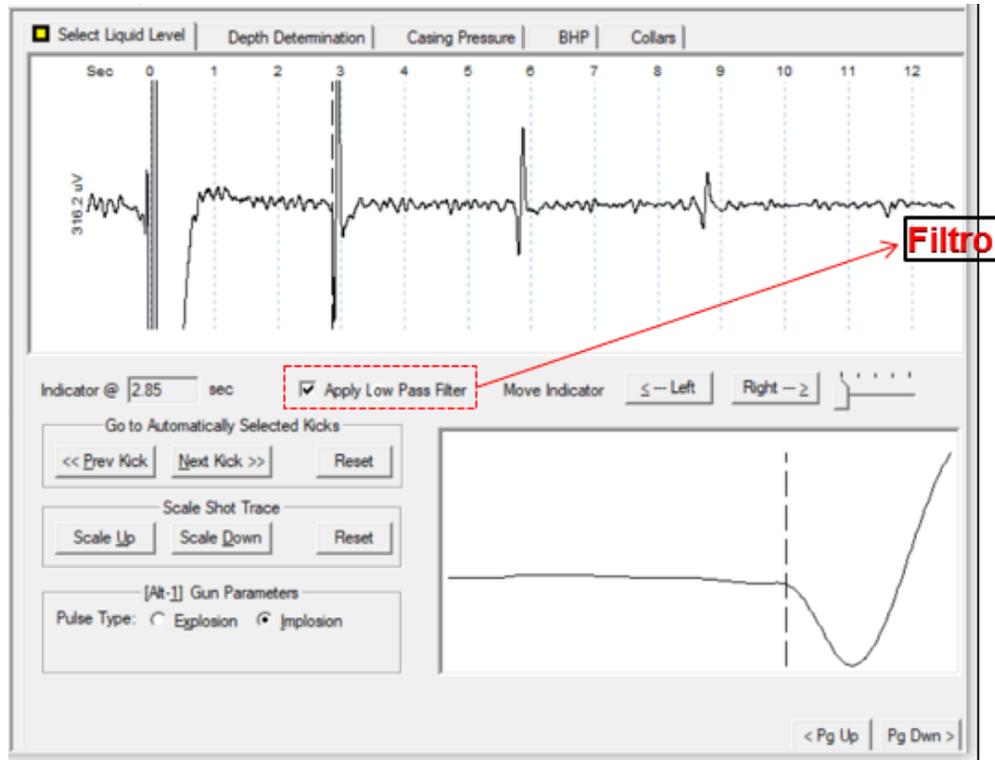


Figura 58 Aplicación de filtro

Nota: Con la aplicación del filtro, podemos eliminar un poco el ruido y facilitar la localización del nivel de líquido. En la figura 58, podemos observar la sección donde se encuentra el filtro.

12 Ya que se ha indicado aparentemente el nivel de líquido, se selecciona la etiqueta Determinación de la Profundidad (**Depth Determination**), para seguir con el procesamiento de datos. En esta sección aparecen tres ventanas con las funciones que se describen a continuación:

12.1 La ventana superior muestra el registro de la señal acústica original y sin procesar. En esta ventana también se pueden observar dos líneas punteadas, una es la línea de conteo de coples (C) que indica la cantidad de coples contados desde el momento del disparo hasta el nivel de líquido y la línea de nivel de líquido (LL). Idealmente la línea de conteo de coples debe estar tan cerca como sea posible del nivel de líquido o al menos a un 80% de la distancia al nivel de líquido.

12.2 La selección del nivel de líquido se muestra en la parte inferior derecha de la pantalla. Una línea punteada marca la señal del nivel de líquido.

12.3 En la parte inferior izquierda se muestra el acercamiento de la franja azul localizada en la ventana superior de la pantalla. Esta franja azul que aparece al principio del registro Level marca la parte de la señal que se analiza para calcular la frecuencia de los ecos provenientes de los coples. En la figura 59, se aprecian las tres ventanas del paso número 12.

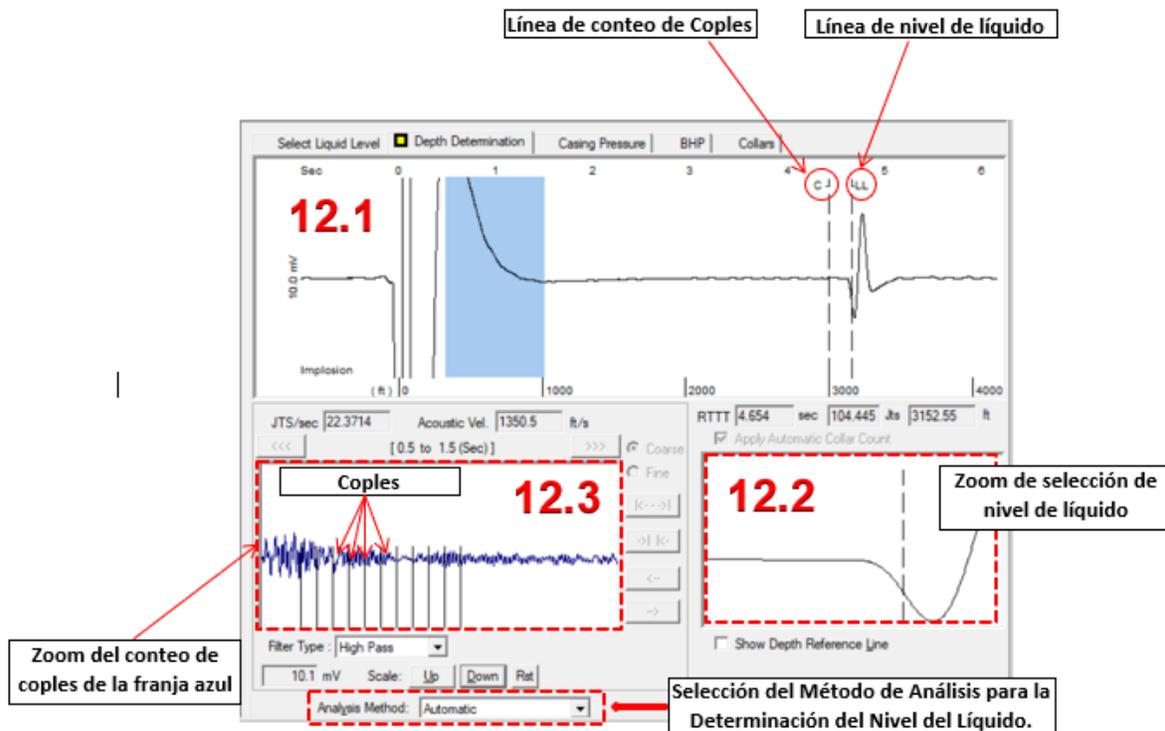


Figura 59 Pantalla de la etiqueta Depth Determination

13 Selección del Método de Análisis para Determinación de Nivel de Líquido. Cuando realizamos la medición del nivel de fluido, automáticamente el software detecta el nivel de líquido a partir de la reflexión de señales acústicas procesadas digitalmente filtradas y visualizadas con respecto al tiempo. Sin embargo, el TWM cuenta con diferentes métodos de análisis para determinación de Nivel de Líquido de los cuales debemos seleccionar el más apropiado para obtener un resultado satisfactorio. Estos métodos se muestran en la figura 60 y se detallan a continuación:

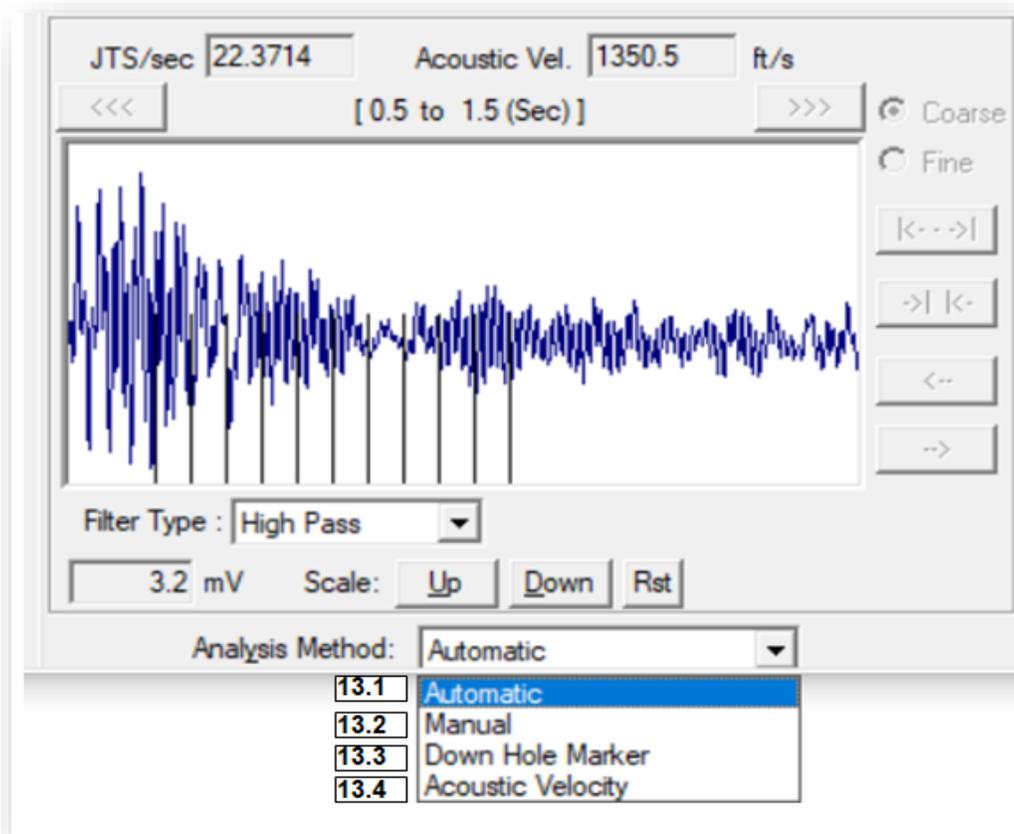


Figura 60 Selección del Método de Análisis para la Determinación de Nivel de Líquido

13.1 Método de Análisis Automático por conteo de cuellos (Automatic). Es el método predeterminado por el cual el TWM hace el cálculo del nivel de líquido, no obstante, algunas veces no es preciso, es por ello que el operador debe verificarlo para poder mejorar el cálculo de nivel. Se considera un buen conteo de coples y por lo tanto un buen cálculo de nivel, cuando el software es capaz de contar más del 80% de los coples totales. Este porcentaje se puede calcular presionando en la etiqueta **Collars**, donde aparecerán los coples contados y los coples hasta el nivel de líquido registrado.

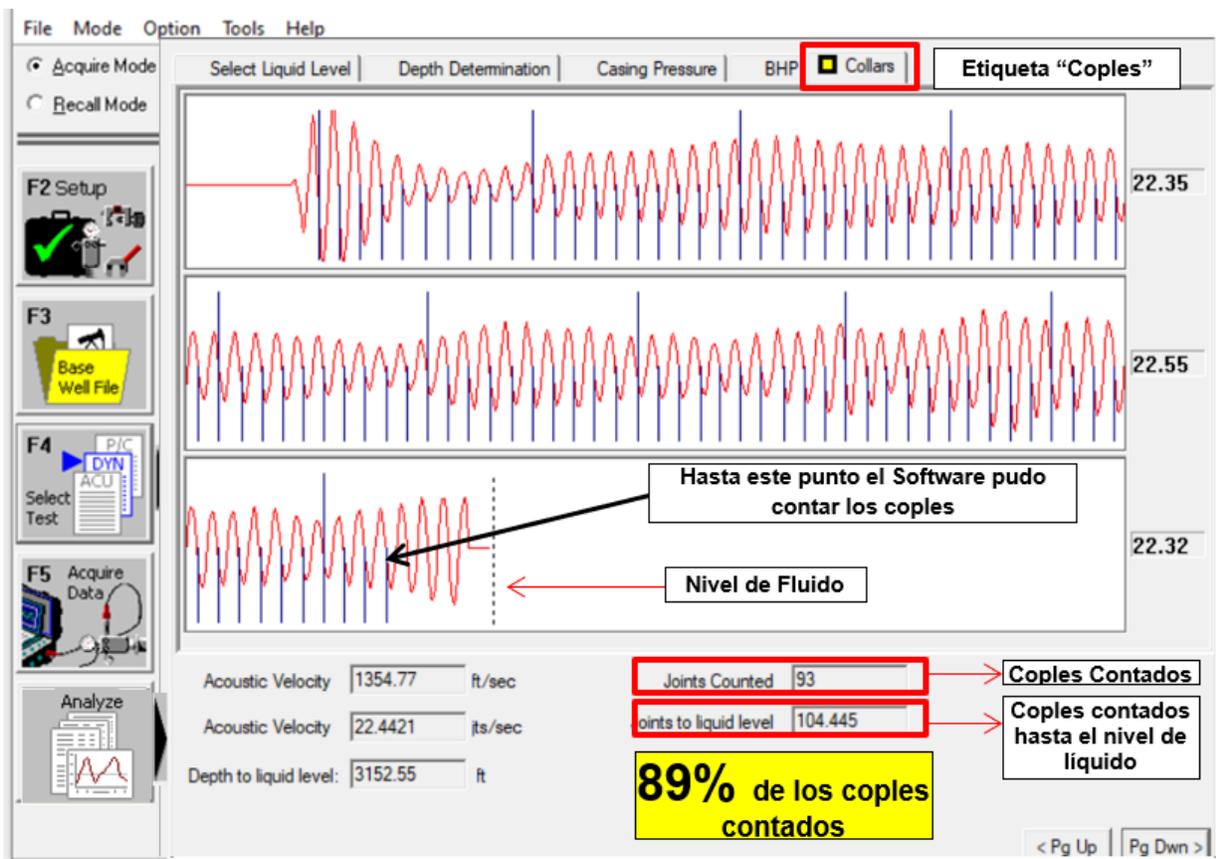


Figura 61 Buen conteo de cuellos

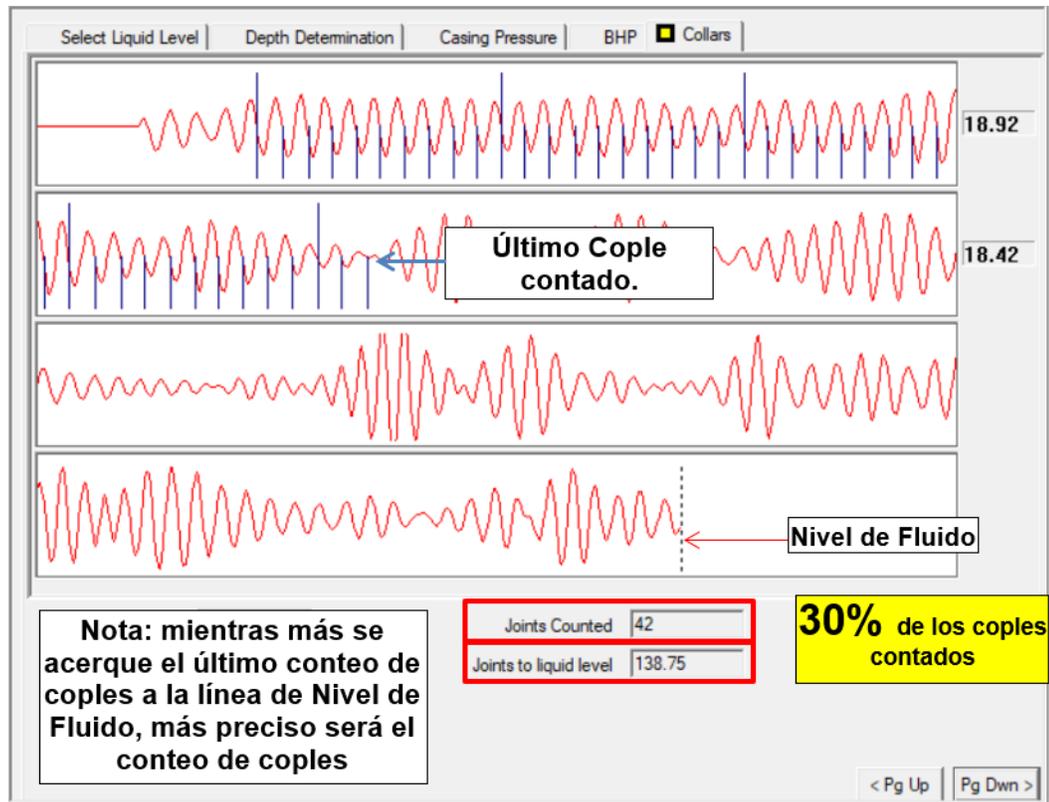


Figura 62 Mal conteo de cuellos

Para calcular el porcentaje de coples, dividimos los coples contados entre los coples hasta en nivel de líquido, el resultado lo multiplicamos por cien. Si el porcentaje de conteo es pobre, podemos tratar de mejorarlo manualmente y, si no es posible, se recomienda realizar un nuevo disparo con mayor presión para mejorar el conteo.

13.2 Método Manual por conteo de coples (Manual). Si en el método automático no se alcanza el 80% del conteo de coples, podemos tratar de mejorar este conteo seleccionando el **Método Manual**, que habilita la selección de un intervalo entre el disparo y el nivel de líquido que contenga diferentes coples que se detecten sin anomalías (Figura 63). De este modo, se obtiene una nueva cuenta de coples seleccionando **Apply Automatic Collar Count**.

MONITOREO DE NIVEL DE FLUIDO Y ANÁLISIS DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS POR MEDIO DE ECHOMETER® EN EL CAMPO INDEPENDIENTE

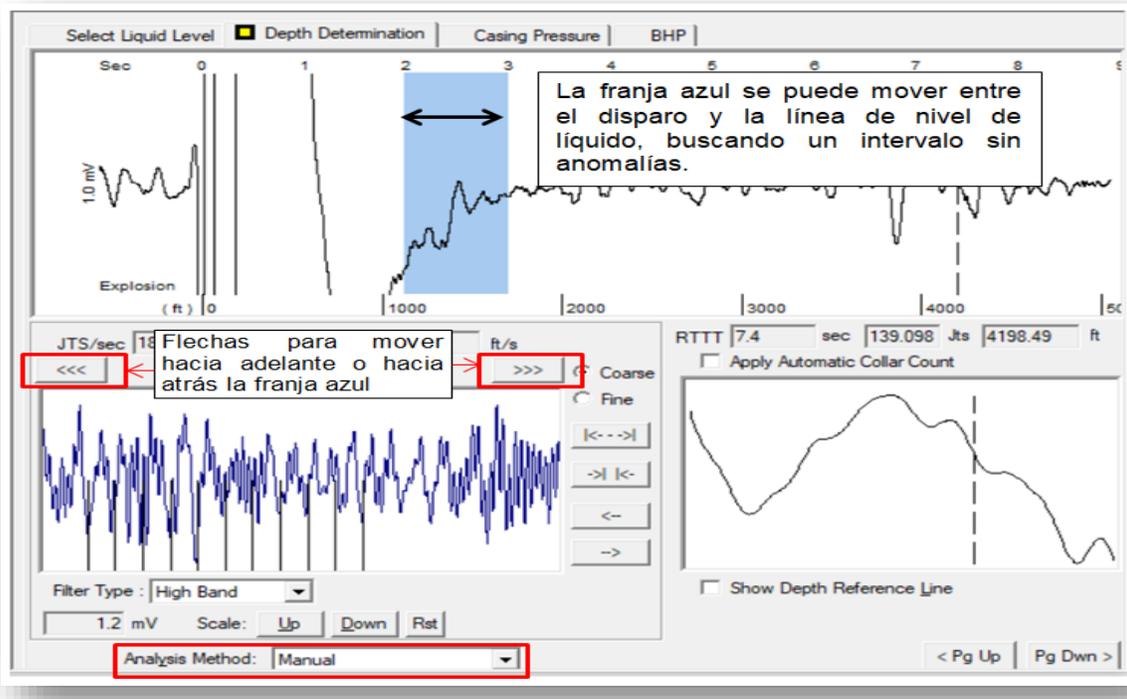


Figura 63 Nueva selección de intervalo de cuellos

Una vez que se ha seleccionado el nuevo intervalo que se va a analizar, comenzamos a realizar los siguientes ajustes:

- Aplicar filtro si es necesario (Figura 64).

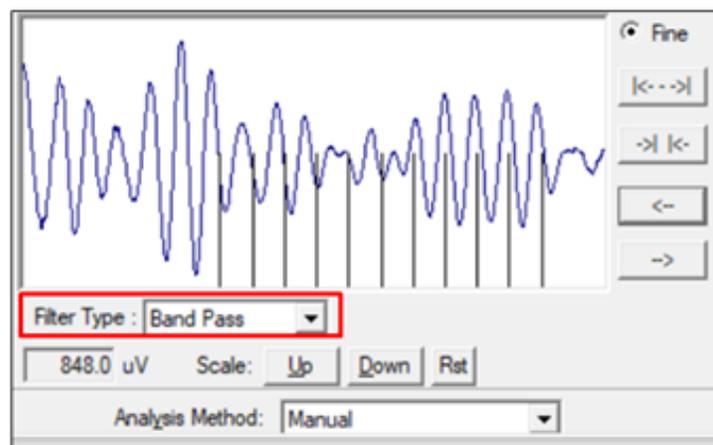
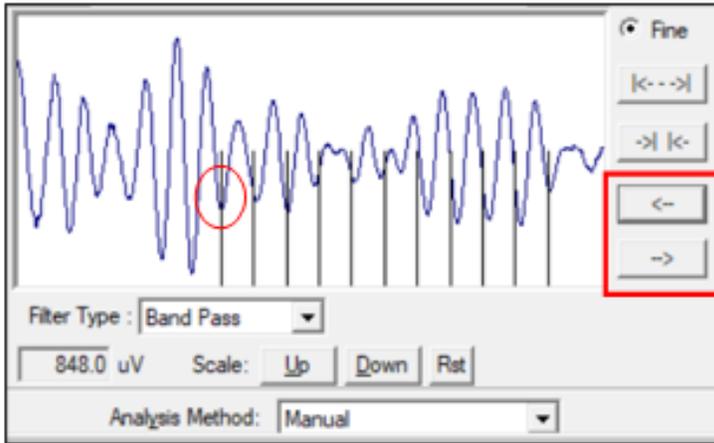
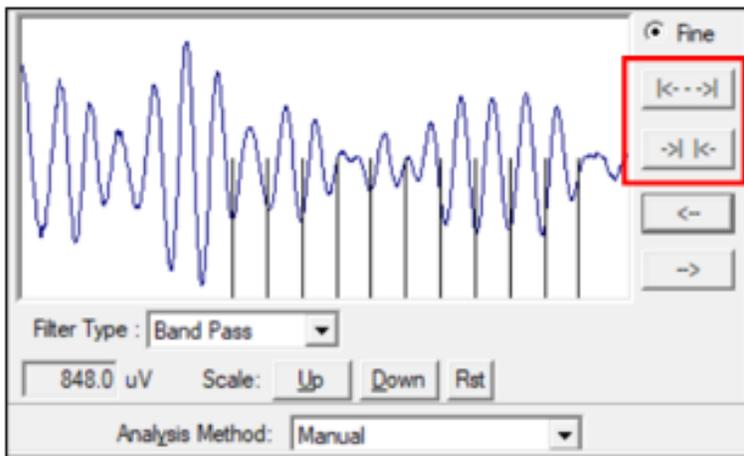


Figura 64 Aplicación de Filtro para mejor visualización del intervalo



- Movemos hacia la derecha o izquierda según convenga para alinear el primer marcador con la señal del cople.

Figura 65 Alineación del marcador con la señal de un cople.



- Ajustamos lo más posible la distancia del marcador para encontrar la frecuencia de los cople

Figura 66 Botones con los cuales se abre o se cierran los marcadores para encontrar la frecuencia que más se aproxime

- Al seleccionar “Aplicar conteo de coples automático” (Apply Automatic Collar Count), se obtiene una nueva cuneta de coples.

Después de haber realizado los ajustes y aplicado el nuevo conteo de coples, seleccionaremos la etiqueta **Collars** nuevamente para verificar el nuevo conteo de coples.



Figura 67 Pantalla de la etiqueta **Collars** con el nuevo conteo de cuellos

Como se puede observar en la figura 67, el nuevo conteo de coples aumentó aplicando el **Método Manual por conteo de cuellos**, no obstante, se obtuvo un porcentaje pobre que no satisface una buena prueba, en este caso, se recomienda repetir el disparo con mayor presión para mejorar el conteo.

13.3 Método de Velocidad Acústica (Acoustic Velocity) Se utiliza cuando se conoce el valor de la velocidad acústica. Ésta se puede obtener conociendo la gravedad específica del gas o su composición cromatográfica. Sin embargo, también se puede ocupar la velocidad acústica de una prueba anterior que se le haya hecho al pozo y que haya tenido un muy buen conteo de coples, o se puede tomar la velocidad acústica de algún pozo vecino, que se sepa que produce el mismo gas que el de el pozo al que se le está realizando la prueba. Una vez que se obtiene el tiempo, medido directamente de la prueba y obteniendo la velocidad acústica por alguna manera antes mencionada, el TWM podrá determinar la posición del nivel de líquido ocupando la formula básica $Distancia = velocidad * \frac{tiempo}{2}$, el tiempo está dividido entre dos por el tiempo de ida y retorno de la onda. Al momento de seleccionar este método, aparecerá una ventana (Figura 68), la cual te permitirá seleccionarla manera de calcular la velocidad acústica ya sea: 1) a partir de la gravedad específica del gas, 2) desde un análisis composicional del gas, o bien, 3) ingresando un valor conocido de velocidad acústica

Acoustic Velocity Determination

[Alt-1] Method

- Calculate From Gas Specific Gravity
- Calculate From Gas Compositional Analysis
- Enter Known Value of Acoustic Velocity

Buttons: Done, Calculate, Retrieve, Update

[Alt-2] Input

Surface Temp: 70 deg F %CO2: 0

Bottomhole Temp: 150 deg F %N2: 0

Pressure: 192.76 psi (g) %H2S: 0

Gas Gravity: [] Air = 1

Note: Acoustic Velocity is calculated at entered pressure and average temperature.

Results

Liquid Level Depth: [] ft

Time to Liquid Level: 2.382 sec Acoustic Velocity: [] ft/s

Se introduce el valor conocido de la gravedad del gas en el formulario. La presión normalmente es medida por el programa o se puede introducir manualmente.

Figura 68 Pantalla para Determinación de Velocidad Acústica a partir de la gravedad específica del gas en el anular

Acoustic Velocity Determination

[Alt-1] Method

Calculate From Gas Specific Gravity

Calculate From Gas Compositional Analysis

Enter Known Value of Acoustic Velocity

Done

Calculate

Retrieve Update

[Alt-2] Input

Surface Temp 70 deg F

Bottomhole Temp 150 deg F

Pressure 192.76 psi (g)

%CO2 0

%N2 0

%H2S 0

%C1 88

%C2 0

%C3 0

%C4 0

%NC4 0

%C5 0

%NC5 0

%C6+ 12

Note: Acoustic Velocity is calculated at entered pressure and average temperature.

Total 100.00

Results

Liquid Level Depth 1366.31 ft

Gas Gravity 0.843338

Time to Liquid Level 2.382 sec

Acoustic Velocity 1147.19 ft/s

Si la composición del gas se ha obtenido por análisis de una muestra recolectada en el cabezal del pozo, esta opción permite introducir los valores de concentración de cada componente.

Figura 69 Cálculo de la Velocidad Acústica a partir de Análisis Composicional

En esta opción, se puede introducir directamente una velocidad acústica conocida, ya sea de una prueba que se le haya hecho al pozo anteriormente o de algún pozo vecino que se sepa que produce el mismo gas que el del pozo al que se le está realizando la prueba.

Acoustic Velocity Determination

[Alt-1] Method

- Calculate From Gas Specific Gravity
- Calculate From Gas Compositional Analysis
- Enter Known Value of Acoustic Velocity

Retrieve Update

[Alt-2] Input

Acoustic Velocity 1150 ft/s

Use Gas Gravity Entered In Well Data, Otherwise Use Gas Gravity Calculated From Entered Acoustic Velocity (shown in Results below)

Gas Gravity Air = 1

Results

Liquid Level Depth 1369.65 ft Gas Gravity 0.843338

Time to Liquid Level 2.382 sec

Figura 70 Cálculo de la velocidad acústica a partir de un Valor Conocido

Al hacer los cálculos y regresar a la sección “Determinación de la Profundidad” (**Depth Determination**), la profundidad del nivel de fluido se muestra con la anotación que esto se determinó a partir de la velocidad acústica introducida por el operador.

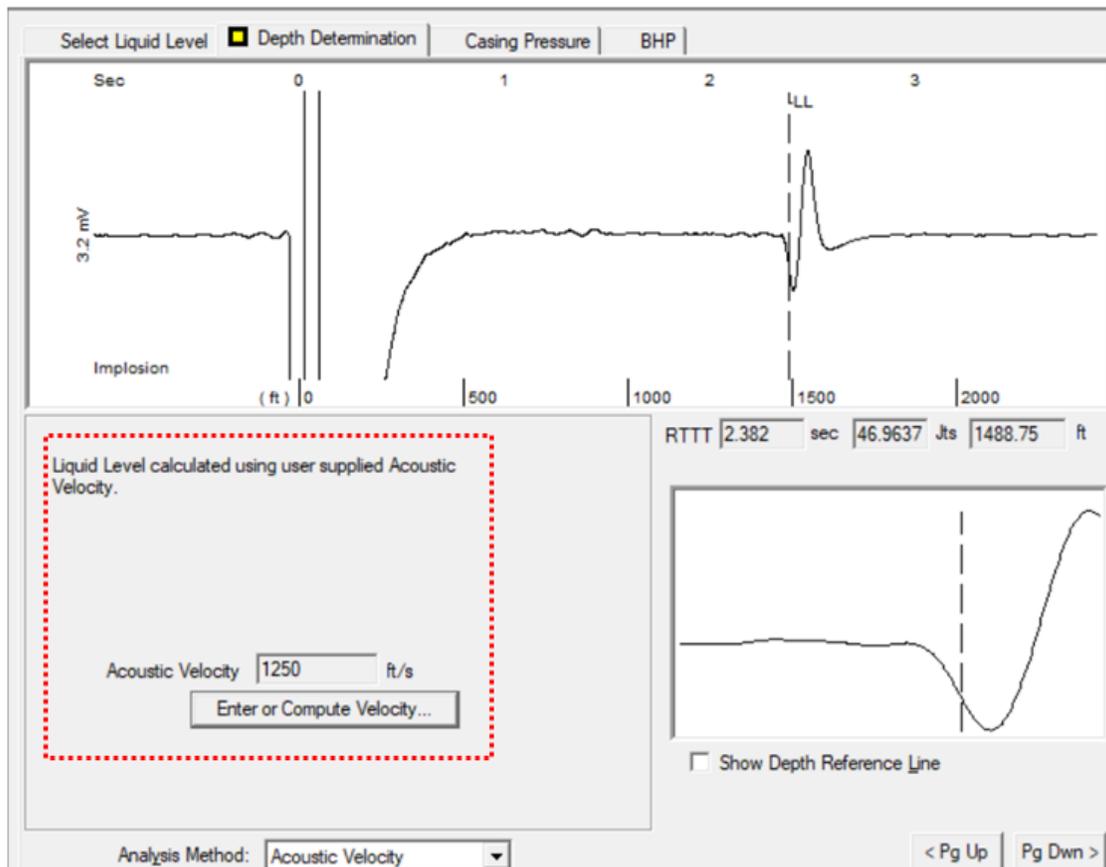


Figura 71 Pantalla de la etiqueta Depth Determination en el método de cálculo de velocidad acústica

13.4 Método de Marcador de Fondo (Down Hole Marker). Es un método en el cual se determinará la profundidad del nivel de fluido, por la identificación de marcadores de fondo, es decir, algún elemento del pozo con profundidad conocida que sea parte del estado mecánico que le sirva al programa como punto de referencia.

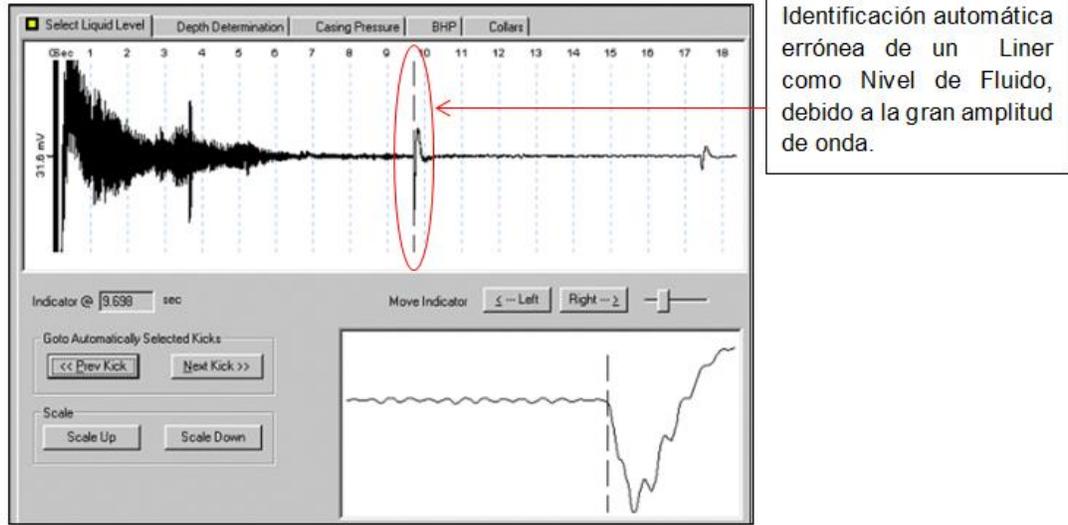
Un marcador de fondo puede ser:

- Ancla de tubería
- Liner
- Intervalos disparados
- Empacadores
- Final de tubería de revestimiento / hoyo descubierto, etc.

En este método es importante contar con el Estado Mecánico actualizado del pozo para correlacionar algún eco con algún elemento del pozo del cual se conoce con certeza su profundidad. A continuación, se muestra un ejemplo de este método de procesamiento, usando un pozo con una tubería corta (Liner). La profundidad de la parte superior de la tubería se conoce y está a 5240 ft.

En la etiqueta **Select Liquid Level**, señalaremos el nivel del líquido, sin embargo, debemos recordar que es muy común que el programa de manera automática, identifique como el nivel de líquido a considerables reducciones de área seccional. Para evitar este tipo de errores en la determinación del nivel de fluido, es importante conocer el diseño del pozo. En este ejemplo el programa resalta la señal del Liner a 9.69 segundos, como si fuera la señal del nivel de líquido más probable debido a su gran amplitud. Usando los controles **Prev Kick y Next Kick**, podremos identificar otras posibles señales de nivel de fluido, en este caso el programa identifica correctamente la señal a 17.4 segundos como la señal de nivel de fluido más probable tal como se muestra en la Figura 72.

MONITOREO DE NIVEL DE FLUIDO Y ANÁLISIS DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS POR MEDIO DE ECHOMETER® EN EL CAMPO INDEPENDIENTE



Usando el control **Next Kick**, nos ubicamos en la siguiente deflexión considerable y la identificamos como el verdadero Nivel de Fluido.

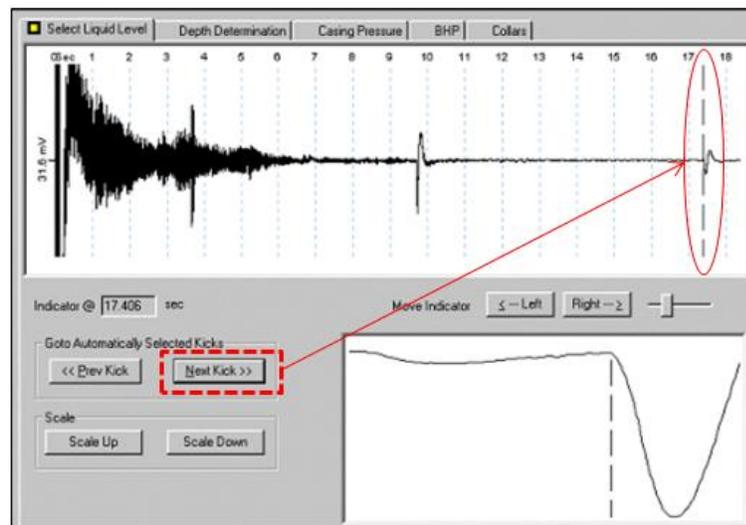


Figura 72 Identificación del verdadero nivel de fluido

Continuando con el análisis y seleccionando la etiqueta **Depth Determination**, el análisis automático indica que la profundidad del nivel de líquido es de 9351 [ft] alcanzada en 17.406 segundos y que el último cople contado ocurre a los 9.69 segundos, lo cual corresponde al 56% de la longitud del registro como se muestra en la figura 73.

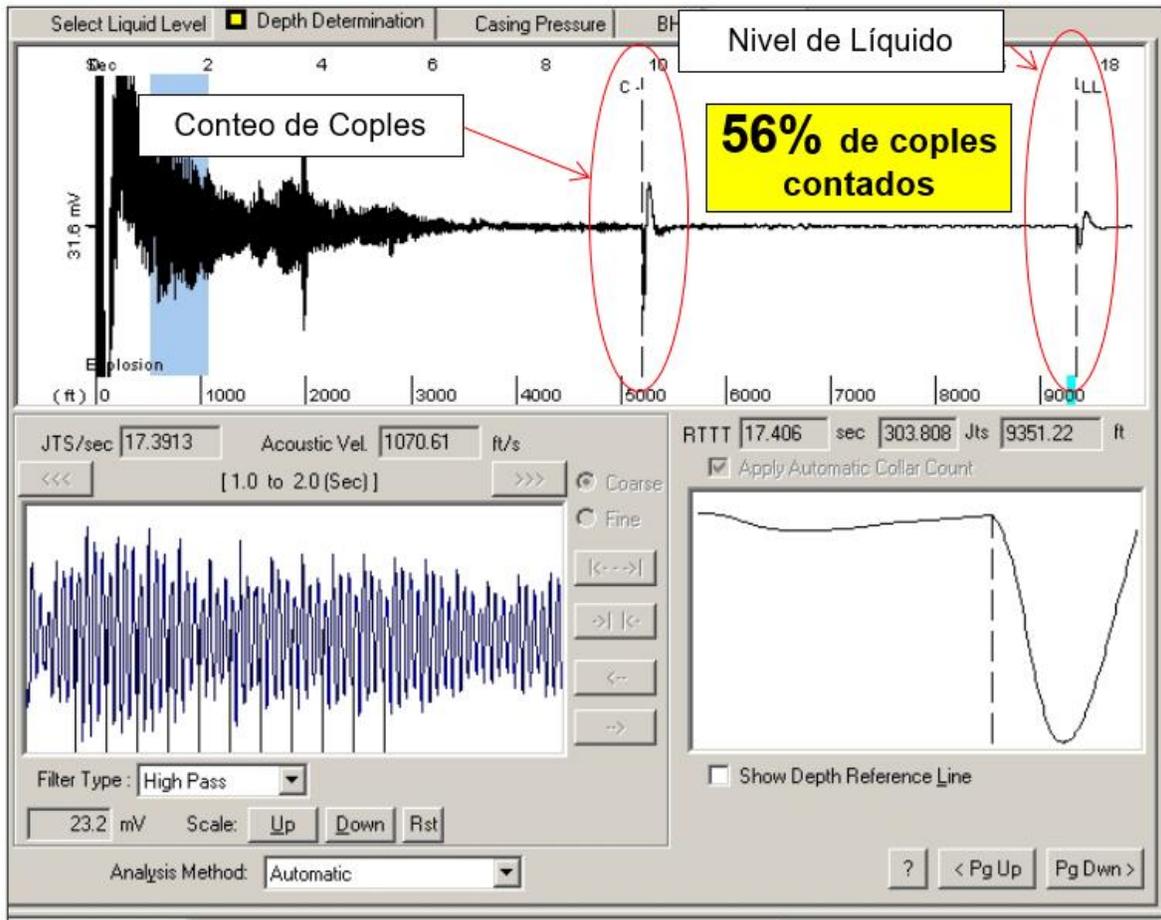


Figura 73 Cantidad pobre del conteo de cuellos

Procedemos a mejorar el cálculo de la profundidad del nivel de fluido usando la profundidad del Liner para estimar una velocidad acústica más representativa. Esto se hace seleccionando el método **Down Hole Marker**, como método de análisis.

MONITOREO DE NIVEL DE FLUIDO Y ANÁLISIS DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS POR MEDIO DE ECHOMETER ® EN EL CAMPO INDEPENDIENTE

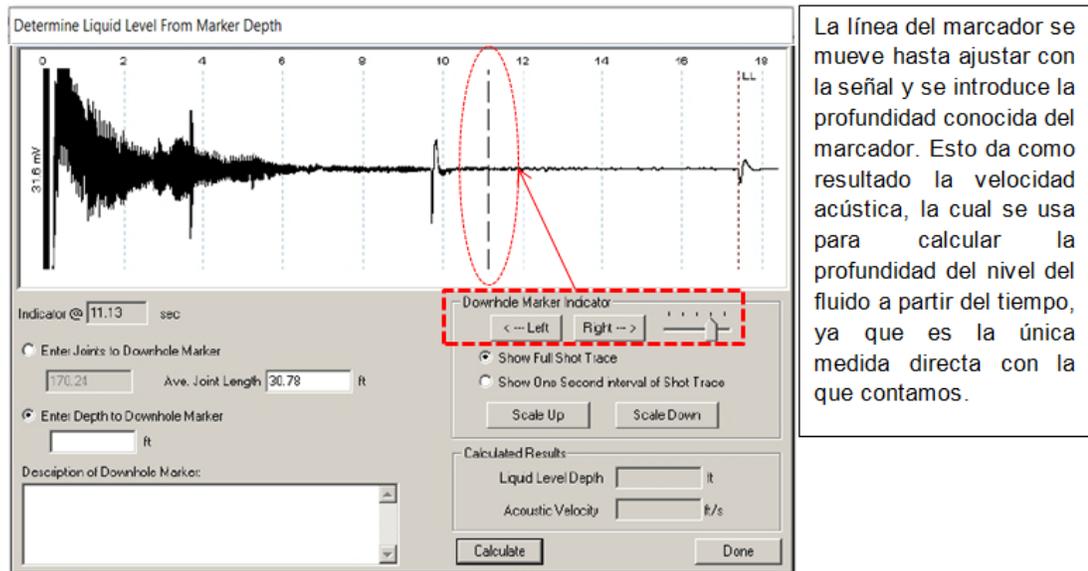
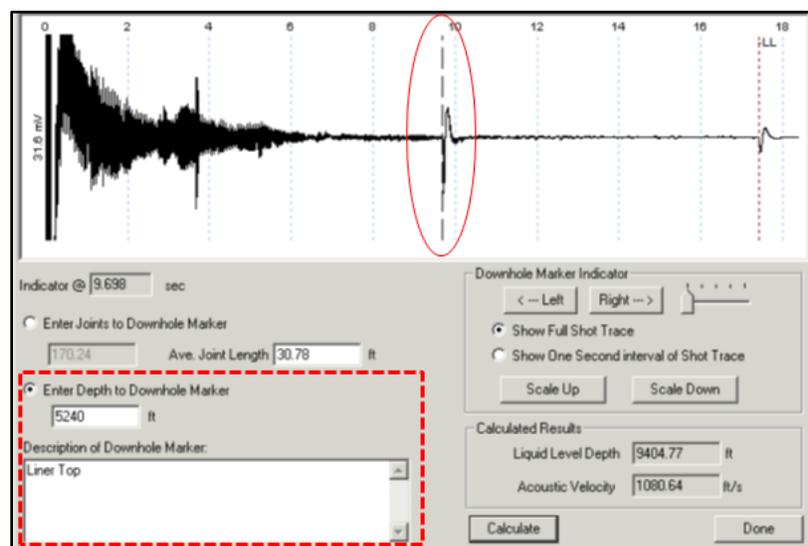


Figura 74 Pantalla para la determinación de nivel de líquido por el método de Marcador de Fondo

Se identifica el marcador de fondo, se introduce la profundidad y la descripción del marcador de fondo, que en este caso se encuentra a 5240 ft como se muestra en la Figura 75.



Al introducir los datos y hacer los cálculos, el programa regresará a la etiqueta de **Depth Determination**, con la leyenda de que el nivel de Líquido ha sido calculado desde un marcador de fondo como se muestra en la figura 76.

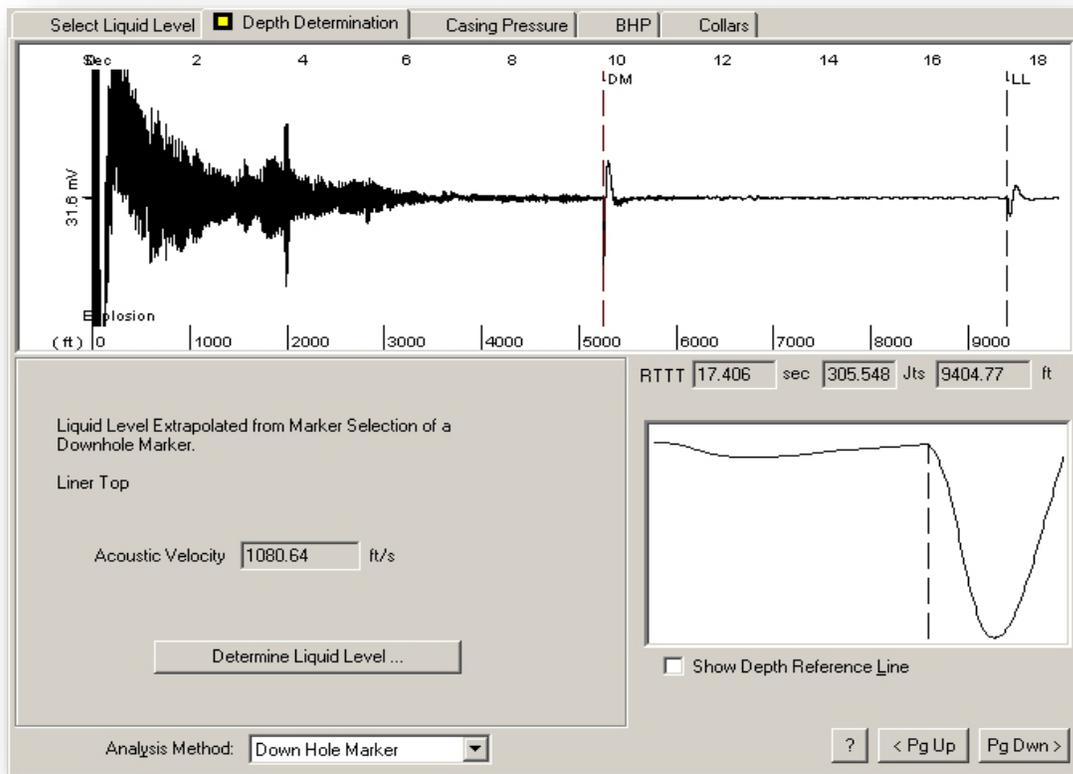


Figura 76 Pantalla de la etiqueta Depth Determination en el método de Marcador de Fondo

14. En la etiqueta **Casing Pressure**, se muestra un gráfico (**Casing Pressure Buildup**) que representa el cambio de presión en el espacio anular con respecto al tiempo, durante el periodo en que las válvulas del anular permanecen cerradas (Figura 77). Este diferencial de presión, se usa para calcular la tasa de flujo de gas en el espacio anular y estimar la cantidad de gas presente en la columna de fluido que se acumula en el espacio anular.

MONITOREO DE NIVEL DE FLUIDO Y ANÁLISIS DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS POR MEDIO DE ECHOMETER® EN EL CAMPO INDEPENDIENTE

El registro de presión comienza al mismo tiempo que el registro de nivel de fluido y se recopilan los datos de cambio de presión durante un máximo de 15 minutos. No obstante, el operador tiene la opción de finalizar la recopilación de datos en cualquier punto que considere adecuado.

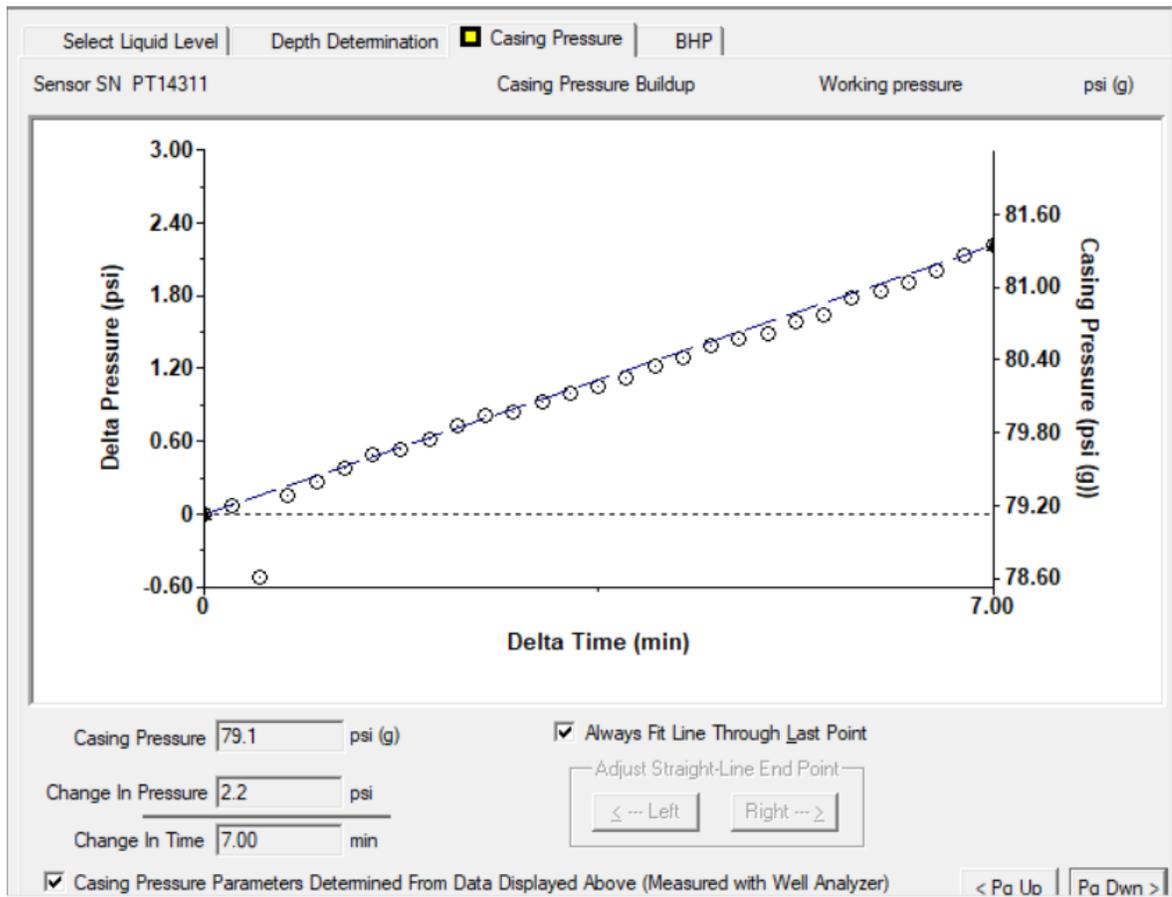


Figura 77 Pantalla en la etiqueta Casing Pressure

Generalmente, dos minutos son suficientes para medir una tasa precisa de restauración de presión en el casing.

A medida que se recopilan los datos de presión del casing, se mostrará una línea de tendencia para permitir al operador verificar la consistencia de los datos.

La línea se dibuja desde el primer punto hasta el último y todos los demás puntos deben estar sobre o a un costado de esa línea. Este gráfico normalmente indicará una tasa de acumulación constante. Una tasa de acumulación constante indica que el pozo está funcionando de manera predecible en estado estacionario y que los datos son satisfactorios para el análisis. Si existen desviaciones graves de la línea recta, el pozo puede no estar completamente estabilizado.

15. Una vez que se ha determinado el nivel de líquido por el método que brinde el resultado más exacto, se iniciará el cálculo de la presión de fondo del pozo (**BHP**) basándose en el nivel de fluido medido acústicamente y la presión del revestimiento (casing), además de los datos del pozo y fluido cargados con anterioridad en el archivo del pozo. El objetivo, es proveer un análisis completo de las condiciones del pozo al instante.

Los parámetros se muestran en la figura 78, que corresponden a la sección de presión de fondo del pozo (**BHP**) y se describen a continuación:

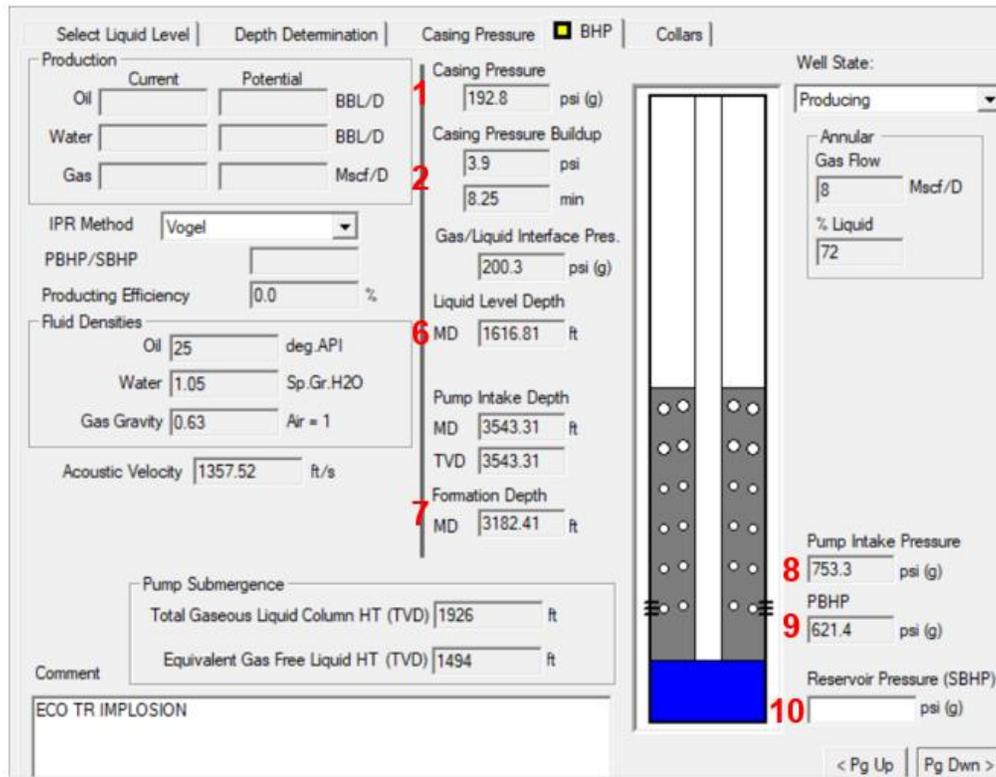


Figura 78 Pantalla en la etiqueta Bottom Hole Pressure (BHP) en la sección de presión de fondo

1. **Presión del Revestidor (Casing Pressure):** Es la presión de revestidor en la superficie (cabezal), medida automáticamente con el TWM o introducida manualmente en la aplicación por el usuario.
2. **Restauración de Presión en el Revestidor (Casing Pressure Buildup):** Es el cambio en la presión de cabezal del revestidor en función del tiempo cuando la válvula del cabezal está cerrada. Se calcula a partir de la pendiente de la línea de presión vs. tiempo.

3. **Flujo de gas en el anular (Annular Gas Flow):** Es la cantidad de gas que fluye a través del líquido del anular y sale a través de la válvula del cabezal. Se calcula a partir del Buildup y el volumen del anular por lo que debe introducir el diámetro interno del revestidor y el externo de la tubería de producción.
4. **Porcentaje de Líquido (% Liquid):** Es el porcentaje de líquido calculado que está presente en la columna líquido gaseosa del anular. Se calcula a partir del flujo de gas en el anular usando una correlación basada en datos de campo.
5. **Presión de la interfase Gas/líquido (Gas/Liquid Interface Pressure):** Es la presión calculada a la profundidad de la interfase gas/líquido. Se calcula a partir de la presión en el cabezal del revestidor y se le adiciona el peso de la columna de gas.
6. **Nivel de Líquido (Liquid Level):** Es la profundidad a la interfase gas/líquido tal como se determina por el registro Echometer®. Corresponde a la profundidad calculada y mostrada en la sección "Determinación de la Profundidad".
7. **Profundidad de la Formación (Depth Formation):** Es la profundidad de referencia, tal como se capturó en la pantalla de datos del pozo. A esta profundidad el software calcula la presión.
8. **Presión de entrada a la bomba (Pump Intake Pressure):** Es la presión calculada a la profundidad de entrada de la bomba (niple perforado de la bomba).
9. **Presión Dinámica de Fondo de Pozo (PBHP):** Es la presión dinámica de fondo de pozo calculada a la profundidad de referencia.
10. **Presión de Yacimiento (SBHP):** Es la presión estática de fondo de pozo tal como se capturó en el archivo de datos del pozo

La información que se muestra en la figura 79, es una representación completa de las condiciones de operación del pozo al momento del registro, la parte izquierda muestra la siguiente información de producción (**Production**):

11. Los datos de producción de petróleo, agua y gas de la prueba más reciente tal como se introdujeron en el archivo de datos del pozo. Esta información se usa en los cálculos de desempeño del pozo y deben ser tan recientes y exactos como sea posible.
12. La tasa potencial máxima de producción si la presión dinámica de fondo de pozo (PBHP) se redujera a cero, basada en el método seleccionado.
13. Método para cálculo de IPR (**IPR Method**): método seleccionado para representar el desempeño del pozo.
14. Relación entre la Presión Dinámica y la Presión Estática de fondo del pozo (**PBHP/SBHP**): la razón de la presión dinámica actual y la presión estática. Un valor de 1.0 corresponde a un pozo cerrado. Un valor de cero corresponde a un pozo produciendo a intervalo abierto o a la máxima producción.
15. Eficiencia de Producción (**Producing Efficiency %**): expresa la tasa de producción actual como un porcentaje de la tasa máxima de producción acumulada.

MONITOREO DE NIVEL DE FLUIDO Y ANÁLISIS DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS POR MEDIO DE ECHOMETER ® EN EL CAMPO INDEPENDIENTE

The screenshot shows a software interface for monitoring well fluid levels and dynamic pressure analysis. The interface is divided into several sections:

- Production:** Includes fields for Current and Potential production rates for Oil (BBL/D), Water (BBL/D), and Gas (Mscf/D). Red numbers 11 and 12 are overlaid on the Water Current and Water Potential fields, respectively.
- Fluid Densities:** Includes fields for Oil (deg API), Water (Sp Gr H2O), and Gas Gravity (Air = 1). Red numbers 13, 14, and 15 are overlaid on the Oil, Water, and Gas Gravity fields, respectively.
- Casing Pressure:** Includes fields for Casing Pressure (psi (g)), Casing Pressure Buildup (psi), Gas/Liquid Interface Pres. (psi (g)), and Liquid Level Depth (MD, ft). A checkbox for BHP is checked.
- Well State:** Includes a dropdown for Well State (Producing), Annular Gas Flow (Mscf/D), and % Liquid.
- Pump Intake Pressure:** Includes fields for Pump Intake Pressure (psi (g)), PBHP (psi (g)), and Reservoir Pressure (SBHP) (psi (g)).
- Pump Submergence:** Includes fields for Total Gaseous Liquid Column HT (TVD) (ft) and Equivalent Gas Free Liquid HT (TVD) (ft).
- Comment:** A text field containing "ECO TR IMPLOSION".

Figura 79 Pantalla en la etiqueta Bottom Hole Pressure (BHP) en la sección de Producción

En la sección de Densidades de los Fluidos (**Fluid Densities**) ilustrada en la figura 80, contamos con la siguiente información:

16. API del aceite (**API Oil**): Gravedad API del aceite.
17. Gravedad Específica del Agua (**Water SG**): Gravedad específica de la salmuera producida (agua= 1.0)

18. Gravedad Específica del Gas (**Gas SG**): Gravedad específica del gas en el anular, la cual se calcula a partir de la velocidad acústica. La gravedad del gas en el anular probablemente es diferente a la gravedad específica del gas en el separador ya que ésta tiene una composición diferente.
19. Velocidad Acústica (**Acoustic Velocity**): es la velocidad del sonido promedio a través del gas en el anular, la cual se calculó con las trazas acústicas procesadas en la pantalla principal.

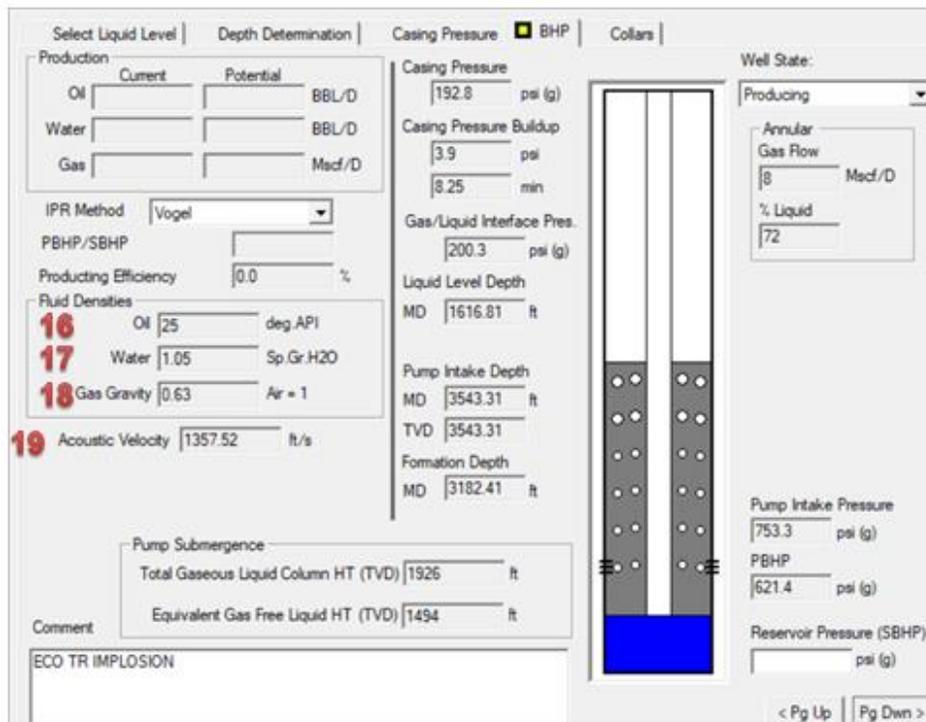


Figura 80 Pantalla en la etiqueta Bottom Hole Pressure (BHP) en la sección de densidades de los Fluidos

Es importante mencionar que el programa calcula el porcentaje de líquido y gas, y considera que el líquido debajo de la entrada de la bomba consiste principalmente de agua, independientemente del corte de agua que se está produciendo en superficie. Sin embargo, el operador tiene la opción de modificar esta composición.

En la pantalla de **BHP**, también podemos visualizar la sección “Sumergencia de la Bomba” (**Pump Submergence**), con los parámetros que se describen a continuación y que se ilustran en la figura 81.

- 20. Profundidad de Entrada de la Bomba (Pump Intake Depth):** es la profundidad del nipe de asiento de la bomba.
- 21. Altura Total de la Columna Líquida Gaseosa (Total Gaseous Liquid Column HT):** es la altura vertical de la columna de fluido sobre la entrada de la bomba, incluido el volumen total de la mezcla de burbujas de gas libre y líquido. En campo se le conoce como Sumergencia Total de la Bomba.
- 22. Altura Equivalente de Líquido Libre de Gas (Equivalent Gas Free Liquid HT):** expresa la altura de la columna de fluido sobre la entrada de la bomba a la cual el líquido presente en el espacio anular existiría si se eliminara todo el gas libre. Esta cantidad se calcula a partir de la geometría del anular y el porcentaje de líquido calculado a partir de la restauración de presión del casing. En campo se le conoce como Sumergencia Efectiva de la Bomba.

MONITOREO DE NIVEL DE FLUIDO Y ANÁLISIS DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS POR MEDIO DE ECHOMETER® EN EL CAMPO INDEPENDIENTE

The screenshot displays the ECHOMETER software interface for well monitoring. The interface is divided into several sections:

- Production:** Fields for Oil, Water, and Gas production rates, with units BBL/D and Mcf/D. Includes a dropdown for IPR Method (Vogel) and a field for Producing Efficiency (0.0%).
- Fluid Densities:** Fields for Oil (25 deg API), Water (1.05 Sp. Gr. H2O), and Gas Gravity (0.63, Air = 1). Acoustic Velocity is 1357.52 ft/s.
- Casing Pressure:** Casing Pressure (192.8 psi (g)), Casing Pressure Buildup (3.9 psi), and Gas/Liquid Interface Pres. (200.3 psi (g)).
- Liquid Level Depth:** MD (1616.81 ft).
- Pump Intake Depth:** MD (3543.31 ft) and TVD (3543.31 ft).
- Formation Depth:** MD (3182.41 ft).
- Pump Submergence:** Total Gaseous Liquid Column HT (TVD) (1926 ft) and Equivalent Gas Free Liquid HT (TVD) (1494 ft).
- Well State:** A diagram of the wellbore showing the pump intake depth and liquid level. The well is set to "Producing".
- Other Parameters:** Annular Gas Flow (8 Mcf/D), % Liquid (72), Pump Intake Pressure (753.3 psi (g)), PBHP (621.4 psi (g)), and Reservoir Pressure (SBHP).

Figura 81 Pantalla en la etiqueta Bottom Hole Pressure (BHP) en la sección de Sumergencia de la Bomba

16. Para continuar con la adquisición de datos, es necesario remover la pistola a gas del pozo, para lo cual se recomienda lo siguiente:

- Cerrar la válvula del revestidor a la cual está conectada la pistola a gas
- Usar la válvula de purga de la pistola para liberar cualquier presión confinada entre la válvula del pozo y la pistola.
- Remover el transductor de presión y el micrófono de la pistola.
- Remover la pistola de la reducción de tubería (cuello de botella).

Una vez que se han obtenido los resultados finales, como la determinación de nivel de líquido, presión en la tubería de revestimiento, sumergencia de la bomba, presión de fondo, presión en la entrada de la bomba, etc., es posible hacer una interpretación del comportamiento del pozo pudiendo conocer:

- Si hay líquido por encima de la bomba y a qué profundidad se encuentra el tope de la columna de líquido.
- Si hay gas fluyendo por el anular y a qué gasto.
- Cuál es el porcentaje de líquido en la columna de fluido en el anular.
- Si hay alguna restricción en el espacio anular por encima del nivel de líquido.
- Si la presión del revestidor está restringiendo la producción

Con esta información adquirida es posible hacer un diagnóstico del estado del pozo y relacionarlo con la producción para hacer recomendaciones que aumenten la eficiencia del sistema. No obstante, el Echometer® en conjunto con el programa TWM es capaz de determinar muchas otras variables que ayudarán a la optimización integral de todo el Sistema de Bombeo Mecánico.

Capítulo IV

Análisis de Cartas

Dinamométricas por

medio de Echometer ®

Introducción

En el Bombeo Mecánico existen elementos que requieren ser diseñados y evaluados para no superar los límites mecánicos de los mismos y poder garantizar el máximo desempeño del sistema. En este sistema, se puede decir que la Unidad de Bombeo, las varillas de succión y la bomba, son elementos críticos que si superan alguno de estos límites mecánicos podemos afectar la vida útil o el funcionamiento óptimo. De estos tres componentes, el más crítico de todos, es la varilla de succión ya que es la que transfiere la potencia desde la superficie hasta la bomba que se encuentra en el fondo del pozo.

Cuando hablamos de los esfuerzos que actúan en el Sistema de Bombeo Mecánico, lo primero que podemos rescatar son las características cíclicas de las cargas soportadas por las varillas de bombeo y la Unidad de Bombeo en superficie. Las cargas pasan por valores máximos y valores mínimos a lo largo de todo el ciclo de bombeo y su análisis forma parte de la evaluación que se hace en todo el sistema, a partir de registros dinamométricos.

Las cargas registradas están en función del desplazamiento de la varilla pulida, durante uno o más ciclos de bombeo, generando lo que se conoce como Carta Dinamométrica. Debido a que la variación de las cargas en la varilla pulida es el resultado de las fuerzas actuando a lo largo de la sarta de varillas de succión, y debido a que éstas reflejan la operación tanto de la bomba como del equipo de superficie, se considera al gráfico Dinamométrico como herramienta fundamental e insustituible para el análisis general de la eficiencia del sistema. Por lo que el uso apropiado de técnicas Dinamométricas y la correcta interpretación de las cartas tomadas, son de extrema importancia para el Ingeniero de Producción cuando éste trata de incrementar la rentabilidad del Sistema de Bombeo Mecánico. La interpretación apropiada de Cartas Dinamométricas de fondo y de superficie develarán información muy valiosa en la operación del Sistema de Bombeo, que, debido a muchas interacciones de parámetros involucrados y el gran número de posibles problemas de bombeo, pueden existir un infinito número de formas de cartas dinamométricas, haciendo del análisis e interpretación de las cartas Dinamométricas de superficie, más un arte que una ciencia exacta. Por lo tanto, un análisis apropiado, delega demasiado peso en la experticia y habilidad del analista.

Dinamómetro

El Dinamómetro es un instrumento para medir fuerzas. Se basa en la proporcionalidad directa que existe entre la fuerza aplicada y la deformación que produce en los materiales elásticos. La palabra está formada por el término griego *dýnamis*, que significa “fuerza”, y el término *metron*, que significa “medida”.

Dinamometría aplicada al Bombeo Mecánico

Consiste en registrar las cargas cíclicas que soporta la varilla pulida con una Celda de Carga (Dinamómetro) con respecto al desplazamiento. El registro directo de estas cargas se denomina dinamometría de superficie.

Las principales cargas que soporta la varilla pulida son las que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1 Cargas que soporta la varilla pulida en la carrera ascendente y descendiente

Carrera Ascendente	Carrera Descendente
<ul style="list-style-type: none">• Peso de las varillas en el aire• Peso del fluido• Cargas debido a la fricción (entre el barril y el pistón / entre las varillas y el tubing)• Cargas dinámicas	<ul style="list-style-type: none">• Peso de las varillas sumergidas• Cargas debido a la fricción (entre el barril y el pistón / entre las varillas y el tubing)• Cargas dinámicas

Peso de las varillas: Esta fuerza está distribuida a lo largo de la sarta de varillas. La misma está presente tanto en la carrera ascendente como en la carrera descendente.

Peso del fluido: Es una fuerza que actúa en la parte inferior de la sarta de varillas durante la carrera ascendente que actúa sobre el área del pistón.

Cargas debido a la fricción: Son fuerzas que se oponen al desplazamiento (1) entre el barril y el pistón y (2) entre las varillas y el tubing.

Cargas dinámicas: Es el resultado en el cambio de aceleración durante el ciclo de bombeo de las masas en movimiento (varillas, columna de líquidos).

La carta dinamométrica puede tener muchas variantes en su forma, esto dependerá del comportamiento de los diferentes elementos que constituyen el Sistema de Bombeo. El correcto análisis e interpretación de la carta dinamométrica, será de gran ayuda para la detección y corrección de fallas en el sistema.

Para poder explicar las características básicas de las cartas dinamométricas, siempre es importante partir de un diagrama dinamométrico teórico que se obtendría si se cumplieran las siguientes condiciones no reales:

- Velocidad de bombeo aproximadamente igual a cero, eliminando las fuerzas dinámicas
- Una sarta de varillas de bombeo inelásticas
- Pérdida inexistente de energía debido a las fricciones y vibraciones
- Fluido bombeado incompresible

Bajo estas suposiciones, la carta dinamométrica estará representada por el rectángulo **A-B-C-D**, mostrado en la Figura 82.

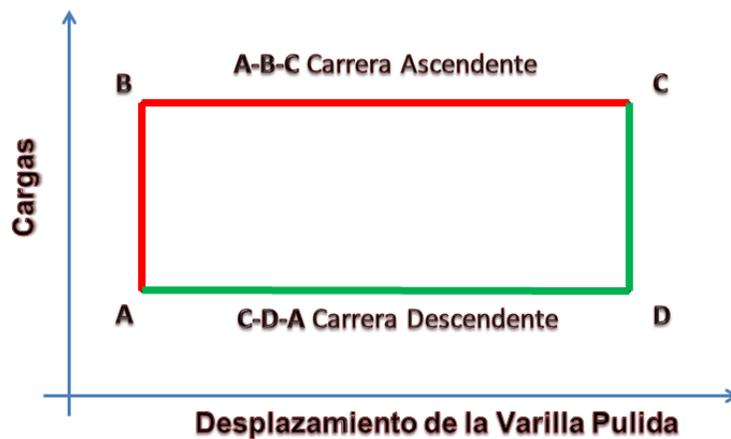


Figura 82 Carta Dinamométrica bajo condiciones teóricas

La carrera ascendente comienza en el punto muerto inferior **A** y se pasa instantáneamente, de una carga mínima a una carga máxima en el punto **B**, esto debido a la suposición de la inelasticidad en las varillas de bombeo. Después se observa una constante en el registro de cargas a lo largo del desplazamiento, asociada a una velocidad de bombeo aproximadamente igual a cero hasta el punto muerto superior **C**, que es donde termina la carrera ascendente y principia la carrera descendente. En este punto **C**, partimos de una carga máxima a una carga mínima en el punto **D** de manera instantánea y una carga constante a lo largo del desplazamiento en toda la carrera descendente por las suposiciones teóricas mencionadas anteriormente.

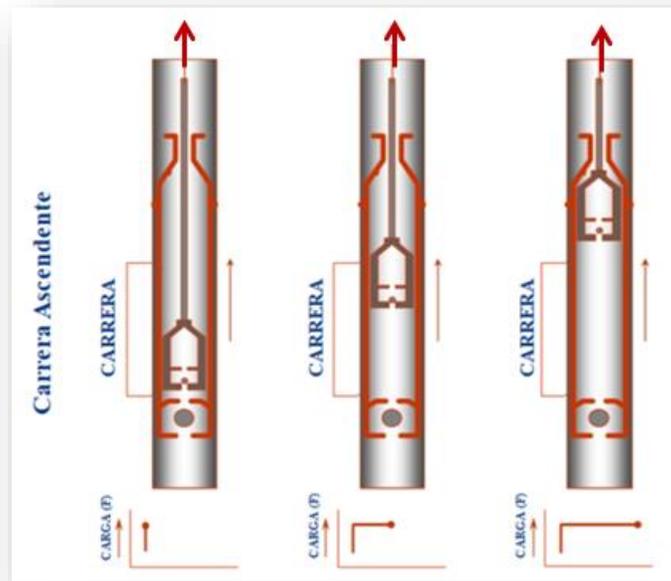


Figura 83 Generación de una carta dinamoétrica teórica en función de las válvulas de la bomba en la carrera ascendente

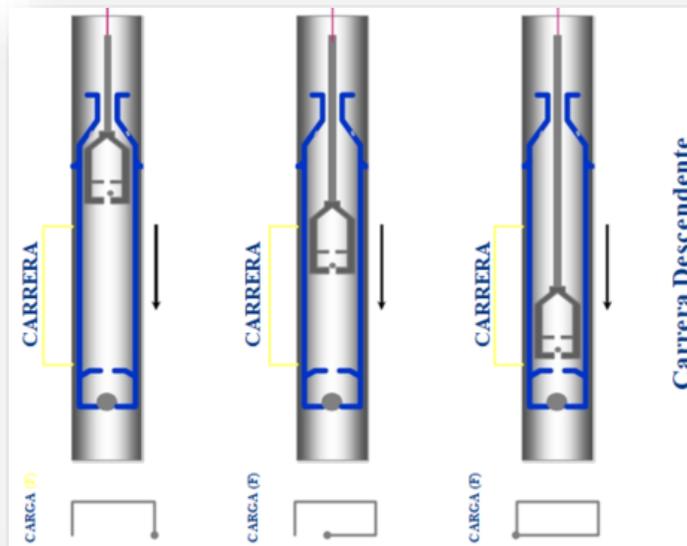


Figura 84 Generación de una carta dinamoétrica en función de las válvulas de la bomba en la carrera descendente

A partir del diagrama dinamométrico teórico antes mencionado, podemos representar el comportamiento de un ciclo de bombeo ideal bajo condiciones que se pueden llegar a dar en la realidad considerando:

- Una sarta de varillas de succión elástica
- Una baja velocidad de bombeo

La representación de estas condiciones en un diagrama dinamométrico se ve reflejado en un paralelogramo **A-B'-C'-D** como se muestra en la Figura 85.

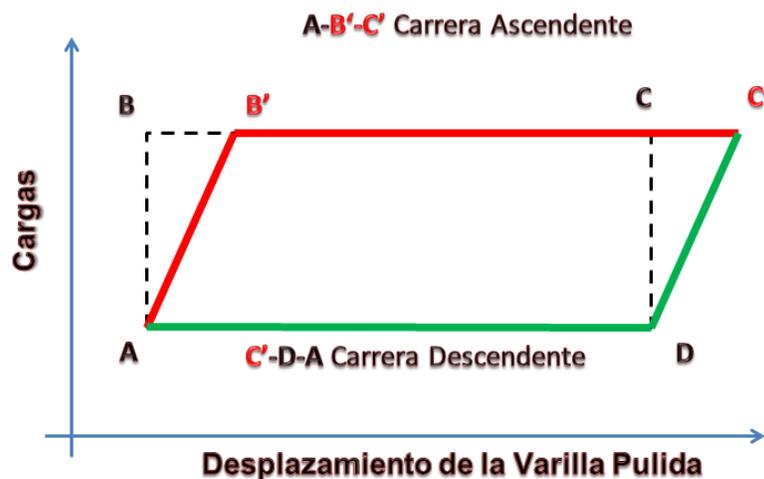


Figura 85 Carta dinamométrica bajo condiciones ideales

Donde se observa que del punto **A** al punto **B'** existe una elongación de las varillas de bombeo, es decir, se tiene que recorrer cierta longitud para llegar desde el punto muerto inferior **A**, hasta la carga máxima en el punto **B'**.

El dinamómetro de Echometer®

El Dinamómetro de la compañía Echometer®, consiste en un computador portátil, un convertidor análogo a digital y una celda de carga con un acelerómetro. La celda de carga usa un medidor de esfuerzo para medir la carga de la varilla pulida. La celda de carga puede ser de tipo herradura, la cual se coloca en la varilla pulida, entre el elevador y la grampa principal de la varilla pulida, o ser de un diseño especial el cual fácilmente abraza directamente a la varilla pulida. Estas señales se envían al convertidor para digitalizar. Los datos digitales se dirigen después a través de una interface a la memoria del computador donde la señal se puede procesar y mostrar usando el programa Total Well Management (TWM).

El convertidor de Analógico a Digital (A/D), digitaliza las señales eléctricas provenientes de la celda de carga y del acelerómetro. Las señales digitalizadas se transmiten a la computadora para su procesamiento y grabado.

Principio de Operación del Dinamómetro Echometer®

La celda de carga contiene registradores de tensión. Estos dispositivos cambian la resistencia eléctrica de un cable a medidas de carga. Cuando una carga es aplicada en los registradores de tensión, comprime hacia adentro a los registradores de tensión incrementándose el área transversal de un cable delgado. El cambio en el área causa un cambio en la resistencia al flujo de electricidad. Los circuitos electrónicos en la celda dinamométrica transforman los cambios en la resistencia a cargas sobre la varilla pulida. Adicionalmente, está integrada con un acelerómetro que mide la aceleración de la varilla pulida. El programa calcula la velocidad y posición de la varilla pulida a través de integración numérica de señales de aceleración con respecto al tiempo.

Como resultado el TWM arroja dos tipos de cartas dinamométricas, una medida en superficie y otra calculada de fondo.

Carta Dinamométrica de superficie

Una Carta Dinamométrica de superficie es un gráfico que registra las cargas a las cuales está sometida la varilla pulida en función de su posición durante un ciclo de bombeo. Este gráfico es una medida directa de las cargas registradas a través de la celda de carga en la varilla pulida.

Carta dinamométrica de fondo

Es una carta dinamométrica calculada por el TWM a partir del registro de cargas en la varilla pulida. Esta interpretación matemática permite conocer el comportamiento de las cargas en el fondo y ofrece una detección más directa del funcionamiento de la bomba que las cartas dinamométricas de superficie.

Procedimiento para Adquisición de datos Dinamométricos con celda de carga (PRT)

El transductor de varilla pulida (PRT), se puede instalar de manera rápida y segura. El instrumento es una abrazadera para la varilla pulida que percibe la carga y la aceleración transmitiendo los datos al Analizador de Pozo.

Los objetivos que se buscan con el diseño del transductor de varilla pulida son:

- Instalación fácil y rápida
- Operación segura
- Exactitud de los datos
- Mínima calibración hecha por el usuario

En la mayoría de los casos los problemas que se presentan en el fondo del pozo con unidades de bombeo están en las siguientes categorías:

- Falla del equipo de subsuelo, mal funcionamiento o interferencia de gas
- Diferencia entre la capacidad de producción de la formación y la unidad de bombeo

El análisis de la primera categoría se basa principalmente en la información del dinamómetro y en el dinagrama calculado a condiciones de subsuelo. El análisis de la segunda categoría requiere, además, el nivel de fluido en el anular, presión del revestimiento, presión dinámica de fondo del pozo y la presión estática del yacimiento.

El Analizador de Pozo de Echometer®, en conjunto con el transductor de varilla pulida (PRT) y el equipo para medir el nivel de fluido, provee datos completos y opciones de interpretación para estudiar y optimizar el desempeño de la mayoría de los pozos con unidades de bombeo.

En campo, el procedimiento que se sigue para la adquisición de información es el siguiente:

1. Conectar la celda de carga (PRT) en el cable de la entrada principal del Analizador de Pozo (Figura 86 y 87).



Figura 86 Conexión del cable al PRT
Foto tomada en el Campo Independiente



Figura 87 Conexión del cable a la entrada principal del Analizador de Pozo
Foto tomada en el Campo Independiente

2. Encender el Analizador de Pozo, la computadora portátil y esperar la luz verde (Figura 88).

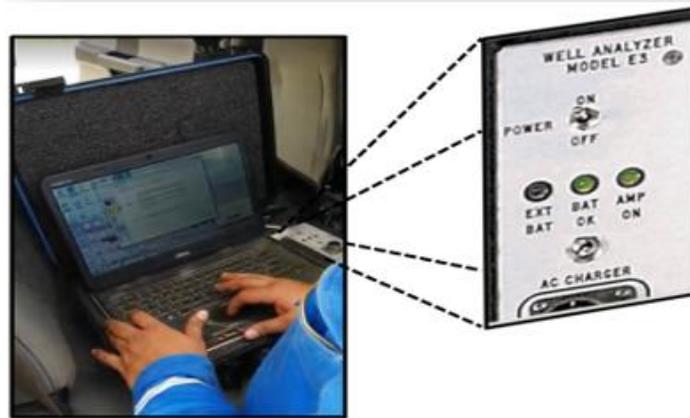


Figura 88 Analizador de Pozo encendido y computadora encendidos

3. Iniciar el programa de cómputo **Total Well Management** en modo de Adquisición de Datos (**Acquire Mode**) y seleccionar la etiqueta del Sensor Dinamométrico (**Dynamometer Sensor**), como se muestra en la figura 89.

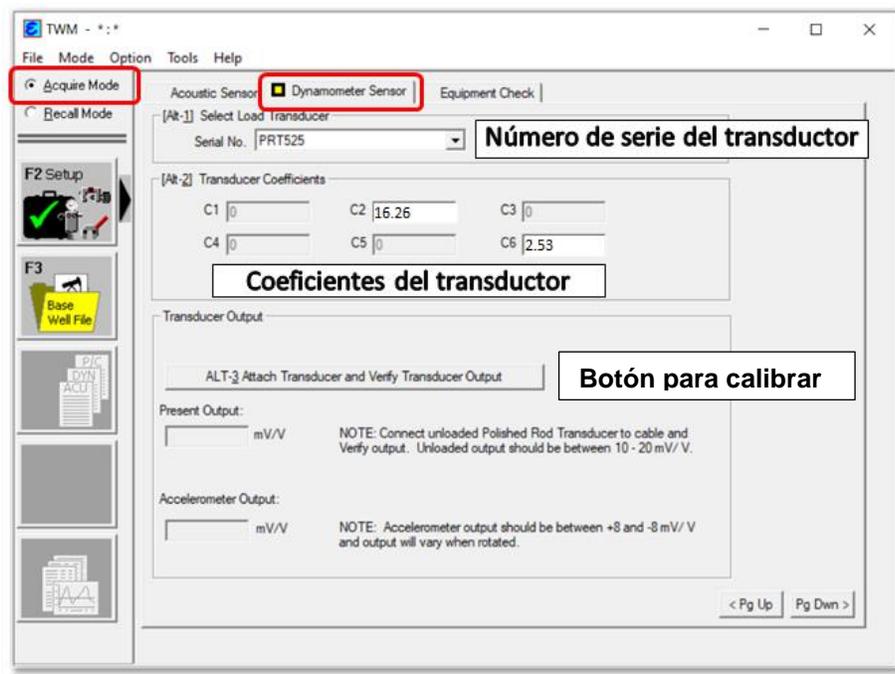


Figura 89 Pantalla de adquisición de datos para la celda PTR

En esta pantalla se podrán realizar las siguientes acciones:

- Seleccionar o ingresar manualmente el número de serie del transductor de la varilla pulida y sus coeficientes.
- Calibrar el transductor de la celda de carga PRT colocándolo sobre una superficie horizontal con la perilla de ajuste a mano derecha del operador y verificando que se produzca una salida entre 10 y 20 mV/V. Si no es así, repetir la operación hasta que los valores se encuentren dentro de este rango.



Figura 90 Calibración del PRT sobre una superficie horizontal.

4. Presionar la tecla **F3** u oprimir la opción Archivo Base de Pozo (**Base Well File**), que permitirá:
 - Crear un nuevo archivo de pozo al oprimir **New** (Figura 91)
 - Seleccionar un archivo cargado anteriormente oprimiendo **Open** (Figura 92)

MONITOREO DE NIVEL DE FLUIDO Y ANÁLISIS DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS POR MEDIO DE ECHOMETER® EN EL CAMPO INDEPENDIENTE

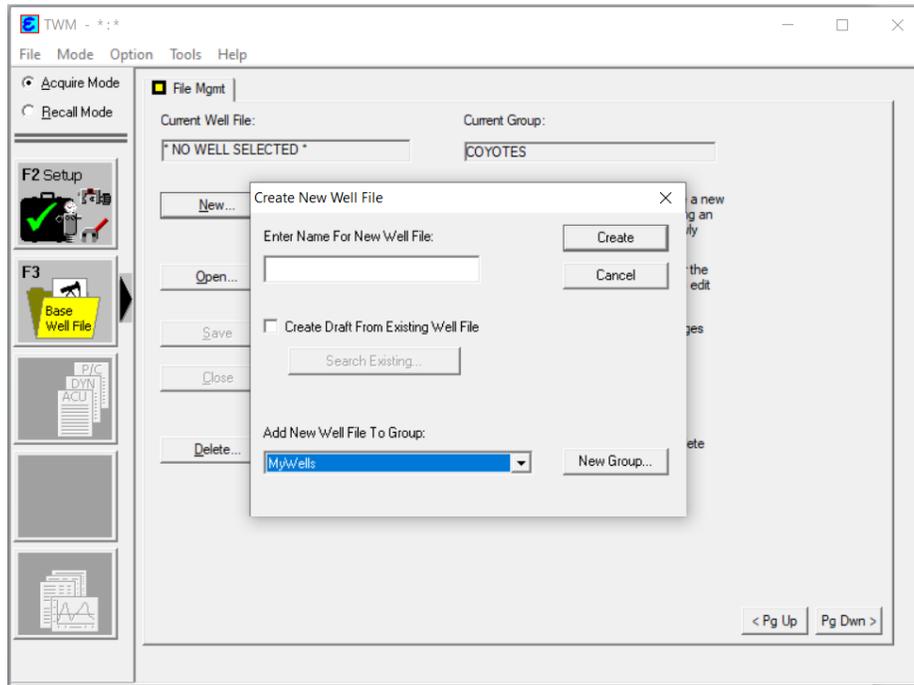


Figura 91 Pantalla para crear un nuevo archivo de pozo

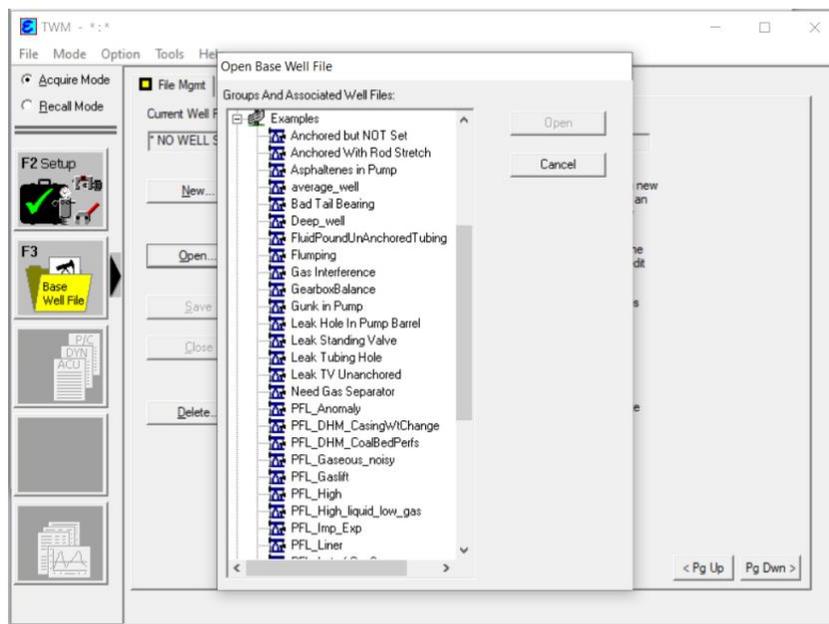
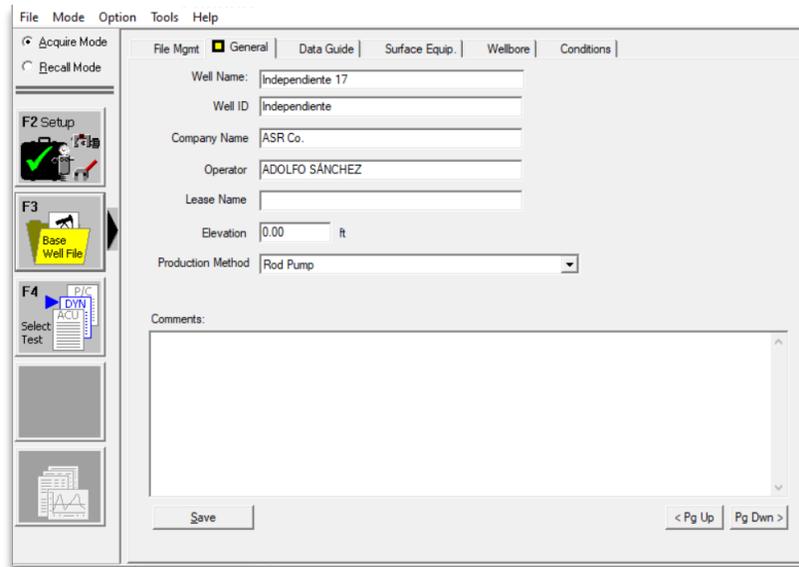


Figura 92 Pantalla para seleccionar un archivo de pozo precargado

5. Después de crear o seleccionar el archivo deseado se podrá visualizar la pantalla que se muestra en la figura 93, que contiene todos los datos del pozo.



The screenshot shows a software window with a menu bar (File, Mode, Option, Tools, Help) and a toolbar on the left. The main area is divided into tabs: File Mgmt, General (selected), Data Guide, Surface Equip., Wellbore, and Conditions. The General tab contains the following fields: Well Name (Independiente 17), Well ID (Independiente), Company Name (ASR Co.), Operator (ADOLFO SÁNCHEZ), Lease Name (empty), Elevation (0.00 ft), and Production Method (Rod Pump). A large text area for Comments is at the bottom. A Save button is at the bottom left, and navigation buttons (< Pg Up, Pg Dwn >) are at the bottom right.

Figura 93 Pantalla que contiene los datos del pozo.

Los datos del pozo están divididos en cuatro grupos en las siguientes pantallas:

- **General:** identifica el pozo y la compañía operadora.
- **Equipo en superficie (Surface Equipment):** describe el equipo que se usa en superficie.
- **Pozo (Wellbore):** describe el estado mecánico del pozo.
- **Condiciones (Conditions):** describe la producción y condiciones de presión.

La etiqueta de Guía de Datos (**Data Guide**), es una opción de apoyo al usuario que muestra diferentes imágenes que representan los registros que se pueden tomar con el Analizador de Pozos y al seleccionar una o varias imágenes, el programa destaca los valores que se deben introducir para poder cumplir con el análisis determinado.

Por ejemplo, el cálculo de cartas dinámicas, seleccionando el botón correspondiente como se muestra en la figura 94.

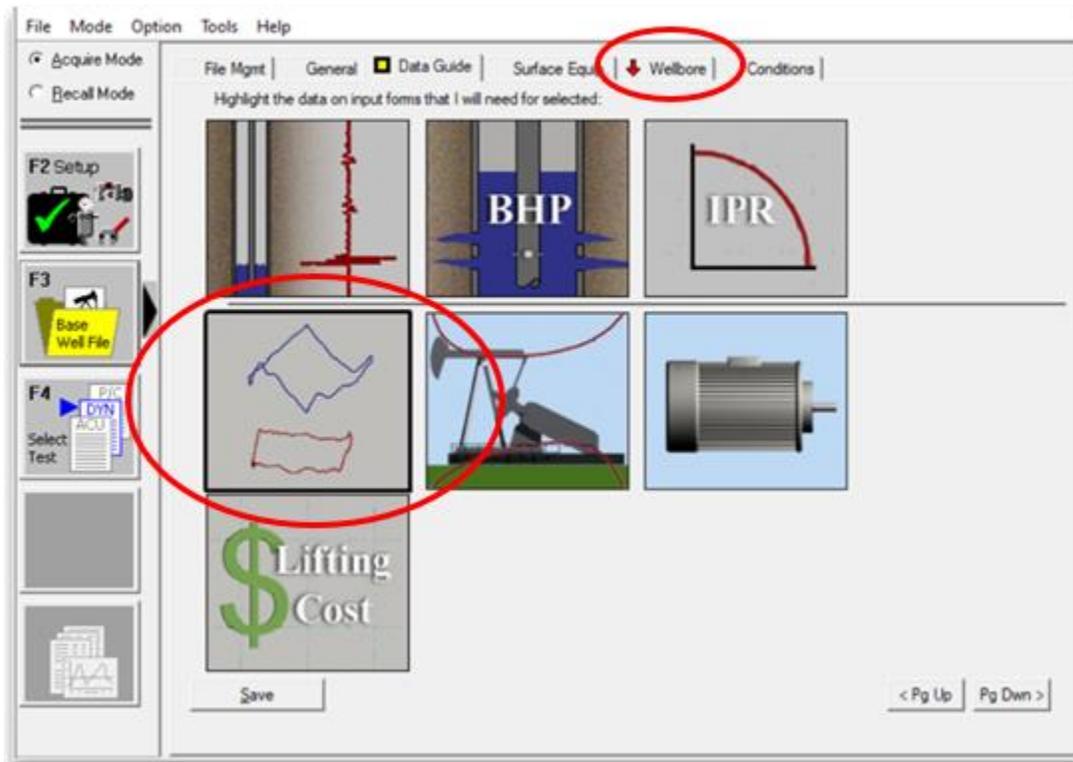


Figura 94 Pantalla de la etiqueta Data Guide

En cada una de las etiquetas que se muestran con la flecha roja, aparecerán los datos que se deben introducir enmarcados en color rojo, como se muestra a continuación:

Top Taper	Taper 2	Taper 3	Taper 4	Taper 5	Taper 6
Rod Type: D	D	NONE	NONE	NONE	NONE
Length: 1107.95	2250.00				
Diameter: 0.875	0.750				
Weight: 2450.8	3652.8	0.0	0.0	0.0	0.0
Damp Up: 0.0337927	Damp Down: 0.0337927				

Figura 95 Pantalla de verificación o modificación de datos necesarios para la prueba.

En el caso del cálculo de las cartas dinamométricas, el programa requiere la introducción de los siguientes datos como mínimo:

- Longitud de cada tramo de varillas de succión existentes en el pozo.
- Tipo de varillas de cada arreglo (grado).
- Diámetro de cada arreglo.
- Diámetro de la bomba
- Profundidad de la entrada de la bomba.

El programa TWM, como se ha mencionado anteriormente ya cuenta con esta información cargada previamente, sin embargo, es recomendable contar con el Estado Mecánico actualizado para corroborar que la información del archivo del pozo sea la correcta y en caso contrario, modificarlo para actualizarlo en esta sección.

Para asegurarse de guardar los cambios que se hayan realizado es necesario oprimir el botón **Save**.

6. Para continuar con el procedimiento se debe oprimir **F4** o seleccionar la opción **Select Test** para indicar el tipo de prueba que será adquirida. Luego se deberá seleccionar la sección **Dinamómetro (Dynamometer)** y posteriormente se elige la Prueba Dinamométrica (**Dynamometer Test**), como se muestra en la siguiente pantalla (Figura 96)

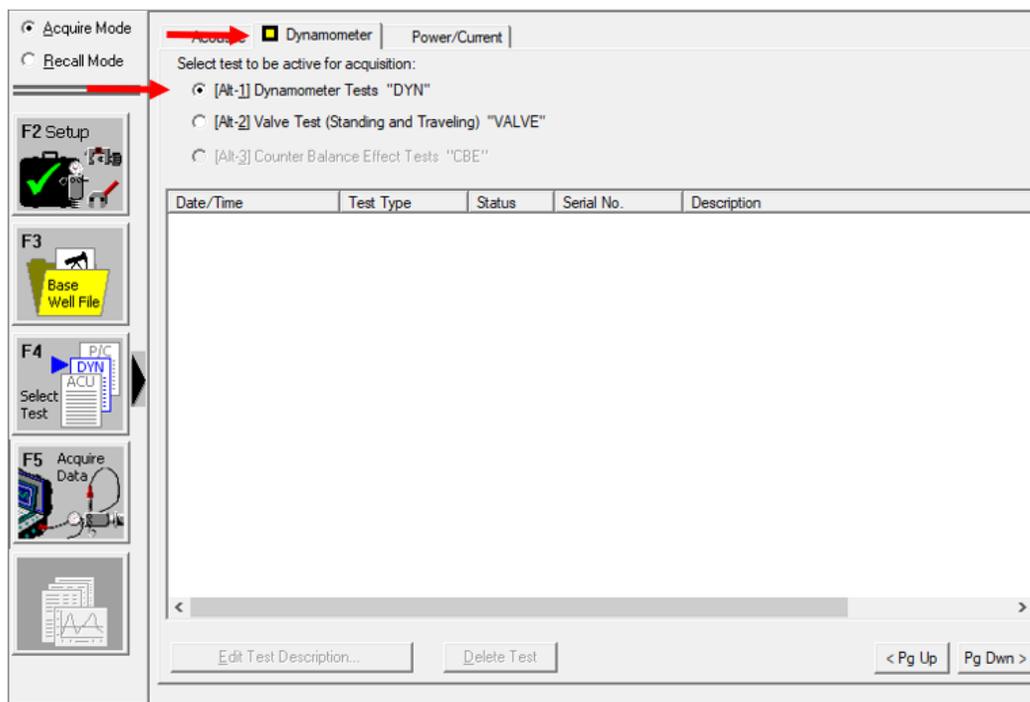


Figura 96 Pantalla en la sección de las Pruebas que se pueden realizar con el Dinamómetro.

7. Oprimir la tecla **F5** o seleccionar la opción **Acquire Data**. Enseguida el software del TWM mostrará una serie de pantallas de ayuda para la instalación del PRT como se muestra a continuación (Figura 97:

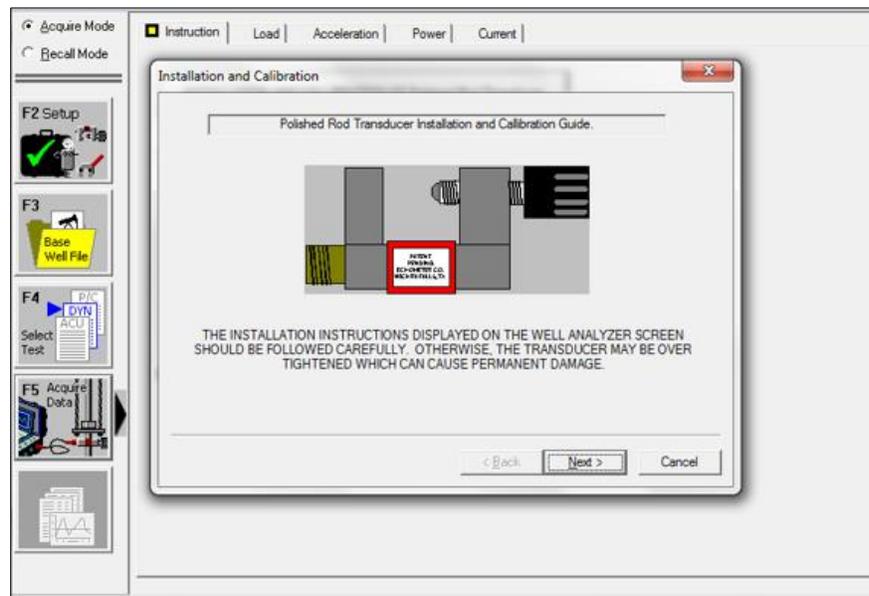


Figura 97 Pantalla Guía para la Instalación y Calibración del PTR.

En la figura 98, se sugiere al operador seguir cuidadosamente las instrucciones de instalación ya que de lo contrario el transductor puede resultar dañado permanentemente. Después de leer las instrucciones, es necesario presionar la tecla *Enter* u oprima Siguiente (Next) para continuar con las pantallas de los procedimientos de instalación y calibración.

El siguiente paso, es asegurarse que el transductor esté operando adecuadamente y que el voltaje de la batería está dentro de las especificaciones, sin embargo, una cierta desviación del valor de salida (Transducer Output) es normal. Esta variación se relaciona con el cambio de temperatura del transductor.

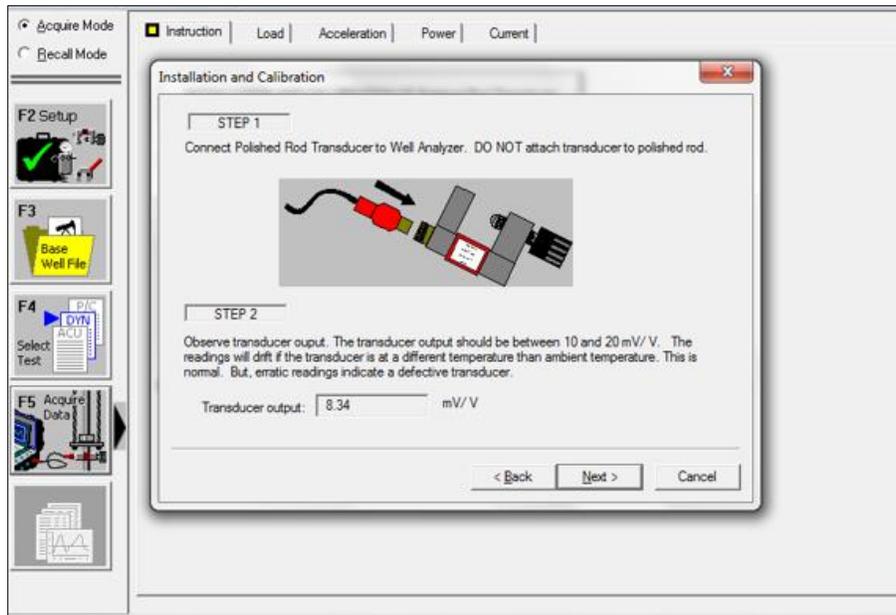


Figura 98 Pantalla de verificación de voltaje de salida del Transductor.

Oprimir *Enter* o seleccionar el botón *siguiente* (Next), como se muestra en la figura 99.

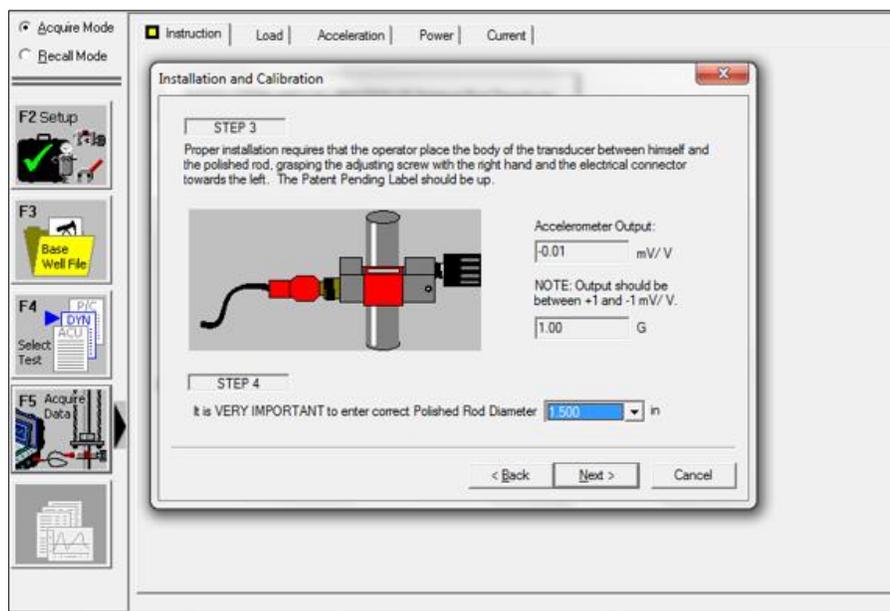


Figura 99 Instrucciones para la instalación correcta del PRT y verificación del diámetro de la varilla pulida

El TWM indica que para instalación correcta de la celda de carga PRT, el operador debe posicionar el PRT entre su cuerpo y la varilla pulida, quedando colocada la perilla de ajuste de la celda de carga a mano derecha y el conector eléctrico a mano izquierda del operador como se ilustra en la figura 101. Se debe centrar la PTR en la varilla pulida usando el corte de media luna de la celda de carga como se muestra en la figura 100.

Nota: es importante verificar que se ha seleccionado el diámetro correcto para la descripción de la varilla pulida.



Figura 100 Instalación del PRT, colocando correctamente el corte de media luna en la varilla pulida.

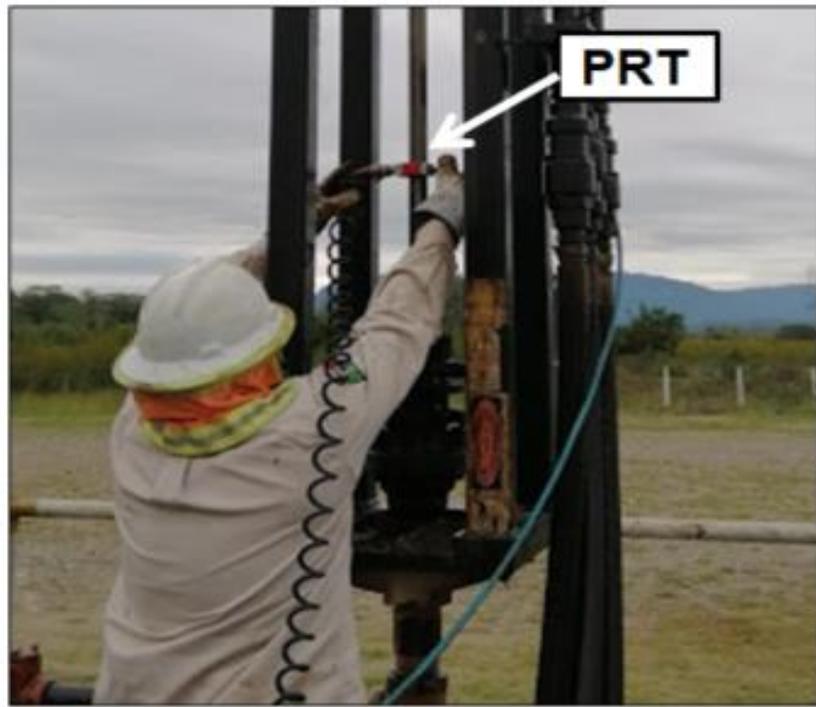


Figura 101 Instalación de PRT en campo en una Unidad de Bombeo tipo Tieben colocando la perilla de ajuste a mano derecha y la conexión eléctrica a mano izquierda del operador.

Al pulsar la tecla *Enter* u oprimiendo el botón *Siguiente*, el software nos mostrará la pantalla que se muestra en la figura 102, con las siguientes instrucciones:

- Detener la varilla pulida en el final de la carrera descendente.
- Colocar el transductor en la varilla pulida al menos 6 pulgadas por debajo de la barra portadora.
- Gire suavemente la perilla hasta que el indicador se encuentre entre +1 y -1 (m/V).

Nota: adicionalmente se sugiere colocar el transductor en una zona lisa y libre de corrosión. Si la superficie de acero está oxidada, use una lija fina para limpiar y suavizar la superficie de la varilla.

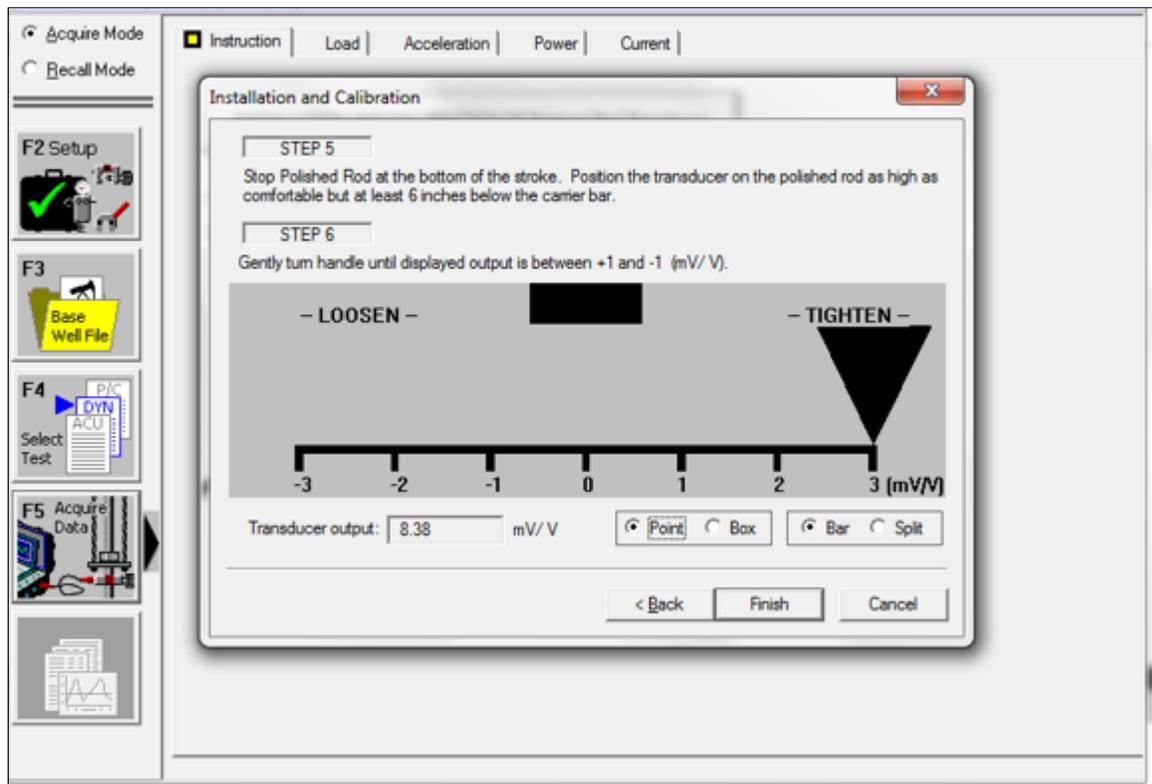


Figura 102 Pantalla para calibrar el PRT con la varilla pulida.

El transductor se diseñó para producir una salida entre 10 y 20 mV/V cuando no está instalado en la varilla pulida. La acción de la abrazadera causa que la salida disminuya. La tensión de la abrazadera es tal, que la salida del transductor es cercana a cero. La escala que se muestra en la pantalla da un indicativo visual de la salida del transductor. Inicialmente el indicador triangular estará en el extremo derecho, como se muestra en la figura 102.



Figura 103 Unidad de Bombeo Convencional detenida en el final de la carrera descendente para la instalación del PRT.

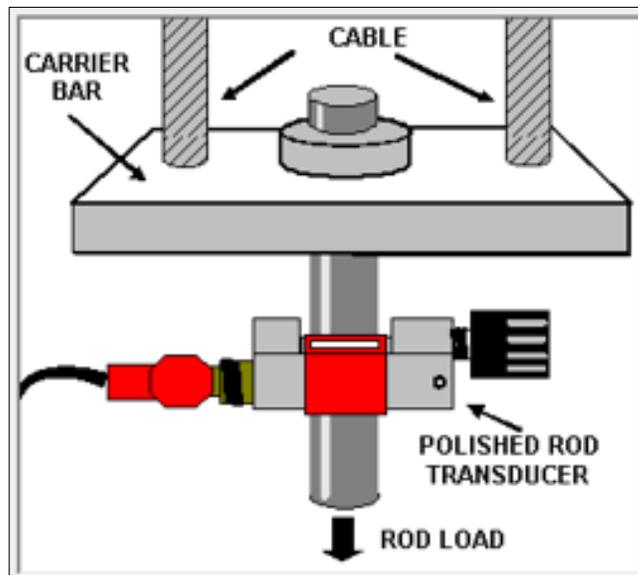


Figura 104 Diagrama de la instalación correcta del PRT.

Fuente: Manual de Operación Well Analyzer y Programa TWM

Es necesario ajustar cuidadosamente el tornillo del PRT hasta colocar el indicador en un rango de +1 a -1 tratando de acercarse a cero lo más que se pueda (figura 105).

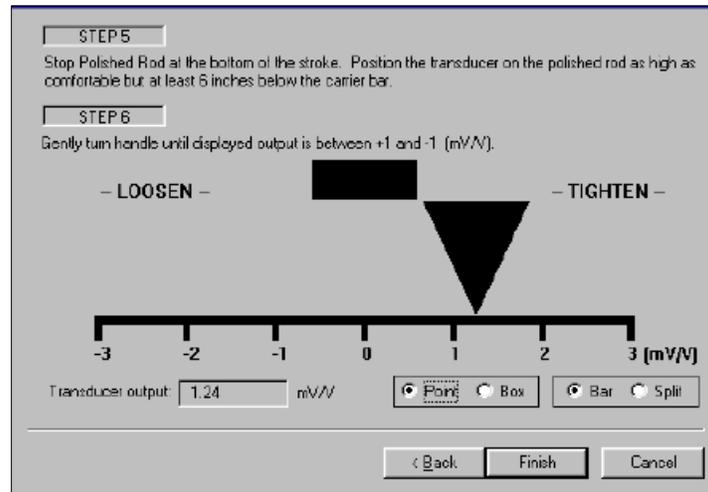


Figura 105 Ajuste del tornillo del PRT tratando de acercarse a cero.

Cuando se aprieta excesivamente aparece una visualización de advertencia como se muestra en la figura 106, puesto que apretar demasiado puede causar daños permanentes al transductor.

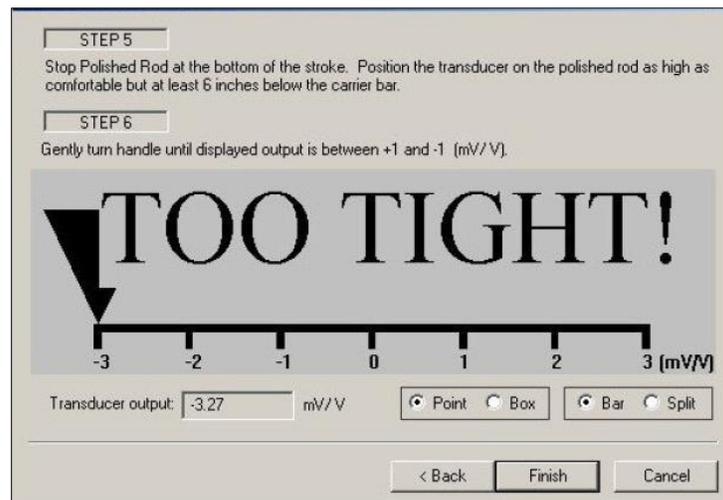


Figura 106 Visualización de Advertencia cuando se aprieta en exceso el tornillo del PRT contra la varilla pulida.

En la figura 107, el indicador esta cercano a cero, pero no en el rango de +1 a -1. El indicador se ha pasado más allá de cero, dentro de la región de “Aflojar” (Loosen), en este caso el operador deberá aflojar el tornillo de ajuste.

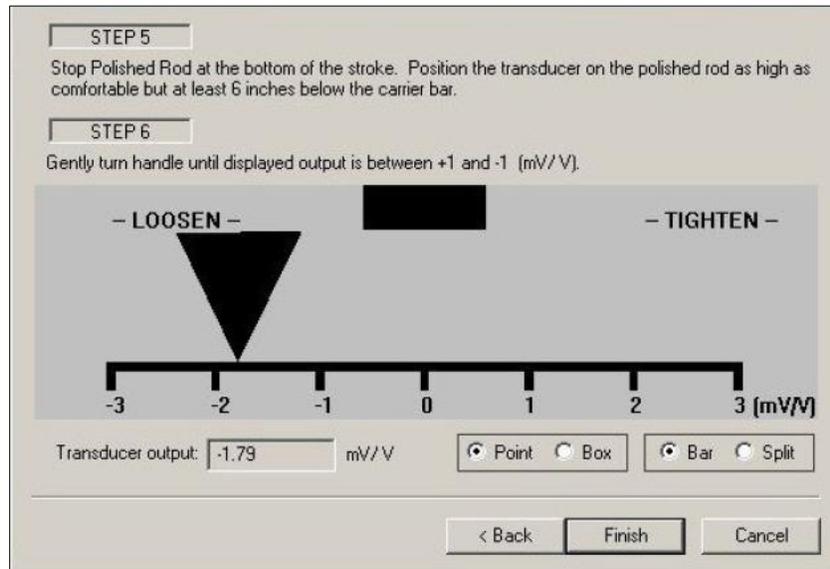


Figura 107 Indicador en la región de "Aflojar". El operador deberá aflojar el tornillo de ajuste del PRT, buscando acercarse al cero.

La instalación adecuada da como resultado un indicador cercano a cero (entre +1 y -1), como se muestra en la figura 108. En este momento se deberá seleccionar “Finalizar” (**Finish**), para continuar con el procedimiento.

Nota Importante: la Unidad de Bombeo se debe arrancar en este momento

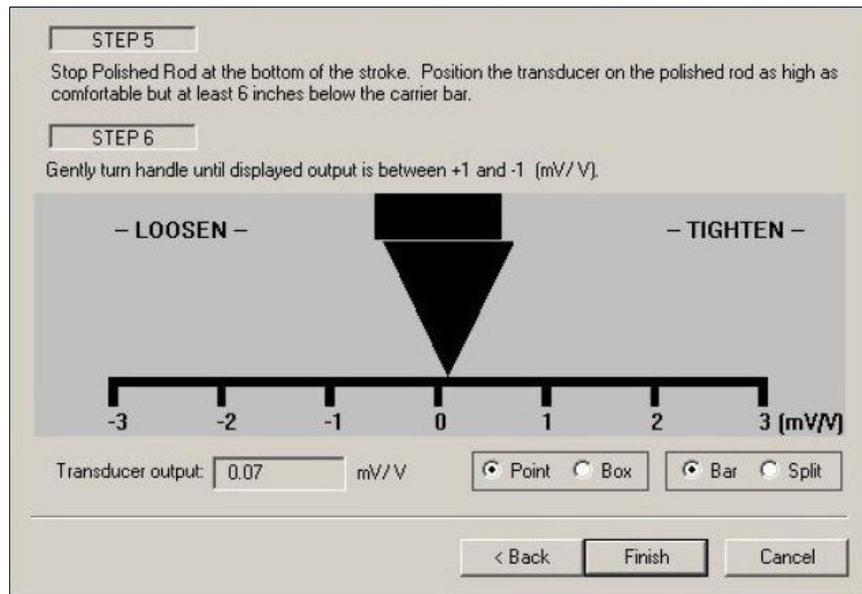


Figura 108 Indicador en la posición correcta para seguir el procedimiento.

8. Al oprimir finalizar, automáticamente se pasará a la siguiente pantalla (Figura 109), donde se visualizarán las cargas que se producen con el bombeo.

En esta pantalla el TWM permitirá la adquisición de datos en dos periodos de tiempo:

- a) Periodo de 1 minuto. (Oprimir **Alt-D**)
- b) Periodo abierto especificado por el operador. (Oprimir el botón **Start** o **Alt-S**)

MONITOREO DE NIVEL DE FLUIDO Y ANÁLISIS DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS POR MEDIO DE ECHOMETER® EN EL CAMPO INDEPENDIENTE

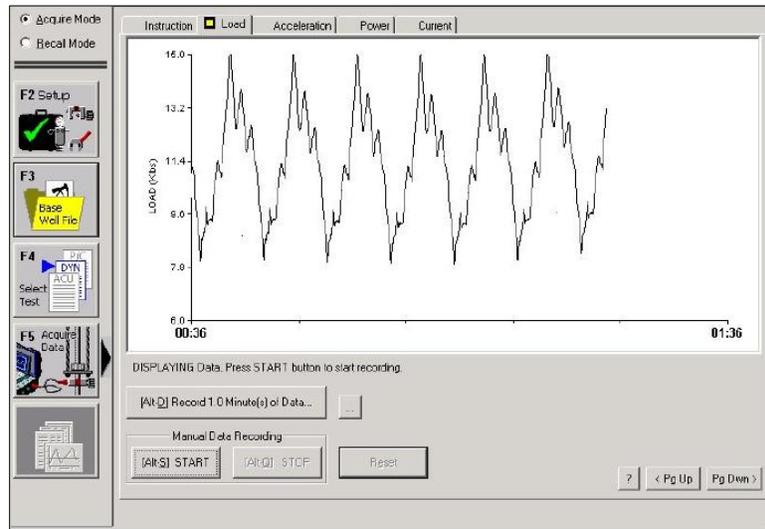


Figura 109 Pantalla de Inicio para grabar las cargas.

Una vez que el operador decida parar la prueba deberá oprimir el botón **Detener (Stop)** o **Alt-Q**. Automáticamente el TWM abre una pantalla de diálogo para preguntar si el operador desea guardar la información (figura 110). Si el operador está conforme con los datos adquiridos deberá oprimir el botón **Guardar (Save)**, de este modo almacenará la información para posteriormente. A partir de este momento, el operador puede desinstalar la celda de carga.

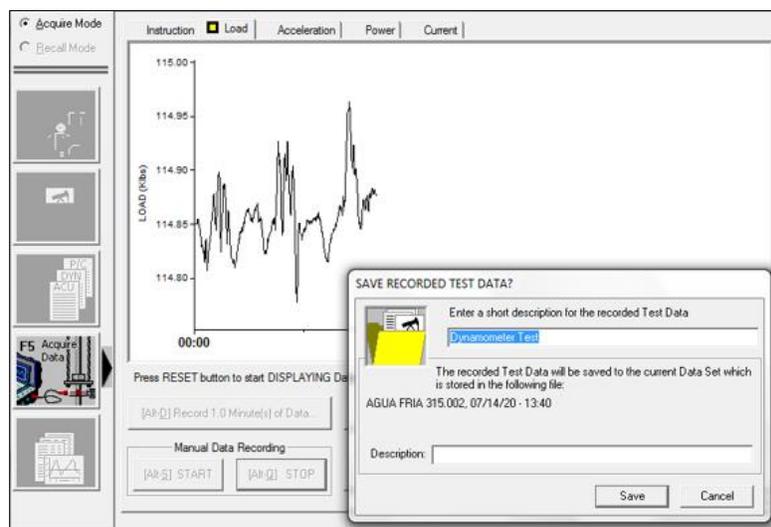


Figura 110 Cuadro de diálogo para guardar la información.

9. Después de que los datos se graban, el operador debe dirigirse a la sección de Analizar (**Analyze**). En esta sección deberá seleccionar la etiqueta Cartas Dinamométricas (**Dyna Cards**), para poder visualizarlas.

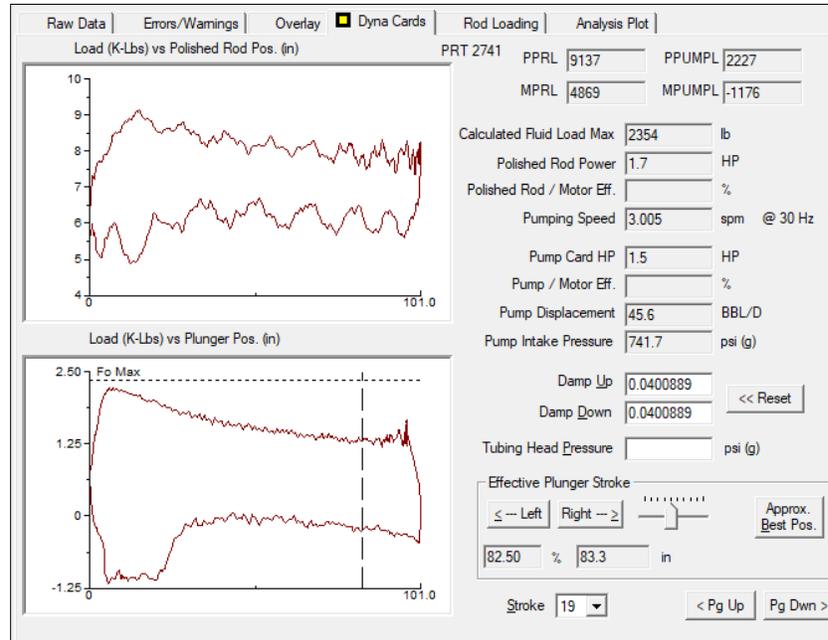


Figura 111 Visualización de Cartas Dinamométricas.

En esta pantalla (figura 111), se pueden observar dos Carta Dinamométricas:

- Carta Dinamométrica de Superficie. (Parte Superior).
- Carta Dinamométrica de Fondo (Parte Inferior).

En ambos casos como se ha mencionado anteriormente, las cargas son registradas como una función del desplazamiento de la varilla pulida durante uno o más ciclos de bombeo.

En la sección derecha la pantalla muestra datos medidos y calculados como:

- Carga máxima de la varilla pulida [PPRL], (Peak Polished Rod Load).
- Carga mínima de la varilla pulida [MPRL], (Minimum Polished Rod Load).
- Carga máxima de fluido calculada (Calculated Fluid Load Max) en libras.
- Velocidad de Bombeo (Pumping Speed) en emboladas por minuto.
- Desplazamiento de la Bomba (Pump Displacement) en barriles por día.
- Presión de entrada de la Bomba (Pump Intake Pressure) en psi.

Análisis de Cartas Dinamométricas

Debido a que la variación de las cargas en la varilla pulida es el resultado de las fuerzas actuando a lo largo de la sarta, y debido a que refleja la operación de la bomba, así como la del equipo de superficie, un análisis de las cargas medidas, refleja información valiosa de las condiciones bajo las cuales está operando el Bombeo Mecánico.

Esta información se ve reflejada en la Cartas Dinamométrica de fondo y de superficie, sin embargo, ésta última depende de varios factores como la profundidad de la bomba, material, diseño de la sarta de varillas de succión, velocidad de la bomba, tipo de unidad motriz, lo que hace más difícil el análisis de su forma. Por lo contrario, la carta dinamométrica de fondo sólo depende de las condiciones de la bomba y es mucho más fácil su análisis.

El análisis y diagnóstico de bombas subsuperficiales usando comparación de cartas dinamométricas de fondo con formas ya conocidas es bastante simple, siempre y cuando la carta dinamométrica de fondo calculada, coincida con una forma conocida. Para detectar con precisión problemas en las bombas, se deben comprender las razones detrás de las formas de las cartas dinamométricas. Se debe entender cómo la condición mecánica de la bomba y la presión del fluido afectan la forma de la carta dinamométrica.

Acción de las válvulas de la bomba subsuperficial en función de la presión

Para bombear fluido, tanto válvula fija como la viajera, deben abrir y cerrar durante un ciclo de bombeo. Si alguna válvula permanece abierta o cerrada, no se bombeará fluido. Para que la válvula viajera abra, la presión del barril de la bomba (P_b), debe exceder la presión (P_a) sobre la bomba. Para que la válvula fija abra, P_b debe ser menor que la entrada de presión a la bomba (P_i). Si la bomba está en buenas condiciones mecánicas y con llenado completo, al inicio de la carrera ascendente, la válvula viajera cierra y la válvula fija abre. Similarmente, al inicio de la carrera descendente la válvula viajera abre y la válvula fija cierra. En consecuencia, se forma el paralelograma característico de bomba llena. Para otras formas de cartas tales como fuga en válvulas, interferencia por gas y otros problemas, la explicación de la forma de la carta dinagráfica es un poco más compleja.

En la mayoría de los casos, comprender como cambia la presión del barril de la bomba durante el ciclo de bombeo es la clave para entender las formas de las cartas de fondo.

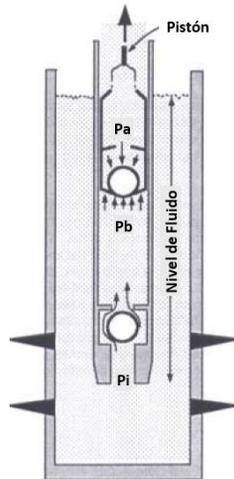
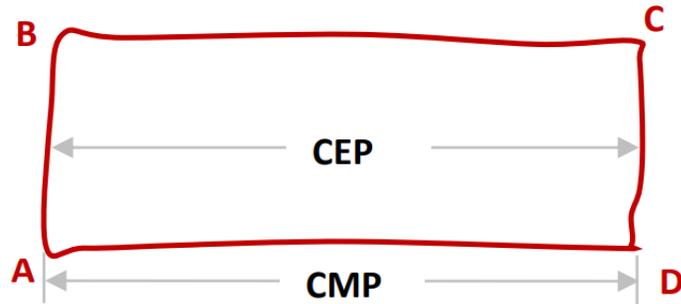


Figura 112 Diagrama de acción de válvulas debido a la presión en el Barril.

Carrera Máxima del Pistón (CMP) y Carrera Efectiva del Pistón (CEP).

Por definición, la Carrera Efectiva del Pistón (CEP), es la longitud que recorre el pistón cuando la carga total del fluido está actuando sobre la válvula fija. La CEP puede tener la misma longitud que la CMP, si la eficiencia del ciclo de bombeo es ideal, es decir, cuando el llenado de la bomba es completo. Sin embargo, no siempre es así ya que existen muchos factores que afectan la CEP, como la fuga en alguna de las válvulas, el llenado incompleto de bomba, existencia de gas en la bomba, que afectan la eficiencia del ciclo de bombeo reduciendo la longitud de la CEP, en consecuencia, hay menos fluido producido por embolada.



A: Punto muerto Inferior de la carrera C: Punto muerto superior de la carrera

Figura 113 Carrera Máxima del Pistón vs Carrera Efectiva del Pistón cuando hay un llenado completo de la Bomba.

Fuente: Oil Production Consulting, “Interpretación de Cartas Dinamo-métricas Básicas”

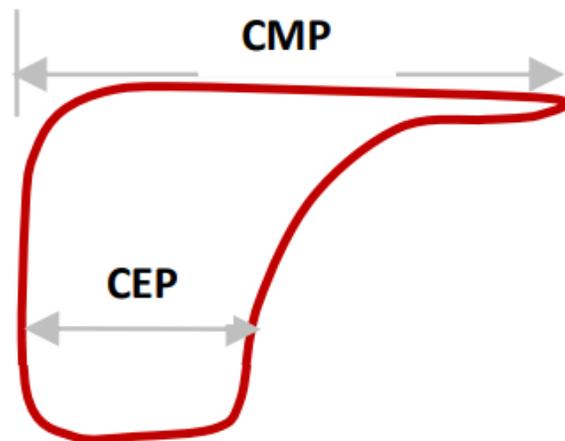


Figura 114 Carrera Máxima del Pistón vs Carrera Efectiva del Pistón cuando NO hay llenado completo de la Bomba debido a interferencia de gas.

Fuente: Oil Production Consulting, “Interpretación de Cartas Dinamo-métricas Básicas”

Formas comunes de Cartas Dinamométricas.

Interferencia por gas

La interferencia por gas es uno de los principales problemas encontrados en los pozos de Bombeo Mecánico. Esta condición de operación afecta severamente la bomba y la tasa de producción debido a que las válvulas no operan apropiadamente durante el ciclo de bombeo. Cuando hay interferencia por gas, una mezcla de líquido y gas libre están entrando en la bomba. La interferencia de gas, demora la apertura de la válvula viajera ya que una buena parte de la carrera descendente se emplea en comprimir el gas alojado en el barril de la bomba.

Para comprender mejor este comportamiento, debemos recordar que la presión en el barril de la bomba debe ser mayor que la presión sobre el pistón para abrir la válvula viajera. Para abrir la válvula fija, la presión en el barril de la bomba debe ser menor a la presión de la entrada de la bomba y que la presión en la tubería sobre el pistón de la bomba permanece constante durante todo el ciclo. En la figura 115, se analizarán las cargas en el pistón durante la carrera ascendente y descendente que le dan la forma típica de una carta dinamométrica que presenta interferencia por gas.

En el punto A, comienza el ciclo con la carrera ascendente. Sin embargo, debido a la expansión del gas presente en el barril de la bomba, no se alcanza rápidamente la presión necesaria para que la válvula fija abra y comience la admisión de líquido. En el punto B, se ha alcanzado la presión de apertura de la válvula fija y el líquido está entrando en el barril de la bomba. Esto continúa hasta el punto C, no obstante, una parte significativa de la embolada se ha desperdiciado. En el punto C, el pistón de la bomba ha alcanzado el tope de su recorrido y se acerca a una parada instantánea antes de empezar la carrera descendente.

MONITOREO DE NIVEL DE FLUIDO Y ANÁLISIS DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS POR MEDIO DE ECHOMETER® EN EL CAMPO INDEPENDIENTE

En el punto D, el pistón se está moviendo hacia abajo y la válvula fija se ha cerrado. La válvula viajera también está cerrada debido a que la presión que está por arriba de ella es mayor que la presión que está por debajo de esta misma válvula hasta este momento. A pesar de ello, la presión en el barril está aumentando lo que provoca que la carga en las varillas esté disminuyendo.

En el punto E, el pistón ha bajado lo suficiente para comprimir la mezcla de gas y líquido, elevando la presión dentro del barril de la bomba. Esto reduce la carga en las varillas. Hasta este punto la presión en el barril de la bomba sigue siendo menor que la presión sobre el pistón, por lo tanto, la válvula viajera permanece cerrada.

En el punto F, el pistón ha bajado lo suficiente para comprimir el fluido en el barril de la bomba a una presión mayor que la que está sobre el pistón. En este momento la válvula viajera abre y el fluido en el barril de la bomba es transferido a la tubería. A partir del punto F, la válvula viajera permanecerá abierta hasta el final de la carrera descendente.

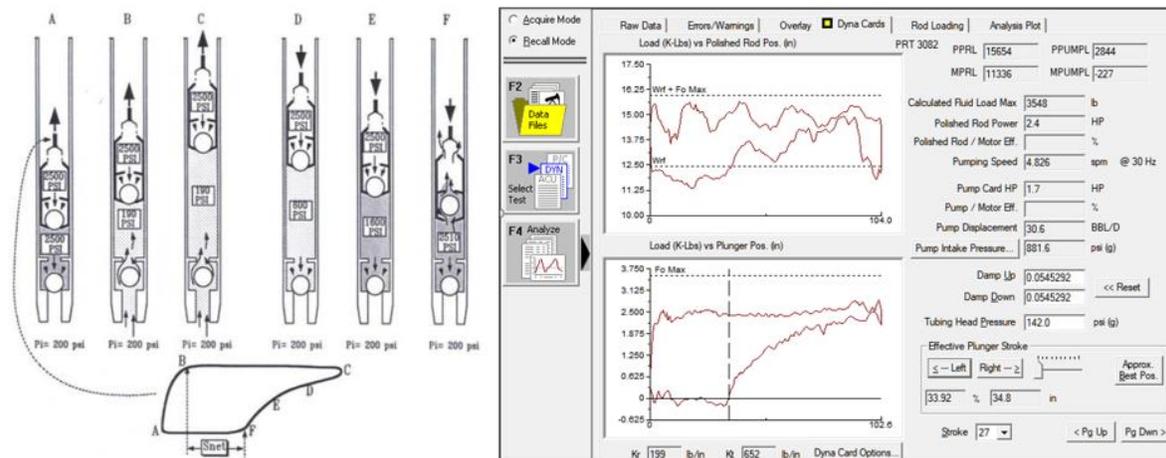


Figura 115 Carta Dinamo-métrica con Interferencia de Gas.

Como resultado de la Interferencia de Gas, tenemos una producción de líquido muy pobre ya que la presencia del gas reduce considerablemente la carrera efectiva (del punto B hasta el punto F), desperdiciando gran parte del ciclo de bombeo.

Golpe de fluido

El golpe de fluido se debe al llenado incompleto de la bomba, debido a que la velocidad de bombeo supera la tasa de producción aportada por la formación. La figura 116, muestra lo que sucede dentro de la bomba cuando existe Golpe de fluido.

En el punto A, comienza la carrera ascendente. La válvula viajera cierra y la válvula fija se abre, permitiendo la entrada del fluido al barril de la bomba. Desde el punto A hasta el punto B, el pistón soporta toda la carga del fluido. Sin embargo, debido a que no hay suficiente fluido para llenar el barril de la bomba, al final de la carrera ascendente la bomba está parcialmente llena con líquido y parcialmente con gas a baja presión.

Al no haber líquido al iniciar la carrera descendente, no se alcanza la presión necesaria dentro del barril para abrir la válvula viajera, así que permanece cerrada. En el punto D, se produce un golpe del pistón contra el fluido. En este instante, la válvula viajera abre y el fluido se transfiere rápidamente del pistón a la tubería. Debido a que, en el momento del golpe, el pistón ha viajado cerca su velocidad máxima, el pistón, el barril de la bomba, la válvula viajera y las varillas están sujetos a un fuerte impacto como se muestra en la figura 116. Este impacto sobre el fluido a alta velocidad es la causa de muchos problemas asociados a golpe de fluido.

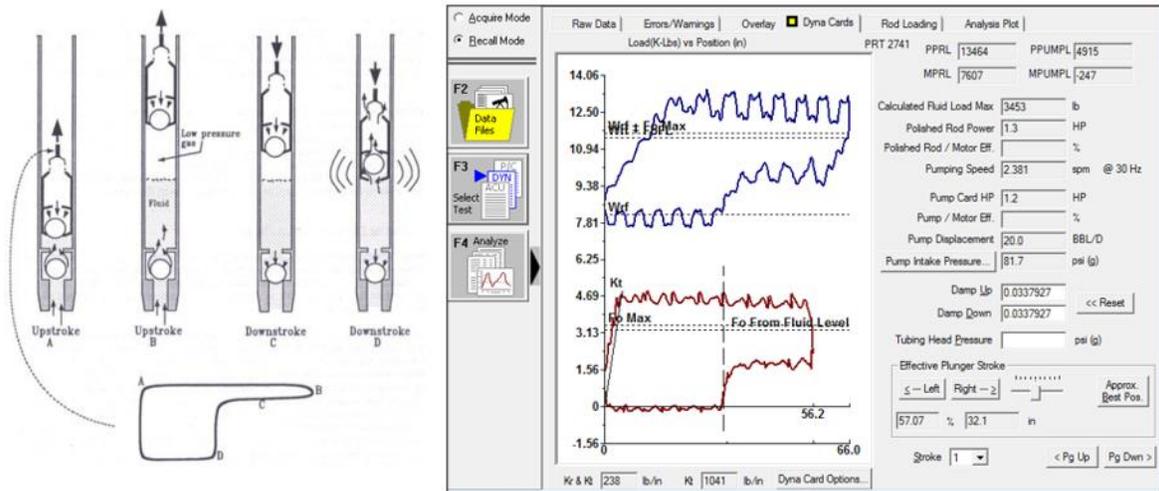


Figura 116 A la izquierda, diagrama de una Carta Dinamométrica con Golpe de fluido. A la derecha, Carta Dinamométrica real con golpe de fluido.

Fuga en Válvula Viajera

Para comprender la forma de una fuga por válvula viajera, debemos recordar que una carta dinamométrica de fondo representa los cambios de carga con respecto a la posición sobre el pistón. En este caso. La principal característica de la forma de esta carta dinamométrica es lo redondeado de las esquinas superiores de la carta. Esto sucede porque la válvula viajera no puede retener completamente la carga del fluido como sucede en una carta con llenado completo de la bomba.

Al iniciar la carrera ascendente, el pistón toma la carga del fluido. Pero, debido a que el fluido está fugando a través de la válvula viajera hacia el barril de la bomba y dependiendo de la severidad de la fuga, la válvula viajera podrá o no, retener la carga completa del fluido. La carga máxima del fluido en el pistón ocurre aproximadamente a la mitad de la carrera donde el pistón viaja a su máxima velocidad. Sin embargo, después de este punto, al bajar la velocidad del pistón, la fuga provoca una pérdida paulatina de la carga sobre el pistón a medida que se acerca al final del recorrido.

MONITOREO DE NIVEL DE FLUIDO Y ANÁLISIS DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS POR MEDIO DE ECHOMETER® EN EL CAMPO INDEPENDIENTE

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

En la figura 117, se observa la forma característica de una carta dinamo métrica con fuga en válvula viajera.

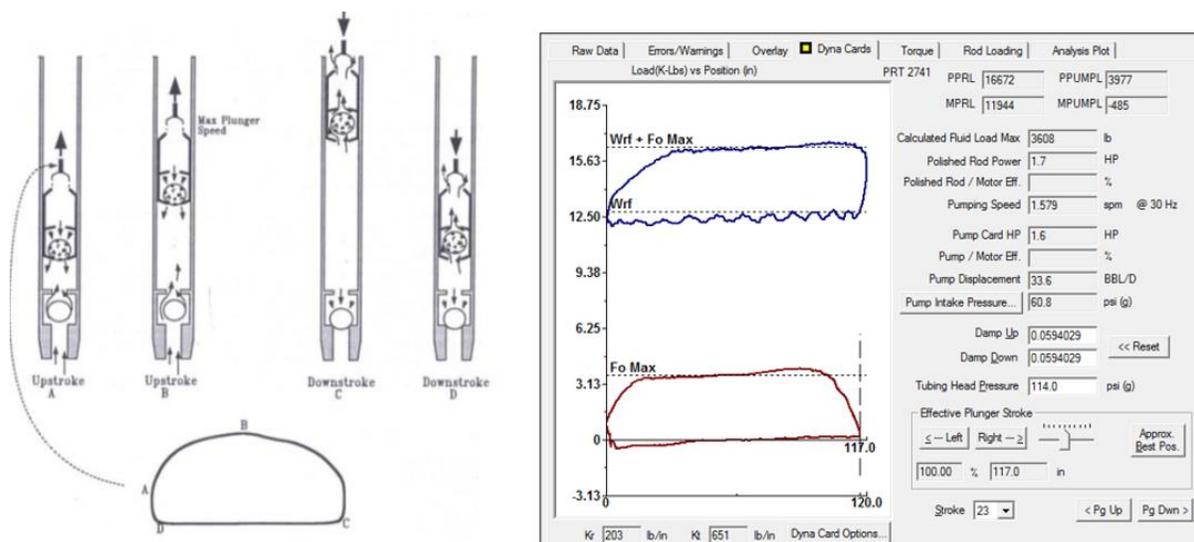


Figura 117 A la izquierda, diagrama de una Carta Dinamométrica con Fuga en Válvula Viajera. A la derecha, Carta Dinamométrica real con ligera fuga en válvula viajera.

Fuga en Válvula Fija

La forma de una Carta Dinamométrica de fondo correspondiente a fuga en válvula fija, es una imagen de espejo de la forma de una carta para fuga en la válvula viajera.

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

Si la válvula fija está en buenas condiciones, al iniciar el pistón la carrera descendente comprime el fluido en el barril de la bomba. Esto hace que la presión en el barril aumente rápidamente superando la presión que se encuentra por encima del pistón. Esto abre la válvula viajera y transfiere la carga del fluido a las varillas de succión. Sin embargo, debido al desgaste de la válvula fija, la presión en el barril de la bomba no puede aumentar con suficiente rapidez ya que el fluido se está fugando, a través de la válvula fija. Dependiendo de la severidad de la fuga puede no ser posible liberar completamente la carga del fluido. La carga mínima de fluido sobre el pistón durante la carrera descendente ocurre aproximadamente a la mitad del recorrido, cuando el pistón alcanza su velocidad máxima. Mientras el pistón desacelera, la fuga del fluido provoca aumento de carga en el pistón. Al pasar el fluido por la válvula fija disminuye la presión dentro del barril de la bomba. Esto resulta en un aumento cada vez mayor de la carga de fluido sobre el pistón mientras su velocidad disminuye hacia el final de la carrera descendente.

En la figura 118, se puede observar la forma de la carta dinamométrica con fuga en válvula fija real y el comportamiento de las válvulas en una bomba subsuperficial con esta falla.

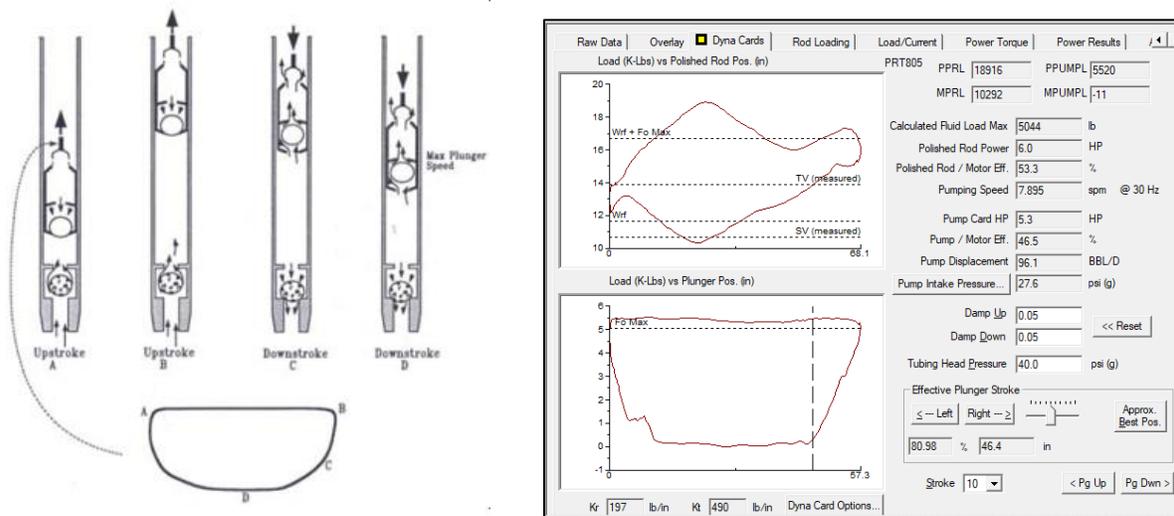


Figura 118 Izquierda, diagrama de una Fuga en Válvula Fija. Derecha, una Carta Dinamométrica de fondo con Fuga en Válvula Fija.

Tubería No Anclada

Cuando la tubería no está anclada o si el ancla no está sujetando, la forma de la carta dinamométrica de fondo para bomba llena se inclina a la derecha. La Figura 119, ayuda a explicar la razón de esta forma. Para comprender esta forma recordemos que cuando la válvula viajera abre durante la carrera descendente, la carga del fluido es transferida del pistón a la tubería. Esto provoca estiramiento de la tubería. Cuando la válvula viajera cierra durante la carrera ascendente, se transfiere la carga de fluido de la tubería a las cabillas. Esto hace que la tubería retorne a su posición no-estirada como se ve en la Figura 119. Cuando el pistón comienza a subir en el punto A, la válvula viajera empieza a tomar la carga del fluido mientras la presión en el barril de la bomba comienza a caer. Cuando el pistón comienza a tomar la carga del fluido de la tubería, la tubería empieza a contraerse. En un primer momento la tubería y la válvula fija suben a la misma razón que el pistón. Ya que la distancia relativa entre la válvula viajera y la fija permanece constante, la carga en el pistón no cambia.

Al aumentar la velocidad del pistón, rápidamente alcanza la tasa de contracción de la tubería y en el punto B, el pistón ha recogido más del 50% de la carga del fluido. Finalmente, en el punto C, la tubería ha retornado a su posición no estirada y el pistón ha recogido completamente la carga del fluido. De C a D la válvula viajera ha cerrado, la válvula fija está abierta, y el pistón soporta la carga de fluido. Por lo tanto, la carga de fluido en el pistón permanece constante.

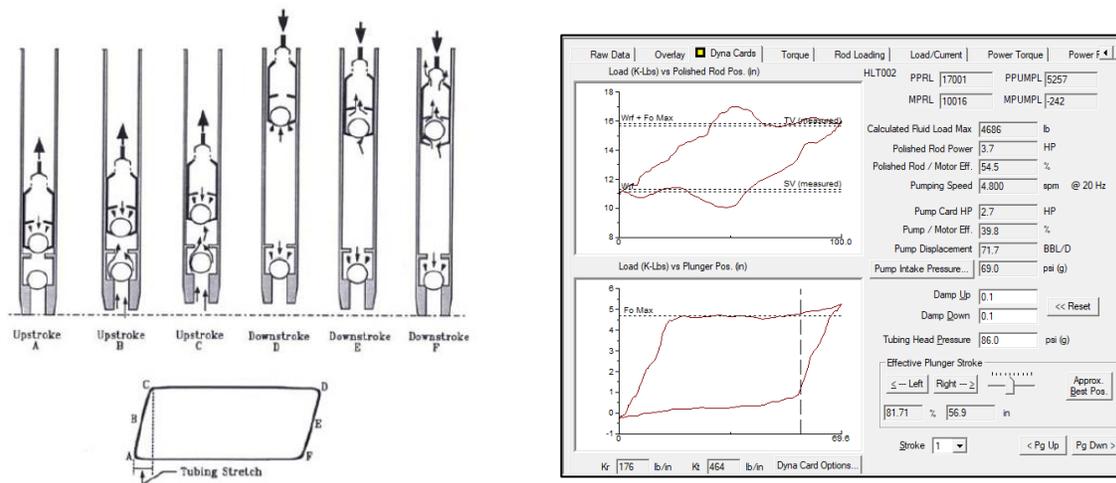


Figura 119 Carta Izquierda, diagrama de una tubería no anclada. Derecha, carta dinamométrica de una tubería no anclada. Fuente: UPCO, Venezuela

Ancla de tubería funcionando mal

Si el ancla de tubería funciona mal, puede resultar en una carta dinamométrica de fondo con forma similar a la de la figura 120. En el punto A, al empezar el ascenso del pistón, el ancla de tubería está reteniendo y el pistón empieza a recoger la carga del fluido. En el punto B, el ancla de tubería se afloja y sube.

MONITOREO DE NIVEL DE FLUIDO Y ANÁLISIS DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS POR MEDIO DE ECHOMETER® EN EL CAMPO INDEPENDIENTE

Cuando esto sucede, la tubería (y la válvula viajera) están subiendo a la misma velocidad que el pistón. Durante el corto periodo de tiempo que esto ocurre (desde B hasta B'), la distancia relativa entre la válvula viajera y la válvula fija permanece constante y no suceden cambios de carga. Pero, a medida que el pistón aumenta su velocidad, rápidamente recoge toda la carga del fluido en el punto C. Como se ve en la Figura 120, del punto B' hasta C la carta dinagráfica tiene la forma característica de tubería desanclada.

Durante el resto de la carrera ascendente (desde el punto C hasta el punto D) nada más cambia y por ello la carga continúa constante.

Cuando el pistón empieza a moverse hacia abajo, el ancla de tubería se mantiene desde D hasta E, pero se mueve en E resultando en una forma similar a la de la carrera ascendente.

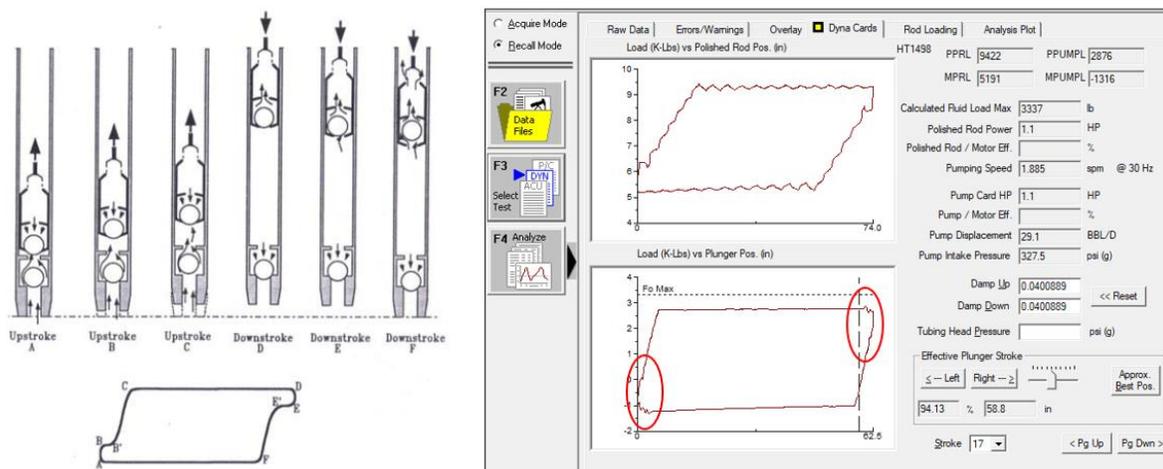


Figura 120 Izquierda, diagrama de un mal funcionamiento de tubería anclada. Derecha, carta dinamométrica con ligera falla en el anclaje de la tubería.

Pistón Golpeando la Bomba en la carrera descendente

Cuando el pistón está espaciado muy abajo, puede estar golpeando el fondo de la bomba al final de la carrera descendente. Cuando esto ocurre, un gran impacto compresivo reduce la carga del pistón como se muestra en el punto D.

En la figura 121, se muestra la forma de una carta dinamo­métrica con golpe de bomba, la única diferencia entre esta forma y la forma de una carta dinamo­métrica de bomba con llenado completo, es el pico de carga justo al final de la carrera descendente. Sin embargo, el golpe de bomba puede estar acompañada de cualquier otra forma.

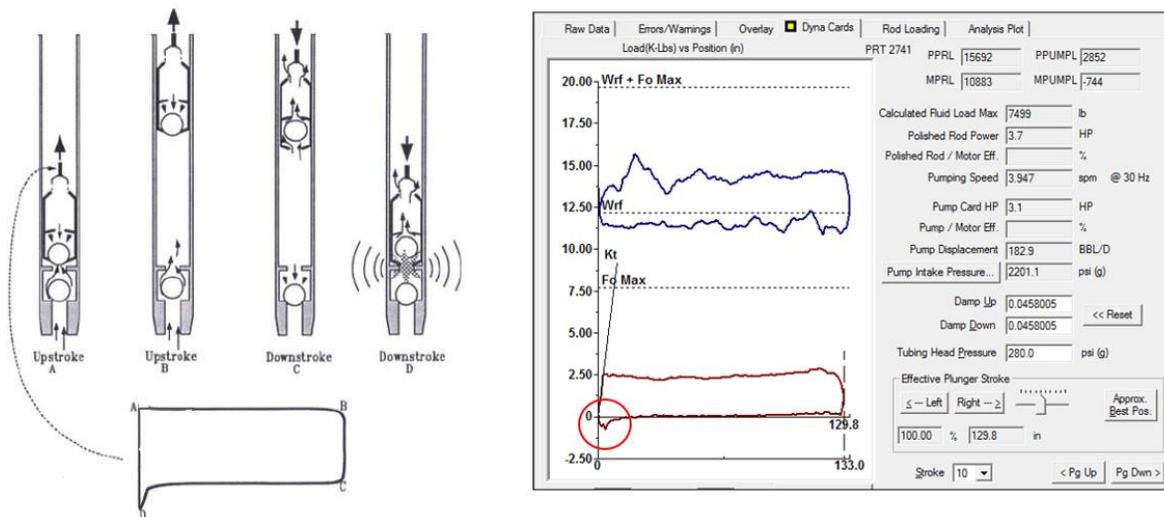


Figura 121 Izquierda, diagrama de un golpe de bomba en carrera descendente. Derecha, carta dinamo­métrica con golpe en el fondo de la bomba. Fuente: UPCO, Venezuela

Pistón Golpeando la Bomba en la Carrera Ascendente

Esta condición es un Golpe de Bomba, pero a diferencia de la anterior, ésta ocurre al final de la carrera ascendente cuando el pistón golpea la cima de la Bomba debido a un mal espaciamiento, provocando un impacto que incrementa la carga del pistón.

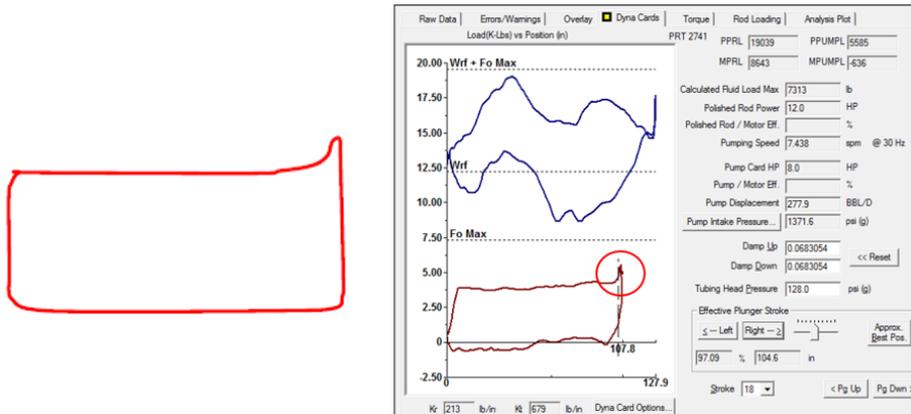


Figura 122 Carta Dinamométrica con Golpe de Bomba en la carrera ascendente

Barril de la Bomba Abollado

La figura 123, ayuda a explicar la forma para un barril de bomba abollado. En el punto A el pistón está por debajo de la sección dañada y la carga sobre el pistón es la misma que para bomba llena. Cuando el pistón alcanza la obstrucción en el punto B, la carga sobre el pistón aumenta ya que el pistón debe escurrirse por esta porción del barril de la bomba. La carga del pistón llega al máximo en el punto C y luego baja mientras el pistón se aleja de la obstrucción.

En la carrera descendente, la carga sobre el pistón es normal hasta que el pistón llega al punto dañado en el barril en el punto E. Luego de este punto, la carga del pistón decrece hasta el punto F, y luego regresa a la normalidad después que el pistón se aleja de la porción dañada del barril de la bomba.

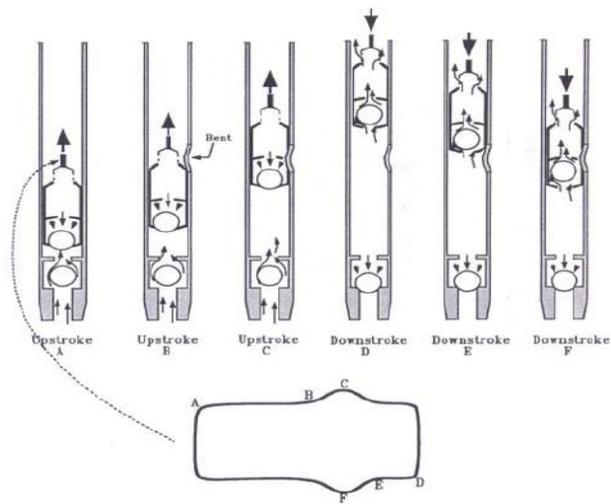


Figura 123 Diagrama de una carta dinamométrica con la bomba abollada

Fuente: UPCO, Venezuela

Barril de la Bomba Desgastado o Partido

Cuando el barril de la bomba está gastado o partido, la carta dinagráfica de fondo puede tener una forma como la de figura 124, desde el principio de la carrera ascendente en el punto A hasta el punto gastado en el barril, las cargas son normales. Cuando el pistón atraviesa la porción gastada del barril en C, una fuga de líquido pasa el pistón causando una caída de carga hasta que el pistón pasa la sección desgastada y se establece de nuevo un buen sello entre el pistón y el barril.

En la carrera descendente, ya que la válvula viajera permanece abierta, la carga del pistón parece normal. Sin embargo, si el barril de la bomba está desgastado, se puede ver un aumento de carga correspondiente al mismo punto.

Esto puede suceder si la sección desgastada causa suficiente pérdida de presión en el barril de la bomba para que la válvula viajera comience a tomar la carga del fluido.

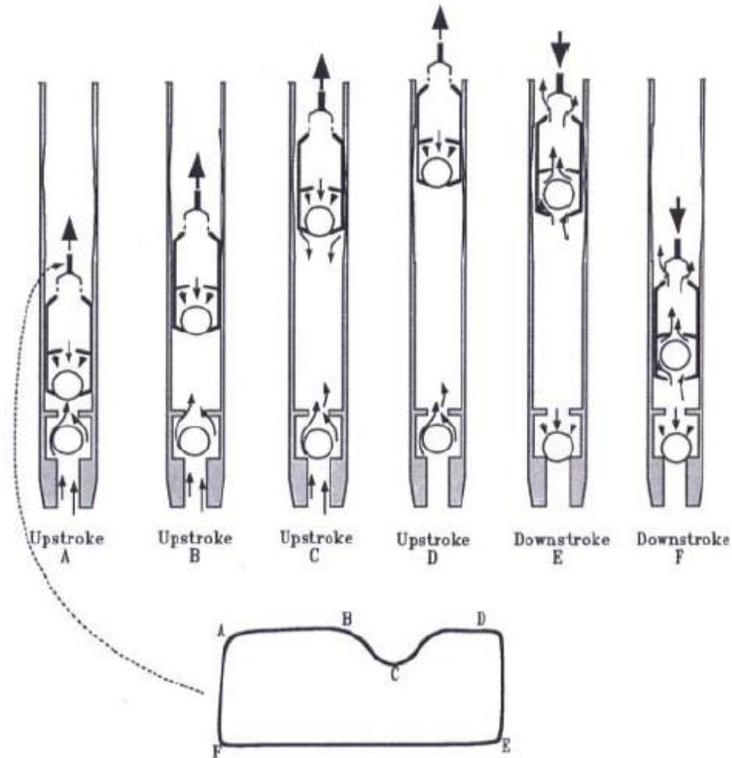


Figura 124 Diagrama de carta dinamométrica con el Barril Desgastado o Partido

Fuete: UPCO, Venezuela

Bomba Bloqueada por Gas

Es una condición que se produce en ocasiones en un pozo de bombeo mecánico cuando el gas que se encontraba disuelto en el aceite, es liberado de la solución durante la carrera ascendente del émbolo, y aparece como gas libre entre las válvulas. En la carrera descendente, la presión dentro de un barril completamente lleno de gas no alcanza nunca la presión necesaria para abrir la válvula viajera. En la carrera ascendente, la presión dentro del barril nunca disminuye lo suficiente para que la válvula fija se abra y permita que el líquido ingrese en la bomba. Por lo tanto, no entra ni sale fluido de la bomba y la bomba se bloquea. No causa fallas en el equipo, pero con una bomba que no funciona, el sistema de bombeo es inútil. La reducción en la tasa de bombeo va acompañada por un aumento de nivel de fluido en el casing. En muchos casos de bloqueo por gas, el aumento en el nivel de fluido, también incrementa la presión del fondo del pozo y puede superar la presión en el barril y el líquido puede ingresar a través de la válvula estacionaria. Después de algunas carreras, ingresa líquido suficiente en la bomba y se quiebra el bloqueo por gas, por lo que la bomba funciona normalmente.

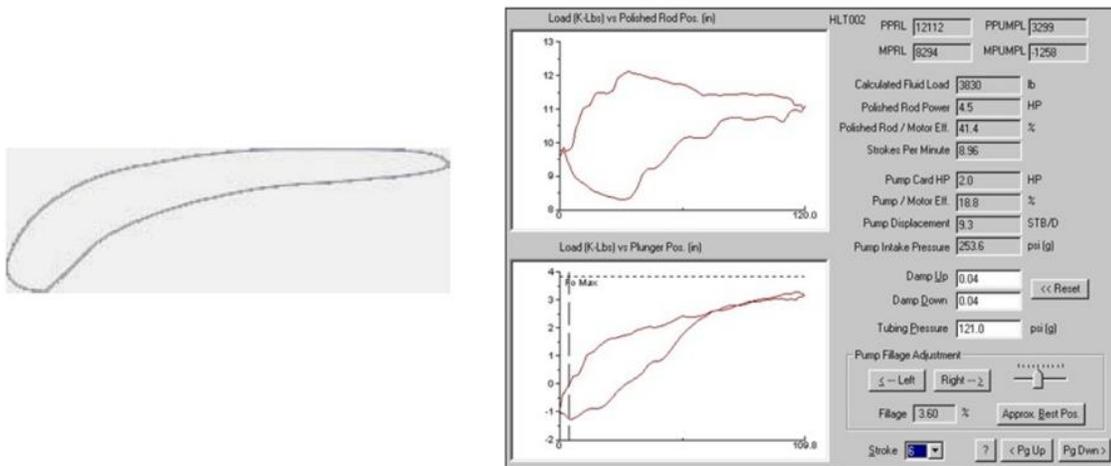


Figura 125 Bomba bloqueada por gas

MONITOREO DE NIVEL DE FLUIDO Y ANÁLISIS DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS POR MEDIO DE ECHOMETER® EN EL CAMPO INDEPENDIENTE

Bomba Severamente Dañada, Varillas Rotas o Pozo Fluyente

Estas tres condiciones, coinciden en la misma forma. Sin embargo, se pueden diferenciar por la producción en superficie. El pozo fluyente aportará fluido a producción, caso contrario con las otras dos condiciones. Cuando la bomba se encuentra severamente dañada, solo se registran las cargas de fluido en los mínimos de la bomba, muy por debajo del 20% y se corrobora con el nivel de fluido cerca de la superficie. Y cuando las varillas se encuentren rotas se registrará una carga menor que la suma del peso total de las varillas de succión. En la figura 127, se muestran las cartas dinamométricas correspondientes a una bomba dañada y un pozo con varillas rotas.

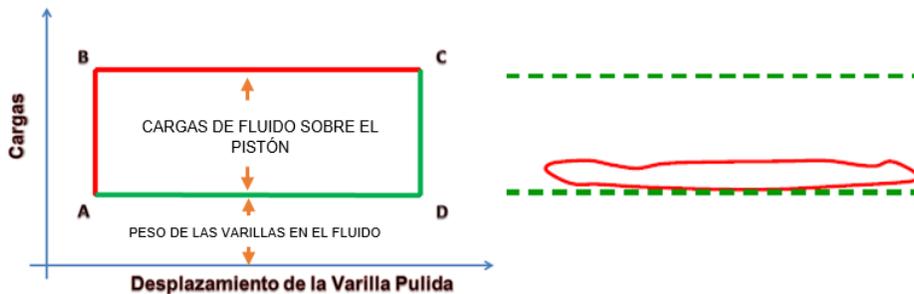


Figura 126 Diagrama de una Carta Dinamométrica con la Bomba Severamente dañada, Varillas Rotas o Pozo Fluyente

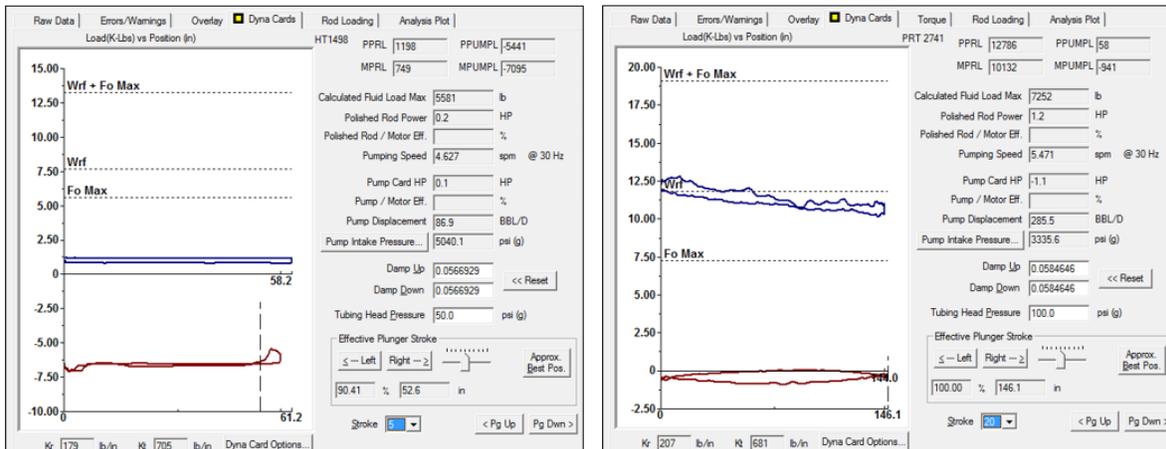


Figura 127 Izquierda, Carta Dinamométrica con Varillas rotas. Derecha, Carta Dinamométrica con Bomba Severamente Dañada

Combinación de dos o más problemas de la bomba.

El análisis de cartas dinámométricas de fondo resulta sencillo si alguna de sus formas coincide con las formas antes mencionadas. Sin embargo, con frecuencia se hallan formas que corresponden a una combinación de condiciones de la bomba. Esto hace considerablemente más difícil determinar que está pasando. Cuando ocurren dos o más problemas de bomba subsuperficial simultáneamente, la carta dinámométrica calculada será una combinación de todos los problemas. Por ejemplo, la figura 128, muestra la forma correspondiente a una combinación de tubería desanclada y fuga en la válvula viajera.

La inclinación a la izquierda en la carta de tubería desanclada y la inclinación a la izquierda de la carta de válvula viajera con fuga, se suman para dar una mayor inclinación. Las inclinaciones en el lado derecho de las cartas están en direcciones opuestas. Por lo tanto, se cancelan una de la otra dando un lado vertical a la carta combinada. Este ejemplo muestra cómo se pueden tener varias combinaciones de condiciones de bombas que pueden resultar en la forma de la carta calculada con el programa de diagnóstico TWM.

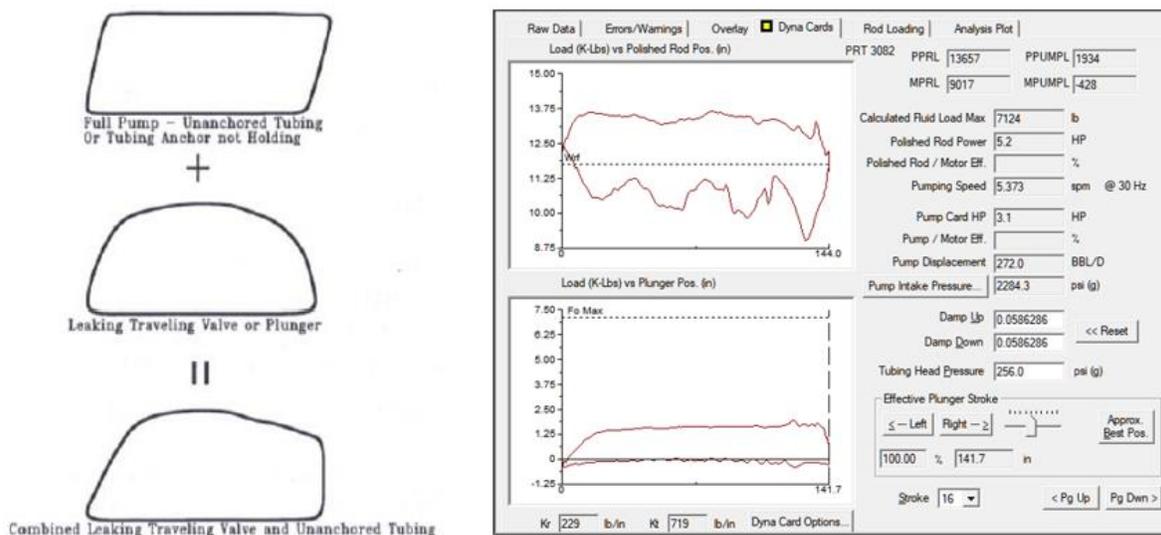


Figura 128 Bomba no anclada y fuga en válvula viajera en una sola carta dinámométrica.

MONITOREO DE NIVEL DE FLUIDO Y ANÁLISIS DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS POR MEDIO DE ECHOMETER ® EN EL CAMPO INDEPENDIENTE

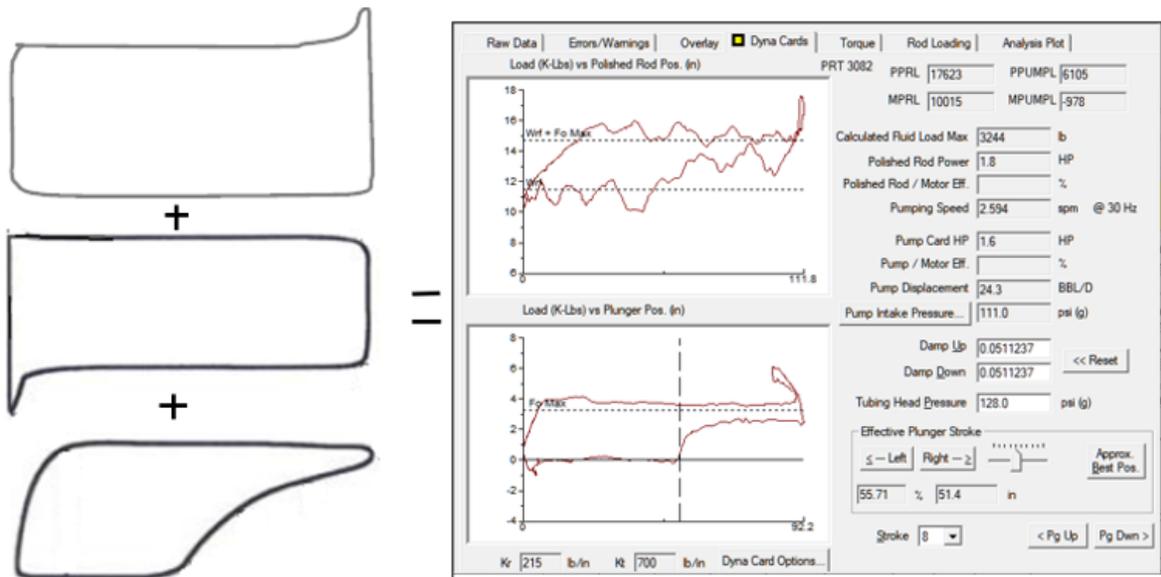
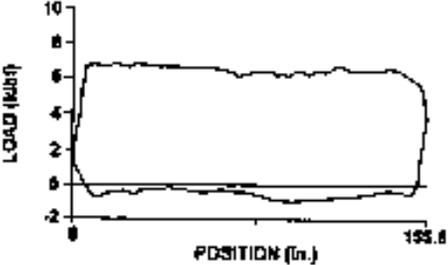
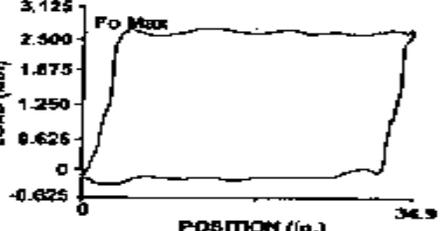
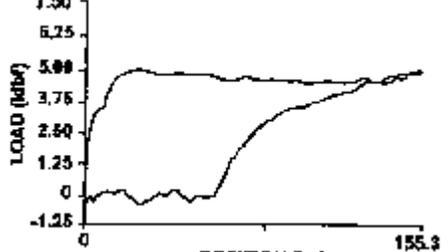


Figura 129 Bomba con interferencia de gas y golpe de bomba en carrera ascendente y descendente en una carta dinamométrica.

Fuente: UPCO, Venezuela

Tabla 2 Resumen de Cartas Dinamométricas de Fondo Típicas

Fuente: Bommer P. & Podio A. "The Beam Lift Handbook" University of Texas at Austin

Carta de Fondo	Diagnóstico
 <p>The graph shows a load profile that is nearly constant at approximately 6 kN/m from 0 to 155.8 m. The y-axis is labeled 'LOAD (kN/m)' and ranges from -2 to 10. The x-axis is labeled 'POSITION (m.)' and ranges from 0 to 155.8.</p>	<p align="center">Bomba Llena con Tubería Anclada.</p>
 <p>The graph shows a load profile that is nearly constant at approximately 2.5 kN/m from 0 to 34.9 m. The y-axis is labeled 'LOAD (kN)' and ranges from -0.625 to 3.125. The x-axis is labeled 'POSITION (m.)' and ranges from 0 to 34.9. A peak is labeled 'FO MAX'.</p>	<p align="center">Bomba Llena sin Ancla.</p>
 <p>The graph shows a load profile that starts at 0, rises to about 1.5 kN/m, then to 3.0 kN/m, and remains constant until 35.1 m. The y-axis is labeled 'LOAD (kN/m)' and ranges from -0.5 to 3.0. The x-axis is labeled 'POSITION (m.)' and ranges from 0 to 35.1.</p>	<p align="center">Golpe de Fluido con Tubería Desanclada.</p>
 <p>The graph shows a load profile that starts at 0, rises to about 5.0 kN/m, and remains constant until 155.3 m. The y-axis is labeled 'LOAD (kN/m)' and ranges from -1.25 to 7.50. The x-axis is labeled 'POSITION (m.)' and ranges from 0 to 155.3.</p>	<p align="center">Interferencia de Gas.</p>

MONITOREO DE NIVEL DE FLUIDO Y ANÁLISIS DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS POR MEDIO DE ECHOMETER ® EN EL CAMPO INDEPENDIENTE

	<p align="center">Pistón Atascado</p>
	<p align="center">Fuga en la Válvula Viajera</p>
	<p align="center">Fuga en Válvula Fija</p>
	<p align="center">Rotura Profunda de la Varilla</p>
	<p align="center">Rotura Media de la Varilla</p>

MONITOREO DE NIVEL DE FLUIDO Y ANÁLISIS DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS POR MEDIO DE ECHOMETER® EN EL CAMPO INDEPENDIENTE

	<p align="center">Retraso en la Apertura de la Válvula Viajera</p>
	<p align="center">Barril de la Bomba Perforado</p>
	<p align="center">Nivel de Fluido Alto</p>

Como se ha podido observar, la interpretación de las cartas de fondo permite identificar problemas mecánicos de la bomba como fuga por válvulas o pistón y problemas con el manejo de fluidos como la interferencia por gas o golpe de fluido. Esto ayuda a evitar innecesarias entradas de maquinaria o identificar problemas como un mal espaciamiento de la bomba, que se puede corregir sin entrada de maquinaria, haciendo más rentable la extracción.

Capítulo V Casos de Estudio en el Campo Independiente

Descripción del Campo Independiente

Antecedentes Históricos

El Campo Independiente se ubica en el Estado de Veracruz. Se localiza en la planicie costera del Golfo de México, en la provincia geológica de la Cuenca Tampico-Misantla (figura 130).

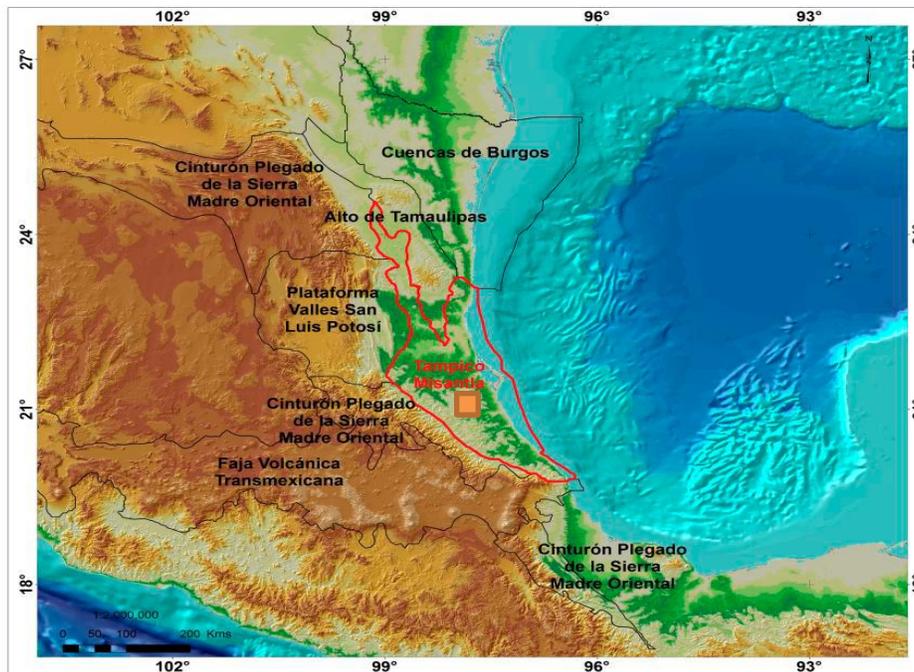


Figura 130 Plano de ubicación del Campo Independiente

MONITOREO DE NIVEL DE FLUIDO Y ANÁLISIS DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS POR MEDIO DE ECHOMETER® EN EL CAMPO INDEPENDIENTE

La roca almacenadora del Campo Independiente, corresponde a rocas carbonatadas de la formación Tamabra del Cretácico Medio, con aceite negro de 31° API de densidad, porosidad en el rango de 12 a 19 %, saturado con casquete primario de gas y entrada parcial de agua, la permeabilidad promedio es de 5-25 mD. Su mecanismo de empuje es combinado: gas disuelto y expansión roca-fluido.

El campo fue descubierto en marzo de 1930 con la perforación y terminación del pozo exploratorio Independiente-1, productor de aceite. Dos años más tarde se inició su desarrollo con el pozo Independiente-2.

Presentando una presión de yacimiento inicial de 200 Kg/cm^2 la presión actual es del orden de 110 Kg/cm^2 , con una caída de presión de 90 Kg/cm^2 total, lo que representa una caída anual de 1 Kg/cm^2 .

Hasta el 1 de enero del 2019 se tiene un total de 626 pozos, de los cuales 276 están operando, 238 cerrados y 112 taponados.

La producción acumulada al 1 de enero de 2019 fue de 1,422 MMbls y 1,922 MMMpc, con una producción de 9,363 barriles de aceite por día.

Estado Actual

El campo Independiente cuenta con un volumen original probado de aceite de 4,810 MMbls y 4,827 MMMpc de gas, una producción acumulada de aceite negro de 1,422 MMbls y 1,922 MMMpc de gas (para la formación Tamabra, tabla 3).

Tabla 3 Volúmenes originales de aceite y gas, al 1 de enero del 2019

Categoría	Volumen Original de Aceite	Volumen Original de Gas
	MMb	MMMpc
1P	4,809.7	4,826.8
2P	4,809.7	4,874.1
3P	4,809.7	4,878.7

Tabla 4 Reservas de Aceite, Gas y PCE, al 1 de enero del 2019, Campo Independiente

Categoría	Aceite	Gas	PCE
	MMb	MMMpc	MMb
1P	30.5	33.7	35.4
2P	66.0	80.9	77.8
3P	127.2	143.2	148.2

El Campo Independiente cerró el mes de abril de 2019 con un gasto bruto (Qb)= 29,196 bpd, un gasto de aceite (Qo)= 9,363 bpd y un gasto de gas (Qg)=7.42 MMpcd de gas.

Los factores de recuperación de aceite y gas estimados al 1 de enero de 2019, para cada una de las categorías de reservas remanentes se muestran en la tabla 5.

Tabla 5 Factores de Recuperación (Fro), Campo Independiente

	1P		2P		3P	
	Fro	Frg	Fro	Frg	Fro	Frg
	%	%	%	%	%	%
Actual	29.6	39.8	29.6	39.4	29.6	39.4

Los pozos productores más comunes son verticales, que en su gran mayoría fluyen por una TP de 2 7/8" y solo 3 pozos esbeltos que fluyen por la TR de 3 1/2". El cálculo de gastos de producción inicial se aproxima con base en un proceso de optimización a través de un análisis del comportamiento de pozo o nodal. Para definir las condiciones de productividad de los pozos se analiza la información de aforos, datos de presiones (estáticas y fluyentes), comportamiento de producción del aceite, gas y agua, así como de parámetros del fluido y petrofísicos para determinar la relación del comportamiento de afluencia, índices de productividad, potenciales y la capacidad de transporte de las tuberías de producción y con esto llevar a cabo el diseño y optimización del sistema de producción. En la figura 131, se muestra la configuración del estado mecánico de pozos tipo del Campo Independiente.

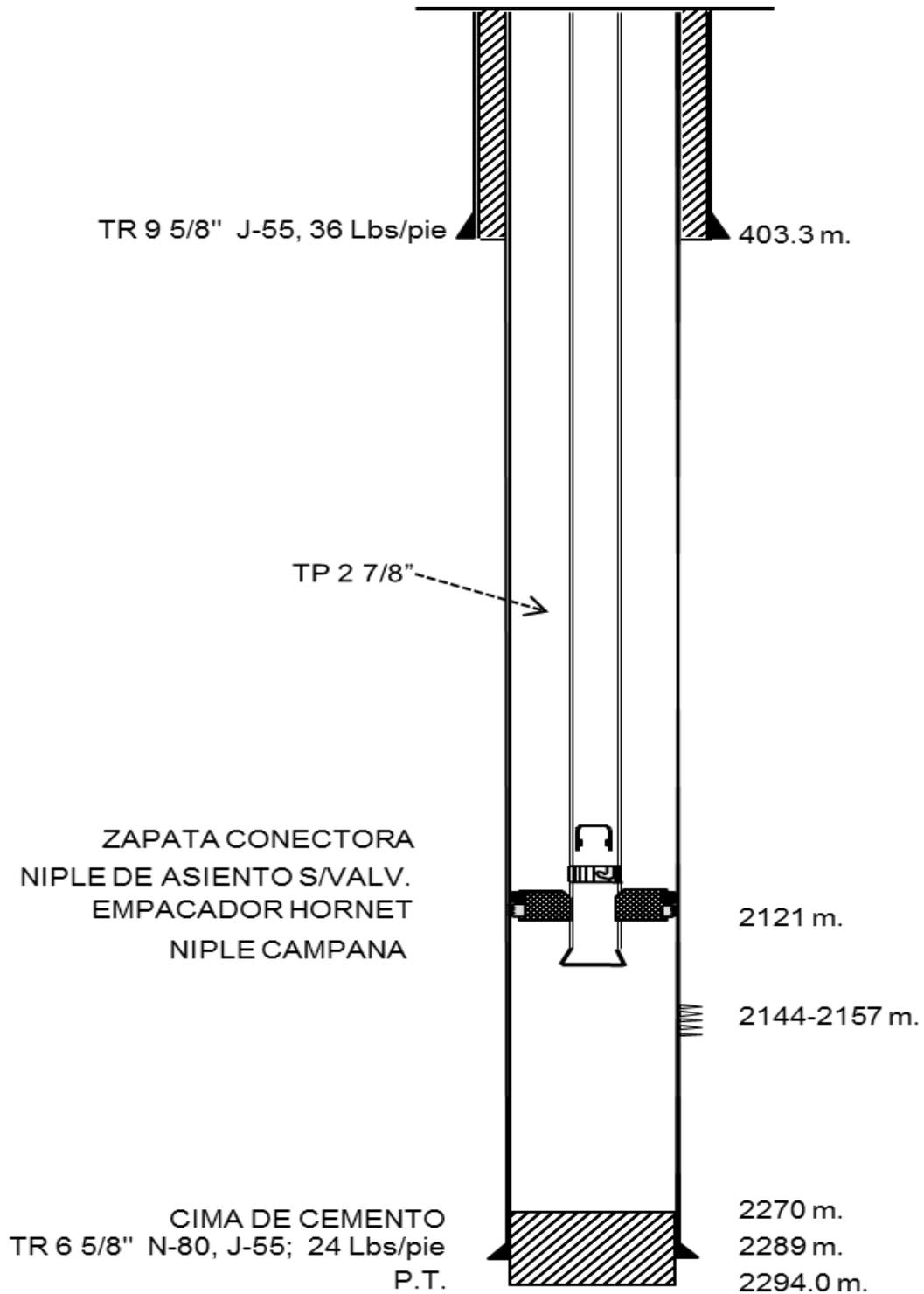


Figura 131 Estado Mecánico de pozo tipo Vertical con TR corrida

Problemática del Campo Independiente

Debido al largo tiempo de vida productiva del Campo, se encuentra en una fase de declinación. También los precios del aceite y el gas tienen un gran peso en los resultados al no permitir la perforación de nuevos pozos e instalación de nueva infraestructura. Bajo estas circunstancias se hace necesario un análisis profundo en la optimización de los procesos de bombeo que permitan el monitoreo, mantenimiento y aumento de la producción base, haciendo uso de tecnologías disponibles y capacitación del personal.

En la siguiente sección se darán a conocer las condiciones más comunes en el Campo Independiente, se realizará toma de información, se interpretarán los resultados y se darán recomendaciones para la corrección del funcionamiento de los elementos de bombeo.

Casos de Estudio

Para poder realizar un buen análisis del sistema de bombeo es necesario contar con la mayor cantidad de información posible, algunos de estos parámetros son:

Antes de la Adquisición de Datos

- Tipo de Unidad de Bombeo
- Longitud de Carrera
- Presión en Tubería de Producción
- Estado Mecánico
 - Profundidad del Intervalo Productor
 - Profundidad de la Bomba
 - Tipo de la bomba
 - Profundidad de Ancla Mecánica (si se cuenta con ella)
- Estado de las Válvulas laterales de la Tubería de Revestimiento (abierta o cerrada)
- Presión en la Tubería de Revestimiento
- Viscosidad y Densidad del aceite

Después de la Adquisición de Datos

- Profundidad del Nivel de Fluido
- Sumergencia Total de la Bomba

- Sumergencia Efectiva de la Bomba
- Peso calculado de las varillas en flotación
- Peso calculado de las varillas en flotación más el peso del fluido
- Carga máxima de la varilla pulida (PPRL)
- Carga mínima de la varilla pulida (MPRL)
- Carga máxima de fluido calculada
- Velocidad de Bombeo
- Desplazamiento teórico de la Bomba
- Presión de entrada de la Bomba

A continuación, a modo de ejemplo, se realizará el monitoreo del Sistema de Bombeo de pozos del Campo Independiente para evaluar su funcionamiento. Si el análisis muestra alguna condición que impida el óptimo desempeño del sistema, se evaluará la posibilidad de corregirlo in situ, o bien, si la condición de operación implica el reemplazo de algún componente del sistema o la remoción de algún tipo de sedimento, se hará la recomendación pertinente.

El Pozo Independiente-17

Es un pozo produciendo por medio de Bombeo Mecánico y opera bajo las siguientes condiciones:

- UBM **C-320-256-144**
- Carrera intermedia de **120 (pg)**
- Presión en TP de **15 Kg/cm²**
- Tubería de Revestimiento **cerrada a tanque.**
- Presión en Tubería de Revestimiento de **50 (psi)**
- Intervalo productor **1118- 1362 (m)**
- Profundidad de la entrada de la Bomba **1221 (m)**
- Tipo de bomba **25-150-RHBM/AC-16-5-4**
- **No** cuenta con Ancla Mecánica
- Con el siguiente Estado Mecánico (figura 132):

POZO INDEPENDIENTE-17

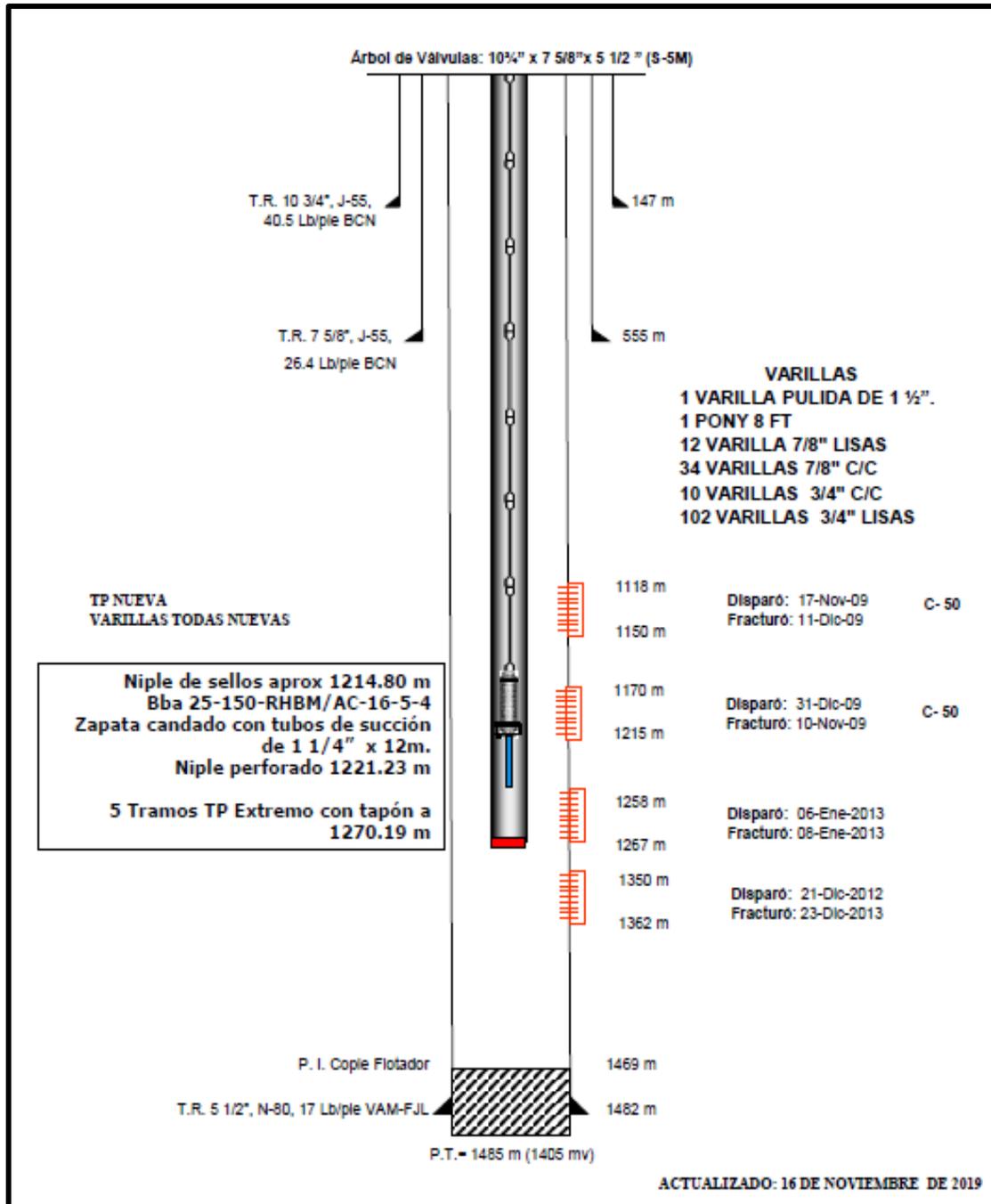


Figura 132 Estado Mecánico del Pozo Independiente-17

Monitoreo de Nivel de Fluido por medio del Echometer®

Se procede a realizar la conexión de la pistola a gas en la TR y se mide una presión en tubería de 50 (psi). Al tener baja presión en la TR, se decide cargar la pistola a gas a una presión de 300 (psi) para realizar el disparo. Después del disparo, se obtiene la información que se muestra en la figura 133 y que se enlista a continuación:

- Detección del Nivel de Fluido a **7.621** segundos
- Profundidad de Nivel de Fluido **1219.83** metros
- Sumergencia Total: **1** metro
- Sumergencia Efectiva: **1** metro

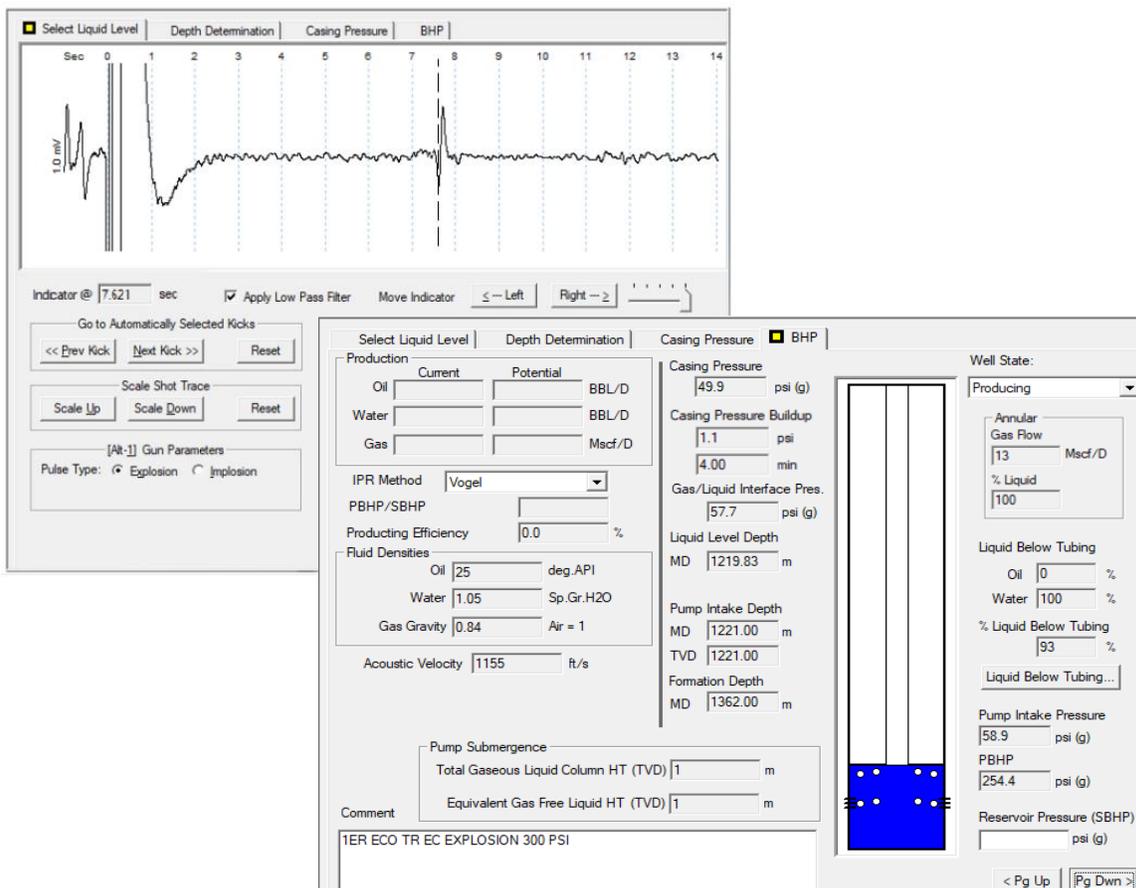


Figura 133 Monitoreo del Nivel de Fluido del Pozo Independiente-17

MONITOREO DE NIVEL DE FLUIDO Y ANÁLISIS DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS POR MEDIO DE ECHOMETER® EN EL CAMPO INDEPENDIENTE

Como se puede observar en el Estado Mecánico, la entrada de la bomba se encuentra a 1221 metros de profundidad y el nivel de fluido arrojado por el TWM es de 1220, lo que nos indica que la bomba se encuentra sumergida 1 metro en el fluido.

Obtención de Carta Dinamométrica

Después de la instalación del equipo de medición se obtiene la información que se muestra en la figura 134 y que se enlista a continuación:

- Carrera Total del Pistón en la Bomba: **103** pulgadas
- Carrera Efectiva: **36.5** pulgadas
- Desplazamiento de la bomba teórico: **26.4** barriles por día
- Velocidad de bombeo: **1.895** emboladas por minuto

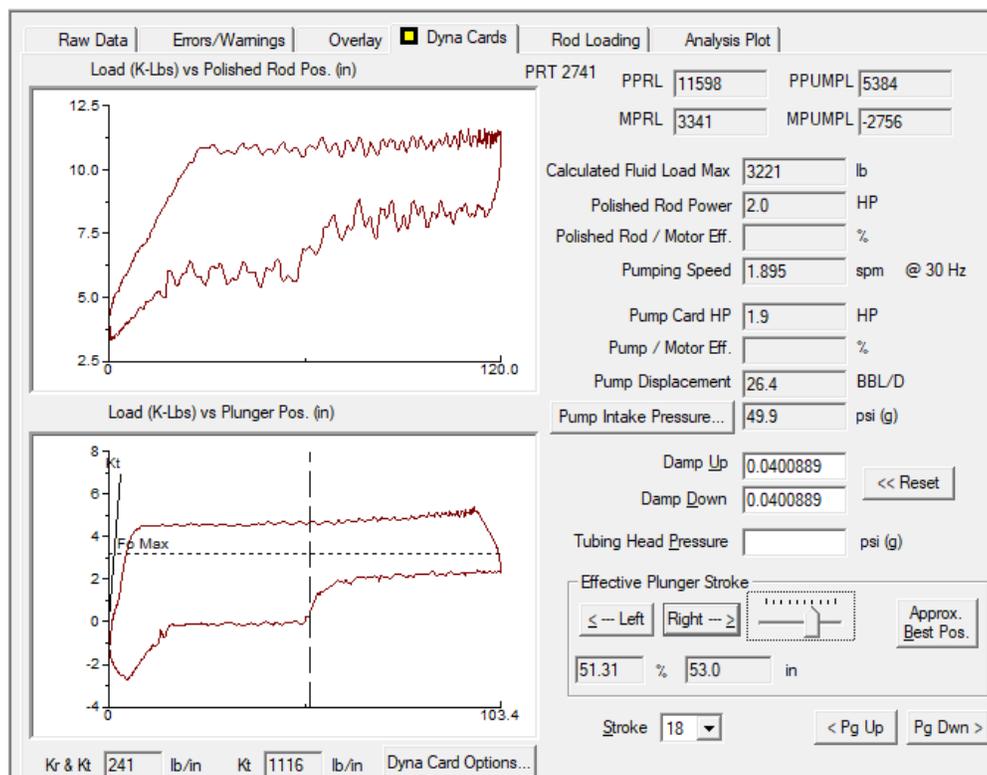


Figura 134 Carta dinamométrica del Pozo Independiente-17

Análisis de información obtenida

La forma de la carta dinamométrica indica una combinación de condiciones entre las cuales se encuentra un golpe de bomba al final de la carrera descendente, un golpe de fluido y una ligera interferencia de gas. El bajo nivel dinámico que se observa en la figura 133, confirma el llenado incompleto de la bomba.

Posibles causas del problema

El bajo nivel de fluido, en la mayoría de las ocasiones se debe a la falta de sincronía entre el aporte del yacimiento hacia el pozo y la velocidad de bombeo, de tal manera que la bomba puede dejar sin fluido al pozo, observándose en superficie una producción muy pobre.

El golpe de bomba se debe a un mal espaciado del pistón dentro del barril de la bomba, provocando un impacto del pistón en la base del barril.

La interferencia por gas es causada por la acumulación de gas disuelto liberado durante el llenado de la bomba, lo cual impide una apertura oportuna de la válvula viajera.

Posibles soluciones

En este caso se recomienda bajar la velocidad de bombeo para permitir el restablecimiento del pozo con el fin de garantizar el llenado de la bomba. Sin embargo, se considera la posibilidad de incrementar el nivel de fluido, reduciendo la presión del espacio anular, con el propósito de disminuir la contrapresión que ejerce la columna de gas y líquido al yacimiento. Para este propósito se abre la válvula del espacio anular para que el gas fluya hacia el tanque de almacenamiento. Se espera que la interferencia por gas desaparezca con el llenado completo de la bomba.

El golpe de bomba que se observa en la carta dinamométrica se corrige re-espaciando la bomba. Esta operación consiste en aumentar la distancia entre válvulas a modo de eliminar el impacto entre ellas. Esta acción no requiere de la intervención de equipo adicional ya que consiste en sujetar la varilla pulida más debajo de su posición actual, tanto como lo indique la carta dinamométrica. De acuerdo a la carta dinamométrica mostrada en la figura 135, el Golpe de Bomba comienza a las 16.5 pulgadas, así que para aumentar el espacio entre las válvulas y corregir la anomalía, se deberá colocar la grampa de 17 a 19 pulgadas más abajo de su posición actual.

MONITOREO DE NIVEL DE FLUIDO Y ANÁLISIS DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS POR MEDIO DE ECHOMETER® EN EL CAMPO INDEPENDIENTE

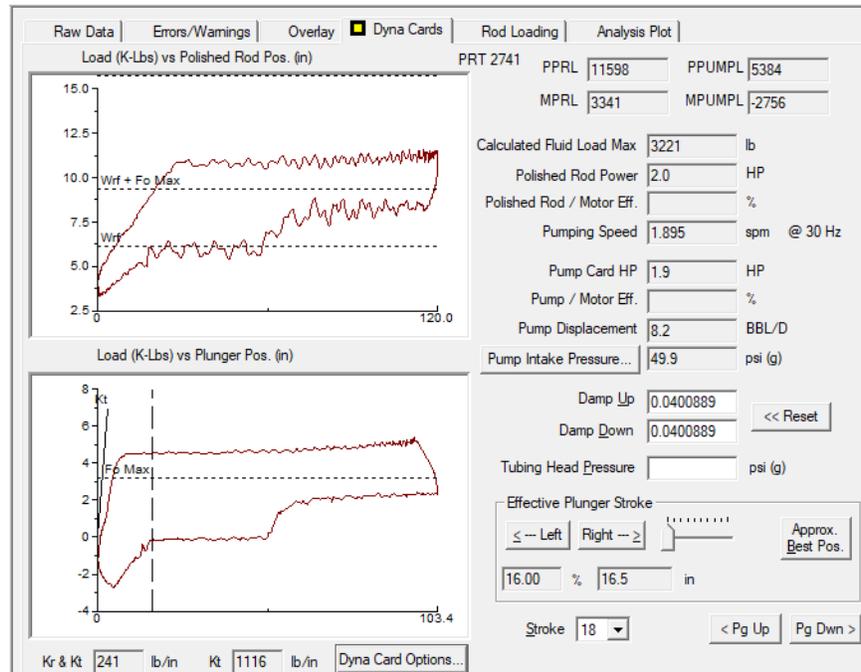


Figura 135 Identificación del comienzo del Golpe de Bomba.

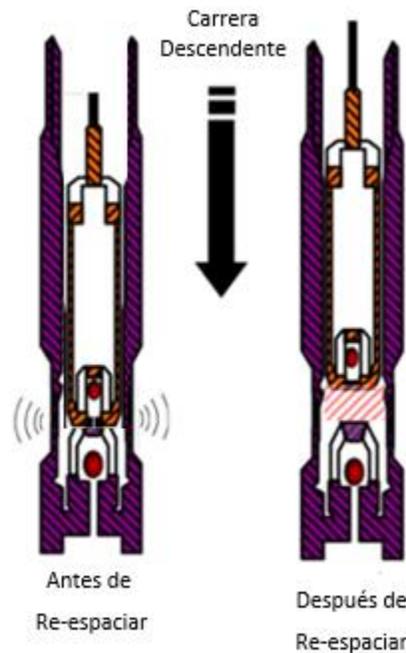


Figura 136 Re-espaciado de la Bomba

MONITOREO DE NIVEL DE FLUIDO Y ANÁLISIS DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS POR MEDIO DE ECHOMETER® EN EL CAMPO INDEPENDIENTE

Resultado de las acciones realizadas in situ

Después de liberar el gas del espacio anular, se volvió a tomar información con los resultados que se muestran en la figura 137 y 138.

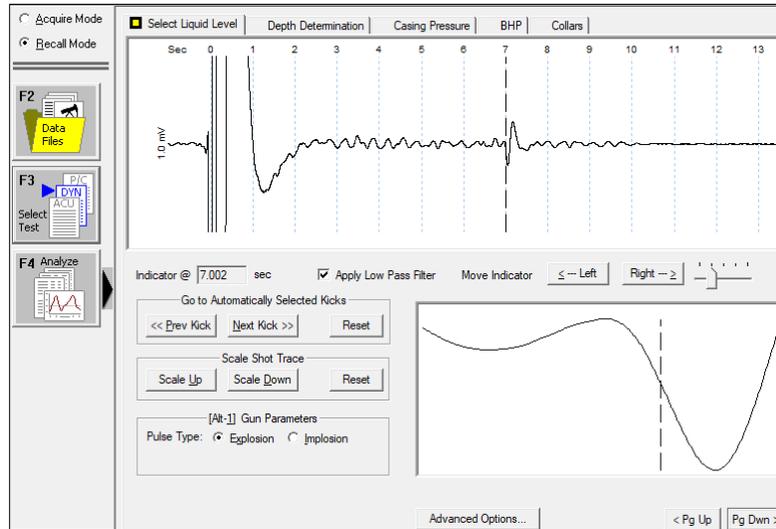


Figura 137 Detección del Nivel de Fluido

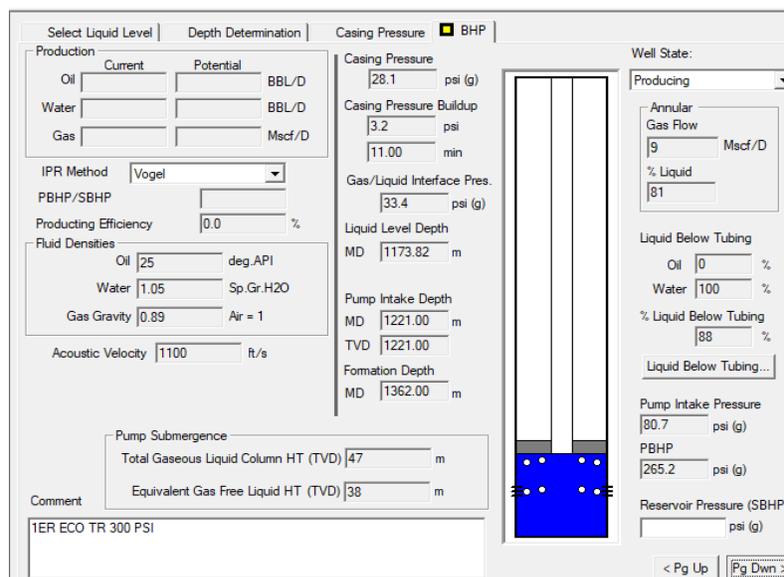


Figura 138 Nivel de Fluido

MONITOREO DE NIVEL DE FLUIDO Y ANÁLISIS DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS POR MEDIO DE ECHOMETER® EN EL CAMPO INDEPENDIENTE

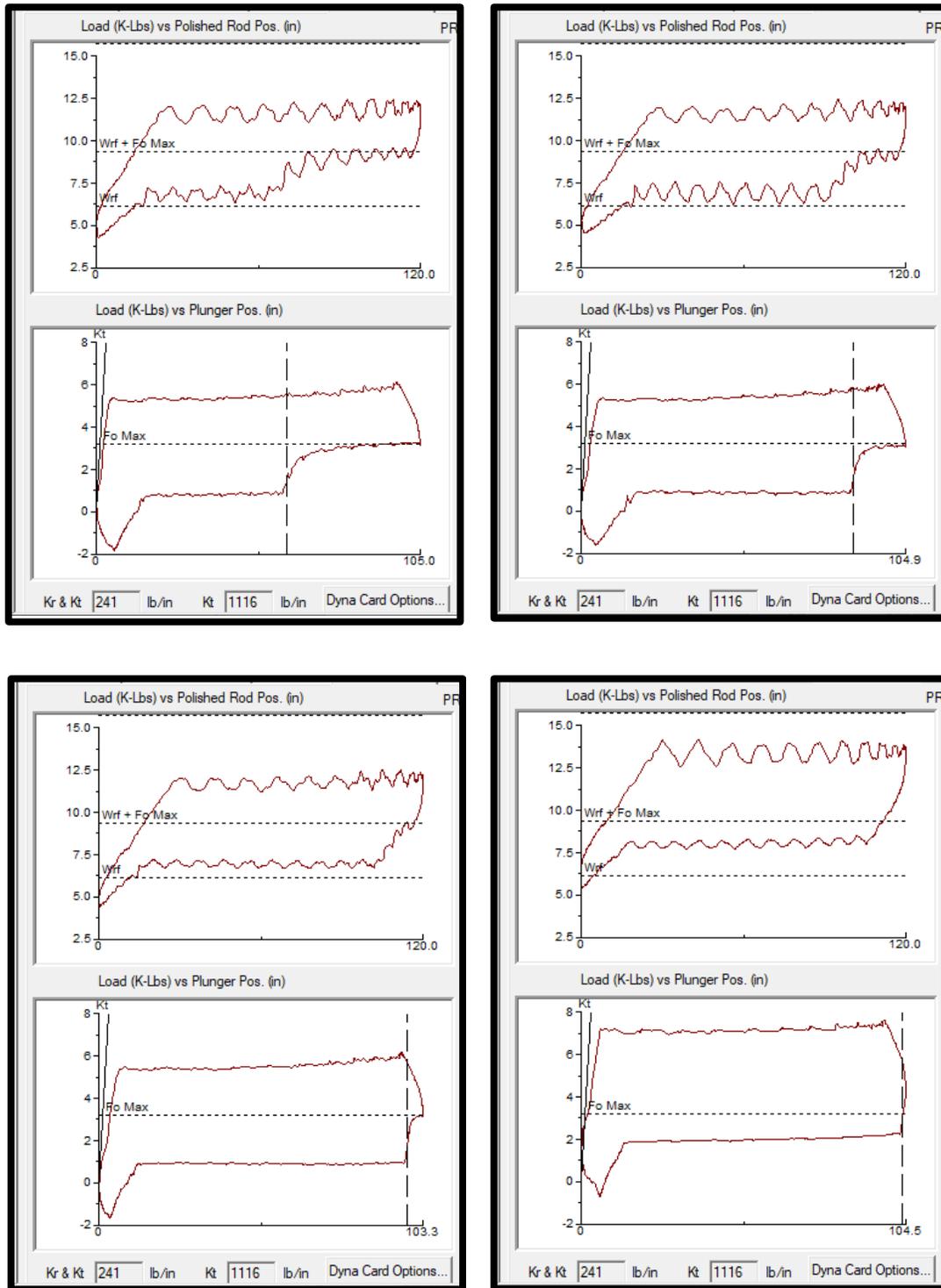


Figura 139 Evolución de Cartas Dinamométricas

A medida que la presión del espacio anular disminuía continuamente, se pudo registrar la evolución en la forma de las cartas dinámométricas (figura 139), mostrando un aumento progresivo de la carrera efectiva embolada tras embolada y, por tanto, un incremento constante de fluido dentro de la bomba hasta un nivel óptimo.

El llenado de la bomba se debe al aumento del nivel de fluido en el espacio anular puesto que no se modificó la velocidad de bombeo.

Finalmente, después de eliminar el golpe de bomba por medio del re-espaciamiento (figura 136), la carta dinámométrica queda de la siguiente forma (figura 140):

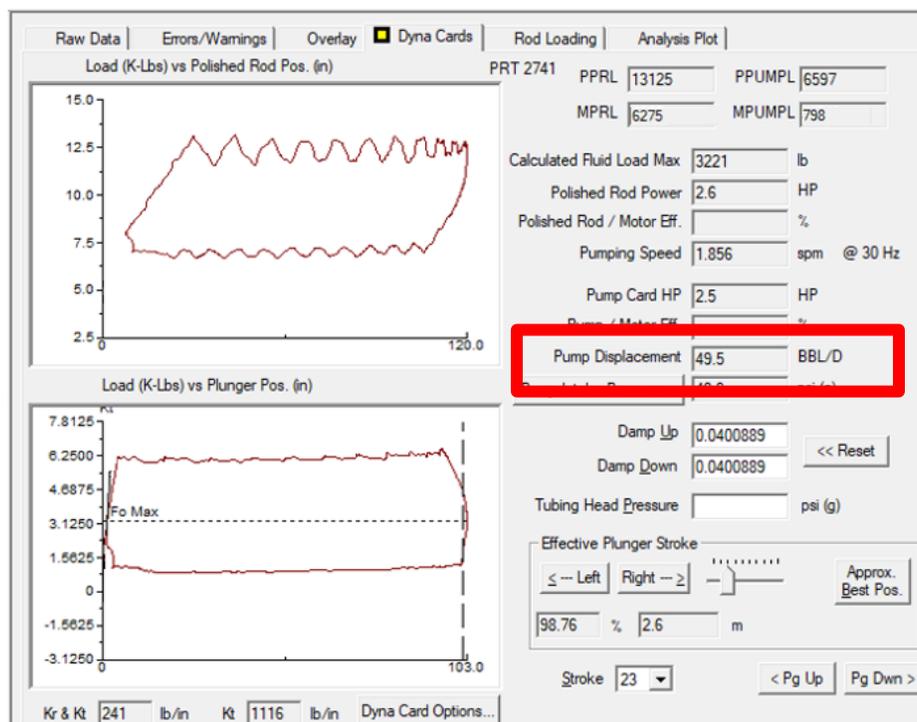


Figura 140 Pozo operando correctamente

El Pozo Independiente-17, se deja operando correctamente con la válvula del espacio anular abierta a tanque de almacenamiento y una presión en el espacio anular de **28.1 psi**, una sumergencia efectiva de la bomba de **38 metros** que permite el llenado completo de la bomba a una velocidad de bombeo de **1.8** emboladas por minuto, obteniendo una producción teórica de **49.5 BBL/D**.

Pozo Independiente-24

Es un pozo produciendo por medio de Bombeo Mecánico y opera bajo las siguientes condiciones:

- UBM: **C-640D-305-144**
- CARRERA: **MAXIMA**
- Presión en TP: **160 PSI**
- Presión en TR: **149 PSI**
- Estado de Válvula de TR: Totalmente **Abierta**
alineada a Batería de Separación
- Entrada de la bomba: **769 m**
- Ancla Mecánica: **1699 m**
- Empacador 7": **2023 m**
- Boca de Liner: **2019 m**
- Empacador 4 ½": **2108 m**
- Intervalo productor: **2113-2149 m**
- Retenedor de Cemento: **2154 m**
- Gravedad del aceite: **28° API**
- Con el Estado Mecánico que se muestra en la figura 141.

MONITOREO DE NIVEL DE FLUIDO Y ANÁLISIS DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS POR MEDIO DE ECHOMETER® EN EL CAMPO INDEPENDIENTE

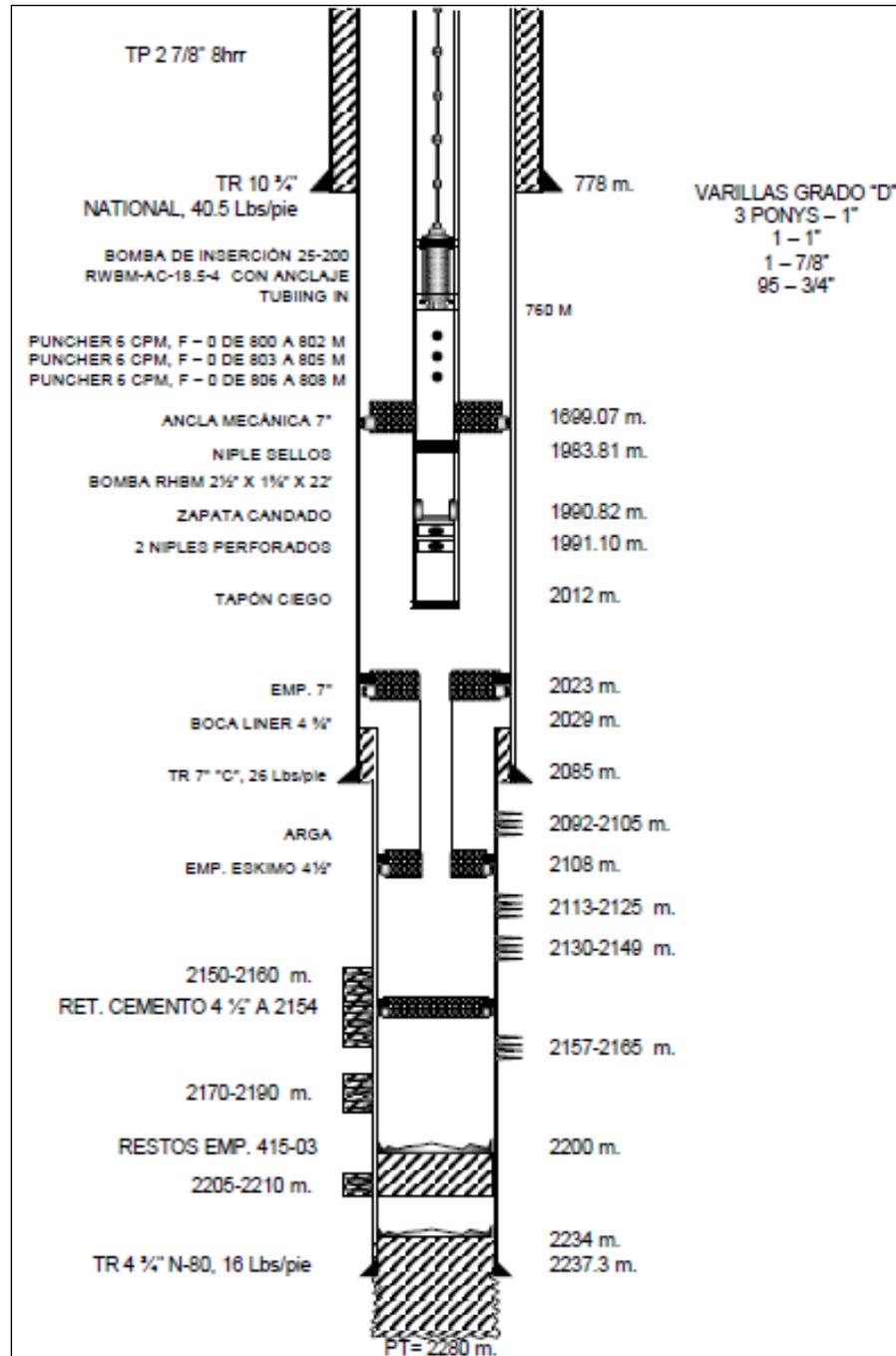


Figura 141 Estado Mecánico del Pozo Independiente-24

Monitoreo del nivel de fluido por medio del Echometer®

Se realiza la instalación de la pistola a gas, arrojando una lectura de presión en el espacio anular de 149.2 (psi). Esta presión es suficiente para realizar el disparo por implosión, obteniendo los datos que se muestran en las figuras 142 y 143 y que se enlistan a continuación:

- Detección del nivel de fluido: **0.361 segundos**
- Profundidad del nivel de fluido: **44.52 metros**
- Sumergencia Total: **715 metros**
- Sumergencia Efectiva: **238 metros**

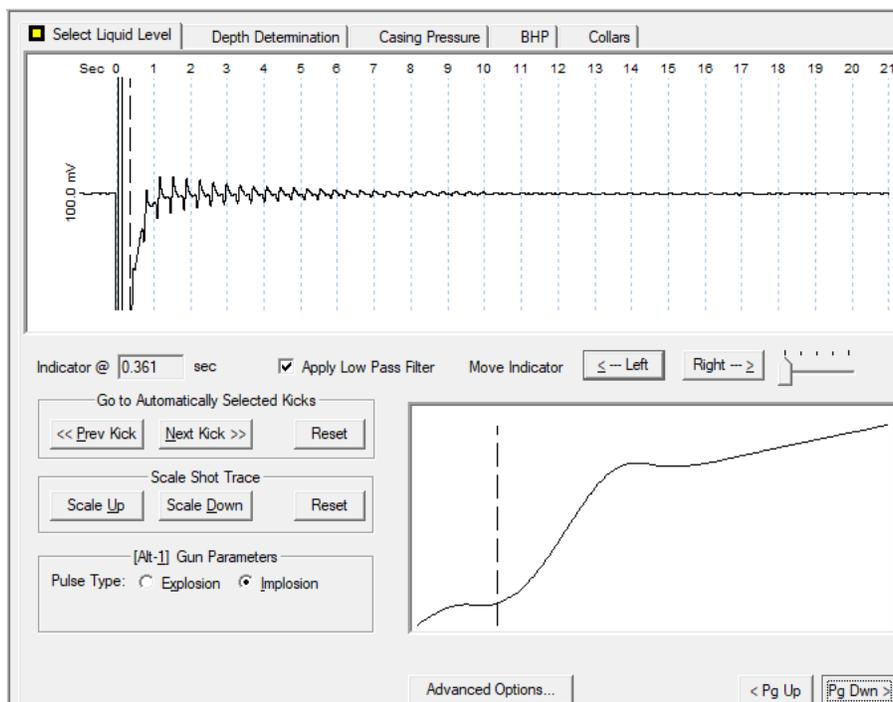


Figura 142 Detección del Nivel de Fluido en el Pozo Independiente-24

MONITOREO DE NIVEL DE FLUIDO Y ANÁLISIS DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS POR MEDIO DE ECHOMETER® EN EL CAMPO INDEPENDIENTE

Select Liquid Level	Depth Determination	Casing Pressure	<input checked="" type="checkbox"/> BHP	Collars																
Production <table border="1"> <tr> <td>Oil</td> <td>19</td> <td>Potential</td> <td></td> <td>BBL/D</td> </tr> <tr> <td>Water</td> <td>351.5</td> <td></td> <td></td> <td>BBL/D</td> </tr> <tr> <td>Gas</td> <td>19.3</td> <td></td> <td></td> <td>Mscf/D</td> </tr> </table>		Oil	19	Potential		BBL/D	Water	351.5			BBL/D	Gas	19.3			Mscf/D	Casing Pressure 149.2 psi (g) Casing Pressure Buildup 1.8 psi 2.50 min Gas/Liquid Interface Pres. 150.0 psi (g) Liquid Level Depth MD 44.52 m			Well State: Producing
Oil	19	Potential		BBL/D																
Water	351.5			BBL/D																
Gas	19.3			Mscf/D																
IPR Method Vogel PBHP/SBHP Producing Efficiency 0.0 % Fluid Densities Oil 28.3 deg. API Water 1.05 Sp.Gr.H2O Gas Gravity 0.92 Air = 1 Acoustic Velocity 809.215 ft/s		Pump Intake Depth MD 760.00 m TVD 760.00 m Formation Depth MD 2130.00 m		Annular Gas Flow 60 Mscf/D % Liquid 33																
Pump Submergence Total Gaseous Liquid Column HT (TVD) 715 m Equivalent Gas Free Liquid HT (TVD) 238 m				Liquid Below Tubing Oil 0 % Water 100 % % Liquid Below Tubing 47 % Liquid Below Tubing...																
Comment TER TR IMPLOSION				Pump Intake Pressure 442.2 psi (g) PBHP 1408.9 psi (g) Reservoir Pressure (SBHP) psi (g)																
				<input type="button" value=" < Pg Up"/> <input type="button" value=" Pg Dwn >"/>																

Figura 143 Sumergencia de la Bomba en el Pozo Independiente-24

Obtención de carta dinamométrica

Después de la instalación del sensor PRT en la varilla pulida, se obtienen los datos que se muestran en la figura 144 y que se enlistan a continuación:

- Carrera total del Pistón en la Bomba: **144 pulgadas**
- Carrera Efectiva del Pistón en la Bomba: **144 pulgadas**
- Desplazamiento Teórico: **426.6 Barriles por Día**
- Velocidad de Bombeo: **6.3 Emboladas por Minuto**

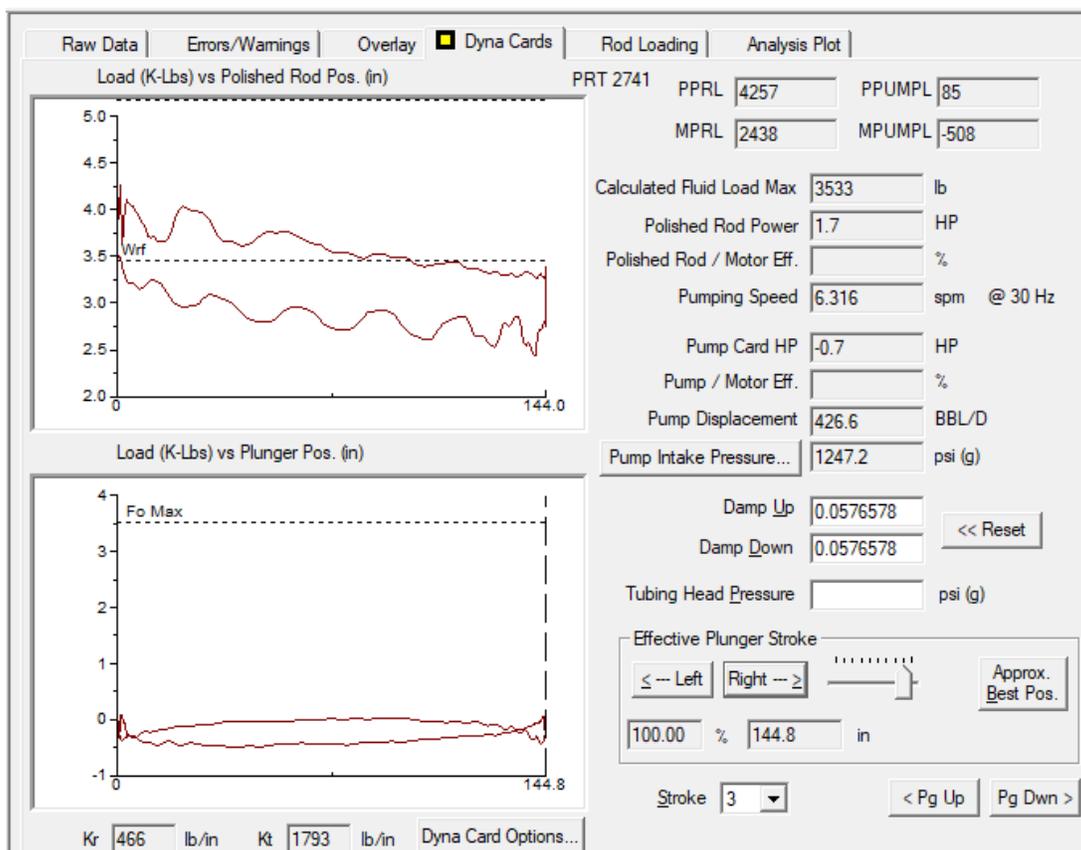


Figura 144 Carta Dinamométrica del Pozo Independiente-24

Análisis de la Información obtenida

La carta dinamométrica de fondo con varillas de succión rotas y la carta dinamométrica para un pozo fluyente, comparten características similares que se pueden llegar a confundir. Ambas presentan una forma alargada y delgada que indica que la carga de la bomba no varía mucho durante la embolada y permanece cercana a cero. La carga de la varilla pulida se encuentra en un valor muy cercano al peso de las varillas flotando en el fluido, además de que en ambas condiciones se observa un alto nivel de fluido. Sin embargo, cuando las varillas de succión se encuentran rotas, no se produce fluido en superficie y la presión en la tubería de producción no incrementa cuando la válvula de la línea de descarga se cierra mientras la unidad está operando. Así que se procede a conectar un manómetro en la tubería de producción y medir la presión antes de cerrar la válvula de la línea de descarga. Se midió una presión antes del cierre de 11 Kg/cm^2 y alcanzó los 30 Kg/cm^2 a los dos minutos después de haber cerrado la válvula de la línea de descarga. Esta prueba de presión demuestra que el pozo está aportando producción a superficie embolada tras embolada, lo que generó el aumento rápido de la presión en la tubería.

Por lo tanto, la forma de la carta dinamométrica corresponde a un pozo que está fluyendo con un llenado completo de la bomba. La poca carga de fluido que experimenta, es ocasionada por una combinación de la alta presión en la entrada de la bomba actuando en la carrera ascendente y la flotación de la varilla en la carrera descendente.

En este caso, aunque el sistema opera correctamente, se recomendaría cambiar la bomba por una de mayor capacidad y aumentar la velocidad de bombeo para incrementar la producción en la medida de lo posible.

CONCLUSIONES

- El monitoreo del comportamiento del sistema de bombeo por medio de Echometer® es uno de los avances más significativos en la ingeniería de producción en los últimos años. En el Campo Independiente se ha demostrado que el manejo de este equipo, proporciona un método de mejoría en el sistema de levantamiento artificial, mediante la detección de problemas en el equipo subsuperficial que, de otro modo, no serían evidentes. La utilización de la tecnología de Echometer®, permite la reducción de tiempo y esfuerzo para la adquisición de información de campo altamente precisa. Como resultado se optimizan las operaciones, se incrementa la producción de fluidos y se alarga la vida útil de cualquier campo produciendo por bombeo mecánico.
- La correcta instalación del equipo Echometer® y el adecuado manejo del programa Total Well Management en campo, ayudarán al ingeniero de producción a obtener datos representativos del pozo en estudio, que lo conduzcan a un diagnóstico efectivo del sistema de bombeo.
- Las formas más comunes de cartas dinamométricas auxilian al ingeniero de producción en la interpretación del comportamiento del equipo subsuperficial.
- Las condiciones de operación bajo las cuales se instaló el sistema de bombeo no son estáticas en el Campo Independiente, el Echometer® permite conocer cuáles son las modificaciones que se deben de realizar al equipo de bombeo para mantener una producción satisfactoria.
- En el caso de estudio del pozo Independiente-17, se logró incrementar el flujo de la formación al pozo mediante liberación de presión en el espacio anular, tras un diagnóstico por medio de la información obtenida por el Echometer®, dando solución al llenado incompleto de la bomba y, por ende, el golpe de fluido y la interferencia de gas. Por otro lado, se logró diagnosticar y corregir el choque de las válvulas al final de la carrera descendente, lo que ocasionaría en un futuro próximo una intervención al pozo para mantenimiento de la bomba subsuperficial, incrementando costos y pérdida de producción.

- En el Pozo Independiente-24, se instaló un barómetro en la tubería de producción en el árbol de válvulas para poder decidir el diagnóstico entre dos posibles condiciones de operación. De este modo, podemos concluir que el diagnóstico del funcionamiento del sistema de bombeo, no solo requiere la adquisición de datos por medio de Echometer®, sino también de un buen análisis por parte del ingeniero de producción.
- En los casos de estudio se logró demostrar la utilidad del equipo Echometer® en el Campo Independiente para la detección del nivel de fluido y el llenado de la bomba subsuperficial, se pudo deducir su funcionamiento por medio del análisis de las cartas dinamométricas calculadas por el software Total Well Management y se demostró que es posible aumentar la producción sin intervención de equipo adicional cada vez que sea posible y de no ser así, se efectúan recomendaciones objetivas de mantenimiento preventivo y correctivo.
- En el presente escrito se demuestra que es posible mantener o incrementar la producción de hidrocarburos del Campo Independiente mediante el uso de tecnología de bajo costo y se demuestra también, la utilidad del Echometer® en cualquier campo produciendo por medio de bombeo mecánico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- M. en I. José Ángel Gómez Cabrera, Ing. Carlos Jesús Navarrete Álvarez “Introducción a los Sistemas Artificiales de Producción”
- M. en I. José Ángel Gómez Cabrera, Ing. Carlos Jesús Navarrete Álvarez “Bombeo Mecánico”
- Navarrete Álvarez Carlos. Tesis “Estado del Arte y Diseño de Sistemas Artificiales”
- Echometer Company®, “Manual de operación Well Analyzer y Programa Total Well Management”, Texas. USA.
- “Pasos Básicos para Adquirir Data Usando Total Well Management” UPCO de Venezuela S.A.
- “Interpretación de Cartas Dinamométricas Básicas”, Oil Production Consulting.
- “Diagnóstico de las condiciones de Operación del Sistema Usando Cartas Dinamométricas”, Unlimited Petroleum Consulting, Inc.
- Entrenamiento de Levantamiento Artificial “Optimización de Bombeo Mecánico”, Theta Enterprises. California, USA.
- Paul M. Bommer y A.L. Podio “The beam Lift Handbook”, The University of Texas at Austin Petroleum Extension Service. Primera Edición ,2012.
- Jonh M. Campbell “Reciprocation Rod Pump Fundamentals”. PetroSkills, LLC., 2016.
- “Rcommended Practice for Care and Use of Subsurface Pumps”, API Recomendated Practice 11AR (RP 11 AR). Tercera Edición, 1 enero, 1989.
- A.P. Allison, C.F. Leal, and M.R. Boland, “Solving Gas Interference Issues with Sucker Rod Pumps in the Permian Basins”. SPE-190936-MS.
- J. D. Clegg, “Understanding and Combating Gas Interference in Pumping Wells”
- A.L. Podio, Jaime Gomez; A.J. Mansure; Benny Williams y Mark Mahoney. “Laboratory-Instrimented Sucker-Rod Pump”
- Prof. Ricardo Maggiolo “Sistemas Artificiales de Producción”, PEMEX-IMP. noviembre 2012
- Plan de Negocios de Pemex 2021-2025
- Manual de Bombeo Mecánico, Theta Enterprise, Venezuela.