

PERFORACIÓN EXITOSA EN EL NOROESTE PERUANO CON APLICACIÓN DE MOTOR DE FONDO, MWD, LWD Y APWD

Autor : **Edwar Agüero Santiváñez** **(Petrobras Energía Perú S.A.)**

Coautores: **Marcos Seminario Saldarriaga** **(Petrobras Energía Perú S.A.)**

Sinopsis

Desde el año 2005, se inició una campaña de perforación masiva de pozos infill en el Lote X, con profundidades promedio de 4200 pies, en donde se ha logrado una mejora continua en equipos de perforación, fluidos de perforación, brocas, herramientas, adquisición de datos a hueco abierto, procedimientos operativos, control de presión anular. Dichos cambios tecnológicos han permitido rediseñar los parámetros de perforación WOB, Caudal, Presión, RPM y Presión Diferencial. Dentro de los cambios realizados para la optimización de parámetros y tiempos de perforación se han probado diversas metodologías y tecnologías.

Para mejorar la eficiencia de perforación se ha incorporado nueva tecnología en equipos de perforación y se han optimizado los tiempos de conexión y DTM; en diseño de brocas, se han probado varios modelos de 4, 5 y 6 aletas con diferentes tipos de cortadores, con estos nuevos modelos de broca, se ha mejorado la hidráulica, ambos puntos son algunas de las claves utilizadas para disminuir los costos de perforación. En busca de optimizar aún más nuestras operaciones, se planteó perforar con motor de fondo y MWD el año 2007, a pesar de obtener una mejora en el ROP, esta mejora no justificó la inversión debido al alto costo de esta herramienta.

En el 2010, se decide evaluar la perforación de 10 pozos con Motor de Fondo – MWD – LWD – APWD. Este sistema nos permitió incrementar los RPM por motor en el fondo, controlar la verticalidad y corregir la desviación cuando sea mayor a 5°, registrar curvas de resistividad y gamma ray en tiempo real, eliminando los tiempos de viaje de calibre y el tiempo por registro a hueco abierto, registrar valores de presión anular en tiempo real, para obtener datos de ECD y ESD durante la perforación, con este monitoreo y los valores obtenidos, podemos perforar tomando en cuenta la correlación con los pozos vecinos, por debajo del valor de gradiente de fractura estimado y reducir los tiempos de circulación para hacer más eficiente la perforación.

El análisis de este conjunto de datos, han minimizado los riesgos de pérdida de circulación durante la perforación.

La optimización de los parámetros de perforación, maniobras operativas y toma de decisión en el campo, nos han permitido incrementar los ROP de 78.8 ft/h para una profundidad promedio de 4394' hasta 127.4 ft/h para una profundidad promedio de 4526'.

Con estos incrementos de rates de penetración hemos alcanzado ahorros promedio de 15 horas de equipo. Asimismo, tenemos un ahorro en las maniobras previas para el acondicionamiento de hueco y en el tiempo utilizado para la toma de registro eléctrico a hueco abierto de 22 horas (viaje de calibre y tiempo de registro), que al final se traduce en menor tiempo de puesta a producción.

El uso de estos equipos económicamente, nos ha permitido incrementar el volumen de toma de información, pasando de un 30% de pozos con registros de resistividad y gamma ray a hueco abierto, a 100% de pozos con LWD con los mismos registros.

Introducción

El Lote X, operado por Petrobras Energía Perú, está ubicado en la Cuenca de Talara, en el Noroeste del Perú, conformado por 17 áreas.

En el Lote X, se han perforado mas de 5000 pozos y actualmente hay 2700 pozos productores y la producción promedia por pozo es de 5.5 bbls/día(1 m³/día)

Los reservorios de la Cuenca Talara se caracterizan por su baja permeabilidad comprendida entre 0.1 a 60 md, por tal razón es necesario efectuar fracturamiento hidráulico, para producirlos económicamente. Las formaciones productivas se caracterizan por su heterogeneidad, con presencia de intercalaciones de lutitas y areniscas.

La perforación en el Lote X, se inicio el año 1910 con equipo de percusión. A partir del año 1926 se perfora a mayores profundidades con el cambio de tecnología de perforación a percusión a rotaria. Inicialmente los pozos fueron completados en un primer tramo, de aproximadamente 500 pies, con casing y cementado; las siguientes secciones fueron completadas con laines perforadas de diferentes diámetros en las zonas productoras y sin cementar. Estos pozos produjeron con energía natural del reservorio. A partir de 1951 se completan los pozos cementando forros de superficie hasta 300 pies y forros de producción (5 ½" ó 4 ½") hasta superficie.

A partir del año 2004 se inicio la campaña de perforación de pozos Infill en el Lote X, incrementándose el número de pozos perforados por año con equipo convencional. A partir del año 2006 se empieza a trabajar con equipos de perforación hidráulicos con los cuales se disminuyeron los tiempos de conexión, mejorando notablemente el ROP, sin embargo, por características propias de las formaciones atravesadas, los pozos tendían a desviarse aproximándose a los 6 ½°, lo cual, nos obligaba a cambiar de un BHA rígido a pendular para tratar de corregir el ángulo. Este cambio de BHA demandó un mayor tiempo, afectando el ROP, el cual bajó considerablemente. Aún así, en las campañas sucesivas se perforaron mayor número de pozos (Figura 1). Debido a esta problemática, se planteó como alternativa el uso de motor de fondo con MWD. La reducción de tiempos en la perforación de los pozos infill ha permitido mejoras en los costos de perforación, y la opción de extender su uso a todos los proyectos de Petrobras.

La nueva evaluación de la perforación de pozos verticales con Motor de Fondo – MWD – LWD – APWD para control de verticalidad, se pudo llevar a cabo, previas negociaciones con las Cías. Contratistas, de tal manera, que se logre beneficios para ambas partes. Actualmente estamos trabajando con 02 equipos de perforación utilizando en ambos el BHA direccional que contiene Motor de Fondo – MWD – LWD – APWD y para realizar pozos dirigidos de poco ángulo(<22°).

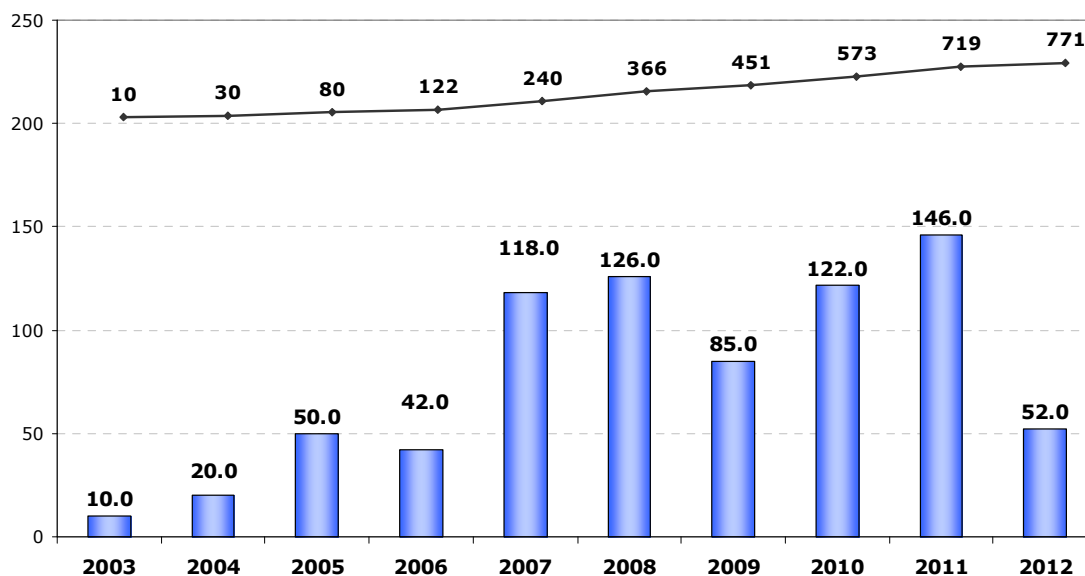


Figura 1: Evolución del Número de Pozos Perforados

Desarrollo

El año 2010 se inicio la perforación con Motor de Fondo – MWD – LWD – APWD en el Lote X, se realizaron 17 pozos con esta tecnología (14% del total de pozos perforados) con el propósito de evaluación con las diferentes compañías de perforación direccional.

Se inició la perforación con pozos en diferentes yacimientos del Lote X, el primer pozo se trabajó de acuerdo a la recomendación de la Cía. Direccional, manteniendo un caudal de 500 gpm (2 m³/min), el WOB necesario por cada formación, registrando valores de ECD y ESD; con estos datos podemos tomar la decisión de circular cuando se sobrecarga de recortes el anular para evitar pérdidas de circulación inducida. En la Figura 2 se observa como se reduce el ECD para evitar una fractura de la formación, teniendo perdidas de circulación y descontrol del pozo.

De acuerdo a esta figura, los valores de Gf (Gradiente de fractura) de los pozos vecinos tienen buena correlación para los valores de ECD. En el grafico observamos los valores de Gf del pozo perforado (Color azul) y se confirma la buena correlación.

Teniendo los valores mínimos y máximos de ECD para perforar sin fracturar la formación y sin descontrolar el pozo, se puede incrementar la presión diferencial, lo cual incidirá en el incremento del ROP. Para ello es necesario mantener el peso de lodo de acuerdo a programa.

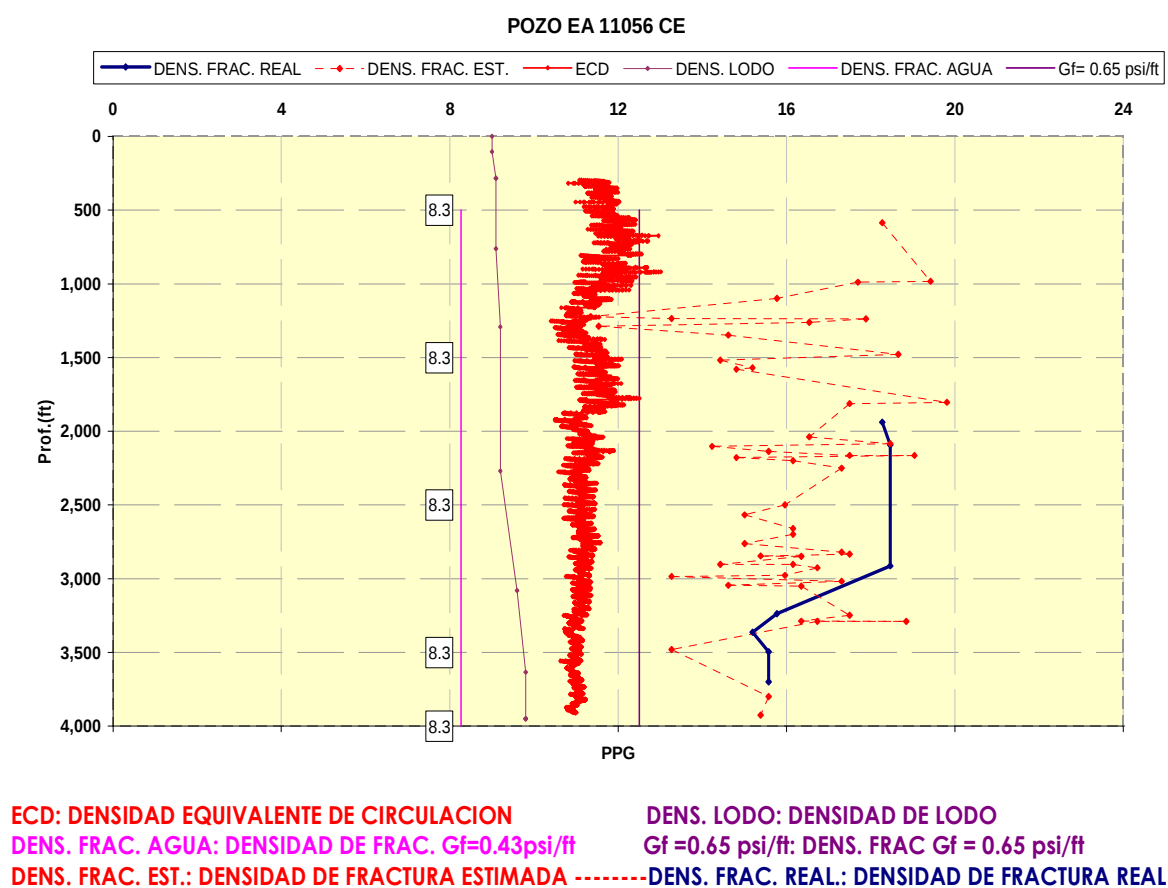


Fig. 2: Análisis de ECD

Así mismo, debido a un mayor avance de la perforación y a la variación de las propiedades del lodo y con el fin de evitar el incremento de densidad por incremento de sólidos de alta y baja gravedad, fue necesario el uso de una centrifuga portátil para eliminar dichos sólidos, permitiendo incrementar la ventana operacional durante la perforación.

Se definió con las Cías. Direccionales los parámetros máximos de trabajo de las herramientas, determinándose que las herramientas por diseño, podían trabajar hasta 600 psi de presión diferencial. Se fue incrementando gradualmente la presión diferencial hasta llegar a un valor óptimo que permitió lograr una buena limpieza del pozo, los valores de ECD registrados estaban por debajo del máximo permitido.

Los resultados obtenidos con esta tecnología y con las optimizaciones efectuadas, han permitido mejoras importantes en el ROP y la tasa de construcción, tal como se muestra en las Figuras 3, 4, 5 y 6, justificando ampliamente el uso de estas herramientas en los pozos del Lote X.

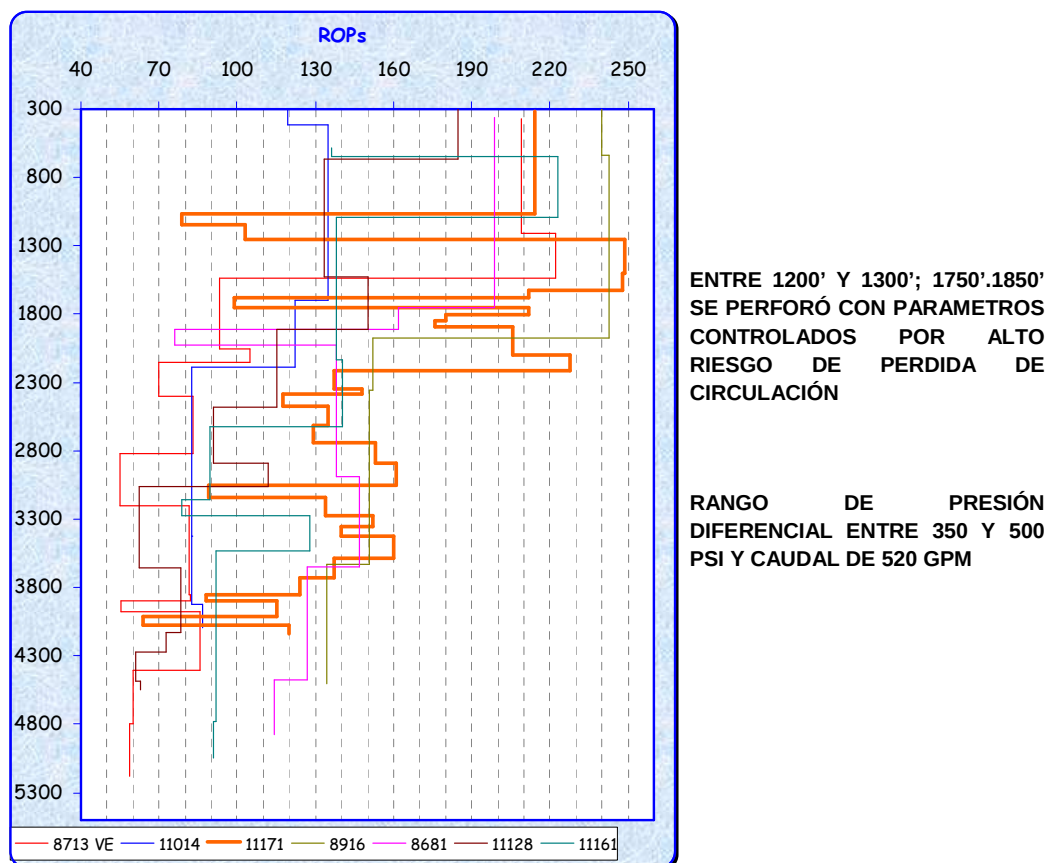


Fig. 3 Curvas de ROP en Pozos Perforados con Motor de Fondo

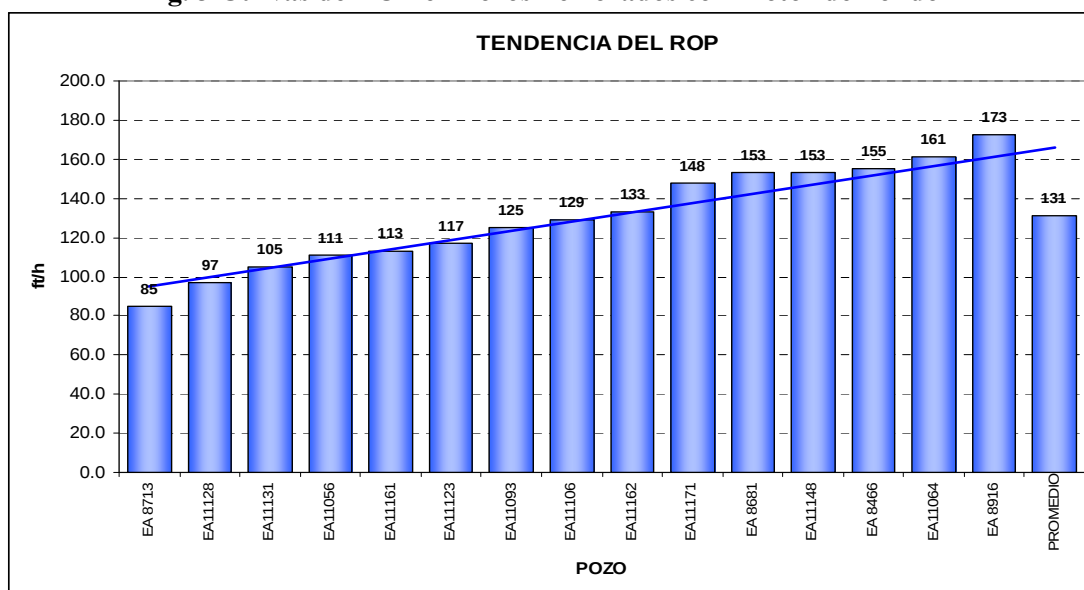


Fig. 4 ROP de Pozos Perforados con Motor de Fondo

El ROP promedio con BHA convencional (Rígido y/o Pendular) en la fase de producción en 2010 fue de 88.6 ft/hr(27m/h) vs 131 ft/hr(39.9 m/h) obtenidos con motor de fondo, lográndose una mejora del 48%.

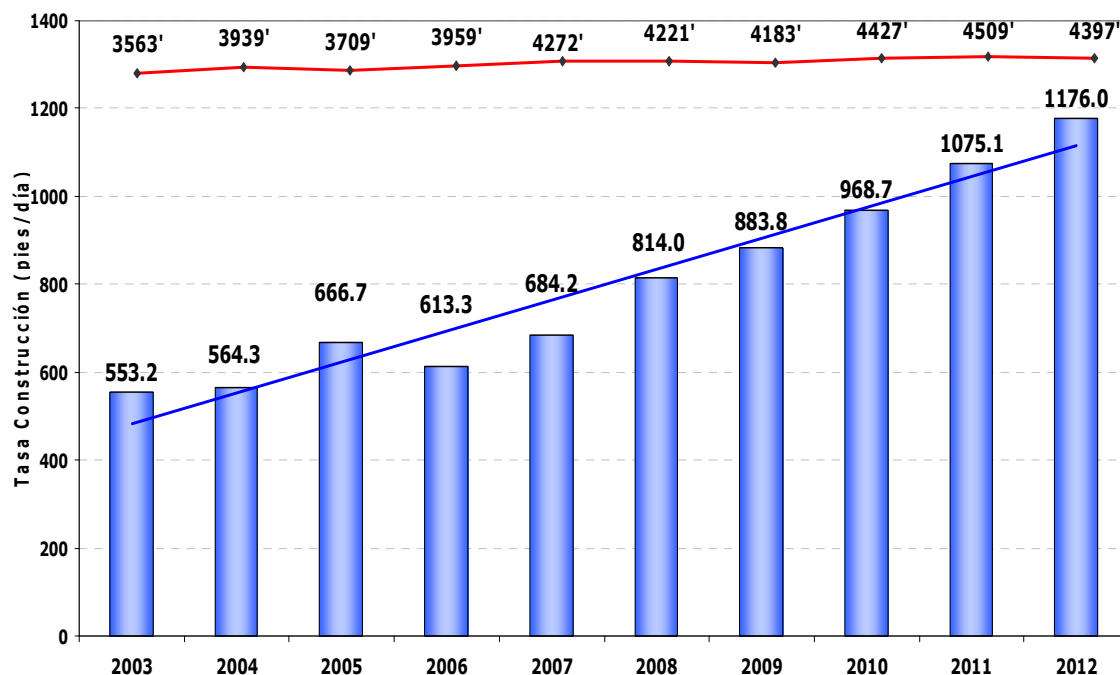


Fig. 5 Evolución de la Tasa de Construcción en Pozos del Lote X

Estos valores de ROP permitieron incrementar la tasa de construcción en el 2010, de 968.7 pies/día(295.25 m/día) hasta 1176 pies/día(358 m/día) (25% de mejora).

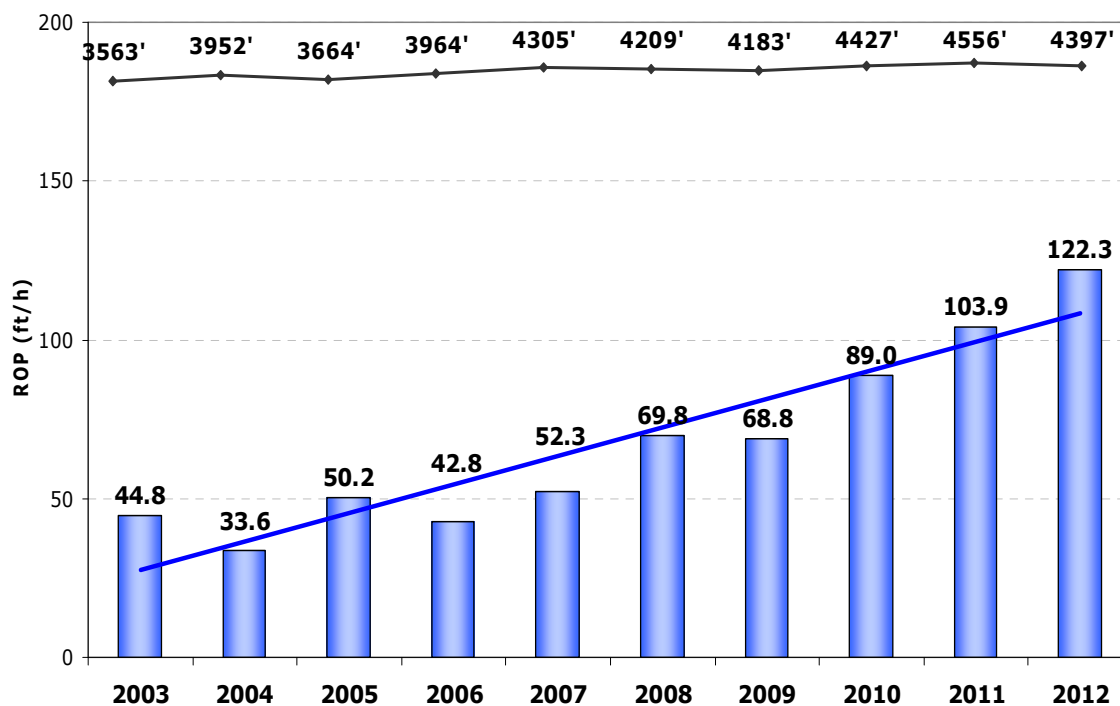


Fig. 5.1 Evolución del ROP en Pozos del Lote X

A partir del año 2011 se inició la perforación de pozos dirigidos de bajo ángulo(<22°).

EA11064

AVANCE DE PERFORACIÓN EN POZO

EA11064

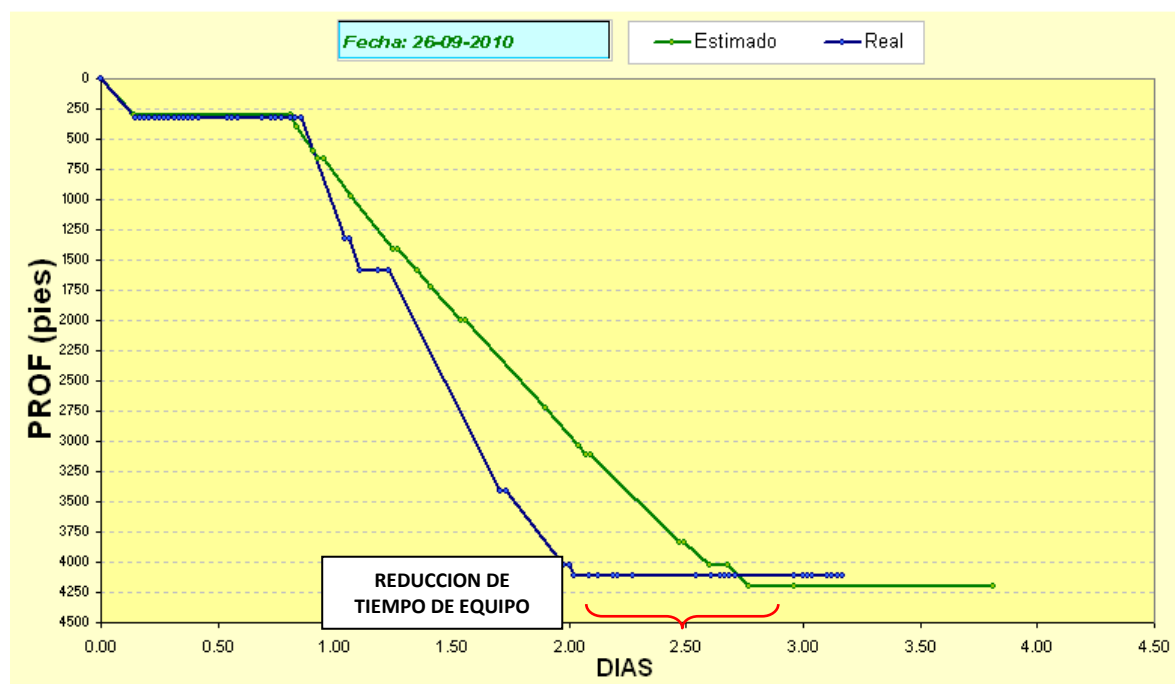


Fig. 6 Curva de Perforación con Motor de Fondo

El uso del motor de fondo, permite incrementar el número de RPM en el fondo del pozo ($RPM_{\text{motor}} + RPM_{\text{Top Drive}}$).

La Figura 7 muestra el esquema del BHA utilizado para la perforación de pozos verticales con Motor de Fondo – MWD – LWD – APWD.

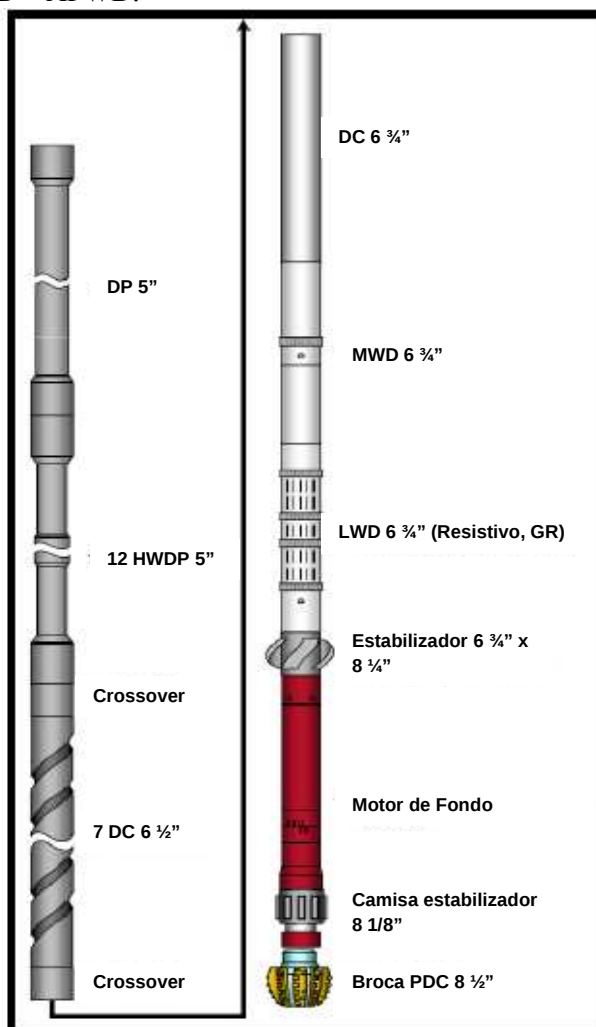


Fig. 7 Configuración del BHA de Sección 8 ½"

El BHA utilizado tiene un Bent Housing de 1.25° que nos permite corregir la desviación sin tener altos dog leg. La información obtenida de los parámetros de perforación WOB, Caudal, Presión, RPM y Presión Diferencial en tiempo real, nos ha permitido tomar decisiones de cambio de parámetros en forma oportuna, que han redundado en la mejora continua de las tasas de perforación.

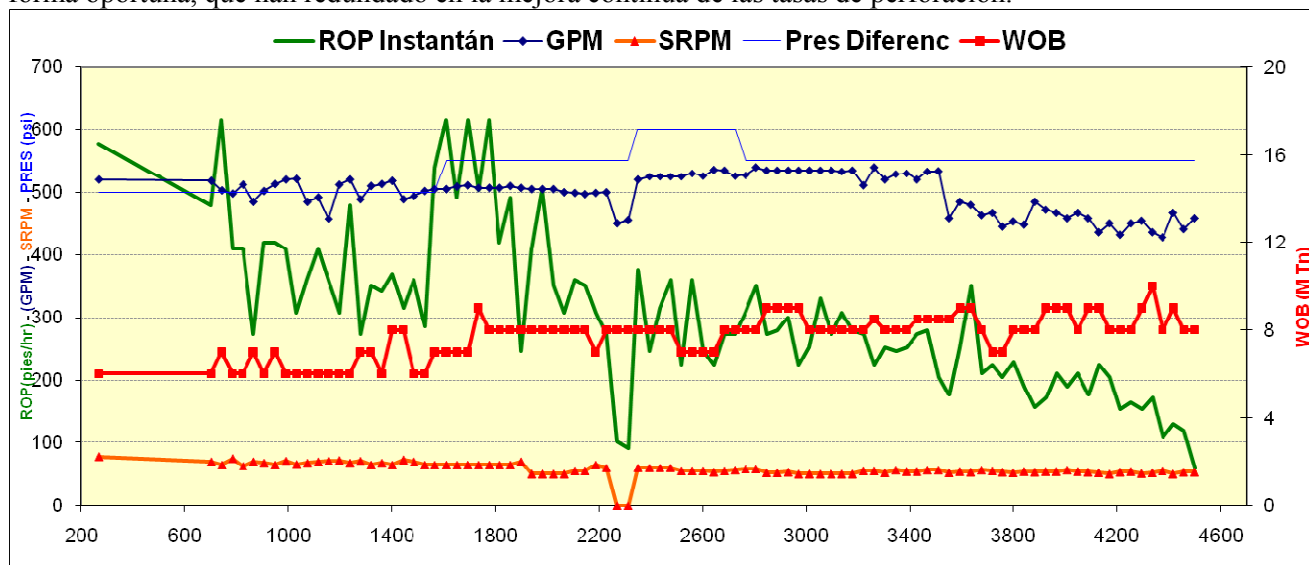


Fig. 8 Parámetros de Perforación en Tiempo Real

El análisis de la información estadística obtenida luego de la perforación de cada pozo, nos permite detectar oportunidades de mejora.

Distribución de Tiempos Fase 8 1/2": 26.5 hrs

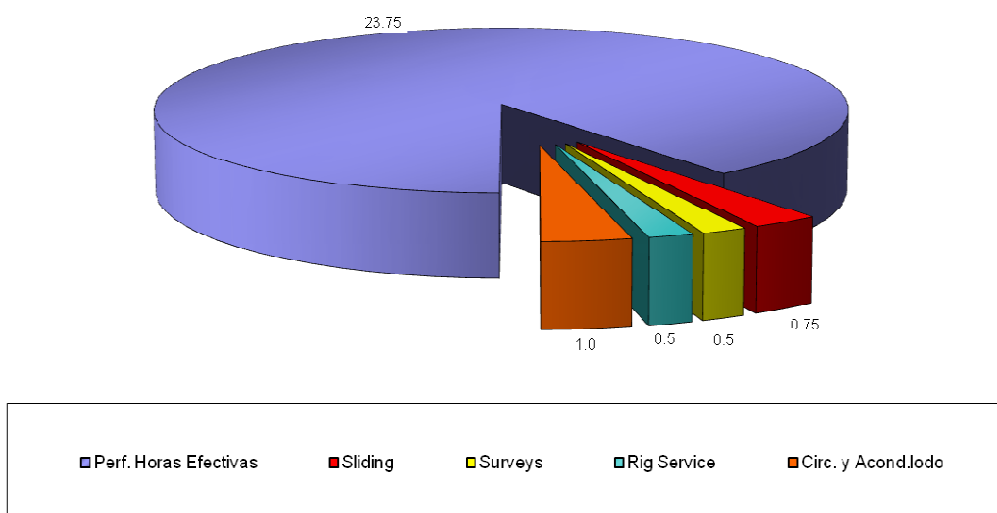


Fig. 9 Distribución de Tiempos durante el Avance de la Perforación

A pesar de problemas de pérdida de circulación presentados en los pozos perforados con motor de fondo, riesgo inherente a una perforación de pozos infil, notamos una tendencia de mejora en el ROP de los pozos perforados, como se muestra en la Figura 10.

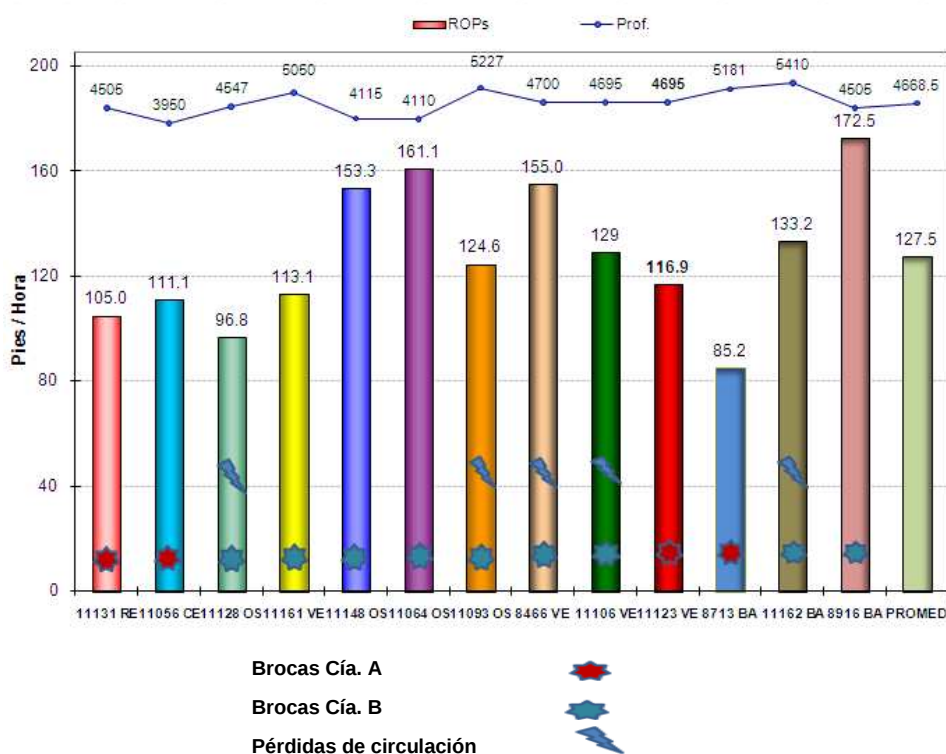


Fig. 10 Evolución del ROP durante Evaluación

Es importante resaltar, que el uso de brocas adecuadas para perforar zonas de litología variable, el cambio de camisas estabilizadoras del BHA, etc., nos permitirán maximizar la mejora a obtener en la perforación con motor de fondo.

Contribuciones Técnicas y Económicas

1. Incremento de la presión diferencial utilizada durante la perforación entre 200 – 250 psi(1379 – 1724 KPa) hasta 700 psi(4826 KPa).
2. Incremento de los parámetros de perforación (WOB, caudal y RPM).
3. Monitoreo en tiempo real de los valores de ECD, ESD, diferencial de presión en el anular, así como de información de registros GR y Resistividad.
4. Reducción en costo de equipo, aproximadamente 12 M\$/pozo.
5. Reducción del costo total del pozo a pesar de tener mayor información.
6. Menor tiempo de entrega de pozos a producción.
7. Perforación masiva con motor de fondo-MWD-LWD-APWD en pozo infill del Lote X.
8. Optimización de la hidráulica de perforación para mejor la limpieza del pozo durante la perforación.
9. Tecnología que se evaluará su uso en pozos de mayor profundidad +/- 8000 pies (2438 metros).

Conclusiones

1. En todos los pozos perforados con esta tecnología, se han logrado disminuir los días de perforación debido al incremento del ROP, reducción de tiempos de circulación, eliminación de viajes de calibre para RREE y reducción de costos de lodo. Por esta razón, estamos elaborando un proyecto para perforar aproximadamente 100 pozos con dicha tecnología.
2. Con estas herramientas se puede registrar los valores de vibración durante la perforación, optimizando los parámetros de perforación (WOB, GPM, RPM).
3. Las correlaciones utilizadas para determinar los valores máximos de ECD se tomaron a partir de los pozos vecinos recientemente perforados (gradientes de fractura, gradiente poral).
4. Se puede mejorar los ROP a partir de la optimización en la presión diferencial, hidráulica y selección de fluido de perforación, que mejoraran la capacidad de limpieza y evitar incrementos de presión que puedan ocasionar pérdidas de circulación.

Agradecimiento

A Petrobras por permitir la publicación de este trabajo, a los ingenieros y Company Man de Ingeniería de Pozos, y al personal de las compañías de servicio que participaron activamente en la implementación de esta mejoras

Bibliografía

- Mud – Lubricated Drilling Motors – Weatherford Handbook. Enero 2010.
- SPE 129158: Geomechanics, ECD Management and RSS to Manage Drilling Challenges in a Mature Field.
- SPE Drilling and Completion Handbook, March 1998.
- JCPT Publications: Method of Optimización Motor and Bit Performance for Maximun ROP- Motahhari, Hareland, Nygarrrd- 2007