

Primera corrida de novedoso concepto de barrena híbrida impulsado por un motor de alta eficiencia establece, un nuevo punto de referencia en la perforación del Cretácico en México, Región Marina

Ing. Oscar Manuel Delgadillo Reed

Ing. Andrés José Belloso Damiano

Esau De la Cruz Sasso

Serafin Alexander Espinoza Aldaz

Baker Hughes

Ricardo Ramírez Lara

Pemex

Información del artículo: recibido: mayo de 2013-aceptado: junio de 2014.

Resumen

En México, región marina, la perforación en el Cretácico ha sido siempre uno de los ambientes más complejos de perforar. La variedad de carbonatos, su resistencia compresiva no confinada (UCS), la presencia de pedernal (hasta un 30%), alta temperatura y las condiciones de perforación han sido los principales impulsores del desarrollo continuo en barrenas, así como de sistemas de perforación fiables y capaces de soportar estas condiciones.

Históricamente las barrenas de conos con insertos de carburo de tungsteno (TCI), han sido utilizadas para perforar este intervalo; su estructura de corte, cojinete y sellos han sido mejorados a lo largo del tiempo con el objetivo de incrementar su confiabilidad. Los últimos avances en cortadores de diamante policristalino y los nuevos conceptos de estabilidad han hecho posible que las barrenas PDC sean capaces de perforar este intervalo, llegando a sus límites la eficiencia mecánica. Todas estas innovaciones en barrenas han abierto la puerta a sistemas de perforación más eficientes y de mayor potencia que permiten una mejor transferencia de energía en las barrenas, mejorando el rendimiento general de la sección y los costos de perforación.

Se propuso para perforar un intervalo de la sección de 8.5 pulg en el Cretácico un nuevo concepto de barrena híbrida que combina la mejor tecnología de las barrenas PDC y conos con insertos de carburo de tungsteno, impulsada por un motor de alta eficiencia, bajas vueltas y alto torque.

El sistema perforó 331 m hasta la profundidad de 5638 m, 65% más metros de lo programado en una sola corrida y logrando un incremento de la tasa de penetración del 74% respecto al mejor pozo de referencia ahorrando al menos tres días de operación valorados en un aproximado de 200,000 USD.

Este documento tiene por objeto presentar el análisis, la planificación, ejecución y resultados de la primera corrida con este sistema.

Palabras clave: Perforación, barrena híbrida, kymera, motor.

First Test of an Innovative Hybrid Bit Driven by a High-Power Mud Motor Sets a New Benchmark in the Marine Region in Mexico

Abstract

In Mexico's marine region, the Cretaceous has always been a challenging environment to drill. The combination of high-strength (UCS) carbonates, random chert intervals and high-temperature downhole conditions are the key drivers for innovation and continuous improvements of drill bits and drilling systems that can withstand such harsh conditions.

Historically, tungsten carbide insert (TCI) roller-cone bits were employed when drilling this interval. TCI cutting structures, bearings and seals have continually developed to incrementally improve performance and reliability. Recent advancements in polycrystalline diamond cutters (PDC) and more dynamically stable bit designs have made it possible for PDC bits to drill the interval more efficiently. The bit innovations have opened the door to more efficient and powerful drilling systems, transferring more power to the bit, improving overall performance and lowering drilling costs.

The new hybrid bit concept, which combines the best aspects of fixed cutter and roller-cone drilling mechanics, was proposed to drill an interval of the 8.5-in. section in the Cretaceous. The system delivers outstanding performance using a high-power mud motor which improves the rate of penetration (ROP) by 74% compared to the best offset, and drilling 65% more meters than planned, saving three days of operation and approximately USD 200,000.

The paper is a case study combining a high-power motor and a hybrid drill bit. It includes the pre-well offset analysis, discusses the planning and execution of the field test, and summarizes the most significant observations and results of the first test.

Keywords: Drilling, bit, hybrid, kymera, motor.

Introducción

En la Región Marina Suroeste, en México, generalmente se perfora el Cretácico hasta la base del Jurásico Superior Tithoniano con barrena de 8 ½ pulg para asentar el revestimiento de 7 5/8 pulg. En ciertos campos ya identificados de esta Región se tienen que realizar múltiples viajes al perforar el Cretácico Medio (KM) debido a la presencia de hasta 30% de pedernal.

Aun con todos los avances tecnológicos en las barrenas PDC mediante el manejo del volumen de diamante, cortadores *más resistentes a la abrasión e impacto* y control de la profundidad de corte para mejorar la estabilidad, se sigue presentando la necesidad de utilizar barrenas de conos con insertos de carburo de tungsteno, (IADC 517-527) para perforar el Cretácico Medio (KM). Las barrenas PDC utilizadas generalmente presentan desgaste excesivo en la zona del hombro, en algunos casos anillamiento debido al daño por impacto y abrasión causado por la presencia de pedernal en forma de *nódulos* entre estratos de caliza. Si bien las barrenas de insertos dan un mayor metraje

que las barrenas PDC, la tasa de penetración (ROP), se ve drásticamente reducida por la mecánica de corte.

En ocasiones, y cuando la aplicación lo permite, se utilizan motores de fondo de alto torque y bajas vueltas en conjunto con barrenas de insertos de carburo de tungsteno (IADC 517-527), con el objetivo de mejorar el rendimiento dentro del KM y poder realizar trabajo direccional de ser necesario. Al utilizar este sistema se ha observado un incremento de hasta un 30% en la tasa de penetración.

Al día de hoy la meta que se desea alcanzar es lograr perforar, de manera consistente, la zona del Cretácico medio reduciendo la cantidad de carreras y con una mejor tasa de penetración.

Este documento mostrará los resultados obtenidos de la perforación de un intervalo de la sección de 8 ½ pulg con una barrena híbrida, que combina estructura de corte de conos con insertos de carburo de tungsteno y barrenas PDC, **Figura 1**, conectada a un motor de alta eficiencia, de bajas vueltas y alto torque, **Figura 2**.



Figura 1. Barrena híbrida.

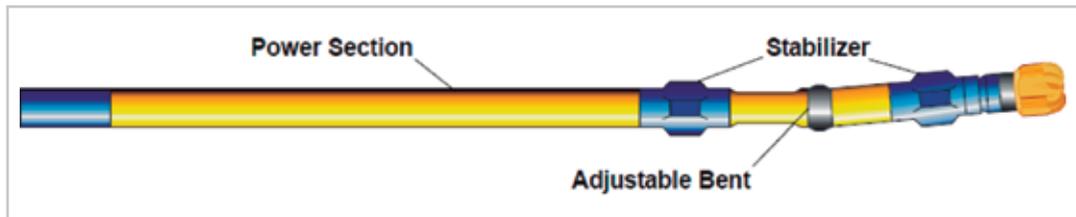


Figura 2. Motor de alta eficiencia.

Ubicación geográfica

El campo se localiza en aguas territoriales del Golfo de México sobre la plataforma continental. El pozo objetivo se

localiza a 17 km al NE 35° del puerto Frontera, Tabasco, en tirantes de agua promedio de 16 m, **Figura 3.**

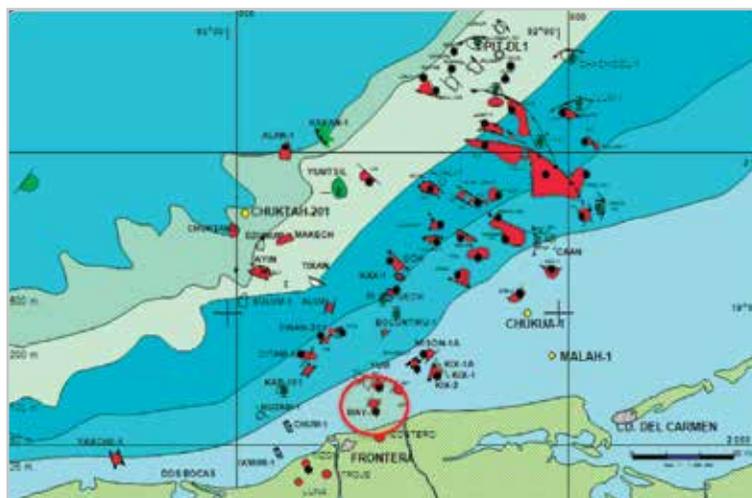


Figura 3. Localización del campo.

Descripción estructural

En este campo se han perforado 12 pozos en rocas de edad Jurásico Superior Kimmeridgiano, los cuales son productores. Estructuralmente está constituido por un anticlinal alargado, con una orientación noroeste-sureste cuyo eje mayor mide aproximadamente de 5600 m y el menor de 3450 m, cubriendo un área de 21 km². Está afectado en sus flancos por dos fallas inversas principales que presentan saltos de falla promedio de 270 m y que conforman un bloque alto, dichas fallas corren paralelas al eje mayor de la estructura. El campo se encuentra afectado internamente por fallas de gravedad perpendiculares a las fallas inversas principales. El área donde está ubicada la localización del pozo objetivo, se encuentra en la porción noroeste del campo, delimitado por una falla de tipo normal

hacia la parte occidental, y una falla de tipo inversa en la parte oriental, en este bloque se ubican los pozos utilizados como correlación y que también productores en JSK.

Ambiente de perforación

De acuerdo a los registros eléctricos de los pozos correlativos se realizó el cálculo de UCS, observando valores de 10,000 a 30,000 PSI en Cretácico medio e inferior, esta variación de dureza no confinada (UCS) a lo largo de la sección hace más compleja la perforación y la selección del sistema de perforación. Aunado a esto y de acuerdo a la descripción litológica de correlación dentro del Cretácico medio normalmente se presenta mudstone-wackestone con presencia de pedernal, **Figura 4**.

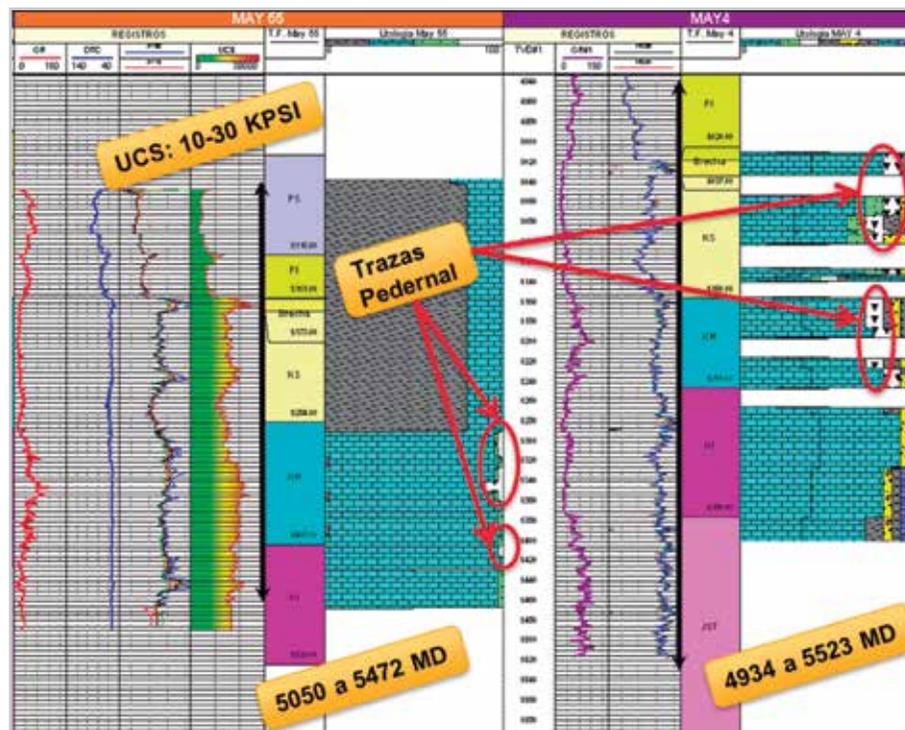


Figura 4. Ambiente perforación - pozos correlativos.

La **Tabla 1** muestra las profundidades aproximadas a las que se encuentran los topes de formación del intervalo a ser perforado.

Tabla 1. Topes de formación y profundidad estimada.

Topes de Formación	Profundidad estimada (metros)
Cretácico Medio	5100
Cretácico Inferior	5250
Jurásico Superior Tithoniano	5370

Tecnología híbrida

La barrena híbrida utilizada para perforar este intervalo es una barrena que combina estructuras de corte de barrenas de conos con insertos de carburo de tungsteno y barrenas de cuerpo de matriz con estructura de corte de compactos de diamante poli-cristalinos, mejor conocidas como barrenas PDC. En una barrena híbrida, el efecto de corte por trituración de los conos se combina con continuo

cizallamiento y raspado de una barrena de cortadores fijos (PDC). **(Pessier et al, 2010)**

La acción de corte agresiva de la barrena PDC y la acción de corte de bajo torque de las barrenas de insertos se combinan resultando en una estructura dinámica balanceada en fondo para mayor estabilidad, durabilidad y eficiencia en la perforación, **Figura 5.**



Figura 5. Combinación de estructura de corte-barrena híbrida.

Esta tecnología fue diseñada para perforar, en un principio, formaciones duras e intercaladas proporcionando mayor durabilidad en zonas de transición. Esto hace la perforación más suave y rápida en formaciones duras e intercaladas. Se caracteriza por mantener una ROP equivalente a una barrena PDC en formaciones suaves, mientras que incrementa la ROP en aquellas formaciones duras típicamente perforadas por una barrena de insertos. Por otro lado, genera un torque promedio menor y minimiza las fluctuaciones de

torque para mejorar el control de la cara de la herramienta y reducir las vibraciones. **(Pessier et al, 2010).**

La barrena utilizada para la aplicación descrita cuenta con dos aletas diametralmente opuestas de cortadores fijos, (PDC) con una estructura primaria de corte de 16 mm y de respaldo de 13 mm de última generación. Dos conos de insertos de carburo de tungsteno con estructura de corte tipo cincel en la hilera interna de los conos e insertos

cónicos en la hilera externa. También cuenta con la última tecnología de cojinetes con sello metal-metal.

Tecnología de motor de alta eficiencia

Un motor de alta eficiencia es capaz de transmitir a la barrena la potencia necesaria durante la perforación de formaciones de alta compresibilidad. El torque entregado por el motor

es fundamental para conseguir el rendimiento deseado. Es por ello que el motor propuesto cuenta una relación rotor – estator 5/6 y de 0.2 revoluciones por galón, por lo que es considerado de bajas revoluciones y alto torque.

El diseño del estator de estos motores tiene un perfil interno de acero pre-contorneado recubierto con elastómero delgado y de espesor constante a lo largo del estator, **Figura 6**.



Figura 6. Estator pre-contorneado.

Los beneficios de este tipo de estator son:

- Reducción de la pérdida de energía y mejora de la eficiencia mecánica, **Figura 7**.
- Mejora en la transferencia de calor al anular debido a mejor conductividad térmica, lo que lo hace más resistente a temperaturas elevadas.
- El rediseño de la estabilización, donde los dos primeros estabilizadores están colocados por debajo de la sección de poder reduciendo el efecto de pandeo de la sección de poder e incrementando la capacidad de construcción. (**Reich et all, 2003**).

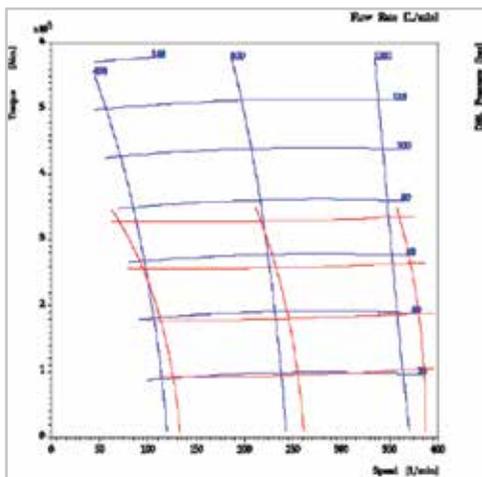


Figura 7. Gráfica comparativa entre motor de alta eficiencia vs estándar.

Objetivos

De acuerdo al ambiente de perforación mencionado y los antecedentes que se tienen perforando el KM, se propuso utilizar un sistema de perforación conformado por tecnología de barrena híbrida y de motor de alta eficiencia. Los objetivos planteados luego del análisis a detalle de los rendimientos, desgastes de barrenas en los pozos vecinos y experiencias a nivel mundial con barrenas híbridas con estructura dual de corte fueron:

1. Perforar un total de 200 m atravesando las formaciones KM y KI.

2. Incrementar ROP en Cretácico.
 - $KM \geq 2.0$ m/hr
 - $KI \geq 3.5$ m/hr
3. Mantener inclinación y rumbo del pozo.
 - Inclinación: 18.99°
 - Rumbo: 343.39°

Resultados

El sistema perforó 331 m, (5,307 a 5,638 MD) a través de las formaciones KM, KI y JST en una sola corrida, lo cual representa una mejora del 66% contra lo programado (200 m), **Figura 8**.

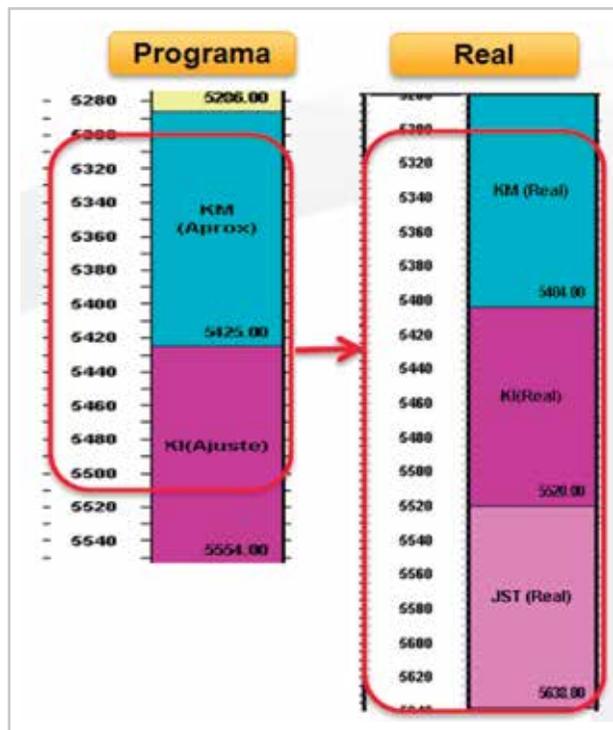


Figura 8. Programa vs real de metros perforados.

Se perforó con tasa de penetración (ROP) promedio de 5.02 m/hr, esto representa una mejora de 57% contra lo programado (3.2 m/hr). Se superó ampliamente todas las expectativas al ser comparado contra el mejor pozo correlativo dentro de las diferentes formaciones, **Figura 9**.

En el KM se perforó con ROP de 4.74 m/hr, 137% de mejora contra el programa, (2 m/hr) y 198% de mejora

contra el mejor pozo correlativo (1.59 m/hr). En el KI se perforó con ROP de 4.84 m/hr, 37% de mejora contra el programa (3.5 m/hr) y 91% de mejora contra el mejor pozo correlativo (2.51 m/hr). Dentro de JST se perforaron 118 m, que no estaban programados, con un ROP de 5.54 m/hr, 19 % de mejora contra el programa y 8% por debajo del mejor pozo correlativo.

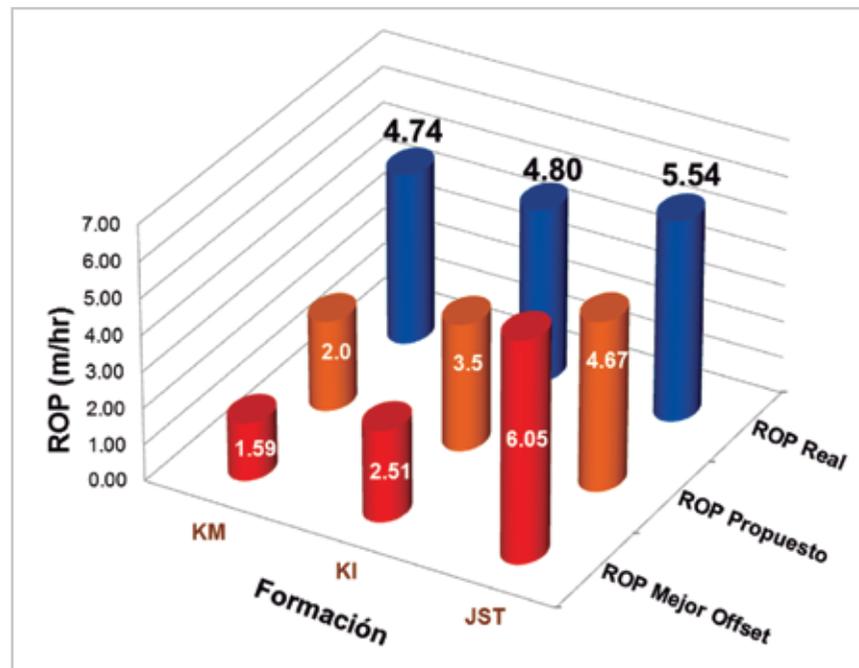


Figura 9. Comparativo de ROP por formación contra programa y mejor correlativo.

De acuerdo a los registros eléctricos con cable se calculó la compresibilidad de la roca observando valores 12,000 a 32,000 PSI de UCS dentro de las formaciones KM y KI. De acuerdo a la descripción litológica generada por el geólogo abordo en las formaciones KM y KI se observan la presencia mayormente de mudstone-wackstone con trazas y esporádicos fragmentos de pedernal negro. El ambiente de perforación real de esta aplicación es similar al de los pozos correlativos, **Figura 10**.

Durante la perforación con este sistema se estuvo trabajando en su mayoría con peso sobre la barrena (PSB) de 14-15 toneladas, 100-150 PSI de diferencial de presión, 60 RPM en superficie y 420 GPM. Siendo 0.2 rev/gal el factor del motor, éste proporcionó un aproximado de 84 RPM logrando obtener hasta 144 RPM en fondo.

Al momento de deslizar se tuvo un control de la cara de la herramienta (tool face) estable, gracias al mecanismo de corte dual de la barrena híbrida, ésto se reflejó claramente en el rendimiento de 3.67 m/hr obtenido durante la orientación y el trabajo direccional. En la **Figura 11** se pueden apreciar claramente las zonas donde se realizó el trabajo direccional (sombreado) y se logró incrementar la inclinación y mantener el rumbo, aun cuando la tendencia natural de la formación fue a tumbar 0.49° cada 30 m durante la perforación en modo rotación.

Cabe mencionar que en la siguiente carrera se utilizó una barrena PDC (7 aletas, 13 mm) con el mismo motor de alta eficiencia observando una menor tasa de penetración al deslizar (<2 m/hr), comprobando con esto la superioridad en el rendimiento del sistema con una barrena híbrida al realizar trabajo direccional.

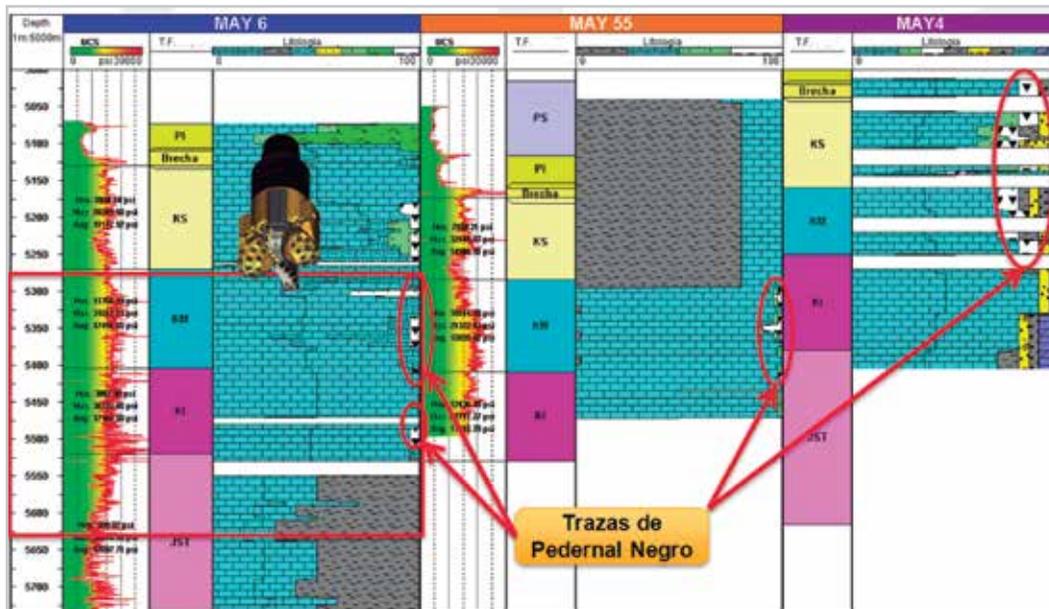


Figura 10. Ambiente perforación real, similar al de pozos correlativos.

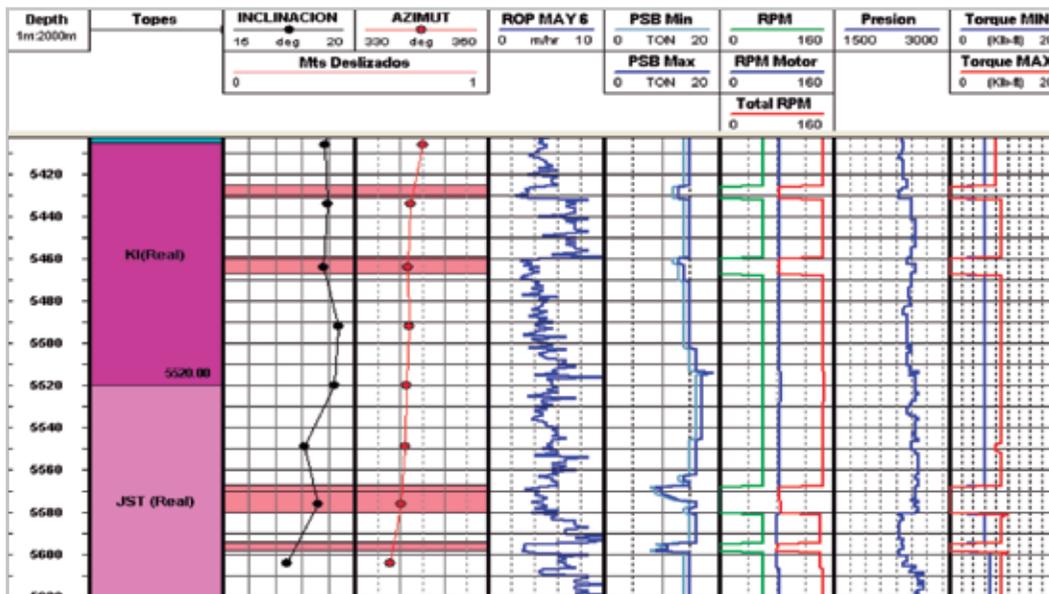


Figura 11. Trabajo direccional efectivo.

Con este sistema se logró perforar un total de 331 m en una sola carrera, los pozos de correlación se requirieron realizar dos viajes para cambio de barrenas y perforaron menor cantidad de metros, **Figura 12**. Esto demuestra no sólo la eficacia de perforación del sistema, sino la confiabilidad del mismo.

Considerando los costos de la tecnología híbrida, costos diarios de la plataforma y los tres días de ahorro de operación se estima un ahorro de 200,000 USD, **Figura 13**.

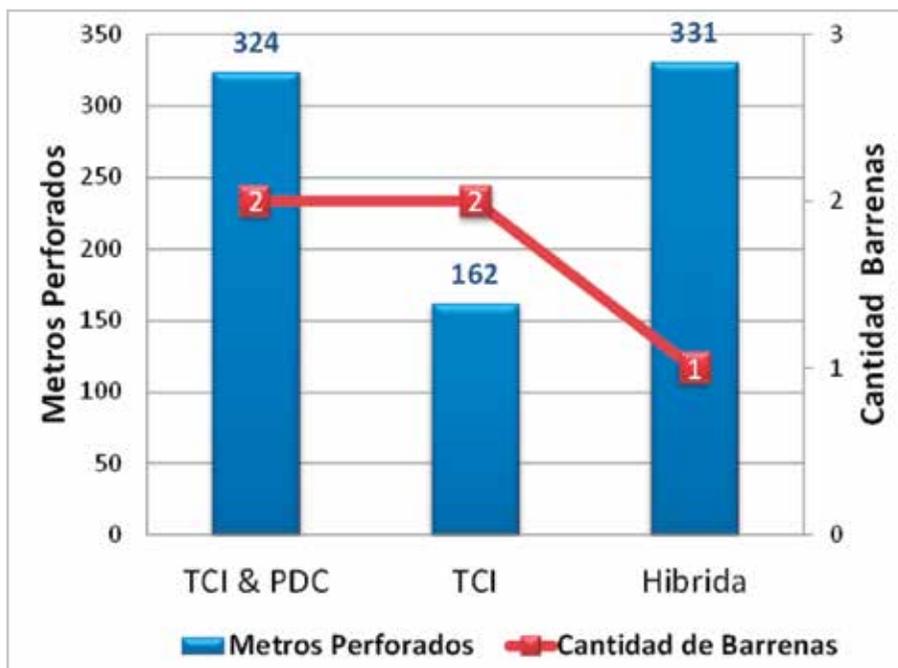


Figura 12. Comparativo de metros perforados y barrenas utilizadas.

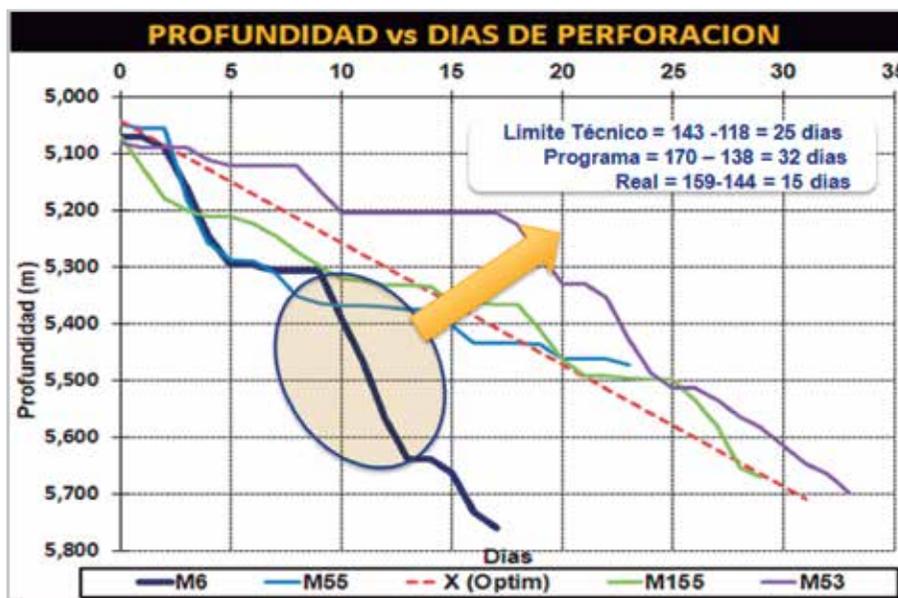


Figura 13. Ahorro en días de perforación al utilizar sistema de tecnología híbrida y motor de alta eficiencia.

Conclusiones

El sistema de perforación de barrena híbrida con motor de alta eficiencia sobrepasó los objetivos planteados.

- Perforó 331 m → 65% más de lo programado.
- ROP General de 5.02 m/hr → incremento de tasa de penetración del 74% respecto al mejor pozo de referencia.
- Ahorro de tres días de operación.
- Se cumplió con los objetivos direccionales.

El sistema superó el rendimiento de barrenas de insertos con motor de fondo y mostró un rendimiento similar que las barrenas PDC con motor de fondo en el mismo ambiente de perforación. Este sistema además es capaz de perforar en ambientes duros con prescencia de pedernal de manera eficiente y proveer eficiente control direccional.

En base a los resultados de este sistema y al uso de tecnología híbrida en otras aplicaciones en México y el resto del mundo se está trabajando en nuevos diseños con diferentes tipos de insertos, mejoras en tecnología de cortadores, variación del número de aletas, paquete de cojinetes y sellos más confiables. Todo esto con la finalidad de tener una variedad de diseños para las diferentes aplicaciones y seguir con la mejora continua.

Nomenclatura

GPM	–	Galones por minuto
IADC	–	Asociación Internacional de Contratistas de Perforación
JSK	–	Jurásico Superior Kimmeridgiano
JST	–	Jurásico Superior Tithoniano
KI	–	Cretácico Inferior
KM	–	Cretácico Medio

MD	–	Metros desarrollados
NE	–	Noreste
PDC	–	Compactos de diamante poli-cristalino
PSB	–	Peso sobre barrena
PSI	–	lb/pulg ²
ROP	–	Tasa de penetración
RPM	–	Revoluciones por minuto
UCS	–	Compresibilidad de la roca no confinada
USD	–	Dólares Americanos

Agradecimientos

Los autores agradecen a Pemex y Baker Hughes por proveer la información y dar permiso para la publicación de este trabajo técnico.

Referencias

1. Grupo VCDSE AILT. Bases de Usuario para Solicitar Servicio de Perforación y Terminación del Pozo de Desarrollo.
2. Pessier, R. y Damschen, M. 2011. Hybrid Bits Offer Distinct Advantages in Selected Roller-Cone and PDC-Bit Applications. *SPE Drill Compl* **26** (1): 96-103. SPE-128741-PA. <http://dx.doi.org/10.2118/128741-PA>.
3. Reich, M., Oesterberg, M., Regener, T., et al. 2003. New Performance Motors Set New Benchmarks in Drilling Performance. Artículo SPE 85338, presentado en SPE/IADC Middle East Drilling Technology Conference and Exhibition, Abu Dhabi, EAU, octubre 20-22. <http://dx.doi.org/10.2118/85338-MS>.

Semblanza de los autores

Ing. Oscar Manuel Delgadillo Reed

Ingeniero Mecatrónico graduado en el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey en el 2008.

En 2008 inició su actividad laboral con Baker Hughes como ingeniero de campo en el área de barrenas de perforación. Actualmente desempeña el cargo de Gerente de Operaciones de la Región Marina en México para el área de barrenas y ampliadores.

Introducción de la tecnología híbrida de barrenas de perforación en México que hasta la fecha ha marcado un nuevo punto de partida en la optimización de la perforación del Cretácico. Presentó en el Congreso Mexicano del Petróleo 2013 y Congreso Petrolero de Abu Dabi 2013, el trabajo técnico de optimización con la barrena híbrida.

Miembro de la SPE.

Ing. Andrés Belloso

Ingeniero Mecánico por la Universidad del Zulia, con estudios de Maestría en Ingeniería Mecánica en la Universidad Tecnológica del Delft, Holanda, en 2003.

En 2004 inicia su actividad laboral en Ingeniería y Proyectos Bit Operaciones, empresa venezolana de servicio, especializada en el diseño, adquisición y análisis de pruebas de presión, perfiles de producción e inyección, servicios completos de línea de acero, evaluaciones de productividad e ingeniería de yacimientos.

En 2005 inicia sus actividades como ingeniero de campo en el área de barrenas de perforación, y luego como ingeniero de aplicaciones en Venezuela, Argentina y México. Actualmente desempeña el cargo de Gerente de currículum para Latinoamérica, encargado de elaborar cursos y entrenamientos para personal del área de barrenas y ampliadores.

Ha participado en varios trabajos técnicos presentados a nivel nacional e internacional. Miembro de la SPE, sección México.