

## Diseño innovativo de barrena PDC para la perforación de secciones intercaladas en una sola corrida: El caso del Campo Oxiacaque

*Ing. Rodolfo Torres Suárez*  
[rtorres@ips-mexico.com](mailto:rtorres@ips-mexico.com)

Información del artículo: Recibido marzo de 2012-aceptado agosto 2013.

### Resumen

El Oxiacaque 5022 es un pozo de desarrollo tipo “J” de 4150 mvbnm (4318 md). Perteneció a la Unidad Operativa Reforma y es administrado por el Activo Integral Samaria-Luna de Petróleos Mexicanos. La diversidad litológica en la perforación de la sección 17 ½” ha incrementado su complejidad debido a los retos involucrados.

El uso de barrenas tricónicas con conos reforzados en agujeros de superficie trajeron en su momento resultados satisfactorios. El presente trabajo propone una solución alternativa y probada a las barrenas tricónicas con un concepto innovador en barrenas de cortadores PDC, permitiendo la búsqueda de la culminación de las etapas superficiales en menos corridas y la mitigación de la ocurrencia de la pérdida de conos de la barrena y eventos de pesca y molienda indeseados.

La aplicación de barrenas tipo TP (perfil ahusado) en la sección 17 ½” ha permitido la perforación exitosa con cortadores tipo PDC a través de cuatro formaciones: Filisola, Concepción Superior, Concepción Inferior y Encanto, las cuales presentan una litología con intercalaciones de cuerpos arenosos y lutíticos.

Los resultados superaron en más del 50% el ROP planificado y el record del campo, (mejor ROP y en una sola corrida).

### Innovative design of PDC bit to drill intercalated sections in one run: The Oxiacaque Field case

#### Abstract

Oxiacaque 5022 is a 4150 m tvd (4318 md) “J” type development well. It is operated by Reforma District and managed by Samaria-Luna G&G Department of Petroleos Mexicanos. Lithological diversity to be drilled in 17 ½” section has increased its complexity due to additional challenges involved.

The use of tricone bits with high endurance cones at shallow holes brought satisfactory results some time ago. This job propose an alternative and proved solution under an innovative concept of PDC bits, pursuing the objective of a section to be successfully drilled in less runs while eliminating the risk of occurrence of loss cones and undesired fishing and milling operations.

TP bits application (tapered profile) in 17 ½” section has allowed the successfully drilling with PDC cutters through four formations: Filisola, Upper Concepción, Lowe Concepcion and Encanto, which represent shaly and sandy intercalated litology. The results surpassed planned ROP in more than 50% and set a new field record (better ROP in one single run).

## Introducción

Como parte del plan de restitución de la producción en la Región Sur, el Campo Oxiacaque está considerado como pieza importante del proyecto.

El Oxiacaque 5022 es un pozo de desarrollo tipo "J", ubicado en la pera del Oxiacaque 33 y tiene una profundidad total programada de 4150 mvbnm (4318 md), con un

desplazamiento de 745.5 m del conductor, con rumbo de N 52.56° E para obtener una explotación de hidrocarburos del Cretácico Superior, del Cretácico Inferior Alóctono y Cretácico Inferior Autóctono.

Está siendo operado por la Unidad Operativa Reforma y administrado por el Activo Integral Samaria-Luna de Petróleos Mexicanos.

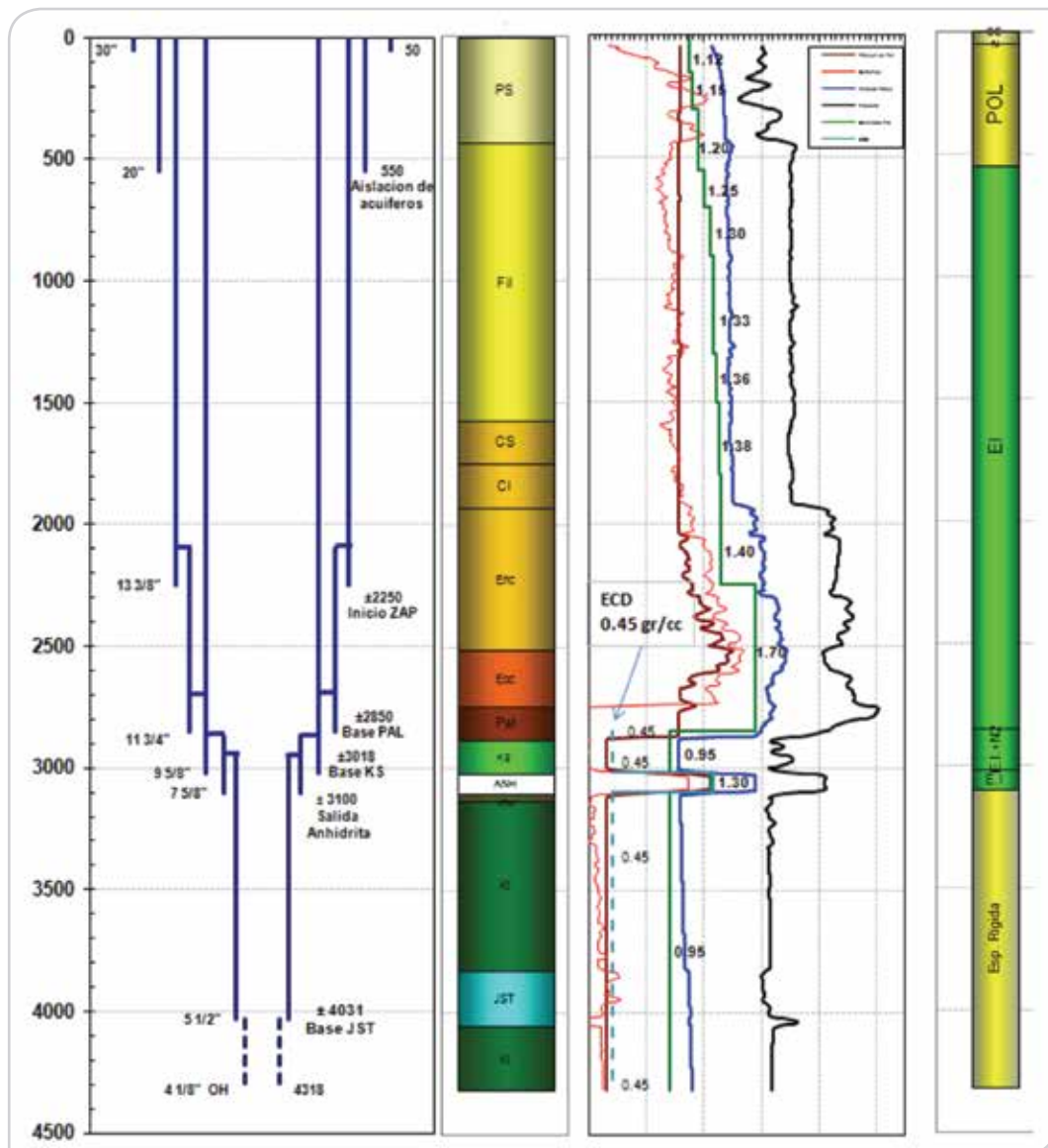


Figura 1. Estado mecánico programado del pozo, (fuente Pemex).

La importancia en el logro de los resultados esperados durante la perforación, comienza en las etapas someras del proyecto: 26" y 17 ½". Es por ello que, aunque la diversidad litológica en la perforación de la sección 17 ½" ha incrementado su complejidad debido a los retos adicionales involucrados como son abrasividad, pobre transferencia de peso sobre la barrena, uso ineficiente de la energía de la perforación a través de su disipación en choques y vibraciones y "stick-slip".

Por esta razón se han planteado alternativas viables para la perforación con niveles superiores de optimización en el uso de la energía para perforar.

Si bien es cierto, el uso de barrenas tricónicas con conos reforzados en agujeros de superficie trajeron en su momento resultados satisfactorios, el presente trabajo propone una solución alternativa y probada a las barrenas tricónicas con un concepto innovador en barrenas de cortadores PDC, permitiendo la búsqueda de la culminación de las etapas superficiales en menos corridas y la mitigación de la ocurrencia de la pérdida de conos de la barrena y eventos de pesca y molienda indeseados.

## Desarrollo del tema

### Etapa de planificación

La fase 17 ½" fue diseñada para atravesar desde los 550 m hasta los 2250 m las formaciones Filisola, Concepción Superior, Concepción Inferior y la zona media de la formación Encanto, dentro de la zona de alta presión con asentamiento del revestimiento en un cuerpo lutítico para garantizar la integridad de la zapata.

Para perforar la etapa de 17 ½" se propuso usar una sarta orientada con MWD con la finalidad de monitorear los parámetros e interferencia magnética que indiquen cercanía con el pozo Oxiacaque-33 para la toma de medidas oportunas y prevención de colisión de pozos.

Durante la perforación se contempló el uso de fluido emulsión inversa con densidades desde 1.25 g/cc terminando la etapa con 1.40 g/cc, viscosidades de embudo de 60 a 65 segundos, viscosidades plásticas de 16-24 cPo y puntos de cedencias de 26 hasta 30 lb/100ft<sup>2</sup>, una relación aceite/agua 75/25, una estabilidad eléctrica de 800 mV y una salinidad (CaCl<sub>2</sub>) al inicio de 120,000 ppm para terminar la etapa con 180,000 ppm.

La etapa fue planificada en 170 horas de perforación a un ROP promedio de 10m/hr.

## Fundamentos técnicos de las barrenas TP, ("tapered profile")

El reto de mitigar los riesgos adicionales asociados con las vibraciones y "stick-slip" como son: rotura/desenrosque de tubería, pobre performance en fondo de las barrenas e inclusive pescas y moliendas, plantea la necesidad del uso de herramientas de vibración, presión anular en tiempo real así como barrenas de características especiales TP.

La serie de barrenas TP es un diseño de barrena patentado (US #7,726,415), enfocado en maximizar la estabilidad y reducir el torque de perforación. La estructura única de corte, el mecanismo de corte de roca y el diseño estable de esta barrena han entregado excelente rendimiento en perforación de diámetros grandes tanto en formaciones abrasivas y fuertemente intercaladas como en diámetros esbeltos en formaciones altamente compresivas y profundas.



Figura 2.

## Características de la tecnología de barrena TP, (tapered profile)

**Ruptura de roca de dos etapas consecutivas**, las barrenas de las series TP incluyen una sección piloto seguida por una

sección ampliadora o rimadora en una sola barrena. Esta configuración provee varias ventajas al perforar:

**Mejora en eficiencia** – Un agujero más pequeño requiere menos energía para perforar, y ampliar un agujero ya existente también utiliza una energía menor pues la resistencia compresiva ya ha sido vencida por la barrena piloto. En resumen, perforar con una barrena TP es más rápido que perforar un agujero nuevo con diámetro convencional. Estos dos conceptos son usados en las barrenas TP al diseñar una barrena piloto que es más pequeña que el diámetro final del agujero, seguido por una sección ampliadora que perfora el diámetro restante.

**Reduce la fuerza aparente de la roca** – Hay un área de alivio estándar entre la sección piloto y la sección rimadora. Esta área le permite al esfuerzo en la formación relajarse en el pozo y después ser ampliado por el rimador. Este alivio de esfuerzos de la roca dura reduce las fuerzas requeridas para remover la roca.

**Torque de perforación suavizado** – El diseño de la barrena TP incluye una estructura de corte espiral y evita un alto grado de pandeo alrededor de la barrena. Esto reduce la tendencia de la barrena de “engranarse” alrededor del agujero cuando se perfora. Cuando se combina con dos estructuras de corte separadas, las irregularidades de torque común en barrenas de una sola etapa son reducidas.

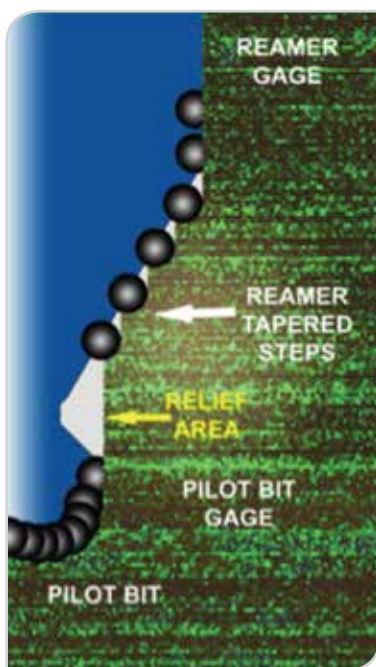


Figura 3.

Esta imagen muestra el proceso de perforación de dos etapas TP, incluyendo el área de alivio entre las secciones piloto y ampliador de la barrena.

Se pueden observar aquí los dos “gage pads” (patines de calibre), separados para cada diámetro, lo cual mejora la estabilidad funcional y disminuye la inclinación de la barrena cuando se corre con alto peso sobre la misma.

De igual modo se puede ver la naturaleza escalonada de la estructura de corte ampliadora, lo cual centra el ampliador y genera una cara horizontal de perforación para los cortadores ampliadores.

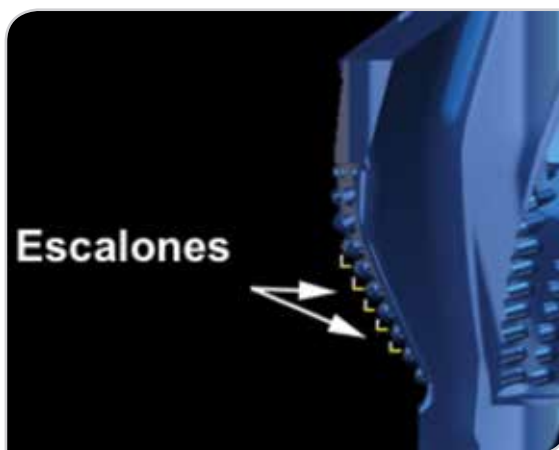


Figura 4.

**Diseño ampliador mejorado** – La sección ampliadora del TP está diseñada para una mayor durabilidad. Parte de este diseño es un patrón escalonado de cortadores, donde un plano de perforación perpendicular al eje de la barrena es desarrollado por el rimador.

Los escalones le permiten al rimador auto-centrarse después de las conexiones y cuando perfora.

Los escalones hacen más eficiente el uso del peso de la barrena con una saliente horizontal de ataque.

El incremento de eficiencia vertical reduce las fuerzas laterales actuando en los cortadores ampliadores.

Estos factores mejoran la estabilidad y reducen las irregularidades de torque comúnmente presentes en diseños convencionales.

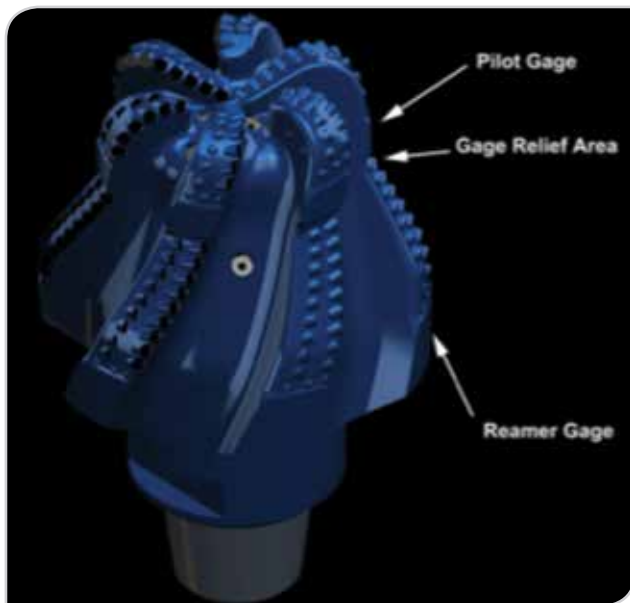


Figura 5.

**Estabilización de doble calibre** – Las barrenas TP son estabilizadas con dos “gage pads” separados en dos diámetros diferentes, además de cualquier característica estabilizadora incluida en la sección piloto y la sección rimadora auto-estabilizante, produciendo “hiper-estabilidad”.

La diferencia en los diámetros de los “gage pads” reduce la tendencia de la barrena a moverse lateralmente, mejorando la estabilidad total.

Los “gage pads” tienen diferentes posiciones en el plano transversal, reduciendo la tendencia de remolino cuando pasa por cambios de formación.

Al tener un pad dedicado a cada diámetro, las barrenas TP pueden correr un peso muy alto sobre la barrena, sin incrementar la probabilidad de inclinación de la barrena y el stick-slip que comúnmente causa.

Hiper-estabilidad para barrenas PDC, hay tres aplicaciones donde la estabilidad es de primordial importancia:

**Agujeros de diámetro grande** – Barrenas PDC grandes requieren mejora en estabilidad debido a la alta velocidad periférica y fuerzas cortadoras asociadas. Sartas de diámetro más grandes incrementan la fuerza de magnitudes generadas con mayor masa inercial rotativa.

**Herramientas LWD sensibles a vibración** – Las herramientas LWD son costosas y tal vez las herramientas más delicadas usadas en perforación. Las vibraciones de barrenas de baja estabilidad y herramientas de perforación pueden afectar LWD MTBF negativamente.

**Roca de alto UCS** – Roca dura (30kpsi y más dura) es más densa, y tiende a requerir energía más alta (peso de barrena o RPM) para falla. Esta roca es también menos favorable para los cortadores PDC, y las vibraciones cíclicas o exceso de movimientos laterales romperán los cortadores. El incremento de estabilidad en la barrena es muy importante cuando se perforan rocas más duras.

**Las series TP han sido diseñadas para esas aplicaciones listadas previamente; sin embargo, hay aplicaciones adicionales en las cuales la TP destaca:**

**Areniscas abrasiva, compresivas** – Perforación simultánea en dos etapas, alta densidad de cortadores y la habilidad de soportar alto peso sobre la barrena hacen la TP una excelente opción para rocas altamente abrasivas. La barrena TP ha perforado exitosamente arenisca de edad Cretácica con 40k psi de UCS donde otros tipos de barrena fallaron.

**Formaciones intercaladas** – El área de alivio entre la sección piloto y la sección rimadora le permite a la formación (tal como sal o anhidritas), expandirse y después ser ampliada al diámetro completo. A esto, se suman la característica de los cortadores backreaming que asegura la habilidad de perforar y jalar libremente.

**Perforación de alta velocidad** – Una versión más ligera de los diseños TP ya existentes pueden perforar muy rápidamente manteniendo mejor control de inclinación debido al “gage pad” diferencial que es estándar en estos diseños. Los patines fijan la barrena dentro la trayectoria y reduce cambios de inclinación.

## Resultados

La aplicación de barrenas tipo TP (perfil ahusado) en la sección 17 ½” ha permitido la perforación exitosa con cortadores tipo PDC a través de cuatro formaciones: Filisola, Concepción Superior, Concepción Inferior y Encanto, las cuales presentan una litología con intercalaciones de cuerpos arenosos y lutíticos.

Los resultados superaron en más del 50% el ROP esperado como se muestra en el gráfico inferior que compara el ROP programado contra el real.

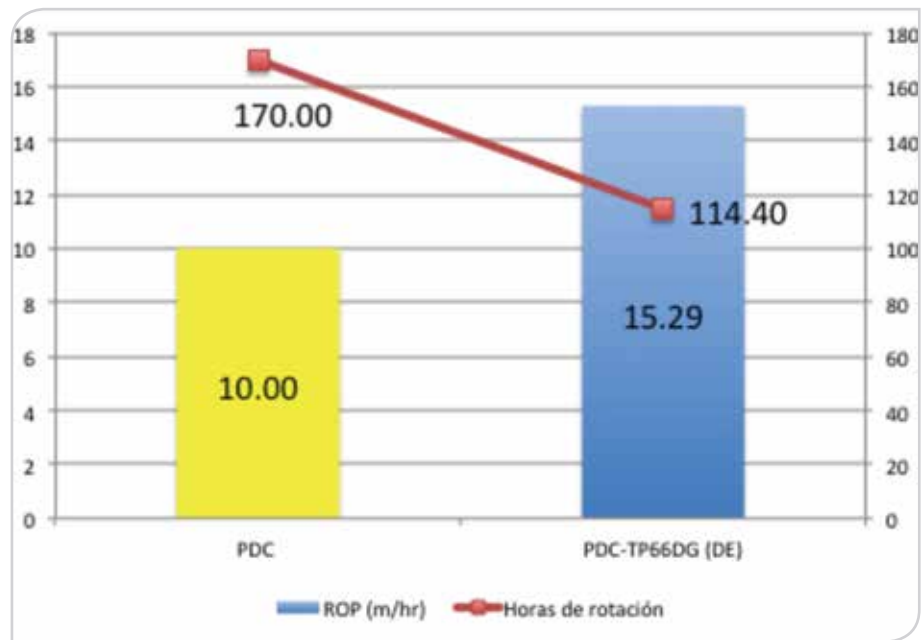


Figura 6. Comparación de plan vs resultados reales.

De igual modo, el análisis de compresibilidades y los m x m corroboran que la elección de barrena fue correcta, dado el

fuerte nivel de intercalaciones existentes en las formaciones atravesadas.

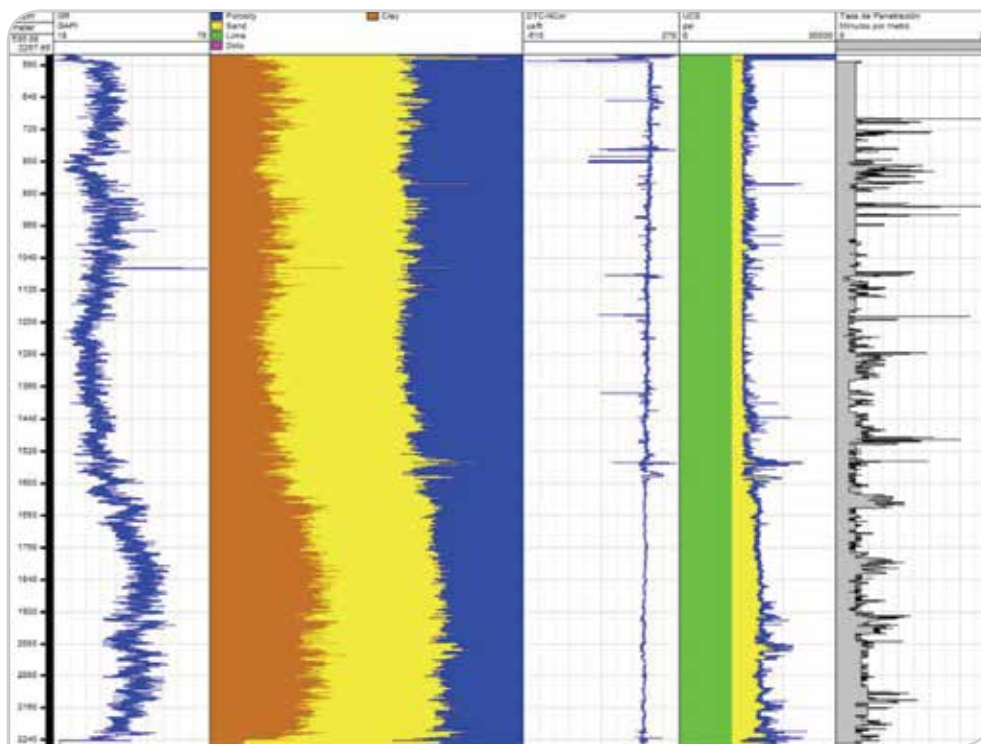


Figura 7. Análisis de esfuerzos compresivos.

En la primera columna de la izquierda se tiene la profundidad del agujero, en la segunda columna se puede ver el registro de rayos gamma, en la tercera columna la litología, en la cuarta y quinta el esfuerzo compresivo y el UCS respectivamente y finalmente en la última pista el m x m cuyos picos coinciden básicamente con los cambios litológicos.

son aquellos perforados en los últimos 10 años en vías de comparar tecnología de barrenas de generaciones actuales, sin embargo, de igual modo y sólo para efectos generales de comparación de progresos cronológicos, se hace una comparación de curvas de tiempos de perforación con los pozos correlación.

### Comparativa con pozos de correlación

Los pozos de correlación del pozo Oxiacaque 5022 que se escogieron como comparativos para el presente estudio,

En la **Figura 8** de avances promedios por día de cada una de las etapas correspondientes, se ve que el pozo Oxiacaque 5022 fue el que más metros diarios perforó.

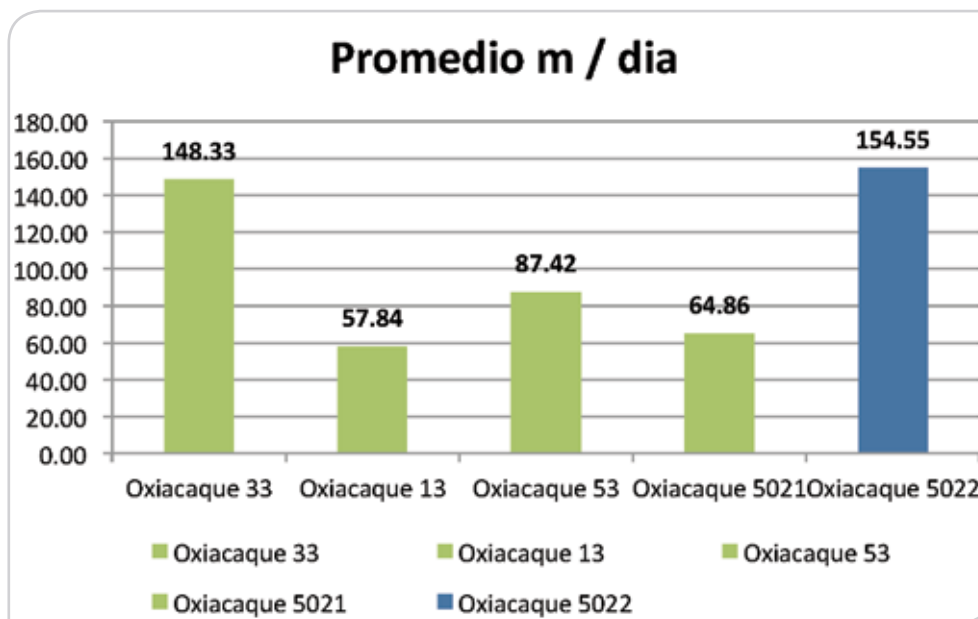


Figura 8. Comparativa de avances de etapa.

La **Figura 9** muestra la información metro a metro de cada uno de los pozos citados en la comparativa. Se puede ver que el pozo Oxiacaque 5022 y el Oxiacaque 5001 fueron

las secciones 17 ½” más rápidas del campo, pero el 5022 perforó la etapa en una sola corrida.

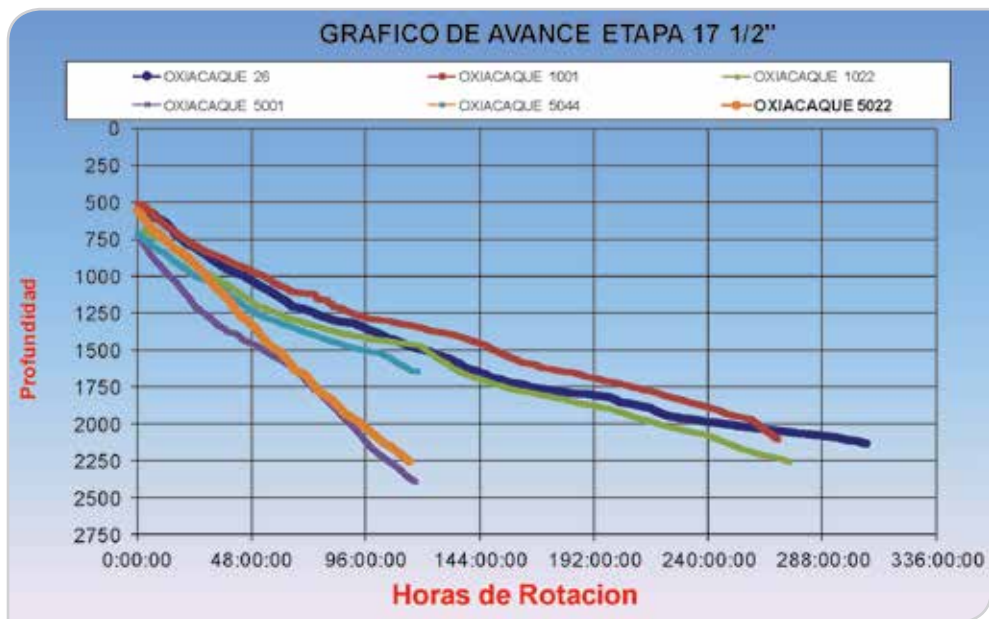


Figura 9. Gráfico comparativa m x m.

De la **Figura 10** se concluye que el pozo Oxiacaque 5022 fue el único que perforó en una sola corrida y con un mejor ROP.

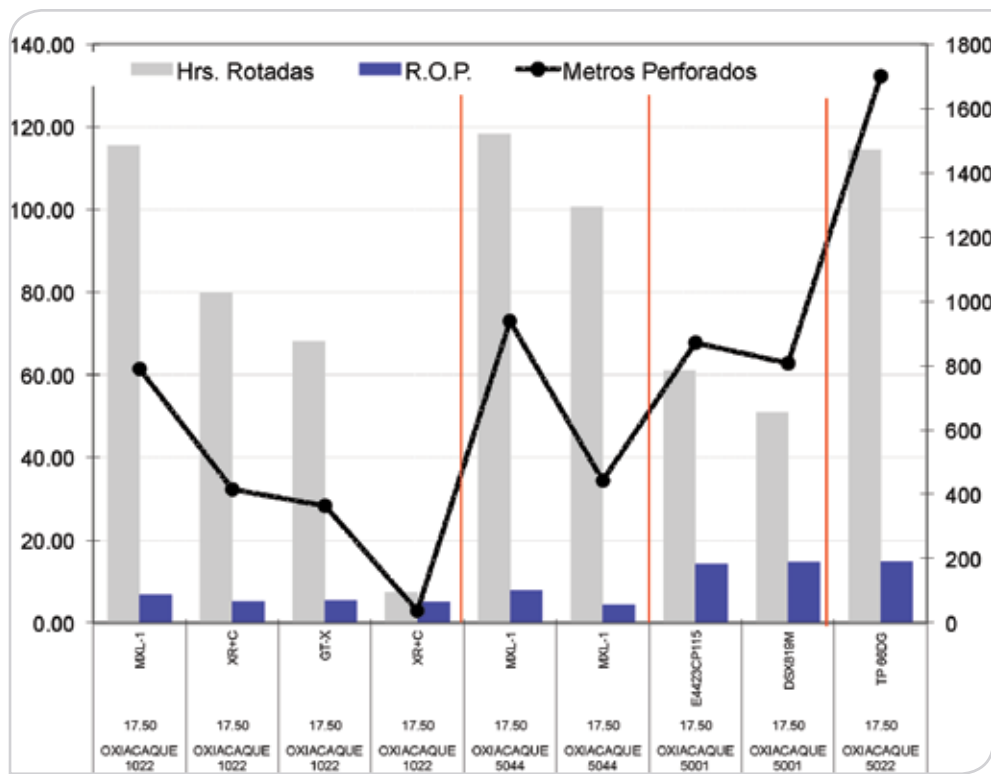


Figura 10. Corridos vs horas rotadas vs metros vs ROP.



La tecnología de barrenas tricónicas significó un resultado alentador para poder perforar secciones intercaladas en el agujero 17 ½", pero la llegada de tecnología de cortadores PDC bajo el diseño de tipo ahusado TP ("tapered profile" en inglés) ha permitido un avance sustancial en los tiempos efectivos de perforación, evitando viajes para cambios de barrenas, así como el riesgo asociado a la pérdida de conos con barrenas tricónicas.

## Observaciones y conclusiones

La barrena TP es la única que ha perforado un pozo del Campo Oxiacaque en una sola corrida, **Figura 10**.

El promedio diario de avance en metros fue un 250% comparando el pozo 5021 con el 5022, **Figura 8**.

El tiempo efectivo de perforación (barrena en fondo), ha sido mejorado en hasta 115 horas (100%), aunque frecuentemente el peso sobre la barrena tuvo que ser controlado para evitar construcción del ángulo en una sección vertical, **Figura 9**.

Dadas las dificultades encaradas en un agujero con alto índice de dificultades, el factor tiempo es esencial en la culminación de la etapa.

El uso de barrenas TP amplía las aplicaciones de los cortadores PDC en unas condiciones de fondo que hasta hace poco resultaba restrictivo para las barrenas PDC's.



**Figura 11.** Fotografía real de una barrena TP 66DG.

## Agradecimientos

En nombre de la Compañía OTS Tools S.A. de C.V. queremos expresar nuestro agradecimiento a Petróleos Mexicanos y muy especialmente a la Unidad Operativa Reforma, sin su colaboración no hubiera sido posible realizar este trabajo de investigación.

## Referencias

PEMEX. Programa de Perforación y Terminación del Pozo Oxiacaque 5022.

Estadísticas y fotografías obtenidas de la base de datos de OTS Oil Tools S.A. de C.V.

## Semblanza

### **Ing. Rodolfo Torres Suárez**

Estudió Ingeniería de Petróleo en la Universidad Nacional de Ingeniería de Lima, Perú, graduándose con honores en 1994.

Inició su carrera en Schlumberger como Ingeniero MWD/LWD en campo desde 1995 hasta 1997, en locaciones costa afuera y de la selva peruana. Continuó su carrera como Perforador direccional en Perú, Colombia y México hasta el 2004. Llegó a ser el líder del grupo y mentor en perforación direccional. Desde 2004 ha gerenciado personal en campo e ingenieros de perforación hasta el 2009, fecha en que se unió al Grupo Integradora de Perforaciones y Servicios (IPS) donde laboró como Gerente de Marketing e Ingeniería hasta el año 2012. En la actualidad se encuentra trabajando como Gerente de país de la línea de negocios de barrenas de perforación y ampliadores excéntricos (OTS) y perforación direccional (IPS).

Miembro de la SPE, ICoTA, AADE.