

Cuñas desviadoras para modificar la trayectoria de los pozos

Greg Bruton

*Chesapeake Operating, Inc.
Oklahoma City, Oklahoma, EUA*

Jimmy Land

David Moran
Shantanu Swadi
Houston, Texas, EUA

Ryan Strachan

Aberdeen, Escocia

Ketil Tørge

Stavanger, Noruega

Históricamente, los perforadores han utilizado tapones de cemento en agujero descubierto o cuñas desviadoras en pozo entubado para modificar la trayectoria de los pozos. Mediante la incorporación de una innovadora ancla de fondo de pozo con un arreglo de cuña desviadora, los perforadores pueden colocar cuñas desviadoras en agujeros descubiertos sin preocuparse por la integridad del tapón de cemento. Los avances introducidos en el diseño de cuñas desviadoras y fresas también están reduciendo significativamente el tiempo requerido para iniciar las desviaciones en pozos entubados.

Traducción del artículo publicado en *Oilfield Review* Primavera de 2014: 26, no. 1.
Copyright © 2014 Schlumberger.

Por su colaboración en la preparación de este artículo, se agradece a Joshua Anderson, Aliaksei Koran, Scott LaBelle y Eric Wilshusen, Houston; James Bain, París; Kendall Decou, Broussard, Luisiana, EUA; Aaron Miller, Oklahoma City, Oklahoma, EUA; y Andrew Redden y David Stewart, Aberdeen.

i-DRILL, Runner, TrackMaster, TrackMaster CH, TrackMaster OH, TrackMaster OH-C, TrackMaster TT y WhipSim son marcas de Schlumberger.

1. Una placa de base de perforación (*template*) es una guía de metal utilizada para perforar múltiples pozos desde una sola localización de superficie. La placa posee múltiples bocas, que se utilizan para dirigir la posición y la orientación de la tubería guía o de la sarta de perforación a medida que se perfora el pozo de superficie. Cuando la producción de un pozo deja de ser rentable, el operador puede optar por recuperar la boca de perforación, mediante el taponamiento del pozo original y la desviación de la trayectoria para crear un pozo nuevo. Las operaciones de recuperación de bocas generalmente implican la remoción de una sección de tubería de revestimiento, seguida por una desviación de la trayectoria en agujero descubierto o la creación de una ventana de salida en la tubería de revestimiento utilizando una combinación de cuña desviadora y fresa. Para obtener más información sobre la recuperación de bocas de perforación, consulte: Abshire LV, Desai P, Mueller D, Paulsen WB, Robertson RDB y Solheim T: "Abandono permanente de los pozos de áreas marinas," *Oilfield Review* 24, no. 1 (Septiembre de 2012): 48–57.
2. Fuller GA y Edwards J: "Key Factors to Consider for Sidetrack Success in Deepwater Operations Using Synthetic Based Muds," artículo OTC 23663, presentado en la Conferencia de Tecnología Marina, Houston, 30 de abril al 3 de mayo de 2012.
3. *Time drilling* es un proceso que requiere una velocidad de penetración extremadamente baja; a veces de menos de 1 m/h [3 pies/h].

Cuando no pueden diseñar un camino para atravesar un problema de fondo de pozo, los perforadores a veces realizan un desvío para sortearlo. La desviación de la trayectoria a partir de un pozo existente se lleva a cabo por diversos motivos; raramente es accidental. En muchos más casos, los operadores desvían la trayectoria del pozo como alternativa al abandono del pozo de superficie cuando existe la necesidad de desviarse por la presencia de detritos o formaciones inestables.

A veces, la desviación de la trayectoria se efectúa para reposicionar la ubicación del fondo del pozo si no se logra interceptar una zona productiva prospectiva. No obstante, cada vez con más frecuencia, los operadores recurren a la desviación de la trayectoria del pozo como parte de su estrategia de producción; es decir, desvían deliberadamente la trayectoria de un pozo central para perforar tramos multilaterales y, en yacimientos no convencionales, lo hacen para perforar en sentido horizontal y así lograr la máxima exposición del pozo. En los costosos desarrollos marinos, la operación de desviación de la trayectoria se utiliza para la recuperación de bocas en una placa de base de perforación (*template*) de una plataforma marina.¹

Por lo general, se perfora y se registra un pozo piloto vertical para determinar dónde se encuentra el yacimiento y luego se construye un pozo desviado a partir de ese pozo piloto. Si el punto de comienzo de la desviación (KOP) se encuentra en pozo entu-

bado, el perforador necesitará colocar la cuña desviadora, fresar una ventana a través de la tubería de revestimiento y perforar una ratonera de unos pocos metros para establecer la desviación. Después de cambiar el conjunto de fondo (BHA), el perforador extiende la desviación utilizando un arreglo direccional. Si el punto de inicio de la desviación (KOP) se encuentra en agujero descubierto, la cuña desviadora se coloca en el agujero descubierto, pudiéndose utilizar de inmediato un arreglo de perforación direccional para iniciar la desviación.

Estas estrategias de desviación de la trayectoria de los pozos se están volviendo especialmente importantes conforme los operadores se aventuran en ambientes desafiantes; sobre todo en las áreas prospectivas de aguas profundas que requieren pozos altamente desviados para alcanzar múltiples objetivos o en las áreas prospectivas a las que sólo se puede acceder mediante la perforación de formaciones de rocas duras y abrasivas. Este tipo de condiciones pone de relieve la necesidad de contar con una tecnología consistente y confiable para la desviación de la trayectoria.

La confiabilidad puede ser un problema en ciertas operaciones de desviación de la trayectoria. Tradicionalmente, la mayoría de las desviaciones en agujero descubierto se inician desde un tapón de cemento. Estas operaciones consisten en perforar un pozo piloto y luego colocar un tapón de cemento que se extiende varios metros por encima y por debajo del KOP. Una vez fraguado el cemento,



se utiliza un BHA direccional para iniciar la desviación del pozo y luego comenzar a perforar el tramo desviado. El éxito de la desviación depende en gran medida de la integridad del tapón de cemento, que, a su vez, depende de la resistencia a la compresión de la formación, la calidad del cemento bombeado en el fondo del pozo y la cantidad de tiempo permitido para el curado del cemento; lo que a menudo implica al menos 24 horas.

Los operadores descubrieron una diversidad de factores que pueden producir la falla o la degradación del tapón de cemento:

- El fluido de perforación puede contaminar la lechada de cemento.
- La presencia de lodo residual o de una película de aceite puede impedir que el cemento se adhiera a la pared del pozo.
- Los volúmenes de cemento bombeados en el fondo del pozo pueden resultar inadecuados.

- La falta de tiempo de espera para el curado del cemento puede impedir que se desarrolle la resistencia a la compresión necesaria para sustentar el tapón.

- El cemento formulado incorrectamente puede no fraguar como se espera o dentro del tiempo asignado.

Además de éstas, se han documentado otras numerosas causas.²

Habitualmente, la integridad del cemento se determina con la barrena de perforación cuando el operador procura iniciar la desviación desde el tapón. Cualquier falla del cemento exige que el operador vuelva a empezar todo el proceso: re-perforar el cemento, efectuar un viaje de salida del pozo, mezclar un nuevo lote de cemento, colocar un nuevo tapón, dejar que cure e intentar nuevamente otro inicio de la desviación; todo a un costo adicional sustancial.

Incluso, un tapón de cemento exitoso puede implicar un costo elevado. El cemento debe ser desplegado en la localización de perforación, y luego mezclarse y bombearse al fondo del pozo, donde es mantenido bajo presión mientras fragua. A continuación, el perforador debe realizar un viaje de entrada en el pozo con una barrena para preparar el tapón hasta la profundidad requerida del KOP.

La preparación del tapón requiere bajo peso sobre la barrena y baja velocidad de penetración (ROP). Estas precauciones ayudan al perforador a evitar el atascamiento de la barrena si se encuentra inesperadamente con cemento sin curar. Cuando alcanza el KOP, el perforador realiza un viaje de salida del pozo para conectar y bajar un BHA direccional. Para iniciar la desviación del pozo, el perforador debe ejecutar los primeros metros muy lentamente (modo *time drill*) a fin de que el pozo adopte lentamente su nueva trayectoria.³



^ Desviación de la trayectoria después del bombeo de cemento. Con el ancla en su lugar, el sistema TrackMaster OH-C permite a los perforadores desviar la trayectoria del pozo sin tener que esperar que cure el cemento.

Además de requerir mucho tiempo, el establecimiento de un KOP en intervalos de alta presión o en pozos altamente desviados puede ser problemático. En ambientes de aguas profundas, caracterizados por temperaturas y presiones elevadas, normalmente la resistencia del cemento no es mayor que la de la formación —la barrena tritura el material de menos resistencia— en este caso, el cemento en vez de la formación. En pozos altamente desviados, los tapones de cemento pueden volverse alargados a lo largo de la inclinación del pozo; a veces, el cemento se desliza pozo abajo, a lo largo del lado bajo de los pozos desviados, o desciende en espiral en los pozos verticales. En algunos casos, es preciso colocar múltiples tapones de cemento hasta que el operador obtiene uno que es suficientemente apto para la desviación de la trayectoria.

Para sortear estos problemas, se ha desarrollado un nuevo sistema de cuña desviadora. El sistema de cuña y desviación de la trayectoria en agujero descubierto TrackMaster OH permite que el operador fije un ancla en su lugar y establezca un KOP confiable en la profundidad precisa y con la orientación necesaria; a menudo, en un solo viaje.

4. Generalmente, sólo se perfora un par de metros de ratonera antes de extraer la fresa, y se instala un arreglo de perforación direccional para continuar con las operaciones de desviación de la trayectoria del pozo.

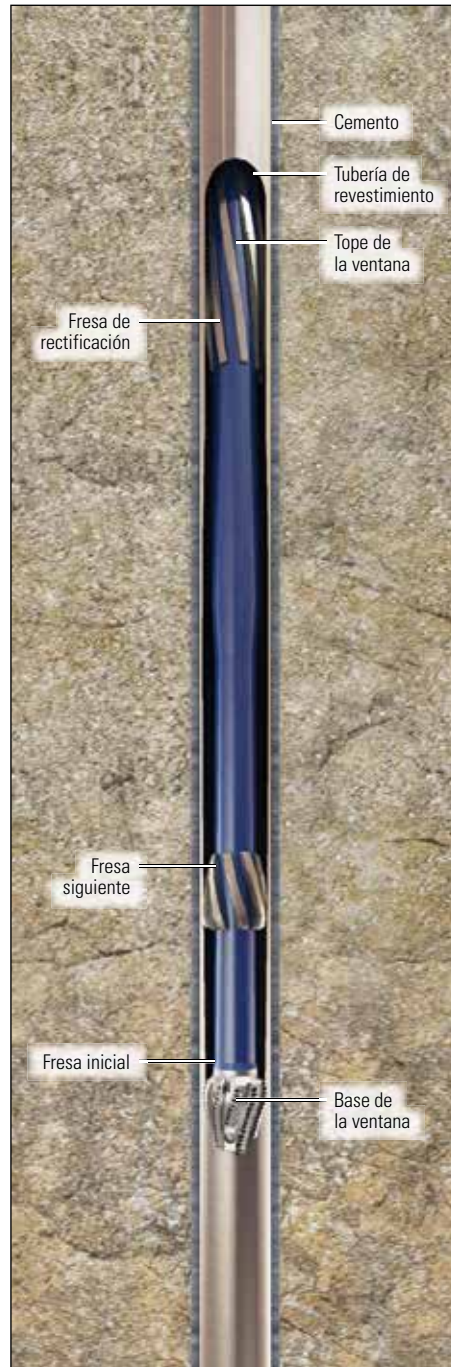
5. La rotación de la cuña desviadora puede ser causada por el esfuerzo de torsión (torque) de la sarta de perforación o por la deposición por efecto gravitacional en respuesta a la inclinación del pozo.

Los operadores pueden adoptar un enfoque similar para desviar la trayectoria de un pozo entubado, utilizando el sistema de cuñas desviadoras para pozo entubado TrackMaster CH. Algunos ejemplos de desviación de la trayectoria en agujero descubierto y en pozo entubado de EUA y el Mar del Norte demuestran la confiabilidad y la precisión de este sistema integrado de cuña desviadora.

Opciones en materia de sistemas

Para la desviación de la trayectoria en pozo entubado se utilizan cuñas desviadoras desde hace varias décadas. Los sistemas de cuñas desviadoras TrackMaster fueron desarrollados para abordar los desafíos que plantea la desviación de la trayectoria en agujero descubierto y en pozo entubado. El sistema para agujero descubierto brinda dos opciones para colocar la cuña desviadora, que dependen de si el operador necesitará acceder al intervalo que se encuentra por debajo del KOP o aislarlo. El sistema para pozo entubado está diseñado para fresar una ventana suave a través de la tubería de revestimiento, antes de perforar la formación.

El sistema de cuña y desviación de la trayectoria en agujero descubierto TrackMaster OH está diseñado para desviaciones en las que no se requiere el aislamiento de la zona inferior y permite la desviación de la trayectoria en un solo viaje, sin la incertidumbre asociada con la colocación de un tapón de cemento convencional. Para lograr los objetivos de desviación, los operadores pueden colocar el sistema en cualquier



^ Fresado de una ventana. El sistema de cuña desviadora TrackMaster CH utiliza fresas especialmente diseñadas para cortar una ventana de salida a través de la tubería de revestimiento. Después que la última fresa atraviesa la tubería de revestimiento, las fresas habitualmente se extraen y se baja un arreglo de perforación direccional hasta la profundidad total.

lugar del pozo; sin importar el perfil del pozo o el tipo de formación. Este sistema está provisto de una traba interna que lo mantiene en su lugar después de colocar el ancla. Esta opción proporciona un control preciso de la profundidad de

inicio de la desviación y la dirección y a la vez elimina el tiempo de espera del curado del tapón de cemento.

Algunas aplicaciones de desviación de la trayectoria en agujero descubierto requieren un tapón de cemento para aislar el pozo por debajo del KOP. En estos escenarios, los operadores pueden utilizar el sistema de cementación y cuña desviadora en agujero descubierto TrackMaster OH-C (página anterior, a la izquierda). Este sistema permite que el perforador coloque una cuña desviadora y un tapón de cemento por debajo de ésta en un solo viaje. Dado que el ancla mantiene la cuña desviadora en su lugar, el operador puede desviar la trayectoria del pozo sin tener que esperar que cure el cemento.

El sistema de cuñas desviadoras para pozo entubado TrackMaster CH se utiliza para cortar ventanas de pleno diámetro en tuberías de revestimiento de cromo y acero de alta calidad (página anterior, a la derecha). Este sistema puede fresar ventanas de salida a través de múltiples sartas de revestimiento y luego continuar perforando algunos metros de formación para iniciar la desviación.⁴

Se ha diseñado un sistema similar para aplicaciones a través de la tubería de producción. El sistema de cuñas desviadoras operadas a través de la tubería de producción TrackMaster TT puede salir hacia la tubería de revestimiento de acero estándar por debajo de la tubería de producción y luego perforar una ratonera de 1 a 4,5 m [3 a 15 pies] para iniciar la desviación. El sistema está diseñado para pasar a través de la tubería de producción y anclarse luego dentro de la tubería de revestimiento corta (*liner*) para fresar una ventana. Esta opción constituye una alternativa económicamente efectiva versus la extracción de la tubería de terminación de los pozos existentes antes de proceder a la desviación del pozo.

Variaciones sobre un mismo tema

Los sistemas de cuñas desviadoras TrackMaster están compuestos por subarreglos básicos con variaciones entre los modelos para pozo entubado y para agujero descubierto. Cada subarreglo es esencial para el sistema de cuñas desviadoras y para la confiabilidad operacional de la operación de desviación de la trayectoria. El sistema para agujero descubierto comprende cinco subarreglos (derecha):

- una válvula de derivación multicíclica para permitir la telemetría MWD de los datos direccionales para la orientación azimutal de la cuña desviadora
- una herramienta de servicio para fijar el ancla



^ El sistema TrackMaster OH. Este sistema de cuña desviadora consta de cinco subarreglos. Estos subarreglos se bajan en el pozo como una sola sarta larga, pero después de colocar el ancla, la barrena se desprende de la cuña desviadora para permitir que los tres subarreglos superiores actúen en forma independiente de los dos inferiores.

- una barrena de perforación para iniciar la desviación
- una cuña desviadora, o rampa de acero, para establecer un KOP

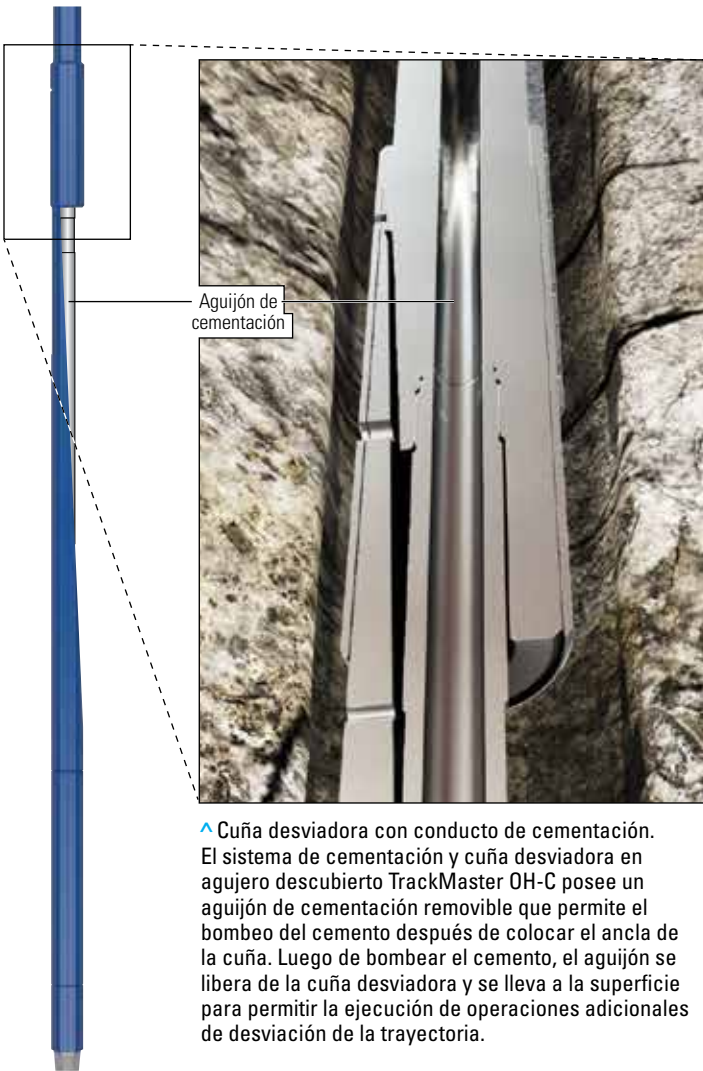


^ Ancla expansible hidráulica. Las mordazas triaxiales de acero de esta ancla pueden expandirse hasta un 150% de su diámetro exterior original con el fin de asegurar una sujeción firme para una gama de tamaños de pozo.

- un ancla para mantener la cuña desviadora en su lugar.

El sistema de cementación para agujero descubierto contiene los componentes descritos precedentemente además de un subarreglo de tubo de cola que puede ser extraído del pozo después de bombear el cemento. El sistema para pozo entubado emplea entre dos y cuatro fresas para recortar una ventana en la tubería de revestimiento y perforar la formación. A continuación, se analizan las características clave de cada subarreglo.

Para aplicaciones en agujero descubierto, un ancla expansible asegura el sistema de cuña desviadora en su lugar (arriba). Esta ancla activada hidráulicamente, posicionada por debajo de la cuña desviadora, puede ser bajada hasta la profundidad requerida y activarse en un solo viaje. Sus tres mordazas de acero sostienen la pared del pozo para proporcionar centralización y resistir la carga axial y el esfuerzo de torsión (torque).⁵

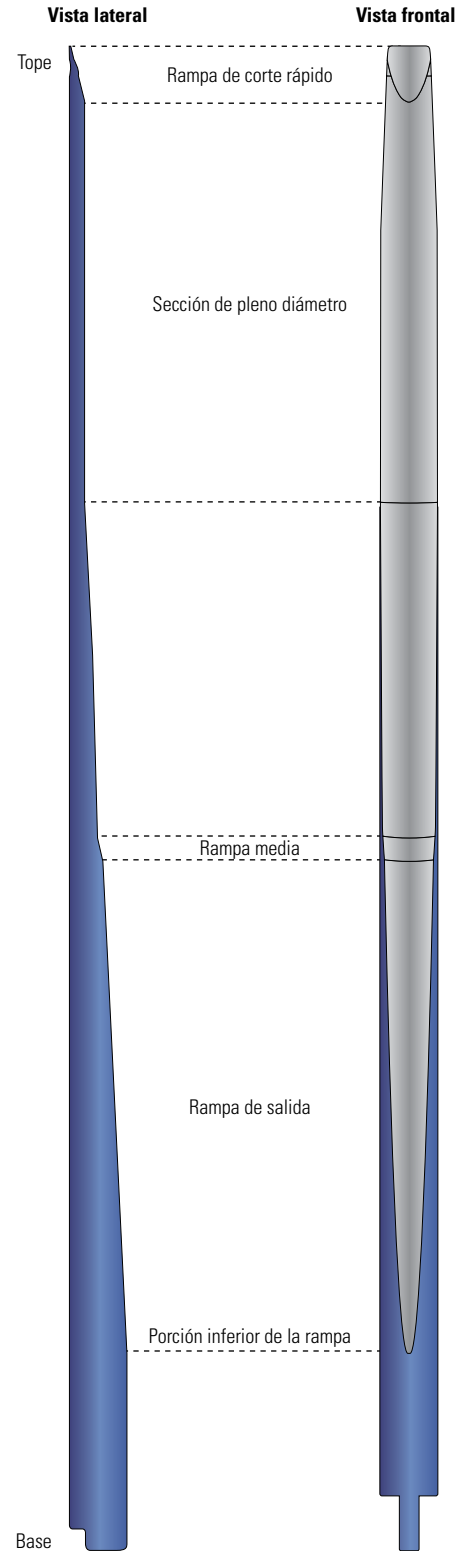


^ Cuña desviadora con conducto de cementación. El sistema de cementación y cuña desviadora en agujero descubierto TrackMaster OH-C posee un agujón de cementación removible que permite el bombeo del cemento después de colocar el ancla de la cuña. Luego de bombear el cemento, el agujón se libera de la cuña desviadora y se lleva a la superficie para permitir la ejecución de operaciones adicionales de desviación de la trayectoria.

Cuando se activa el ancla, una contratuerca mecánica emplazada en su interior impide la retracción no intencional, lo que asegura la conservación de la dirección y la profundidad precisa de comienzo de la desviación. El sistema para pozo entubado ofrece cuatro opciones para asegurar la cuña desviadora (próxima página, arriba).

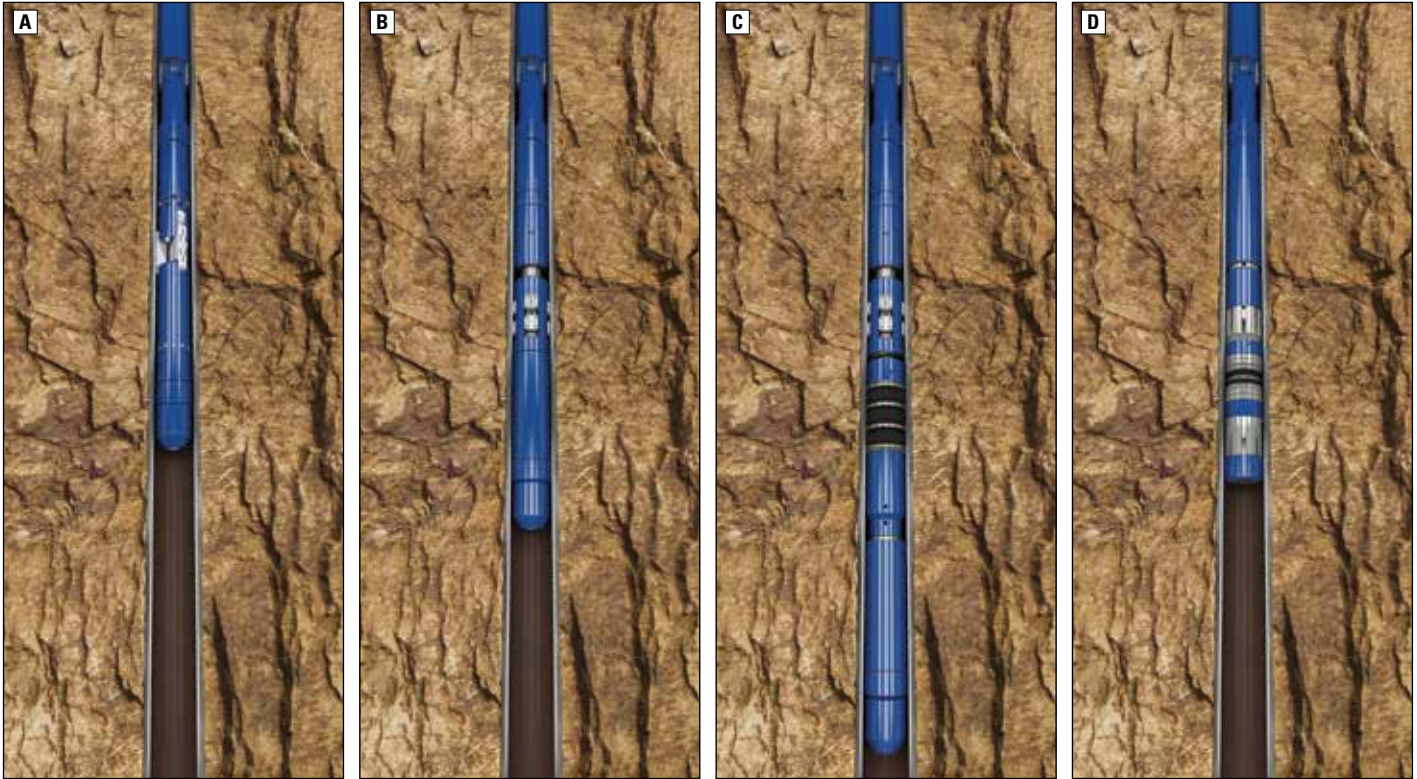
La cuña desviadora, una rampa de acero utilizada para desviar la barrena o la fresa hacia la pared del pozo, ayuda al perforador a iniciar la desviación. A medida que la barrena o la fresa se desplaza por la rampa inclinada, comienza a cortar contra la pared del pozo. El diseño de la rampa es crucial para el desempeño de la barrena o de la fresa durante la desviación y, en última instancia, para el resultado final de esta operación. La cuña desviadora TrackMaster se ajusta estrechamente al tamaño de las barrenas de conos giratorios o de un compuesto policristalino de diamante (PDC) para optimizar el desempeño de la barrena durante las

desviaciones en agujero descubierto. Para la cementación en agujero descubierto, la cuña desviadora posee un conducto para alojar un agujón (*stinger*) de cementación removible (arriba). Un mandril de retención por debajo del agujón sustenta las secciones extendidas del tubo de cola por debajo del ancla para permitir el emplazamiento selectivo del tapón de cemento. Después de bombear el cemento, el perforador extrae el agujón del pozo y de inmediato realiza un nuevo viaje de entrada con un arreglo de perforación direccional para desviar su trayectoria desde la cuña desviadora. En las aplicaciones en pozo entubado, la cuña desviadora especialmente diseñada mejora el acople de la estructura de corte con la tubería de revestimiento y ayuda a reducir la severidad de la pata de perro.⁶ Esta cuña desviadora se divide en múltiples segmentos, cada uno de los cuales es definido por los cambios del ángulo de la rampa (derecha):



^ Perfil de la rampa de la cuña desviadora. La cuña desviadora TrackMaster se divide en segmentos bien definidos, marcados por los cambios del ángulo de la rampa.

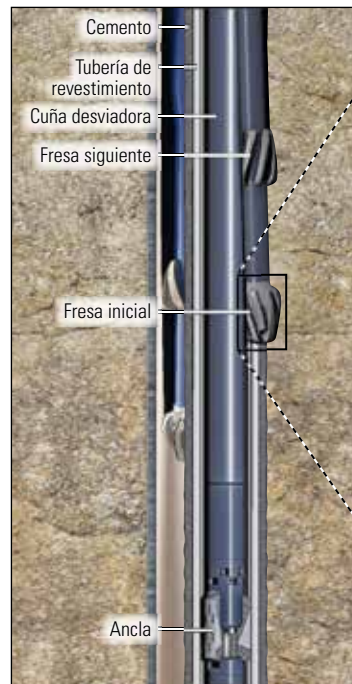
6. La severidad de la pata de perro describe el cambio angular en un pozo. Se expresa generalmente en grados cada 30 m [grados cada 100 pies] de longitud de pozo.



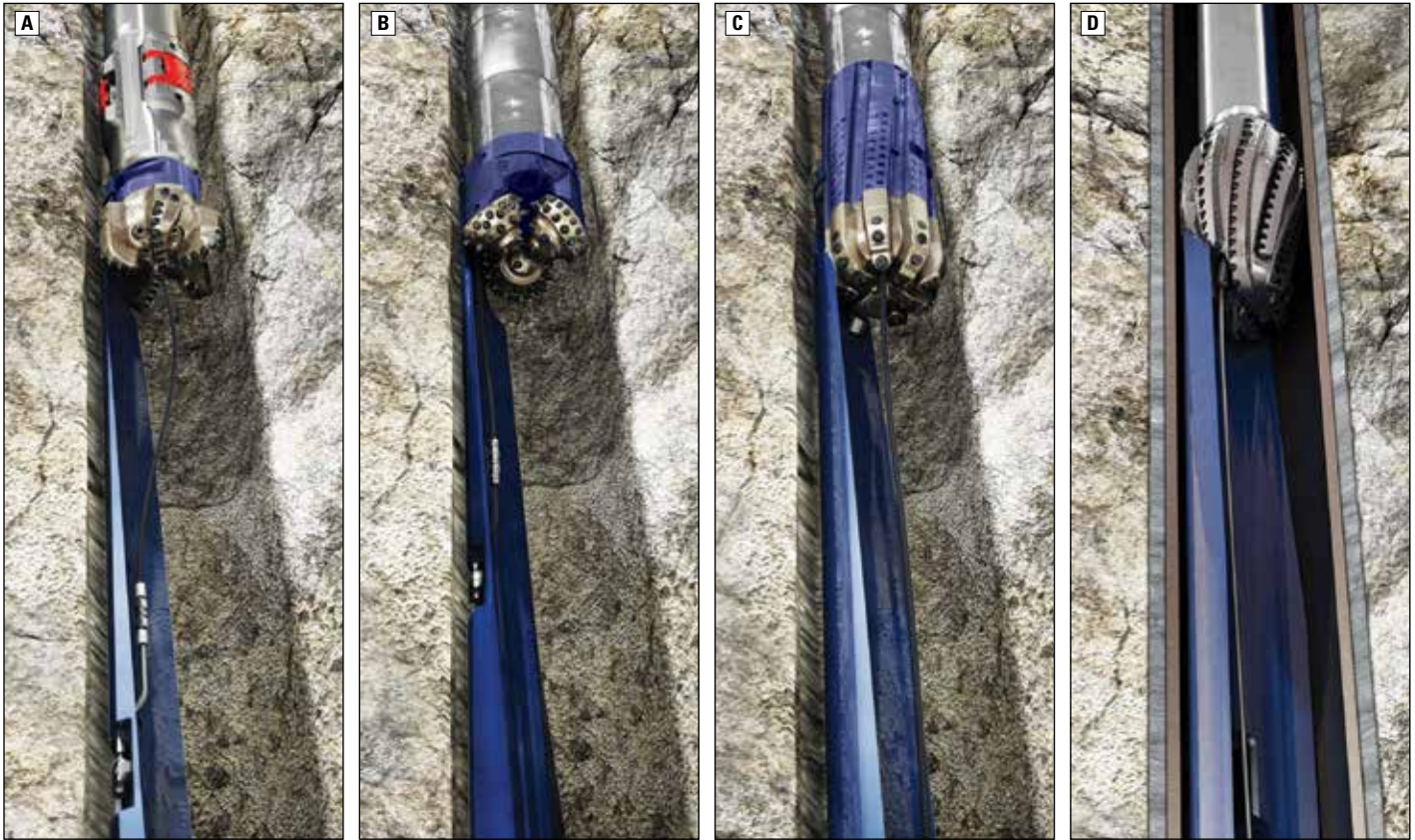
^ Cuatro opciones de pozo entubado para sujetar la cuña desviadora. El ancla expansible accionada hidráulicamente (A) brinda flexibilidad para una amplia gama de tamaños de tubería de revestimiento y se utiliza cuando no se requiere el aislamiento del pozo con un elemento empacador. El ancla recuperable (B) se fija hidráulicamente. El ancla recuperable con el arreglo de empacadores (C) es un sistema de fijación hidráulica y puede ser utilizado cuando se requiere el aislamiento del pozo con un elemento empacador. El ancla del empacador permanente (D) se utiliza cuando se requiere una barrera de aislamiento; como lo indica su nombre, este empacador no es recuperable.

- La rampa de corte rápido, situada en la porción superior de la cuña desviadora, proporciona el ángulo de deflexión necesario para iniciar el corte de la tubería de revestimiento. Además, sostiene la fresa para protegerla durante el viaje de entrada en el pozo.
- La sección de pleno diámetro de la rampa genera una ventana alargada, lo que minimiza la severidad de la pata de perro.
- La rampa media acelera el movimiento lateral de la fresa inicial más allá de su punto central para reducir el riesgo de ahuecarla y permitir que se acople completamente a la formación para facilitar la ejecución de la ventana y de la ratonera en una sola carrera (**derecha**).
- La rampa de salida proporciona el ángulo necesario para permitir que la fresa se aparte correctamente de la cuña desviadora. Esta sección ayuda a minimizar la posibilidad de que la fresa siga la trayectoria del pozo original.

Las barrenas de perforación o las fresas establecen el KOP y la ratonera más allá de ese punto. El sistema TrackMaster admite una amplia gama de barrenas y fresas; desde las barrenas de conos giratorios hasta las de PDC, las fresas con insertos de carburo de tungsteno y las impregnadas de



^ Ahuecamiento de una fresa. El ahuecamiento de la fresa se produce cuando el borde de la tubería de revestimiento mella la fresa inicial, produciendo un orificio en el centro de la fresa (encerrado en un círculo en la fotografía). A medida que el centro de la fresa inicial atraviesa la pared de la tubería de revestimiento (*izquierda*), la punta de la fresa puede ser sometida a un desgaste extremo, lo que afecta adversamente la eficiencia de fresado.



^ Opciones de barrenas y fresas. La barrena o la fresa se fija en la parte superior de la cuña desviadora antes de ser bajada en el pozo. En un arreglo para agujero descubierto, la barrena se fija en la cuña desviadora con pasadores de corte. El sistema para agujero descubierto admite barrenas de PDC (A), barrenas de conos giratorios (B) o barrenas impregnadas de diamantes (C). Las fresas para pozo entubado (D) se fijan en la parte superior de la cuña desviadora con un perno de ruptura. Después de orientar la cuña desviadora y fijar el ancla, la barrena o la fresa se separa de la cuña desviadora mediante la aplicación de una fuerza ascendente o descendente para cortar los puntos de fijación.

diamantes (arriba). Los especialistas en rendimiento de los sistemas TrackMaster utilizan un software de modelado dinámico para ayudar a los operadores a seleccionar la barrena o la fresa óptima para la operación pertinente. Para las aplicaciones en agujero descubierto, el software puede ser utilizado para investigar cómo los arreglos direccionales, tales como los sistemas rotativos direccionales, los motores de desplazamiento positivo o los sistemas de turboperforación, podrían afectar la desviación.

En las operaciones en pozos entubados, la configuración de la fresa estándar comprende una fresa inicial, una fresa siguiente y una fresa de rectificación (derecha). La geometría de la fresa inicial se ajusta a los ángulos de la cuña desviadora TrackMaster para maximizar el acople de la estructura de corte con la tubería de revestimiento y a la vez minimizar las cargas contra el frente de la cuña desviadora. Con esta disposición, se dirige más fuerza de fresado hacia la tubería de revestimiento que hacia la cuña desviadora. Las fresas iniciales se encuentran disponibles en una diversidad de estructuras de corte a fin de optimizar el rendimiento para una amplia gama de obje-



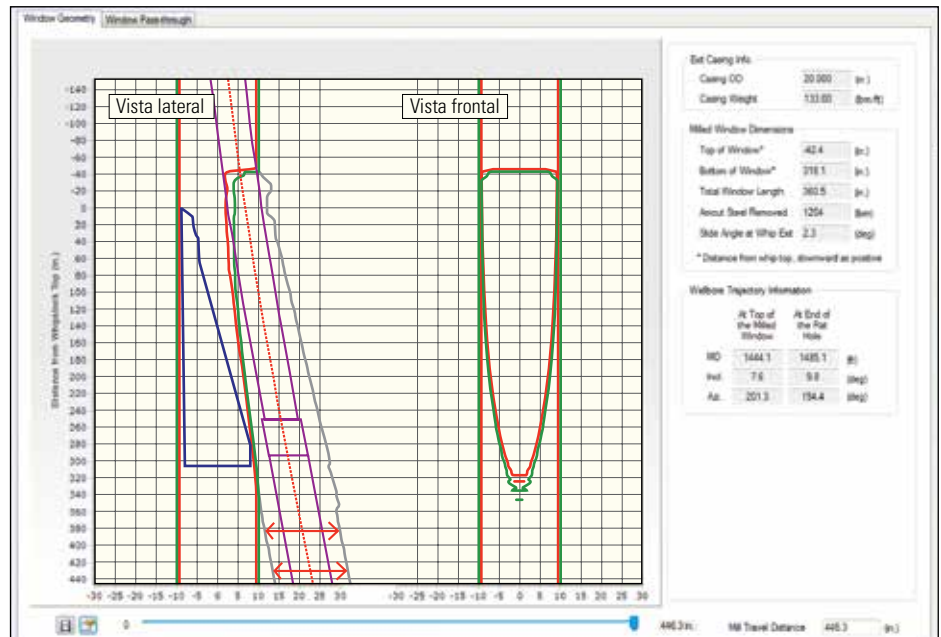
^ Ejecución de la clasificación. Cada componente es medido y calibrado antes de ser bajado en el pozo. Una vez recuperado el arreglo de fresado, cada una de las fresas es clasificada para determinar su desgaste. La fresa inicial (*primer plano*) está diseñada para iniciar el corte y fresar la ventana a medida que se desliza por la cuña desviadora. Además, perfora la ratonera. La fresa siguiente (*centro*) engancha la tubería de revestimiento y alarga la ventana. La fresa de rectificación (*fondo*) elimina los bordes rugosos existentes alrededor de la ventana.

tivos de desviación de la trayectoria. La función de la fresa siguiente consiste en alargar la ventana. La fresa de rectificación lima posteriormente la ventana, lo que asegura el pasaje sin problemas de los conjuntos subsiguientes. En algunas operaciones, la fresa de rectificación se elimina, con lo que se logra un diseño de tipo fresa dual.

La herramienta de servicio, que es crucial para la colocación de la cuña desviadora, se localiza por encima de la barrena o de la fresa. Dicha herramienta consta de una cámara llena de fluido con un pistón flotante para compensar por los cambios de presión a medida que aumentan la temperatura y la presión con la profundidad y proporciona aceite limpio o agua para activar el empacador o el ancla hidráulica del sistema de cuña desviadora. El fluido limpio se utiliza para evitar la contaminación producida por los recortes, los escombros o los componentes del lodo. Estos elementos pueden obtener la línea de control que suministra la presión hidráulica esencial para el accionamiento del ancla.

Después de correr la cuña desviadora hasta la profundidad especificada y orientarla, la presión de superficie se incrementa para colocar el ancla. Esta presión es transmitida a través del pistón flotante, que se desplaza hacia abajo a medida que el fluido ingresa en el ancla para conducir las mordazas hacia el interior de la tubería de revestimiento. Después de colocar el ancla, la barrena o la fresa se desprende de la cuña desviadora. En ese momento, cualquier fluido limpio atrapado entre la herramienta de servicio y el cabezal de la fresa se descarga en el espacio anular, permitiendo que el pistón toque fondo. Con el pistón en esta posición, el fluido de perforación puede pasar a su alrededor para comunicarse con el espacio anular y permitir que comiencen las operaciones de fresado.

Una válvula de derivación multicíclica permite la circulación durante la bajada y la orientación del sistema de cuña desviadora en el pozo. Tanto las operaciones MWD como las operaciones de orientación giroscópica utilizan esta válvula, que permite que el equipo de perforación haga circular o eyecte el fluido de perforación antes de colocar el ancla. La circulación del fluido es necesaria para facilitar la telemetría MWD entre el sensor azimutal de fondo de pozo y la superficie. La válvula se encuentra configurada para producir un funcionamiento cíclico cada vez que se accionan las bombas y permite cinco ciclos cerrándose en el sexto. Por consiguiente, el perforador puede llevar a cabo cinco intentos para orientar la cuña desviadora, si bien a menudo ésta se fija en el segundo intento. Cuando la válvula se cierra, se aplica presión para colocar el ancla.



Programa de simulación de la ventana en la tubería de revestimiento WhipSim. Las vistas lateral y frontal muestran el diámetro externo (verde) y el diámetro interno (rojo) de la tubería de revestimiento. Las fresas múltiples producen una ventana que se extiende 108 cm [42,4 pulgadas] por encima y 808 cm [318,1 pulgadas] por debajo de la parte superior de la cuña desviadora (izquierda, azul) para una apertura total de 916 cm [360,5 pulgadas]. El programa WhipSim modela la forma de la ratonera (gris) construida con las fresas inicial y siguiente y el diámetro resultante del agujero descubierto (flechas rojas). También se modela el recorrido que seguirá (línea central roja) el arreglo de fresado (púrpura). Los ingenieros pueden estudiar el avance del desarrollo de la ventana y la ratonera utilizando una barra deslizante (parte inferior) (azul) para visualizar las reproducciones de la simulación en las diversas etapas del proceso.

Diseño y modelado del sistema

El sistema TrackMaster utiliza el modelado dinámico de avanzada para el diseño de desviaciones que cumplan con las especificaciones del operador. Para las aplicaciones en pozo entubado, el software de simulación de cuñas desviadoras WhipSim ayuda a los especialistas en cuñas desviadoras a modelar la operación de fresado y determinar la geometría resultante de la ventana fresada (arriba). Además, pone a prueba la capacidad de paso de los arreglos de perforación direccional y de las sarta de terminación de pozos para asegurar que el tamaño y la severidad de la pata de perro de la desviación admitan el pasaje del equipamiento de producción.

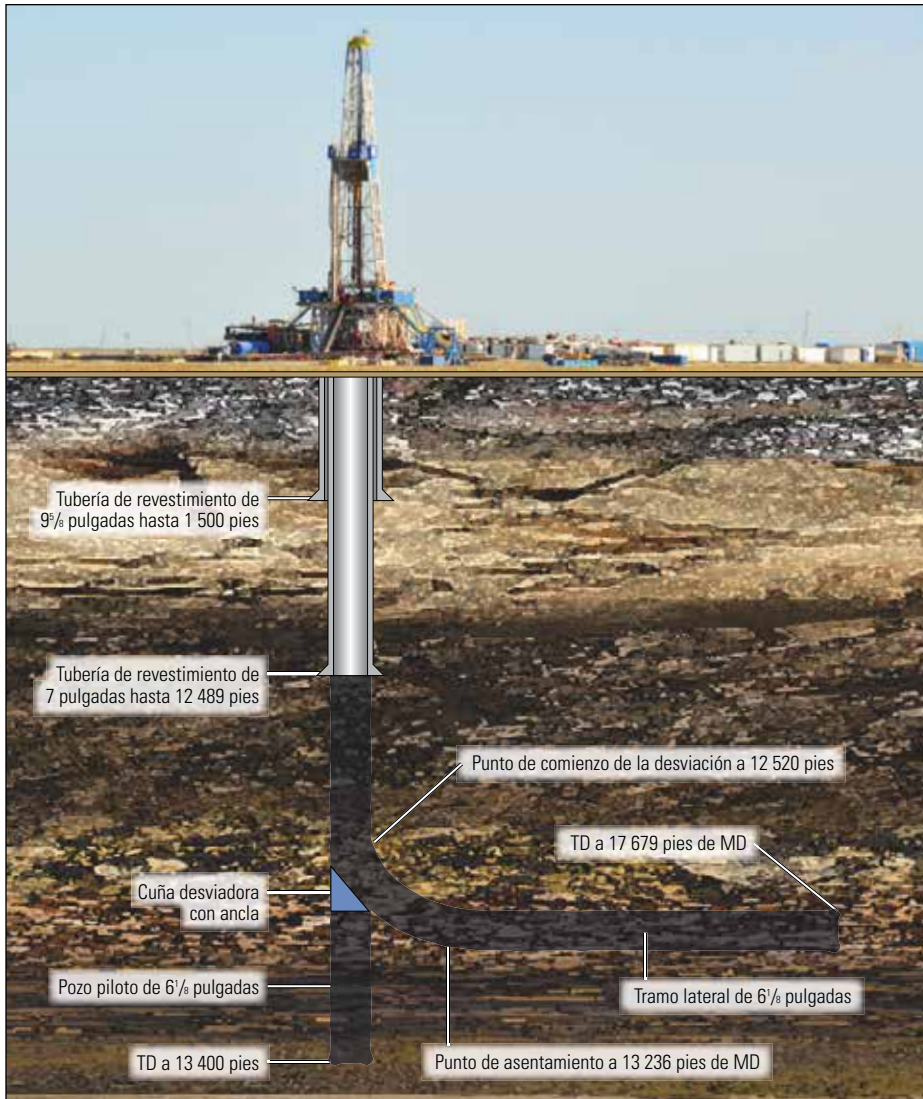
El programa de análisis de la sarta de perforación Runner efectúa el análisis, previo a la carrera, de los esfuerzos de las grapas, además del torque y el arrastre de la herramienta de servicio durante la operación de desviación del pozo. Una vez iniciada la operación, el programa Runner proporciona el análisis en tiempo real de los parámetros encontrados en el fondo del pozo, para la comparación con los parámetros modelados.

El proceso de diseño del sistema de perforación i-DRILL utiliza el modelado predictivo para evaluar el comportamiento del BHA. Mediante la

utilización de datos de pozos vecinos y mediciones de superficie y de fondo de pozo, el sistema i-DRILL crea un ambiente de perforación virtual, que permite que el especialista evalúe el desempeño de los diversos componentes del BHA y luego seleccione los elementos más adecuados para las condiciones únicas de cada pozo.

La puesta a prueba

Entre los escenarios más desafiantes asociados con la perforación direccional se encuentra la construcción de pozos de alto ángulo en formaciones con características que se modifican de manera rápida y errática. La formación Granite Wash del oeste de Oklahoma y el norte de Texas, en EUA, plantea muchos de esos desafíos. Esta formación cubre casi 1 300 km² [500 mi²] y consiste en una mezcla altamente variable de gravas y arenas detríticas provenientes del antiguo levantamiento Wichita-Amarillo y depositadas en la cuenca adyacente. La formación es dura y abrasiva, con grandes variaciones mineralógicas que dificultan la anticipación de las propiedades de las rocas entre un pozo y otro.



^ Configuración del pozo. Después de perforar un pozo piloto, el operador registró el pozo para determinar la profundidad del horizonte objetivo. Se estableció un punto de comienzo de la desviación a 3 816 m [12 520 pies] con una tasa de incremento angular de 14°/30 m [14°/100 pies] para permitir que el arreglo direccional se asentara a 4 034 m [13 236 pies]. (Adaptado de Bruton et al, referencia 7.)

Durante varias décadas, los operadores exploraron zonas productivas múltiples mediante pozos verticales, pero ahora se está registrando un incremento del número de pozos horizontales. La perforación de esos pozos, especialmente cuando se procede a la construcción del ángulo, puede ser problemática. La naturaleza heterogénea de esta formación torna impredecible el desempeño del arreglo de perforación direccional, lo que a menudo obliga a los perforadores a efectuar múltiples viajes para obtener las tasas de incremento angular deseadas. Debido a la variabilidad de la formación, la selección de una barrena sobre la base de su rendimiento en pozos adyacentes es compleja; el desgaste prematuro de la barrena ha sido un problema común. La combinación de un rendimiento direccional pobre y múltiples viajes

de la barrena se traduce en tiempo no productivo y costos de equipos adicionales.

Chesapeake Operating, Inc. está perforando activamente en esta extensión productiva. Para los pozos planificados con desviaciones desde pozos piloto, el operador habitualmente perforaba a través del objetivo deseado y registraba el pozo. Una vez que Chesapeake determinaba el intervalo objetivo, el perforador fijaba un arreglo de cuña desviadora y ancla en el KOP, y luego procedía a un viaje de salida del pozo para correr un arreglo de perforación direccional y construir la sección curva para llegar al punto de asentamiento. Chesapeake pretendía eliminar el viaje requerido para levantar el arreglo direccional. Además, deseaba establecer una estructura de desviación confiable y perforar una curva libre de cambios angulares

adicionales que pudieran obstaculizar el pasaje subsiguiente de los BHAs o del equipo de terminación de pozo.

En el Condado de Beckham, en Oklahoma, Chesapeake planificó perforar un pozo piloto de 4 080 m [13 400 pies] a través de la formación Granite Wash, luego fijar una cuña desviadora e iniciar la desviación, construyendo el ángulo a razón de 14°/30 m [14°/100 pies].⁷ Después del asentamiento en el horizonte previsto, el operador planificó perforar casi 1 220 m [4 000 pies] hasta la profundidad final (TD). El programa de perforación requería un solo viaje para colocar la cuña desviadora, iniciar la curva y perforar tan cerca del punto de asentamiento como fuera posible. Al alcanzar el punto de asentamiento, el operador planificó extraer el BHA y correr un arreglo de perforación direccional para llegar a la TD (izquierda). Chesapeake optó por desviar la trayectoria del pozo utilizando un sistema TrackMaster y seleccionó una turboperforadora de doble curvatura con una barrena impregnada de diamantes para ayudar a lograr una tasa de incremento angular alta.

Después de perforar el pozo piloto, la brigada de perforación realizó un viaje de salida del pozo para correr el sistema de cuña desviadora, el arreglo de perforación y las herramientas MWD. Cuando la barrena alcanzó el KOP, se utilizó un giroscopio para orientar la cuña desviadora azimutalmente y luego el perforador activó hidráulicamente el ancla en agujero descubierto. Cuando se desenganchó el arreglo de perforación de la cuña desviadora, el perforador comenzó la desviación de la trayectoria y pudo incrementar el ángulo hasta 73° antes de detenerse para extraer la barrena cuando la ROP se redujo apreciablemente. Después de perforar 183 m [600 pies], la barrena se había desgastado; lo cual no es inusual en las operaciones de desviación de la trayectoria en la formación Granite Wash.

Durante el viaje de salida del pozo o durante la nueva bajada con un nuevo BHA, no se planteó problema alguno para el perforador. El nuevo arreglo permitió al perforador alcanzar el punto de asentamiento planificado y el pozo fue perforado con éxito hasta la TD. La facilidad de los viajes de

7. Bruton GA, Talkington J, Desai P, Swadi S y Kelley J: "Innovative Drilling System with a Built-In Kick-Off Ramp Allows Dependable Curve Building in Granite Wash Formation," artículo SPE/IADC 163534, presentado en la Conferencia y Exhibición de Perforación de las SPE/IADC, Ámsterdam, 5 al 7 de marzo de 2013.

8. Finlay A, Bain J, Fairweather A y Ford J: "Innovative Whipstock Technology/Procedures Successfully Complete Challenging Low-Side, Uncemented Casing Exits: UK North Sea," artículo SPE 149625, presentado en la Conferencia de Perforación y Terminación de Pozos en Aguas Profundas de la SPE, Galveston, Texas, EUA, 20 al 21 de junio de 2012.

entrada y salida del pozo indicó que se había producido una desviación sin problemas, lo que eliminó la necesidad de volver y rectificar el pozo. Además de correr el sistema de cuña desviadora y perforación en una sola carrera, Chesapeake evitó las incertidumbres y los costos asociados con efectuar un viaje especial para colocar un tapón de cemento.

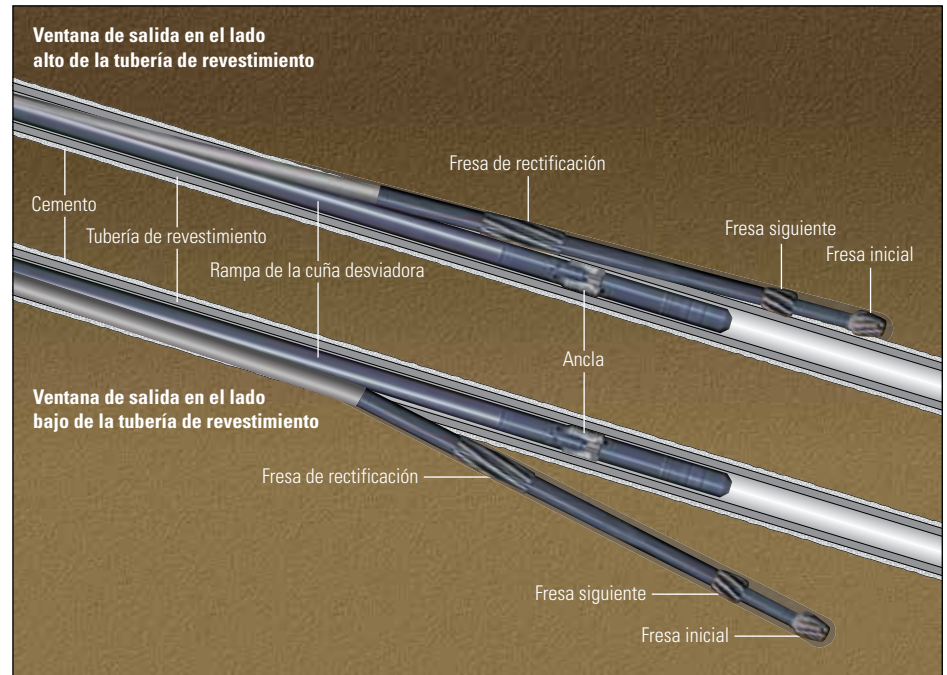
Desviaciones de la trayectoria en un campo maduro

En 1970, BP descubrió el campo Forties, uno de los descubrimientos más grandes del sector del Mar del Norte correspondiente al Reino Unido. El campo Forties se encuentra ubicado a unos 170 km [105 mi] al este de Aberdeen, donde el tirante de agua (profundidad del lecho marino) es de 125 m [410 pies]. Este campo produce de cinco plataformas y se estima que contiene aproximadamente 397 millones de m³ [2 500 millones de bbl] de petróleo. Cuando Apache Corporation adquirió una participación mayoritaria en el año 2003, el campo producía de 45 pozos. Para el año 2011, Apache había perforado 32 pozos más y había mapeado varios objetivos de perforación nuevos para el desarrollo futuro.

Dado que el campo ha madurado, Apache debió buscar reservas a mayor distancia de las plataformas. Para acceder a los objetivos lejanos, Apache perforó pozos de alto ángulo desviados desde los pozos existentes. En el proceso, el operador debió enfrentar desafíos de inestabilidad de los pozos atribuidos a la pérdida de presión del yacimiento y a las propiedades anisotrópicas de los estratos de sobrecarga de lutita.⁸

En el campo Forties, las ventanas de salida convencionales cortadas en el lado alto de la tubería de revestimiento se complicaban debido a problemas de inestabilidad de los pozos fuera de la ventana. Los perforadores experimentaban dificultades frecuentes en la unión del pozo original con la nueva desviación. Si bien muchas de estas desviaciones no mostraban signos de inestabilidad durante la carrera inicial para fresar la ventana en la tubería de revestimiento, en los viajes subsiguientes con un arreglo de perforación, el pozo se empacaba en la ventana al derrumbarse la lutita en torno al BHA. Los esfuerzos para liberar el arreglo a veces producían daños en el área de la ventana, obligando a la ejecución de una carrera adicional con una fresa para rectificar la ventana. En algunos casos, debía iniciarse una nueva desviación en una posición más alta del pozo.

En los pozos de alta inclinación, las ventanas de salida cortadas en el lado alto de la tubería de revestimiento pueden plantear problemas adicionales para el perforador. A menudo, el arreglo de



^ Ventanas de salida en la tubería de revestimiento. El ángulo del pozo, la orientación de la ventana y las características de la formación pueden hacer que algunas ventanas de salida cortadas en el lado alto de la tubería de revestimiento sigan el recorrido de la tubería de revestimiento. La fuerza de gravedad juega a favor de las ventanas de salida cortadas en el lado bajo, alejando el arreglo de fresado de la tubería de revestimiento.

fresado recorre el trayecto de la tubería de revestimiento existente, siguiendo la tubería de revestimiento en lugar del trayecto horizontal deseado (arriba). Esta tendencia cobra impulso cuando los vacíos existentes en el espacio anular forman un trayecto de menor resistencia que es seguido por la fresa.

En respuesta a estos problemas, los ingenieros propusieron fresar una ventana de salida en el lado bajo de la tubería de revestimiento. Cuando se utilizan arreglos estándar de cuñas desviadoras, hasta estas salidas pueden ser problemáticas porque pueden cerrar el acceso al pozo inferior cuando el arreglo de fresado es liberado por la fresa. No obstante, para compensar el efecto gravitacional, los ingenieros modificaron el arreglo para ejercer una fuerza ascendente en la punta de la cuña desviadora cuando se coloca el ancla.

La ventana de salida en el lado bajo de la tubería de revestimiento mitiga el problema de que el arreglo de fresado siga el trayecto exterior de la tubería de revestimiento porque la atracción gravitatoria tiende a hacer que el BHA reduzca el ángulo cuando la fresa inicial penetra en la formación. La ventana de salida en el lado bajo está protegida de alguna manera de las formaciones inestables por la tubería de revestimiento

en sí ya que provee un techo para la ventana del lado bajo. Hasta la fecha, en el campo Forties se han fresado 22 ventanas en el lado bajo de la tubería de revestimiento.

Flexibilidad para los operadores

La recuperación de las bocas de perforación usadas, la perforación de tramos multilaterales, la ejecución de desviaciones para sortear la presencia de detritos, o la perforación de pozos de alcance extendido, presentan desafíos de ingeniería únicos que pueden ser agravados por problemas asociados con el inicio de la desviación. En lugar de colocar la cuña desviadora a sólo 30° a la derecha o la izquierda del lado alto de un pozo —una práctica común para muchos servicios de cuñas desviadoras— el sistema de cuña desviadora TrackMaster ofrece la flexibilidad para desviar la trayectoria en forma confiable con cualquier orientación y con cualquier inclinación del pozo.

Esta capacidad proporciona a los operadores un trayecto directo hasta el objetivo sin necesidad de iniciar una desviación orientada en el lado alto. Es decir, que ya no tienen que perforar en rededor y hacia abajo para llegar a su objetivo, lo cual se traduce en una reducción del tiempo de perforación. Ahora, en vez de desviarse para sortear problemas, los operadores se están desviando para buscar oportunidades. —MV