

# El arte de controlar la trayectoria de los pozos

Kate Mantle

Asesora de perforación direccional

La práctica de la perforación direccional se remonta a la década de 1920, cuando se introdujeron los métodos básicos de prospección de pozos. Estos métodos alertaron a los perforadores acerca del hecho de que los pozos supuestamente verticales en realidad se desviaban en direcciones indeseadas. A fin de abordar estos problemas de desviación, los perforadores inventaron técnicas para mantener la trayectoria del pozo lo más vertical posible. Esas mismas técnicas fueron empleadas posteriormente para desviar deliberadamente el pozo a fin de intersectar las reservas de difícil acceso.

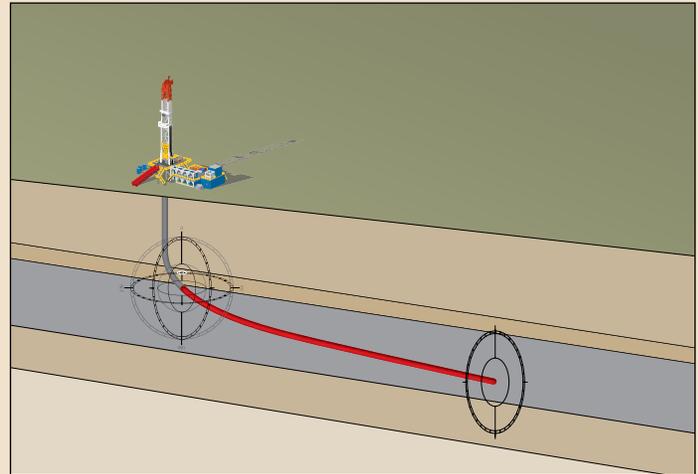
Los primeros pozos direccionales perforados en forma intencional proporcionaron soluciones correctivas para los problemas de perforación: el enderezamiento de pozos torcidos, la desviación de la trayectoria de los pozos en torno a tuberías atascadas y la perforación de pozos de alivio para controlar reventones (abajo). Los perforadores direccionales utilizaban instrumentos de levantamiento rudimentarios para orientar los pozos. Hacia la década de 1930, en Huntington Beach, California, EUA, se perforó un pozo direccional controlado desde una localización en tierra firme para llegar a las arenas petrolíferas marinas.

Hoy en día, los operadores utilizan equipos de perforación sofisticados para perforar estructuras geológicas complejas identificadas en base a datos sísmicos 3D. Las reservas previamente inalcanzables se han vuelto accesibles y de producción rentable.

La perforación direccional comprende tres aplicaciones especiales principales: perforación de pozos de alcance extendido (ERD), perforación de tramos multilaterales y perforación de pozos de radio corto. Los operadores han utilizado la ERD para acceder a los yacimientos marinos desde localizaciones terrestres, eliminando a veces la necesidad de contar con una plataforma.

Traducción del artículo publicado en *Oilfield Review* Invierno de 2013/2014: 25, no. 4. Copyright © 2014 Schlumberger.

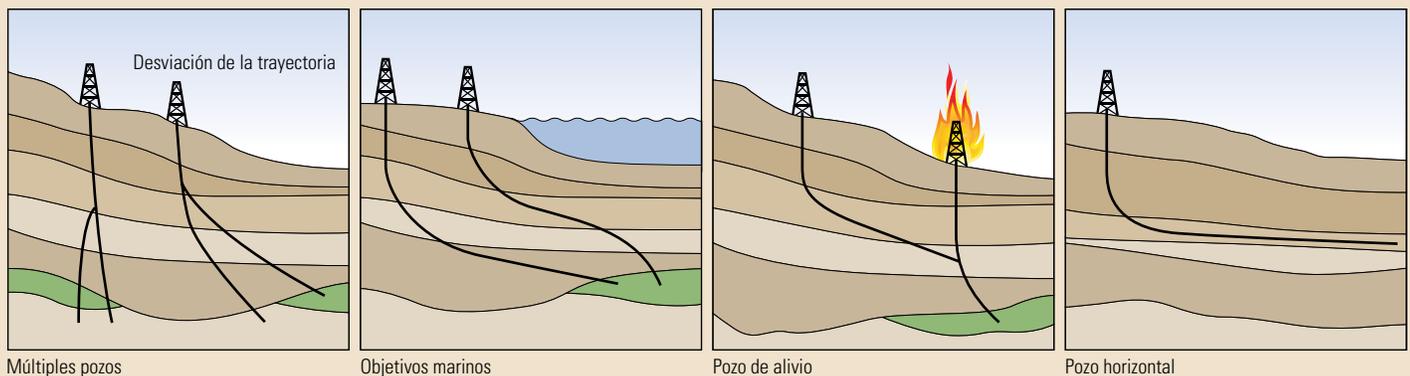
Por su colaboración en la preparación de este artículo, se agradece a Steven Hough, Stonehouse, Inglaterra, y a Richard Hawkins, Midland, Texas, EUA.



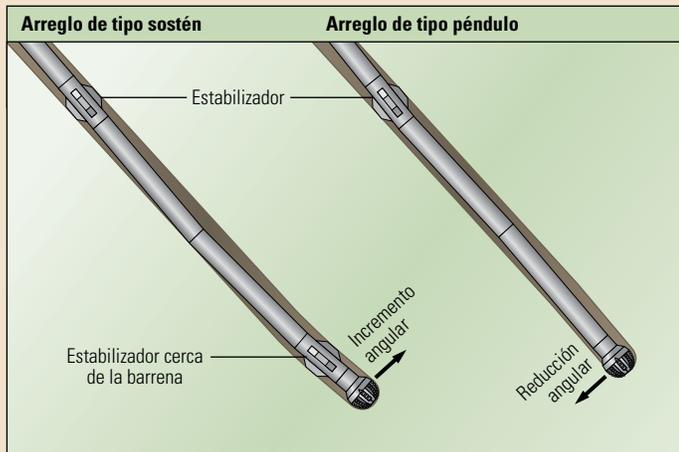
de la ramificación de múltiples extensiones desde un solo pozo. El primer pozo con tramos multilaterales fue perforado en el año 1953 en el campo Bashkiria, en la República de Bashkortostán, en Rusia. El pozo principal tenía nueve ramificaciones laterales que incrementaron la penetración de la zona productiva en 5,5 veces y la producción en 17 veces, y sólo había costado 1,5 veces más que un pozo convencional. La perforación de pozos de radio corto genera pozos con una curva de 44 m [144 pies] o un radio aún menor.

## Principios de la perforación direccional

La mayoría de los pozos direccionales comienza como pozos verticales. A una profundidad designada, denominada *punto de comienzo de la desviación* (KOP), el perforador direccional desvía el trayecto del pozo mediante el incremento de su inclinación para comenzar la *sección de incremento angular*. Los levantamientos ejecutados durante la perforación indican la dirección de la barrena y la *orientación de la herramienta*, o la orientación de los sensores de medición en el pozo. El perforador direccional monitorea constantemente estas mediciones y ajusta la trayectoria del pozo según las necesidades para interceptar el objetivo siguiente a lo largo de la trayectoria del pozo.



▲ Aplicaciones de perforación direccional. Los yacimientos a los que no es fácil acceder desde localizaciones de superficie pueden ser explotados a través de la perforación direccional.



^ Utilización del BHA para cambiar el ángulo. La flexión de la tubería por encima de una barrena incide en la desviación del pozo. A través del posicionamiento estratégico de los portamechas (lastrabarrenas) y los estabilizadores, el perforador direccional puede incrementar o reducir la flexibilidad y la curvatura del BHA para incrementar o reducir el ángulo.

En un comienzo, la perforación direccional implicaba un arreglo rotativo sencillo de fondo de pozo (BHA) y la manipulación de parámetros tales como el peso sobre la barrena (WOB), la velocidad de rotación y la geometría del BHA, para lograr la trayectoria pretendida. Los cambios producidos en la rigidez del BHA, el posicionamiento y el calibre de los estabilizadores, la velocidad de rotación, el WOB, el diámetro del pozo, el ángulo del pozo y las características de las formaciones afectan en su totalidad la capacidad direccional y la eficiencia de perforación de un BHA.

A través de la variación del posicionamiento de los estabilizadores en la sarta de perforación, los perforadores direccionales pueden modificar las fuerzas laterales que actúan sobre la barrena y el BHA, haciendo que incrementen, mantengan o reduzcan la inclinación, lo que se conoce comúnmente como *incremento, mantenimiento o reducción del ángulo*, respectivamente (arriba).

- Para incrementar el ángulo, el perforador direccional utiliza un BHA con un estabilizador cerca de la barrena de pleno diámetro, otro estabilizador entre 15 y 27 m [50 y 90 pies] por encima del primero y un tercer estabilizador a unos 9 m [30 pies] por encima del segundo. Este BHA actúa como un elemento de apoyo, ejerciendo una fuerza lateral positiva en la barrena.
- Para mantener el ángulo, el perforador direccional utiliza un BHA con 3 a 5 estabilizadores separados entre sí por una distancia de 9 m. Este BHA armado está diseñado para no ejercer ninguna fuerza lateral neta.
- Para reducir el ángulo, el perforador direccional utiliza un BHA en el que el primer estabilizador se localiza entre 9 y 27 m por detrás de la barrena. Este BHA actúa como un péndulo, ejerciendo una fuerza lateral negativa en la barrena.

Durante la planeación del pozo, el perforador direccional debe considerar diversos factores para determinar la trayectoria requerida, especialmente la *severidad de pata de perro* (DLS) —la tasa de cambio de la trayectoria del pozo, medido en grados cada 30 m [100 pies]— y las capacidades del BHA, la sarta de perforación, las herramientas de adquisición de

registros (perfilaje) y la tubería de revestimiento para pasar a través de los cambios angulares. Entre las limitaciones de la perforación se encuentran las especificaciones del equipo de perforación, tales como el esfuerzo de torsión (torque) máximo y la presión disponible de los sistemas de superficie. Los rasgos geológicos, tales como fallas o cambios de formaciones, necesitan ser considerados con cuidado; por ejemplo, las formaciones muy blandas pueden limitar las tasas de incremento angular y el echado (buzamiento) de la formación puede hacer que una barrena *se desplace*, o se desvíe lateralmente. El conocimiento local del comportamiento de la perforación permite que el perforador direccional derive el ángulo de avance correcto, necesario para interceptar el objetivo.

La habilidad del perforador direccional reside en proyectar hacia adelante, estimar la posición espacial de la barrena y, en base a las circunstancias específicas, decidir qué rumbo tomar para interceptar el o los objetivo(s). En los comienzos de la perforación direccional, se utilizaba un dispositivo manual de tipo regla de cálculo para calcular el ángulo de orientación de la herramienta requerido para perforar desde la última estación de levantamiento hasta un objetivo. Hoy en día, existen programas de cómputo que ejecutan la misma función.

## Operaciones de perforación direccional

Para direccionar un pozo hasta su objetivo, los perforadores direccionales emplean las siguientes técnicas:

*Desviación con chorros:* Un arreglo de lanzamiento de chorros proporciona la capacidad direccional durante la perforación a través de formaciones blandas o no consolidadas. Las barrenas a chorro son barrenas de conos giratorios con una boquilla grande extendida en el lugar de uno de los conos o bien con una boquilla grande y dos pequeñas. La boquilla grande proporciona la referencia correspondiente al “lado alto,” y la trayectoria del pozo se desvía mediante el deslizamiento o la rotación de la sarta de perforación en forma alternada.

*Desviación para evitar el cruce de pozos:* Esta técnica se utiliza a menudo en las secciones superiores de los pozos, donde varios pozos posicionados muy cerca unos respecto de los otros pueden presentar problemas de interferencia magnética e incrementar el riesgo de colisión con otros pozos. La trayectoria del pozo se desvía respecto de la vertical para sortear el riesgo y, una vez sorteado el riesgo, vuelve a direccionarse hacia la vertical.

*Comienzo de la desviación:* La desviación de la trayectoria del pozo de un trayecto a otro. El número de puntos de comienzo de la desviación (KOP) en un solo trayecto de pozo depende de la complejidad de la trayectoria planificada.

*Desviación de la trayectoria del pozo:* La desviación de la trayectoria del pozo desde un pozo existente se lleva a cabo por diversos motivos, tales como la prevención del colapso del pozo, de una zona de inestabilidad o de una sección de un pozo perforado previamente que contiene una *pesca* no recuperada (chatarra o herramientas que quedan en el pozo). Esta técnica también se utiliza para iniciar la perforación de tramos multilaterales. Además, los operadores perforan pozos piloto verticales para confirmar la profundidad vertical verdadera (TVD) del yacimiento y luego desvían la trayectoria horizontalmente para maximizar la exposición del mismo. En ocasiones, también desvían las trayectorias de los pozos cuando no se encuentran los objetivos previstos.

**Operaciones con cuñas desviadoras:** Una cuña desviadora es una herramienta de acero cuneiforme que se despliega en el fondo del pozo para modificar mecánicamente su trayectoria. La cuña desviadora se orienta para desviar la barrena respecto del pozo original con un ángulo leve y en la dirección del azimut pretendido para la nueva trayectoria. Puede ser utilizada en pozos entubados o en agujeros descubiertos.

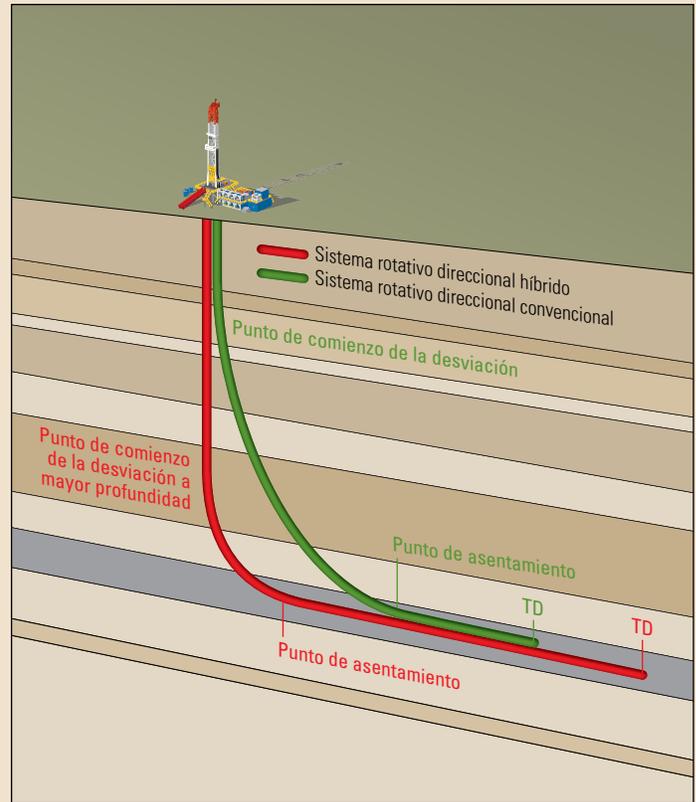
**Geonavegación:** En la geonavegación se utilizan los datos de evaluación de formaciones obtenidos durante la perforación —principalmente a través de sensores de adquisición de mediciones durante la perforación (MWD) o de perfilaje durante la perforación (LWD)— para proporcionar información en tiempo real para las decisiones de direccionamiento en los pozos horizontales y de alto ángulo. Las mejoras introducidas recientemente en los sistemas de telemetría permiten transmitir los datos MWD y LWD más rápido y con una mayor densidad de datos que en el pasado, incrementando considerablemente la precisión con la que puede controlarse la trayectoria del pozo.

### Avances en perforación direccional

El desarrollo de motores de lodo confiables constituyó un avance importante en la tecnología de perforación direccional. A partir de su desarrollo, la dirección del pozo pudo ser controlada utilizando una cubierta acodada para el motor, que se orientaba para direccionar la barrena de perforación en la dirección pretendida. Los motores de lodo utilizan el lodo bombeado a través de un arreglo de rotor y estator para hacer girar la barrena sin que rote la sarta de perforación desde la superficie. Mediante la alternancia de intervalos de modo de rotación y modo de deslizamiento, el perforador direccional puede controlar la trayectoria del pozo y navegar en la dirección deseada. En el modo de *rotación*, la mesa rotativa del equipo de perforación o su unidad de mando superior hace rotar toda la sarta de perforación para transmitir la potencia a la barrena. Por el contrario, en el modo de *deslizamiento*, la sección acodada y la barrena se orientan primero en la dirección deseada, y luego el motor de lodo de fondo por sí solo suministra la potencia a la barrena, sin rotación alguna de la sarta de perforación por encima de la barrena.

Los motores de perforación y los sistemas rotativos direccionales (RSS) proporcionaron a los perforadores direccionales una forma eficiente y más precisa de direccionar los pozos. El sistema RSS permite perforar los pozos direccionalmente mientras la sarta rota en forma continua. Las ventajas de este método son el mejoramiento de la limpieza del pozo a través de la rotación, la obtención de pozos más parejos y el control direccional más exacto. Para direccionar el RSS, el perforador direccional transmite los comandos desde la superficie utilizando las fluctuaciones de presión de la columna de lodo.

Hoy, los sistemas RSS híbridos utilizan patines en el interior de la herramienta para presionar contra una camisa interna que pivotea y direcciona la barrena en la dirección pretendida. Estas herramientas pueden producir una DLS de hasta 18°/30 m. Las herramientas RSS híbridas permiten que los perforadores direccionales se desvíen de la vertical a mayores profundidades y que *asienten*, o vuelvan a posicionar el pozo en sentido horizontal, con más rapidez que antes. Esta técnica incrementa la exposición del pozo al yacimiento (arriba, a la derecha).



^ Capacidades direccionales. Un sistema híbrido permite que el operador inicie la desviación a mayores profundidades, y así todo asentarse en la zona yacimiento más rápido que con los sistemas rotativos direccionales convencionales.

Los sistemas de direccionamiento de avanzada utilizan un motor de lodo adaptado al sistema en combinación con una herramienta RSS emplazada por debajo del motor. Este diseño de BHA posibilita mayores revoluciones por minuto en la barrena, un control mejorado del direccionamiento y una mayor velocidad de penetración.

### Desarrollos futuros

Es probable que en el futuro cercano se introduzcan sistemas de control de fondo de pozo completamente automatizados. Sin embargo, esos avances no implicarán la eliminación de los perforadores direccionales del proceso ya que siempre será necesaria su experiencia para supervisar el alcance de las operaciones de perforación direccional. El futuro promete ser rápido y tecnológicamente innovador en lo que respecta a este nicho altamente especializado de la industria del petróleo y el gas.