

Un giro a la derecha: Una visión general de las operaciones de perforación

Matt Varhaug
Editor senior



El ícono más reconocible de la industria del petróleo y el gas es una torre que sobresale por su altura en la localización del pozo. El equipo de perforación representa la culminación de un proceso de exploración intensivo; sólo puede validarse un área prospectiva mediante la perforación de un pozo. Una vez que las compañías petroleras adquieren los derechos de perforación en un área prospectiva, sus geocientíficos transmiten las coordenadas de la zona productiva potencial y los objetivos de la evaluación de formaciones a sus ingenieros de perforación y éstos los traducen en objetivos de perforación.

El departamento de perforación planifica una trayectoria que maximice la exposición del pozo a las zonas productivas y diseña los arreglos de fondo de pozo (BHAs) para lograr ese recorrido. Los ingenieros preparan un plan detallado para cada etapa del proceso de perforación. Esta *prognosis* de perforación designa una localización en la superficie y la profundidad total (TD) del pozo, y especifica el tamaño de la barrena, las densidades anticipadas del lodo y los programas de entubación necesarios para alcanzar la TD. En lo que respecta a los pozos desviados, la prognosis establece la localización del fondo del pozo (BHL) y la profundidad de deflexión inicial y el acimut para el punto de comienzo de la desviación (KOP). La prognosis sirve además como base para presupuestar y obtener la autorización para las erogaciones requeridas por la perforación (AFE).

El contratista de perforación

Las compañías petroleras generalmente contratan a una compañía de perforación para que perfora sus pozos. El contratista de perforación provee un equipo de perforación y la cuadrilla de operarios. Estos servicios se contratan habitualmente por una tarifa diaria que oscila entre miles y cientos de miles de dólares por día, dependiendo del tipo de equipo de perforación utilizado.

En tierra firme, las tarifas diarias se determinan en general según la potencia nominal del equipo de perforación, lo que además establece la profundidad hasta la que puede perforar el equipo. La profundidad también se traduce en el tamaño del equipo de perforación; los equipos más grandes transportan un malacate y la torre con mayor capacidad de carga en el gancho para izar cientos de toneladas de columna de perforación. Los equipos de perforación marinos, también valuados por la potencia, se clasifican además sobre la base de la profundidad operacional del lecho marino. Las platafor-

mas de perforación autoelevadizas son utilizadas en tirantes de agua (profundidades del lecho marino) comprendidos entre 9 y 105 m [30 y 350 pies] aproximadamente. (Ciertas plataformas autoelevadizas para servicio pesado pueden operar en tirantes de agua de hasta 168 m [550 pies] y están diseñadas para perforar hasta 10 660 m [35 000 pies]). El diseño de los equipos semi-submergibles les permite operar en aguas que exceden el límite de profundidad de las plataformas autoelevadizas. Las embarcaciones de perforación operan en las aguas más profundas. Las tarifas diarias para los equipos de perforación terrestres por lo general son más bajas que para los equipos de perforación marinos; las plataformas autoelevadizas para aguas someras tienden a costar menos que los equipos de perforación semisubmergibles o las embarcaciones de perforación para aguas profundas.

El inicio de la perforación

El contratista de perforación desplaza el equipo de perforación hasta la localización y un agrimensor certifica su posición. A medida que la cuadrilla de perforación monta el equipo, las distintas secciones de la tubería guía de gran diámetro se sueldan entre sí y se hincan en el terreno; generalmente hasta alcanzar un punto de rechazo, más allá del cual no pueden avanzar. En el extremo superior de la tubería guía se fija un cabezal de pozo.

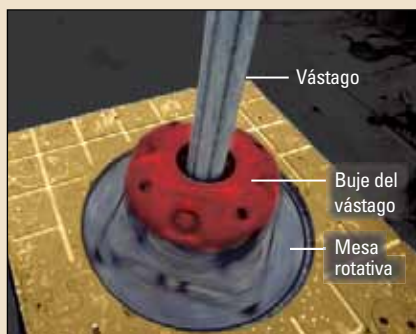
En el piso de perforación, la cuadrilla de perforación arma el BHA, que consta de una barrena de perforación, los portamechas (lastrabarrenas), los estabilizadores y, en ciertos casos, un rectificador. Al BHA se le pueden incorporar sensores de adquisición de registros durante la perforación (LWD), un motor de lodo y un sistema para direccionar la barrena a lo largo de la trayectoria especificada. El BHA puede pasar de un tramo del pozo a otro para incrementar, mantener o reducir su ángulo de inclinación.

Cada pieza del BHA está diseñada para desempeñar un rol específico. Los *portamechas* —secciones de tuberías pesadas y de paredes gruesas— proporcionan rigidez y peso para evitar la flexión de la columna de perforación. Los *estabilizadores* incrementan la rigidez del BHA para prevenir las vibraciones y mantener la trayectoria. En ciertas formaciones, se emplean *rectificadores* especiales para mantener el pozo en calibre o ensancharlo más allá del diámetro de la barrena y para ayudar a reducir el torque y el arrastre. A su vez, el BHA se conecta a los elementos tubulares de 9,5 m [31 pies] de la columna de perforación pesada, que constituyen una transición entre los portamechas del BHA y la columna de perforación estándar utilizada para armar la *sarta de perforación* que acciona la barrena.

Traducción del artículo publicado en *Oilfield Review*, Otoño de 2011: 23, no. 3.

Copyright © 2012 Schlumberger.

Por su colaboración en la preparación de este artículo, se agradece a John Walker, Kuala Lumpur, Malasia.



^ Buje del vástago de perforación. El vástago se fija a través del centro del buje del vástago, que rota cuando se acopla la mesa rotativa.

se acopla a la unidad de mando rotativa del equipo de perforación. La mesa rotativa hace girar el KB, que a su vez hace girar el vástago de perforación (arriba). La sarta de perforación rota (girando hacia la derecha en el sentido de las agujas del reloj) y comienza la perforación. El inicio de la perforación se conoce en inglés como *spudding in*, y, al igual que la fecha de nacimiento de una persona, se registra como la *fecha de inicio de la perforación* del pozo.

Continuación de la perforación

A medida que la barrena penetra más profundamente en el subsuelo, cada tramo adicional de la columna de perforación se conecta al elemento tubular anterior, y la sarta de perforación se vuelve cada vez más larga. Para enfriar y lubricar la barrena se bombea fluido de perforación, o *lodo*, en el fondo del pozo. El lodo también transporta los recortes de roca generados por la barrena. Los fluidos de perforación habitualmente consisten en una fórmula especial de agua o una fase continua no acuosa mezclada con barita en polvo y otros aditivos para controlar la reología del lodo. (A veces, se emplea agua en las partes superiores de un pozo; algunas presiones de formación son tan bajas que puede utilizarse aire en vez de lodo.)

Mediante bombas de alta presión, se extrae el lodo de los tanques de superficie y se envía por el centro de la columna de perforación. El lodo se descarga a través de las boquillas situadas en el frente de la barrena. La presión de la bomba impulsa el lodo hacia arriba, a lo largo del exterior de la columna de perforación y luego éste llega a la superficie a través del espacio anular existente entre la columna de perforación y la tubería de revestimiento, y emerge a través de una línea de flujo instalada por encima del preventor de reventones (BOP). El lodo pasa por un cedazo (filtro) de mallas vibratorias situado en la zaranda vibratoria (temblorina); allí, los recortes de la formación son separados del lodo líquido, que cae en los tanques de lodo a través de los cedazos antes de volver a circular en el pozo.

El fluido de perforación es vital para mantener el control del pozo. El lodo se bombea en el fondo para compensar los incrementos de la presión de fondo de pozo, que de otro modo obligarían a los fluidos de formación a ingresar en el pozo, lo cual produciría un peligroso golpe de presión o incluso un reventón. No obstante, la presión ejercida por el lodo no debe ser tan alta como para fracturar la roca propiamente dicha, lo que reduciría la presión del lodo en el pozo. La presión ejercida por el lodo es principalmente una función de la densidad del lodo, que generalmente se ajusta mediante el control de la cantidad de barita u otros espesantes del sistema.

La presión en general se incrementa con la profundidad, de modo que la densidad del lodo también debe incrementarse con la profundidad. El proceso de perforación normalmente sigue adelante hasta que incrementos adicionales de la densidad del lodo fracturarían la formación, punto en el cual se coloca la tubería de revestimiento.

Ejecución de maniobras con la barrena

Las superficies de corte de la barrena se desgastan gradualmente a medida que trituran la roca, lo cual disminuye la *velocidad de penetración* (ROP). Tarde o temprano, la barrena gastada debe ser reemplazada por una nueva. Esto exige que la cuadrilla de perforación extraiga la sarta de perforación, o que se ejecute un *viaje de salida* del pozo. Primero, el lodo se hace circular para llevar los recortes y el gas a la superficie; proceso que se conoce como *circulación de los recortes a la superficie*. A continuación, los peones de boca de pozo desconectan el vástago de la sarta de perforación y enganchan el elemento tubular superior extremo de la sarta de perforación con los *elevadores* de la torre; las abrazaderas metálicas utilizadas para levantar la tubería. El perforador controla el malacate que hace subir los elevadores hacia el interior de la torre.

La sarta de perforación se extrae del pozo, un *tiro* por vez. En la mayoría de los equipos de perforación, un tiro consta de tres elementos tubulares de la columna de perforación conectados entre sí. Algunos equipos de perforación sólo pueden subir tiros de dos elementos tubulares; otros, suben tiros de cuatro elementos tubulares; esto depende de la altura de la torre. Cada uno de los tiros se desenrosca de la sarta de perforación y luego los tiros se disponen verticalmente en filas, con la guía del enganchador.

El último tiro lleva la barrena a la superficie. La barrena se desconecta del BHA y se clasifica según el desgaste. Una barrena nueva se conecta en la base del BHA y el proceso se invierte. El proceso completo —el viaje de salida y nueva entrada del pozo— se denomina *viaje de ida y vuelta*.

Profundidad de entubación

Tarde o temprano, la mayoría de los pozos requieren una forma de prevenir el colapso de la formación de manera que pueda continuar la perforación. El lodo de perforación, bombeado por el pozo para ejercer presión hacia afuera contra la pared del pozo, es efectivo sólo hasta un cierto punto. Luego, debe bajarse y cementarse en su lugar la tubería de revestimiento de acero para estabilizar la pared del pozo ([próxima página](#)).

El perforador hace circular todos los recortes a la superficie y la columna de perforación se extrae del pozo. La sección de agujero descubierto generalmente se evalúa utilizando herramientas de adquisición de registros de pozos operadas con cable. Una vez concluida la operación de adquisición de registros, una cuadrilla de entubación baja la tubería de revestimiento hasta el fondo del pozo. La tubería de revestimiento, cuyo diámetro es menor que la barrena, es bajada en el pozo en un proceso similar al de la ejecución de conexiones con la columna de perforación.

Los *centralizadores*, instalados a intervalos regulares a lo largo del exterior de la sarta de entubación, aseguran que exista la separación correcta entre la tubería de revestimiento y la formación para permitir el pasaje del cemento durante las operaciones subsiguientes. Se bombea una lechada de cemento a través del centro de la sarta de entubación y del fondo, y de regreso por el espacio anular existente entre la tubería de revestimiento y el pozo. Y mientras el cemento se endurece se mantiene la presión sobre éste.

Prueba de pérdida de fluido

La integridad de la operación de cementación y de la formación que se encuentra por debajo de la tubería de revestimiento se evalúa mediante la ejecución de una *prueba de pérdida de fluido* (LOT). Esta prueba se lleva a cabo inmediatamente después de reperforar desde debajo de la tubería de revestimiento para obtener una estimación crítica de los límites de la densidad del lodo que pueden utilizarse para perforar en forma segura hasta la profundidad de entubación siguiente.



^ Perfil del pozo. Para perforar un pozo se utilizan barrenas y sartas de entubación de diámetro cada vez más pequeño, lo que genera un perfil telescópico.

Después de perforar a través del cemento, en la zapata de entubación y a través de aproximadamente 3 a 6 m [10 a 20 pies] de formación nueva, el perforador hace circular los recortes a la superficie para confirmar que la barrena ha penetrado la formación nueva. Luego, el pozo se cierra y en su interior se bombea el fluido de perforación para incrementar gradualmente la presión contra la formación. Finalmente, la presión se desviará respecto de un incremento que describe una línea recta, lo que indica que el fluido de perforación se ha perdido o ha ingresado en la formación.

Los resultados de la prueba LOT dictaminan el valor máximo de presión o densidad del lodo que puede aplicarse en el fondo del pozo durante la perforación antes de colocar la tubería de revestimiento una vez más. La presión de operación máxima es fijada normalmente un poco por debajo del resultado de la prueba de pérdida de fluido para mantener un factor de seguridad pequeño. El ciclo de perforación, viajes de entrada y salida, y entubación del pozo continúa hasta que el pozo alcanza la TD.

Tecnologías en evolución

La tendencia en perforación ha evolucionado, desde los pozos verticales hasta los pozos direccionales, y los pozos horizontales se han vuelto muy comunes, en gran medida gracias a los sistemas rotativos direccionales. Conforme los ambientes y los objetivos de perforación se vuelven más desafiantes, los avances registrados en los sistemas direccionales y LWD están ayudando a los perforadores a modificar las trayectorias de los pozos y mantenerse en la zona para alcanzar múltiples objetivos. Los pozos pueden ser perforados utilizando técnicas de bajo balance o de manejo de la presión para evitar el daño de la formación. Ahora, en vez de simplemente perforar agujeros con la mayor rapidez posible, las cuadrillas altamente calificadas perforan pozos que toleran los esfuerzos impuestos por el subsuelo y los procesos de producción, con lo cual crean pozos que pueden producir y ser registrados y terminados en forma segura.