

Congreso de perforación, terminación, reparación y servicios de pozos

Nuevo enfoque tecnológico en perforación direccional adaptado a la realidad del mercado argentino

Por **David E Rios-Aleman** y **Francisco Tarazona** (Halliburton)



El siguiente trabajo técnico fue presentado durante el Congreso de perforación, terminación, reparación y servicio de pozos, organizado por el IAPG entre el 3 y 5 octubre pasado en el Hotel Sheraton Libertador de la ciudad de Buenos Aires.

La situación de la industria petrolera argentina representa muchos retos que hacen particular su competitividad en el mercado mundial. Aunque otras regiones con desarrollo de campos maduros han identificado alternativas viables para mantener su interés y rentabilidad, éstas no son fácilmente aplicables a la realidad argentina.

La necesidad de mantener tanto óptimos niveles de producción como un estricto control en los costos de perforación ha generado una óptica particular que invita a las compañías de servicios a presentar alternativas técnico-económicas viables. La perforación direccional no ha estado ajena a este marco particular que caracteriza a Argentina, a la constante necesidad de alcanzar diferentes objetivos geológicos con niveles específicos de precisión, a la complejidad en algunos casos de obtener licencias ambientales, al aumento de proyectos *infill* que exigen controles de verticalidad, y a muchos factores más que requieren contar con esta tecnología. Todo ello sin romper el lineamiento con la circunstancia real y particular del mercado argentino.

En la industria de la perforación, el valor de la tecnología está muchas veces relacionado con el desempeño durante la perforación, restando el costo de la tecnología. Sin embargo, la correcta aplicación técnico-económica puede traer un valor agregado que se extiende más allá de la etapa de perforación. La manera en que se perfora y los propios conceptos de desviación direccional no han cambiado mucho. Aunque la tecnología de perforación direccional sí ha evolucionado dramáticamente en los últimos años. Es decir, a pesar de que se han introducido elementos de robótica en la perforación direccional, los objetivos direccionales aún son básicamente logrados mediante la deflexión de una sarta.

Desde el uso de estabilizadores en sartas rotarias (que perforaron los primeros pozos desviados), desde el advenimiento del motor de fondo (que permitió un control tridimensional mediante el deslice e introdujo mejor desempeño en el trepano) hasta –más recientemente– los estabilizadores ajustables que permitieron el control de inclinación en modo rotario y las herramientas rotatorias que finalmente eliminaron completamente el deslizamiento: todas estas herramientas consiguen el mismo objetivo direccional aunque –según la aplicación– con diferentes desempeños. Sólo al considerar el trépano como parte íntegra de la herramienta de control direccional se puede conseguir un verdadero cambio en la mecánica de construcción del pozo. Y no sólo se afecta la dirección del pozo sino también su geometría, la que trae beneficios asociados difícilmente mensurables por algunos grupos específicos y separados, pero sí cuantificables por la sinergia final de la perforación.

Es este enfoque el que este artículo presenta, con un breve resumen del desarrollo tecnológico y una estrategia más adecuada al mostrar tecnologías en un mercado como el argentino.

Al comienzo, la industria de la perforación direccional sólo se preocupaba de controlar la trayectoria de un pozo. Como los métodos de perforación direccional no eran muy eficientes, surgió la necesidad de introducir más eficiencia en el proceso de perforación. En la década de los 80 y los 90, comenzó el uso del motor dirigible que revo-

lucionó la industria al permitir un control direccional efectivo y alta eficiencia en pozos verticales. Aunque el uso del motor de fondo permitió la perforación de pozos muy complejos, también introdujo ineficiencias durante el deslizamiento o la construcción de la curva del pozo.

Un análisis más detallado indica que entre el 80% y el 90% del deslizamiento se hacía para controlar sólo la inclinación del pozo. Entonces salieron al mercado los estabilizadores ajustables que permiten controlar la inclinación en modo rotario. Inclusive, algunos estabilizadores ajustables se podían graduar durante la perforación, para alterar así la capacidad de *dogleg* sin tener que hacer un viaje a superficie. Aunque este tipo de estabilizadores fue bastante efectivo, como todo estabilizador, estos también dependían de la fuerza de gravedad para su efectividad. Esto significaba que su uso era más apropiado en ángulos altos, y la curva aún necesitaba ser perforada deslizando.

Antes del año 2000 se introduce el primer sistema rotatorio. Este tipo de sistema elimina completamente la necesidad de deslizar, al controlar la inclinación y la dirección en modo rotario. En los últimos años se han visto muchos sistemas nuevos entrar al mercado que mejoran la perforación, el desempeño, e inclusive la calidad del hoyo perforado. Es indudable que estos sistemas han satisfecho un gran vacío en la industria. Sin embargo, hay muchos factores que no los hacen solución única para todos los campos.

La realidad de los sistemas rotatorios

El éxito de los sistemas rotatorios resulta muchas veces opacado por su alto costo. Aunque existen algunos que están siendo diseñados para mercados de perforación en tierra, la mayoría de estos sistemas se destinan a mercados donde los presupuestos capitales son altos, por ejemplo, los de mar profundo. Entonces, para que un operador pueda ver las ventajas de un sistema rotario, necesita tener costos operacionales bastantes elevados donde el ahorro de tiempo operacional pueda justificarlos. Por otro lado, los intervalos de perforación también deben ser largos. De otra forma resulta difícil obtener ahorro de tiempo. La geología variada de los campos en Argentina requiere de muchos trépanos por intervalo, forzando negativamente viajes frecuentes por intervalo de perforación. Por otro lado, la geología de Argentina también demanda *doglegs* altos en algunos proyectos, algo que aún es limitado en sistemas rotatorios pero que poco a poco está cambiando. Otra realidad argentina es el tipo de formaciones en sí, ya que se cuenta con algunas propensas a pérdidas de circulación, otras con altos niveles de inestabilidad de pared por lavamiento y otras muy duras o abrasivas. Entonces, el tipo de formaciones limita la aplicación de los sistemas rotatorios de primera generación, principalmente (conocidos también como *push-the-bit*).

Una de las ventajas del motor de fondo, es el *performance drilling* o perforación de desempeño alto. Comparando con la perforación clásica (con estabilizadores), el motor de fondo brinda mucho mayor desempeño ya que especialmente los trépanos PDC toman la ventaja del RPM adicional brindada por el motor.

En algunos campos, donde los metros deslizados son

pocos en relación con los rotados, se ha observado un menor desempeño con herramientas rotatorias justo por esta razón. Claro que en campos donde hay mucha diferencia entre la tasa de penetración deslizando y la rata de penetración rotando, entonces –aún si los metros deslizados son pocos– se puede apreciar una mejora con una herramienta rotatoria. El tipo de taladro es también muy importante para la aplicación de sistemas rotarios. Con la ausencia de un motor de fondo, el taladro se convierte en el limitador de torque. Ya que la mayoría de *top drives* en el mercado mundial brinda un alto torque, con el uso de sistemas rotatorios se pueden utilizar trépanos más agresivos que con un motor (el motor es el limitante de torque). Ésta es una de las formas en que se puede obtener una tasa de perforación más alta con sistemas rotatorios. Con taladros pequeños (de 1000–2000hp), como el 90% que se encuentran en Argentina, muchas veces ocurren problemas, desgraciadamente, ya que es difícil rotar y contrarrestar el torque extra generado por el trépano. Asimismo, al no poder brindar un RPM constante, se generan altas vibraciones que pueden tener consecuencias catastróficas para la sarta o los componentes del BHA¹. Hay sistemas rotatorios que utilizan una sección de poder similar a las utilizadas con un motor de fondo. Sin embargo, al hacer esto, se introduce nuevamente el limitante de torque y por ende se tiene que utilizar trépanos menos agresivos.

Estabilizando el trépano

A mediados de los 90, un operador del Mar del Norte tenía muchos problemas para la construcción de pozos. Entre ellos, el más común era la vibración alta, así como múltiples fallas de herramientas y de la sarta. También había dificultades de limpieza de pozo, demasiado tiempo perdido rimando, e inclusive complicaciones corriendo los revestimientos. Obviamente, la tasa de penetración estaba bastante afectada, no sólo la instantánea, sino también el tiempo de construcción total del pozo. El operador convocó entonces a un grupo de “desempeño operacional”, compuesto por tres compañías diferentes. La conclusión de este grupo fue que muchos de los problemas eran causados básicamente por la calidad del hueco que se estaba perforando. Cuando se habla de calidad de hueco se alude al problema del espiralamiento. Se puede evidenciar que este espiralamiento existe al no lograr correr revestimientos después de ser perforado el pozo, o al ser observado en registros de imagen.

Uno de los estudios más famosos acerca del espiralamiento fue hecho por MacDonald y Lubinski, publicado en 1951². Ambos reportaron que el espiralamiento podría desarrollar problemas de dificultad con *key seating* y desgaste excesivo de la tubería de perforación. Lubinski también enfatizó los problemas de torque y arrastre asociados con un hueco espiral. Lubinski formuló lo que después de un tiempo llegó a conocerse como la fórmula *crooked hole country*³ o Campo de Hueco Chueco, que se apoya en que el tamaño del portamechas limita el movimiento lateral del trépano medido desde el centro del hueco. La fórmula se desarrolló a partir de la observación de que un tubular del mismo diámetro que el trépano no puede ser insertado

en un pozo después de haber sido perforado.

En el Mar del Norte y por toda Europa, había mucha experiencia utilizando trépanos de calibre largo, y sus beneficios en cuanto a la calidad del pozo perforado también eran bien conocidos. El problema radicaba en que –dentro de la industria direccional– se aceptaba el conocimiento de que los calibres largos en los trépanos no eran adecuados para la perforación direccional, es decir, para generar un *dogleg*. Esto se convierte en un reto para este grupo: ¿cómo hacer que estos trépanos se adecuen a la perforación direccional?

Teoría de motor

La razón por la cual se prefería los calibres cortos para la perforación direccional era porque, durante el desvío del pozo, el motor se convierte esencialmente en un resorte dentro del hueco. Es decir, mientras se incrementa el doblez del motor, y por ende la fuerza lateral sobre el doblez, se incrementa la fuerza lateral sobre el trépano, dependiendo por supuesto de la rigidez del motor. La diferencia entre la posición del trépano (si no existiera la interferencia del hueco), y la posición del trépano por la interferencia del hueco, es llamado el *offset* del trépano. Este *offset* es directamente proporcional al desvío del pozo o *dogleg* que un motor puede producir en una formación determinada. Como la fuerza que la formación ejerce sobre el trépano es lateral, se prefiere un calibre corto para minimizar el torque y cortadores agresivos en el trépano para poder facilitar el desvío.

Este mecanismo de desviación direccional genera problemas para la aplicación de trépanos de calibre largo ya que se terminaría empujando el calibre del trépano contra el hueco, no pudiendo así perforar si no es generando torque. Se decide entonces que el mecanismo de desviación no puede ser igual al tradicional. Es decir, para que un sistema así funcione, el doblez del motor no debería tocar las paredes del hueco. De esta forma, el punto de apoyo se cambia del doblez del motor al calibre del trépano. Después de mucho modelaje computacional, se determinan los parámetros geométricos que permiten la aplicación de los trépanos de calibre extendido en aplicaciones direccionales, utilizando el trépano y el motor de fondo como un solo sistema. Entre muchos de los parámetros especificados, se reduce la distancia del trépano al doblez del motor, se reduce el ángulo del doblez del motor, y se dicta la longitud de la extensión del calibre del trépano de acuerdo al tamaño del hueco. El resultado es un sistema de estabilidad superior que, aunque simple, ofrece muchas mejoras sobre sistemas convencionales.

Ventajas del sistema de perforación con trépano de calibre extendido

Un sistema de perforación con trépano de calibre extendido parece ser muy similar a un ensamblaje clásico motor-trépano. Sin embargo, se le llama ‘un sistema’ ya que ambas piezas son diseñadas juntas, y los beneficios que trae no se comparan con un sistema clásico. Entre los

muchos beneficios que trae un sistema de estos está el de una perforación más rápida. Al rebajar la vibración y minimizar el daño a los cortadores, ellos pueden hacer un mejor trabajo. Por otro lado, toda la energía de perforación que se gasta en perforar un pozo espiral se utiliza en hacer metraje. Al disminuir las vibraciones también se reducen las fallas del BHA o la sarta, mermando así la incidencia de viajes no planeados. Los viajes también se restringen porque la limpieza de un hueco liso es mejor que uno en espiral. Eso se evidencia en el acortamiento de horas circuladas con estos sistemas. La reducción en el torque y arrastre es enorme, ya que facilita la perforación de alcance extendido e incrementa la vida de la sarta⁵. Las ventajas van más allá de la perforación: también se pueden apreciar beneficios en la calidad superior de registros, especialmente en los de densidad y en todos los de imagen. El valor de este sistema después de la perforación se observa al poder correr revestimientos con facilidad, y el hueco que brinda es el ideal para tubulares expandibles.

Aplicación en latinoamérica

Este sistema ha sido utilizado en varios países de latinoamérica. Se aplica comúnmente en proyectos de mar profundo, como en Brasil, donde el sistema ahorró más de doce días al reemplazar cinco trépanos con uno solo. De esta forma, la tasa de penetración se incrementó desde una tradicional de 2-4 m/hr. a 8-15 m/hr. con 10 m/hr. de promedio. Esta tasa nunca antes había sido vista, especialmente en este tipo de formaciones con intercalaciones de compresibilidades hasta cerca de 40,000psi. Una turbina con trépano impregnado no pudo alcanzar este desempeño. A pesar de tener éxito en campos de mar profundo, este sistema se acomoda especialmente a la situación de diversas economías con perforación en tierra y de bajo presupuesto. En Colombia, al reducir el 66% de los días planeados, los ahorros para el operador fueron significativos. En Venezuela el sistema ha ahorrado hasta más de treinta días en un solo pozo, y en México su desempeño rutinariamente iguala o mejora el desempeño de un sistema rotatorio *push-the-bit*. La historia se repite alrededor del mundo desde el Mar del Norte hasta los campos en África. En todos los casos el éxito se obtiene al alinear los intereses de la compañía operadora con el planeamiento y desarrollo de la aplicación específica. Es decir, resulta vital que la compañía operadora y la de servicios trabajen en conjunto y planeen cada aplicación. Y que de esta forma optimicen el desempeño y objetivos del sistema de perforación.

Aplicación en Argentina

Luego de la presentación del avance de las tecnologías direccionales y la conclusión del amplio portafolio de alternativas y aplicaciones que cada una tiene, se describen los antecedentes existentes en el mercado argentino. Tales antecedentes determinan cómo esta tecnología se puede introducir en el país y cómo aprovechar el momento para que se pueda obtener un valor agregado, así como su establecimiento en donde pudiera aplicarse. Desde los

campos en el norte del país donde se cuenta con diferentes variables de profundidad y dureza, pasando por las cuencas mendocina, neuquina, austral, las de Comodoro Rivadavia y Tierra del Fuego, entre otras, en donde coexisten diversas variables que han generado y están provocando cambios. Éstos inciden en los hábitos de consumo relacionados con el servicio de perforación direccional, orientados no solamente a acceder a objetivos geológicos desplazados sino también asociados al mejoramiento del desempeño en perforación. Además, invitan a revisar el tipo de tecnologías relacionadas con las presentadas en este documento.

Para que los recursos disponibles puedan enfrentar otros desafíos –ya que la actividad global no favorece la consecución de equipamiento nuevo–, la primera necesidad creciente de acceder a objetivos complejos que requieren manejo eficiente de geometría de ejecución genera que se cambie el enfoque sobre los proyectos en donde la optimización en la ingeniería de diseño enfoca mejoras en la predicción y el manejo de variables. Variables tales como: torque y arrastre, limpieza de agujeros, hidráulica, opción de toma de perfiles, propiedades mecánicas de los conjuntos, entre otras. Es aquí donde el primer objetivo de la perforación direccional no se limita sólo a alcanzar unas coordenadas específicas, sino a asociar las variables mencionadas junto con una demostración de mejora de la efectividad de la perforación. Lo logra mediante el aumento en la rapidez, obteniendo los beneficios de calidad de agujero (anteriormente presentado) sin afectar la navegabilidad de los ensamblajes.

El aumento de uso de motores de fondo para buscar extensión de la vida de los trépanos mediante la disminución de vibraciones –en zonas de Mendoza, en donde el manejo de suma es global en la comercialización– debe buscar que los trépanos alcancen las ROP objetivo sin producir un desgaste que origine el sobre costo de pagar por daño. Igualmente, se evita la necesidad de buscar aplicaciones de trépanos con mayor número de aletas alterando la agresividad de los mismos con afectación directa al ROP y a la limpieza de pozo. En la cuenca neuquina se presenta con mayor frecuencia el uso de motores de fondo buscando mejoras en la ROP al disminuir el número de vueltas de giro de la tubería de perforación y BHA extendiendo los periodos de mantenimiento, ya que la frecuencia de fallas en sus elementos ha mermado con el consecuente beneficio en tiempos operativos. De la misma manera se han desarrollado aplicaciones en búsqueda del control o disminución de vibraciones perjudiciales en la dinámica de perforación.

Las formaciones duras o asociadas a *tight gas* –últimamente en aumento– no han alcanzado un nivel óptimo de perforabilidad. Aunque se haya logrado carreras únicas con uso de otras tecnologías en las secciones perforadas, éstas conservan aún ROP bajas y alto consumo de presión con el consecuente desgaste en los equipos. El costo asociado no ha alcanzado un balance favorable en la relación precio-beneficio, requiriéndose por lo tanto un enfoque diferente.

La tecnología de trépanos en constante cambio y evolución predice la dinámica que cualquier aplicación tecnológica nueva debe tener, por lo que la solución de hoy cam-

biará mañana, en el mismo lineamiento que se plantea la presente alternativa. La economía actual del sector de hidrocarburos ha demostrado su volatilidad. Las condiciones circundantes, cuyo futuro mantiene el mismo nivel de susceptibilidad, pese a las proyecciones de especialistas, llaman tanto a acciones inmediatas circunscritas en esta realidad como a tomar ventaja de la misma para la introducción de nueva tecnología. Pasan por la curva normal tipo S de implementaciones *versus* cantidad de usuarios desde los primeros valores afectados por el reto a resolver hasta el alcance de la curva de implementación, aprendizaje, comercialización o nivelación del balance económico-valor agregado, para alcanzar esta meta final en medio de un panorama económico diferente e inclusive menor. El desafío consiste en lograrlo con tecnologías como las aquí presentadas que han demostrado periodos cortos de nivelación e implementación menores a un año, que han hecho aportes positivos a las economías de los proyectos desde su primer aplicación. Que se han asociado además tanto al avanzado y extendido uso de motores anteriormente mencionado como al normal y dinámico uso de trépanos, sumando los beneficios que la calidad de agujero trae y que fueran presentados en la descripción de la tecnología, con un enfoque comercial flexible, invitando a establecer una mesa de trabajo para su introducción. Estas mesas de trabajo deben buscar tanto el aprovechamiento de la experiencia y la curva de aprendizaje que tienen las compañías propietarias y operadores de campos como la tecnología. Ello por medio del establecimiento de índices de gestión junto a resultados objetivos que permitan la adecuada y clara medición de la introducción tecnológica.

Conclusiones

Las compañías direccionales reconocen que el alcance de objetivos geológicos no es el único objetivo y que se debe perseguir la optimización de la perforación mediante la calidad de agujero con beneficios que se puedan medir asociados como ROP entre otros.

Aunque los sistemas rotatorios brindan muchas ventajas, su alto costo y requerimientos de taladro muchas veces los ponen fuera del alcance para campos de tierra de bajo presupuesto.

Los trépanos de calibre extendido traen muchos beneficios que van más allá que la perforación direccional.

Se denomina sistema al conjunto motor de fondo y trépano de calibre extendido pues sólo un enfoque conjunto permite su aplicación en el ámbito de la perforación direccional.

No todo trépano de calibre largo puede manejarse por un motor de fondo en respuesta direccional.

La calidad de hueco es un concepto que debe establecerse claramente y su correspondiente impacto en la economía de los proyectos.

El establecimiento de mesas de trabajo conjuntas (compañías operadoras y compañías de servicios) son la clave para la introducción tecnológica y la medición de resultados.

El mercado actual ya usa ampliamente motores de fondo y amplia variedad de trépanos.

El uso de esta tecnología no limita el alcance de objetivos direccionales.

La economía actual está generando proyectos que antes no alcanzaban un caso de negocios favorable, por lo que es un buen momento para introducción tecnológica y para la realización de la curva de nivelación hasta implementarla y poder enfrentar futuras situaciones con mayor eficiencia.

Cada tecnología tiene su aplicabilidad técnico económica específica: motor de fondo, motor de fondo con trépano de calibre extendido, sistema rotario, estabilizadores ajustables, etc.

Notas

- ¹ Chen, S.L., Blackwood, K, Lamine, E.: "*Field Investigation of the Effects of Stick-Slip, Lateral, and Whirl Vibrations on Roller Cone Bit Performance*", SPE 56439 presentado en el SPE Annual Technical Conference, Houston Texas, Octubre 3-6 1999.
- ² MacDonald, G. C., y Lubinski, A. "*Straight-Hole Drilling in Crooked-Hole Country*," *Drilling and Production Practice*, API, 1951.
- ³ Woods, H. B., y Lubinski, A. "*How to Determine Best Hole and Drill-Collar Size*," *The Oil and Gas Journal*, June 7, 1954.
- ⁴ Chen, David C-K, Gaynor, Tom, Comeaux Blaine, "*Hole Quality: Why It Matters*", SPE 74403, presentado en el SPE Annual Technical Conference, Villahermosa, Mexico, Febrero 10-12, 2002.
- ⁵ Gaynor, Tom, et al, "*Tortuosity versus Micro-Tortuosity – Why Little Things Mean a Lot*", SPE 67818, presentado en la conferencia SPE/IADC en Amsterdam, Holanda, Febrero 27 a Marzo 1, 2001