



Una actualización sobre la última tecnología en trépanos utilizados sobre todo en la perforación direccional.

Recientes innovaciones en el diseño de los trépanos pdc

Por **Gabino Velasco** (Comisión de Perforación y Comisión de Publicaciones del IAPG)

El trépano es el elemento que compone el numeroso y complejo sistema de perforación de pozos para petróleo y gas al cual le toca asumir la responsabilidad final sobre la velocidad de penetración (ROP) obtenida.

Los trépanos PDC (acrónimo de *Polycrystalline Diamond Compact*) están provistos de cortadores con diamantes sintéticos y se han difundido profusamente en la perforación direccional de pozos *shale* (Figura 1).

Esa responsabilidad es corroborada por los fabricantes de trépanos. Desde la alta gerencia de *Drilling Products* de Schlumberger se manifestó que “mientras el monto invertido en trépanos para la perforación de un pozo es

menor al 1% del costo total del pozo, no hay ningún otro componente en todo el sistema de perforación que contribuya individualmente en mayor medida que el trépano al rendimiento global de la perforación”.

De hecho, la oferta se ha comprometido a proveerlos de una mayor velocidad de penetración (ROP) que, al mismo tiempo, tengan mejor control de la orientación (*toolface control*), lo cual disminuye sensiblemente las interrupciones en la perforación dirigida que generan las correcciones que realizan los perforadores direccionales.

En respuesta a las necesidades de los operadores, las compañías de servicio y los fabricantes de trépanos,

con técnicas avanzadas de modelado y el análisis de elementos finitos, pudieron definir las principales barreras que impiden a los trépanos mejorar la velocidad de penetración (ROP), extender su durabilidad, solucionar el pobre transporte de los recortes de roca (*cuttings*) y evitar la elevada generación de calor y de vibraciones.

Así desarrollaron nuevas geometrías y disposición para los cortadores (*cutters*) y mejoraron la hidráulica de los trépanos.

El Gerente de *Global Business Development* de Halliburton, John Campbell, dijo recientemente a la revista “*Drilling Contractor*”, de la *International Association of Drilling Contractors* (IADC) que

la “idea fija” de todos los operadores es perforar el pozo, en lo posible, de zapato a zapato con un solo trépano, incluyendo los tramos verticales y los tramos laterales con largas canaletas (*dog legs*), con buen control direccional y una elevada velocidad de penetración.

Un trépano para perforar durante tanto tiempo, especialmente en pozos laterales que suelen exceder los 3.000 m, tiene que ser robusto y durable. Además como las compañías perforadoras están armando equipos con bombas cada vez más potentes y las compañías de perforación direccional están incorporando motores de perforación (*Mud motors*) con mayor potencia el volumen de energía que les está llegando a estos trépanos es cada vez mayor. En tanto, Wiley Long, directivo de la fábrica de trépanos Smith Bits (una compañía de la empresa de servicios Schlumberger) expresó a la misma publicación: “Estamos viendo que vamos a necesitar materiales con mayor resistencia y trépanos más duraderos capaces de trabajar con el volumen de energía que van a recibir”.

Y agregó que “en el pasado, incrementar la velocidad de penetración (ROP) frecuentemente hacía disminuir la durabilidad del trépano, pero actualmente, la larga duración del trépano y la buena velocidad de penetración van de la mano, cuando tratábamos de alargarle la vida al trépano lo hacíamos incrementando el volumen de diamantes, lo cual actuaba en desmedro de la ROP”.

Los adelantos tecnológicos, introducidos en el posicionamiento de los *cutters*, ayudan a eliminar el planteo de “lo uno o lo otro”, porque permanecen más tiempo afilados ayudando a mantener la elevada duración del trépano y la ROP durante todo el tramo perforado.

Un replanteo de la hidráulica

En un intervalo determinado: a mayor velocidad de penetración del trépano habrá invariablemente un incremento en la cantidad de *cuttings* producidos. Si estos recortes comienzan a acumularse pueden reducir la velocidad de penetración y consumir la energía de perforación. Además, la acumulación de recortes se puede aislar y crear rozamiento en la zona provocando altas temperatura en el trépano y sus *cutters*. Para Chris Casad,

gerente de Innovación del Fabricante de trépanos Ulterra “no es extraño que los recortes inmovilizados causen una elevación en la temperatura del trépano provocando una degradación en los diamantes y daños en los *cutters*, con temperaturas más bajas disminuye el daño, lo cual quiere decir que los cortadores durarán más y se mantendrán más tiempo afilados, permitiendo mantener la perforación a buen nivel durante la construcción del pozo”.

Después de varios años de estudios y ensayos Ulterra ha entregado su trépano PDC denominado *Split blade* (Figura 2), con ubicación de las boquillas optimizada (nozzles) y encauzamiento del fluido ambos determinados por medio de la utilización de la Dinámica

de Fluidos Computacional (CFD) que mejora la evacuación de los *cuttings*. Asimismo, las cuchillas (*blades* internas de los *cutters* han sido desplazadas hacia adelante entrando en contacto con la formación en primer término y habilitando en mejores condiciones al control de orientación (*toolface*). Esto mejora el agarre de las cuchillas con la formación prestando así un mejor control direccional.

Los trépanos diseñados con la tecnología *Split blade* tienen dos canales destinados a la evacuación de cada cuchilla primaria y también boquillas en el cono y el hombro del trépano, esto le permite separar la evacuación de los *cuttings* del cono de la de los recortes correspondientes al hombro del trépano, las cuales son las zonas más

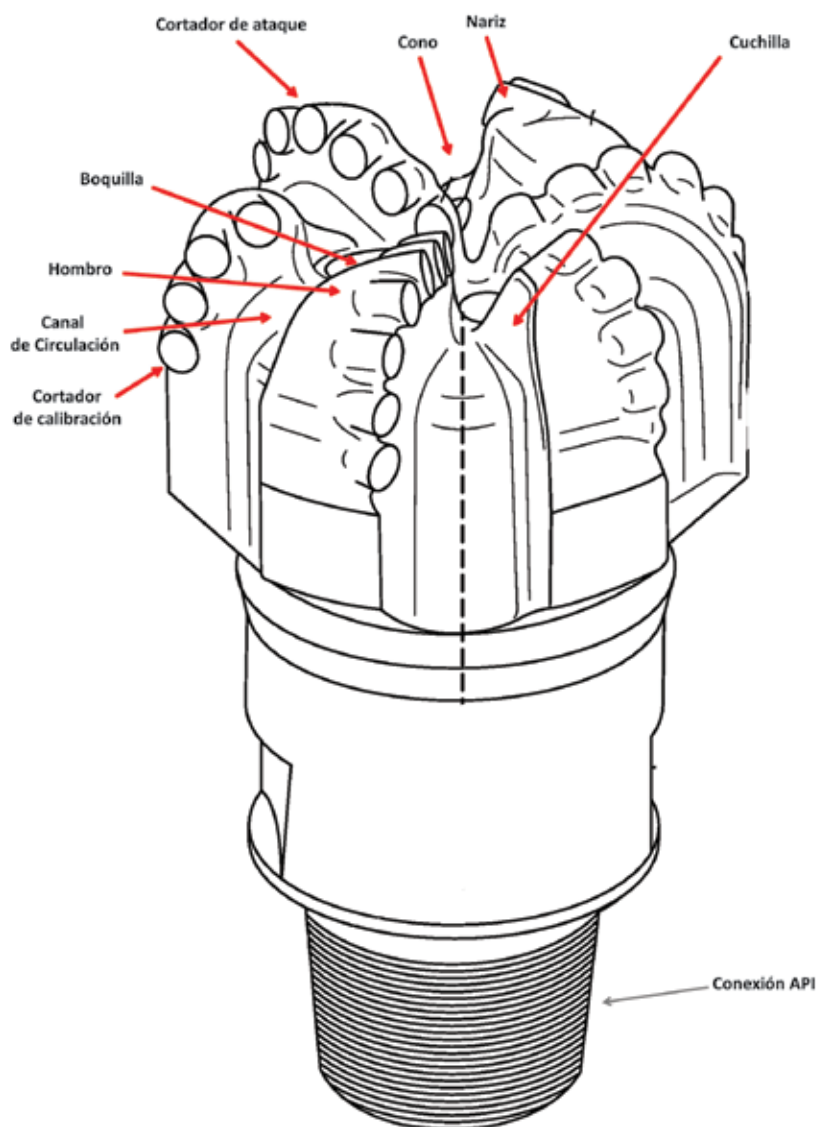


Figura 1. Trépano PDC.

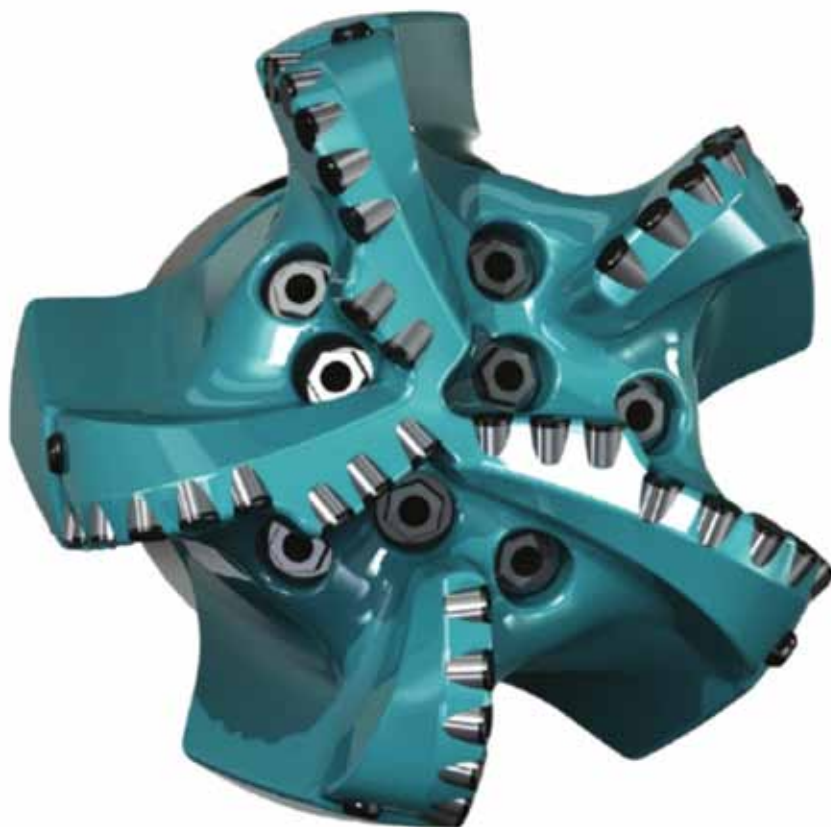


Figura 2. Ulterra utilizó el *Drilling Fluid Dynamics* para la optimización de la ubicación de las boquillas (nozzles) y los canales del trépano *Split blade*. La meta fue mejorar la evacuación de los *cuttings* e incrementar la ROP.

proclives a la acumulación de *cuttings*. Manteniendo el cono del trépano limpio, tendremos un mejor control direccional y de la perforación, asimismo manteniendo el hombro limpio, el trépano incrementará su velocidad de penetración.

Generalmente, cuando los *cuttings* son evacuados del cono del trépano suelen acumularse en el hombro del mismo. Con la nueva tecnología en las boquillas y los canales del cono y del hombro, se ofrece a los recortes un camino más directo para dejar el trépano. El gerente de Ulterra aseguró que “se suma a esto que al no estar sobrecargado por los recortes del cono y al estar liberado de tener que lidiar con ese volumen de roca, el hombro del trépano aplica toda su energía en perforar a mayor velocidad”.

La posición de los canales y las boquillas ambos alineados con la orientación de las boquillas fue definido por medio de la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) conceptualizada, teniendo en cuenta la optimización hidráulica.

El uso de las simulaciones CFD también puso en evidencia que las boquillas de las cuchillas primarias de los trépanos frecuentemente están orientadas de modo que su trayectoria de flujo coincide con el de alguna otra boquilla. El gerente de la fábrica comentó que “la boquilla exterior realmente trabaja para anular el flujo de la boquilla interior y le impide su salida del trépano”, por esa razón Ulterra corrió más simulaciones CFD hasta determinar la separación entre boquillas y la orientación de modo de crear trayectorias de flujo separadas y sin interrupciones para cada boquilla.

Los trépanos *Split blade* ya han perforado más de un millón de metros y han sido usados en 300 equipos de perforación en el Área Lavaca County de Eagle Ford. Los Operadores han obtenido una mejora en la ROP comparado con los trépanos utilizados con anterioridad. En un pozo horizontal de Lavaca County, un trépano perforó la curva y el tramo lateral con un total de 3360 m, una ROP de 53 m/h y su estado de desgaste IADC fue “en cali-

bre y con desgaste en los cortadores interiores de 1/16” – sacado por haber alcanzado la profundidad final”, el trépano mostró poco desgaste, debido a la mejor hidráulica, el equilibrio térmico y la apropiada evacuación de los recortes de roca (*cuttings*).

Atenuar las vibraciones

Las vibraciones torsionales y axiales pueden acortar la vida de un trépano y también pueden dañar a los componentes del conjunto de fondo (BHA) incluidos los motores de fondo y el instrumental de medición que opera durante la perforación (MWD).

Por su parte, Mark Freeman, director de Tecnología de Baker Hughes GE (BHGE) dijo también a “Drilling Contractor”: “Cuanto más sosegadamente podamos perforar generando menos vibraciones, menor desgaste en el motor (*mud motor*) y en el conjunto de fondo (BHA). La BHGE, este año, para prolongar la vida del trépano y el conjunto de fondo reduciendo las vibraciones lanzo los trépanos Kymera Mach 4 y Dynamus.

El trépano Mach 4 es la última iteración de la línea de Trépanos Híbridos Kymera provistos tanto de PDC con cortadores fijos (*fixed cutters*) como de conos con rodamientos (Figura 4). El cortador fijo corta la formación pero es propenso a la vibración, debido a los cambios de torque que suelen ocurrir en las formaciones con intercalaciones, BHGE sostiene: “incluimos en el cuerpo del trépano estos elementos con rodamiento para que ayuden a amortiguar la respuesta a las variaciones del torque a medida que se perforan distintos tipos de

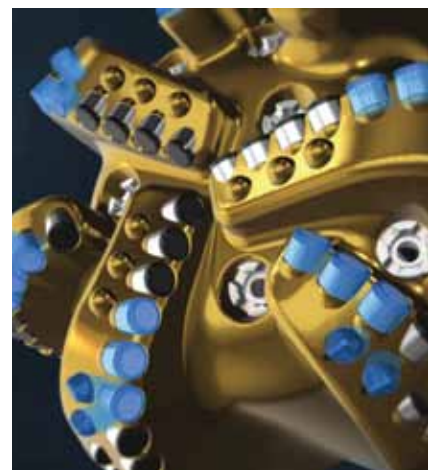




Figura 3. Trépano Kymera Mach 4 de BHGE que está equipado con insertos cónicos de carburo tungsteno con filo en los conos rotativos.

formación. Los trépanos Kymera han demostrado reducir la vibración torsional entre un 50% y un 60%, esta mejora depende de las formaciones atravesadas”.

Con el Mach 4 BHGE está apuntando a mejorar la durabilidad de la estructura con cortadores en formaciones duras y abrasivas, para ello ha introducido insertos cónicos con filo en la estructura de corte del cono rotativo en lugar de los insertos romos o redondeados usados anteriormente. Paralelamente, estos insertos se encuentran más apiñados en los conos rotativos.

El Gerente de HBGE aseguró que “la existencia de los insertos con filo ayuda a obtener un fractura más efectiva de la formación. A medida que el cono gira los insertos de carburo tungsteno se clavan en la roca y la golpean hasta partirla. Los insertos prácticamente prefacturan la formación antes de que las cuchillas de PDC, arranquen los *cuttings*”. Esto ayuda a mantener estructuras de corte afiladas durante más tiempo. Mientras las estructuras de corte permanezcan afiladas, no se sufrirá una caída en la velocidad de penetración (ROP), debido a la pérdida de filo de los cortadores.

BHGE ofrece el Mach 4 con cuatro o seis cuchillas, según la aplicación, lo cual significa un progreso sobre

la alternativa de dos a tres cuchillas que tenían los trépanos Kymera. Este incremento en el volumen de diamantes por trépano permite perforar durante intervalos más largos con menos cortadores descascarados o rotos. Asimismo, se ha empleado una nueva tecnología denominada *Shadow Cut* en el hombro las cuchillas de los PDC, que consiste instalar los cortadores en un receso practicado en la cuchilla que mejora a durabilidad de la estructura de corte.

Hasta la fecha, el Mach 4 ha completado 120 carreras en distintas regiones del mundo. En un trabajo

realizado en el Mar del Norte perforó el tramo de 16” de diámetro de un pozo con una tangente de inclinación de 70°. La base del tramo presentó fuertes intercalaciones de arenisca de elevada dureza y cordones carboníferos, los cuales causaron alto nivel de vibraciones que limitaban la ROP. Previamente, el operador perforó este tramo con trépanos PDC provistos de diamantes cónicos, que sufrieron significativos daños y dificultaron la orientación del pozo.

A continuación, el operador decidió usar un Kymera Mach 4 de 16” que perforó el tramo con una ROP de 26,6 m/h con un mejoramiento de la velocidad de penetración del 40% y un incremento de la misma del 26% sobre el trépano PDC híbrido Kymera XTreme. Con referencia a estas mejoras, el Gerente de BHGE aseguró “la densidad de conos afilados y las cuchillas reforzadas introducidas en la estructura de corte del trépano generaron una gran mejora en la eficiencia de la perforación”.

Los trépanos Kymera Mach 4 y Dynamus (Figura 4) fueron desarrollados con el objetivo de prolongar la vida del trépano e incrementar la velocidad de penetración, especialmente en formaciones de abrasivas y de alta dureza. BHGE incorporó dos



Figura 4. Trépano Stega de Halliburton con una fila de cortadores de apoyo detrás de los cortadores principales.



tecnologías que todavía no han sido aplicadas en el Dynamus, que son los diamantes *Stay True* y los cortadores *Stay Cool 2.0*.

Los diamantes *Stay True* tienen forma de cortafrío y se encuentran incorporados a lo largo de las cuchillas. Ellos se clavan en la formación y van creando una ranura a medida que perfora el trépano. Debido a su forma de cortafrío, los elementos básicamente viajan por la ranura y ayudan a incrementar la estabilidad lateral evitando que el trépano se desplace hacia los lados. Según BHGE, “manteniendo al trépano

perforando en un modo estable toda la energía que se está empleando en él se utiliza para cortar la roca en lugar de perderse generando movimientos vibratorios”. Por ello es que cuando los trépanos Dynamus se utilizaron en el campo con el Sistema Multisense Dynamics Mapping instalado en el trépano para medir las vibraciones se comprobó una disminución del 90% respecto de un trépano estándar.

Mientras los *cutters* de los trépanos PDC tradicionales tienen una superficie plana, la superficie de los cortadores *Stay Cool 2.0* tienen tallada una

cavidad en el centro con un labio alrededor del borde, de ese modo cuando se perfora la roca los *cuttings* son desplazados más rápidamente de la cara del cortador *Stay Cool 2.0* evitando el incremento del rozamiento y el calor, según BHGE “en un cortador estándar, la roca suele continuar el viaje en su cara hacia arriba hasta llegar al tope sin poder dejar la cara del cortador”. Al mantener baja la temperatura, se puede reducir la degradación térmica del diamante, lo cual permite conservar los cortadores afilados por más tiempo. ■