

# Tecnología de barrenas de PDC para el siglo XXI

**Greg Bruton**

Chesapeake Operating, Inc.  
Oklahoma City, Oklahoma, EUA

**Ron Crockett  
Malcolm Taylor**

Novatek  
Provo, Utah, EUA

**Dave DenBoer  
Jeff Lund**

Provo, Utah

**Craig Fleming  
Robert Ford**

**Gary García  
Allen White**  
Smith Bits  
Houston, Texas, EUA

Las barrenas compactas de un compuesto policristalino de diamante marcaron el camino hacia la mayor eficiencia de perforación en muchas extensiones productivas recientes. No obstante, a medida que los operadores extienden los límites de profundidad, temperatura y distancia en busca de nuevas reservas, también extienden los límites de la vida útil y la eficiencia de las barrenas. Los avances registrados recientemente en la tecnología de cortadores están mejorando el rendimiento y la durabilidad de las barrenas a través de una diversidad más amplia de litologías que las que eran posibles previamente.

La barrena de perforación moderna es un producto de muchos años de refinamiento de materiales y diseños, destinados a incrementar la velocidad de penetración (ROP), mejorar la resistencia al desgaste y prolongar la vida útil de la barrena. Uno

de los cambios más significativos tuvo lugar en la década de 1970, cuando se utilizó un material de diamante sintético para crear la barrena compacta de un compuesto policristalino de diamante (PDC).

Traducción del artículo publicado en *Oilfield Review* Verano de 2014: 26, no. 2. Copyright © 2014 Schlumberger.

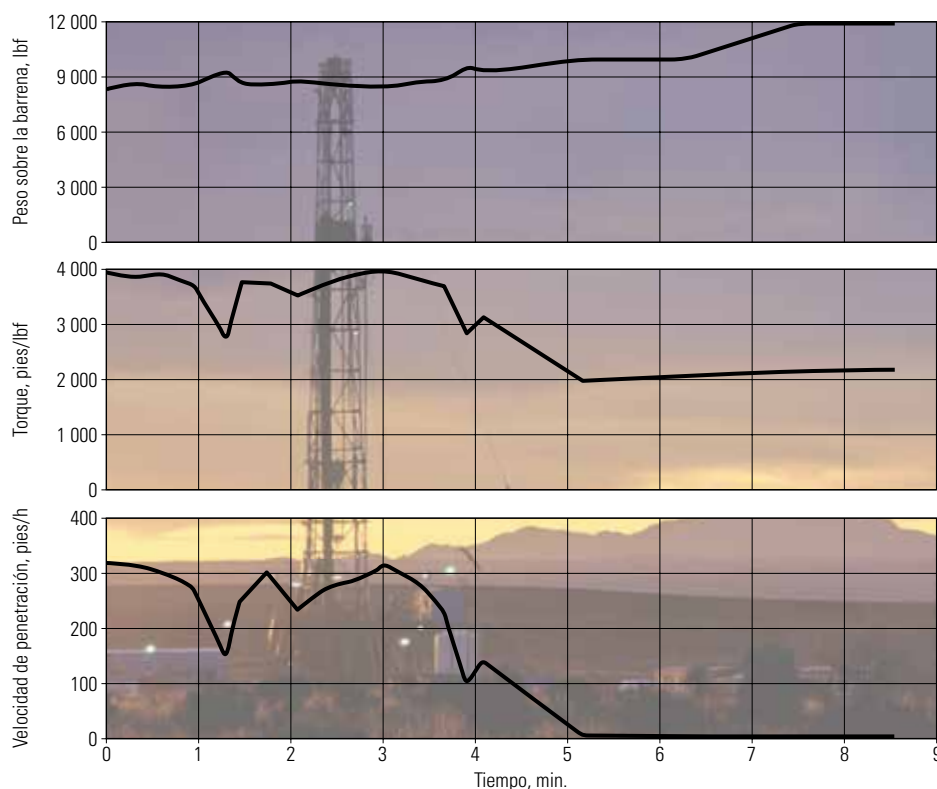
Por su colaboración en la preparación de este artículo, se agradece a Diane Jordan, Mark Teel, Rick von Flatern y Eric Wilshusen, Houston; y a Maurizio Scordella, Milán, Italia.

DRS, IDEAS, ONYX 360 y Stinger son marcas de Schlumberger.

STRATAPAX es una marca de General Electric.

1. Durrand CJ, Skeem MR, Crockett RB y Hall DR: "Super-Hard, Thick, Shaped PDC Cutters for Hard Rock Drilling: Development and Test Results," artículo SGP-TR-188, presentado en el 35o Seminario sobre Ingeniería de Yacimientos Geotérmicos, Universidad de Stanford, Stanford, California, EUA, 1º al 3 de febrero de 2010.
2. Durrand et al, referencia 1.
3. Warren TM, Brett JF y Sinor LA: "Development of a Whirl-Resistant Bit," *SPE Drilling Engineering* 5, no. 4 (Diciembre de 1990): 267-274.

Datos de rendimiento de las barrenas



^ Fin de una carrera de una barrena de PDC. Las declinaciones significativas de la velocidad de penetración (ROP) y el torque de perforación inevitablemente conducen a un incremento del peso sobre la barrena (WOB) y del desgaste de la barrena. (Adaptado de Warren et al, referencia 3.)



Los diamantes policristalinos artificiales poseen una dureza extrema —similar a la de los diamantes naturales, la sustancia natural más dura del mundo— con la resistencia y la durabilidad del carburo de tungsteno, de uso extensivo en las barrenas de conos giratorios.

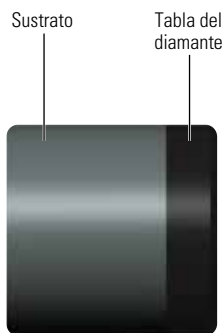
La introducción de los cortadores de PDC y los diseños de barrenas asociados produjeron un cambio radical en la mecánica de la perforación. En vez de cortar y triturar la roca, como lo hace una barrena de conos giratorios, las barrenas de PDC utilizan un movimiento de cizalladura transversal. Si bien la barrena de conos giratorios con tres conos predominó en la industria durante gran parte del siglo XX, quizá no resulte especialmente adecuada para abordar algunos de los desafíos que deben enfrentar actualmente los perforadores. Las temperaturas elevadas características de las

formaciones profundas y las altas velocidades de rotación producidas por los motores de perforación de fondo de pozo dañaban los sellos, desgastaban los cojinetes y producían la falla de la barrena. Desde la introducción de las barrenas de PDC de hojas fijas, la industria se fue apartando gradualmente de las barrenas de conos giratorios.<sup>1</sup> Para el año 2004, el metraje perforado por la barrena de PDC superó al de la barrena de conos giratorios.

Si bien las barrenas de PDC han sido muy utilizadas en una amplia diversidad de ambientes de perforación, su rendimiento empalidece si se compara con el de las barrenas de conos giratorios. Por ejemplo, los carbonatos duros y las areniscas abrasivas pueden ser problemáticos para cualquier barrena. En este tipo de formaciones, las barrenas de PDC tienden a perforar con una ROP más alta que las barrenas de conos giratorios o

las barrenas impregnadas de diamante, pero en cierto punto, la eficiencia de corte declina y la ROP se reduce abruptamente, lo que habitualmente induce a los perforadores a incrementar el peso sobre la barrena (WOB) para mantener la ROP.

A medida que el WOB se incrementa, los bordes del cortador de PDC se desgastan y se vuelven chatos, y la eficiencia de perforación se reduce aún más cuando la barrena desgastada comienza a triturar la roca en vez de cizallarla. La energía de fricción generada por el incremento del WOB calienta el cortador, lo que produce la degradación térmica del PDC.<sup>2</sup> Cuando el esfuerzo de torsión (torque) y la ROP declinan abruptamente, el perforador se ve obligado a efectuar un viaje de salida del pozo para reemplazar la barrena desgastada [\(página anterior\)](#).<sup>3</sup>



^ Cortador de un compuesto policristalino de diamante. Cada compuesto policristalino de diamante se compone de una tabla de diamante (negro) y un sustrato de carburo de tungsteno (gris). Una interfaz no plana (no mostrada aquí) existente entre el sustrato y la tabla del diamante genera una adherencia fuerte entre ambos cuando el diamante se aglutina con el sustrato.

Conforme los fabricantes trabajaban para mejorar las características térmicas del PDC, las pruebas de campo de Amoco Production Company llevadas a cabo a fines de la década de 1980 revelaron que la carga de impacto producida por las vibraciones excesivas en el fondo del pozo era otro de los factores que contribuían significativamente al desgaste y la falla de los cortadores de PDC.<sup>4</sup> Las vibraciones producidas en el fondo del pozo se vinculan a menudo a fenómenos de perforación conocidos como rebote, atascamiento-deslizamiento y flexión.<sup>5</sup>

Estos problemas pueden ser monitoreados y corregidos desde el piso de perforación, lo cual no es posible con el movimiento en forma de remolino de la barrena; otro factor importante que contribuye a los impactos y las vibraciones en el fondo del pozo. Para encarar este problema, los fabricantes de barrenas recurrieron a sus ingenieros de diseño a fin de hallar una solución.

El movimiento en forma de remolino de la barrena se produce cuando su eje de rotación no se encuentra alineado con su centro físico. El remolino produce el movimiento lateral severo de la barrena.

Durante el movimiento en forma de remolino, uno de los cortadores pasa a ser el centro instantáneo de rotación, de manera tal que la barrena rota alrededor de este punto de contacto en vez de rotar alrededor de su eje central. La acción de corte asimétrico resultante hace que uno de los lados de la barrena sea empujado contra la pared del pozo, lo que genera un pozo con una zona de mayor diámetro y una fricción adicional. A medida que la barrena rota alrededor de este punto de contacto, la fricción aumenta y el torque dentro de la sarta de perforación también se incrementa, lo cual puede hacer que la barrena se desplace hacia atrás respecto de la rotación de superficie de la sarta de perforación, o lateralmente, generando cargas de alto impacto sobre la barrena y el conjunto de fondo (BHA).<sup>6</sup>

Para mitigar este problema, los fabricantes inicialmente desarrollaron otras versiones de la barrena de PDC que utilizaban una gran almohadilla o pastilla de desgaste sin estructura de corte para deslizar la barrena hacia la pared del pozo y evitar el desplazamiento, reduciendo de ese modo su movimiento en forma de remolino.<sup>7</sup> Desde entonces, el diseño anti-remolino ha evolucionado considerablemente.

Las gestiones para incrementar la longevidad de las barrenas se tradujeron en numerosas modificaciones de diseño: capas de diamante de mayor espesor, cortadores adicionales, más hojas, cortadores más pequeños, incremento del ángulo de inclinación posterior, o reducción del ángulo de contacto, de los cortadores. Las actividades de investigación enfocadas en los materiales generaron avances en las formulaciones de los diamantes y ayudaron a incrementar la estabilidad térmica. Las mejoras introducidas en la manufactura produjeron cambios en los procesos de sinterización e ingeniería de prensas de diamantes.<sup>8</sup>

Recientemente, Smith Bits, una compañía de Schlumberger, introdujo dos innovaciones que están modificando el modo de perforación de las barrenas de PDC:

- un solo elemento de diamante cónico, colocado en el centro de la barrena, para crear una barrena de PDC que produzca una combinación de acción de corte y trituración.
- elementos de corte rotativos, que distribuyen el desgaste de manera uniforme en el borde del cortador para prolongar su vida útil con respecto a la de los cortadores de PDC fijos de calidad superior.

Este artículo analiza el desarrollo del elemento de diamante cónico Stinger y del cortador de PDC de rodadura ONYX 360. Algunos casos de estudio demuestran cómo estos nuevos diseños de barrenas están expandiendo la aplicación de las barrenas de PDC hacia ambientes de perforación desafiantes, a la vez que ayudan a los operadores a mejorar la eficiencia de perforación y prolongar la vida útil de las barrenas.

### Los principios básicos del PDC: Diseño y terminología

La barrena de PDC constituyó un cambio radical con respecto a la barrena convencional de conos giratorios. Para capitalizar la acción de corte del compuesto policristalino de diamante, los diseñadores de barrenas desarrollaron una estructura de corte especial.

En una barrena de PDC, el compuesto compacto es un disco de diamante policristalino, sintetizado mediante la sinterización de una arenilla o microgránulos de diamante con un catalizador, bajo condiciones de alta presión y alta temperatura. Durante el proceso de manufactura, la arenilla de diamante —un agregado de partículas de diamante sintético finas y ultrafinas orientadas de manera aleatoria— se fusiona con el cobalto [Co] bajo condiciones extremas de presión y calor para producir un cilindro de diamante policristalino (véase “Un paso adelante: La manufactura del PDC,” página 58). A diferencia del diamante natural [C], que se fractura a lo largo de planos cristalográficos, el diamante policristalino, con su matriz de diamante sintético orientada en forma aleato-

4. Brett JF, Warren TM y Behr SM: “Bit Whirl: A New Theory of PDC Bit Failure,” artículo SPE 19571, presentado en la Conferencia y Exhibición Técnica Anual de la SPE, San Antonio, Texas, EUA, 8 al 11 de octubre de 1989.

5. El rebote de la barrena se produce principalmente durante la perforación de pozos verticales a través de formaciones duras ya que los desplazamientos axiales leves levantan reiteradamente la barrena para luego bajarla de golpe hasta el fondo del pozo. El fenómeno de atascamiento-deslizamiento es causado por el incremento de la fricción entre el BHA y la formación, lo que obliga a la barrena a reducir momentáneamente la velocidad o a dejar de girar. Cuando el esfuerzo de torsión (torque) dentro de la sarta de perforación es mayor que estas fuerzas de fricción, el BHA se suelta de la pared del pozo y junto con la barrena giran por la acción de destornillado rápido de la columna

de perforación. La flexión, causada por la imposición de demasiada fuerza descendente sobre la sarta de perforación, genera impactos laterales cuando la sarta se encuentra suficientemente deformada para hacer contacto con el pozo.

Para obtener más información sobre impactos y vibraciones en el fondo del pozo y sus efectos en el diseño de las barrenas de perforación, consulte: Centala P, Challa V, Durairajan B, Meehan R, Páez L, Partin U, Segal S, Wu S, Garrett I, Teggart B y Tetley N: “El diseño de las barrenas: Desde arriba hasta abajo,” *Oilfield Review* 23, no. 2 (Diciembre de 2011): 4–19.

6. Brett et al, referencia 4.

7. Warren et al, referencia 3.

8. Durrand et al, referencia 1.

9. Los gemólogos definen a la tabla (*table*) como la faceta más grande de una gema.

10. La soldadura dura o fuerte es un proceso, similar al de la soldadura blanda, en el cual se utiliza un relleno fundido para unir entre sí metales o materiales cerámicos. Dos piezas de trabajo se calientan hasta que alcanzan una temperatura más alta que el punto de fusión del relleno pero más baja que los puntos de fusión de las piezas de trabajo. El relleno fundido se distribuye entre las piezas ajustadas, como resultado de la acción capilar. Cuando el relleno se enfría y se solidifica, une las piezas entre sí.

11. Clegg J: “Faster, Longer, and More-Reliable Bit Runs with New-Generation PDC Cutter,” artículo SPE 102067, presentado en la Conferencia y Exhibición Técnica Anual de la SPE, San Antonio, Texas, 24 al 27 de septiembre de 2006.

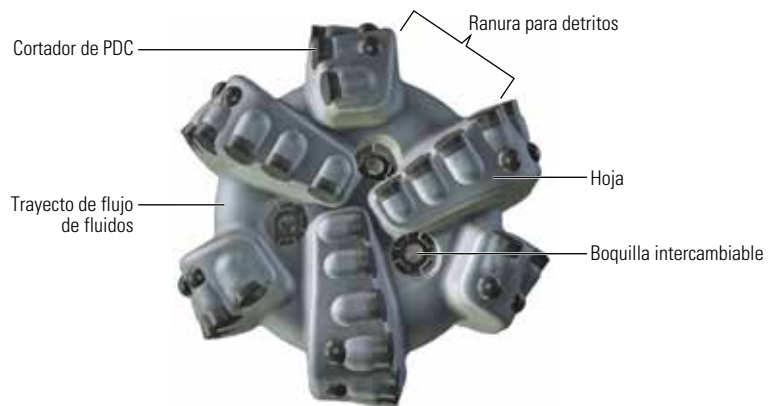
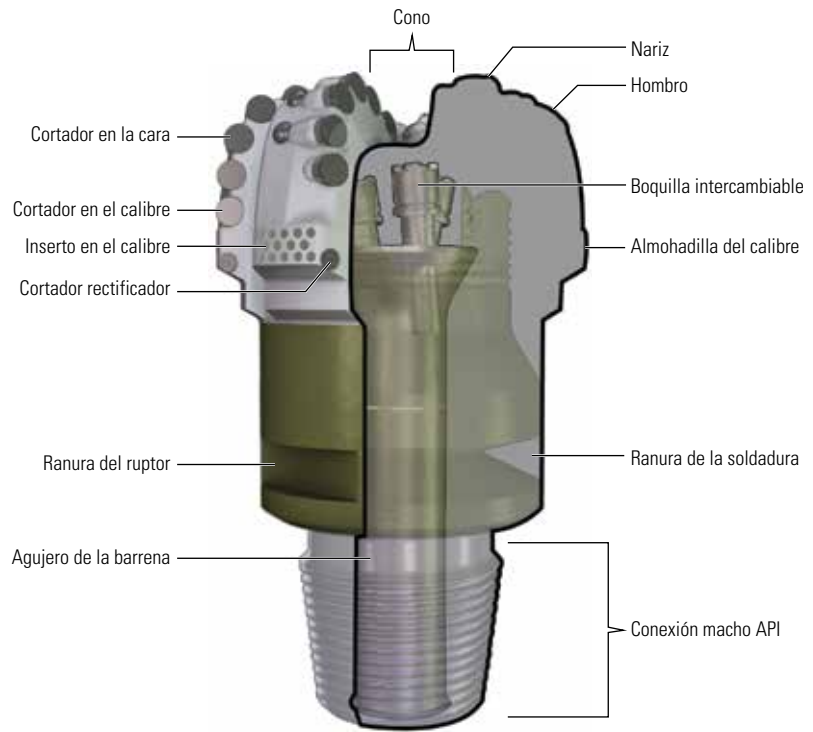
12. Durrand et al, referencia 1.

ria, no posee planos preferenciales de clivaje, lo que hace que el cortador de PDC resulte extremadamente duro y resistente al impacto y al desgaste. La adopción de microgránulos de diamante multimodal —que utilizan un rango de tamaños de gránulos que permiten que las partículas más pequeñas rellenen los huecos existentes entre las partículas grandes— ha contribuido a incrementar aún más la resistencia al desgaste.

El cortador consta de dos partes: una tabla de diamante policristalino y su sustrato (página anterior, arriba). Los fabricantes de PDC denominan tabla al cilindro plano de diamante sintético.<sup>9</sup> La tabla es la parte que hace contacto con la formación. El espesor de la tabla oscila normalmente entre 2 y 4 mm [0,08 y 0,16 pulgadas]. Algunas tablas poseen un ángulo oblicuo leve que reduce el esfuerzo sobre el cortador cuando hace contacto con la roca en el instante en que comienza la acción de corte. Si bien el borde en ángulo reduce la agresividad de la barrena, también ayuda a incrementar la durabilidad y la resistencia al impacto de la tabla del diamante.

La tabla del diamante se aglutina con un sustrato duro compuesto de carburo de tungsteno [WC]. A diferencia de muchas sustancias, el carburo de tungsteno se adhiere al diamante, de manera que además de conferir el soporte estructural a la tabla del diamante, el sustrato tolera la soldadura dura o fuerte; proceso utilizado para instalar el cortador en la barrena.<sup>10</sup> El diámetro del sustrato se ajusta al de la tabla y normalmente mide alrededor de 1,3 cm [0,5 pulgada] de un extremo a otro. El desarrollo de una interfaz no plana entre la tabla y el sustrato ayudó a reducir el esfuerzo y fortaleció el enlace entre el diamante y el carburo de tungsteno.<sup>11</sup>

Un cambio radical para prolongar la longevidad se produjo con la invención del PDC lixiviado. El proceso de lixiviado remueve el cobalto intersticial —un catalizador utilizado en la sinterización del PDC convencional— de los varios micrones de superficie externa del diamante. El Co es introducido en el PDC a través del sustrato de WC durante la fase de sinterización a alta presión y alta temperatura (HPHT) del proceso de manufactura. Durante la sinterización, el Co se funde e ingresa en los poros del diamante, donde una reacción catalítica produce los enlaces intergranulares del diamante. No obstante, a altas temperaturas, el Co también cataliza la reversión del diamante a grafito, lo que debilita el PDC. La lixiviación del Co desde el diamante sintético mejora su resistencia a la abrasión y a la vez reduce los efectos de la expansión térmica diferencial entre el diamante y el cobalto.<sup>12</sup>



▲ Componentes de la barrena de PDC. Las características más prominentes de la barrena de PDC son sus hojas y sus cortadores. Varios tipos de estructuras de corte se concentran a lo largo de las zonas correspondientes al cono, la nariz, el hombro y el calibre de la barrena (*extremo superior*). Las boquillas, las ranuras para recuperación de detritos y los trayectos de flujo de fluidos (*extremo inferior*) asisten en la remoción de los recortes de la cara de la barrena.

Los cortadores se instalan en la superficie de la barrena de PDC mediante la soldadura del sustrato a una hoja. A lo largo de la parte externa de la barrena, se disponen entre tres y ocho hojas —a veces más— que irradian hacia afuera desde la nariz (arriba). El número de hojas, al igual que el número de cortadores montados en cada hoja, varía de acuerdo con la aplicación prevista. Los diseñadores de barrenas deben considerar el número y el emplazamiento de los cortadores a la hora de especificar la profundidad de corte. La reducción

del número de cortadores tiende a incrementar la profundidad del corte, pero también incrementa el desgaste del cortador. A medida que la barrena rota, los cortadores cercanos a su lado, o calibre, recorren una distancia mayor que los que se encuentran cerca del centro de la barrena; por consiguiente, para prolongar la vida útil de la barrena, ciertos diseñadores reducen el espaciamiento entre los cortadores emplazados cerca del lado de la barrena. En algunas barrenas, se

(continúa en la página 60)

## Un paso adelante: La manufactura del PDC

Un compuesto compacto es una forma sólida que se obtiene prensando o compactando un polvo fino dentro de un molde. Algunos de los compuestos más comunes son los elaborados por la industria farmacéutica: las aspirinas, las vitaminas y otros medicamentos a menudo se fabrican en forma de tabletas. Las tabletas se elaboran a partir de un polvo, que luego se compacta en una prensa en frío.

En los materiales cerámicos o los metales, el proceso de producción de compuestos ha avanzado un paso más; aparte de presión, se utiliza calor para convertir el polvo en sólido. Una mezcla de polvo metálico o cerámico fino se coloca en un molde y se comprime bajo alta presión. Las partículas comprimidas se fusionan entre sí a medida que se aplica calor en un proceso conocido como sinterización. Dado suficiente calor, la fusión parcial produce la difusión de los átomos entre los gránulos, la reducción de la porosidad y el incremento de la densidad. Los gránulos de polvo se adhieren y forman un sólido cuando se enfrían. Las presiones y temperaturas necesarias para fabricar estos compuestos se generan dentro de una prensa de calor.

La mayoría de los metales pueden ser sinterizados, al igual que muchas sustancias no metálicas tales como el sílice e incluso el diamante. Algunas sustancias requieren un paso más que los del proceso de sinterización convencional. En la sinterización en estado líquido, un segundo componente interactúa con el polvo durante el calentamiento. El punto de fusión del segundo componente es más bajo que el del componente primario. Durante la sinterización, los gránulos de polvo forman una matriz, en tanto que el segundo componente se funde para rellenar el espacio poroso existente entre los gránulos.

La producción de diamantes sintéticos también comprende el proceso de sinterización. Una prensa de correa de alta temperatura y presión ultra-alta, inventada por científicos de General Electric en 1954, permitió la primera producción comercial de diamantes sintéticos.<sup>1</sup> Esta prensa suministraba la

presión y el calor necesarios para convertir el carbono en diamante. La temperatura y la presión variaban según la fuente del carbono y el catalizador, pero oscilaban entre 1 200°C y 2 400°C [2 200°F y 4 350°F] y entre 55 000 y 100 000 atm [5 570 y 10 130 MPa u 808 200 y 1 469 600 lpc].<sup>2</sup>

General Electric inventó el cortador de PDC en el año 1971 y tras varios años de pruebas de campo introdujo la línea de cortadores de PDC STRATAPAX a fines de 1976. Delgadas capas circulares de grafito y cobalto se colocaban en forma alternada en pequeñas latas y se prensaban a 2 millones de lpc [13 800 MPa]. Luego, se las caldeaba mediante calentamiento resistivo hasta unos 1 500°C [2 700°F]. El cobalto fundido, actuando como catalizador y solvente, disolvía el grafito y depositaba una arenilla de diamante monocristalino.<sup>3</sup>

Para elaborar un compuesto policristalino de diamante, los microgránulos se conglomeran en la prensa contra un sustrato de carburo de tungsteno-cobalto [WC-Co]. La presión se eleva dentro de la prensa, comprimiendo el agregado de diamante e incrementando su densidad. La temperatura se incrementa y cuando el cobalto del sustrato alcanza su punto de fusión, se introduce en forma instantánea en los poros presentes entre las partículas de diamante. El cobalto sirve como catalizador, creando enlaces entre las partículas de diamante y adhiriendo la tabla del diamante al sustrato.<sup>4</sup>

En los años siguientes, numerosas compañías desarrollaron diamantes sintéticos, cojinetes de diamante, insertos, cortadores y líneas de productos asociados de un compuesto policristalino de diamante. Dos de esas compañías fueron fundadas por uno de los miembros del equipo que inventó la prensa de correa original. En el año 1955, H. Tracy Hall abandonó General Electric para lanzar Novatek, una compañía que ahora desarrolla supermateriales, metales y componentes electrónicos especiales. En 1966, fundó MegaDiamond, que actualmente se dedica a la manufactura de productos ultra-

duros utilizando la tecnología de producción de diamantes. MegaDiamond fue adquirida posteriormente por Smith Bits, compañía que a su vez fue adquirida por Schlumberger. Tanto Novatek como MegaDiamond suministran cortadores de barrenas de diamante a Schlumberger, a través de su subsidiaria Smith Bits.

En Novatek, Hall desarrolló la prensa tetraédrica en 1957 y la prensa cúbica en 1966. Una prensa sólida con un solo bastidor, desarrollada en 1999, ya se encuentra en su quinta generación (próxima página). Esta prensa controlada por computadora posee un bastidor cúbico y seis cartuchos instrumentados; cada uno con un yunque capaz de ejercer una fuerza de más de 35 millones de N [8 millones de lbf]. La prensa de 4 000 toneladas estadounidenses [3,6 millones de kg] puede someter las piezas de trabajo—celdas cúbicas con materias primas encastradas en un contenedor de pirofilita— a temperaturas de hasta 2 300°C [4 200°F] y presiones de más de 7 500 MPa [1 millón de lpc]. Una interfaz de computadora permite que el operador controle la prensa desde una localización independiente y que monitoree con precisión las posiciones de los yunques. Novatek utiliza esta tecnología de prensas de avanzada para manufacturar el elemento de diamante cónico Stinger.

1. Hall HT: "Ultra-High-Pressure, High-Temperature Apparatus: The 'Belt,'" *The Review of Scientific Instruments* 31, no. 2 (Febrero de 1960): 125-131.

2. Los investigadores de General Electric lograron convertir el carbono en diamante, utilizando grafito, negro de humo y carbón vegetal a partir del azúcar como fuente del carbono; y emplearon una amplia gama de catalizadores, incluidos cromo, manganeso, hierro, cobalto, níquel, rutenio, rodio, paladio y platino. Bovenkerk HP, Bundy FP, Hall HT, Strong HM y Wentorf RH: "Preparation of Diamond," *Nature* 184, no. 4693 (10 de octubre de 1959): 1094-1098.

3. Besson A, Burr B, Dillard S, Drake E, Ivie B, Ivie C, Smith R y Watson G: "Bordes cortantes," *Oilfield Review* 12, no. 3 (Invierno de 2000/2001): 38-63.

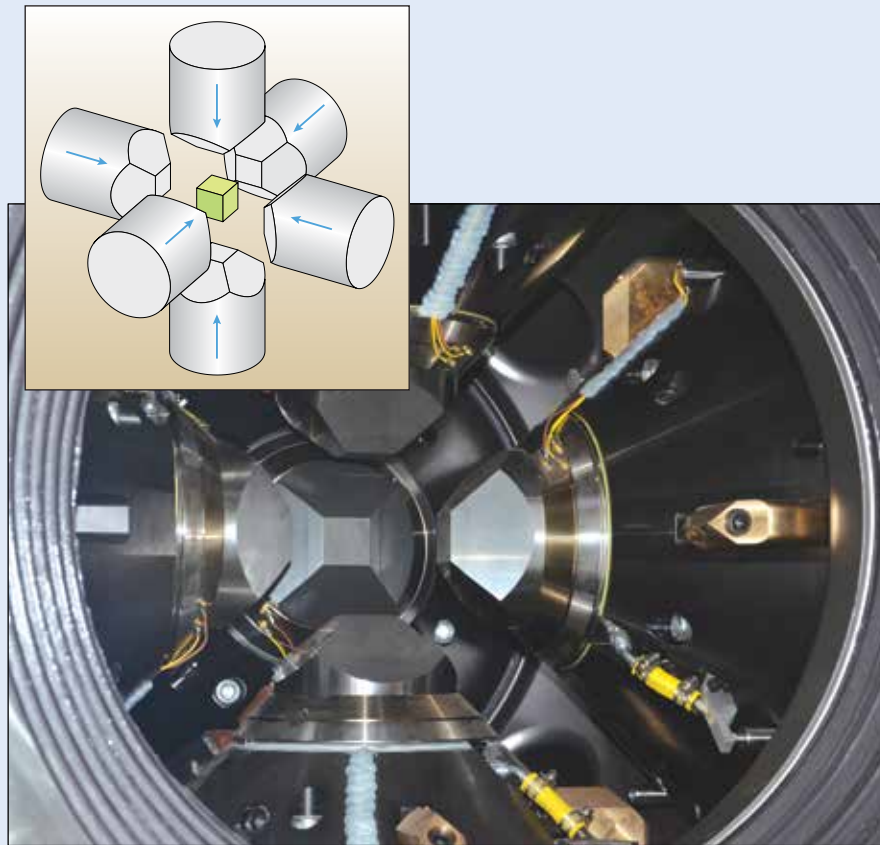
4. Bellin F, Dourfaye A, King W y Thigpen M: "The Current State of PDC Bit Technology," *World Oil* 231, no. 9 (Septiembre de 2010): 41-46.

El espesor del compuesto policristalino de diamante de este elemento cónico es aproximadamente el doble del de la capa de diamante de un elemento de corte de PDC convencional; su forma se encuentra optimizada para lograr resistencia bajo compresión axial a fin de impartir una alta carga puntual sobre la formación.

El cortador de PDC de rodadura ONYX 360 es fabricado por MegaDiamond. Esta compañía produce una extensa línea de productos de compuesto policristalino de diamante diseñado para operaciones de perforación y minería, incluidos elementos de corte de PDC para barrenas de cortadores fijos e insertos mejorados de diamante para barrenas de conos giratorios y barrenas para minería por percusión.

La compañía opera tres tipos de prensas HPHT: la prensa de correa, la prensa de pistón-cilindro y la prensa cúbica. Para fabricar los componentes del compuesto policristalino de diamante, los ingenieros de MegaDiamond determinan el material específico y las exigencias que generan desgaste para cada aplicación del cliente y luego aplican la tecnología de prensa adecuada para elaborar las calidades de diamante necesarias para la operación. Cada prensa es capaz de generar las presiones ultra altas —de más de 5 500 MPa [800 000 lpc]— y las temperaturas elevadas —1 500°C [2 700°F]— requeridas para sinterizar los compuestos policristalinos de diamante, y ofrece ventajas diferentes en cuanto a las características de sinterización y las propiedades impartidas al producto final.

La prensa de correa es una modificación del diseño HPHT original de la década de 1950. Para generar las presiones extremas requeridas para sinterizar los compuestos policristalinos de diamante, la prensa utiliza dos punzones de carburo que convergen en una cápsula de alta presión contenida en un molde de carburo. La prensa de correa moderna es adecuada para la producción de productos de gran diámetro o múltiplos de productos más pequeños.



^ La prensa cúbica. El centro de la prensa controlada por computadora está rodeado por seis yunques (de los cuales se muestran cinco) y cada uno es capaz de ejercer una fuerza de más de 35 millones de N. En el centro de la prensa se encuentra instalada una pieza de trabajo (verde, inserto) contra la cual los yunques ejercen presión simultáneamente.

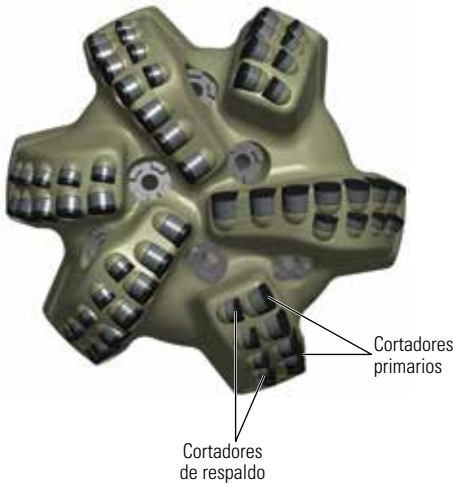
El nombre proviene de las “correas” concéntricas de acero, colocadas por contracción térmica, que pretensionan el molde de carburo interno permitiéndole que tolere la inmensa presión interna.

La prensa de pistón-cilindro, similar a una prensa de correa, utiliza una cápsula de alta presión contenida en un orificio cilíndrico. Dos pistones de carburo de flotación libre presurizan la cápsula cuando los yunques de carburo cónicos aplican una carga. El molde de carburo es sustentado por la presión hidráulica radial en vez de una serie de correas de acero.

La prensa cúbica es el diseño más moderno. Consiste en seis yunques de carburo adosados a cilindros hidráulicos macizos que convergen simultáneamente en una cápsula de alta presión con forma

de cubo. Este sistema triaxial genera altas presiones isostáticas, adecuadas para la sinterización de productos con geometrías 3D complejas. Al igual que todas las prensas de MegaDiamond, el sistema cúbico se encuentra integrado con un sistema de control computarizado para asegurar valores de presión, temperatura y tiempo óptimos y consistentes durante la sinterización.

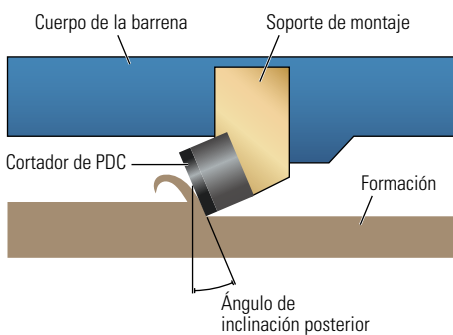
Las instalaciones de laboratorio de Novatek y MegaDiamond permiten a los científicos e ingenieros evaluar el rendimiento de los compuestos policristalinos de diamante en diversas pruebas funcionales que simulan las condiciones del mundo real. Los datos recolectados en el laboratorio de pruebas se cargan en un proceso de ciclos de diseño iterativos, que se traducen en un rendimiento mejorado en la localización del pozo.



^ Cortadores de respaldo. Algunos diseños de barrenas de PDC incluyen una segunda hilera de cortadores. Las dos hileras de cortadores — primarios y de respaldo — se refuerzan entre sí para incrementar la durabilidad de la barrena.

sueldan dos hileras de cortadores en cada hoja; los cortadores de respaldo o secundarios se disponen detrás de los cortadores primarios y pueden insertarse a mayor profundidad en el cuerpo de la barrena. Los cortadores secundarios hacen contacto con la formación después que los cortadores primarios comienzan a desgastarse (arriba).

Los cortadores se emplazan formando un ángulo a lo largo del borde cortante de la hoja. Este ángulo de ataque, o ángulo de inclinación posterior, controla la agresión con que los cortadores hacen contacto con la roca (abajo). En formaciones blandas, se utilizan ángulos de inclinación posterior más pequeños, pero las formaciones duras requieren barrenas menos agresivas, y por consiguiente, ángulos de inclinación posterior más grandes. El ángulo de inclinación posterior también puede variar entre los cortadores, dependiendo de su posición a lo largo de la hoja. Y si bien puede limitar la profundidad de corte y la veloci-



^ Ángulo de inclinación posterior del cortador de PDC. Las barrenas de PDC perforan a través de las formaciones, cortando la roca. El ángulo de inclinación posterior controla la agresividad con que el cortador hace contacto con la roca.

dad de penetración, resulta eficaz para reducir las vibraciones y el desgaste de la barrena.

El cuerpo de una barrena de PDC está hecho de acero o de una matriz de carburo de tungsteno y una aleación para unir la matriz, que se aglutina con un núcleo de acero. La selección de una barrena con cuerpo de acero o con cuerpo de matriz normalmente depende de la aplicación pretendida por el operador. La ductilidad y la resistencia del acero hacen que las barrenas de PDC con cuerpo de acero sean resistentes a las cargas de impacto, pero el cuerpo de acero es menos resistente a la abrasión que un cuerpo de matriz. Dado que el acero es más blando que el carburo de tungsteno, en ciertas partes de la barrena se puede aplicar un proceso de recargue duro o utilizar otras aplicaciones resistentes al desgaste.<sup>13</sup> La matriz de carburo de tungsteno se encuentra disponible en una diversidad de formulaciones para proporcionar resistencia a la abrasión o puede ser manufacturada para ajustarse a una formación o a una aplicación de perforación determinada. El material de la matriz puede tolerar cargas de compresión relativamente altas, pero es más frágil y posee menos resistencia a la carga de impacto que el acero.

### Un elemento central

Para mejorar el rendimiento de la barrena en una amplia diversidad de ambientes, los fabricantes de barrenas están probando las barrenas de PDC en formaciones abrasivas e interestratificadas, en las que las velocidades de penetración y la vida útil de la barrena normalmente generan problemas para los perforadores. Estos tipos de formaciones son difíciles de perforar, independientemente del tipo de barrena que se utilice. Dado que el daño producido por los impactos inducidos por las vibra-

ciones constituye el principal mecanismo de reducción de la vida útil de la barrena y la ROP, los fabricantes de barrenas procuraron desarrollar una barrena de cortadores fijos más estables que redujera las vibraciones y los impactos en estas formaciones. Los ingenieros de Smith Bits, trabajando en colaboración con los diseñadores de barrenas de Novatek, experimentaron con el emplazamiento y el número de cortadores para mejorar la eficiencia de perforación y mitigar las vibraciones, y se enfocaron en el problemático cono, o área de corte central, de la cara de la barrena de PDC convencional.

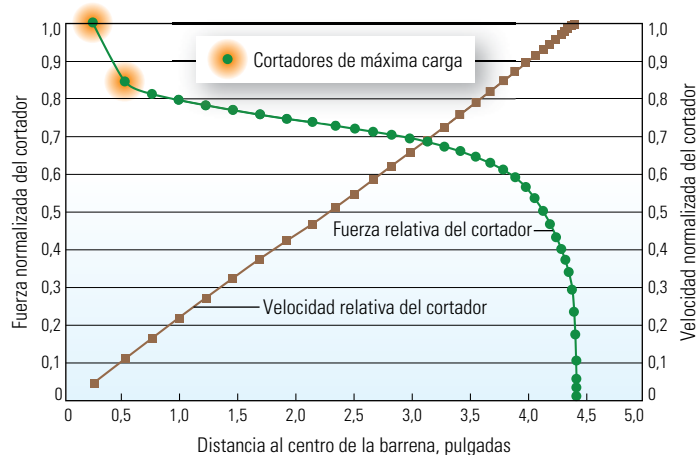
Cuando se utiliza una barrena de PDC convencional, la remoción de la porción más central del pozo puede resultar compleja. Dado que la velocidad de los cortadores de PDC convencionales se reduce con la proximidad al centro de la estructura de corte, éstos resultan menos efectivos para la remoción de las rocas del centro del pozo, especialmente en formaciones duras.<sup>14</sup> Los cortadores

13. El recargue duro o antidesgaste es un proceso de manufactura en el que se aplica un revestimiento consistente de una aleación en una superficie metálica expuesta para proteger el metal del desgaste por abrasión. La aleación utilizada debe ser más dura que el metal al que protege.

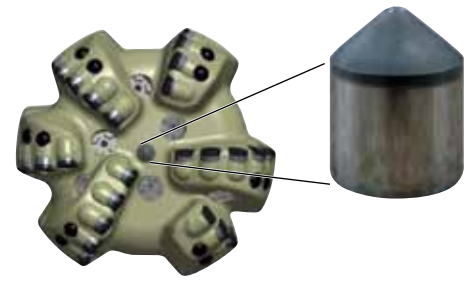
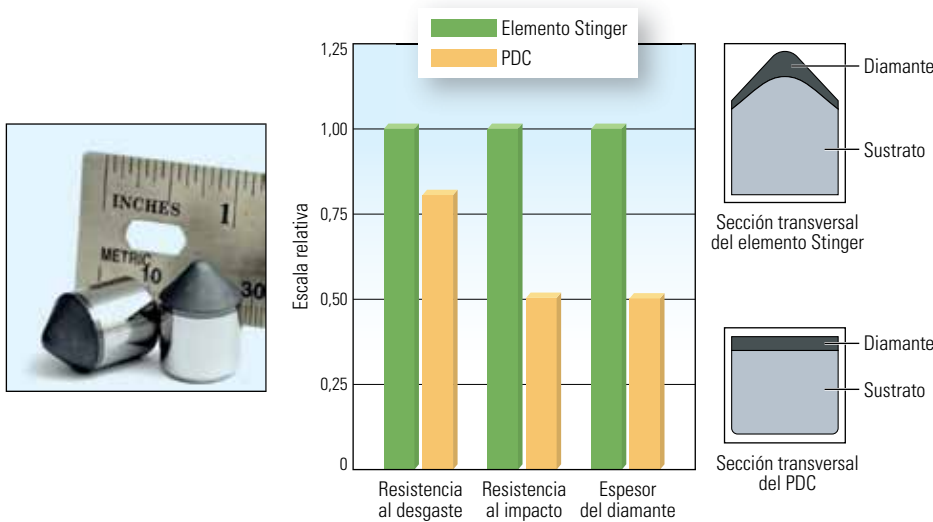
14. Azar M, White A, Segal S, Velvaluri S, García G y Taylor M: "Pointing Towards Improved PDC Bit Performance: Innovative Conical Shaped Polycrystalline Diamond Element Achieves Higher ROP and Total Footage," artículo SPE/IADC 163521, presentado en la Conferencia y Exhibición de Perforación de las SPE/IADC, Amsterdam, 5 al 7 de marzo de 2013.

15. Azar M, White A, Velvaluri S, Beheiry K y Johnny MM: "Middle East Hard/Abrasive Formation Challenge: Reducing PDC Cutter Volume at Bit Center Increases ROP/Drilling Efficiency," artículo SPE/IADC 166755, presentado en la Conferencia y Exhibición de Tecnología de Perforación de Medio Oriente de las SPE/IADC, Dubai, 7 al 9 de octubre de 2013.

16. Azar et al, referencia 15.



^ Fuerza del cortador y distancia con respecto al centro de la barrena. Los cortadores emplazados en el cono de una barrena (círculos naranjas) son sometidos a la máxima fuerza (verde), experimentan la velocidad más baja (marrón) y habitualmente remueven el menor volumen de roca.



^ CDE Stinger. Después de remover las estructuras de corte del centro de la barrena (izquierda), se genera un espacio para la colocación de un CDE (derecha). Este espacio permite además el desarrollo de una columna de roca pequeña que es triturada fácilmente por el CDE.

^ Elemento de diamante cónico (CDE). EL CDE Stinger (izquierda) se fabrica en una prensa avanzada de diamantes sintéticos que produce una capa de diamante de espesor sustancialmente mayor que el de un cortador de PDC convencional (derecha). El material del compuesto policristalino de diamante ha sido diseñado para proporcionar una alta resistencia al impacto y al desgaste por abrasión (gráfica, centro).

centrales son sometidos a las cargas axiales más altas ejercidas sobre la barrena y pueden producir grandes fluctuaciones en el torque de la barrena. Los cambios en la profundidad de corte producen estas fluctuaciones, que tienen lugar cuando los perforadores modifican el peso sobre la barrena o la velocidad de rotación, o cuando perforan a través de litologías cambiantes que exhiben diferencias en el esfuerzo no confinado. Las variaciones del torque alteran la respuesta dinámica de la barrena, exponiéndola a impactos y vibraciones perjudiciales.<sup>15</sup> Estos fenómenos generan un mecanismo de cizalladura ineficiente en el centro de la barrena de PDC convencional (página anterior, abajo a la derecha).

Esta caracterización del área del cono condujo al desarrollo del elemento de diamante cónico Stinger (arriba, a la izquierda). Este elemento de diamante cónico (CDE) posee una capa policristalina de diamante ultra gruesa. El CDE se posiciona en el centro de la barrena con la punta cónica mirando hacia la roca. Su geometría cónica y su estructura de diamante de gran espesor conforman un elemento de corte robusto y duradero que proporciona una alta carga puntual para el fracturamiento efectivo de la formación.

Para evaluar el potencial del CDE para mejorar las velocidades de penetración e incrementar el total de metros perforados, los ingenieros especialistas en barrenas sometieron a prueba el CDE en un torno a revólver vertical (VTL). Este aparato utiliza un banco de pruebas de granito o cuarcita para medir la capacidad del cortador para fracturar la roca en condiciones variables. Las pruebas con el torno demostraron que el CDE exhibía

mayor eficiencia de corte y resistencia al desgaste que los cortadores de PDC estándar. Por ejemplo, con un valor umbral de 5 300 N [1 200 lbf], una profundidad de corte de 0,5 mm [0,02 pulgadas] produjo un incremento de la eficiencia de corte del 70% respecto del cortador de PDC de referencia; con una profundidad de corte de 1,3 mm [0,05 pulgadas], el cortador CDE mostró un incremento del 35%.<sup>16</sup>

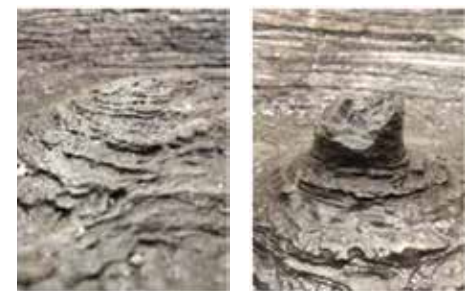
El desafío siguiente consistió en incorporar el CDE en un diseño de barrena de PDC. Los ingenieros de Smith utilizaron el análisis por el método de elementos finitos (FEA) para diseñar la barrena. La plataforma integrada de diseño de barrenas IDEAS ayudó a los ingenieros a remover selectivamente los cortadores de PDC ineficientes y a reducir el número de hojas en las que se encontraban instalados. Esta remoción generó un hueco en el centro de la barrena. A medida que transcurre la perforación, este hueco permite la formación de una pequeña columna de roca en el centro de la barrena. Y a medida que se forma, esta columna de roca se vuelve menos confinada. Los diseñadores posicionaron el CDE en el centro de la barrena (arriba, a la derecha). Conforme crece la altura de la columna de roca sin cortar, el elemento Stinger impone una carga puntual sobre la columna para fracturarla y triturarla mientras la barrena continúa perforando.

Los ingenieros también utilizaron el software FEA para investigar el campo de esfuerzos en el punto exacto en que el elemento Stinger hace contacto con la formación. Su estudio confirmó que, en comparación con los cortadores de PDC estándar, el elemento CDE Stinger requería

menos fuerza en el punto de contacto para generar la fractura dentro de la roca no confinada. Además, el elemento Stinger contribuye a la centralización de la barrena, lo que reduce la posibilidad de que se desarrollen vibraciones perjudiciales.

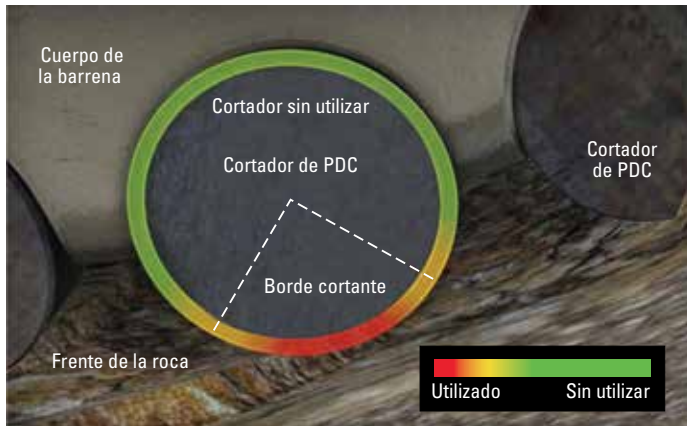
Los ingenieros de Smith también necesitaban modificar la orientación de la nariz de la barrena para limpiar y enfriar de manera eficiente la nueva estructura de corte. Mediante la utilización de un software de dinámica de fluidos, efectuaron un análisis hidráulico en el que se ajustaban las posiciones de la nariz para mejorar la remoción de los recortes de perforación y la limpieza del elemento cónico y del pozo.

Para validar los resultados de un estudio de modelado 4D, se llevaron a cabo pruebas en condiciones reales de una barrena equipada con un CDE en un simulador de perforación presurizado. Las pruebas corroboraron las conclusiones experimentales previas, según las cuales una barrena modificada generó una columna de roca relajada de esfuerzos que fue triturada por el elemento Stinger en el centro del pozo (abajo). Estas pruebas



^ Resultados de una prueba en condiciones reales. Los cortadores ineficaces situados en el centro de una barrena de PDC estándar permiten el desarrollo de un montículo central de roca (izquierda). No obstante, dado que los cortadores centrales han sido removidos, se forma una pequeña columna de roca sin esfuerzos (derecha). Cuando un CDE Stinger hace contacto con esta columna, fractura y tritura la roca.

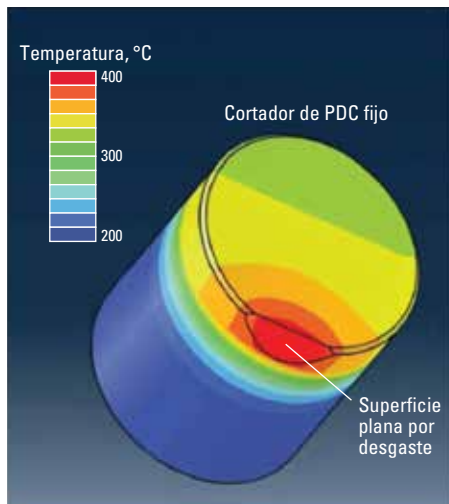




▲ Superficie cortante de PDC. Más del 60% del borde circunferencial de un cortador fijo de PDC se conserva en el cuerpo de la barra sin utilizar. El porcentaje real utilizado varía con el tamaño del cortador, el ángulo de inclinación posterior y la profundidad del corte.

revelaron además que las barrenas de PDC provistas de un CDE generan recortes de perforación mucho más grandes que las barrenas de PDC estándar, lo que facilita la caracterización de las rocas por parte de los geólogos o el personal de adquisición de registros de lodo.

Los resultados del modelado y de las pruebas convencieron a los ingenieros de que un solo elemento CDE posicionado en el centro de la barra mejoraría el rendimiento de la ROP e incrementaría la estabilidad dinámica, y seleccionaron una barra de PDC de 8½ pulgadas para las pruebas de campo, utilizando un elemento cónico Stinger



▲ Degradación del cortador inducida por la temperatura. El análisis por el método de elementos finitos muestra cómo el calor generado por fricción se concentra a lo largo del borde del cortador, donde hace contacto con la roca; la fricción y el calor contribuyen a generar una superficie plana por desgaste.

colocado en el centro de la barra. Las pruebas de campo se llevaron a cabo en EUA y se corrieron exitosamente barrenas de PDC con CDEs Stinger en la cuenca Williston de Dakota del Norte, en la formación Cotton Valley del este de Texas y en las arenas y lutitas interestratificadas de la formación Wasatch en Utah. Cada una de las pruebas mostró incrementos sustanciales de la ROP y reducciones del desgaste de la barra.

Luego del éxito de las carreras en América del Norte, se probó una barra de PDC con un CDE Stinger en el campo Zubair de Irak. Los problemas de vibraciones generaban una ROP baja y un desempeño de perforación inconsistente. Las formaciones encontradas en la sección de pozo de 12½ pulgadas contenían carbonatos variables entre intermedios y duros e intervalos interestratificados que habían causado incidentes de atascamiento-deslizamiento y vibraciones laterales en pozos vecinos. Estas condiciones obligaron al operador a controlar la perforación lentamente a través del intervalo, comprometiendo la ROP.

Para resolver el problema, se seleccionó una barra de PDC de 6 hojas y 12½ pulgadas, con cortadores de 16 mm [0,63 pulgadas], y se instaló un CDE en el centro de la barra. La barra modificada, corrida con un BHA direccional, perforó 595 m [1 950 pies] de pozo desde la zapata de la tubería de revestimiento hasta la profundidad total (TD) en una sola carrera, alcanzando una ROP 29% más alta que la ROP de la mejor carrera efectuada en un pozo vecino, de 18,5 m/h [60,7 pies/h], y un 56% mayor que la ROP promedio de 15,3 m/h [50,2 pies/h] lograda previamente durante la perforación de tres pozos vecinos. Además, la barra exhibió un comportamiento

más estable, perforando con menos incidentes de atascamiento-deslizamiento y niveles de vibración más bajos que los experimentados en los pozos vecinos.

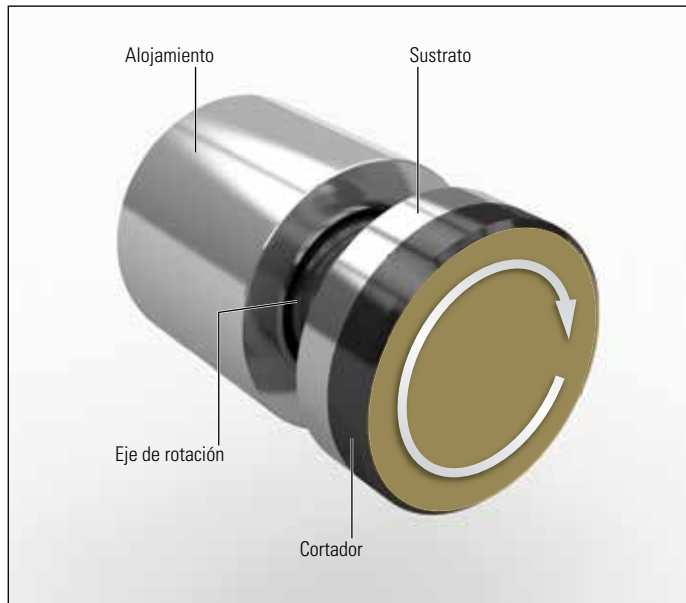
### La revolución de los cortadores

En numerosas aplicaciones, las barrenas de PDC han exhibido ventajas significativas con respecto a las barrenas de conos giratorios, por sus capacidades de mayor metraje perforado y alta ROP. No obstante, las formaciones duras y abrasivas —que presentan algunas de las condiciones más rigurosas que puede enfrentar una barra— habitualmente producen un desgaste significativo en los elementos de corte fijos. En este tipo de ambiente, puede suceder que el cortador fijo de la barra de PDC se astille y provoque la disminución de la eficiencia de perforación. En una barra de PDC, el cortador se encuentra fijo en su lugar y en su mayor parte está protegido dentro del cuerpo de la hoja propiamente dicha; sólo una porción pequeña de la tabla del diamante hace contacto con la formación (izquierda, extremo superior). A medida que el cortador cizalla la roca, su parte expuesta se desfila gradualmente mediante la acción de abrasión.

Una evaluación FEA del desgaste de los cortadores fijos demostró que el calor generado por fricción se concentra en el lugar en el que el borde del cortador hace contacto con la roca (izquierda, extremo inferior). La combinación de niveles altos de temperatura, abrasión y WOB tarde o temprano hace que el borde cortante se desgaste y se vuelva chato. Conforme la barra continúa perforando, la superficie resultante, conocida como “superficie plana por desgaste,” es sometida a mayor calor aún generado por fricción.

La carga mecánica, en combinación con el incremento del calor concentrado en el borde cortante, puede debilitar los enlaces del diamante y dañar el borde del cortador. El desgaste avanza a través de la tabla del diamante sintético y finalmente alcanza el sustrato de carburo de tungsteno, produciendo una reducción apreciable de la eficiencia de cizalladura y la ROP.

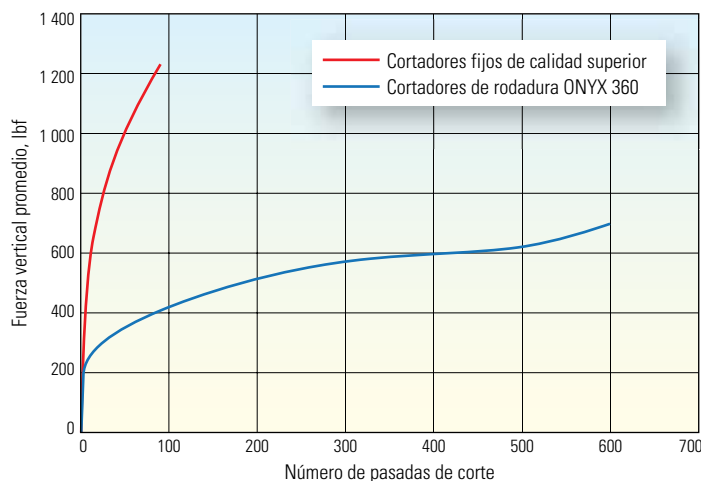
17. Zhang Y, Burhan Y, Chen C, Tammineni S, Durairajan B, Mathanagopalan S y Ford R: “Fully Rotating PDC Cutter Gaining Momentum: Conquering Frictional Heat in Hard/Abrasive Formations Improves Drilling Efficiency,” artículo SPE 166465, presentado en la Conferencia y Exhibición Técnica Anual de la SPE, Nueva Orleans, 30 de septiembre al 2 de octubre de 2013.
18. Zhang et al, referencia 17.
19. Zhang Y, Baker R, Burhan Y, Shi J, Chen C, Tammineni S, Durairajan B, Self J y Segal S: “Innovative Rolling PDC Cutter Increases Drilling Efficiency Improving Bit Performance in Challenging Applications,” artículo SPE/IADC 163536, presentado en la Conferencia y Exhibición de Tecnología de Perforación de las SPE/IADC, Amsterdam, 5 al 7 de marzo de 2013.



^ Cortador de rodadura ONYX 360. El eje del cortador ONYX 360 se encuentra contenido enteramente en un alojamiento integrado para asegurar la rotación continua y la retención del cortador durante la perforación. La fuerza de perforación de la barrena, sumada a la orientación del cortador con respecto al frente de la roca, hace que el cortador rote. Como resultado de la rotación, se utiliza todo el borde del cortador, lo que distribuye el desgaste de manera más uniforme a lo largo del borde cortante.

Dado que el incremento del calor acelera el desgaste del cortador, y más desgaste genera aún más calor, los diseñadores de barrenas procuraron romper este ciclo manteniendo el borde cortante frío y afilado. Para manejar el calentamiento mediante la reducción de la fricción en el borde cortante, los ingenieros de Smith desarrollaron el primer cortador de la industria que permite que la tabla del diamante rote completamente durante

la perforación. Esta rotación de 360° reduce el desgaste localizado ya que mantiene el borde del cortador significativamente más frío y más filoso que en los cortadores fijos. Los diseñadores de barrenas instalaron el cortador en un eje y colocaron el conjunto en una camisa de carburo de tungsteno que permite que el cortador rote libremente.<sup>17</sup> La camisa se encuentra instalada en un alojamiento soldado a la hoja de la barrena para asegurar el



^ Resultados de las pruebas con un torno de revolver vertical. El cortador de rodadura ONYX 360 (azul) requiere una fuerza vertical sustancialmente menor para perforar una distancia mayor, enumerada como el número de pasadas de corte, comparada con la fuerza requerida para un cortador fijo de calidad superior (rojo).

cortador mientras rota (izquierda). La orientación del cortador en la hoja de la barrena, con respecto a su ángulo de contacto con la formación, genera una fuerza de rotación que hace que el cortador gire sobre su eje a medida que rota la barrena.

El cortador ONYX 360 está diseñado para las superficies de alto desgaste de la estructura de corte y se instala sólo en ciertos puntos a lo largo de una barrena. Mediante la utilización de la plataforma integrada de diseño de barrenas IDEAS, los ingenieros de Smith mapearon las zonas de mayor desgaste de una barrena de PDC y colocaron allí el cortador de rodadura ONYX 360. Por ejemplo, la formación de superficies planas por desgaste a menudo se produce en los cortadores a lo largo del hombro de una barrena, en donde la alta velocidad que se desarrolla en el borde externo de la barrena y el volumen relativamente grande de roca removida por estos cortadores provocan la degradación acelerada de los cortadores. Mediante el emplazamiento de estos cortadores de bordes filosos y bajo desgaste en los puntos de alto desgaste, los diseñadores de barrenas han observado un mejoramiento de la durabilidad y una ROP sostenida a través de los intervalos más largos. El emplazamiento de los cortadores ONYX 360 varía para cada barrena, dependiendo de factores tales como el tamaño de la barrena, el número de hojas y el tipo de litología perforada.

El cortador ONYX 360 ha sido probado en un cilindro de granito utilizando un VTL. Durante la prueba, se impartieron y se registraron fuerzas verticales, tangenciales y radiales sobre el cortador. La prueba sirvió como base para comparar el rendimiento del cortador ONYX 360 con el de un cortador fijo de calidad superior (izquierda). Durante la prueba, el cortador fijo requirió un incremento de la fuerza —de 200 a 1 200 lbf [900 a 5 300 N]— para mantener una profundidad de corte constante a medida que se desgastaba. El cortador de rodadura requirió un incremento del peso relativamente leve y gradual, comenzando con 200 lbf hasta alcanzar 600 lbf [2 670 N], mientras que la profundidad de corte se mantuvo constante.<sup>18</sup> Esta prueba demostró que el cortador ONYX 360 requería menos fuerza para mantener una profundidad de corte consistente y a la vez removía más volumen de roca que el cortador fijo. La inspección visual de los cortadores demostró que el borde del cortador de rodadura se encontraba levemente redondeado, en tanto que el cortador fijo exhibía una superficie plana por desgaste de 3 mm [0,12 pulgadas].<sup>19</sup> Dado que el cortador de rodadura permaneció más tiempo afilado y disipó mejor el calor que el cortador fijo, pudo cizallar más roca con menos desgaste que el cortador fijo.

## Puesta a prueba

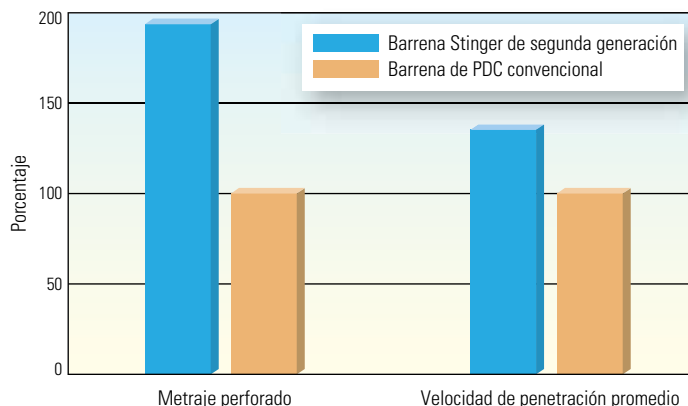
Durante el desarrollo de la perforación de un tramo lateral extendido, un operador que se encontraba en la fase de desarrollo de un campo del Condado de Hemphill, en Texas, debió enfrentar la formación Granite Wash altamente abrasiva. Esta formación, una combinación de granito desgastado y los granos de feldespato y cuarzo constituyentes, se formó a partir de los restos de rocas ígneas intrusivas que fueron erosionadas y depositadas aguas abajo de su procedencia. Se trata de una formación dura, abrasiva y resistente para las barrenas. Durante la perforación de la sección horizontal de 6 1/8 pulgadas de diámetro, el operador se vio afectado por el desempeño deficiente de la barrena de PDC. El daño de los cortadores y el desgaste por abrasión reducían la ROP hasta niveles inaceptables y obligaban al perforador a efectuar viajes frecuentes para reemplazar las barrenas, lo que afectaba adversamente la rentabilidad del proyecto.

Para resolver este problema, el operador decidió instalar una barrena de PDC de 6 1/8 pulgadas provista de siete cortadores de rodadura ONYX 360 como parte de un BHA direccional. Esta barrena perforó con éxito la zapata de la tubería de revestimiento y luego perforó 476 m [1 562 pies] de pozo horizontal a través de la formación Granite Wash con una ROP de 7,6 m/h [24,79 pies/h]; es decir, un 44% más rápido que la mejor barrena de cortadores fijos utilizada previamente en ese campo. Esta barrena era simplemente una de las más de 70 barrenas equipadas con el cortador de rodadura para perforar la formación Granite Wash. Una revisión estadística del rendimiento de las barrenas indicó un metraje promedio perforado 56% mayor, respecto de los resultados de 450 carreras efectuadas en pozos vecinos perforados con barrenas de cortadores fijos.<sup>20</sup>

20. Zhang et al, referencia 19.

21. Bruton G, Smith M, Mueller L y Ford R: "Constructing Difficult Colony Wash Lateral with Innovative Rolling Cutter Technology Improves Drilling Performance," artículo IADC/SPE 167956, presentado en la Conferencia y Exhibición de Perforación de las IADC/SPE, Fort Worth, Texas, 4 al 6 de marzo de 2014.

22. El Sistema de Registros de Perforación (DRS) de Smith Bits es una gran biblioteca de información de carreras de barrenas. Puesta en marcha en 1985, hoy esta base de datos contiene más de 3 millones de registros de carreras de barrenas de todos los campos de petróleo y gas del mundo.



^ Comparación de la eficiencia de perforación con respecto al rendimiento de las barrenas de PDC convencionales. La segunda generación de barrenas Stinger mostró mejoras notables en el metraje perforado y la ROP.

En otro pozo de la formación Granite Wash, Chesapeake Operating Inc. corrió barrenas de PDC equipadas con cortadores ONYX 360 para perforar una sección de pozo de 6 1/8 pulgadas.<sup>21</sup> Una revisión de la base de datos del sistema de registros de perforación DRS muestra que de los 42 pozos perforados dentro de un radio de 3 km [2 millas] del pozo de Chesapeake, sólo dos tenían un tramo lateral de 6 1/8 pulgadas, perforado a través de la formación Granite Wash utilizando sólo barrenas de PDC.<sup>22</sup> Las barrenas utilizadas en esos dos pozos estaban provistas de cortadores de PDC. Un análisis de rendimiento indicó que las barrenas equipadas con el cortador de rodadura ONYX 360 mostraban incrementos significativos en la durabilidad y la ROP, comparadas con las barrenas de cortadores fijos. Las barrenas de PDC con cortadores de rodadura perforaron en promedio un 30% más de metros que las barrenas de cortadores fijos en el primer pozo y un 75% más, en el segundo pozo. Las barrenas con cortadores de rodadura perforaron la sección de 6 1/8 pulgadas con cuatro viajes menos, lo que implicó un ahorro de cinco días de equipo de perforación a través de ese intervalo.

## Elevación de los estándares

Las barrenas de PDC provistas de elementos de diamante cónicos Stinger están ayudando a mejorar la ROP en muchos de los pozos desafiantes de nuestros días. Las barrenas equipadas con cortadores de rodadura ONYX 360 exhiben un rendi-

miento sin precedentes en tramos laterales abrasivos, tales como los de los pozos de la porción central de EUA. Los operadores que probaron estas barrenas especialmente equipadas las están solicitando para su empleo en los próximos pozos a perforar.

Los éxitos experimentados en el campo están acelerando la evolución de los elementos cortantes de diamante para las barrenas de PDC. Ya se está sometiendo a pruebas una nueva generación de barrenas de PDC con múltiples CDEs Stinger, distribuidos a través de todo el perfil de la barrena. Esta segunda generación de barrenas Stinger ha sido sometida a condiciones rigurosas, especialmente en formaciones duras e interestratificadas, que pueden dañar las estructuras de corte de las barrenas de PDC convencionales. Durante las primeras 100 carreras, estas barrenas demostraron su confiabilidad en el fondo del pozo, perforando un metraje 90% mayor que las barrenas estándar y requiriendo menos viajes para cambiarlas (arriba).

Con más desarrollo, las innovaciones de la tecnología de barrenas de un compuesto policristalino de diamante seguirán modificando la modalidad de perforación de la industria y expandirán el abanico de aplicaciones del PDC. Se prevé que los incrementos resultantes tanto en la ROP como en la vida útil de la barrena reducirán aún más los costos e incidirán positivamente en la viabilidad económica de los prospectos de perforación complejos. —MV