

UN ENFOQUE INNOVADOR PARA LA PERFORACIÓN DE EXPLORACIÓN Y
EXPLOTACIÓN - EL SISTEMA DE PERFORACIÓN DE AGUJERO ANGOSTO A
ALTA VELOCIDAD*

Scott H. Walker

Keith K. Millheim

Amoco Production Company
Centro de investigación, Tulsa, OK

RESUMEN

Una perforación continua del núcleo del agujero angosto y el análisis del núcleo real in situ ofrece una nueva dimensión para la exploración de petróleo y gas, especialmente en áreas remotas, difíciles y ambientalmente sensibles.

Tecnologías prestadas de las industrias de la perforación minera y de yacimientos petrolíferos, reunidas con tecnologías recientemente desarrolladas dan origen a un nuevo sistema de perforación y evaluación diseñado alrededor de una perforación continua, agujeros angostos y tala inversa - la tala de la roca real tal como es obtenida.

Es posible que este nuevo sistema pudiera provocar un cambio de paradigma en la práctica de la exploración.

INTRODUCCION

¿Por qué perforar un pozo de agujero angosto? Y cuál sería la definición de un agujero angosto.

Hay dos razones básicas para considerar perforar un agujero angosto. La primera es muy simple y básica - mejor economía. La segunda respuesta es prestada de la industria de minería de la perforación continua del núcleo. Para lograr un alto porcentaje de recuperación y ser rentable, es necesario perforar un agujero angosto. Entonces, ¿cuál es una buena definición de un agujero angosto? Un pozo de agujero

Derechos de autor 1991 Society of Petroleum Engineers Walker, Scott H. y Millheim, Keith K.: "Un enfoque innovador para la perforación de exploración y explotación: El sistema de perforación de alta velocidad para agujero angosto," Journal of Petroleum Technology (septiembre de 1990).

angosto es un pozo donde el 90% o más de la longitud del pozo es perforado con brocas de menos de 7 pulgadas [1.78 (E-01) milímetros de diámetro.

La tecnología de agujero angosto no es nueva. El exploracionista y el explotador reconocieron la posibilidad de usar un pozo de diámetro pequeño para ayudar a reducir los costos generales de perforación. En los años cincuenta, un importante operador lanzó una iniciativa para perforar pozos de explotación de agujero angosto en Utah, Louisiana, Mississippi, Arkansas y Oklahoma y declaró en las conclusiones que los pozos de agujero angosto podrían ser rentables.¹ Sin embargo, el interés en la perforación del agujero angosto de explotación disminuyó en los años sesenta y no resurgió hasta los años setenta. Un sistema de perforación de agujero angosto fue desarrollado en Suecia para explorar y explotar algunos de los pequeños embalses superficiales en ese país.² Nuevamente, el autor citó un 75% de ahorro en este enfoque sobre las prácticas de perforación convencionales. El éxito en Suecia alentó más la perforación de agujeros angosto en el Reino Unido y la cuenca de París en Francia;^{3/4} La rentabilidad fue citada nuevamente. Otra aplicación para la perforación del agujero angosto fue reconocida por exploracionistas para perforación en áreas remotas tales como Indonesia e Irian Jaya, Indonesia.^{5/6} En ambas situaciones, la pequeñez del sistema general de perforación y la reducción de tamaño del pozo afectó grandemente el costo logístico para la perforación de los pozos.

El uso mayor de la tecnología de agujero angosto es para la perforación continua por la industria minera. La única forma segura de evaluar si un yacimiento es grande y tiene un grado suficiente de minerales para justificar el costo de la profundización del pozo o embarcarse en un corte abierto costoso es obtener el núcleo para delinear el yacimiento. Los líderes en la perforación minera continua para la extracción de muestras son los sudafricanos que han desarrollado un yacimiento de oro profundo en Sudáfrica, con algunas minas debajo de 10,000 pies [3,048 ml.

La perforación de minería continua es tan grande que tiene una subindustria completa para apoyarla que no está totalmente relacionada con la industria de la perforación del campo petrolífero. Hay fabricantes especiales de máquinas de perforación, brocas para perforación, tubulares, portatestigo y otras herramientas necesarias. De hecho, perforación de minera de agujero angosto tiene su propia asociación llamada International Drilling Federation (IDF) completa con una publicación trimestral llamada Drill Bits.⁷

En la actualidad, operaciones de perforación de minería de núcleo continua están en auge en los Estados Unidos (oro y carbón), Canadá (principalmente níquel) y en Australia para una variedad de minerales.

Con los años, ha habido un interés constante en una extracción de muestras continua de pozos de petróleo y gas. Durante los finales de los años 50 y el principio de los años 60, un sistema de extracción de muestras continuo fue desarrollado y

utilizado para perforar un número de pozos bajos para petróleo y gas.⁸ Único a este sistema de extracción de muestras continuo era el diseño de revertir circular el núcleo del pozo mientras que perforaba adelante. Durante los inicios de los años 70, un pozo era continuamente perforado con corazón hasta 11,600 pies [3536 m] utilizando el sistema de perforación con corazón de agujero angosto.⁹ Este récord aún sigue en pie como el pozo más profundo perforado con corazón continuamente en un ambiente sedimentario de petróleo y gas. Este artículo afirma una mejora del 50% de los costos sobre un pozo convencional perforado a 6000 pies [1829 m] e indica que los exploracionistas estaban conscientes de las ventajas de la perforación con corazón continua y el sistema de agujero angosto, especialmente para la perforación en zonas remotas. El concepto de perforación con corazón continua como una estrategia alternativa de exploración fue defendido en los inicios de los años setenta en Australia donde se perforaron una serie de pozos de exploración de petróleo y gas en la cuenca de Canning.¹⁰ Durante los años mediados de los ochenta, dos pozos fueron perforados con corazón continuamente en la edad del Pérmico en la cuenca del Delaware en Texas y Nuevo México.¹¹ Ambos pozos recuperaron más de 11,000 pies [3.353 ml de núcleo continuo. Entre 1987 y 1989, Amoco Production Company había perforado más de 40,000 pies [12.192 m] de núcleo continuo en Oklahoma, Kansas, Michigan, Colorado y Texas. Algunas de esas perforaciones serán discutidas en este documento.

Con el aparente interés en agujeros angostos y perforación de núcleo continua durante los últimos 40 años, ¿por qué no ambos enfoques se han vuelto más populares y ganada aceptación en los sectores de exploración y explotación de petróleo y gas. ¿Hay un lugar (nitch) para agujero angosto y perforación de núcleo continua para la exploración y explotación de petróleo y gas? ¿Pueden agujeros angostos y perforación de núcleo continua competir económicamente con la perforación convencional? ¿Cuáles son las ventajas y desventajas del agujero angosto y perforación de núcleo continua? ¿Puede cambiar la filosofía de núcleo continuo nuestra forma explorar petróleo y gas? ¿Cuáles son los problemas técnicos con agujero angosto y perforación de núcleo continua? ¿Pueden ser superados? ¿Qué pasa con la seguridad y control de pozos?

El diseño de este documento es únicamente con el propósito de abordar estas cuestiones de mirar las posibilidades de agujero angosto y perforación de núcleo continua en la industria de petróleo y gas.

LA EVOLUCIÓN DEL SISTEMA DE PERFORACION CONTINUO DE NUCLEO DE AGUJERO ANGOSTO PARALA EXLORATION Y EXPLOTACIÓN DE PETROLEO Y GAS

El sistema de agujero angosto tiene tres variantes básicas:

(1) pozos de agujero angosto con poca o ninguna extracción de muestras,

- (2) pozos de agujero angosto donde 90% o más es perforado con corazón continuamente y
- (3) agujeros angostos que son una combinación de extracción de muestras y perforación completa con taladro.

Este documento se concentra en el sistema de perforación continua de agujero angosto. Cuando se considera primero una extracción de muestra de agujero angosto continuo, el enfoque obvio es usar una empresa contractual minera. La búsqueda de este esfuerzo que demostraría claramente las distinciones entre el sistema convencional de perforación y el sistema de perforación minera como se practica hoy.

La Figura 1 ilustra un sistema típico de perforación minera (terminología específica minera como se define en el Apéndice 1). La máquina es muy pequeña y ligera en comparación con una torre de perforación de un campo petrolífero de capacidad de profundidad similar. Las tasas de circulación de fluidos oscilan desde 5 a 70 galones/minuto [$3.1545 \text{ (E-04) m}^3/\text{s}$ a $4.4163 \text{ (E-03) m}^3/\text{s}$]. Rotación de la varilla de perforación es una unidad superior o un portabrocas dispositivo capaz de velocidades superiores a 2,000 revoluciones por minuto. La varilla de perforación es externamente lisa y revés en la conexión, que de sí mismo es un tipo de rosca de diente de sierra modificado. La varilla de perforación es rotada en un agujero con frecuencia menos de 1/2 pulgada [1.27 (E-02) m] de espacio anular. Las brocas utilizados son de diámetro pequeño, 4-3/8 pulgadas [1.111 m] (E-01) o menos, brocas de núcleo tipo arrastre. La mayoría de las brocas de minería que se utilizan están impregnadas con diamantes; sin embargo, hay un porcentaje menor de brocas de diamante de superficie que también son utilizadas. El control de pozos, el equipo, si se utiliza, generalmente constará de un tipo de ram o bolsa de BOP, un acumulador y controles. Comprender bien las prácticas de control de pozo y cómo manejar en realidad un arranque si ocurre es cuestionable y pobremente documentado dentro de la industria minera. Porque la industria minera está interesada en la búsqueda de depósitos minerales, más a menudo se practica la extracción de muestras continua. La mejor manera de hacerlo es utilizar un sistema de sondaje recuperable. El análisis de núcleo es típicamente conducido fuera del sitio por ingenieros de minas o empresas de servicio de análisis de núcleo varios días o incluso semanas más tarde.

Equipo de perforación minera

Torres de perforación minera varían en tamaño desde simple, taladros operadas por una persona pesando únicamente unas miles de libras hasta taladros operados por tres operadores pesando cerca de 100,000 libras [$45\,359 \text{ kg}$]. La mayoría son capaces de perforar sólo 6,000 pies [1829 m] o menos, aunque algunas pueden extraer muestras continuamente a 14,000 pies [4267 m]. Debido a que la mayoría de torres de perforación de minería son hidráulicas, el mandril o sistemas de impulsión superior pueden girar las barras del perforador a velocidad variable hasta 2,000 rpm,

dependiendo del torque disponible. Estos sistemas se utilizan también para subir y bajar hidráulicamente la varilla. El mandril tiene un trazo desde 2 hasta 11 pies [0.6096 hasta 3.353 m] en el cual se debe levantar hidráulicamente para volver a tomar (mandril) la varilla. Los tamaños de la varilla de perforación oscilan desde 1.75 pulgadas hasta 5 pulgadas [4.445 (E-02) m hasta 1.27 (E-1) OD]. La varilla externamente exuberante proporciona una superficie lisa que actúa como un eje de rodamiento dentro del espacio anular pequeño de la luz del pozo. Las longitudes de la varilla de perforación varían desde 3.28 pies hasta 19.69 pies [0.9997 m a 6 m]. Un beneficio del sistema de explotación minera es cada tamaño de varilla que puede utilizarse como cubierta, para que el siguiente tamaño menor de varilla de perforación pueda girar dentro de la otra tubería.

Sistema de Circulación

Las velocidades de circulación necesarias para el sistema de agujero angosto varían significativamente de aquellos de las prácticas convencionales del campo petrolífero. Esto es principalmente debido a las altas velocidades anulares en el pequeño espacio anular y los cortes más finos que se levantan. Proporciones de caudales comunes cuando se utiliza un rango de barra HQ de 20 a 40 gpm [1.26 (E-03) hasta 2.52 m (E-03) ³/s], mientras que cuando se utiliza la varilla BQ las proporciones de los caudales varían desde 8 a 15 gpm 5.05 (E-04) a 9.46 (E-04) m³/s.

El sistema de circulación para la torre de perforación de minería típica consiste en un pozo de barro de reserva o posiblemente un tanque de acero de fango. Equipos de control de sólidos son mínimos, si es que se utilizan.

Los fluidos de perforación

La industria minera se ha dado cuenta de la necesidad de un fluido circulante "sin sólidos" desde el inicio del sistema de sondeo del núcleo recuperable. ¿Por qué es esto? Como las varillas de perforación son rotadas a altas velocidades, actúan como una centrifugadora que puede causar el chapado de sólidos en las varillas del diámetro interior. No sólo sería esto eventualmente restringir el flujo hacia abajo de la varilla con el tiempo, pero, más importante aún, previene la recuperación de la sonda del núcleo, que puede causar un viaje de varilla. Dónde es posible, la industria minera utiliza agua para la extracción de muestras. Si es necesaria una viscosidad, usualmente para superar la vibración de la varilla, se utiliza un polímero. Grandes cantidades de formación sedimentaria con arcillas reactivas raramente son perforadas por la industria minera. Por lo tanto, tienen poca experiencia en el diseño de los sistemas petroleros tipo barro para inhibir las distintas formaciones que tienen arcillas reactivas.

Brocas

El tipo de brocas de extracción de arrastre se utilizan casi exclusivamente por las empresas de perforación mineras. Estas brocas, que se diseñan adecuadamente, son ideales para la perforación de las formaciones de tipo mineral. Formaciones típicas penetradas en la exploración de minerales son mucho más difíciles, más competentes y uniformes que las perforadas por la industria petrolera. Por lo tanto, la aplicación directa de prácticas de brocas de minería a las formaciones sedimentarias no producirá necesariamente resultados económicos. La broca de extracción de minería más predominante es la impregnada de diamante. Esta broca tiene diamantes muy pequeños (310-525 partículas de diamante por quilate) incrustados continuamente dentro de una matriz de carburo de tungsteno que se desgasta conforme se perfora la formación, exponiendo nuevas superficies de corte. El perfil de la broca es plano. También se utiliza un set de superficie de brocas de diamante de extracción, pero en menor medida, cuando se enfrentan a formaciones más suaves. No hay prácticamente ninguna aplicación de la tecnología de brocas PDC en la industria minera.

Brocas de arrastre, cuando se gira a las altas velocidades, pueden penetrar eficientemente en la roca con un bajo peso-por-broca (WOB). Un rango típico WOB es de 2,000 a 10,000 libras [907.1854535.924 kg]. Brocas de arrastre son susceptibles a fallas catastróficas si hay un cambio abrupto de la formación y la broca se "entierra" y el fluido se estanca. Por lo tanto, se desea un sistema de avance de broca preciso; sin embargo, este sistema no existe en la mayoría de torres de perforación mineras aunque el diseño de una es muy adaptable a una máquina de perforación con controles hidráulicos.

Control de pozo.

Formaciones más penetradas por la industria minera no contienen hidrocarburos, las prácticas de control de pozo no tienen importancia. Utilizando este sistema para exploración de hidrocarburos se requiere de una profunda comprensión de la física asociada con control de pozos en el agujero angosto. Cuando inicialmente se considere lo que ocurriría en un sistema de anillo pequeño y cómo reaccionar si se produce un flujo fluido, parece legítimo que la minería de agujero angosto de tipo perforación es peligrosa! Sin embargo, después de investigar la física del sistema, el control del pozo de agujero delgado es muy posible y aún menos peligroso que en pozos convencionales - si se siguen las prácticas adecuadas. A detallada discusión sobre la física del control del pozo de agujero angosto y las prácticas está contenida en un documento de Bode et al¹²

Recuperación del núcleo

La recuperación del núcleo se logra por sonda. La Figura 2 ilustra los componentes del sistema. La mayoría de las operaciones mineras cortan núcleos de 5, 10 o 20 pies [1.524, 3.048 o 6.096 m]. Cuando se termina la perforación, se baja una sonda sobrepasada a través de las varillas de perforación hasta que encaje en una punta de lanza conectada al barril interno que contiene el núcleo. Al llegar a la superficie, el barril interno es asentado, otro barril interno recogido y botado o bajado al fondo y el núcleo se bombea hacia afuera utilizando una bomba hidráulica. Varios tipos de sistemas de barril de núcleo están disponibles que permiten consecuentemente por 98-100% la recuperación del núcleo en todos los tipos de formaciones.

Análisis de núcleo

El análisis de núcleo se realiza generalmente por un ingeniero en minería o una empresa de servicio de análisis de núcleo. La responsabilidad del contratista de perforación minera normalmente termina con el embalaje del núcleo en el sitio. El análisis del núcleo es similar a la de la industria de petróleo y gas, con los objetivos principales de determinar las propiedades del yacimiento (mineral); poca consideración se da a la verdadera evaluación geológica y geofísica, aunque la literatura reciente de minería refleja más interés en la evaluación completa del núcleo.

EVALUACIÓN DE PRÁCTICAS MINERAS DE AGUJERO ANGOSTO DE PERFORACIÓN

Un contratista de perforación de minería fue invitado a extraer continuamente un agujero angosto a una profundidad de 2,500 pies [762m] en Catoosa Field Drilling Research Facility. Esta área ofrece un conjunto adecuado de las litologías con roca a una compresión entre 2,000 a 60,000 psi [13 789 514 a 413 685 420 Pa]. Las litologías de lutita a arenas a carbonatos con algunas lutitas siendo fluidos de perforación basada en fluidos de perforación reactivas hasta agua normal. La presión de formación es subnormal de forma que las mayores preocupaciones con el control de pozos se minimizan.

Se le dio la libertad al contratista para aplicar su tecnología minera para el ambiente sedimentario. Se utilizó un sistema de fango de agua dulce con ningún equipo de control de sólidos. Resultaron erosiones en el agujero. Esto causó que el contratista frenara la velocidad de rotación, que redujo las proporciones de penetración. Más tarde, el tubo se atascó. La selección de la broca era inadecuada y las proporciones de penetración eran lentas y la vida de las brocas era pobre. Después de 38 días y alcanzando una profundidad total de 1,950 pies [594m], la extracción fue suspendida.

Registros de varias compañías madereras del campo petrolífero se ejecutaron para determinar cuáles podrían ejecutarse en un agujero angosto y cuál era la calidad de los registros. El cuadro 1 cita los resultados. La calidad del registro fue evaluada en comparación con los registros obtenidos mediante herramientas de tamaño convencional de pozos cercanos. Mecánicamente, no se experimentaron problemas mientras se calibraron o ejecutaron las herramientas. Esta prueba demostró que se pueden ejecutar registros más típicos en el entorno del agujero angosto.

La recuperación del núcleo fue del 100% y de alta calidad. Esto confirma la premisa inicial del potencial que existe para revolucionar las técnicas de exploración a través del análisis del núcleo de un tramo continuo de roca. Desarrollo de un centro de análisis automatizado en el sitio núcleo fue iniciado por nuestros investigadores geológicos y geofísicos para tomar ventaja del núcleo que se generaría por el sistema de extracción continua del agujero angosto futuro.

Se reconoció que era necesario un importante programa de investigación y desarrollo para desarrollar un sistema de perforación minera en un sistema para la aplicación en el campo petrolífero. Se realizó un acuerdo con un contratista en minería para ayudar en este esfuerzo.

EVOLUCIÓN DEL SISTEMA DE AGUJERO ANGOSTO DEL CAMPO PETROLÍFERO

Un enfoque de desarrollo total del sistema fue necesario para producir el sistema deseado de agujero angosto. La investigación hacia técnicas de extracción de agujero angosto, diseño de la broca, química del líquido de perforación, control de sólidos, control del pozo y análisis del núcleo de exploración serían abordados. El programa incluye la investigación de laboratorio, pruebas en las instalaciones de prueba de campo de Catoosa y más pruebas de campo para probar y desarrollar completamente el sistema.

Investigaciones de laboratorio

Pruebas de brocas de varias brocas de extracción de minería se llevaron a cabo en la máquina de perforación de nuestro laboratorio. Las observaciones de los primeros resultados de las pruebas indican que hubo un pobre diseño hidráulico, concentración cuestionable y colocaciones del set de diamantes superficiales y una mínima experiencia en diseños PDC. Se decidió pedir los conocimientos desarrollados internos en diseños de agujeros completos de brocas convencionales e intentar adaptarla para desarrollar brocas de núcleo de agujeros angostos. Los resultados han sido alentadores con rendimiento de mejorar tanto como el doble el set de diamantes para ambas superficies y brocas de núcleo PDC.

Un nuevo fluido de perforación a base de agua fue desarrollado para su uso con el sistema de agujero angosto (Apéndice 2). Pruebas realizadas en lutita modificada sobre la lutita más reactiva en Catoosa muestran el fluido de salmuera de polímero catiónico de ser eficaz en la prevención de la degradación de la pizarra. Fluidos de perforación a base de aceite también fueron investigados para determinar el que mejor se adapta para el sistema de agujero angosto. Un circuito cerrado de mezcla de fluidos de perforación y sistema de procesamiento fue diseñado y fabricado. El sistema utiliza un enfoque de la centrifugadora para el control de los sólidos y cuenta con un barril 50 [7.949 m³] activo y 200 barril [31.8 m³] de capacidad de reserva. El fluido es mezclado usando un mezclador cilíndrico con una bomba homogeneizadora para el cizallamiento de las adiciones de polímeros.

El desarrollo de una estrategia del control de pozo fue reconocido como clave para perforar agujeros angostos en ambientes sedimentarios. Modelos de control de pozo convencionales indican un problema en el control de la formación de afluencias en el agujero angosto. Las investigaciones literarias revelaron que muy poco trabajo se ha hecho sobre las pérdidas de presión en los anillos de agujero angosto. Se desarrolló un programa para investigar la física del control del agujero angosto, que incluyó perforar un pozo especialmente configurado e instrumentado.

La filosofía de control para el funcionamiento de una máquina típica de minería es una simple válvula de aguja para sangrar la presión o controlar el flujo de fluidos en la ram de alimentación hidráulica para el avance de la broca. Este método es muy impreciso en mantener el WOB deseado. Se diseñó un sistema de control mediante válvulas servo y servo-controladores electrónicos para la plataforma de agujero angosto. Entradas al controlador incluyen WOB, como medidos a través de transductores de presión, proporciones de penetración y velocidad de rotación. El perforador puede controlar parámetros operativos de brocas sea electrónicamente a través de una consola de control o por un ordenador a través de teclado.

Investigaciones geológicas y geofísicas centradas en la determinación de medidas físicas para realizarse en el núcleo, de cómo compilar y usar los datos y cómo procesar el núcleo en una base cerca del tiempo real. Se decidió desarrollar un sistema de procesamiento del núcleo analítico automatizado que incluiría un aparato mecánico para transmitir, limpiar, cortar, etiquetar y almacenar temporalmente los núcleos manteniendo su relación espacial hasta las estaciones de análisis serían capaces de recibir y analizarlos. Un mecanismo de accionamiento controlado por microcomputadora proporcionaría viajes del núcleo de una estación de análisis geológico a la siguiente. Adicionalmente, los discos serían cortados cada uno desde 10 pies [3.048 m] del núcleo para su uso separado en distintas mediciones geofísicas. Una instalación modular en el sitio para los equipos de evaluación tuvieron que ser diseñados y construidos.

Pruebas de Catoosa

Pruebas de brocas en Catoosa proporcionaron información sobre las proporciones de vida de la broca y de penetración bajo condiciones reales de perforación. Aproximadamente 30 brocas fueron probadas, que incluyeron el set de brocas de diamante superficiales, brocas de PDC, Syndex y brocas de núcleo impregnadas. Los primeros resultados sugirieron que los diseños de broca de minería más aplicables eran los sets de tipo de superficie y los esfuerzos de diseñar fueron enfocados en su mejora. Cambios en el perfil de la broca, concentración y colocación del diamante, y parámetros de extracción dieron lugar a un rendimiento mejorado aunque no al grado deseado.

La mezcla del líquido de perforación y sistema de procesamiento fue utilizado con éxito para poner a prueba la mezcla de los diversos aditivos de fango y materiales de circulación perdidos. Como se mencionó previamente, el control de sólidos se basa en todo el sistema de circulación de la centrifugación. Este equipo se complementa con una alta velocidad, agitador de lutita de pantalla fina. El contenido de sólidos se mantuvo como mínimo según lo evidenciado por las pruebas de líquido y la falta de anillos de fango.

El líquido basada en agua catiónico de salmuera realizado como prueba de laboratorio había predicho lavados que habían sido evidenciados en el pozo perforado fueron eliminados por el contratista de minera y el promedio del tamaño del agujero estaba dentro de 1/2 pulg [1.27 (E-02) ml de calibre de la broca. Además, no ocurrieron problemas de pipas pegadas durante la perforación de los cinco pozos Catoosa.

El equipo fue fabricado para cortar y manipular físicamente el núcleo en longitudes de 40 pies [12,192 metros] en lugar de los 20 pies [6.096 m] de longitud. La recuperación del núcleo de 98% hasta 100% continuó. Este logro resultó en menos viajes de la sonda, aumentando con ello la proporción efectiva de la tasa de penetración.

Se realizaron pruebas para investigar la física del control de pozos de agujero angosto usando una prueba de pozo de 2.500 pies [762m] como se describe por Bode et al.¹² Fue encontrado que la pérdida de presión anular en el agujero angosto fue del 90% de la pérdida de presión total del sistema. Detección rápida y monitoreo de una afluencia en este sistema era muy importante. Esto podría lograrse mediante el uso de medidores de flujo cuantitativos colocados en puntos de flujo de ingreso y de flujo de salida con las mediciones representadas gráficamente en un monitor de computadora. Tras finalizar la fase de prueba del pozo, fue desarrollado un manual de control de pozo de agujero angosto detallado y un programa.

Capacitando a todo el personal en los diferentes aspectos del procedimiento de extracción de muestras de un agujero angosto en litologías sedimentarias fue un objetivo primordial de la obra de Catoosa. Personal del campo petrolífero se dio

cuenta que no era posible aplicar directamente los conocimientos previos a la continuidad de las operaciones de perforación. El personal de minería necesitaba ser capacitado en los requisitos para operar con éxito en el entorno del campo petrolífero. Capacitando en la operación de la torre de perforación, técnicas de extracción de muestras, mantenimiento del fluido de perforación y equipos de control de pozos y procedimientos son sólo algunos temas de lo aprendido durante este período.

Al final de cuatro meses de desarrollo en Catoosa, hubo confianza que todo el sistema podría utilizarse para la exploración; sin embargo, para comprobar completamente su potencial, se tuvo que perforar pozos fuera de las instalaciones de prueba del campo Catoosa. Se desarrolló un programa de prueba conjunto con personal de exploración y producción dentro de diversas regiones operativas de Amoco.

Pruebas de campo

La estrategia del programa de pruebas de campo fue de perforar una serie de pozos, comenzando con uno que tendría un potencial mínimo de problemas de perforación y presiones de poro subnormales. Cada pozo subsecuente estaría en un área de mayor dificultad. El primer pozo fue perforado en la península superior de Michigan. El objetivo de la exploración fue la pizarra Nonesuch de la tendencia del Midcontinent Rift. Formaciones encontradas fueron una variedad de arenas, limolitas, lutitas, conglomerados y basalto. La presión de los poros era subnormal con circulación perdida en la parte superior del agujero que requirieron un aceite aireado para ser utilizado. El pozo fue planeado originalmente para 4,000 pies [1219 m], pero debido a la diagnosis temprano del núcleo se analizó que el pozo tenía que ir por debajo de 7000 pies [2134 m] para alcanzar los objetivos de exploración. El pozo alcanzó una profundidad total de 7238 pies [2206 m].

Un segundo pozo (Morrow Sand play) fue perforado en el oeste de Kansas. La litología fue algo más suave que el primer pozo con pizarras más reactivas. Carbonatos, anhidritas, chert y 275 pies [84 m] de sal fueron extraídos. Otra vez, la presión de los poros era subnormal con pérdida de la circulación que ocurre en varios intervalos. La profundidad total del pozo fue de 5956 pies [1815 m].

Fueron observados numerosos espectáculos desde el núcleo que probablemente no habría sido detectado de cortes y no fueron evidentes desde los registros electrónicos.

Dos pozos de desgasificación de carbón fueron perforados en el sur de Colorado. Las formaciones tenían fuerza compresiva baja y la presión del poro era subnormal. Esta fue la primera vez que se extrajo una cantidad significativa de carbón utilizando este sistema. Las profundidades totales de los pozos fueron 2,047 pies [624 m] y 3,121 pies [951 m].

El último pozo fue en el oeste de Texas en una zona normalmente requiriendo del uso de fango a base de aceite para perforar las lutitas reactivas. Las formaciones tuvieron caídas pronunciadas y contenían secciones importantes de chert. La presión era más cercana a la normalidad que cualquiera de los pozos anteriores. Se llegó a una profundidad total de 9,617 pies [2931 m].

Un total de 73 brocas se ejecutaron durante el programa de prueba de campo. La tabla 2 muestra las estadísticas de rendimiento y distribución de estas brocas. El set de brocas de diamante de superficie fue utilizado más que cualquier otro tipo de broca de arrastre. Estas brocas trabajaron más consistentemente a través del programa de campo, aunque el rendimiento no era lo esperado. Brocas PDC y Geoset realmente lograron costos menores por pie, aunque las aplicaciones de estos tipos de brocas eran limitadas y algunos de los rendimientos era erráticos. Las brocas impregnadas fueron las de rendimiento más pobre; sin embargo, estaban determinados a ser excelentes para fresado de acero tales como brocas rotas, estabilizar las cuchillas, etc.

La mayoría de las extracciones se realizaron usando velocidades de rotación que van desde 400-800 rpm. WOB osciló entre 3,000 y 17,000 libras [1361 7711 kg]. En general datos de campo mostraron un efecto positivo de RPM incrementado en proporción de penetración para todo tipo de broca. La falla más común para las brocas de diamante fue la salida del anillo. Muy pocas brocas fueron haladas con superficies de desgaste en los diamantes. En brocas con salidas de anillo, la mayoría de los diamantes restantes estaban en buenas condiciones. Ningún patrón de desgaste consistente fue evidenciado por las brocas de diamante sintético. Las fallas resultaron de cortadores que se rompieron desde toda de la matriz, cuchillas de astillado y ruptura y cortadores con superficie de desgaste. Un pobre diseño hidráulico tuvo efecto sobre el desempeño de muchas de las brocas probadas.

El rendimiento de la salmuera catiónica de líquido de perforación había alcanzado los objetivos para la perforación de todo a excepción del último pozo, con un tamaño de agujero promedio para los cuatro pozos de 1/2 pulgada [1.27 m (E-02)] más que el calibre de la broca. No hubo problemas con pipa pegada o anillos de fango asociados con el sistema de fluido de perforación catiónico. En el oeste de Texas, el fluido de perforación fue probado para determinar si se podría reemplazar el fango a base de aceite comúnmente usado. El problema predominante se asoció con impregnación de agua de los planos microfracturados de las capas fuertemente inclinadas. Después de la perforación de aproximadamente 3200 pies [975 m], la misma cantidad de varilla de perforación fue establecida y un sistema de aceite mineral fue utilizado para perforar el resto del pozo.

La mezcla de fluido de perforación y sistema de procesamiento funcionó bien. Modificación de la capacidad de mezcla fue requerida para proporcionar la mejor mezcla de productos del polímero y LCM. El volumen de líquido del sistema

superficial fue encontrado de ser adecuado para todas las profundidades de los pozos perforados. Fue aprendido que era necesario trabajo adicional para determinar que los ajustes de profundidad del estanque de centrífuga adecuada para las proporciones de caudales a ejecutar para maximizar la eficiencia centrifugadora.

Los pozos de campo confirman los datos recolectados de las pruebas en la prueba de control de pozos en Catoosa. El personal de la torre de perforación se volvió versado en el niple y prueba de BOP y sus responsabilidades si ocurriera un arranque durante la perforación o el disparo. Los datos recolectados en el campo también proveyeron información sobre los diversos fenómenos de los pozos que ocurren en un anillo de un agujero angosto. Esta información ha ayudado en el desarrollo de un sistema de control de pozo de una inteligencia artificial (AI). No fueron realizados arranques durante esta fase de prueba de campo.

La experiencia de campo también proveyó una situación para mejorar las prácticas operativas. Estas incluyen requisitos para la explotación y cementación de revestimiento y la disminución de sonda de núcleo y tiempo del disparador de la varilla de perforación. Las prácticas de extracción actuales en diferentes formaciones, beneficios y modificaciones al sistema de control automático y cómo manejar la circulación perdida fueron algunas de las otras operaciones que se aprendieron. Aunque habíamos previsto problemas de pipa pegada, no ocurrió ninguna asociada con la formación y la perforación de la interacción de fluidos de perforación. No hubo ningún fallo tubular en el extremo bajo del tren de cañería durante el programa de prueba de campo.

En nuestro primer pozo en Michigan, sólo el módulo de medición geofísica estaba listo para su uso. Aproximadamente 700 muestras del núcleo fueron procesadas durante este pozo. Las mediciones geofísicas fueron: densidad, porosidad, mineralogía cuantitativa y velocidades sísmicas. Los módulos geológicos estaban listos para el servicio en el proyecto del pozo de Kansas. Las mediciones geológicas fueron exploración gamma, saturaciones, porosidad, susceptibilidad magnética, composición mineralógica, determinación de hidrocarburos y una grabación de vídeo del núcleo entero. La Figura 3 representa el procesamiento de las reglas de modificación del núcleo. Más de 15,000 pies [4572 m] de núcleo fueron analizadas con éxito durante el programa de prueba de campo. El núcleo del sistema de evaluación ha procesado 550 pies [168 m] del núcleo en un día y puede ser ajustado para proporciones ligeramente más altas, si se requiere.

Los datos recogidos por los módulos de procesamiento del núcleo fue utilizado no sólo para evaluar rápidamente el juego de exploración, pero también un poco proporcionado información que ayudó a hacer perforación in situ, decisiones tales como selección de brocas, propiedades de los fluidos de perforación etc.

Sobre la terminación de las pruebas de campo, se hizo evidente que el sistema del agujero angosto trabajó. Con éxito extrajimos más de 37,000 pies [11278 m] de

formación (incluyendo Catoosa) con 98.3% de recuperación. Los datos medidos se utilizaron para analizar mejor cada juego de exploración y explotación. Sin embargo, también se aprendió que sería necesaria la investigación adicional para mejorar y optimizar el sistema. Los esfuerzos de investigación actuales incluyen lo siguiente:

- (1) Continuación del diseño de la broca del núcleo
- (2) Diseños de broca de diámetro pequeño de taladro completo de arrastre
- (3) Desarrollo de consolidar la capacidad autónoma
- (4) Pruebas de formación de agujero abierto y entubado
- (5) Desarrollo de una estación de computadora del equipo de exploración
- (6) La adición de un probador de resistencia a la compresión de roca
- (7) Terminación del control del pozo Al automatizada

LAS CUESTIONES MAS IMPORTANTES PARA UTILIZAR EL SISTEMA DE AGUJERO ANGOSTO - INFORMACIÓN Y ECONOMÍA

Con el aparente interés en agujeros angostos y perforación de núcleo continua durante los últimos 40 años, ¿por qué no ambos enfoques se han vuelto más populares y ganada aceptación en los sectores de exploración y explotación de petróleo y gas. Esta es una pregunta muy pertinente que merece respuesta. Lamentablemente, sólo los temas clave pueden ser expuestos y discutidos brevemente dentro de los límites del espacio de este documento.

Los argumentos en contra de taladrar un agujero angosto convencional han sido las limitaciones de producción impuestas por la tubería de diámetro pequeño y la dificultad de trabajar en dichos pozos. Otros argumentos a menudo citados es la falta de las proporciones de buena penetración usando brocas tricono de diámetro pequeño, la aparente carencia de herramientas de registro que encajarían en los agujeros angostos, consolidando el orificio pequeño, la dificultad para probar y la limitación general de no ser capaz de ejecutar múltiples fibras de revestimiento.

Argumentos contra la perforación continua básicamente abarcan todos los argumentos sobre la perforación del agujero angosto general e incluyen la demanda adicional sobre la seguridad de la perforación con un sistema de anillo pequeño. ¿Además, hay un cuestionamiento acerca de la necesidad real del núcleo continuo? ¿Vale la pena? ¿Y si se considera el entorno de perforación actual, que debe, puede completar la perforación del agujero angosto con perforación convencional?

¿Asumiendo los argumentos técnicos en contra de la perforación continua del núcleo puede ser satisfecha, un pozo continuamente perforado con núcleo tiene una ventaja sobre un pozo perforado convencionalmente? Esta pregunta cava profundamente en el paradigma actual de la exploración de cómo una empresa actualmente explora buscando petróleo o gas. El artículo de Ashton¹⁰ presenta el paradigma de la exploración actual practicada por la mayoría de empresas de

exploración de petróleo y gas (Fig. 4). Ashton también cita un nuevo paradigma (Fig. 5) utiliza el concepto de extracción de muestras continua.

En lugar de gastar una parte significativa de un presupuesto de exploración en costosos programas sísmicos, por qué no responder a la pregunta clave sobre cualquier área de exploración tan rápido y económicamente como sea posible: ¿Hay rocas fuente? ¿Hay sellos para atrapar a los hidrocarburos? ¿Existen potenciales reservorios? ¿Hay hidrocarburos presentes? ¿Cuál es el potencial para atrapar los hidrocarburos? Si falla alguna de las preguntas anteriores, el área de interés podría tener una probabilidad baja de tener acumulaciones de hidrocarburos. Extracción de muestras continua deja poco a la imaginación. Con casi el 100% de la roca para evaluar, se despliega la geología entera. El núcleo también proporciona los datos necesarios de la roca para mejorar la calidad de la interpretación sísmica que es esencial para la determinación de la trampa más sutil. Por lo tanto, es posible reducir los costos globales de exploración con un pozo extraído tempranamente que afecta también a la hora de evaluar un juego de exploración.

La mayor interrogante contemporánea acerca de la perforación de agujero angosto se refiere a la economía. ¿Puede un pozo de extracción de núcleo continua ser económicamente competitivo con pozos perforados convencionalmente?

En la actualidad, la mayoría de contratistas de perforación de tierras de Estados Unidos están operando con una pérdida de \$200 K a \$500 K por torre de perforación por año.¹³ El mercado de petróleo y gas deprimido es contrarrestado por un mercado de minería de auge que está consumiendo más de las máquinas de perforación de minería. No hay ninguna razón para cualquier contratista de perforación minera para operar a la "liquidación" las tarifas de oferta actualmente para la mayoría de contratista estadounidenses y canadienses de perforación de petróleo y gas. Incluso con que los contratistas de perforaciones mineras cobren proporciones lucrativas completas, el sistema de extracción de núcleo continua puede competir o en sobre una base de únicamente cubrir los gastos para un número de solicitudes de los Estados Unidos y Canadá. Si las consideraciones logísticas y ambientales son significativas, por ejemplo para pozos alejados en Alaska y otras áreas de la frontera, el sistema de agujero angosto más compacto más pequeño es definitivamente menos costoso. Internacionalmente el sistema de agujero angosto parece como más competitivo, abajo a 12,000 pies [3658 m], que la mayoría de operaciones de perforación convencionales, especialmente para las aplicaciones de perforación más remotas. La Figura 6 brinda una comparación general del costo entre un agujero delgado de extracción continua y perforación convencional en Alaska, Pakistán y Kenia.

Es importante recordar que el agujero angosto el costo incluye la perforación de núcleo continuo sobre el 90% de toda la profundidad del pozo, en comparación con ningún núcleo en el pozo convencional. Para usar un sistema convencional de

perforación a base de extracción continua esto costaría tres a cuatro veces más que un agujero angosto de extracción continúa.

Esto fue confirmado mediante la comparación de costos de extracción convencionales en áreas donde fue la extracción continua de agujero angosto.

Si se satisfacen las denuncias técnicas sobre perforación de agujero angosto y extracción continua, y el paradigma de estrategia perforación continua proporciona una manera mejor y más rentable forma para explorar, entonces ¿por qué no considerar los sistemas de agujero angosto como una alternativa a prácticas de exploración y perforación anterior?

Es opinión de los autores que es la mayor barrera para el uso del agujero angosto y extracción de núcleo continua que es nuevo y diferente - que provoca el cambio y el cambio requiere tiempo y comunicación precisa de la tecnología. Las ventajas de tener una sección completa del núcleo están en su infancia de entendimiento. Los exploracionistas rara vez han tenido la conveniencia de contemplar toda la geología como existe de verdad. Con las capacidades analíticas cercanas en el tiempo actual para evaluar el núcleo en el sitio del pozo, los geólogos, geofísicos e ingenieros tienen datos que era casi imposibles conseguir previamente. ¿Cómo poner la información a una utilización óptima va a tomar tiempo e imaginación para desarrollar. Es una cosa tener 10,000 pies [3048 m] del núcleo; es otra analizarlo de manera oportuna, y es aún más difícil de tomar y utilizar los datos para hacer una diferencia en un programa de exploración. Campeones de nuevos paradigmas para la exploración crearán el mercado para perforación del núcleo continua. Hasta entonces, sólo la economía determinará si utilizar técnicas de agujero angosto versus prácticas convencionales de perforación.

RESUMEN - ¿CUÁL ES EL ESTADO ACTUAL DE LA MINERÍA TIPO SISTEMA DE EXTRACCION DE NUCLEO CONTINUA?

El mayor disuasivo operacional para el uso de perforación de tipo de agujero angosto de minería, donde se produce un pequeño anillo, es la cuestión crítica de detectar un arranque rápido y preciso y tomar las medidas correctas para manejar la afluencia. La noción de que las prácticas de control de pozo convencionales serán suficientes son totalmente inexactos. Bode et al¹² presenta lo que es necesario para un agujero angosto, control de pozo de anillo pequeño. Para hacer menos invita a un potencial problema de control de pozos. El gran avance en la adaptación de la tecnología para el campo petrolífero de perforación del agujero angosto de minería es la comprensión y las prácticas de cómo tratar arranques en un sistema de agujero angosto de anillo pequeño.

Esta tecnología está probada y existe.

La información en este documento debe convencer al lector de que un sistema de agujero angosto puede perforar económicamente varias geologías en un ambiente

sedimentario si se utiliza un enfoque de sistemas adecuados. Brocas pequeñas de arrastre tanto para extracción de núcleo o perforación de diámetro completo son necesarias. Para optimizar su uso, se utilizan altas velocidades de rotación (200 a 700 rpm). Y para rotar la tubería de perforación a estas velocidades, es necesaria una tubería de perforación de tipo minería (ras conjunta), donde el espacio anular es pequeño. Un peso preciso de broca, generalmente menos que 10,000 lbs [4536 kg] con una sensibilidad ± 500 libras [227 kg], es también necesario para hacer estas brocas de arrastre pequeño óptimas. Esto requiere un control hidráulico del avance de la broca y se adapta mejor a los diseños de la torre de perforación hidráulica usada por la industria de perforación minera. Un pozo cercano en-calibre es necesario para apoyar y estabilizar la rotación del tubo de alta velocidad. La rotación de alta velocidad puede causar una acumulación de sólidos en la varilla de perforación, y para evitar esto, el fluido de perforación debe ser tan libre de sólidos como sea posible. Toda esta tecnología existe hoy en día.

La perforación de más de 40,000 pies [12192 m] de la extracción de núcleo continua en todos los tipos de ambientes sedimentarios demuestra que el enfoque del agujero angosto con extracción de núcleo continua constantemente debe recuperar más del 98% de la roca extraída. Con este tipo de recuperación y el análisis del núcleo analítico del núcleo descrito en el presente documento, se minimiza la necesidad de registros electrónicos del extremo inferior del pozo. Es posible establecer empacadores agujero angosto, perforar y examinar. Además, la mayoría del revestimiento puede hacerse con una simple hormigonera por cargas y bombeada utilizando las bombas de la torre de perforación, eliminando así otro costo de terceros. Si las máquinas de perforación minera de tipo hidráulico se utilizan para los pozos del agujero angosto, la portabilidad está casi garantizada. La mayoría de máquinas perforadoras mineras de 10,000 pies [3048 m] de grado de profundidad pesa menos de 100,000 libras [45 359 kg] en comparación con 400,000 a 800,000 libras [181437 a 362 874 kg] para una torre de perforación convencional para perforar con la misma profundidad.

La tecnología existe para procesar sobre los 500 pies [152.4 m] del núcleo al día, midiendo las propiedades geológicas y geofísicas necesarias para evaluar cualquier medición de exploración. Más de 15,000 pies [4572 m] de núcleo han sido analizados utilizando una capacidad de análisis de tiempo real automatizado in situ.

Es opinión de los autores que los obstáculos técnicos que mantuvo el tipo de perforación de agujeros angostos de minería, especialmente la perforación de núcleo continua, de penetrar en el yacimiento de petróleo han sido superados.

Las grandes interrogantes son "si yo quería perforar un agujero angosto de tipo minería y obtener núcleo continuo o embarcarse en un programa de exploración continua del núcleo, ¿cómo lo haría?"

Si los pozos están a menos de 6000 pies [1829 m] y la presión de poro no es un problema (gradiente de menos de lo normal), hay un gran número de contratistas de perforación minera con máquinas calificadas a 6000 pies [1829 m]. Mediante la adaptación de algunas de las tecnologías presentadas en este documento y según Bode, 12 dentro de 3 a 6 meses la mayoría de los operadores debe ser capaces de perforar de forma segura sus propios agujeros angostos a 6000 pies [1829 m].

Si el deseo es perforar más profundo que 8000 pies [2438 m], hay un problema. Menos que un puñado de mineras torres de perforación minera (excluyendo las de Sudáfrica) existen en la actualidad que tienen esta capacidad. Y sólo unos pocos contratistas tienen la máquina de perforación y sistema de control de sólidos para perforar pozos en un ambiente sedimentario. Es de comprensión del autor de que estos contratistas tienen poco conocimiento sobre las prácticas del control de pozos para hacerle frente a entornos normales o con mucha presión. Una vez que se tomó la decisión de embarcarse en un programa de extracción de núcleo continuo en profundidades superiores a 8000 pies, es opinión de los autores que tomaría 1 1/2 años antes de que un operador podría estar listo para perforar con seguridad en un entorno de hidrocarburos.

Esto asume que ninguna de las tres o cuatro torres de perforación de minera profunda estaba disponible. Si se dispone de una torre de perforación, aún tardaría de seis a nueve meses una operación segura en el campo.

La única forma de iniciar su propio programa de agujero angosto es de llegar a un acuerdo con un contratista de perforación minera existente para construir una torre de perforación (tres fabricantes de torres de perforación ofrecen diseños) y apoyar el sistema, por ejemplo, control de fangos y sólidos, control de pozos, etc., o ir con un contratista de campo petrolífero para adaptar una de sus máquinas convencionales a un sistema de extracción de núcleo continuo para agujero angosto. Esta última alternativa, en la mayoría de los casos, sacrificará la portabilidad del sistema de tipo de minería.

El deseo de tener capacidades de análisis de núcleo de tiempo real similares a lo que se describe en este documento probablemente tomará uno o dos años para desarrollarse. En la actualidad, ninguna compañía de servicio ofrece este paquete para análisis in situ, análisis de extracción de núcleo de tiempo real.

El sistema de agujero angosto presentado en este documento es una evolución de los sistemas de minería y de perforación de yacimientos petrolíferos y herramientas de evaluación en uno que podría causar un cambio de paradigma en la forma en que las empresas realicen alguna explotación y exploración. Requerirá de que los campeones vean las nuevas posibilidades que brinda y no estar maniatado por la comodidad de hacerlo como se ha hecho durante los últimos 50 años. Los administradores, ingenieros y exploracionistas deben estar conscientes de esta tecnología y las posibilidades que ofrece la tecnología. Se espera que este documento y Bode et al. 12 logren ese objetivo.

REFERENCIAS

1. Flatt, w. J., "Slim Hole Drilling Decreases Carter's Development Costs" U.P.T. , julio, 1954, pg. 19-21.
2. Dah., T., "Swedish Group's Small Hole Swallow DDrilling Technique Cuts Costs" O &GJ, abril 19, 1982, pg. 98-100.
3. Floyd, Kevin, "Slim Holes Haul in Savings" Drilling Magazine , julio/agosto de 1987, pg. 24-26.
4. Ningún autor dado, "The Micro Comes toThe Fore" PI, 25 de marzo, 198, pg. 9-10.
5. Ningún autor citado, "Slim Hole Rig Floats Over Indonesian Swamps" Oil & Gas Journal, vol. 63, no. 6, Febrero8, 1965, p.96.
6. Macfadyen, K. H, Johnston, Boyington, W. H., "Slim holeExploration Drilling Program: Irian Jaya, Indonesia,"ADC/SPE Paper14733, presentado en 1986 IADC/SPE Drilling Conference en Dallas, Texas.
7. Drill Bits , publicación oficial de la International Federation, 3008 Millwood Avenue, Columbia, SC 29205.
8. Henderson, H. Earl, J. F., "New Drilling Technique Recovers 100 Percent Continuous Core" World Oil , enero de 1960, pgs. 111-118.
9. Sin autor, "Small Diameter Exploratory Holes May Get More Attention" O & GJ, febrero 22, 1971, págs. 86-87.
10. Ashton, Simon M., "Slim Hole Drilling in the Canning Basin: Philosophy and Application," Geological Society of Australia, 1984.
11. Ningún autor dado, "Continuous Coring in the Delaware Basin-Permian Study Tested Corings Method" AAPG Explorer, de julio de 1986, p. 13.
12. Bode, D. J., Noffke, B. R. y Nickens, V. H., "Well Control Methods and Practices in Small Diameter Wellbores" SPE 19526 presentado en 1989 Annual SPE Technical Conference and Exhibition, San Antonio, Texas, octubre 8-11, de 1989.
13. Strong, R. E., "An Economic View of the Drilling Industry," SPE 18646 presentado en 1989 SPE/IADC Drilling Conference, Nueva Orleans, Louisiana, febrero del 28 de marzo 3, de 1989.

APÉNDICE 1

TERMINOLOGÍA DE MINERÍA

Nomenclatura del taladro de perforación	Varilla OD	Varilla ID
AQ	1-3/4 pulgadas. (44,5 mm)	1-3/8pulgadas.
BQ	2-3/16 pulgadas. (55.6mm)	1-13/16 pulgadas.
NQ	2-3/4 pulgadas (69.9mm)	2-3/8pulgadas
HQ	3-1/2pulgadas (88.9 mm)	3-1/16 pulgadas
PQ	4-1/2pulgadas (114.3 mm)	4-1/16 pulgadas
CHD76	2.754 pulgadas (70.0mm)	2-3/8pulgadas
CHD101	3.701 pulgadas (94.0mm)	3-17/64 pulgadas
CHD134	5pulgadas (127 mm)	4-1/2pulgadas

Chuck - dispositivo mecánico que agarra la varilla de perforación y se encuentra dentro del cabezal de accionamiento que imparte la rotación.

Varilla de perforación - terminología dada a la tubería de perforación. Es externamente lisa con una conexión interna al revés.

Anillo de fango - acumulación de sólidos en el interior del diámetro de la varilla de perforación causada por centrifugación asociada a rotación de alta velocidad.

Cable de cuchareo - Sonda utilizada en la recuperación del barril del núcleo interno.

Apéndice 2

Formulación y propiedades del fluido de perforación CBF

	Viscosificado CBF	Ponderado CBF
Polímero catiónico, lbm/bbl	1.5	1.5
Almidón pregelantinizado, lbm/bbl	2	2
Hidroxietil celulosa, lbm/bbl	1	1
KC1, lbm/bbl	38.1	22.1
CaCl ₂ , lbm/bbl	0	107
PV, cp	10	11
YV, lbf/100pies cuadrados	5	6
Gel (10 seg/10min), lbf/100 pies cuadrados	1/1	1/1
API FL, ml	12	10
Densidad, lbm/gal	8.9	10.5

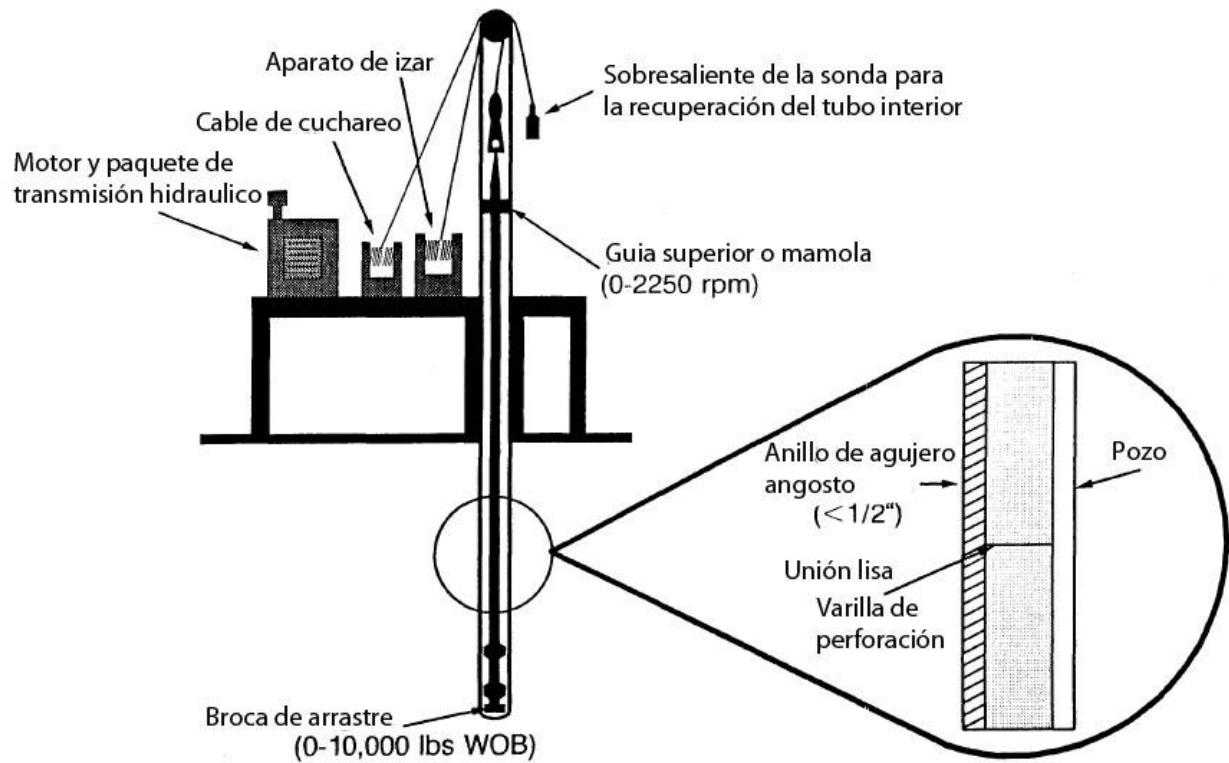


FIG. 1: SISTEMA DE PERFORACIÓN DE MINERÍA TIPICO NUCLEO CONTINUA

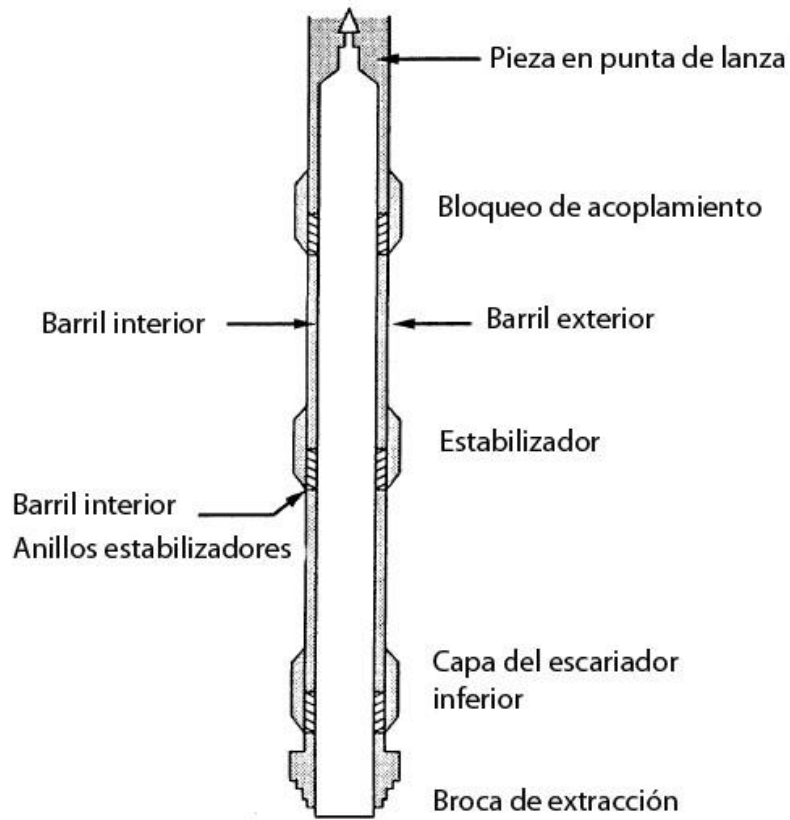
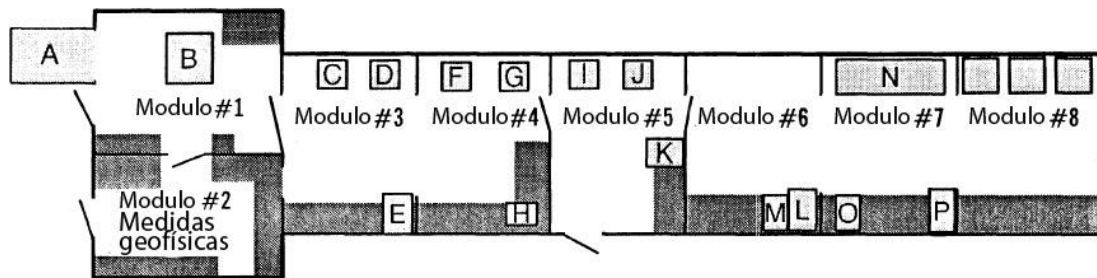


FIG. 2: ENSAMBLADO DE Sonda DE EXTRACCIÓN



- | | |
|---|---|
| A. Lavado y secado. | H. Computador para lo anterior. |
| B. Rayado, etiquetado, cortado. | I-J. Cámaras de video de vista y micro. |
| C. Escaneo gama. | K. Monitores de video. |
| D. Susceptibilidad magnética. | L. Computador de descripción de núcleo. |
| E. Almacenaje de datos y computadora de vigilancia. | M. Video microscopio. |
| F. Minerología cualitativa. | N. Mesa móvil. |
| G. Escan de fluorescencia ultra-violeta. | O. Computadora de repuesto. |
| | P. Cromatógrafo de gas. |

FIG. 3: MÓDULOS AUTOMATIZADOS DE EVALIACIÓN DEL NÚCLEO

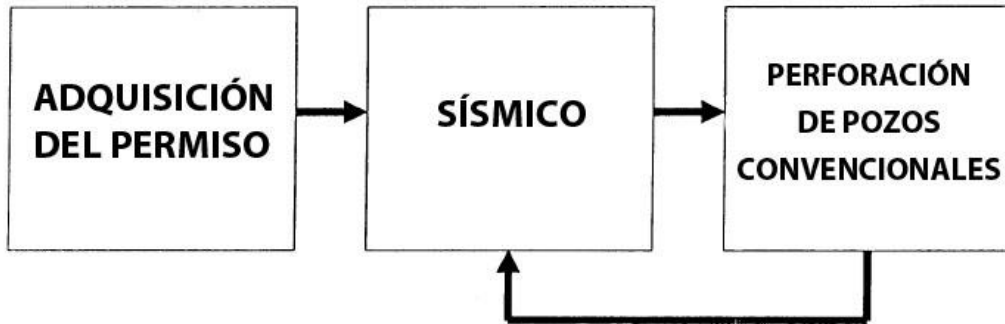


FIG.4: MODELO DE EXPLORACIÓN PRACTICADO ACTUALMENTE EN LA MAYORIA DE EMPRESAS DE PETRÓLEO Y GAS (SEGUN ASHTON)



FIG. 5: MODELO DE EXPLORACIÓN UTILIZANDO EL CONCEPTO DE PERFORACIÓN CONTINUA (SEGUN ASHTON).

	Agujero angosto (\$/ pies)	Convencional (\$/ pies)
Alaska	655	1224
Pakistán	132	193
Kenia	211	338
Costo real.		

Fig. 6: COMPARACIÓN DE LA ESTIMACION DE GASTOS ENTRE EXTRACCION DE NUCLEO CONTINUO DE AGUJERO ANGOSTO Y PERFORACIÓN CONVENCIONAL

TABLA 1: HERRAMIENTAS DE REGISTRO EJECUTADAS CORRECTAMENTE EN POZO DE AGUJERO ANGOSTO EN CATOOSA

	EMPRESA A	EMPRESA B	EMPRESA C
RAYOS GAMMA	*	*	*
SONICO	*		*
INDUCCIÓN DUAL	*	*	*
CORTO NORMAL			*
FOCOS ESFÉRICOS	*		
LOG LATERAL			*
GUARDIA CORTO		*	
SP		*	*
DENSIDAD DE FORMACIÓN	*	*	*
NEUTRÓN COMPENSADO	*	*	
PINZA	*	*	*

(BHTV FUE DIRIGIDA POR AMOCO GEOPHYSICAL LOGGING SERVICES)

	Tipo de broca				
	Diamante	PDC	GeoSet	Impregnado	General
Brocas	40	7	19	7	73
Distancia en pies	17499	2830	7015	228	27573
Horas	1009	107	347	25	1488
Promedio ROP	17.3	26.4	20.2	9.1	18.5

TABLA 2: RESUMEN DEL RENDIMIENTO DE LA BROCA DURANTE EL PROGRAMA DE PRUEBAS DE CAMPO