

NUEVO ENFOQUE TECNOLÓGICO EN PERFORACIÓN DIRECCIONAL ADAPTADO A LA REALIDAD DEL MERCADO ARGENTINO

David E Rios-Aleman, Francisco Tarazona

Abstracto

La situación de la industria petrolera Argentina representa muchos retos que hacen particular su competitividad en el mercado mundial. Aunque otras regiones con desarrollos de campos maduros han identificado alternativas viables para mantener su interés y rentabilidad, estas no son fácilmente aplicables a la realidad Argentina. La necesidad de mantener óptimos niveles de producción y un estricto control en los costos de perforación, han generado una óptica particular que invita a las compañías de servicios a presentar alternativas técnico-económicas viables. La perforación direccional no ha estado ajena a este marco particular que caracteriza a Argentina, la constante necesidad de alcanzar diferentes objetivos geológicos con niveles específicos de precisión, la complejidad en algunos casos de obtener licencias ambientales, el aumento de proyectos “infill” que exigen controles de verticalidad, y muchos factores mas requieren el contar con esta tecnología sin romper el lineamiento con la circunstancia real y particular del mercado Argentino.

En la industria de la perforación, el valor de la tecnología esta muchas veces relacionado con el desempeño durante la perforación menos el costo de la tecnología. Sin embargo la correcta aplicación técnico-económica de esta tecnología puede traer un valor agregado que se extiende más allá de la etapa de perforación. La manera en que se perfora y los propios conceptos de desviación direccional no han cambiado mucho aunque la tecnología de perforación direccional si ha evolucionado dramáticamente en los últimos años. Es decir, aunque se han introducido elementos de robótica en la perforación direccional, los objetivos direccionales aun son básicamente logrados mediante la deflexión de una sarta. Desde el uso de estabilizadores en sarts rotarias que perforaron los primeros pozos desviados; el advenio del motor de fondo que permitió un control tridimensional mediante el deslice e introdujo mejor desempeño en el trepano; hasta mas recientemente los estabilizadores ajustables que permitieron el control de inclinación en modo rotario y las herramientas rotatorias que finalmente completamente eliminaron el deslizamiento; todas estas herramientas consiguen el mismo objetivo direccional aunque con diferentes desempeños de acuerdo a la aplicación. Es solo al considerar el trepano como parte integra de la herramienta de control direccional, que se puede conseguir un verdadero cambio en la mecánica de construcción del pozo y no solo se afecta la dirección del pozo sino también su geometría, que consigo trae beneficios asociados difícilmente cuantificables por algunos grupos específicos y separado pero si por la sinergia final de la perforación.

Es este enfoque el que se quiere presentar en el presente artículo, presentando un breve resumen del desarrollo tecnológico y una estrategia mas adecuada al presentar tecnologías en un mercado como el argentino.

Introducción

En un inicio, la industria de la perforación direccional solo se preocupaba de poder controlar la trayectoria de un pozo. Desgraciadamente los métodos de perforación direccional no eran muy eficientes y surgió la necesidad de introducir más eficiencia en el proceso de perforación. En la década de los 80 y los 90, surgió el uso de motor dirigible que revoluciono la industria al permitir un control direccional bastante efectivo y alta eficiencia en pozos verticales. Aunque el uso del motor de fondo permitió la perforación de pozos muy

complejos, también introdujo ineficiencias durante el deslizamiento o la construcción de la curva del pozo. Un análisis más detallado, indica que entre el 80 y el 90% del deslizamiento se hacía para controlar solo la inclinación del pozo. Fue entonces que salen al mercado los estabilizadores ajustables que permiten controlar la inclinación en modo rotario. Algunos estabilizadores ajustables inclusive se podían graduar durante la perforación, para de esta manera alterar la capacidad de dogleg sin tener que hacer un viaje a superficie. Aunque este tipo de estabilizadores fueron bastante efectivos, como todos los estabilizadores estos dependían de la fuerza de la gravedad para su efectividad. Esto significaba que su uso era más apropiado en ángulos altos, y la curva aun necesitaba ser perforada deslizando. Antes del año 2000 se introduce el primer sistema rotatorio. Este tipo de sistema elimina completamente la necesidad de deslizar al controlar la inclinación y la dirección en modo rotario. En los últimos años se han visto muchos sistemas nuevos entrar al mercado que mejoran la perforación, el desempeño, e inclusive la calidad del hoyo perforado. Es indudable que estos sistemas han satisfecho un gran vacío en la industria. Sin embargo hay muchos factores que no los hacen solución única para todos los campos.

DESARROLLO

La Realidad de los Sistemas Rotatorios

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

Una de las ventajas del motor de fondo, es el “performance drilling”, o perforación de desempeño alto. A comparación con la perforación clásica (con estabilizadores), el motor de fondo brinda mucho mayor desempeño ya que especialmente los trépanos PDC toman ventaja del RPM adicional brindado por el motor. En algunos campos, donde los metros deslizados son pocos en relación con los rotados, se ha observado un menor desempeño con herramientas rotatorias justo por esta razón. Claro que en campos donde hay mucha diferencia entre la tasa de penetración deslizando y la tasa de penetración rotando, entonces aun si los metros deslizados son pocos, se puede apreciar una mejora con una herramienta rotatoria.

El tipo de taladro es también muy importante para la aplicación de sistemas rotarios. Con la ausencia de un motor de fondo, el taladro se convierte en el limitador de torque. Ya que la mayoría de top drives en el mercado mundial brindan un alto torque, con el uso de sistemas rotatorios se puede utilizar trépanos más agresivos que con un motor (el motor es el limitante de torque). Esta es una de las formas que se puede obtener una tasa de perforación más alta con sistemas rotatorios. Desgraciadamente, con taladros pequeños (de 1000 – 2000 hp), como el 90% que se encuentran en Argentina, muchas veces ocurren problemas ya que

es difícil rotar y contrarrestar el torque extra generado por el trepano. A su mismo, al no poder brindar un RPM constante, se generan altas vibraciones que pueden tener consecuencias catastróficas para la sarta o los componentes del BHA¹. Hay sistemas rotatorios que utilizan una sección de poder similar a las utilizadas con un motor de fondo, sin embargo al hacer esto se introduce nuevamente el limitante de torque y por ende se tiene que utilizar trépanos menos agresivos.

Estabilizando el Trepano

A mediados de los 90, un operador del Mar del Norte tenía muchos problemas de construcción de pozo. Entre los problemas el más común era la vibración alta, y múltiple fallas de herramientas y de la sarta. También habían problemas de limpieza de pozo, demasiado tiempo perdido rimando, e inclusive problemas corriendo los revestimientos. Obviamente la tasa de penetración era bastante afectada, no solo la instantánea, sino también el tiempo de construcción total del pozo.

El operador convoca entonces a un grupo de “desempeño operacional”, compuesto por tres compañías diferentes. La conclusión de este grupo, es que muchos de los problemas eran causados básicamente por la calidad del hueco que se estaba perforando. Cuando hablamos de calidad de hueco nos estamos refiriendo principalmente al problema del espiralamiento. Evidencia que este espiralamiento existe, se puede notar al no poder correr revestimientos después de ser perforado el pozo, o se puede observar en registros de imagen (ver Fig 1). Uno de los estudios más famosos acerca del espiralamiento fue hecho por MacDonald y Lubinski, publicado en 1951². Ambos reportaron que el espiralamiento podría desarrollar problemas de dificultad con “key seating” y desgaste excesivo de la tubería de perforación. Lubinski también enfatizó los problemas de torque y arrastre asociados con un hueco espiral. Lubinski entonces formulo lo que después de un tiempo se llego a conocer como la formula “Crooked Hole Country”³ o “Campo de Hueco Chueco”, que esta basada en que el hecho que el tamaño del portamechas limita el movimiento lateral del trepano medido desde el centro del hueco. La formula se desarrollo de la observación que un tubular del mismo diámetro que el trepano no puede ser insertado en un pozo después de haber sido perforado. En otras palabras, el pase máximo en un hueco “chueco” o en hueco espiralado, es igual a la siguiente formula:

Pase = (Diámetro de trepano + diámetro de drill collar)/2-----(1) (ver Fig 2 y 3)

Utilizando la ecuación 1, se puede apreciar que si un hueco es perforado con un trepano de 12-1/4” y drill collars de 8”, el tubular mas grande que se podría introducir en este hueco seria de 10-1/8” pulgadas.

De la ecuación 1 se puede deducir que uno de los métodos para reducir el espiralamiento es utilizando portamechas de igual diámetro que el trepano. Por cierto, esto seria bastante impractico. La solución mas practica es utilizando un ensamblaje empaquetado, pero estos también son imprácticos en huecos direccionales. La única alternativa era entonces estabilizar el trepano en si, de esta forma el trepano limita a si mismo su desviación lateral y de esta forma construye un hueco en calibre y sin espiralamiento. Este tipo de trépanos son conocidos como trépanos de calibre largo⁴.

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

Teoría de Motor

La razón por la cual se prefería los calibres cortos para la perforación direccional, es por que durante el desvío del pozo, el motor se convierte esencialmente en un resorte dentro del hueco. Es decir, mientras se incrementa el dobles del motor, y por ende la fuerza lateral sobre el dobles, se incrementa la fuerza lateral sobre el trepino, dependiendo por supuesto de la rigidez del motor. La diferencia entre la posición del trepino si no existiera la interferencia del hueco, y la posición del trepino por la interferencia del hueco, es llamado el “offset” del trepino (ver Figura 4). Este “offset” es directamente proporcional al desvío del pozo o “dogleg” que un motor puede producir en una formación determinada. Como la fuerza que la formación ejerce sobre el trepino es entonces lateral, se prefiere un calibre corto para minimizar el torque y cortadores agresivos en el trepino para poder facilitar el desvío.

Este mecanismo de desviación direccional genera problemas para la aplicación de trépanos de calibre largo ya que se terminaría empujando el calibre del trepino contra el hueco, no pudiendo así perforar, sino generando torque. Se decide entonces que el mecanismo de desviación no puede ser igual al tradicional, es decir, para que un sistema así funcione, el dobles del motor no debería tocar las paredes del hueco. De esta forma, el punto de apoyo se cambia del dobles del motor al calibre del trepino. Después de mucho modelaje computacional, se determinan los parámetros geométricos que permiten la aplicación de los trépanos de calibre extendido en aplicaciones direccionales, utilizando el trepino y el motor de fondo como un solo sistema. Entre muchos de los parámetros especificados, se reduce la distancia del trepino al dobles del motor, se reduce el ángulo del dobles del motor, y se dicta la longitud de la extensión del calibre del trepino de acuerdo al tamaño del hueco. El resultado es un sistema de estabilidad superior (ver Fig 5), que aunque simple, ofrece muchas mejoras sobre sistemas convencionales.

Ventajas del Sistema de Perforación con Trepino de Calibre Extendido

Un sistema de perforación con trepino de calibre extendido parece ser muy similar a un ensamblaje clásico motor-trepino. Sin embargo, lo llamamos un sistema ya que ambas piezas son diseñadas juntas, y los beneficios que trae no se comparan con un sistema clásico. Entre los muchos beneficios que trae un sistema de estos esta una perforación más rápida. Al reducir la vibración, y minimizar el daño a los cortadores, estos pueden hacer un mejor trabajo. Por otro lado, toda la energía de perforación que se gasta en perforar un pozo espiral, se utiliza en hacer metraje. Al reducir las vibraciones (Figura 6) también se reducen las fallas del BHA o la sarta, reduciendo así la incidencia de viajes no planeados. Los viajes también son reducidos ya que la limpieza de un hueco lizo es mejor que uno espiral. Eso se evidencia en la reducción de horas circuladas con estos sistemas. La reducción en el torque y arrastre con estos sistemas es enorme, facilitando así la perforación de alcance extendido e incrementando la vida de la sarta⁵. Las ventajas de este sistema van más allá de la perforación. También se pueden apreciar beneficios en la calidad superior de registros, especialmente registros de densidad y todos los registros de imagen. El valor de este sistema después de la perforación se puede también observar al poder correr revestimientos con facilidad, y el hueco que brinda es el ideal para tubulares expandibles.

Aplicación en Latino America

Este sistema ha sido utilizado en varios países de Latino América. Su aplicación, es común en proyectos de mar profundo, como en Brasil, donde el sistema ahorro más de 12 días al reemplazar cinco trépanos con uno solo. De esta forma, la tasa de penetración incremento de una tradicional de 2-4 m/hr, a 8-15 m/hr con 10

m/hr de promedio. Esta tasa nunca antes había sido vista, especialmente en este tipo de formaciones con intercalaciones de compresibilidades hasta cerca de 40,000 psi. Una turbina con trepano impregnado no pudo alcanzar este desempeño. A pesar de tener éxito en campos de mar profundo este sistema se acomoda especialmente a la situación económica de diversas economías con perforación en tierra y de bajo presupuesto. En Colombia al reducir el 66% de los días planeados, los ahorros para el operador fueron significativos (ver Fig. 7). En Venezuela el sistema ha ahorrado hasta más de 30 días en un solo pozo, y en México su desempeño rutinariamente iguala o mejora el desempeño de un sistema rotatorio “push-the-bit”. La historia se repite alrededor del mundo desde el Mar del Norte hasta los campos en África. En todos los casos el éxito se obtiene al alinear los intereses de la compañía operadora con el planeamiento y desarrollo de la aplicación específica. Es decir, es vital que la compañía operadora y la de servicios trabajen en conjunto y planeen cada aplicación y de esta forma optimicen el desempeño y objetivos del sistema de perforación.

Aplicación en Argentina.

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

Desde los campos en el norte del país donde se cuentan con diferentes variables de profundidad y dureza, pasando por las cuencas Mendocina, Neuquina, Astral, Comodoro y Tierra del Fuego entre otras, en donde coexisten diversas variables que han y están generando cambios en los hábitos de consumo relacionados con el servicio de perforación direccional orientados no solamente a acceder a objetivos geológicos desplazados sino asociados también al mejoramiento del desempeño en perforación, invitan a revisar el tipo de tecnologías relacionadas con la presentadas en el este documento.

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

El aumento de uso de motores de fondo para buscar extensión de la vida de los trépanos mediante la disminución de vibraciones en zonas de Mendoza, en donde el manejo de suma global en la comercialización de los mismos debe buscar que los trépanos alcancen las ROP objetivo sin producir un desgaste en los mismos que origine el sobre costo de pagarlos por daño. Igualmente al evitar la necesidad de buscar aplicaciones de trépanos con mayor numero de aletas alterando la agresividad de los mismos con afectación directa al ROP y a la limpieza de pozo.

En la cuenca Neuquina se presenta con mayor frecuencia el uso de motores de fondo buscando mejoras en la ROP y disminuir el número de vueltas de giro de la tubería de perforación y BHA extendiendo los periodos de

mantenimiento ya que la frecuencia de fallas en sus elementos ha disminuido con el consecuente beneficio en tiempos operativos. De la misma manera se han desarrollado aplicaciones en búsqueda del control o disminución de vibraciones perjudiciales en la dinámica de perforación.

Las formaciones duras o asociadas a “Tight Gas” últimamente en aumento no han alcanzado un nivel óptimo de perforabilidad ya que aunque se haya alcanzado carreras únicas con uso de otras tecnologías en las secciones perforadas estas conservan aun ROP bajas y alto consumo de presión con el consecuente desgaste en los equipos y el costo asociado no ha alcanzado un balance favorable en la relación precio beneficio requiriéndose entonces un enfoque diferente.

La tecnología de trépanos en constante cambio y evolución predicen la dinámica que cualquier aplicación tecnológica nueva debe tener, por lo que la solución de hoy cambiara mañana, es el mismo lineamiento que se plantea la presente alternativa tecnológica.

La economía actual del sector de hidrocarburos ha demostrado su volatilidad y las condiciones circundantes, cuyo futuro mantiene el mismo nivel de susceptibilidad, pese a las proyecciones de especialistas, llaman a acciones inmediatas circunscritas en dicha realidad y a tomar ventaja de la misma para la introducción de nueva tecnología que pasan por la curva normal tipo S de implementaciones versus cantidad de usuarios desde los primeros valores afectados por el reto a resolver hasta el alcance de la curva de implementación, aprendizaje, comercialización o nivelación del balance económico – valor agregado, para alcanzar esta meta final en medio de un panorama económico diferente e inclusive menor.

Con tecnologías como las aquí presentadas que han demostrado periodos cortos de nivelación e implementación menores a un año y con aportes positivos a las economías de los proyectos desde su primer aplicación, asociado además del avanzado y extendido uso de motores anteriormente mencionado, al normal y dinámico uso de trépanos además de los beneficios que la calidad de agujero trae y que fueran presentados en la descripción de la tecnología y un enfoque comercial flexible invitan a establecer una mesa de trabajo para la introducción de la tecnología. Estas mesas de trabajo deben buscar el aprovechamiento de la experiencia y curva de aprendizaje que tienen las compañías propietarias y operadores de campos junto con la tecnología mediante el establecimiento de índices de gestión y resultados objetivos que permitan la adecuada y clara medición de la introducción tecnológica.

Conclusiones

1. Las compañías direccionales reconocen que el alcance de objetivos geológicos no es el único objetivo y que se debe perseguir la optimización de la perforación mediante la calidad de agujero con beneficios que se puedan medir asociados como ROP entre otros.
2. Aunque los sistemas rotatorios brindan muchas ventajas, su alto costo y requerimientos de taladro muchas veces los ponen fuera del alcance para campos de tierra de bajo presupuesto.
3. Los trépanos de calibre extendido traen muchos beneficios que van mucho mas allá que la perforación direccional
4. Se denomina sistema al conjunto motor de fondo y trepao de calibre extendido pues solo un enfoque conjunto permite su aplicación en el ámbito de la perforación direccional.
5. No todo trepao de calibre largo puede manejarse por un motor de fondo en respuesta direccional
6. La calidad de hueco es un concepto que debe establecerse claramente y su correspondiente impacto en la economía de los proyectos.

7. El establecimiento de mesas de trabajo conjuntas (Compañías Operadoras y Compañías de Servicios) son la clave para la introducción tecnológica y la medición de resultados.
8. El mercado actual ya usa ampliamente motores de fondo y amplia variedad de trépanos.
9. El uso de esta tecnología no limita el alcance de objetivos direccionales.
10. La economía actual está generando proyectos que antes no alcanzaban un caso de negocios favorable, por lo que es un buen momento para introducción tecnológica y realizar la curva de nivelación para implementarla y poder enfrentar futuras situaciones con mayor eficiencia.
11. Cada tecnología tiene su aplicabilidad técnica económica específica (Motor de fondo, motor de fondo con trépano de calibre extendido, sistema rotario, estabilizadores ajustables, etc.)

Bibliografía

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

Figuras

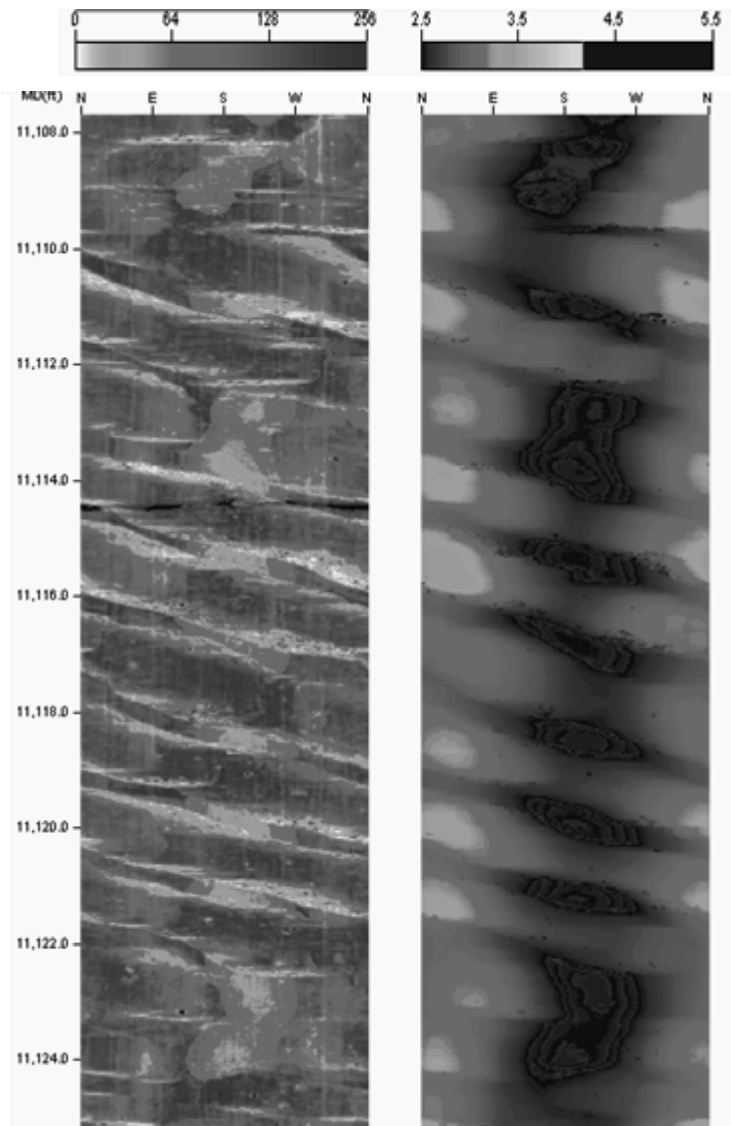


Fig. 1-Evidencia de espiralamiento en registro de imagen. La columna izquierda demuestra un cambio de amplitud en la señal sonora, mientras la columna izquierda demuestra un cambio en el radio del hueco en intervalos exactos

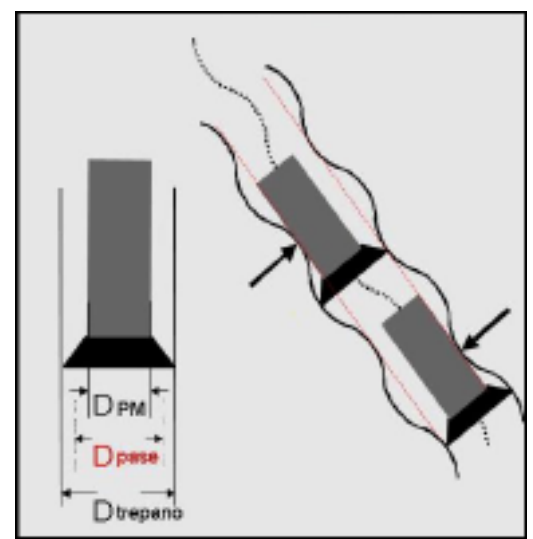


Fig. 2&3: Teoría “Crooked Hole” de Woods y Lubinski

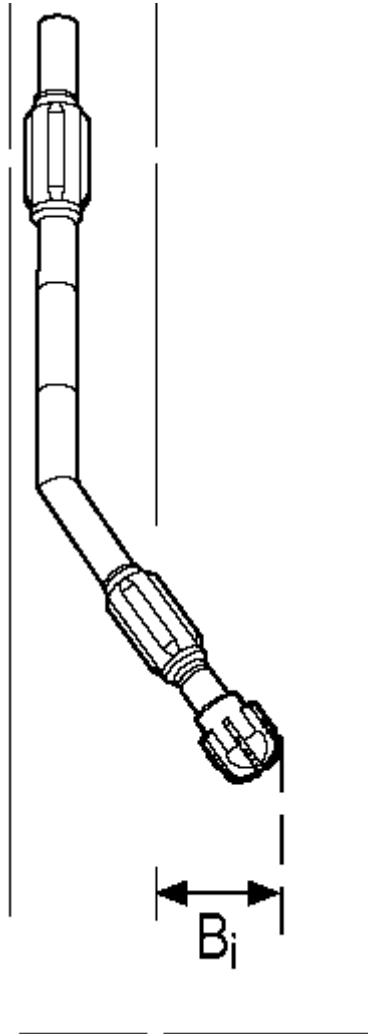


Fig. 4-Offset del trepado, también conocido como interferencia del trepado (B_i)

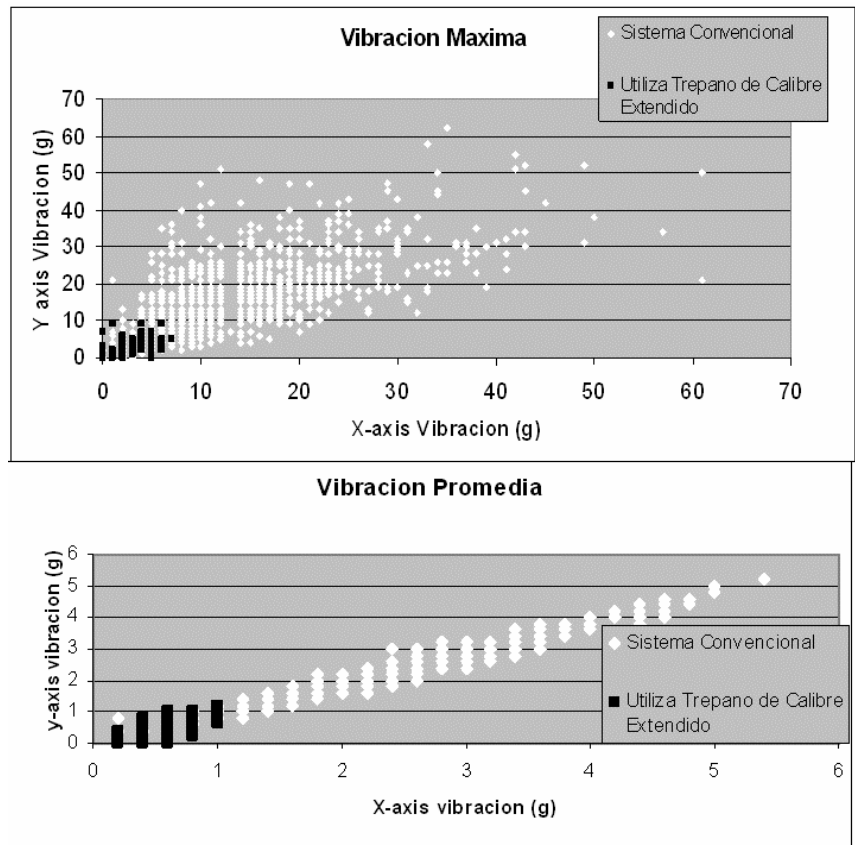


Fig. 6-Comparación de vibración promedio y máxima medida en el mismo campo con un sistema convencional y un sistema que utiliza un trepado de calibre extendido

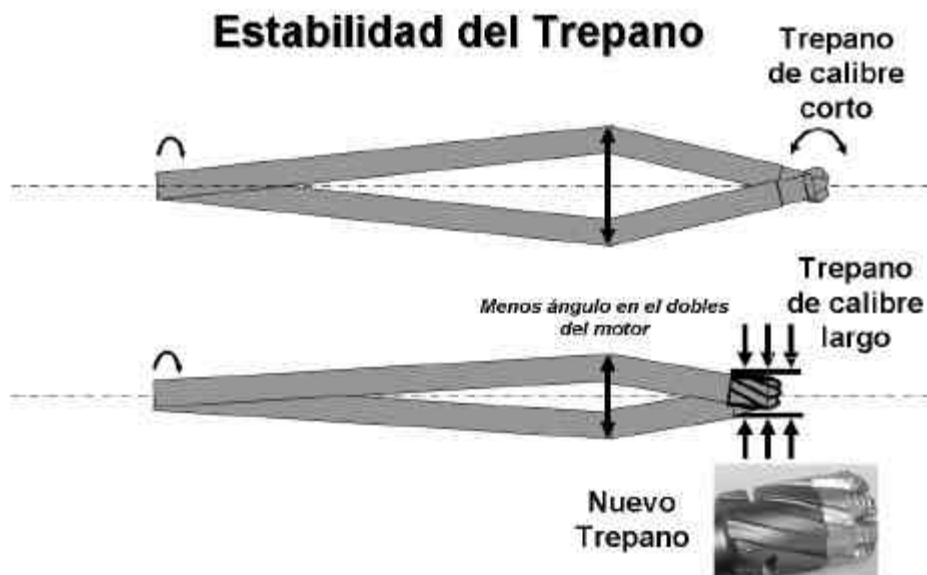


Fig. 5-Estabilidad superior de un trepado de calibre largo sobre uno de calibre corto

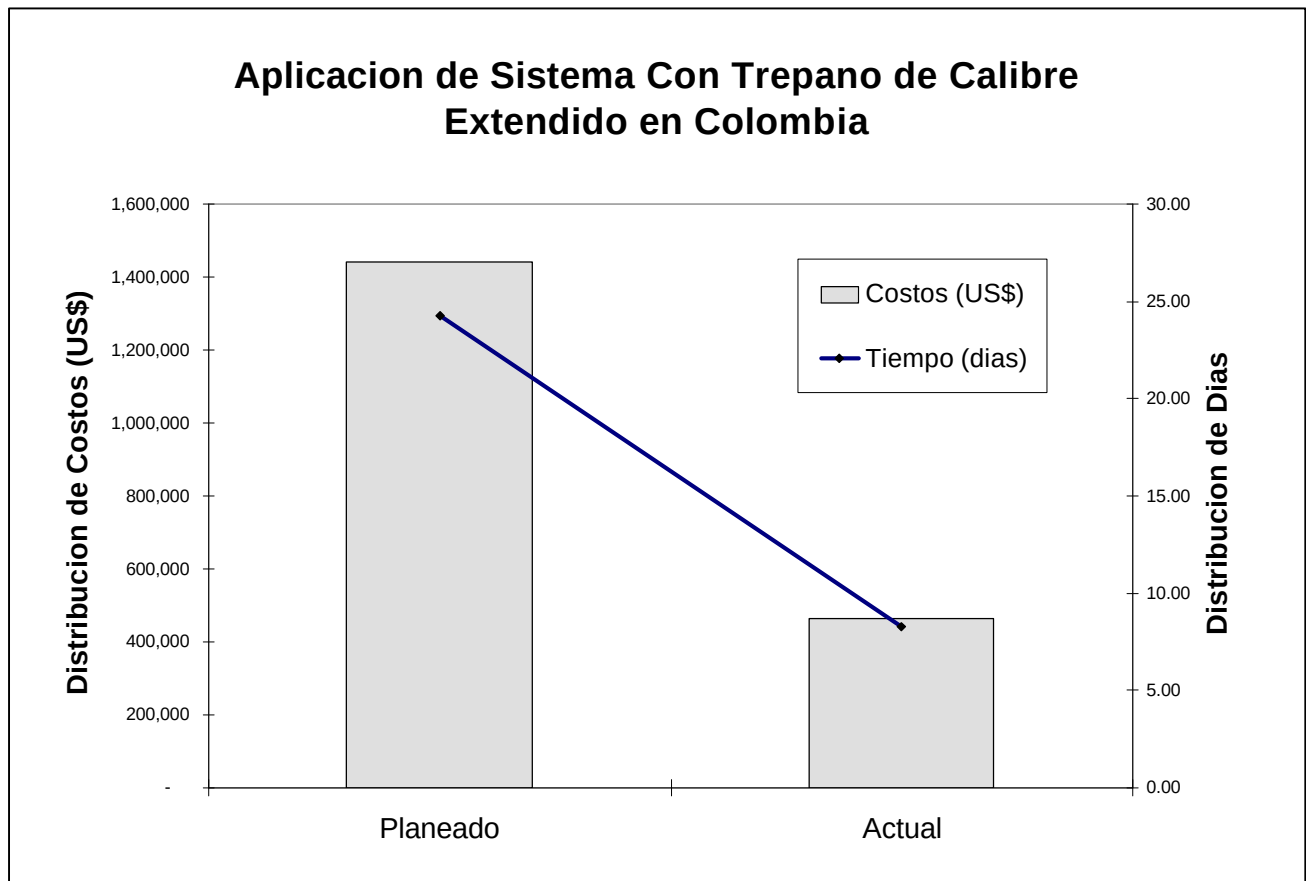


Fig. 7-Desempeño de un sistema con trepano de calibre extendido en Colombia