

NUEVAS TECNOLOGIAS EN TREPANOS

Speranza, Cesar
Baker Hughes - Hughes Christensen

ABSTRACT

En el estado actual de continuos desarrollos tecnológicos, se hace difícil en ciertas situaciones diferenciar a aquellas tecnologías que aportarán valor, de aquellas que no.

Esto se hace más pronunciado cuando estas tecnologías han sido desarrolladas en otros ambientes o aplicaciones distintas e incluso por operadores con necesidades diferentes {Formaciones distintas, tipos de pozos distintos, etc}.

Sin embargo estas tienen como principal motor una necesidad común, que es la de hacer más rentable la operación en la que cada operador se ve involucrado.

En base a esto, un grupo de tecnologías desarrolladas en conjunto recientemente con la participación de decenas de ingenieros en las áreas de desarrollo, investigación y aplicación; insumiendo miles de horas en tests de laboratorio, cientos de pruebas de campo dentro de un marco especial, tuvieron como objetivo el desarrollo de aplicaciones específicas ajustadas a las necesidades de cada operador en su área particular.

El presente trabajo describe el proceso por el cual se realiza la selección, aplicación y sintonía de las tecnologías desarrolladas en cortadores, hidráulica y estabilización de trépanos. Se describe por separado cada una de las tecnologías y su aplicación en conjunto.

La misma se acompaña de ejemplos de aplicación concretos donde los resultados refuerzan la funcionalidad y efectividad de este proceso.

INTRODUCCIÓN

En la mejora de los trépanos de arrastre, se han visto involucradas, principalmente, tecnologías Computacionales para la Dinámica de Fluidos [Computational Fluid Dynamics] CFD, el desarrollo de nuevos cortadores más resistentes

a la abrasión e impacto, y el mejoramiento de los sistemas de estabilización que proveen una mayor durabilidad y consistencia de los rendimientos de los trépanos de PDC [Polycrystalline Diamond Compacts].

A pesar de las mejoras alcanzadas en los distintos componentes y/o características de los trépanos PDC, se ha observado que éstas de por sí, no bastan para generar un cambio significativo y consistente de rendimientos en las aplicaciones actuales.

Por ello y en base al estudio realizado de áreas claves alrededor del mundo, se vio que el modo más eficiente y con mejores resultados obtenidos, fue en aquellos casos en los que, por la importancia que revestía el diseño, se vieron involucrados equipos multidisciplinarios de trabajo.

Se observó en estos casos que las Curvas de Aprendizaje [Figuras 1 y 2], correspondían a un aprendizaje rápido. Así mismo al analizar los casos donde los resultados no fueron alcanzados pudo verse que la curva que los representaba era similar a la de No Aprendizaje. Sin embargo, a pesar de realizar un Aprendizaje Rápido, éste llega a una meseta de donde las nuevas mejoras solo pueden ser alcanzadas a través de la introducción de una nueva tecnología y/o proceso. Esta sería la curva de aprendizaje deseable de obtener en un campo dado. Aprendizaje rápido seguido de nuevas mejoras en otro aprendizaje rápido y así sucesivamente.

A fin de evitar un retroceso en los rendimientos en caso de que parte de equipo se renueve, es vital documentar los pasos seguidos en el proceso, para evitar que este conocimiento adquirido de la experiencia en ese campo no se pierda.

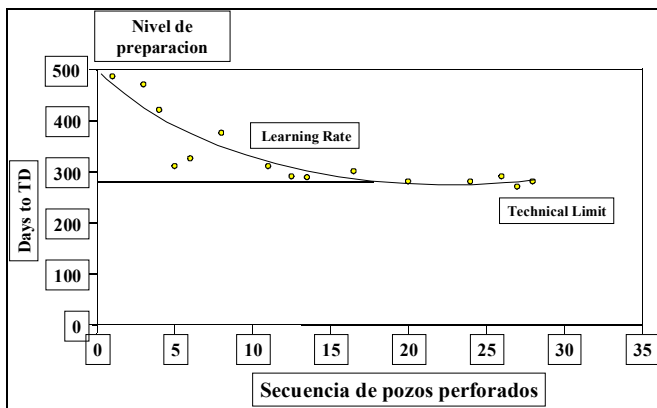


Figura 1. Curva de Aprendizaje Típica

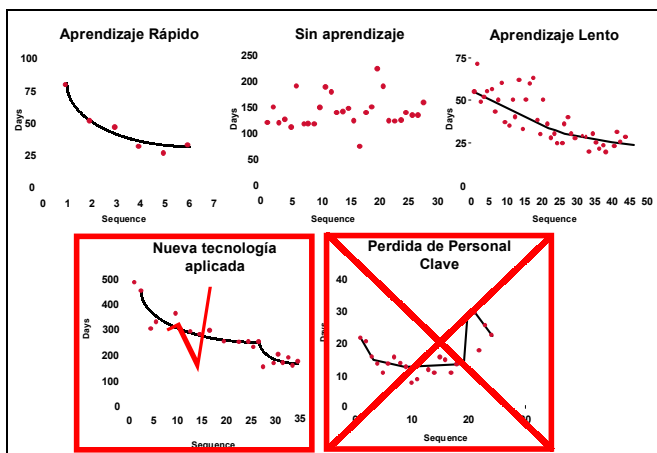


Figura 2. Casos Típicos

Es aquí, en el uso y selección de la tecnología y el proceso por parte de un Equipo de Revisión de Diseño de Aplicación DART [Design Application Review Team], donde se centra este trabajo, dado que estos son los que hacen la diferencia a la hora de obtener mejores rendimientos.

El desarrollo y planificación de este proceso insumió 2 años, 35 ingenieros dedicados, 1400 horas de testeo en equipos de superficie, 1600 horas de testeo en simulador de alta presión, 200 horas de testeo en el Molino de taladrado y más de 350 carreras de testeo a la hora de hacer este globalmente disponible. Todo estos

recursos fueron utilizados a fin de validar conceptos y refinar tecnologías.

EL EQUIPO DART/PROCESO

Este equipo está formado por cuatro integrantes claves, Representante de ventas, Ingenieros de Aplicación, Ingenieros de Diseño e Ingenieros de Investigación y Desarrollo.

Cada uno de ellos realiza el aporte de su especialidad, asegurando que todos los puntos de vista posibles estén cubiertos.

El representante de Ventas aporta cuales son los requerimientos del Cliente, sus expectativas de rendimiento y conocimiento de la Aplicación.

Los ingenieros de aplicación aportan la historia de perforación del área, parámetros operativos, litologías y conocimientos de la aplicación.

Los ingenieros de Diseño aportan una visión global de lo que está funcionando y lo que no, Conocimiento detallado de diseños similares, conocimiento de cómo diseñar los componentes relacionados.

Los ingenieros de Investigación y Desarrollo, aportan conocimientos de las últimas mejoras en las tecnologías disponibles, son expertos en tecnologías multidisciplinarias y proveen los testeos de laboratorio.

De este modo, se obtienen los siguientes beneficios al integrar este tipo de Equipo;

- ❑ Soluciones más rápidas,
- ❑ Provee expertos de un Equipo Multidisciplinario para un análisis profundo,
- ❑ Disponibilidad de un completo conjunto de tests y herramientas de análisis,
- ❑ Mejora la comunicación dentro del Proveedor y hacia el Cliente,
- ❑ Se reducen las costosas iteraciones a través de esta aproximación en Equipo,
- ❑ Se obtienen soluciones con significativas mejoras de calidad y,

- Se incrementa el conocimiento de la tecnología PDC y la experiencia en el área de aplicación.

TECNOLOGÍAS

HIDRÁULICA - CFD

La Dinámica de Fluidos Computada o CFD es un programa de computadora usado para simular el flujo de fluido de perforación alrededor del trépano. La CFD hace que sea fácil detectar deficiencias de flujo en los canales entre aletas [Junk slots] y zonas de recirculación sin tener que construir trépanos de testeo y sin realizar costosas pruebas.

Es también posible analizar rápidamente cambios en el posicionamiento de boquillas y el flujo de fluido en el trépano.

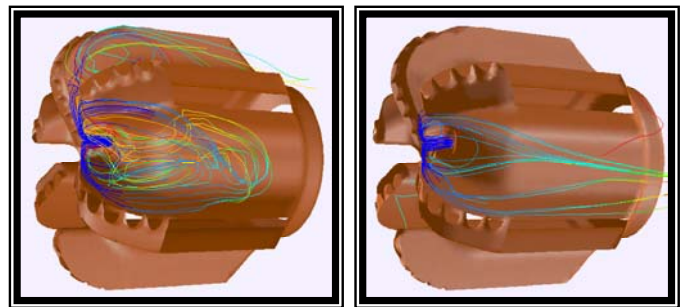
En lugar del uso de correlaciones usadas típicamente para resolver difíciles problemas en la industria del petróleo, la CFD es la actual solución a las ecuaciones de movimiento de fluidos probadas científicamente, produciendo, por tanto una reproducción altamente precisa de los detalles del flujo.

En la optimización de la hidráulica de los trépanos, la CFD es usada para seleccionar el número, ubicación y orientación de las boquillas del trépano. La misma ha sido usada exitosamente para analizar y optimizar la forma y el número de Junk Slots, para determinar la limpieza y enfriamiento de los cortadores, para analizar la ubicación de áreas de alta erosión y para investigar un sinnúmero de otros fenómenos.

El objetivo principal de la CFD en el diseño de los trépanos PDC es maximizar la velocidad de Penetración [ROP], y controlar la velocidad del fluido para evitar la erosión. Esto se logra balanceando el flujo, minimizando el tiempo de residencia de las partículas y las zonas de recirculación.

Un ejemplo de la eliminización de zonas de recirculación se puede ver en la Figura 3, a continuación. A la izquierda el modelo antes de la Optimización presenta no solo un retorno de fluido en un mismo Junk Slot sino que parte de éste es enviado a un Junk Slot vecino. A la derecha el modelo habiendo sido optimizado, muestra líneas de flujo directamente dirigidas al espacio anular de la columna de perforación.

Figura 3. Líneas de paso del flujo de fluido en la CFD



Antes de la Optimización-
Notar la recirculación

Luego de la Optimización -
Notar la ausencia de
recirculación

para un Junk Slot en particular

Un modelo de erosión desarrollado por un fabricante de trépanos basado en la CFD, fue verificado usando resultados de campo comparados con las áreas de erosión analíticamente predichas por el modelo.

Una de las primeras aplicaciones del modelo de erosión fue la evaluación de un trépano de 8 1/2" de seis aletas utilizado en una aplicación en el Sur de Argentina el cual presentaba erosión en la cara del trépano. El nuevo modelo fue puesto a prueba para ver si este podía predecir la erosión que estaba siendo observada en este diseño. Usando los mismo parámetros de flujo en la simulación como los usados en la aplicación de campo, el modelo predijo con precisión donde ocurría la erosión en la cara del trépano. La figura 4, compara la erosión del

trépano usado en la aplicación mencionada con la predicha por el modelo basado en la CFD.



Figure 4 - Comparación de la erosión observada en el Campo con la predicha por el Modelo de la CFD. El color rojo indica altas tasas de erosión.

A continuación se muestra un ejemplo de incremento en la ROP debido a la eliminación del embolamiento por la utilización de la CFD. El desbalance de flujo en los distintos Junk Slots puede verse en la gráfica de la Figura 5, Caso 0. Nótese que en el Junk Slot 1, para este Caso, que el flujo predicho es incluso contrario al esperado.

En este ejemplo, el diseño sin optimizar a través de la CFD, fue corrido en el simulador de alta presión [6000psi de presión de confinamiento], en una arcilla altamente reactiva con lodo base agua de 9.5 ppg, a 120 rpm y sufrió embolamiento al alcanzar una

ROP de 270 pies por hora, pudiéndose observar las áreas afectadas de la cara del trépano en la foto inferior izquierda de la Figura 5 [Caso 0].

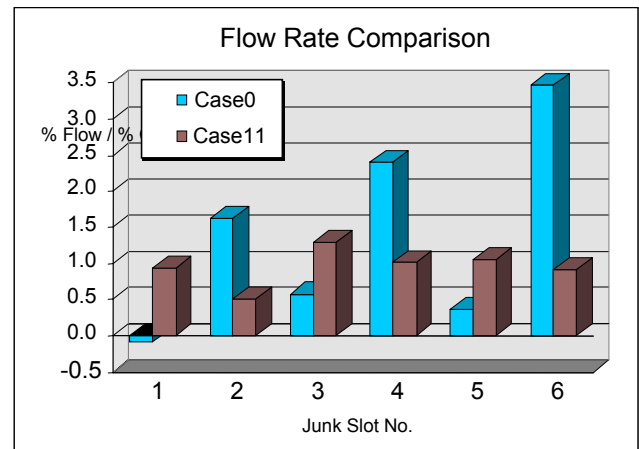


Figura 5 - Comparación de tests de Embolamiento en simulador de Alta Presión

Una vez realizada la optimización realizando una reubicación de las boquillas, el mismo alcanzó la máxima ROP permitida en el simulador de 290 pies por hora, sin rastros de embolamiento, como puede verse en la foto inferior derecha de la Figura 5 [Caso11].

ESTABILIDAD

La estabilidad de un trépano determina en buena medida su durabilidad y eficiencia general. Este hecho ha tomado mayor relevancia en los últimos años a través de los estudios de investigación realizados por distintas Compañías de Servicio en busca de entender los procesos en el fondo de pozo que

llevaron a rendimientos inconsistentes y daños tanto al trépano en sí mismo como a herramientas usadas en la columna de perforación. En este trabajo nos focalizaremos en lo realizado por una Compañía de Servicio en lo que se refiere a la mejora de las características de diseño que hacen al trépano más estable, y menos propenso a ser dañado por vibraciones o situaciones de inestabilidad dinámica.

Lo observado y conocido ampliamente es que durante el proceso vibratorio se dañan los cortadores produciéndose una marcada reducción de la velocidad de penetración con un marcado incremento de la erraticidad del torque y en sus valores promedios.

Como puede verse en el ejemplo gráfico a continuación en la **Figura 6**, en un mismo yacimiento en un pozo la carrera continuó luego de atravesar una intercalación dura, cuando en otro pozo la carrera finalizó en esta intercalación con el daño catastrófico del trépano. Esta inconsistencia es característica de los procesos vibratorios.



Daño por Impacto

Este proceso dinámico destructivo tiene su mejor descripción a través de lo que se conoce como Whirl o Remolino [Vibración lateral].

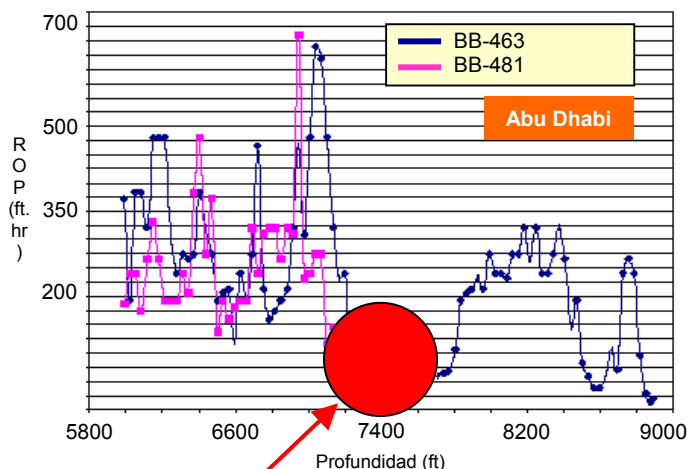
En este proceso se produce el "engranamiento" del trépano con las paredes del pozo de modo violento. Durante la presencia de esta disfunción el centro de rotación del trépano deja de ser su centro geométrico, para pasar a ser el punto de contacto de cada una de sus aletas, de modo alternativo, con las paredes del pozo.

Esto genera elevadas cargas sobre los cortadores del calibre y el hombro así como sobre las aletas del trépano.

Ahora bien, "todo" trépano es inestable a bajas profundidades de corte (DOC, del inglés Depth of Cut), siendo esta característica una de las medidas para establecer cuán estable es un diseño en particular. El criterio de esta Compañía de Servicio es definir la estabilidad de un trépano en base a la DOC cuando ciertas variables se han estabilizado por debajo de ciertos valores, como veremos más adelante.

Para comprender esto mejor consideremos que la DOC puede visualizarse mejor como ROP.

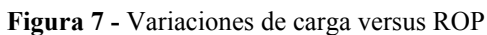
En la **Figura 7**, puede verse una gráfica que ilustra lo mencionado. En el eje de las abscisas se encuentra la DOC representada como ROP,



Sacado por baja ROP, Daño Catastrófico

Figura 6. Carrera truncada debido a daños por impacto

ROP	Vibración
1	~26
2	~12
3	~11
4	~4
5	~3



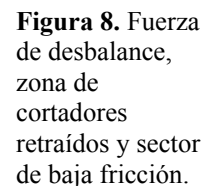
Utilizando este mismo gráfico podemos definir lo que se establece como estabilidad primaria y secundaria.

Se entiende por Energía Específica, aquella energía que es necesaria para remover un volumen unitario de roca, siendo sus unidades Libras por pulgada cuadrada, o psi.

estabilizado, encontrándose en un modo ya sea inestable o de transición, siendo más estable este cuanto menos variaciones de carga se experimente en este período.

Para lograr la mayor estabilidad de un diseño y que éste perfore "suavemente" sin vibración lateral, se cuentan con distintos tipos de estabilización como detallaremos a continuación;

- La misma consiste en realizar una distribución de cortadores tal que se genere una fuerza de desbalance [de entre 15-18% del peso aplicado] la cual se dirige hacia una aleta especialmente diseñada para mantener el contacto con las paredes del pozo a lo largo de la vida útil del trépano. Una ilustración de lo dicho puede verse en la Figura 8.



Bajo Desbalance:

La estabilización de Bajo Desbalance, se obtiene con una distribución de cortadores tal que genere una fuerza de desbalance lo más pequeña posible [menor del 6% del peso aplicado], junto con la generación de un patrón de fondo rugoso que tiene como objetivo contener al trépano centrado en el centro geométrico del pozo, como puede verse en la Figura 9. Estos "surcos" sobre el fondo del

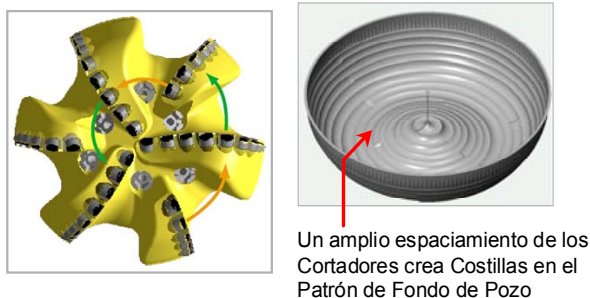


Figura 9. Distribución de Bajo Balance - Kerfs

pozo son suficientes para lograr este objetivo cuando la aplicación lo permite, siendo más durable pero menos eficiente que la estabilización de Alto Desbalance.

Control de la Estabilidad Secundaria - Daño Controlado

El objetivo de este control es el de reducir la severidad de la vibración. Este control se logra a través del uso de las siguientes características;

Manejo de la sagita - Distancia de la cuerda al círculo

La distancia entre la cuerda y el círculo controla la severidad del impacto. A mayor distancia mayor impacto.

Para conseguir este objetivo se diseñan aletas que en el calibre son más anchas, manteniendo una área de salida constante.

En trépanos de pocas aletas para aumentar el contacto circunferencial, los calibres se diseñan

espiralados y más anchos especialmente para trépanos de 3 y 4 aletas.

Estas innovaciones de diseño pueden verse ilustradas en las Figuras 10 y 11.

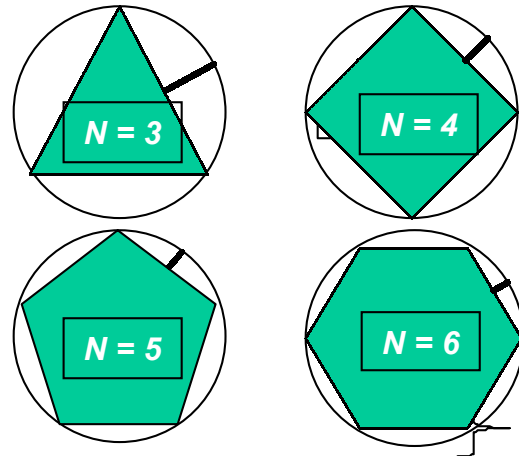


Figura 10. Reducción de la distancia del círculo a la cuerda en función del número de lados

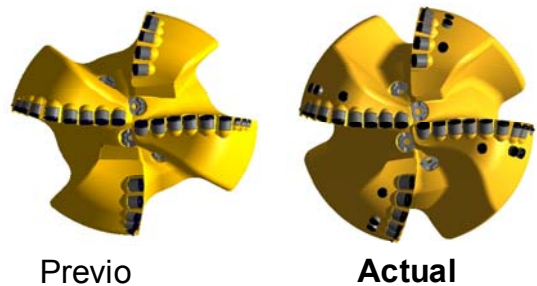


Figura 11. Calibres espiralados en diseños actuales para incrementar el contacto circunferencial

Mitigador de Movimiento Lateral [LMM]

Esta característica obtenida reduciendo la exposición de los cortadores del calibre, levantando la aleta por debajo y alrededor de los mismos.

Tiene como función reducir la severidad de la vibración y proteger a los cortadores de los impactos.

Como puede observarse en la Figura 12, los resultados de los testeos estándar de estabilidad

de dos diseños muy semejantes con y sin el LMM.

El superior SIN LMM muestra variaciones de carga del 10-30%, mientras que el diseño CON LMM, la amplitud de severidad se ve reducida a el 5-18 %.

La Figura 13 ilustra el aspecto de esta característica.

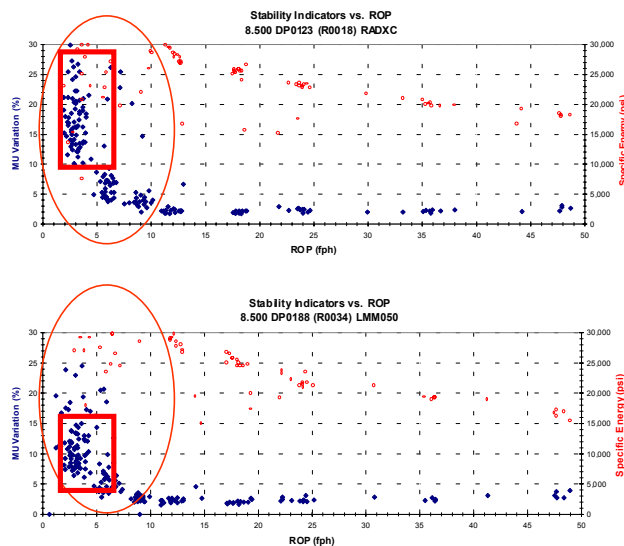


Figura 12. Testeo de laboratorio del mismo diseño con y sin LMM. Arriba "sin LMM", debajo "con LMM".



Figura 13. Diseño sin LMM a la izquierda y con LMM a la derecha

Insertos BRUTE

Estos reciben esta denominación de su descripción en Inglés que es "**Backups that are Radially Unaggressive and Tangentially Efficient**", lo que significa "Cortadores de resguardo que son Radialmente NO agresivos y Tangencialmente Eficientes".



Figura 14. Foto de los insertos BRUTE

Estos insertos que son cortadores de tabla de diamante gruesa, son dispuestos en los nudos de desgaste, los cuales tienen capacidad de corte Tangencial pero ninguna Radial. Los mismos colaboran con la estructura de corte cuando ésta ha sufrido cierto desgaste.

CORTADORES

La tecnología de cortadores ha sufrido importantes mejoras, en pos del siguiente objetivo; "Incrementar resistencia al Impacto y a la Abrasión".

Se podría decir sobre este tópico en particular, que se trata de un proceso de mejora continua, donde permanentemente se están introduciendo mejoras.

Como elemento comparativo, tómese el gráfico de la Figura 15, donde se pueden ver claramente las mejoras de resistencia respecto a la generación inmediata anterior de cortadores de PDC.

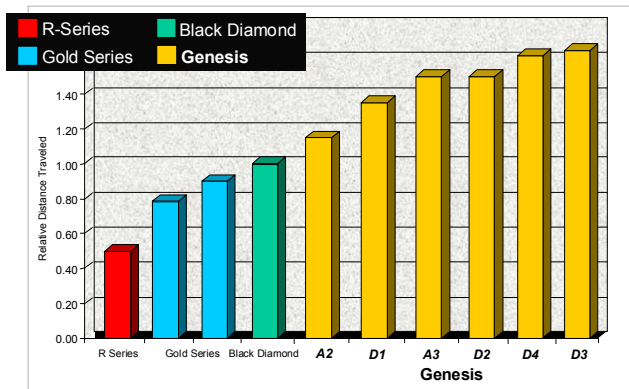


Figura 15. Evolucion de resistencia Relativa

Para la obtención de los datos de la figura anterior fueron usadas una serie de herramientas que permitieron cuantificar la magnitud de estas mejoras. Entre ellas podemos mencionar a el Molino de Taladrado, test de cortadores mixtos, análisis por diferencias finitas y un programa de predicción del desgaste.

Ahora, ¿dónde se han focalizados los esfuerzos en esta tecnología?.

Las áreas de foco han sido ,

- la tabla de diamante: sus propiedades para incrementar resistencia al impacto y al desgaste;
- la geometría interna o interfase tabla / sustrato: para reducir tensiones residuales y mejorar la transferencia de peso de la tabla al sustrato mejorando la resistencia al impacto del cortador;
- La geometría de borde del cortador; que tiene un marcado efecto en la resistencia al impacto y en la agresividad de éste.

La interfase Diamante / Carburo tiene una significativa influencia en las tensiones residuales y mecánicas, lo que conlleva a una mayor resistencia al impacto.

Las diferentes variaciones de esta interfase puede ser apreciada en la Figura 16.



Figura 16. Interfaces de diamante/Carburo

Por otro lado el efecto del espesor de la tabla de diamante sobre la carga efectiva para el corte es afectado por el desgaste acumulado del cortador como puede verse en la Figura 17.

Para un desgaste T2, es decir 2/8, el incremento necesario de carga para mantener la misma ROP es significativo. Lo que no se muestra en esta gráfica es el tiempo insumido por cada cortador en llegar a este estado. El cortador de tabla Gruesa llega a este estado en más tiempo que el de tabla delgada, dado un mayor volumen de diamante disponible.

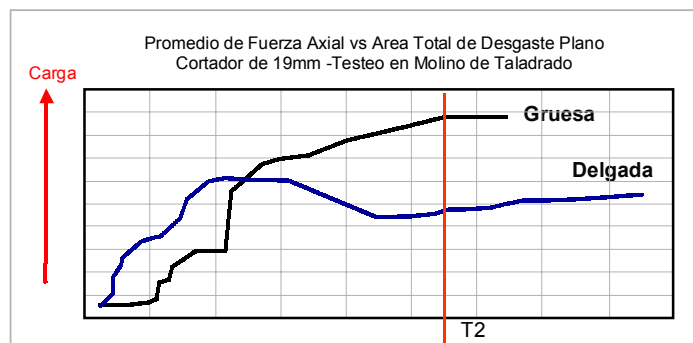


Figura 17. Efecto sobre la carga en función del desgaste

Una vez alcanzado éste, su eficiencia se reduce respecto al de tabla delgada.

Ahora bien, La tecnología más avanzada introducida en la construcción de cortadores es la Construcción en capas de Diamante.

Esta permite:

1. Una superficie resistente a la abrasión
2. Un soporte de diamante más resistente
3. Una interfaz diseñada para minimizar las tensiones.

Este, por así decirlo "sandwich", mejora considerablemente la eficiencia del cortador a medida que se desgasta, manteniendo su filo, evitando el redondeamiento del cortador, como puede observarse en la Figura 18.

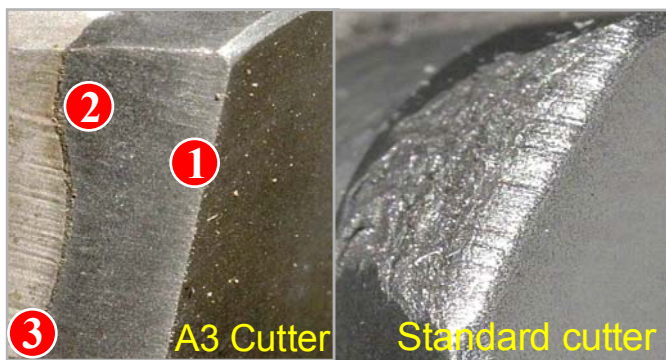


Figura 18. Desgates típicos cortador A3 vs. Standard

Los Resultados de la aplicación de esta tecnología se ven en la Figura 19, donde se muestran los rendimientos comparados de ambos cortadores en un mismo tipo de trépano durante los testeos realizados en el Área Experimental de Testeo de esta Compañía de Servicios.

En la comparación, ambos trépanos han perforado distancias iguales hasta alcanzar la profundidad de 2200 pies, donde se encuentra una arena abrasiva. La diferencia de penetración es producto del desgaste acumulado. A pesar de eso, cuando se alcanza esta arena los cortadores estándar, sufren una

marcada caída en la ROP, mientras que en los cortadores, llamados A3, la incidencia ha sido bastante menor. El detalle de los desgastes de los cortadores luego de esta carrera pueden verse a la derecha de la Figura 19.

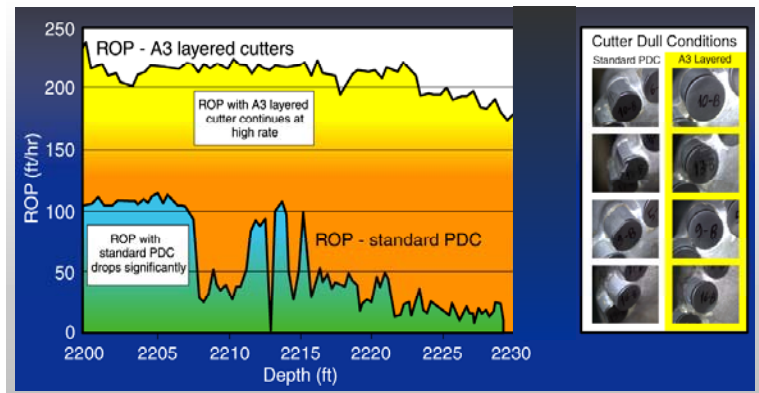
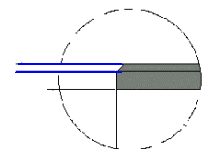


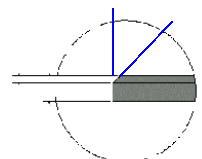
Figura 19. Comparación de Campo entre Cortadores A3 vs STD.

Otro aspecto importante es la geometría de Borde, la que tiene un marcado efecto en la durabilidad y eficiencia del cortador. De los ensayos realizados se obtuvo que cuanto más pequeño es el chaflán del borde del cortador más eficiente es el trabajo de éste, y que por el contrario cuanto más grueso es el mismo más resistente y durable será. De esto es que la selección de las características del chaflán buscará un equilibrio que otorgue, según la aplicación, la mayor eficiencia y durabilidad.

Espesor del Chaflán



Ángulo del Chaflán



DIRECCIONABILIDAD

Un aspecto importante, buscado en los trépanos de PDC, es su direccionabilidad cuando se los utiliza en la perforación de pozos dirigidos u horizontales, con conjuntos convencionales y no convencionales.

Para alcanzar esto se han refinado conceptos, los que hoy permiten un control y respuesta apropiada del trépano sin sacrificar su eficiencia.

La tendencia convencional ha sido realizar la selección de modo tal de reducir la respuesta del Torque al Peso del trépano incrementando el número de aletas, reduciendo el diámetro de los cortadores, incrementando el ángulo de rastrillaje o back rake de los cortadores, agregando características como los nudos de desgaste, etc; todo lo cual reduce la respuesta de torque al peso a expensas de la eficiencia y sin garantizar el rendimiento esperado.

El principal y más importante concepto introducido por esta Compañía de Servicios, es el control de la Exposición, o Exposición Reducida, la que de modo eficiente permite poner un "límite" al torque generado por el trépano, pudiendo ajustar este límite, a cada aplicación en particular.

Veamos más en detalle lo que esto significa.

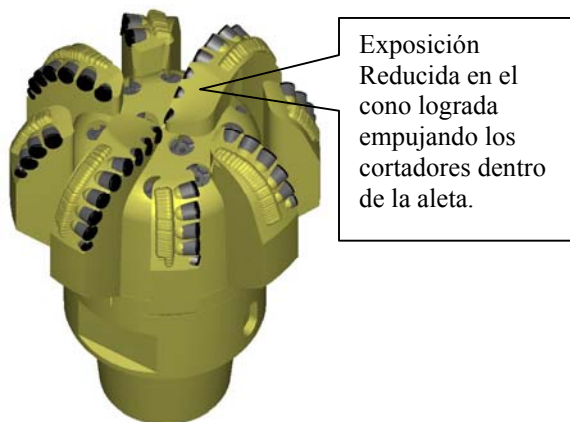


Figura 20. Exposición Reducida de los cortadores del Cono

Observando la Figura 20, podemos ver que los cortadores del área del cono se encuentran "enterrados" en la aleta, de modo que la profundidad de corte efectiva de estos solo será la permitida entre el borde del cortador y el borde de la aleta, siendo ésta inferior a la exposición convencional que comprende la mitad del cortador en los trépanos sin esta característica. Así esta profundidad puede ser regulada de modo que el torque generado no supere el torque disponible en el Motor de fondo, asegurando esto a pesar de que el peso sobre el trépano varíe ampliamente.

En la Figura 21, puede verse una simulación donde al incrementarse la ROP la cara del trépano comienza a contactar las aletas, produciendo esto una restricción para el continuo incremento del torque generado por el trépano.

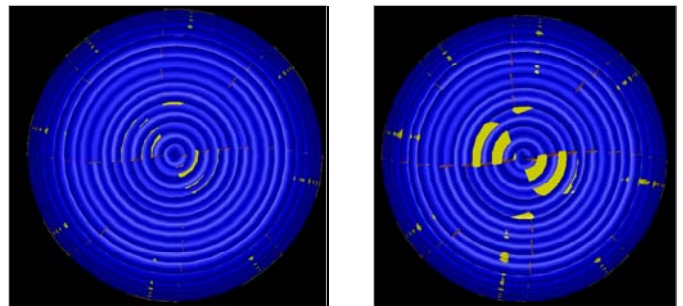


Figura 21. Contacto de la zona de Exposición Reducida al incrementar ROP

Para clarificar aún más este concepto veamos la gráfica de la Figura 22.

En esta gráfica puede verse en el eje de las ordenadas el torque generado por el trépano y en el eje de las abscisas el peso aplicado sobre el trépano.

Se ven dos Rangos de operación, uno Agresivo dominado por el trabajo de los cortadores y otro No Agresivo dominado por el

deslizamiento de la superficie en contacto de las aletas en el cono. Las pendientes muestran la agresividad de los distintos rangos.

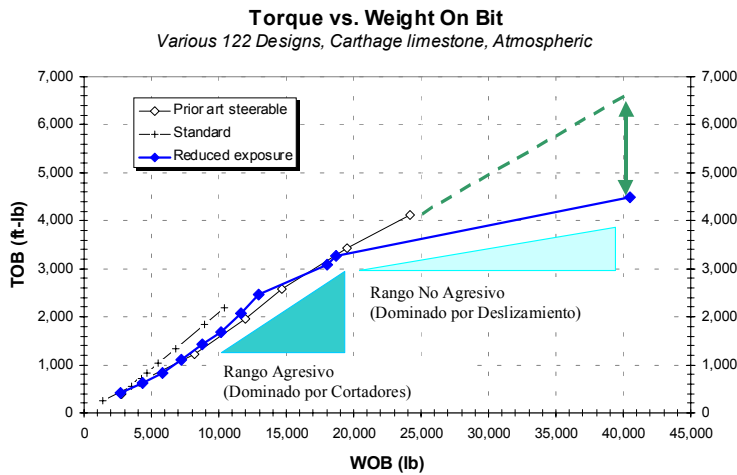


Figura 22. Efecto de la exposición Reducida sobre la agresividad del trépano

El rango agresivo muestra que la eficiencia antes que las superficies entren en contacto [aleta con el fondo de pozo] es la misma que en un trépano convencional, sin embargo cuando las superficies entran en contacto la pendiente o la agresividad cambia representando una muy semejante a la generada por un trépano tricónico.

Es aquí donde reside la característica más importante de este concepto.

Mantener la eficiencia, limitando la generación de Torque cuando las variaciones de peso llevarían a un valor de torque tal que detendría el motor de fondo.

Esto hace que sea el control ideal para aplicaciones convencionales de Perforación Direccional.

RENDIMIENTOS

Los resultados de aplicar las tecnologías desarrolladas y optimizadas antes vistas, han sido elocuentes.

Dada la restricción en el tiempo y el espacio disponible de este trabajo, mencionaremos solo

dos casos que corresponden a las áreas de interés de Argentina y Bolivia.

Primer caso: Diseño para el uso de PDC con sistema para la perforación de Pozos verticales

Este caso es representativo de la eficiencia de la aplicación del proceso descrito anteriormente. La situación compleja de la perforación de pozos profundos en grandes diámetros en una cuenca con altas esfuerzos tectónicos demandan de la más alta tecnología para realizar estos con la calidad necesaria y en costos razonables.

El sistema de perforación de pozos verticales consiste [muy simplifacadamente] de un sustituto integrado de MWD/Hidraulico, Steering Head, un motor de desplazamiento positivo de alta potencia y del trépano. Este último debe reunir ciertas condiciones para que el sistema en su conjunto produzca los resultados deseados, especialmente en el uso de trépanos de arrastre o PDC.

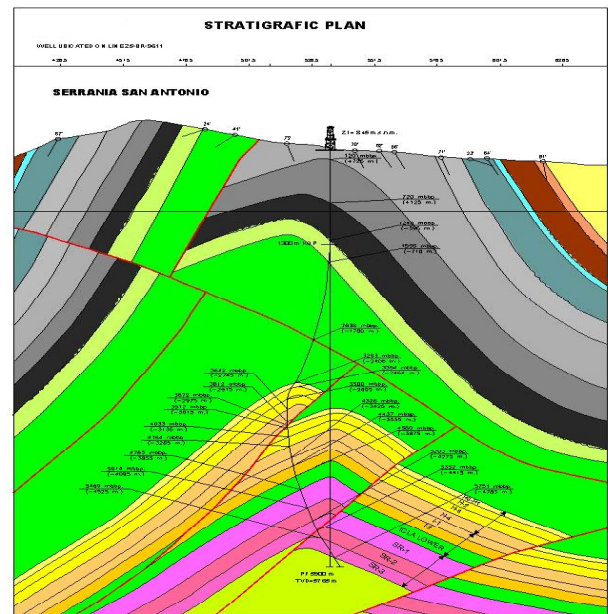


Figura 23. Corte geológico típico Cuenca Subandina

La experiencia en la cuenca, en el uso de este sistema es ahora extensa, pero inicialmente, el intento de resolver el problema con los métodos convencionales donde se trataba cada componente de modo aislado uno de otro no reportó los beneficios necesarios.

Los principales problemas encontrados fueron las variaciones del Tool Face de la herramienta y la capacidad de corte lateral del trépano, lo que ocasionaba que el sistema no contrarreste el efecto de la formación a incrementar el ángulo del pozo.

Podemos ver en la Figura 23, que los buzamientos de las formaciones son elevados y que la formación Los Monos, donde más metros era necesario perforar era perforable por PDC.

Para comprender las diferencias entre un sistema convencional y el sistema de perforación vertical veamos las Figuras 24 y 25. El Sistema de Perforación Vertical [SPV], a diferencia del convencional, obtiene el cambio de dirección de la trayectoria del pozo, "empujando" el trépano por medio de aletas accionadas por un fluido bajo presión. El accionamiento de estas aletas es realizado en base a las lecturas que realiza el cerebro del sistema.

La herramienta en su conjunto opera en modo "slide" cuando trabaja corrigiendo la inclinación del pozo, pudiendo hacerlo en rotación si se ordena retraer las aletas del Steering Head, pero en este caso no realiza corrección alguna al ángulo del pozo, comportándose como si fuese un sistema rotario convencional.

Las aproximaciones anteriores para la resolución de los problemas encontrados, por no ser amplias y abarcativas no dieron solución a los problemas.

En un primer intento la estabilidad del trépano

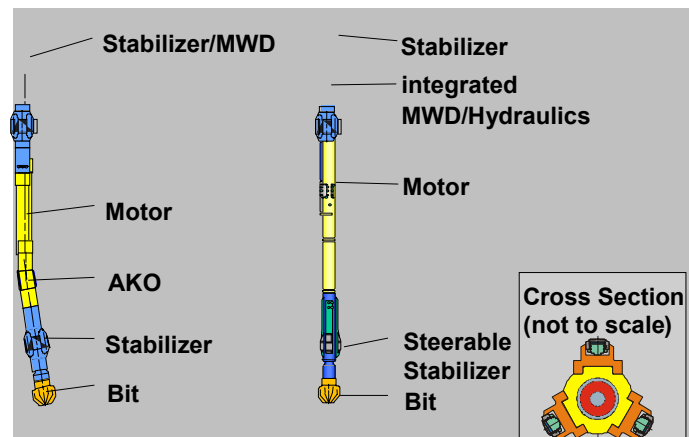


Figura 24. Sistema convencional vs. Sistema de perforación Vertical

no fue suficiente para obtener un tool face constante. Una segunda aproximación, donde se obtuvo un tool face constante, haciendo uso de un diseño utilizado en otra aplicación en Europa, no tuvo la capacidad de corte lateral suficiente.

En ambos casos el objetivo, no fue cumplido al 100% como era lo deseado, debiendo compensar estas deficiencias con carreras adicionales.

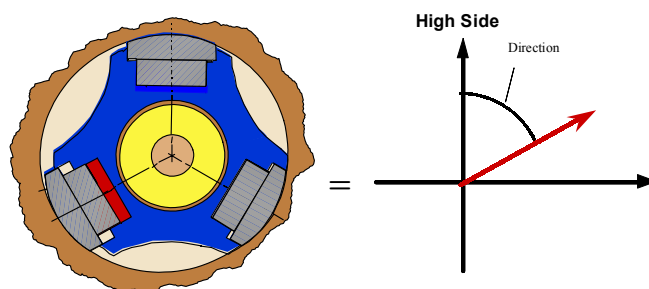


Figura 25. Fuerza lateral ejercida a través de las aletas accionadas por pistones hidráulicos

A partir de estas experiencias y contando con el método aquí descrito que es mucho más abarcativo, se generó un equipo de trabajo que incluía a gente clave de la división de direccional, de trépanos, de investigación y

desarrollo y de diseño, a fin de desarrollar un conjunto de características, haciendo uso de las tecnologías antes descritas, para resolver el problema de modo eficiente.

Para esto se realizaron testeos de campo en la antes mencionada Área de Testeos Experimentales de distintos diseños tipo, que junto a la información recopilada de la experiencias anteriores permitió entender el fenómeno.

A partir de este análisis se procedió con el diseño de tres diferentes diámetros de trépanos PDC para el uso con la herramienta de perforación vertical. El conjunto de características es el mostrado a continuación:

- Alta estabilidad especialmente a bajas Profundidades de Corte.
- La estabilidad Secundaria jugaba un significativo rol para mantener las vibraciones bajo control. Uso del Control de Cuerda y del Mitigador de Movimiento Lateral.
- Perfil Plano para proveer una buena y estable respuesta de corte lateral.
- Cortadores con construcción en capas de Diamante - A3
- Una agresividad lateral en balance con la estabilidad del trépano para proveer una adecuada agresividad lateral

Los resultados de la respuesta del Tool Face pueden verse en la Figura 27 donde las variaciones entre las aproximaciones anterior y la actual muestra claramente la mejoras alcanzadas.

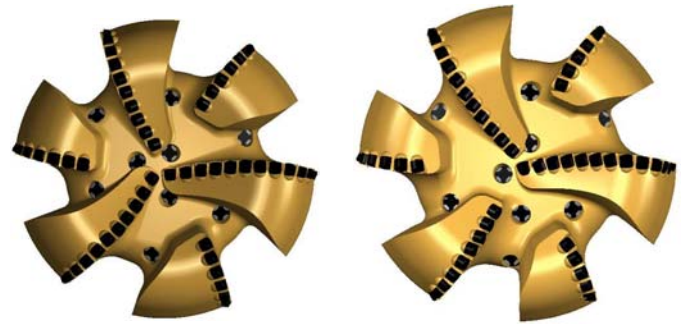
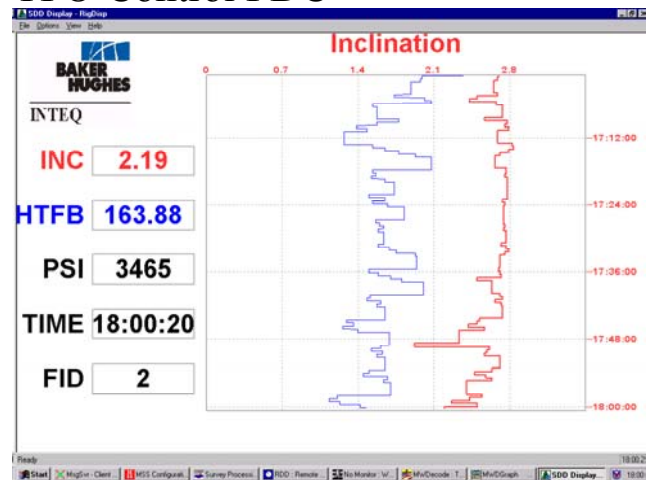


Figura 26. Version Alto Desbalance Izq./ Bajo desbalance Der.

TFO Control PDC



TFO Control VT606

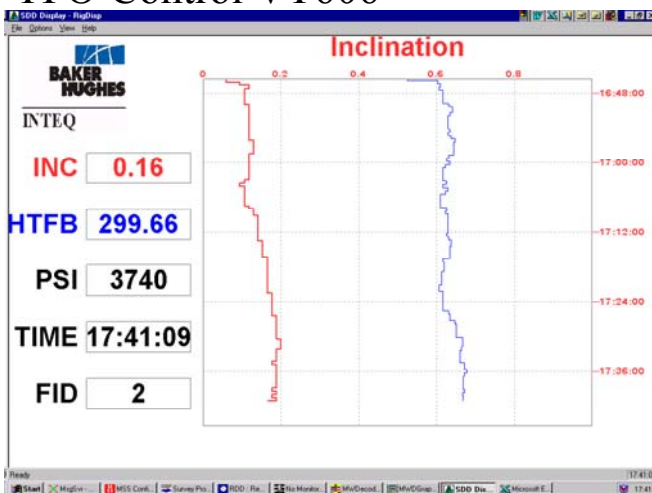


Figura 27 - Variaciones del Tool Face Arriba - Diseños anteriores. Abajo - Diseño actual para SPV

Los resultados en la operación fueron igual de contundentes alcanzando ahorros muy importantes en las operaciones. Las Figuras 28 y 29 muestran los resultados alcanzados.

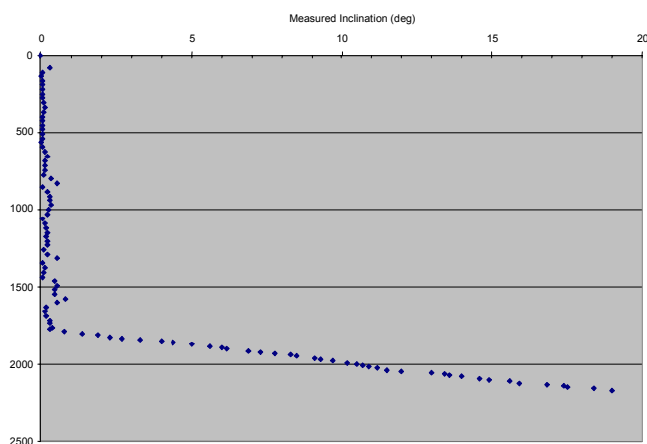


Figura 28. Variación de inclinación con la profundidad en Sección de 18 1/2" a 1750 m. KOP a partir de esta profundidad en proxima sección con el uso de conjunto direccional con SRWD

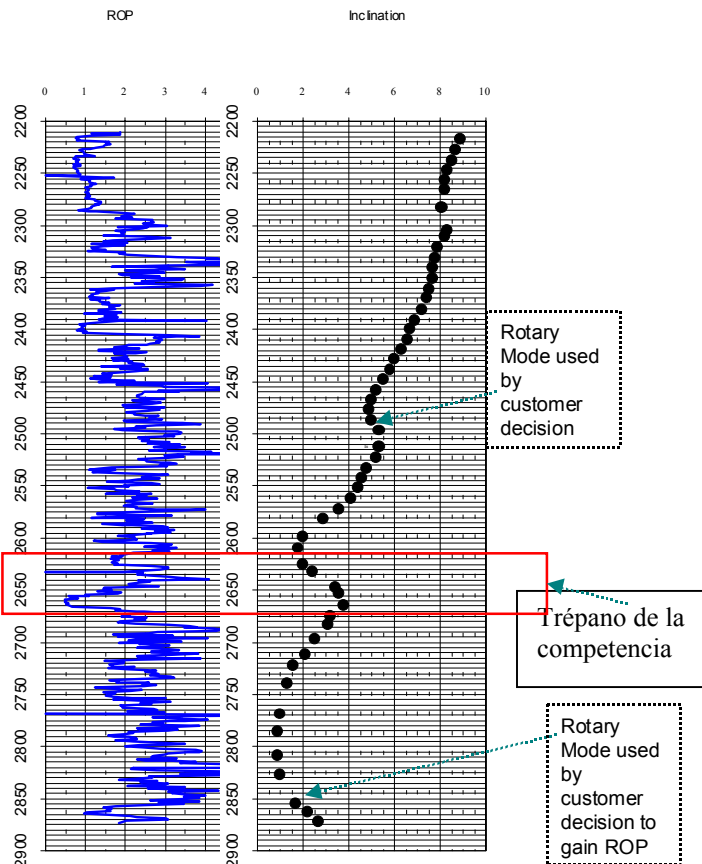
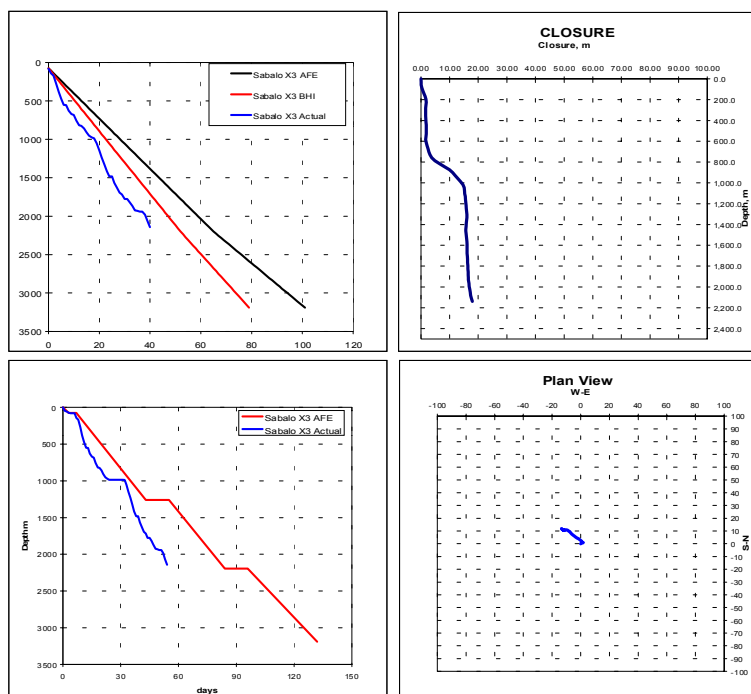


Figura 29 Abajo a la izquierda: Comparación curvas AFE cliente - Cía de Servicio y la Real
Arriba: Variaciones de ángulo y ROP en sección de 17 1/2" - Respuesta del sistema a la rotación y el uso de un trépano No diseñado para esta aplicación lleva a caída de ROP e incremento de ángulo

Segundo Caso: Optimización en Área Madura - Comodoro Rivadavia

Este caso muestra el potencial de este método aún en yacimientos donde la perforación continua ha llevado a optimizar las operaciones, haciendo muy difícil introducir mejoras substanciales de rendimiento. En la Figura 30, se puede ver la columna estatigráfica del yacimiento.

En este yacimiento la Formación Mina del Carmen usualmente es perforada con trépanos tricónicos de insertos.

Los conjuntos de fondo son lisos, lo que demanda el máximo al trépano desde el punto de vista de estabilidad y resistencia al impacto dado las condiciones de perforación extremas.

A partir de la implementación del proceso mencionado, se obtuvo una significativa reducción de tiempos de rotación y luego la eliminación de la carrera del trépano de insertos.

Esto consolidó la consistencia alcanzada con la mejora del proceso.

Las figuras 31 y 32 muestran en cada caso el primer pozo donde se perforó casi 300 m de la formación Mina del Carmen y el segundo donde se alcanza profundidad final.

Ambos se muestran con los pozos de referencia correspondientes.

FORMACION	LITOLG.	BIT
1155	Terciario Arenas Arcillas	5 Aletas
1900	El Trebol Arcillitas Areniscas	
2630	Com Riv Areniscas Grano Med Intercalaciones Arcillitas /Tobas	
3050	Mina del Carmen Tobas Arenosas Tobas Arcillosas Int. cuarzosas	TCI

Figura 30. Columna Estratigráfica del Yacimiento -
Típica Selección de trépanos

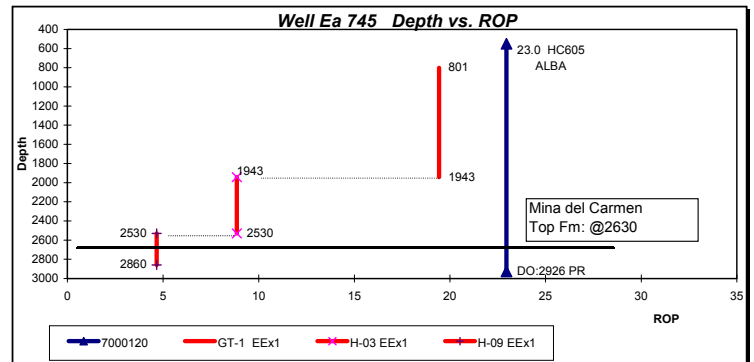


Figura 31. Primer pozo del proceso donde se alcanzó en
ahorro de 74.5 hrs respecto los de referencia

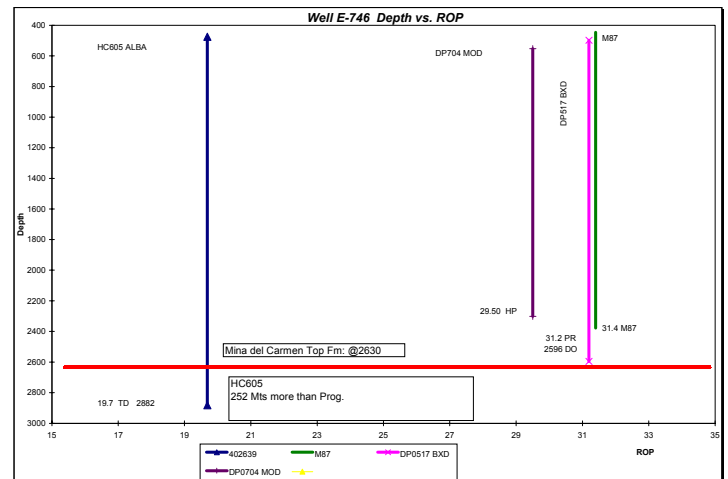


Figura 32. Segundo pozo donde se alcanza profundidad
final, ahorrando 65.75 hrs respecto al de referencia

CONCLUSIONES

El proceso presentado mostró ser efectivo en distintas aplicaciones alrededor del mundo, confirmando que toda solución debe ser ajustada a las necesidades locales.

REFERENCIAS

1. "Well delivery Limit: Two years experience with a breakthrough drilling performance initiative" SPE paper 78491
2. "Quantifying Common drilling problems with mechanical Specific Energy and a bit-specific coefficient of sliding friction" SPE paper 24584
3. "Development and successful application of unique steerable PDC bits" IADC/SPE paper 39308
4. "Dual torque concept enhances PDC bit efficiency in directional and horizontal drilling programs" IADC/SPE paper 52879
5. "Drill bits with reduce exposure of cutters" US patent 6460631
6. "Drill bits with controlled cutter loading and depth of cut" US patent 6298930
7. "Re-engineered drilling laboratory is a premium tool advancing drilling technology by simulating downhole environments" ASME ETCE99-6653 paper
8. "The effect of PDC cutter density, back rake, size, and speed on performance" SPE 39306 paper
9. "Improving drilling performance by applying advance dynamics model" SPE 67697 paper
10. "Bit whirl: A new theory of PDC bit failure" SPE 19571 paper
11. "PDC bit durability - Defining the requirements, vibration effects, optimization medium, drilling efficiencies and influences of formation drillability" SPE 63249 paper
12. "Effects of thermal and mechanical loading on PDC bit life" SPE 13257 paper
13. "Polycrystalline diamond compact bit hydraulics" SPE 11063 paper
14. "Experience in the detection and suppression of torsional vibration from mud logging data" SPE 28908 paper