

Experiencias de perforación con objetivos de alta precisión

Por *Juan Aguilera, Albano Ayala, Carlos Palacios y Juan Carlos Bassi* (Vale S.A.)
Jorge Ariel García y Marcelo Parlanti (Weatherford)

En este trabajo, un equipo interdisciplinario proveniente de compañías operadoras y de servicio analiza la forma en que se planifican los pozos y la tecnología utilizada en su construcción.

El presente trabajo resultó seleccionado por el Comité Organizador del Congreso Latinoamericano de Perforación, Terminación, Reparación y Servicio de Pozos 2012.

El presente trabajo ofrece una perspectiva poco común de la evolución de los parámetros de perforación direccional y la curva de aprendizaje construida en un proyecto con altas exigencias desde el punto de vista técnico. La necesidad del proyecto de poseer pozos con objetivos por intersectar muy precisos y, por otro lado, la necesidad de optimizar los costos, llevó a aplicar técnicas y procedimientos que permitieran alcanzarlos.

La búsqueda permanente de una *performance* comparable con los estándares de la industria del petróleo y del gas ha llevado a este equipo integrado por operadores y prestadores de servicio a analizar en forma crítica y sin restricciones paradigmáticas, tanto el modo en que los pozos son planificados como la tecnología utilizada en su construcción. Por otra parte, el trabajo en equipo, el cuestiona-

miento permanente sobre lo realizado y la eliminación de barreras comunicacionales entre operador y prestador de servicio aportaron a los logros y mejoras del proyecto.

Los nodos principales que aborda el trabajo técnico son los siguientes:

1. Diseño de PAD tipo araña.
2. Herramientas en la disciplina direccional para optimizar tiempos de perforación.
3. Estudios IFR. Precisión al centro de objetivo.

1. Diseño de PAD tipo araña

El proyecto *Potasio Río Colorado* prevé la perforación de sus pozos en la modalidad de PAD, los cuales están compuestos por 16 pozos cada uno, y poseen una geometría tipo S con distintas inclinaciones: baja, media y alta

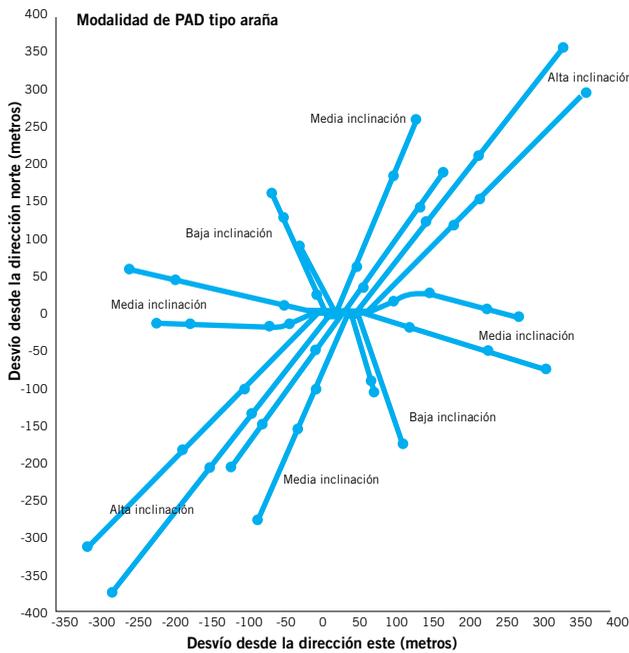


Figura 1. Disposición tipo araña de los pozos en planta.

(hasta 50° grados). Están construidos en una fase superficial y una fase de producción con el fin de poder alcanzar los objetivos geológicos en forma vertical dentro de un radio no mayor a 5 metros. La capa objetivo se encuentra a 1.100 metros TVD (figura 1).

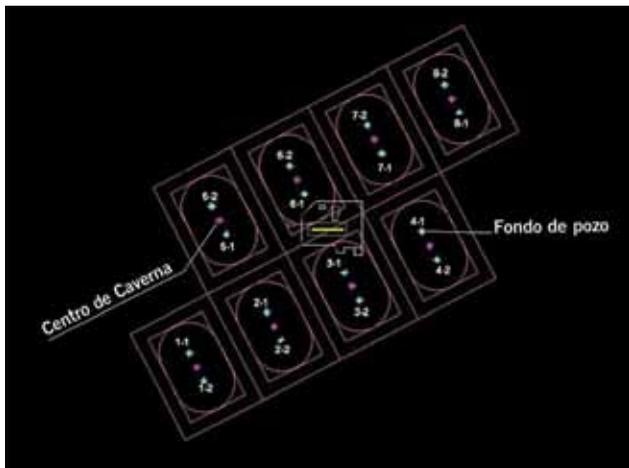


Figura 2. Geometría de cavernas proyectada.

Esta modalidad de perforación requiere una secuencia de trabajo ordenada para que la perforación de cada pozo sea realizada de una manera prolija y exitosa.

La precisión lograda en el punto de aterrizaje de estos pozos es indispensable para cumplir con las necesidades del proyecto respecto de la recuperación final de mineral de potasio ya que cada par de pozos compone una caverna en la cual, por disolución, se producirá el mineral de interés, y estas cavernas poseen un distanciamiento previamente proyectado (figura 2).

Desarrollo de pozos

Comienza con un trabajo de planificación desde la ingeniería en el que se analiza en conjunto las mejores opciones para la geometría de cada pozo, ubicación de KOP, EOB, DROP y EOD de manera de tener una geometría adecuada en función de las exigencias de cada formación a lo largo del pozo, al tiempo que se va optimizando el diseño de los pozos y su tiempo de realización (figura 3).

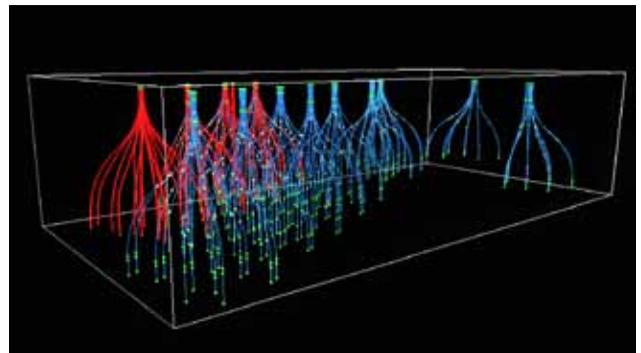


Figura 3. Trabajo de planificación de los distintos PAD. Software 5D.

BHA #2 Sección 8,75" (750-1285 m)

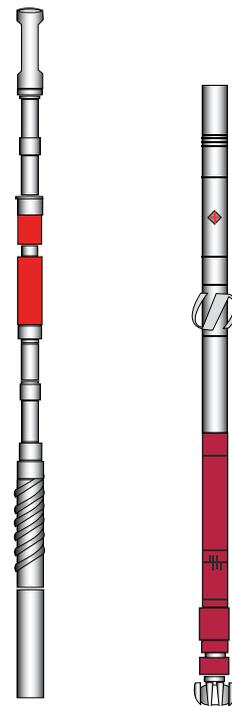


Figura 4. Diseño de BHA.

En la planificación también se analizan los BHA por utilizar mostrando dimensiones de cada herramienta, pesos disponibles y una visualización gráfica para su posterior armado en el campo. Se realizan a su vez los estudios pertinentes de torque y arrastre e hidráulica para conocer los esfuerzos a los que estará sometida la herramienta, su comportamiento para tener una guía de los parámetros de perforación por utilizar. Para casos de interés particular, se realizan simulaciones consecutivas y análisis de vibraciones que permiten estimar las tendencias de respuesta de la herramienta y las ventanas críticas de trabajo lo que disminuye el riesgo de posibles fallas (figura 4).

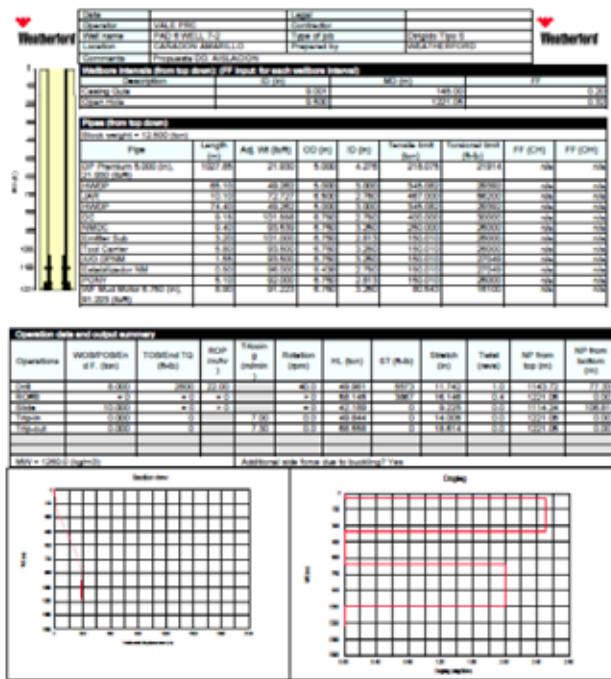
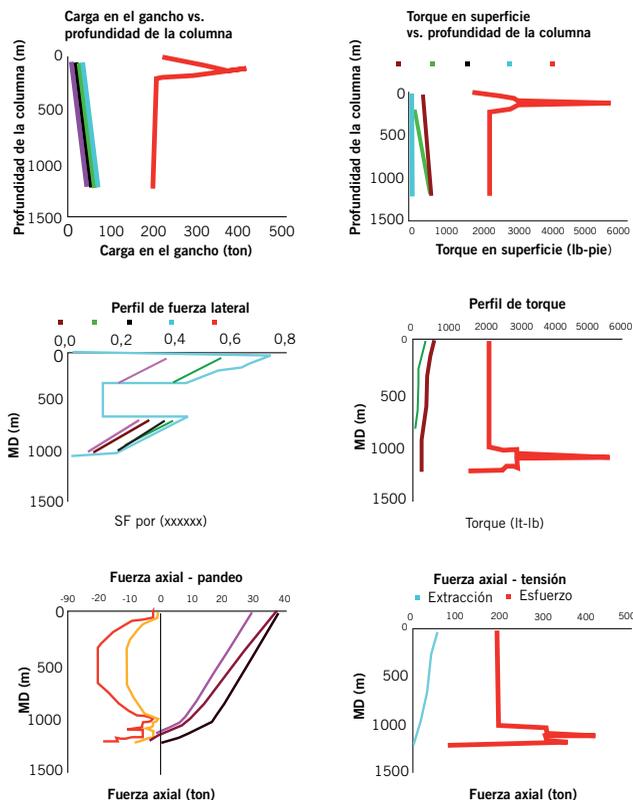


Figura 5. Análisis de torque y arrastre e hidráulica.

Durante la etapa de planificación e ingeniería, participa en forma activa personal técnico de campo, para que al momento de la realización física de la construcción de los pozos, no surjan inconvenientes ni dudas acerca de lo programado.

Se presentan a modo de ejemplo, diseños de BHA, análisis de torque y arrastre, hidráulica y análisis de vibraciones que se realizan en cada uno de los pozos en la fase de programación (figura 5).



BHABend Analisis de Vibración - PAD 6 Pozo 8-1 - Aislación

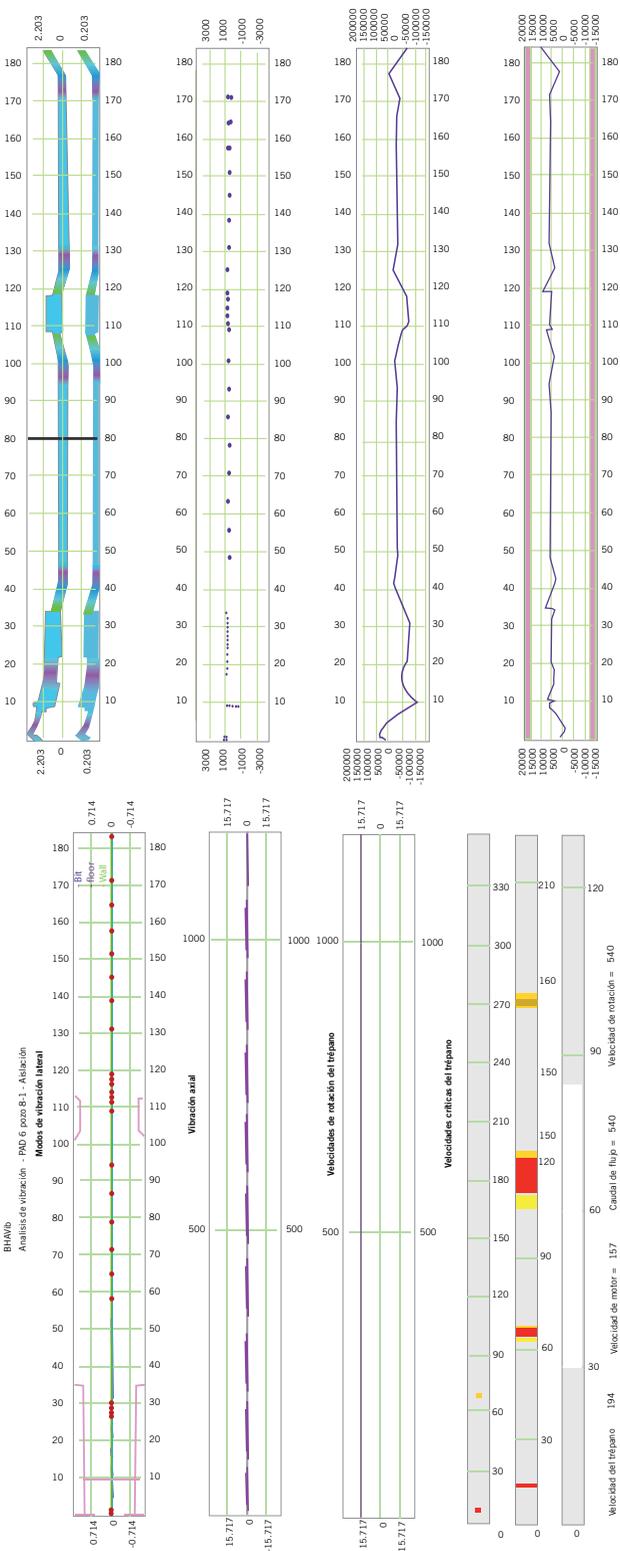


Figura 6. Análisis de vibraciones.

2. Herramientas en la disciplina direccional para optimizar tiempos de perforación

Partiendo de la experiencia en los primeros pozos realizados, se implementaron mejoras respecto del diseño de conjuntos de fondo y tecnología utilizada con la finalidad de optimizar el diseño de los pozos, sus tiempos de perforación y la consecuente mejora en los costos.

Algunos de los cambios implementados se detallan a continuación:

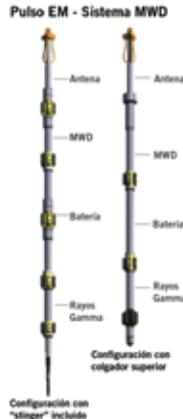
- **Introducción del EM-MWD (electromagnético).** Reducción de tiempo de registro, eliminación de herramienta giroscópica en fase superficial. No se han registrado fallas de las herramientas a lo largo de los pozos realizados hasta la fecha.

Descripción de la herramienta

SISTEMAS DE MEDICIÓN CONTINUA "MWD"

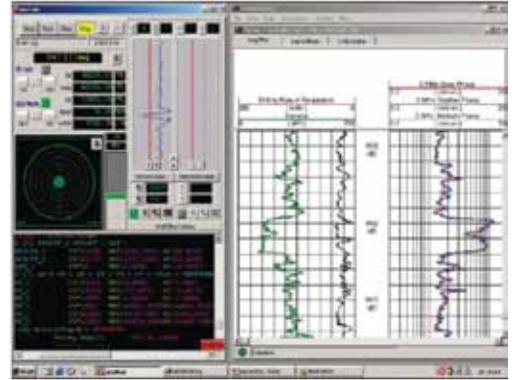
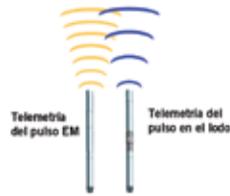
Sistema de transmisión electromagnética

- De aplicación especial para la perforación de zonas con alta permeabilidad ya que no es afectado por la pérdida de fluidos.
- Perfecto para la perforación bajo-balance ya que no utiliza el fluido como medio para la transmisión de datos.
- El sistema permite comunicación bi-direccional con la superficie lo que permite la optimización de los datos recibidos y el ahorro en consumo de baterías.
- Mínimo tiempo para la toma de surveys ya que los mismos pueden ser adquiridos durante las conexiones reduciendo el riesgo de pegamiento por presión diferencial.
- El sistema es modular y recuperable en algunas configuraciones.
- Alta confiabilidad presentando el MTBF más alto de la industria.
- Puede ser utilizada en un rango variado de diámetros de pozos con collares convencionales desde 4 1/2" hasta 8".
- La herramienta puede proporcionar mediciones de Gamma Ray y Presión Anular en tiempo real y almacenarla en memoria.



VENTAJAS DEL MWD ELECTROMAGNETICO

- Funciona en todas las fases en Tiempo Real
 - Perforación
 - Circulación
 - Tripping
- Independiente de las Características del Lodo
 - Densidad
 - Viscosidad
 - LCM
- Independiente de la Hidráulica del Lodo
 - Durante un Kick
 - Durante una pérdida parcial o total de lodo
 - Si la bomba esta funcionando o no; Kelly conectada o no
- Independiente del Fluido de Perforación
 - WBM, OBM
 - Lodo alreado
 - Espuma
 - Aire, gas



- **Utilización de motor de fondo y trépano PDC en perforación de la fase superficial y estandarización de los BHA de la fase superficial (guías) en función de las mejores performance obtenidas**

Con la incorporación de motor de fondo en la perforación superficial (guías) y el cambio de trépano tricónico por PDC, se han logrado sustanciales mejoras de tiempos en la realización de este tipo de perforación (figura 7).

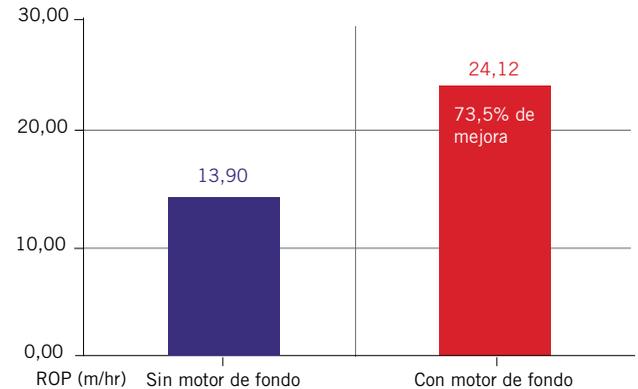
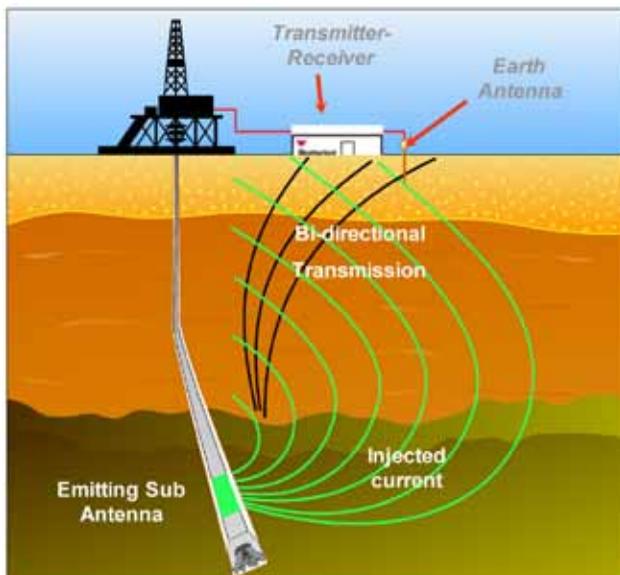


Figura 7. Desempeño fase superficial.

Y luego de clasificar y analizar el comportamiento de los BHA utilizados en cada pozo de acuerdo a su rendimiento, se logró identificar aquellos conjuntos que tenían una mejor respuesta de acuerdo a la inclinación del pozo perforado, realizando los cambios que se muestran a continuación:

Fase superficial corta	1	Trépano Tricono + Stab + DC + Stab + MWD + DC + HWDP
	2	Trépano Tricono + Motor Sleeve Stab + Stab + MWD + DC + HWDP
Fase superficial larga	1	Trépano Tricono + Motor Sleeve Stab + Stab + MWD + DC + HWDP
	2	Trépano PDC + Motor Sleeve Stab + Stab + MWD + DC + HWDP

Imágenes del funcionamiento y visualización





Con la estandarización de los BHA se obtuvieron mejoras sustanciales en los tiempos de perforación, siendo esto el resultado de un aumento de las ROP y de una disminución de la longitud perforada en modalidad de *slide* respecto de la perforada rotando (figura 8).

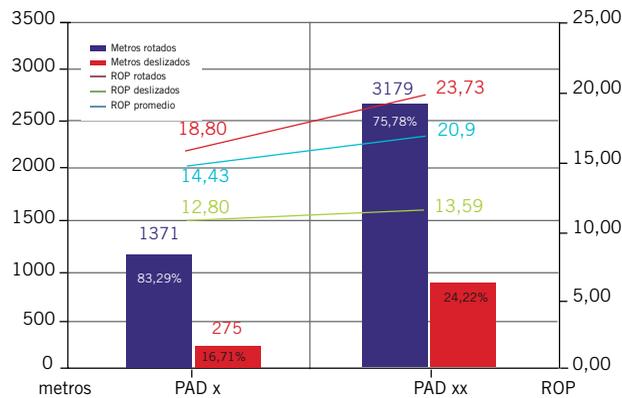


Figura 8. Desempeño *slide* vs. *rotary*. Fase superficial.

con recubrimiento de carburo de tungsteno en los motores de fondo, lo que aumentó la vida útil de estos de 40 a 500 horas efectivas de trabajo. Esto disminuye los costos de mantenimiento, repuestos y transportes.

Uso de mayor cantidad de HWDP en la fase de producción (aislación)

La idea de reducir riesgos de aprisionamiento de herramientas en el pozo en los viajes de calibre y de extracción de herramientas llevó a estudiar en detalle la ubicación de la tijera de manera de aprovechar al máximo su funcionamiento. Para lo cual se analizaron distintas configuraciones variando tanto su ubicación como la cantidad de HWDP por arriba y por debajo de la tijera.

Los cambios de la configuración de BHA que se venía utilizando a lo propuesto y que actualmente se utiliza arrojan los siguientes resultados de funcionamiento (figura 9).

A continuación, se muestran los resultados de la simulación del espaciado de la tijera, trabajando hacia abajo en la nueva configuración propuesta (figura 10).

Utilización de rotores con recubrimiento de carburo de tungsteno

Dadas las altas concentraciones salinas del lodo empleado que le otorgan características corrosivas, se realizó el reemplazo de los rotores de acero cromado por rotores

BHA		Utilizado BHADD+5HWDP+ JAR+3HWDP	Propuesto BHADD+8HWDP+ JAR+7HWDP
Tijera superior	Fuerza [KPI]	435	458
Tijera superior	Impulso [lbf-s]	1140	1398
Tijera inferior	Fuerza [KPI]	253	266
Tijera inferior	Impulso [lbf-s]	985	2132

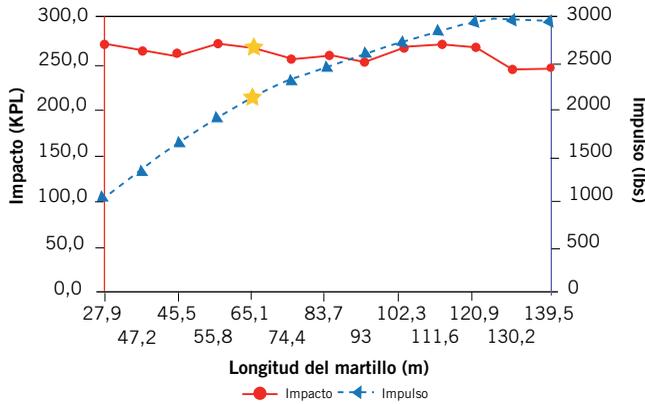


Figura 9. Impacto/impulso obtenible vs. longitud del martillo para 87.500 (lbs).

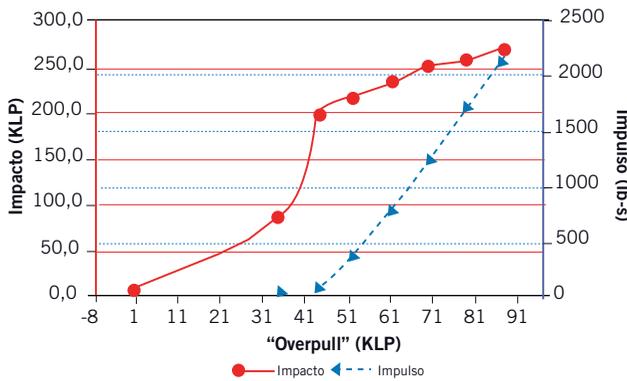


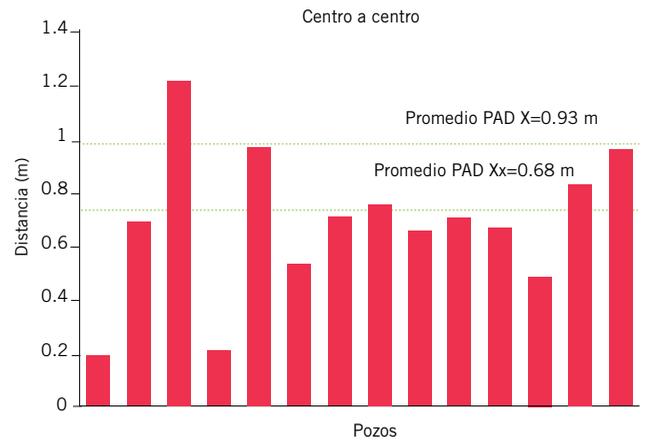
Figura 10. Impacto/impulso vs. "Overpull" (Martillo: 65,1 m Anvil: 74,42 m).

Tabla 1. Resultados para la acción.

Longitud del martillo (m)	Longitud del anvil (m)	+%Tracc. -%Compr.	Fuerza Máx. en la tijera (KIP)	Fuerza máxima en el punto del aprisionamiento (KIP)	Impulso obtenible (lb-s)
27,9	74,42	46	154	271	1035
37,2	74,42	46	159	263	1324
46,5	74,42	46	164	260	1625
55,8	74,42	46	179	271	1916
65,1	74,42	46	178	266	2132
74,4	74,42	46	176	255	2310
83,7	74,42	46	182	256	2463
93	74,42	46	190	252	2583
102,3	74,42	46	200	267	2708
111,6	74,42	46	211	270	2814
120,9	74,42	46	221	267	2942
130,2	74,42	46	217	242	2985
139,5	74,42	46	217	242	2963

Elevación del punto de verticalización (EOD)

Debido a factores litológicos, el desempeño del BHA al momento de verticalizar el pozo disminuía y se observaban tendencias que impedían seguir las trayectorias planificadas con el consiguiente riesgo de NO entrar a los objetivos con la precisión requerida. Analizando en deta-





lle las respuestas del BHA en cada formación, se confeccionaron los planes de pozos modificando su geometría en sus puntos: al inicio de la curva de construcción, inicio de la tangente y de la verticalización. Y con ello se minimizó la longitud deslizada en la zona problema, y, de esta manera, se logró aumentar la precisión centro a centro en el objetivo planificado

Utilización de motores SRS

En la perforación actual se incorpora la tecnología de estos motores con estabilizador cerca del trépano, mejorando la *performance* en los pozos tanto en la longitud deslizada como en la ROP en modalidad rotaria y deslizado.

Resultados en desempeño (figura 11).

3. Estudios IFR. Precisión al centro de objetivo

El alto nivel de exactitud en la ubicación del punto de aterrizaje tiene como condicionante de diseño que el proyecto exige un control permanente de la exactitud con que la trayectoria es calculada durante toda la perforación del pozo. El tiempo y los costos asociados a la corrida de girós-

copos llevaron al equipo de ingeniería a analizar seriamente la realización de un estudio más detallado de la influencia del campo magnético terrestre en la zona de operación.

Antes de hablar sobre los estudios de IFR realizados, mostramos en la figura 12 las metodologías de corrección utilizadas a lo largo del proyecto.

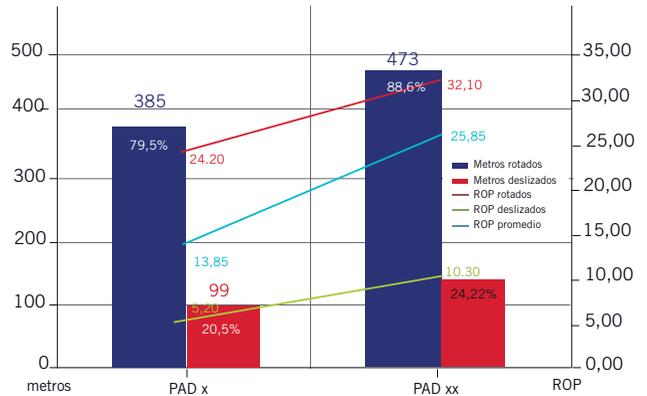


Figura 11. Desempeño *slide* vs. *rotary*. Pozo de alta inclinación.

1	Todos los pozos	Fase superficial	MWD.
		Drill-Out.	MWD + Herramienta giroscópica durante la fase superficial (guía).
		Fase producción	MWD hasta 750 m. Correlación con giróscopo hasta 750 m para corrección del MWD. MWD hasta TD.
2	Todos los pozos	Fase superficial	MWD + Corrección Axial
		Fase producción	MWD + Corrección Axial hasta 750 m. Giróscopo hasta 750 m para corrección del MWD. MWD + Corrección Axial hasta TD.
ESTUDIOS IFR			
3	Todos los pozos	Fase superficial	MWD + Corrección Axial + IFR
		Fase producción	MWD + Corrección Axial + IFR hasta 750 m. Giróscopo hasta 750 m para corrección del MWD. MWD + Corrección Axial + IFR hasta TD.
4	En pozos problema	Fase superficial	MWD + Corrección Axial + IFR
		Fase producción	MWD + Corrección Axial + IFR hasta 750 m. Giróscopo hasta 750 m para corrección del MWD. MWD + Corrección Axial + IFR hasta TD.
	Resto de pozos	Fase superficial	MWD + Corrección Axial + IFR
		Fase producción	MWD + Corrección Axial + IFR hasta TD.
5	Todos los pozos	Fase superficial	MWD + Corrección Axial + IFR
		Fase producción	MWD + Corrección Axial + IFR hasta TD.

Figura 12.

Estudios IFR

Una de las mayores fuentes de error en registros magnéticos durante la perforación es la falta de conocimiento del campo magnético de fondo.

El campo magnético de la Tierra puede ser dividido en tres componentes:

- a) Campo principal generado en el núcleo de la Tierra.
- b) Variaciones en la corteza debido a rocas locales.
- c) Perturbaciones del campo, debido a corrientes eléctricas en la Tierra y atmósfera superior.

El “campo principal” tiene una variación relativamente lenta que está modelada por el Modelo Británico de Registros Geomagnéticos Globales (BGGM por siglas en inglés). En todo el mundo este modelo es exacto con un margen de 390 nT para el campo magnético total, 0,6° para ángulo dip y 1,3° para la declinación.

Las perturbaciones del campo magnético fluctúan en una escala de tiempo de minutos a horas. El “campo de la corteza terrestre” es esencialmente estático y solamente varía en una escala de tiempo geológica.

Las referencias en campo proveen una forma de estimar el campo magnético de la corteza. Un “registro magnético local” más detallado se efectúa en el campo de interés, a este se le resta la predicción del modelo BGGM para ese día y da como resultado la corrección para el campo de la corteza.

Este “conocimiento del campo magnético local” permite que se mejore la exactitud de los registros de herramientas MWD, tanto para pozos por realizar como

para los que habían sido perforados. Como resultado del estudio detallado, se elaboran y utilizan mapas de correcciones de corteza para el campo magnético total, ángulo dip y declinación. Estas correcciones son aplicadas a los valores obtenidos por el modelo BGGM para tener mejores estimaciones al campo de referencia tomando en cuenta tanto el campo principal como las componentes de la corteza.

Equipo de registros utilizado

Magnetómetro de campo total

Se utilizó un magnetómetro Marine Magnetics Explorer Overhauser en cada punto para asegurar que los alrededores estén libres de cualquier fuente de interferencia magnética y para medir el campo magnético total.

La figura 13 muestra la configuración.

Teodolito magnético

Un teodolito magnético se utilizó para determinar la declinación y el ángulo dip. Esta configuración consiste en un magnetómetro Bartington de un solo eje, precisamente alineado, montado en un teodolito no magnético (figura 14). Las lecturas del magnetómetro son mostradas en una unidad Mag DAM.

Equipo de posicionamiento global (GPS) (figura 15)

Se utilizó un sistema Trimble R6 GPS RTK para medir las coordenadas y posición de los puntos de observación del teodolito y objetos de referencia. Esto consiste de una estación GPS base y una unidad GPS móvil, la cual puede

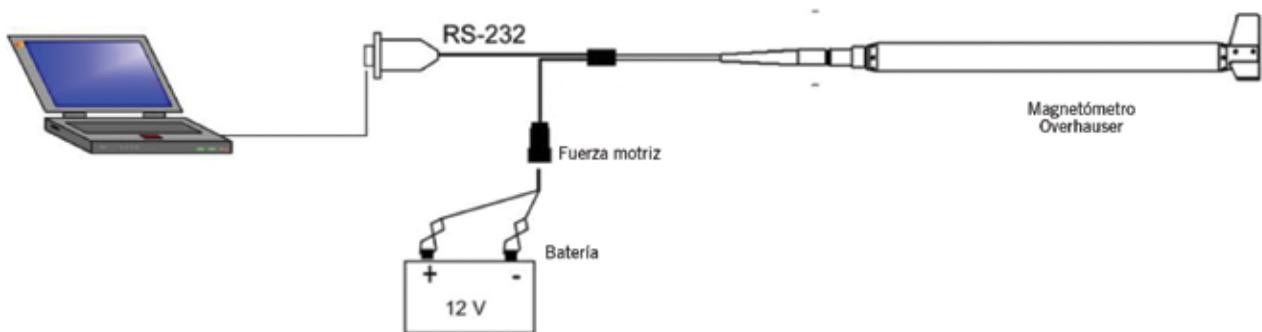


Figura 13. Magnetómetro de campo total Explorer.

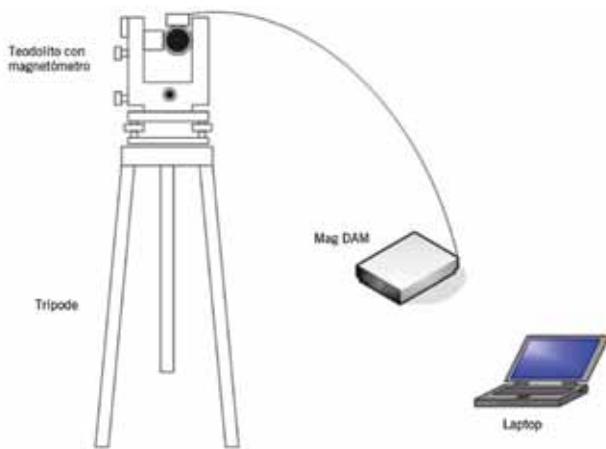


Figura 14. Sistema típico de adquisición de datos magnéticos.

proveer una exactitud de +/- 5 cm en cada punto. Los objetos de referencia se colocan a una distancia suficiente del punto de observación para asegurar que el error angular fuera de $0,1^\circ$ o menos. Donde fue posible, se utilizó la estación de GPS como objeto de referencia. A continuación se muestra la configuración:



Figura 15. Configuración GPS RTK.

Metodología de registro IFR

Metodología de adquisición

El campo fue estudiado con el magnetómetro Overhauser y se verificó el gradiente magnético en secciones de 10 m^2 para asegurar que no existiera interferencia magnética. También se midió el campo magnético total con la misma herramienta. Los registros fueron recolectados para ser promediados y comparados con valores del BGGM. Las lecturas de campo magnético total fueron procesadas como se describió anteriormente.

Se seleccionó el punto de registro en un área despejada, se marcó con estacas para su fácil localización y para posicionarla con exactitud utilizando herramientas de registro RTK referenciadas a la estación base. Los puntos de observación fueron localizados a 200 metros o más del punto de registro y fueron marcados con estacas y posicionados con exactitud.

Se colocó el teodolito para medir las variables magnéticas, registrarlas y compararlas con valores del BGGM.

Las primeras comparaciones de valores medidos se realizaron durante la toma de registros y, después de registrar todos los puntos, los resultados fueron recolectados y procesados para producir mapas de campo magnético total, declinación magnética y ángulo dip del área especificada.

Posicionamiento

La compañía VALE definió el área por estudiar, en donde el modelo de error de MWD asume que en el área donde opera Vale el modelo BGGM es exacto en 390 nT para el campo magnético total, $1,32^\circ$ para la declinación y $0,6^\circ$ para el ángulo dip.

Utilizando el magnetómetro Overhauser y el teodolito magnético se obtienen correcciones de IFR registradas con una exactitud de $0,15^\circ$ para ángulo dip y declinación magnética y 100 nT para campo magnético total, estos son los valores que luego se usan para construir los modelos de error de registros.

Mediciones de campo magnético total

Las mediciones de campo magnético total fueron realizadas con un magnetómetro Overhauser. Los datos del magnetómetro fueron descargados a una *laptop* de campo. Durante la adquisición de datos se verificaron los valores visualmente para asegurar que estuvieran libres de interferencia electromagnética y fueran de calidad. El registro de datos fue depurado y promediado para determinar el campo magnético promedio en el punto de medición con una exactitud de 20 nT .

Al momento de tomar los registros, el campo magnético de fondo fue considerado utilizando los datos obtenidos por la base local magnética, la cual fue instalada en la zona en estudio. A pesar de que los datos del observatorio muestran cambios diarios, en el campo magnético de la Tierra no se presentaron cambios extremos en el campo de fondo durante la toma de registros, lo cual indica que la actividad magnética durante la toma de registros no debería de invalidar ninguna de las mediciones realizadas.

Medición de ángulo dip y declinación magnética

La declinación magnética y ángulo dip se midieron utilizando un teodolito magnético. En cada punto de registro se colocó y niveló con exactitud el teodolito. Luego se rotó horizontalmente para localizar los puntos nulos de campo magnético correspondientes al este y oeste magnético. El visualizar un punto de referencia con una posición conocida permitió que se computaran los valores de declinación magnética.

Apuntando el teodolito al norte y sur magnético y rotándolo verticalmente permitió localizar el ángulo dip al ubicar los puntos magnéticos nulos. Al repetir las mediciones con el sensor sobre y debajo de la mira óptica se asegura que se elimine de los resultados errores por alineación del equipo.

El cálculo de la declinación y del ángulo dip se realizó con una *laptop* de campo y fue comparado con valores del modelo BGGM y con mediciones en otros puntos de registro.

Procesamiento de datos

La declinación y el ángulo dip fueron calculados por mediciones de los ángulos con respecto a puntos magnéticos nulos tanto en vertical (dip) como horizontal (declinación) junto con el ángulo de observación a un punto de referencia conocido y la posición exacta del punto de registro y del objeto de referencia. Este cálculo fue realizado en locación utilizando una hoja de cálculo en una *laptop* de campo. Se realizó una comparación inicial entre los valores calculados y valores del BGGM para descartar cualquier valor cuestionable.

Una vez completados los registros, se recolectaron los

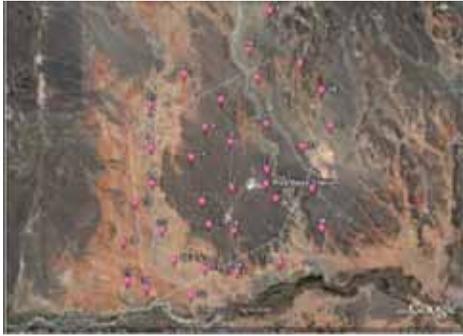


Figura 16. Los 35 puntos de medición definitivos.

resultados para generar mapas de intensidad de campo total, declinación magnética y ángulo dip de la región de estudio.

Resultados

Datos de registros

Durante la etapa de planificación inicial se identificaron 38 puntos por registrar en un área mayor que la requerida. Una vez ubicados en el campo y dadas las dificultades para acceder a algunos lugares, se redujo la cantidad de puntos por registrar a 35, excluyendo principalmente algunos puntos en el área excedente. Los 35 puntos de medición definitivos fueron suficientes para asegurar una buena cobertura de la región (figura 16).

Las figuras 17, 18 y 19 muestran gráficos de contorno generados con los datos procesados.

La aplicación de las correcciones IFR también permitieron utilizar los códigos MWD+IFR (o MWD+IFR+Axial Corr) en los modelos de error de registro, de esta manera se reduce en forma considerable la elipse de incertidumbre propia de registros de MWD solo (o MWD+Axial Corr).

Precisión al centro de objetivo

Con los datos de IFR ya procesados, se realizó el análisis de elipses de incertidumbre para el pozos de alta y media inclinación partiendo de los registros tomados con herramienta giroscópica más MWD con correc-

ción axial y los registros limpios de MWD más corrección axial y corrección por IFR. En el desarrollo de este análisis, se realizaron los cálculos de superposición de áreas de elipses de incertidumbre indicándose los valores y porcentajes de estas, con el fin de observar la las diferencias obtenidas según los dos métodos y de verificar que en ambos casos las elipses de incertidumbres obtenidas se encuentran dentro del rango de área aceptable para intersección del objetivo propuesto.

Estos cálculos se hicieron contemplando las siguientes áreas:

- Área de elipse con giróscopo + MWD.
- Área de elipse con IFR + MWD.
- Área común.

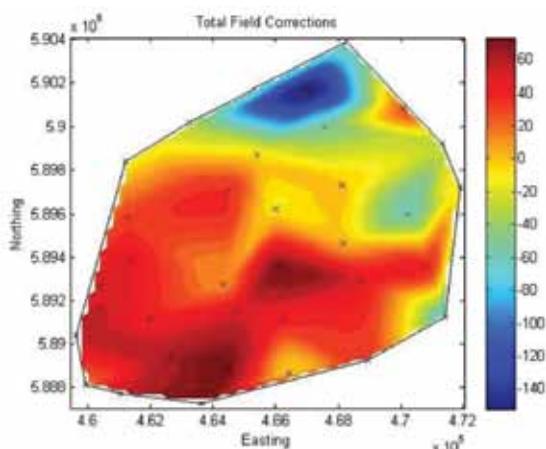


Figura 17. Diferencias de campo magnético total con el BGM.

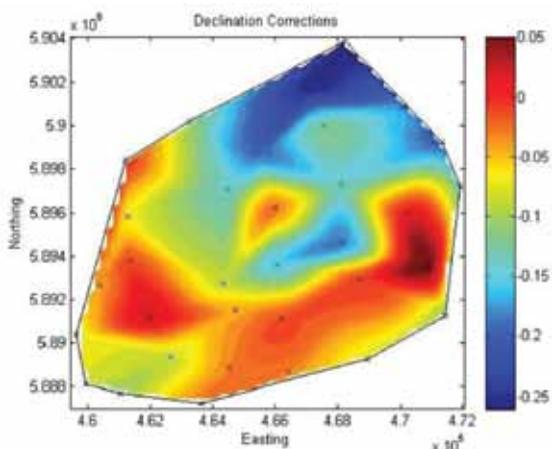


Figura 18. Diferencias de declinación con el BGM.

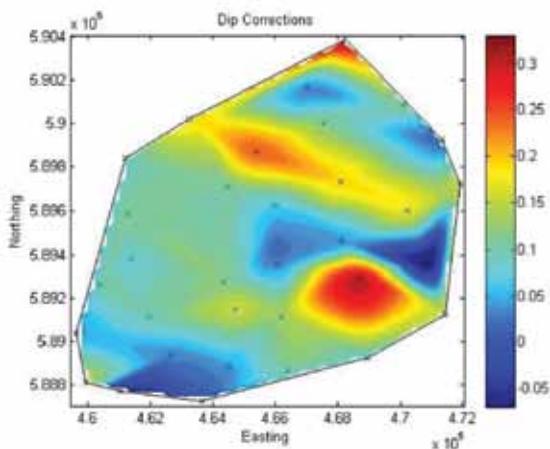
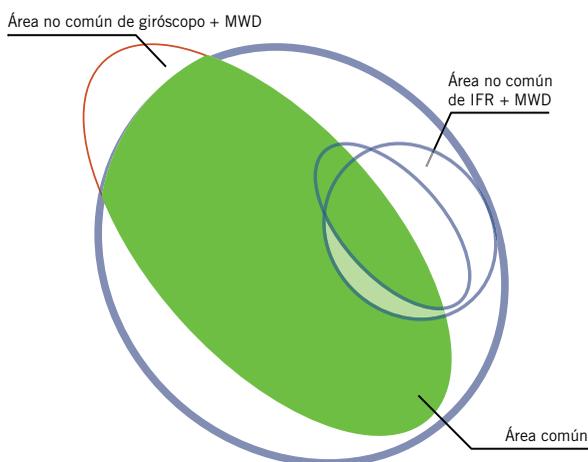


Figura 19. Diferencias de ángulo dip con el BGM.

- Área no común de giróscopo + MWD.
- Área no común de IFR + MWD.

Resultados

A continuación, se muestran los resultados de superposición de áreas obtenidos para ambos tipos de pozos y sus porcentajes, y los gráficos obtenidos a las distintas TVD.



Alta inclinación

Áreas	TVD en metros			
	1012,47	750,00	500,00	250,00
Área elipse c/giróscopo + MWD (m ²)	24,94	20,58	11,70	0,6861
Área elipse c/IFR + MWD (m ²)	37,68	32,67	15,3400	1,3635
Área común (m ²)	22,47	17,8600	8,97	0,6808
Área no común de giróscopo + MWD (m ²)	2,47	2,72	2,73	0,0053
Área no común de IFR + MWD (m ²)	15,21	14,8100	6,3700	0,6827
IFR fuera de objetivo	6,6343			

Alta inclinación

Porcentajes	TVD en metros			
	1008,64	750,00	517,66	130,39
Elipse c/giróscopo + MWD	100%	100%	100%	100%
Elipse c/IFR + MWD	100%	100%	100%	100%
Común relativo al giróscopo	90%	87%	77%	99%
Común relativo al IFR	60%	55%	58%	50%
No común de giróscopo + MWD	10%	13%	23%	1%
No común de IFR + MWD	40%	45%	42%	50%

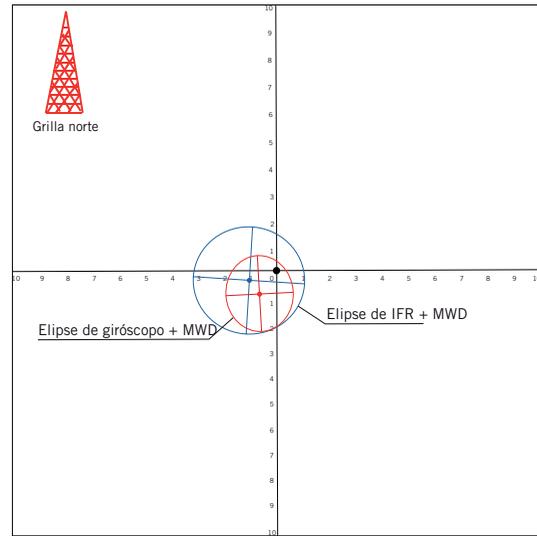
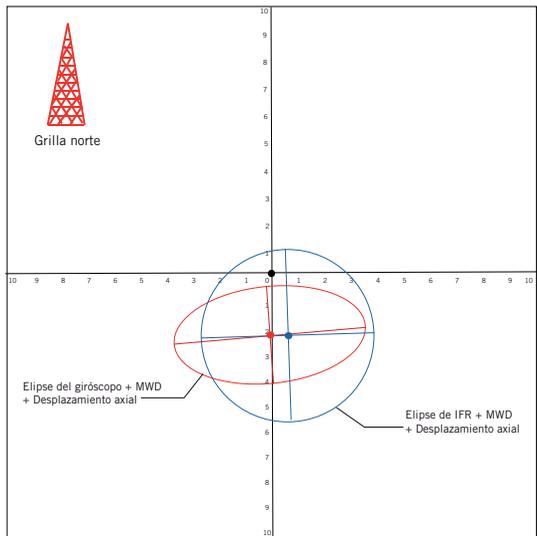
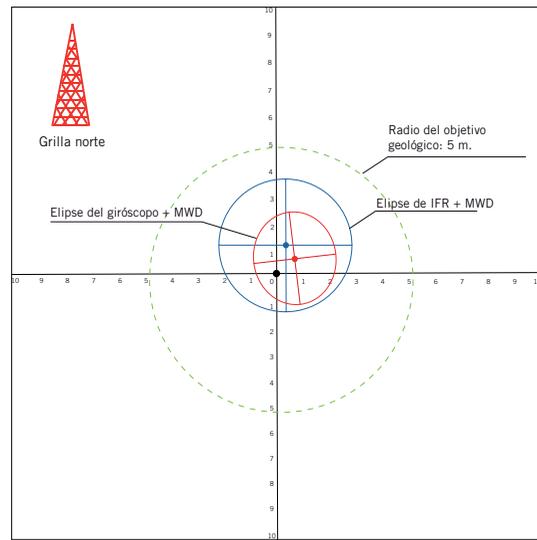
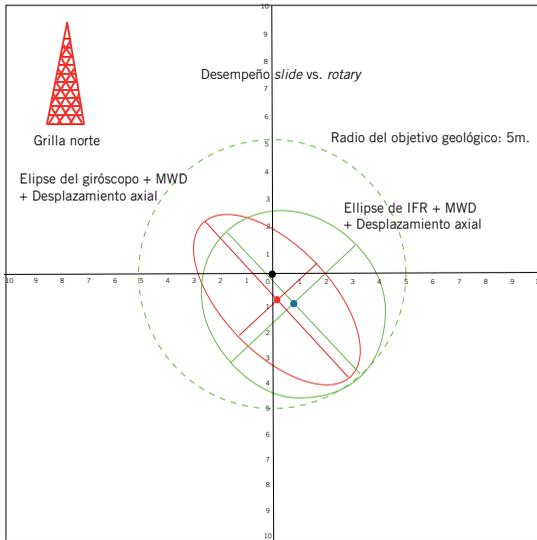
Conclusión

Con la inclusión del modelo de correcciones derivado del estudio de IFR se ha logrado reducir los semiejes de la elipse de incertidumbre a valores tales que la precisión en la consecución del objetivo del proyecto ha dejado de ser un objetivo difícil de obtener y el cual era sólo posible a través de la combinación de mediciones realizadas con herramientas giroscópicas y MWD que representan costos adicionales importantes y también impactan de manera apreciable en los tiempos de operación. De esta manera, la introducción de una alternativa para mejorar la precisión en la determinación de parámetros de cálculo permitió reducir la incertidumbre derivada de las mediciones realizadas con la herramienta de MWD.

Sin lugar a dudas, el continuo análisis y la eliminación de las barreras comunicacionales entre operador y prestador de servicio nos han llevado a un trabajo en equipo en los distintos niveles: operadores de campo e ingenieros de proyecto con la consecuente mejora que resulta en un beneficio mutuo tanto en aprendizaje y experiencia como en la mejora económica del negocio de ambas compañías. ■

Agradecimientos

Los autores agradecen a Weatherford por la autorización para realizar y presentar el trabajo. A Ingeniería de Perforación de Vale S.A, proyecto Potasio Río Colorado, por trabajar junto a nosotros en la preparación de este trabajo. Y a Hugo Garbero e Iván Remy por confiar en ellos para esta labor.



Media inclinación

Áreas	TVD en metros			
	1012,47	750,00	509,50	250,00
Área elipse c/giroscopio + MWD (m ²)	8,4242	5,5257	3,7561	0,9839
Área elipse c/IFR + MWD (m ²)	19,2435	13,0037	5,7243	0,9324
Área común (m ²)	8,4242	5,5257	3,0559	0,3357
Área no común de giroscopio + MWD (m ²)	0	0	0,7002	0,6482
Área no común de IFR + MWD (m ²)	10,8193	7,478	2,6684	0,5967

Alta inclinación

Porcentajes	TVD en metros			
	1012,47	750,00	509,50	250,00
Elipse c/giroscopio + MWD	100%	100%	100%	100%
Elipse c/IFR + MWD	100%	100%	100%	100%
Común relativo al giroscopio	100%	100%	81%	34%
Común relativo al IFR	44%	42%	53%	36%
No común de giroscopio + MWD	0%	0%	19%	66%
No común de IFR + MWD	56%	58%	47%	64%

Glosario

PAD: conjunto de pozos reunidos en una misma locación.
 TVD: profundidad vertical verdadera.
 KOP: punto de inicio de la desviación de un pozo (*Kick-off point*).
 EOB: punto de finalización de la desviación (*End of build*).

DROP: punto de inicio de la verticalización.
 EOD: punto de finalización de la verticalización (*End of Drop*).
 BHA: conjunto de fondo para perforar (*Bottom Hole Assembly*).
 MWD: medición mientras se perfora (*Messure While Drilling*).
 EM-MWD: herramienta electromagnética de medición mientras se perfora (*Electromagnetic MWD*).
 WBM: lodo base agua.
 OBM: lodo base petróleo.
 Telemetry: telemetría.
 PDC: trépano, barren o broca de diamante policristalino compacto. (*Polycrystalline Diamond Compact bit*).
 Stab: estabilizador.
 DC: portamecha. (*Drill Collar*).
 HWD: Barras extrapesadas. (*Heavy Weight Drill Pipe*).
 Sleeve Stab: camisa estabilizadora.
 BHADD: conjunto de fondo direccional.
 JAR: tijera.
 JAR Up: tijera o martillo trabajando hacia arriba.
 JAR Down: tijera o martillo trabajando hacia abajo.
 Motor SRS: motor con estabilizador rotatorio cerca del trépano.
 IFR: estudios en el campo de referencia (*In Field Reference*).