
USO DE SISTEMAS ROTARY STEERABLE (RSS) EN DIÁMETROS GRANDES

Fernando Rueda (PAE) – Raúl Oporto(PAE)
Claudio Lopez (Schlumberger)- Pablo Gancedo (Schlumberger)
Argentina 2007

ABSTRACT: El presente trabajo pretende resumir la experiencia obtenida en la perforación de formaciones duras y abrasivas con diámetros grandes y sistemas direccionales rotativos para mantener verticalidad en secciones iniciales de pozos profundos en el norte de Argentina. Técnicamente involucra desafíos técnicos como la tendencia a la desviación de ciertas formaciones, presencia de vibraciones en la sarta de perforación y el uso de herramientas con materiales especiales para combatir la abrasividad.

1 SUMARIO

La utilización de sistemas Rotary Steerable o PowerDrive* (PD), con tecnología Push the Bit en las distintas etapas, de los pozos profundos en Norte argentino (Macueta 1003), logró una mejora tanto cualitativa y cuantitativa, como balance final de esta operación.

En la fase de 22" se utiliza principalmente un conjunto estabilizado con el fin de evitar el desvío provocado por el alto buzamiento de las formaciones en el área. Este diseño de Conjuntos de Fondo, por lo general, no logra contrarrestar la tendencia natural, por lo que es necesario utilizar herramientas de control direccional. Estas herramientas, consisten básicamente en una alternancia en el método de perforación (orientación & rotación), que por definición, generan una tortuosidad en el perfil del pozo, lo que es el origen de generación de torque, altos arrastres y prematuro desgaste de cañería.

En el caso de Macueta, una combinación de motor y RSS, dio como resultado, un perfil continuo de baja tortuosidad, una operación con menor RPM lo que redundó en un proceso menos agresivo a las cañerías y un ahorro efectivo de tiempo, evitando los tramos orientados.

Se comprobó que, principalmente en los primeros tramos de perforación, al encontrarse cerca de la superficie, el hecho de reducir las revoluciones del Top Drive, colaboraba con la reducción de shock y vibraciones en la columna de perforación.

Un análisis detallado del desempeño del PD en las diferentes etapas, muestra que si bien en sectores particulares como los contactos entre formaciones con alto buzamiento la respuesta del PD decrecía, corrigiendo en los tramos con mayor homogeneidad, independientemente de la dureza de la formación.

La herramienta se mostró muy confiable en su desempeño, siendo los elementos externos (Pads) la limitante en el tiempo de operación, debido a un desgaste prematuro de los mismos. Esto se pudo corregir con el desarrollo de materiales resistentes a la abrasión.

Las ventajas comparativas entre este sistema y el convencional se pueden resumir en los siguientes ítems:

- Baja tortuosidad
- Mínima necesidad de back-reaming ya que las maniobras se realizan sin torques o arrastre excesivo.
- La curva se realizó 100% del tiempo en rotación.
- Los ajustes en la respuesta de la herramienta se realizan sin interrumpir la perforación.
- Las maniobras al finalizar la perforación (correr la cañería, perfilajes, etc.) se realizaron sin inconvenientes en tiempos programados.

2 SISTEMAS ROTATIVOS DIRECCIONALES

La serie de sistemas rotativos direccionales (Rotary Steerable System) proveen tecnología y confiabilidad únicas para todas las aplicaciones de perforación direccional. Estos sistemas optimizan el rendimiento, ya sea que se esté procediendo a la desviación respecto de la vertical en un pozo, que se estén perforando secciones tangenciales, o que se este mejorando el drenaje del yacimiento con operaciones de perforación de pozos de alcance extendido.

El uso de estos sistema minimiza los problemas asociados con la entubación, reduce la posibilidad de que surjan problemas posteriores, tales como un esfuerzo de torsión excesivo de la sarta de perforación ocasionado por pobre la construcción del pozo.

Las herramientas de rotación continua dan como resultado pozos de mejor calidad y más limpios que los sistemas de perforación direccional convencionales.

Además, no se deslizan provocando la formación de capas de recortes, y reducen el esfuerzo de torsión, el arrastre y el desgaste de la tubería de revestimiento a través de la eliminación de grandes severidades de pata de perro (DLS) localizadas.

La construcción de pozos más suaves asegura que las herramientas de adquisición de registros se puedan correr con cable en lugar de emplear el proceso más lento de operación con columna de perforación, en pozos con perfiles 3D.

Dado que operan en modo rotativo, las herramientas RSS reducen la posibilidad de atascamiento, independientemente de la densidad del lodo.

3 SISTEMAS ROTATIVOS DIRECCIONALES POWERDRIVE VORTEX

El sistema rotativo direccional de alto rendimiento PowerDrive* Vortex (PDV) posee una sección de potencia con alto esfuerzo de torsión, totalmente integrada, que transforma la potencia hidráulica del lodo en potencia mecánica. Esta energía, combinada con el esfuerzo de torsión y la rotación de la sarta de perforación proporcionada por la cabeza rotativa superior del equipo de perforación, incrementa significativamente el esfuerzo de torsión útil y la velocidad de rotación en el trepano. La capacidad de esfuerzo de torsión adicional posibilita un mayor peso sobre el trepano, lo que se traduce en mayor velocidad de penetración y conduce a una operación de perforación más económica.

La unidad de control de rumbo y la sección de transmisión del sistema PDV están diseñadas específicamente para cargas operativas altas, lo que asegura un rendimiento consistente y confiable durante carreras extendidas. Comparado con los sistemas rotativos direccionales (RSS) convencionales, el sistema PDV provee esfuerzo de torsión adicional y más revoluciones por minuto, que mejoran la velocidad de penetración, generando así operaciones de perforación más eficaces y carreras más largas. La sección de potencia integrada del sistema PDV rota rápidamente el trepano y, como opción, permite que se reduzca la velocidad de rotación de la sarta de perforación.

Además se reducen el atascamiento/deslizamiento y otros modos de vibración perjudiciales, que son comunes en los sistemas rotativos direccionales convencionales. Toda la energía disponible se utiliza para perforar el hueco en forma eficaz y maximizando la tasa de penetración.

Todas las piezas externas del sistema PDV rotan a la velocidad de la sarta de perforación, lo que reduce el arrastre y ayuda a la limpieza y acondicionamiento del pozo, lo que mitiga el riesgo de atascamiento diferencial o mecánico (empaquetamiento). Para optimizar su rendimiento, el sistema PDV puede estabilizarse en cualquiera de cuatro localizaciones a lo largo de su extensión. Esta elección de localizaciones facilita la adaptación del sistema para responder a todas las necesidades de perforación direccional.

4 OBJETIVOS DIRECCIONALES EN LAS SECCIONES SUPERIORES MAC-1003

- La tendencia natural de las formaciones, en las primeras fases del pozo, es la de incrementar la inclinación. Por esta razón el principal objetivo direccional es mantener la trayectoria del pozo lo más cercano posible a la vertical, mientras se optimiza la tasa de penetración. La medida del éxito se da logrando mantener la inclinación por debajo de los 2° con un Dog Leg Severity < 1°/30 m.
- Originalmente se planeó perforar sin rotación superficial de la sarta. Sin embargo una tasa de rotación baja puede ser dispuesta en superficie entre 15-20rpm. Esto ayuda a preservar la calidad del pozo mientras se logre una buena transferencia de peso. En orden de lograr esto se utiliza una herramienta PD (RSS) junto con un motor de fondo (Configuración PDV).

5 DESCRIPCION DE LAS OPERACIONES MAC-1003

EL pozo Mac-1003 fue perforado de acuerdo al programa en 5 etapas: fase de 28" (@ 376 m), fase de 22" (@ 1855 m), fase de 16" (@ 2646 m), fase de 12 ¼" (@ 4680 m) y fase de 8 ½" (@ 5080 m). Schlumberger D&M participó en cada una de esas etapas contribuyendo con tecnología de avanzada para obtener y optimizar los resultados requeridos por PanAmerican Energy.

En la fase de 28", se trabajó solamente con motores de fondo ensamblados en conjuntos empaquetados. Durante su desarrollo no se encontraron inconvenientes para perforar la formación Las Peñas y mantener el pozo vertical. Por otro lado, se observó una tendencia del conjunto a incrementar ángulo al pasar a la formación Tarija (@ 265 m), aumentando gradualmente hasta alcanzar 2.7° al final de esta etapa.

La fase de 22", donde el PowerDrive* fue usado en su configuración Vortex (con un motor GT) y como "PowerV" (PV) (configurado para mantener verticalidad en todo momento), representó la fase mas desafiante por dos razones: en primer lugar la abrasividad y la dureza de las diamictitas de la formación Tarija no permitieron realizar largas carreras debido al desgaste prematuro de las herramientas (con foco en los trépanos y los pads del PD) derivando en un incremento del número de las mismas. Relacionado con esto se debieron realizar dos carreras extras para limpieza de pozo con el fin de recuperar chatarra metálica proveniente de los pads y los insertos de los trépanos. En segundo lugar se requirió al departamento de ingeniería el desarrollo de un nuevo tipo de pads de alta resistencia a la abrasión, que estaba en etapa conceptual, de los cuales se alcanzo a contar con una cantidad limitada pero resultando con performance marcadamente superior; hoy se comercializan bajo el nombre Lozenge. De todos modos se alcanzo el objetivo de mantener el pozo vertical de acuerdo a lo planeado.

Durante la segunda parte de esta fase hasta el final de la sección, concretamente desde 1606m hasta 1855m, debido a la litología de la formación Tupambi, caracterizada por arenas finas interbedadas con niveles de limolitas, fue posible avanzar con un BHA empaquetado convencional manteniendo la verticalidad del pozo.

5.1 Características de los BHA utilizados

Típicamente los primeros BHA de la sección de 22" fueron conformados de la siguiente manera:

	Name	OD (in)/ ID (in)	Max OD (in)	Length (m)	Cum. Length (m)
1	22" Insert Bit		22.00	0.57	0.57
2	PD 1100 w/Float Valve	11.19	22.00	4.92	5.49
3	21 3/4" DFS	11.00	21.75	2.20	7.69
4	11 1/4" Motor	11.25	12.50	10.16	17.85
5	21 3/4" IB Stabilizer	11.00	21.75	3.00	20.85
6	XO Pin x Pin	11.00	11.00	0.46	21.31
7	Shock Sub	11.25	11.25	4.29	25.60
8	11" Collar (6 joints)	11.00	11.00	55.12	80.72
9	XO Bottleneck	10.75	10.75	1.41	82.13
10	9 1/2" Collar (3 joints)	9.50	9.50	27.94	110.07
11	16" Roller Reamer	9.44	16.00	2.27	112.34
12	9 1/2" Collar (3 joints)	9.50	9.50	28.02	140.36
13	9 1/2" Jar	9.50	9.50	10.08	150.44
14	9 1/2" Collar (2 joints)	9.50	9.50	18.70	169.14
15	XO Bottleneck	9.50	9.50	1.24	170.38
16	8" Collars (3 joints)	8.00	8.00	28.06	198.44
17	XO Bottleneck	8.00	8.06	1.24	199.68
18	5 1/2" HWD (9 joints)	5.50	7.13	84.28	283.96
19	XO Bottleneck	8.06	8.06	1.25	285.21
20	5-1/2 " DPS, Prem.				

5.2 Características de resistencia a la abrasividad de Pads Estandar y Pads Lozenge

Los pads estandar poseen insertos de carburo de tungsteno en el borde de ataque. Estos son menos duros que los compactos policristalinos de diamante térmicamente estables (Thermally Stable Polycrystalline Diamond Compacts o TSP) y están posicionados unos sobre otros en línea. Este arreglo de insertos no provee tanta resistencia a la erosión y al desgaste del material de la matriz alrededor de los insertos generando canales, incluso pudiendo conducir a la perdida del inserto.

Por otro lado los Pads Lozenge poseen insertos de TSP los cuales son significativamente más duros por lo que se desgastan menos. Ellos están dispuestos también sobre el borde de ataque pero con un patrón de disposición diferente, el cual distribuye el flujo del fluido erosivo (lodo y recortes) a través de toda la superficie del pad conduciendo a un menor acanalamiento alrededor de los insertos.



Pad Estandar



Pad Lozenge

5.3 Performance de las carreras

Una vez en la formación los parámetros de perforación fueron ajustados continuamente buscando la mejor performance posible. Las RPM en superficie fueron mantenidas en valores bajos, entre 10 y 20rpm. El caudal y el peso sobre el trepano fue incrementado progresivamente

para mantener controlado la ROP en torno a los 3m/hr y evitar los dogleg excesivos. Los parámetros manejados fueron aproximadamente 845 gpm y 75 klbs respectivamente.

En estas circunstancias se observaron vibraciones esporádicas en superficie (como “bit bouncing”) las cuales fueron mitigadas incrementando levemente las RPM en superficie.

En relación a la litología, la formación Tarija esta representada mayormente por capas de arena al comienzo del intervalo y con un incremento importante en el contenido de diamictita hacia el final.

Habiendo alcanzado la profundidad de 636 m (MD) con 1° de inclinación, ROP 2 m/h y 80 hs de perforación se decidió sacar la sarta de perforación para realizar un cambio de trepano. Una vez en superficie se observó los pads del PD gastados, atribuyendo esto a la excesiva abrasividad de la formación a lo largo de la carrera.

Al siguiente BHA se le agregó una unidad de MWD para poder realizar registros de inclinación en cada conexión y seguir el comportamiento del PD. Nuevamente fueron observadas vibraciones en superficie, debiendo cambiar continuamente los parámetros para mitigar esta situación. Desde el comienzo de la carrera el MWD reportó fuertes vibraciones, mayormente de Nivel 2 (siendo 3 el máximo), incluso cuando no se observaban efectos en superficie. La señal del MWD se perdió a mitad de la carrera pero se continuó perforando hasta lograr las 84.5hs de perforación donde se sacó para cambio de trepano con 1.04° de inclinación. En superficie se observó los pads del PD deteriorados, como así también el cuerpo electrónico del MWD físicamente partido en el interior del portamecha no magnético debido a las vibraciones. El trepano mostraba un avanzado desgaste pero en general de aceptables condiciones.

En total entre los 378m y 1245m se realizaron 6 carreras con resultados similares de desgaste, tanto en el trepano como en los Pads Lozenge. Incluyendo la pérdida de dos pistones en el pozo debido al daño masivo de los mismos.

Entre 1245m y 1606m se realizaron 5 carreras con PD, con pads Estándar, pero sin motor de fondo, para trabajar con menores tasas de rotación, y reducir el esfuerzo sobre los mismos, aunque obteniendo menores ROP. Los parámetros aplicados se vieron afectados por vibraciones y torque errático observado; en general 60-80rpm, caudal 845gpm, torque 15-22Klbs-ft, WOB 65-75klbs.

A partir de los 1606mts y hasta la profundidad de entubado de 1855mts (MD) se realizaron varias carreras utilizando BHA convencional, sin PD, debido a que se observó buena tendencia a mantener ángulo. Sin embargo se continuaron presentando graves daños por vibración en los trépanos y menores tasas de penetración.

La energía requerida para perforar un pozo de 22” en esta formación implica hacer frente a las altas vibraciones inducidas y los graves resultados en el desgaste de las herramientas. En el *Gráfico N°1* se observa la profundidad alcanzada en función de los días de perforación comparado con el plan; mientras que en el *Gráfico N°2* se representa la longitud de todas las carreras por separado. En la *Tabla 1* se encuentra el detalles de todas las carreras de esta sección.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Teniendo en consideración la existencia de sensibles diferencias de los trépanos utilizados, parámetros generales de operación, variable contenido de diamictita a través de la formación Tarija, etc.; podemos comparar los resultados promedio de performance de los BHA en los cuales los PD se encontraban provistos con motor y pads Lozenge vs. aquellos sin motor provistos con pads Estándar, alcanzando los primeros un 50% más de horas de rotación y logrando un ROP 30% mayor respecto a los segundos (Graficos 3.a y 3.b).

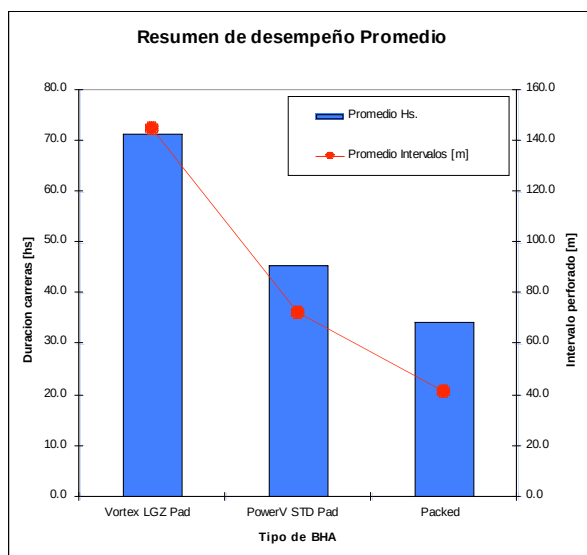


GRAFICO 3.a

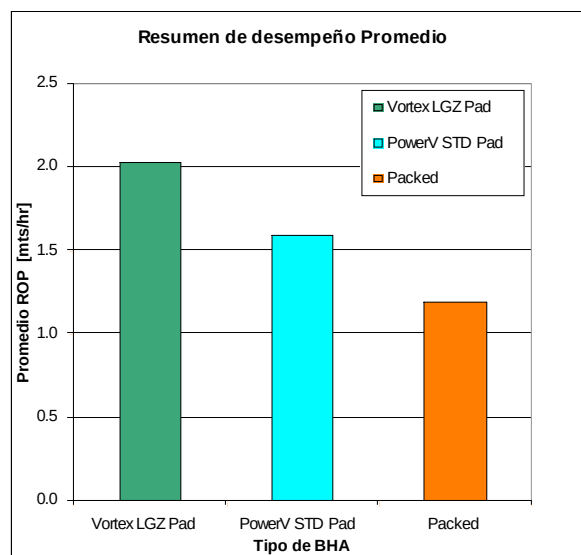


GRAFICO 3.b

- Aunque se observaron vibraciones similares en la etapa de 28” y 22” (“bit bouncing” y “stick & slip”) las cuales fueron manejadas con variaciones en los parámetros de perforación, se

observo en la información grabada y obtenida del PD, que las vibraciones son bajas o nulas en todo el tramo estabilizado del BHA (desde el segundo estabilizador hasta el fondo) mientras que la parte superior, de acuerdo a los daños observados en el MWD, son mayores. Por otro lado el uso de amortiguador reduce notablemente el “bit bouncing” y debería ser incorporado en todos los BHA como una medida de prevención y mitigación, ya que una de las carreras fue realizada sin esta herramienta y fue necesario cambiar el conjunto de fondo

- La ROP decrece considerablemente donde la diamictita (Fm. Tarija) constituye la principal litología. También la tendencia a incrementar ángulo es mayor. De cualquier manera el sistema RSS (PD configuraciones Vortex or PowerV) son capaces de mantener el pozo vertical (*Grafico 4.c*). Teniendo en cuenta estas consideraciones y de acuerdo a los registros de inclinación, el comportamiento es mejor al comienzo de las carreras, perdiendo capacidad de respuesta a medida que avanza el proceso normal de desgaste de los Pads. Como se concluyó en el primer punto es necesario usar los pads de mayor resistencia a la abrasión para prevenir un desgaste prematuro que pueda desencadenar (como sucedió) la pérdida de los pistones en el pozo, los cuales dañan el trepano aun más y causan carreras extras para limpieza del pozo.
- La configuración PowerV (sin motor de fondo) para reducir las RPM ayudo a preservar los pads en la sección mas abrasiva de Tarija.
- Una vez que la formación Tarija fue atravesada, fue posible perforar la Fm. Tupambi con un conjunto convencional empaquetado sin observarse incremento en la desviación del pozo.
- Los dogleg (intensidad del cambio de dirección) observados fueron en general por debajo de 0.5°/30mts, con máximos aproximados de 1°/30mts (*Grafico 4.a*), lo que permitió generar una baja tortuosidad (*Grafico 4.b*)
- Por el control permanente de desviación y los bajo doglegs generados por el sistema RSS el Índice de Dificultad Direccional se mantuvo en 5.01 por debajo del planeado 5.03.

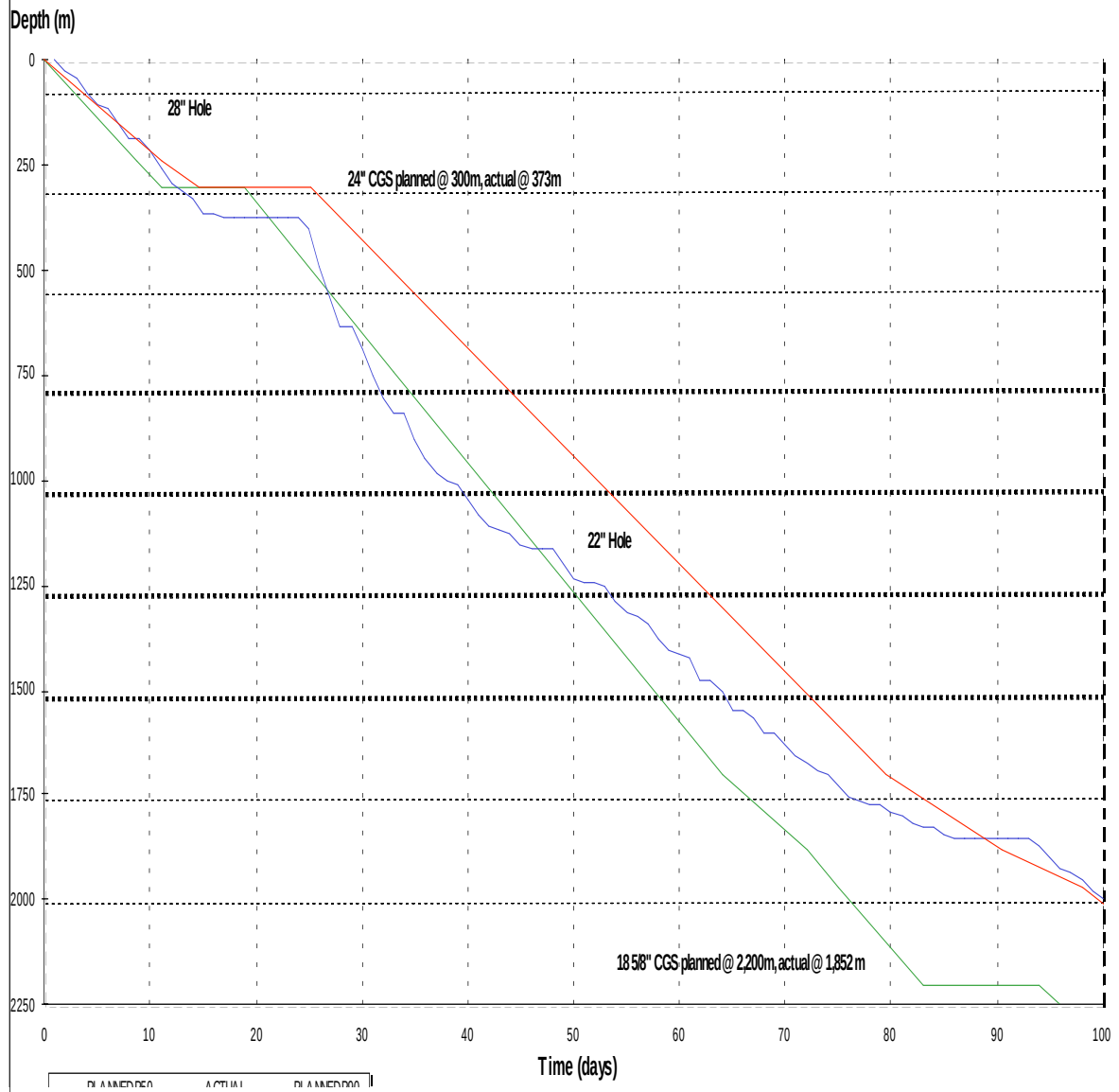


GRAFICO N° 1

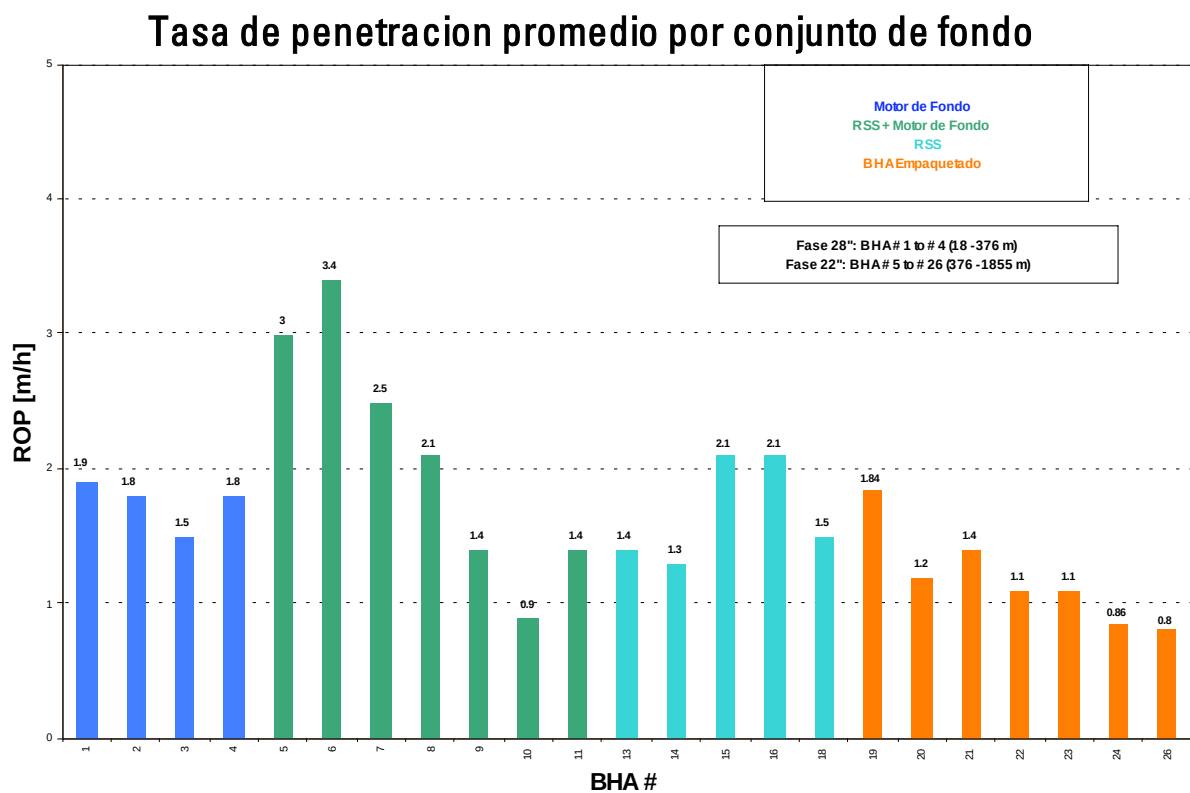
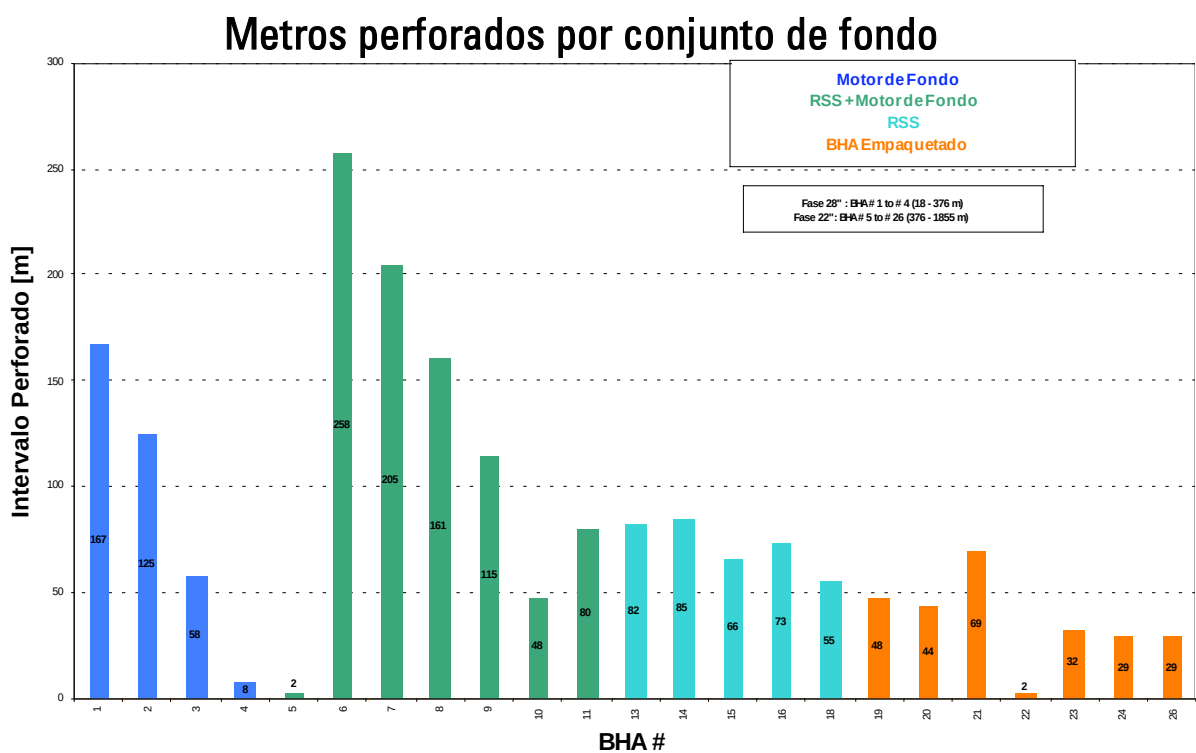


GRAFICO N° 2

Graficos Comparativos

DLS (Severidad de DogLeg) Planeado vs. Actual
Tortuosidad Planeada vs. Actual

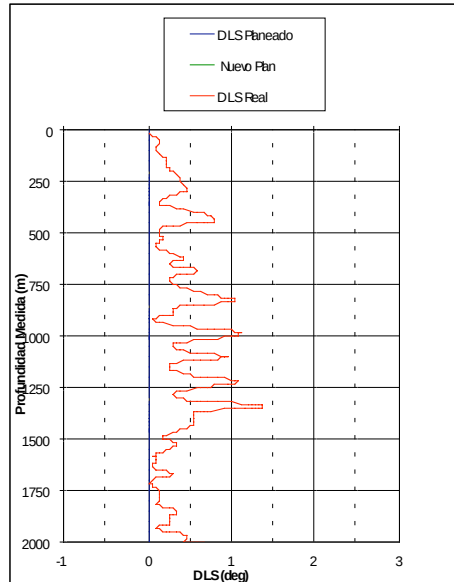


GRAFICO N° 4 a

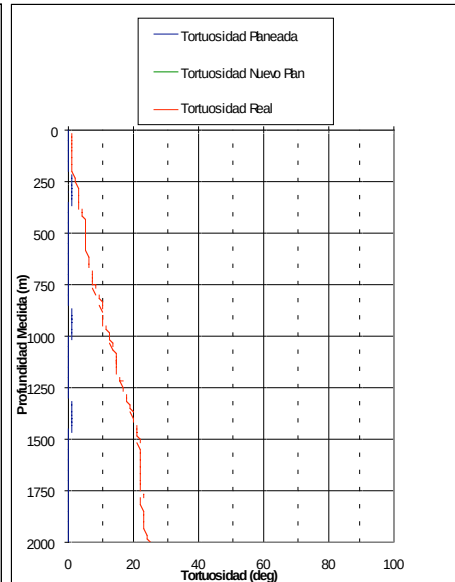


GRAFICO N° 4 b

Índice de Dificultad Direccional (DDI):

3.33 PlanOriginal
5.03 PlanNuevo (Nov22)
5.01 Actual

Graficos Comparativos

Inclinación Planeada vs. Actual
Azimuth Planeado vs. Actual

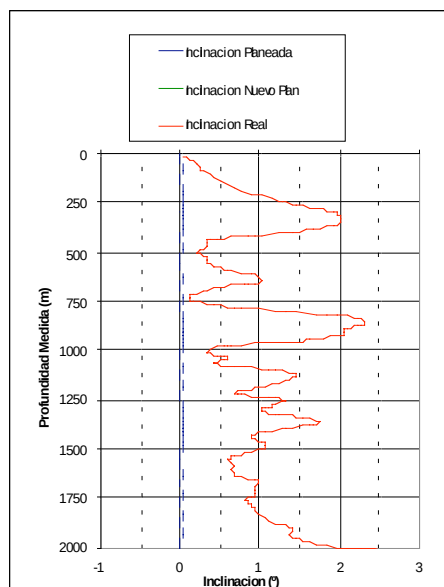


GRAFICO N° 4 c

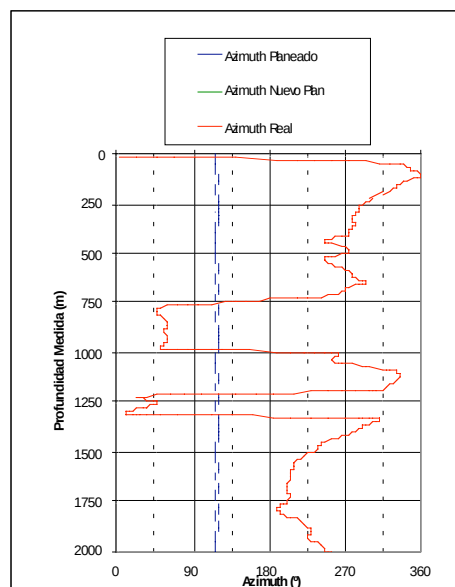


GRAFICO N° 4 d

GRAFICO N° 4

Macueta e-1003 Run Summary

Phase	BHA #	Bit	IADC	Drilled			Inclination		WOB			ROP	Formation	Litho	Dull grading	Remark
				DBM tool	From	To	Interval	In	Out	Min	Max					
R	1	GTX-C3MS00X	45	PDM	8	18	19	02	10	25	30(3)	23	Las Perlas	f-4 ss, slt, f-4 ss	32R-AE-I-RG-PR	Partial mud loss, hard vibration
	2	GTX-C3MS00X	45	PDM	15	30	32	17	213	30	55(6)	19		diam, f-m ss	32R-AE-I-RG-PR	Change in built up tendency, hard vibration
	3	GTX-C3MS00X	45	PDM	30	38	38	8	29	30	50	15		f-m ss (to the end > diam)	23MT-AE-I-QC-PR	
	4	GTX-CM61	15	PDM	38	35	8	-	30	30	35	18	-	f-m ss, diam	23MT-AE-HC-TD	
Z	5	GTX-AMPOT00X	45(1)	Vortex	35	38	2	-	-	-	-	-	-	f-m ss, 520m < diam	25RG-GE-I-HC-HR	Mud loss - 2 nd emt job
	6	GTX-AMPOT00X	45(1)	Vortex	38	65	26	17	08	30	75	34	-	diam, f-m, g ss	33WT-AE-I-HC-HR	Wornout pads
	7	GTX-AMPOT00X	45	Vortex	65	84	26	12	10	50	75	25	-	4-f-m ss, diam	36RG-GE-I-CT-HR	B. bouncing, broken MMO, w. pads
	8	GTX-AMPOT00X	45	Vortex	84	102	18	25	10	50	75	21	-	< diam > slt, diam	48RG-GE-I-WT-HR	Sporadic b. bouncing, w. pads 2 stabs US
	9	GTX-AMPOT00X	45	Vortex	102	117	15	04	12	60	75	14	-	< diam > slt, cist	68RG-GE-I-CT-PR	W. pads litho alternance -> high var. in TQ & SPP
	10	MGS00001D	45	Vortex	117	115	4	-	16	60	75	09	-	< diam, slt		Selected bit acc. to expected litho < sst
																litho alternance > high var. in TQ & SPP
																w. pads (shaped)
	11	GTX-AMPOT00X	45	Vortex	115	125	80	-	08	50	70	14	-	< diam, levels of slt	48RG-GE-I-BT-TQ	01216.5 mechanic stuck pipe (2 nd stab) 01245 m mechanic stuck pipe (twice below DMM-w/ stall-) 2 lost pistons from PD
	12	Mill & junk basket														
	13	GTX-AMPOT00X	45	PowerV	125	127	82	-	13	50	75	14	-	diam, f-m ss	25RG-GE-I-BT-HR	Sporadic b. bouncing & erratic TQ, w. pads
Z	14	GTX-AMPOT00X	45	PowerV	127	142	85	-	19	70	75	13	-	cist, diam	25RG-GE-I-BT-HR	High TQ in transition to Tajiia II , w. pads
	15	GTX-AMPOT00X	55	PowerV	142	148	6	-	09	85	90	21	-	> dim, < cist, ss	22WT-GE-I-CT-UG	Litho alternance > high var. in TQ, pads in good cond.
	16	GTX-C3MPOT310DX	45	PowerV	148	151	23	-	08	-	90	21	-	f-m 8-m-c ss (to the end congl.)	64BT-MGE-I-CT-PR	Wornout pads
	17	Mill & junk basket														
	18	GTX-AMPOT00X	45	PowerV	151	155	55	-	06	60	80	15	-	f-m ss with levels of diam	55BT-ME-I-CT-RG-PR	W more than 80lbs > erratic torque, w. pads
	19	GTX-C3MPOT310DX	45	Packed	155	164	4	-	08	65	75	18	-	f-m ss (> cist)	23BT-GE-I-CT-RG-TQ	Low disposal of PD (a bckp at loc. only if INC > 2 deg
	20	MGS0000C	55	Packed	164	168	4	-	05	80	80	12	-	m ss, downwrd < diam & cgl	54E-ME-I-CT-WT-HR	sporadic TQ b. bouncing and whirl.
	21	GTX-AMPOT00X	55	Packed	168	179	6	-	1	60	80	14	-	cgl, downwrd < f-m ss > slt	48RG-GE-I-BT-TD-HR	TQ & whirl problems
	22	GTX-C3MPOT310DX	45(1)	Packed	179	179	2	-	05	80	90	11	-	-	120C-AE-I-CT/TRRG-PR	Stabs US at the end of the run
	23	GTX-AMPOT00X	45	Packed	179	181	32	-	05	70	90	11	-	f-m ss, downwrd < diam	52BT-ME-I-CT-PR	POOH for low ROP
	24	MGS1000DL	45	Packed	181	185	24	-	07	40	60	08	-	4-f ss interbedded w/ cist	25RG-GE-I-BT-CT-HP	sporadic erratic TQ
	25	GTX-AMPOT00X	45(1)	Slick	-	-	-	-	-	-	-	-	-			MM inc. from 93 to 88ppg.
	26	GTX-AMPOT00X	45(1)	Slick	185	185	30	05	1	50	90	08	-	4-f ss interbedded w/ cist	12RG-GE-I-BT-TD	BHA w/o shock absorber, imposes. to drill due to severe bit bouncing
	27	GTX-C3MPOT310DX	45(1)													TQ decrease from 5 to 13K lbf
															Conditioning borehole	

TABLA N° 1