



Los campos maduros se caracterizan por tener un gran número de perforaciones que aumentan cada día. Debido a la búsqueda constante de reducir el impacto ambiental y alcanzar objetivos que se encuentran en zonas inaccesibles en forma vertical, se perforan pozos dirigidos. De igual manera, se hace cada vez más difícil poner puntos de salida en superficie, por eso surge la necesidad de flexibilizar las distancias de alcances o sección vertical de los pozos dirigidos para poder llegar desde una zona superficial reducida a varios objetivos.

En la cuenca del Golfo San Jorge se presentaron dos necesidades que requirieron un trabajo enfocado en el avance de las distancias de alcance de los pozos dirigidos. Por un lado, en la zona de Restinga Alí se necesitaba llegar a objetivos ubicados bajo el lecho marino y se debía perforar desde la costa; por el otro, en la zona de Bella Vista se encontraron objetivos justo debajo de la ciudad de Comodoro Rivadavia; como se trata de una zona urbana, los puntos de salida a esos objetivos tuvieron que ser los alrededores.

Asimismo, en la Cuenca Austral la situación presentó restricciones desde el punto de vista de la contaminación visual en una zona de reserva natural. En la zona de Lago Fuego debíamos ubicar los puntos de salida en zonas alejadas de los objetivos, ya que estos se encontraban muy cerca al lago y la vegetación de sus alrededores.

En la implementación de estos trabajos encontramos distintas dificultades que no habíamos tenido antes en la perforación de pozos que presentaremos aquí. También profundizaremos en los caminos y las experiencias que nos llevaron a cumplir exitosamente cada situación, con aciertos y errores que sirven para mirar este tipo de aplicaciones como posibles.

Desarrollo

Los pozos dirigidos son una aplicación muy frecuente en la cuenca del sur, la razón no tiene que ver precisamente con el aprovechamiento de los reservorios, sino con la imposibilidad que tenemos en ocasiones de llegar a los objetivos en forma vertical. Los reservorios son lentificables y, en la mayoría de los casos, es preferible atravesarlos en forma vertical.

La arquitectura general hasta 2015 era de dos cañerías dispuestas según la tabla 1.

En los últimos años, al extenderse cada vez más el alcance o sección vertical de los pozos dirigidos (mayores a 500 m) y mantener los mismos recursos, muchas veces los equipos no cumplían con los requerimientos de tracción y torque para realizarlos.

Esto se puede observar en la figura 1 donde se mues-

Este trabajo fue seleccionado en el marco del 4° Congreso Latinoamericano de Perforación y Terminación del IAPG, realizado en noviembre de 2021.

Pozos dirigidos de gran sección vertical en cuencas del Golfo y Austral

Por **Juan José Córdoba** (YPF S.A.)

En este trabajo se comparten los resultados y las lecciones aprendidas en la aplicación de herramientas de simulación, visualización de parámetros, buenas prácticas y acciones de mejora continua para la reducción de tiempos operativos en la perforación pozos dirigidos de gran sección vertical mayores a 800 m.

Pozo [in.]	Diámetro revestidor [in.]	Prof. asentamiento [m TVD]	Justificación de asentamiento
12 ¼-13 ½	9 5/8	200-600	Aislar acuíferos de agua dulce y proveer integridad de zapato necesaria para siguiente fase.
8 ¾	5 1/2	1150/3000	Aislar las zonas productivas/inyección

Tabla 1.
Nota: la profundidad que no se aclara, se asumirá que se refiere a la MD (Profundidad Medida).

tran tres pozos con distintas secciones verticales: 300 m, 700 m y 1100 m. En verde se pueden observar la magnitud de la fuerza lateral resultante, lo que amplifica, con el factor de fricción, la tracción vista por la torre.

Una forma de disminuir los arrastres finales de trayectoria fue extender la cañería guía hasta una longitud que aislara el tramo del pozo abierto de la primera curva que genera altos esfuerzos laterales y disminuir así las fricciones resultantes en la sarta de perforación.

Como se puede observar, en la figura 2, a la izquierda se cubre con la cañería guía toda la primera curva de la trayectoria, que se ve traducido en las curvas de tracción de la derecha (Figura 3).

Vemos en esta curva de carga en el gancho, que con una cañería guía fuera de la primer curva del pozo, con



Figura 1.

zapato en 500 m en este caso, la tracción es de aproximadamente 185 tn. Cuando movemos la cañería guía a 1300 m MD, este valor baja a 165 tn. Si seguimos extendiendo hasta, por ejemplo, 1800 m, el valor no baja significativamente. Se deduce que solo debemos cubrir la primera parte de la curva para alcanzar una disminución significativa. Lo que se desee bajar en cubrir el pozo abierto más allá de esta situación dependerá de algún requerimiento particular, como encontrar un tramo arcilloso, límites de zona de interés, conveniencia de maniobras cortas en la próxima sección, cubrir zonas de admisiones que puedan resultar en dificultades en la próxima

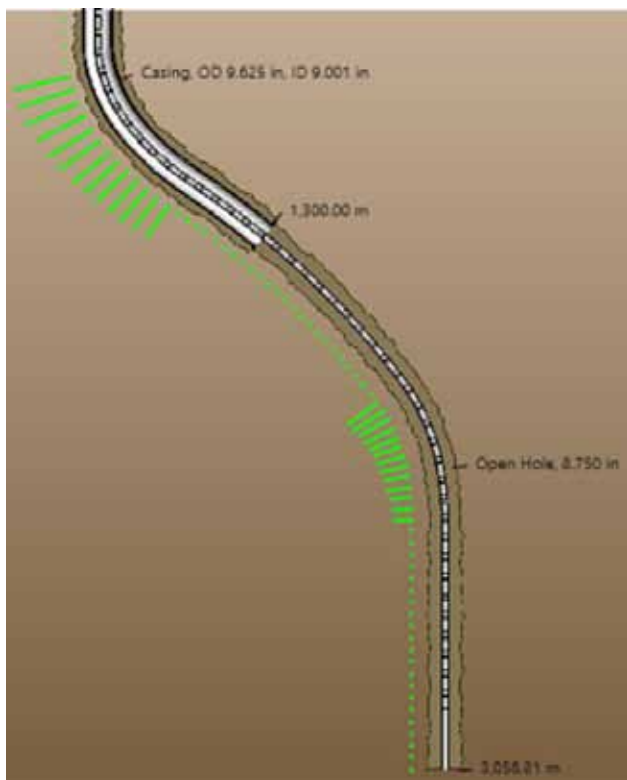


Figura 2.

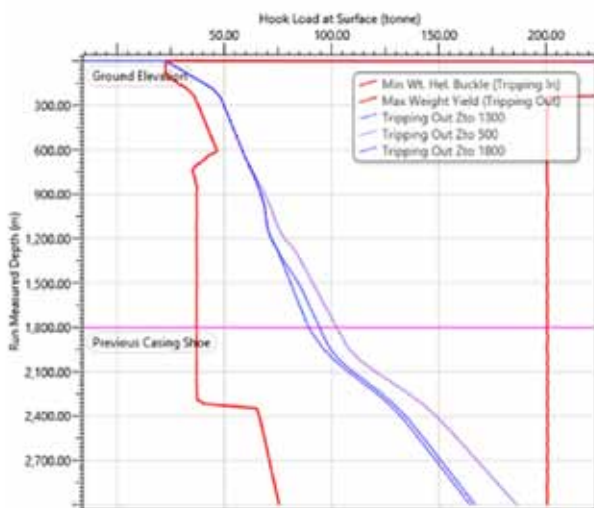


Figura 3.

sección, etc. Recordemos que no hay inconvenientes de kick tolerance en estas aplicaciones en el asentamiento original.

En algunos casos se debe colocar una cañería más de 13 3/8" (Pozo 17 1/2") a una profundidad entre 60 m y 100 m para poder montar un diverter y tener la posibilidad de redirigir algún influjo de agua, si así lo indican los antecedentes de la zona.

También hay que considerar que si el tramo que se desea perforar para dejar la cañería guía de 9 5/8" tiene características que no permiten perforar con lodo básico agua-bentonita-detergente, debemos aislar primero los acuíferos superficiales, si los hubiera. Por esto sería necesario utilizar una cañería de 13 3/8" para aislarlo y



Figura 4.

después continuar con la sección de 9 5/8".

A continuación veremos casos particulares en los que se utilizaron los sistemas mostrados.

Comencemos con el primer antecedente de este tipo de aplicación, que surgió en la zona de Restinga Alí, un yacimiento ubicado en Comodoro Rivadavia, Chubut. En esta zona se buscaba llegar a objetivos ubicados bajo el lecho marino partiendo desde la costa (Figura 4).

Este pozo formaba parte de un proyecto más grande que se pretendía perforar, o bien contratando una plataforma o construyendo islas sostenidas por pilotes en el mar. Por último esta forma fue descartada, y se decidió estudiar la posibilidad de perforarlos desde tierra.

La trayectoria programada se muestra en la tabla 2.

MD (m)	CL (m)	Inc (°)	Azi (°)	TVD (m)	V.Sec (m)	Dogleg (°/30m)
0	0	0	0	0	0	0
170	170	0	360	170	0	0
572	402	40	170	540	135	3
1250	678	40	170	1059	571	0
1888	638	40	170	1548	980	0
2095	207	32	170	1716	1102	1
3017	922	32	170	2500	1586	0

Tabla 2.

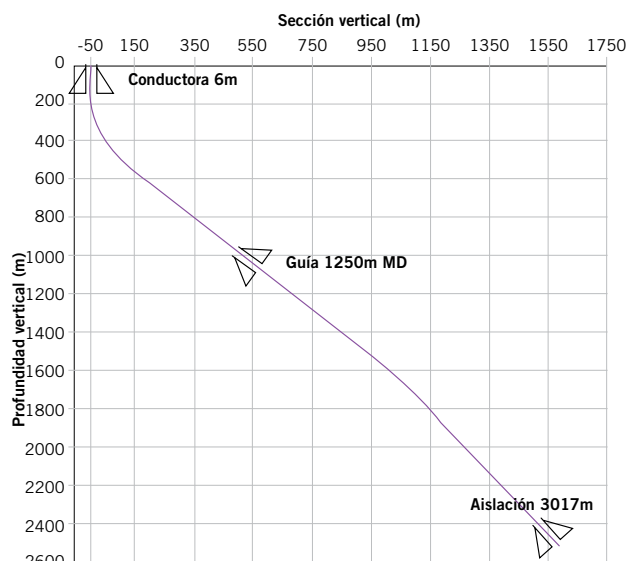


Figura 5.

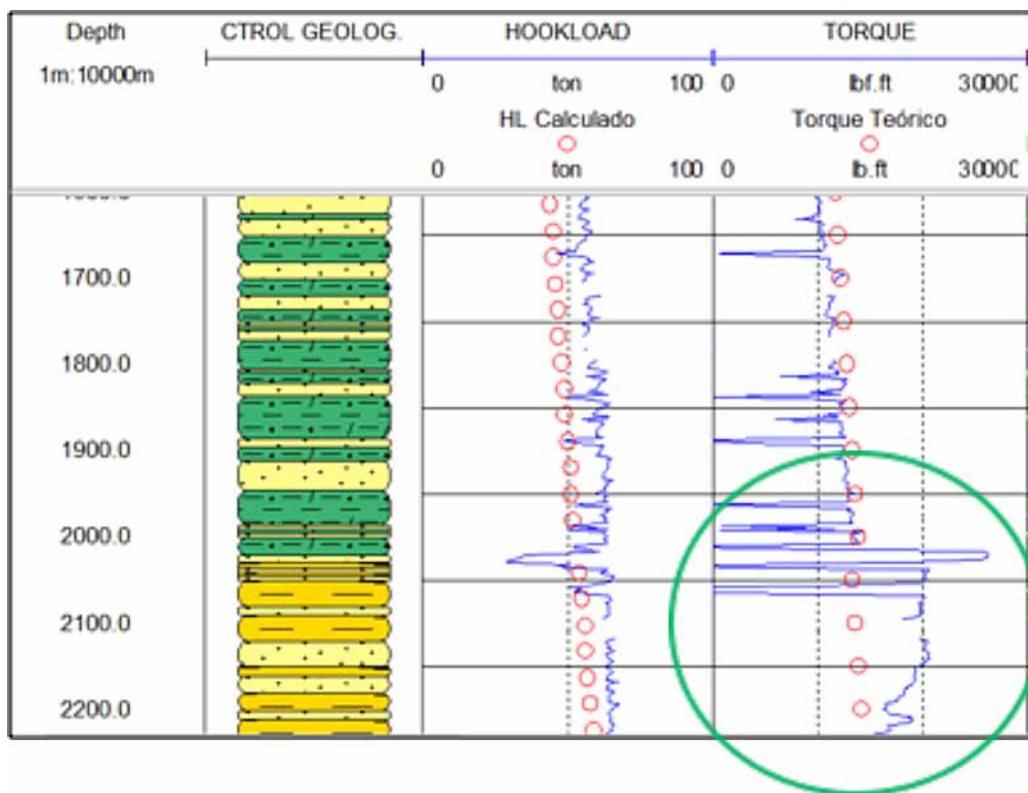


Figura 6.

Este pozo tuvo una cañería conductora de 13 3/8 in en 60 m, con el fin de montar un diverter debido a la posibilidad de ingreso de agua somera en el tramo guía que fue perforado con 12 1/4 in. Luego se colocó una cañería guía de 9 5/8 in a 1250 m, con fines de reducción de tracciones para la sección de aislación, como se explicó anteriormente. Y por último la cañería aislación de 5 1/2 in colocada en 3050 m MD.

En este trabajo solamente se describirán los problemas que se consideran consecuencia de la trayectoria y la arquitectura del pozo. Este fue el primer pozo con alta sección vertical que se perforó. Contábamos con un equipo perforador HH-220 hidráulico de 1200 HP, una capacidad de tracción dinámica máxima de 160 tn, un *top drive* de 750 HP y torque máximo de 25.000 lb.ft.

Sección aislación: perforando desde 1850 a 2000 m se observa cambio abrupto en los valores de torque (Figura 6).

Elemento	BHA (1273-2000)	BHA (2000-2590)
Heavy weight 5 in	6	6
Drill collar 6 1/2 in	2	1
Jar 6 1/2 in	1	1
Drill collar 6 1/2 in	14	8
Sub 6 1/2 in	1	1
Drill collar 6 1/2 in	1	1
Drill collar 6 1/2 IN	1	1
MWD 6 3/4 in	1	1
Stabilizer 8 1/2 in	1	1
Mud motor 6 3/4 in	1	1
Bit 8 3/4 in	1	1

Tabla 3.

Como se observa en la figura 6 la curva representada con círculos rojos huecos es la curva de torques programada, que en el plan tenía un cambio de BHA por uno más flexible (Tabla 3).

El cambio se realizó, pero los torques, a pesar de la maniobra de calibre que limpió el pozo y el BHA más flexible, siguieron en aumento. Debido a esto y sabiendo

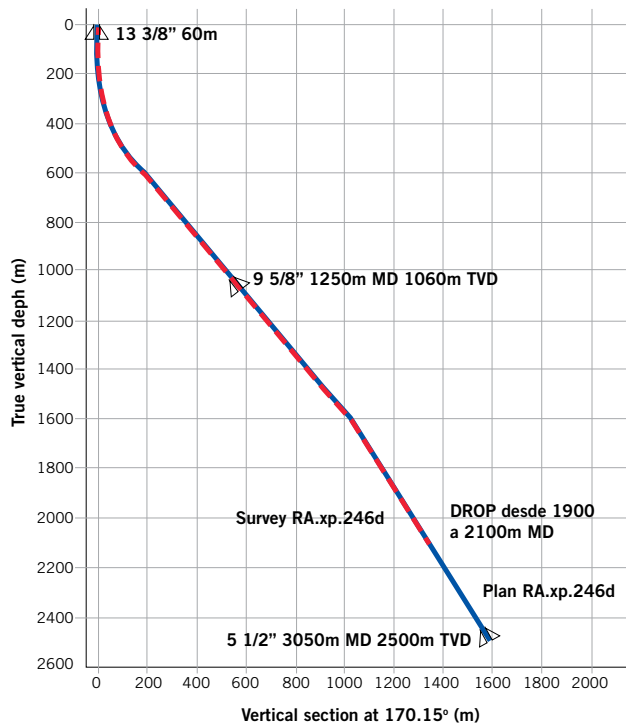


Figura 7.

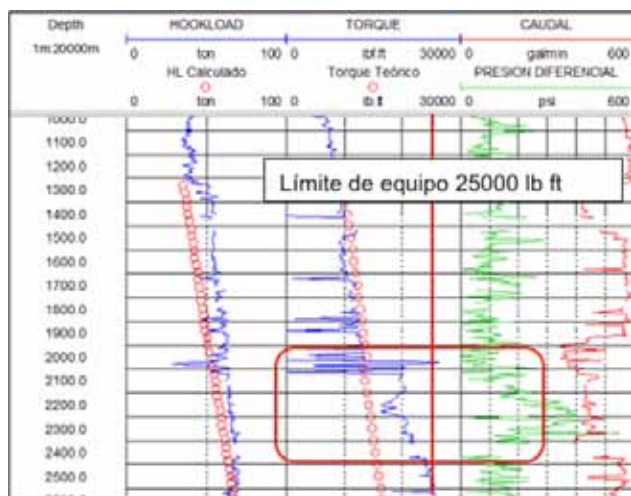


Figura 8.

que el equipo tenía un límite que se estaba sobrepasando (25.000 lb.ft), se decidió cortar el pozo llegando a una trayectoria (Figura 7).

Como se observa en la figura 8, debido a que presenta valores de torque mayores al límite del equipo a una profundidad de 2500 m MD, se decide terminar el pozo cuando faltan 500 m programados por perforar.

Durante las maniobras de calibre posteriores y luego de muchos viajes de calibre, no se logró estabilizar el pozo, a partir de los 2000 m siempre se encontraron asentamientos y repasos con abundante *cutting* en los retornos. Hay que recordar que en esta profundidad señalada es la zona de Drop de la trayectoria. De igual manera se presentaron altos torques, en cada bajada de BHA.

En la tabla 4 se muestra un resumen de los BHA utilizados.

Por último, se bajó solamente un trépano tricono de 7 7/8 in y el sondeo de 5". Con este BHA se tuvieron los mismos resultados en la bajada que con los otros BHA: Alto torque y abundante *cutting* por zaranda a partir de los 2100 m MD.

Se decide terminar el pozo, perfilar (asistido) y entubar con una cañería de 5 1/2" con conexión premium con capacidad de torque (la originalmente programada era la conexión 8RD) y un equipo de rotación para que, en el caso de que se requiera, tener mayor capacidad de torque. La cañería bajó sin necesidad de rotar.

El sistema de lodo utilizado fue base agua (sistema PHA+poliamina+yeso), con densidades que variaron entre 1060 g/l a 1150 g/l. En la zona de abundante recorte por zaranda había presencia de arcilla y toba arenosa.

Debido a la falta de datos de perfil, respecto a un registro de *caliper* que pudiera dar idea de cerramiento u ovalización, no se pudo concluir si había problemas de geomecánica, y así definir una ventana de operación distinta.

Respecto a la cementación, no hubo movimiento de cañería, no se encontró registro de centralizadores instalados y los resultados fueron de regular a malo. La operación se terminó con una presión final 330 psi por encima de la programada. El perfil de cemento fue malo salvo en la zona de 2.

Luego de esta experiencia, y después de muchas reuniones en las que se analizaron aspectos como los BHA utilizados, los sistemas de lodo, la calidad de maniobras, el análisis de trépanos, la litología, no se logró encontrar una explicación. Un tema que se debió tener en cuenta fue que las tracciones se comportaban cercano a lo programado, solo el torque presentaba un comportamiento raramente distinto.

Se concluyó que, para estimar los torques en superficie en los siguientes pozos de la zona se utilizaría un modelo de tortuosidad, con el objetivo de enfocar en la zona de Drop una variación en estos valores. Si bien estas variaciones podrían reflejarse a través de los factores de fricción, al no concluir que este comportamiento era producto de la limpieza de pozo e interacción de las

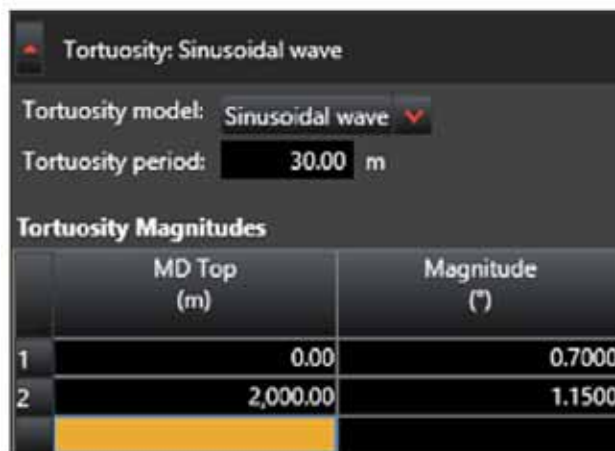
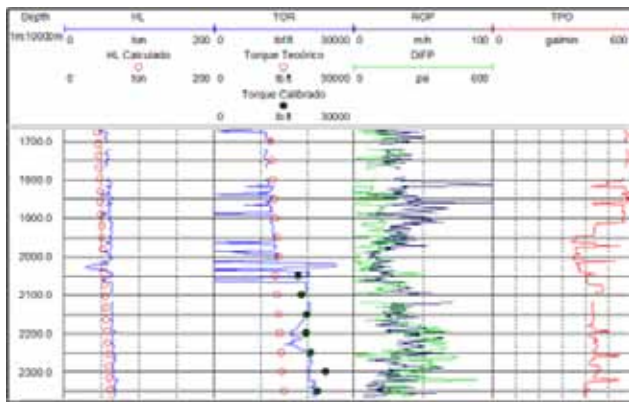


Figura 9.

Elemento	BHA (1273-2000) PDC 8 3/4 in BH 1.15°	BHA (2000-2590) PDC 8 3/4 in BH 1.15°	BHA (intento de seguir) PDC 8 1/2 in BH 0°	BHA (intento de seguir) PDC 8 1/2 in BH 0°	BHA (intento de seguir) PDC 8 1/2 in BH 0°
Heavy weight 5 in	6	6	6	6	6
Drill collar 6 1/2 in	2	1	1	1	
Jar 6 1/2 in	1	1	1	1	1
Heavy weight 5 in					18
Drill collar 6 1/2 in	14	8	8	8	2
Spiral no magnetic drill collar 6 3/4 in	1	1	1	1	1
No magnetic drill collar 6 3/4 in	1	1	1	1	1
MWD 6 3/4 in	1	1			
Stabilizer 8 1/2 in	1	1			
Mud motor 6 3/4 in	1	1	1	1	1

Tabla 4.



herramientas con la formación y el lodo base agua utilizado, se separó el fenómeno identificándolo a través del modelado de una tortuosidad en el pozo para futuras aplicaciones.

El modelado quedó como se observa en la figura 9.

Así podemos predecir los valores que tendremos con pozos de estas características en la zona de Restinga Alí.

Al introducir este modelo de tortuosidad en los valores estimados de torque da los resultados que se pueden observar en la figuras 14 y 15.

No hubieron otros pozos en lo inmediato para poder seguir el camino de aprendizaje ante esta situación. Para encontrar una situación similar tuvimos que esperar hasta 2017 en Lago Fuego, Tierra del Fuego. Este yacimiento se encuentra al sur de la ciudad de Río Grande (Figura 11).

La zona de Lago Fuego presenta vegetación debido a la cercanía con el lago, en consecuencia existen muchos objetivos difíciles de alcanzar en forma vertical, ya que se encuentran en zonas sensibles que debemos cuidar



Figura 12.

desde el punto de vista del medio ambiente. El ejemplo del LF-1 se muestra en la figura 12.

Como se observa, el objetivo de este pozo se encuentra al borde del lago: el pozo tiene como objetivo arenas de gas en la formación denominada Springhill, también llegar a la sección tobífera en el fondo y realizar fracturas hidráulicas para mejorar la permeabilidad. Comenzaremos por la trayectoria que se diseñó (Tabla 5, Figura 13).

MD (m)	CL (m)	Inc (°)	Azi (°)	TVD (m)	V.Sec (m)	Dogleg (°/30 m)
0		0	0	0	0	0
400	400	0	360	400	0	0
755,56	355,56	32	246,07	737,36	96,74	2,7
2448,56	1693	32	246,07	2173,1	993,89	0
2888,56	440	10	24,07	2581,36	1150,6	1,5
3135,96	247,4	10	246,07	2825	1193,56	0
3313,65	177,7	10	246,07	3000	1224,42	0

Tabla 5.



Figura 11.

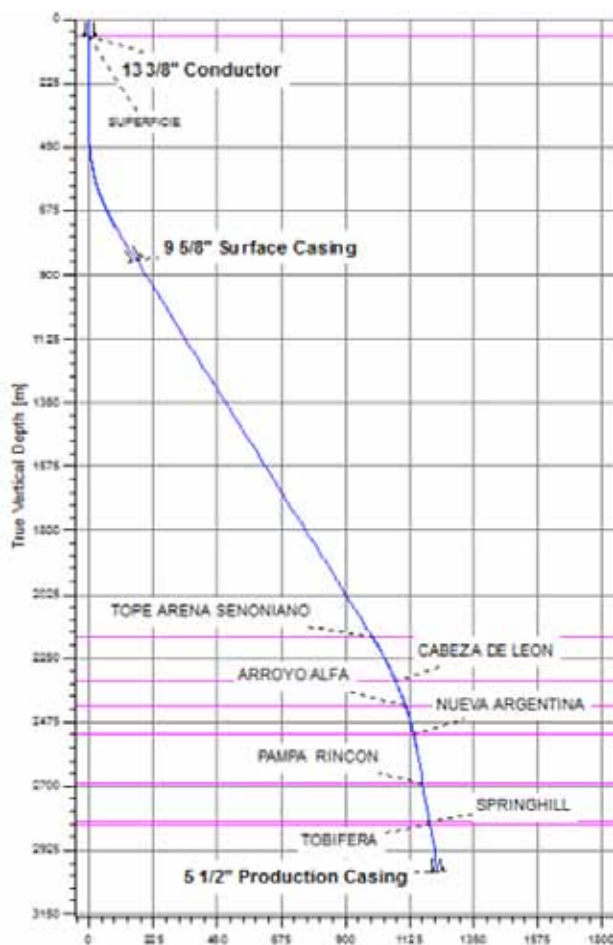


Figura 13.

El pozo tenía por programa una cañería guía de 9 5/8 in en 1200 m MD con el objetivo de cubrir pozo abierto y minimizar las altas tracciones en la próxima sección que fue planificada con cañería de 5 1/2 in en una profundidad de 3300 m MD (3000 m TVD). La gráfica muestra como quedó el pozo finalmente y hay algunas diferencias con lo descrito. Durante la operación debimos colocar un caño conductor de 13 3/8 in y la cañería de 9 5/8 in quedó 400 m por encima del valor programado, es decir a 885 m.

A la hora de diseñar este pozo se tenían dos antecedentes cercanos de trayectorias algo similares, pero algo menos severas, en los cuales se tuvieron torques y arrastres más elevados de lo normal en la sección aislación.

Por ejemplo el pozo con Trayectoria J Modificada que se observa en las figuras 14a, 14b y 15.

Las curvas de torque y arrastre programadas fueron sobrepasadas por lo real (puntos) pero en forma más notoria en el torque, y en la sección del Drop de la curva de la trayectoria cuando el BHA entró por completo en esta zona. Lo mismo había ocurrido en otro pozo de referencia anterior a este. Surgió un análisis de geomecánica que estableció la densidad de lodo en 1250 g/l (10,4 ppg), con esto veríamos si el efecto de elevados torques y arrastres visto estaba influenciado por cuestiones de estabilidad geomecánica. En la realidad no fue así, los valores seguían siendo altos y fuera siempre de lo simu-

lado. Los recortes observados no presentaron indicios de inestabilidad.

Ya que ninguno de los dos pozos pudo llegar a la profundidad final, en base a estas experiencias se realizó un estudio actualizado de geomecánica para continuar con el análisis de este fenómeno. Se estableció que la densidad de lodo para la sección aislación que se iba a utilizar sería de 1280 g/l (10,7 ppg) para el pozo LF-1 con un máximo de 1400 g/l (11,7 ppg). (Figura 16).

En todos los casos contábamos con un equipo perforador INGERSOL RAN-1500 mecánico de 1500 HP y una capacidad de tracción estática máxima de 300 tn, un *top drive* de 700 HP y torque máximo de 24.000 lb.ft/26.000 lb.ft (momentáneo).

Operación del pozo LF-1

Perforación de la sección guía:

Perforando en 483 m MD luego de una baja ROP, alcanzada por bajo caudal empleado, por utilizar una bomba al pozo y otra recuperando lodo de la bodega comunicada, se decide ensanchar el pozo con 17 1/2" y entubar una cañería de 13 3/8" a 69 m para optimizar los parámetros. Hecho esto, se continuó perforando. El BHA utilizado se detalla en la tabla 6.

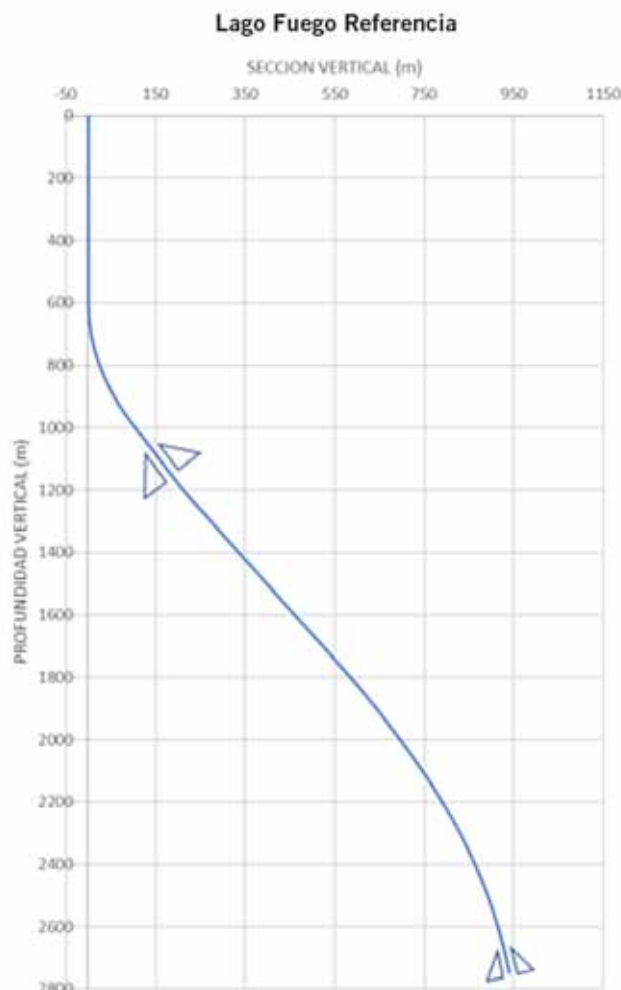


Figura 14a.

Como puede observarse el BHA posee un solo estabilizador en la camisa del motor de fondo. La inclinación del pozo debía llegar y mantenerse en 32° pero el conjunto direccional tendía, tanto en la curva como en la tangente, a incrementar el ángulo en forma natural a razón de 3°/30 m. El pozo se corta en esta sección a la profundidad descrita, además de problemas de bombas, debido a que no se podía disminuir el ángulo de la tangente y seguía en aumento. El pozo llegó a una inclinación de 40,48°. Para un próximo pozo se sugirió solucionar el problema de bombas y utilizar un BHA con dos estabilizadores.

El pozo fue entubado con cañería de 9 5/8 in y cementado en forma normal.

En la siguiente etapa se formuló un plan reactivo para retomar la trayectoria original (Figura 17).

El trazo verde en la figura 17 representa el plan reactivo a partir de la guía que comentamos antes.

Para poder llevar a cabo este trabajo se utilizaron 8 BHA distintos. Por programa solo se tenía el BHA 2 como previsto.

El resumen los principales problemas que se tuvieron se expresan en la tabla 7.

Se presentaron inconvenientes para poder deslizar con colgamiento de herramienta. Ocurrieron descolgamientos que produjeron stall de motor. Se observó tendencia a ganancia de ángulo. Enviando bache de lubricante, deslizó con gran dificultad. Perfora hasta 1782 m y decide realizar cambios en el BHA (Tabla 8).

Con esta herramienta se perforó de 1782 m a 2637 m, como se puede observar, se elevó el ángulo de motor de 1,35° a 1,5°, se cambió el estabilizador de string de 8 3/8 in a 8 1/4 in y se retiró la camisa del motor. Si bien el comportamiento de esta herramienta es mejor, todavía presenta dificultades de torque y arrastre, con lo cual se debe realizar una maniobra de calibre intermedia en 2231 m. Baja y continúa perforando en rotación continua debido a las dificultades para deslizar y bajar el ángulo que debía estar en 30°. El ángulo se mantuvo en 32°, si bien no es alta la diferencia, nos alejábamos mucho del objetivo de fondo al ser una tangente larga. Con esto se decidió cambiar de BHA para poder recuperar el rumbo hacia estos objetivos. Esta vez el cambio se centró en el sondeo, ya que es el elemento que más influye en los arrastres y torques resistivos (Tabla 9).

Además se sacó el estabilizador que quedaba y se agregaron 6 portamechas o *drill collars* con el objetivo

ELEMENTO	BHA (0-885) PDC 12 1/4 in BH 1.5°
Heavy weight 5 in	6
Drill collar 6 1/2 in	3
Jar 6 1/2 in	1
Drill collar 6 1/2 in	12
Drill collar 8 in	1
Spiral no magnetic drill collar 8 1/4 in	1
No magnetic drill collar 8 1/4 in	1
MWD 8 1/4 in	1
No magnetic drill collar 8 in	1
Mud motor 8 1/4 in (STB 12 in)	1

Tabla 6.

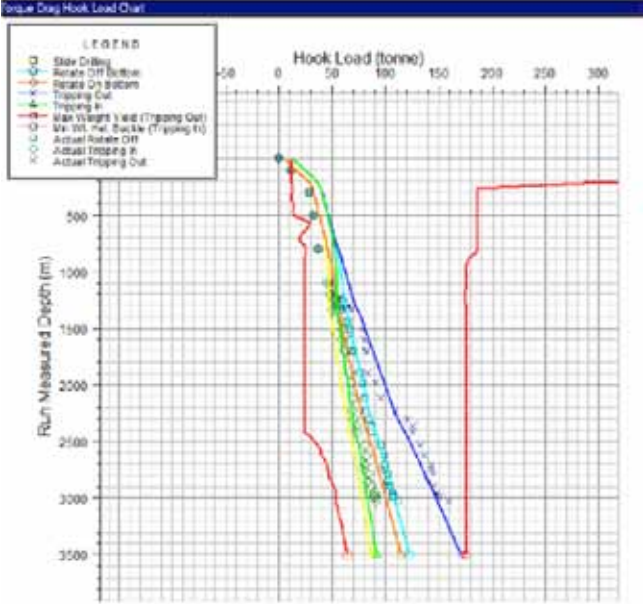


Figura 14b.

de mantener o disminuir el ángulo. Los intentos por deslizar con este conjunto fueron inútiles, ya que la herramienta se colgaba y no transmitía peso. Cuando se descolgaba generaba un stall en el motor.

En este caso, luego de reuniones y estudio, se decidió probar con un trépano distinto, ya que el stall se generaba cuando los cortadores del PDC se clavaban en la formación, se pensó que esto disminuiría con un trépano tricono de insertos. También se agregaron *drill collars* (Tabla 10).

Se hicieron dos carreras que se denominan BHA 5 y 6 y se diferencian en el cambio de trépano tricono de insertos. Con esta herramienta se pudo deslizar en forma correcta. Los colgamientos seguían presentes pero, como mencionamos, los conos del trépano no se clavaban en la formación, lo que permitió deslizar.

Una vez que dejamos el pozo en la orientación que se acercaba al objetivo, se realizaron dos carreras más para llegar a la profundidad final (Tabla 11).

Con estos BHA perforamos rotando hasta el fondo. Para esta configuración y para llegar a la profundidad final, se combinó el sondeo de 5 in que era originalmente grado G105 con un tramo de grado S-135 en primera instancia, luego en la última carrera se reemplazó por S-135 completo, debido a los altos torques desarrollados por el *top drive* del equipo.

En la figura 18 se observa cómo quedó la gráfica de torque en el final.

A través del String se ve el valor de torque que experimenta cada elemento según la profundidad y los límites de torque de cada elemento y del equipo.

Es de destacar que la alta densidad de lodo utilizada para cumplir con los estudios de geomecánica como consecuencia colateral generó que se tuvieran altos contenidos de sólidos que se reflejaron en fallas mecánicas en las bombas y el circuito, altas presiones y algunas complicaciones logísticas. Al terminar el pozo, la tracción fue tan elevada que se sacó con rotación y bomba, como se puede observa en la figura 19.

ELEMENTO	BHA 2(887-1782) PDC 8 3/4 in BH 1.35°
Drill pipe 5 in	Hasta BdP
Heavy weight 5 in	9
Jar 6 1/2 in	1
Heavy weight 5 in	12
Drill collar 6 1/2 in	3
No magnetic drill collar 6 3/4 in	1
MWD 6 3/4 in	1
Stabilizer 8 3/8 in	1
Mud motor 6 3/4 in	1 (STB 8 3/8 in)

Tabla 7.

Se vieron altas tracciones hasta los 2670 m (saca con rotación), luego la tracción se comporta con lo planificado (curva azul).

En la operación de Perfil hubo un set up en 2078 m, luego se perfiló asistido con barras y se pudo registrar desde el fondo 3410 m a 3000 m. Debido a las altas tensiones,

ELEMENTO	BHA 3(1782-2637) PDC 8 3/4 in BH 1.5°
Drill Pipe 5 in	Hasta BdP
Heavy Weight 5 in	9
Jar 6 1/2 in	1
Heavy Weight 5 in	12
Drill Collar 6 1/2 in	3
No Magnetic Drill Collar 6 3/4 in	1
MWD 6 3/4 in	1
Stabilizer 8 1/4 in	1
Mud Motor 6 3/4 in	1 (NO STB)

Tabla 8.

se decide cancelar todas las carreras subsiguientes.

Se comienza a bajar una cañería de 5 1/2 in conexión sello metal-metal. Bajando el *casing* en 1570 m, que para firme y queda aprisionado. Luego de tres intentos de bombear tapones libradores, con grandes limitaciones de conseguir los materiales para prepararlo (por ejemplo, había falta de HTA en Tierra del Fuego), la especialidad de lodo propone formular un tapón alternativo compuesto por pirofosfato ácido de sodio al 4% + agua.

Este último tapón es el que dio resultado. A la media hora de dejarlo en el anular, con peso, liberó la cañería, que luego se bajó al fondo para ser cementada. El tope

ELEMENTO	BHA 4(2367-2830) PDC 8 3/4 in BH 1.5°
Drill pipe 5 in	Hasta BdP
Drill pipe 4 in (1000 mts)	104
Heavy weight 5 in	9
Jar 6 1/2 in	1
Heavy weight 5 in	12
Drill collar 6 1/2 in	9
Spiral no magnetic drill collar 6 3/4 in	1
No magnetic drill collar 6 3/4 in	1
MWD 6 3/4 in	1
Mud motor 6 3/4 in	1 (NO STB)

Tabla 9.

de cemento solicitado fue de 3050-3410 m, la centralización fue semirígida con 20 centralizadores en este tramo y el CBL tenía tramos buenos, regulares y malos. No hubo necesidad de cementación auxiliar.

El tiempo de perforación real de este pozo fue de 60 días, de los cuales 13 días se emplearon para la operación de la guía, 38 días fueron empleados para la perforación de la aislación, y 9 días, para la sección plana de esta sección.

Durante la investigación de este pozo, se trabajó en el análisis de ocho pozos en total perforados entre 2016 y 1017 en la zona de Lago Fuego.

La problemática que se analizó fue la existencia de altos torques y arrastres que no permitieron en algunos casos llegar a las TD programadas o que tuvieron dificultades para hacerlo.

ELEMENTO	BHA 5(2830-2936) TC Inserto 8 1/2 in BH 1.5°	BHA 6(2936-3056) TC Inserto 8 1/2 in BH 1.5°
Drill pipe 5 in	Hasta BdP	Hasta BdP
Drill pipe 4 in (1000 m)	104	104
Heavy weight 5 in	6	6
Drill collar 6 1/2 in	3	3
Jar 6 1/2 in	1	1
Drill collar 6 1/2 in	15	15
Spiral no magnetic drill collar 6 3/4 in		1 1
No magnetic drill collar 6 3/4 in	1	1
MWD 6 3/4 in	1	1
Mud motor 6 3/4 in	1 (NO STB)	1 (NO STB)

Tabla 10.

Para ello se confeccionaron unas hojas de viaje o *trip sheet* para cada pozo con conflicto, que permitieron tener una referencia visual con colores indicativos de las profundidades a las cuales se registraron las anomalías. También se mostraban litología, pases de formación, BHA usados, densidades usadas, trépanos y trayectorias. Esto se complementó con curvas de comportamiento de tracción y torque en la sacada final de cada pozo, y con comparativa en curvas de avance y fotografías de recortes en distintas profundidades.

Se analizaron cuatro pozos verticales y cuatro pozos dirigidos incluyendo los vistos en este trabajo.

ELEMENTO	BHA 7(3056-3253) PDC 8 3/4 in BH 0°	8(3253-3410) BHA PDC 8 1/2 in BH 0°
Drill pipe 5 in	Hasta BdP	Hasta BdP
Drill pipe 4 in (1000 mts)	104	104
Heavy weight 5 in	6	6
Drill collar 6 1/2 in	3	3
Jar 6 1/2 in	1	1
Drill collar 6 1/2 in	15	15
Spiral no magnetic drill collar 6 3/4 in		1 1
No magnetic drill collar 6 3/4 in	1	1
MWD 6 3/4 in	1	1
Mud motor 6 3/4 in	1 (NO STB)	1 (NO STB)

Tabla 11.



De todos los análisis realizados se llegó a dos apreciaciones o situaciones distintas:

existe un incremento en el comportamiento del torque entre la base de la Formación Margosa Inferior y el Tope de Arroyo Alfa. Después, el comportamiento del torque vuelve a sus valores normales. Igualmente como el torque es acumulativo, esto se acarrea hasta el fondo que resulta en altos torques en el fondo. Este incremento de torque no genera arrastre adicional al normal.

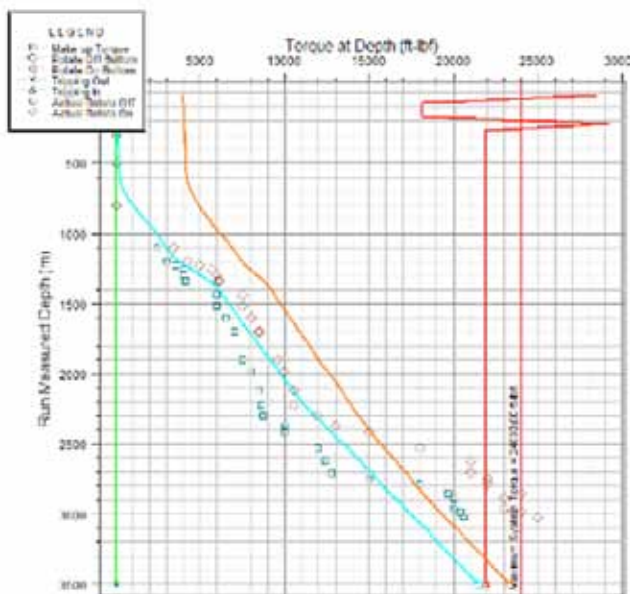


Figura 15.

Desde Profundidad final hasta Pampa Rincón completa existe un incremento de arrastre. Al salir de esta formación, los arrastres se normalizan.

Variables analizadas que no influyen en estos efectos:

BHA: se utilizaron BHA con dominio de portamechas y con dominio de heavy weight, en ambos el fenómeno está presente.

Densidad de lodo: se perforaron pozos con densidades desde 1120 g/l hasta 1280 g/l, en todos el fenómeno está presente.

Maniobras de calibre: una maniobra de calibre no disminuía el efecto del fenómeno.

Azimuth del pozo: se perforaron pozos en todas las direcciones y el fenómeno seguía presente.

Inclinación del pozo: se analizaron pozos verticales y dirigidos. En todos estuvo presente este efecto. Si bien la magnitud era mucho menor en los verticales, el fenómeno no desaparecía.

Con las lecciones aprendidas, la experiencia del LF-1 y su investigación se programó el pozo LF-2 de similares características en la trayectoria (Tabla 12).

Este pozo se diseñó con una cañería guía de 13 3/8 in para cubrir la capa de agua en 270 m y, en la sección siguiente, que llegaría a un ángulo de 30°, poder incluir un lodo más apropiado con compuestos que no son compatibles con la capa de agua superficial. La cañería intermedia similar a la guía del LF-1 fue perforada con trépano de 12,25 in y entubada con 9 5/8 in a 1057 m. El BHA utilizado fue tomado de la lección aprendida del pozo anterior, es decir con dos estabilizadores (Tabla 13).

Esta herramienta llegó a profundidad final de la guía, se entubó y cementó en forma normal.

Para la sección aislación se utilizaron 5 BHA que se resumen en la tabla 14.

Se tuvo en cuenta lo sucedido en el pozo anterior y, cuando empezaron a generarse altos torques y colgamientos de herramienta (se estipuló que ocurriría a partir de los 2000 m), se cambió la herramienta por el BHA 3 con un inserto, el comportamiento fue bueno para deslizar y poder respetar la trayectoria. Luego hubieron solamente cambios de trépano. El BHA 4 fue similar, pero con un trépano tricono nuevo, que había cumplido las horas de rotación. Y luego BHA 5 cambia trépano por PDC para evaluar su comportamiento. Se perforó hasta 3018 m y después hace un último cambio de trépano y finaliza el pozo con un tricono de insertos.

Pozo LF-2

MD (m)	Inc (°)	Az (°)	TVD (m)	DLS (°/30m)	VS (m)
0	0	0	0	0	0
320	0	0	320	0	0
775,39	30,36	158,03	754,38	2	117,84
2514,24	30,36	158,03	2254,78	0	996,6
2936,9	5	158,03	2654,2	1,8	1123,9
3247,08	5	158,03	2963,2	0	1150,94

Tabla 12.

ELEMENTO

BHA (0-1057)
PDC 12 1/4 in BH 1.41°

Heavy weight 5 in	6
Jar 6 1/2 in	1
Drill collar 6 1/2 in	12
Spiral no magnetic drill collar 8 1/4 in	1
No magnetic drill collar 8 1/4 in	1
MWD 8 1/4 in	1
No magnetic drill collar 8 in	1
Stabilizer 12 in	1
Mud motor 8 1/4 in (STB 12 in)	1

Tabla 13.

ELEMENTO	BHA 2 (1057-2148) PDC 8,75 in BH 1.5°	BHA 3 (2148-2574) TC Inserto 8,5 in BH 1.41°	BHA 4 (2574-2706) TC Inserto 8,5 in BH 1.5°	BHA 5 (2706-3018) PDC 8,5 in BH 1.5°	BHA 6 (3018-3236) TC Inserto 8,5 in BH 0°
Drill pipe 5 in	Hasta BdP	Hasta BdP	Hasta BdP	Hasta BdP	Hasta BdP
Drill pipe 4 in (1000 m)	20	104	104	104	104
Heavy weight 5 in	4	3	3	3	3
Jar 6 1/2 in	1	1	1	1	1
Heavy weight 5 in	12	6	6	6	6
Drill collar 6 1/2 in	3	15	15	15	15
NM drill collar 6 3/4 in	1	1	1	1	
MWD 6 3/4 in	1	1	1	1	
Stabilizer 8 1/4 in	1				
Mud motor 6 3/4 in	1 (STB 8 3/8 in)	1 (NO STB)	1 (NO STB)	1 (NO STB)	1 (NO STB)

Tabla 14.

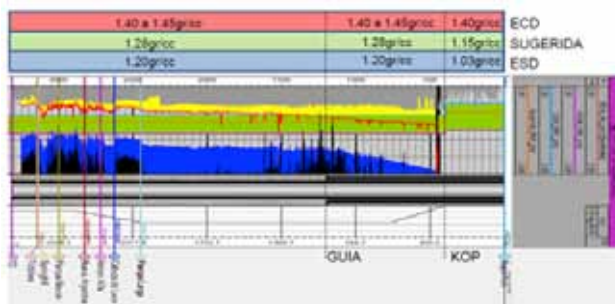


Figura 16.

Los torques fueron similares que en el pozo anterior utilizando el sondeo de 4". Todo esto se había programado para cumplir con la trayectoria.

Es de destacar que debido a la falta de resultados en los pozos anteriores, se decidió utilizar una densidad de lodo menor a la establecida por el estudio de Geomecánica. Se empleó una densidad final de 1160 g/l (9.6 ppg) para perforar y 1180 g/l (9.8 ppg) para maniobras y perfil con muy buenos resultados, principalmente debido a que se redujeron enormemente los sólidos en el sistema y la logística que las densidades altas implican.

En la figura 20 se puede observar que cuando la herramienta completa (BHA) entra en la zona de Drop, el torque se eleva de manera enérgica. Si no hubiésemos tenido el sondeo de 4", habríamos pasado los límites del equipo nuevamente.

Las tracciones en la sacada final fueron, como era de esperarse, altas y en algunos casos se debió sacar con bomba y rotación como sucedió en los pozos anteriores. Siempre saliendo libre fuera del DROP de la trayectoria. Esto se ve claramente en la figura 21.

El perfilaje se efectuó en tres carreras y se realizaron en forma asistida exitosamente. La cañería de 5 1/2 in bajó al fondo sin problemas y se cementó el pozo sin recargar por precaución.

Realizando conexiones

Esto mismo nos hizo pensar en existe cierta relación entre lo ocurrido en Restinga Alí y Lago Fuego. Así es que un año después del pozo LF-2, en 2018, se comienza con

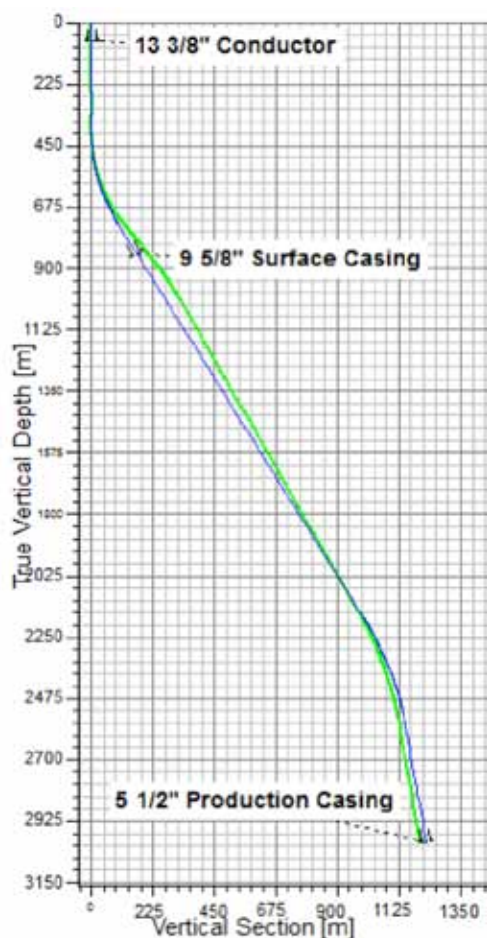


Figura 17.

el desafío de volver a la zona de Restinga Alí. Hasta el momento, el pozo dirigido más exigente había sido el LF-1, a su vez este pozo fue más exigente que el RA-1 visto antes.

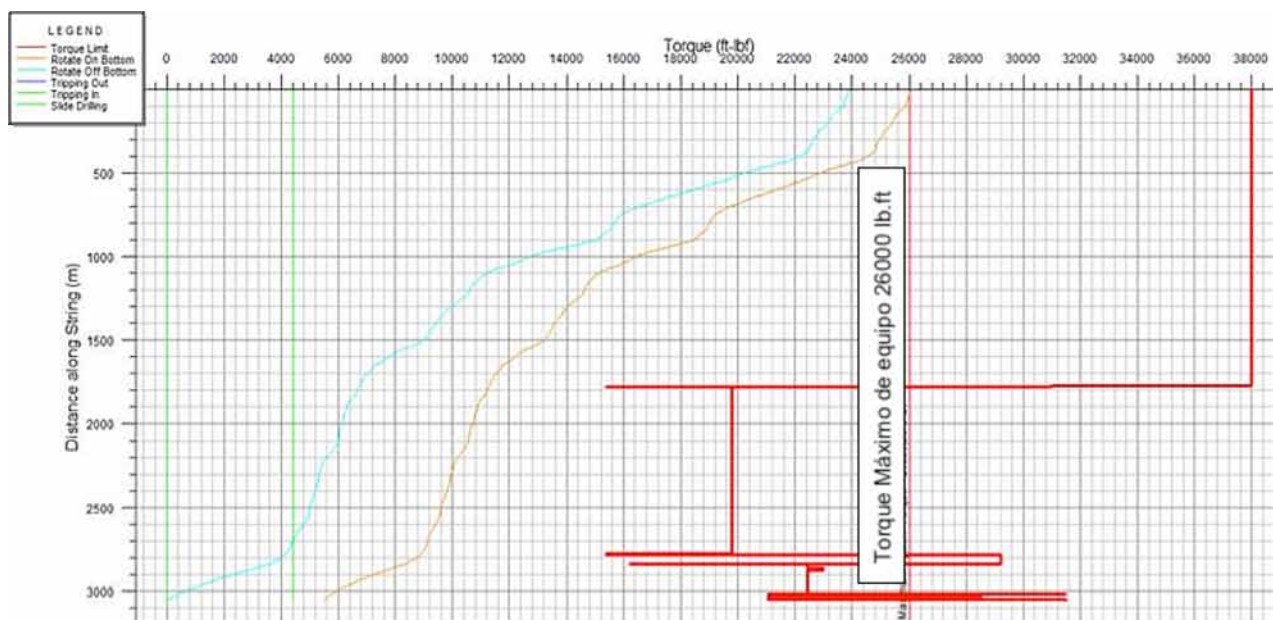


Figura 18.

Aplicando lecciones aprendidas

Surgió un proyecto de dos pozos RA-2 y RA-3 nuevamente en la zona de Restinga Alí, con más complejidades de las que habían aparecido hasta el momento. Pero teníamos la ventaja de poder realizar el análisis con las experiencias vividas y la posibilidad de elegir equipamiento para concretarlos (Figura 22).

Veremos las trayectorias programadas de estos dos pozos y sus resultados finales, al aplicar todas las lecciones aprendidas. La comparación gráfica de las tres trayectorias se observa en la figura 23 y la trayectoria plan se resume en la tabla 15.

Con el modelo de tortuosidad definido en la investigación del pozo RA-1 pudimos predecir con cierta precisión los valores finales que tendríamos para estimar el equipo necesario (Figura 24).

La tortuosidad comenzó a modelarse desde los 1500 m, ya que la guía de 9 5/8 in llegaría hasta ahí. Con estos datos definimos que necesitaríamos un equipo de torre con las siguientes características:

Torque de trabajo: mayor a 30.000 lb.ft a 80 rpm

Tracción dinámica de trabajo: mayor a 250 tn.

Tener la capacidad de rotar cañería de 9 5/8 in en 36 lb/ft y de 5 1/2 in de 20 lb/ft en caso de ser necesario por la magnitud de los ángulos de ambas secciones.

Sistema hidráulico capaz de entregar un mínimo de 700 GPM y 3000 psi de presión

Se decidió por un equipo Idecó E1200 diésel-eléctrico-SCR de 1200 HP, con capacidad de tiro dinámica de 240 tn y con un *top drive* de 1205 HP con un torque disponible de 30.000 lb ft a 100 rpm.

Nos enfocaremos solamente en la comparación de los parámetros de perforación en la aislación, especialmente en el torque que en definitiva era lo que nos limitaba a la hora de perforar el pozo.

También realizaremos comentarios sobre cómo nos fue en ambos pozos en los siguientes aspectos: perfil, entubación y cementación.

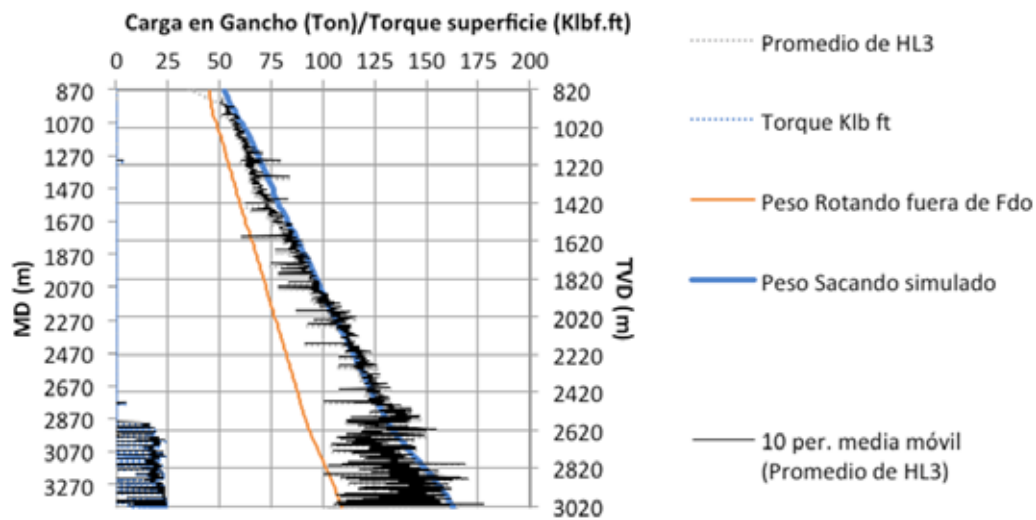


Figura 19.

MD (m)	CL (m)	Inc (°)	Azi (°)	TVD (m)	V.Sec (m)	Dogleg (°/30m)
0		0	0	0	0	0
100	100	0	0	100	0	0
577	477	48	156	524	187	3
1902	1325	48	156	1416	1167	0
2048	147	33	156	1527	1261	3
3208	1160	33	156	2500	1893	0

Tabla 15.

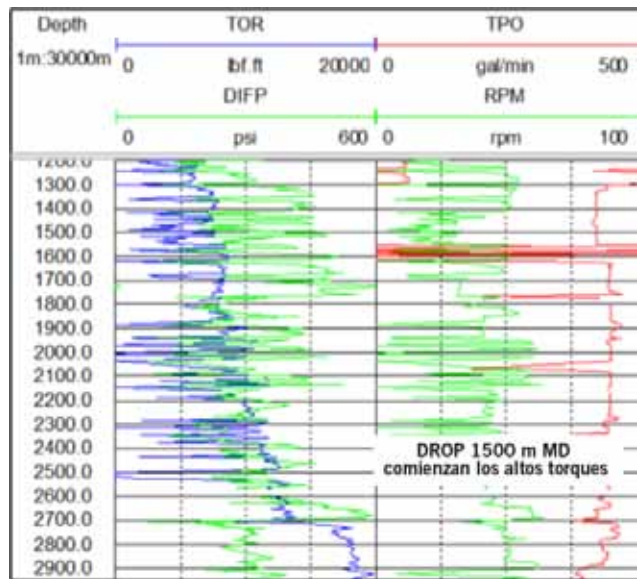


Figura 20.

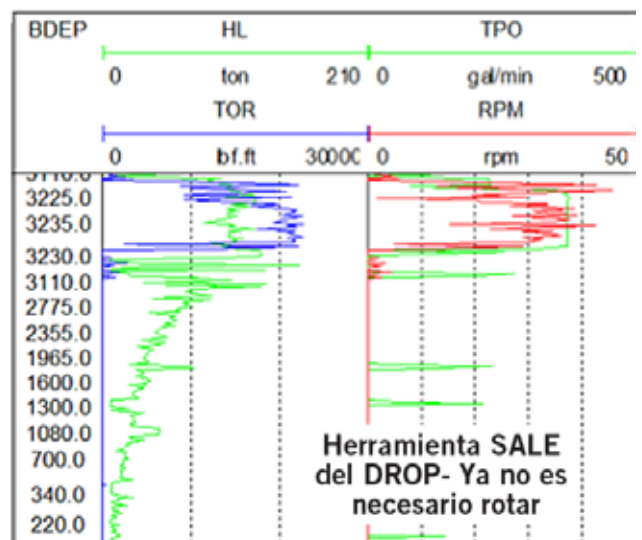


Figura 21.

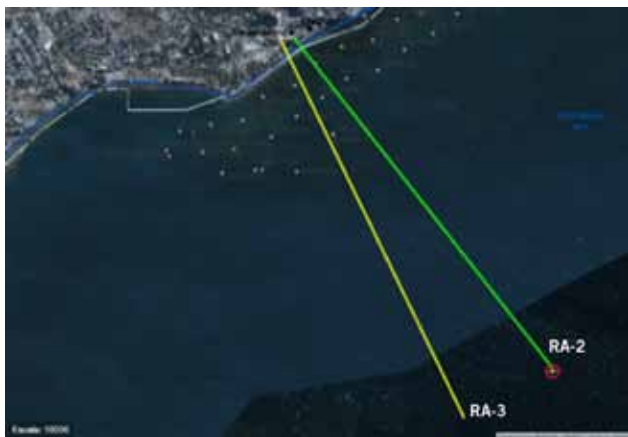


Figura 22.

Con el equipo seleccionado se perforó el pozo. La guía de 9 5/8" se perforó según las lecciones aprendidas respecto al BHA y no hubo inconvenientes. En la aislación, que es la que tiene los mayores requerimientos y donde se presentaron los mayores problemas en los pozos anteriores, se utilizaron BHA similares y sin necesidad de emplear barras de 4 pulgadas usadas en los Lago Fuego, ya que el equipo fue suficiente para afrontar un pozo de estas características con las barras de 5 pulgadas. Al ser pozos con altas inclinaciones, tanto en la tangente principal como en el hod final, no se necesitó emplear trépano tricono para mantener la trayectoria.

Los torques desarrollados se muestran en la figura 25.

En la figura 26 se puede ver que los valores programados, curva continua se aproximaron a los tenidos en la realidad (representados por puntos).

En una bajada de parámetros y plasmando en Wellcad se pueden ver estos mismos valores, tuvimos que emplear rotación en algunos tramos del pozo (Figura 27).

Los pozos se entubaron tanto en la aislación como en la guía, con conexiones TXP para rotar, pero no hubo

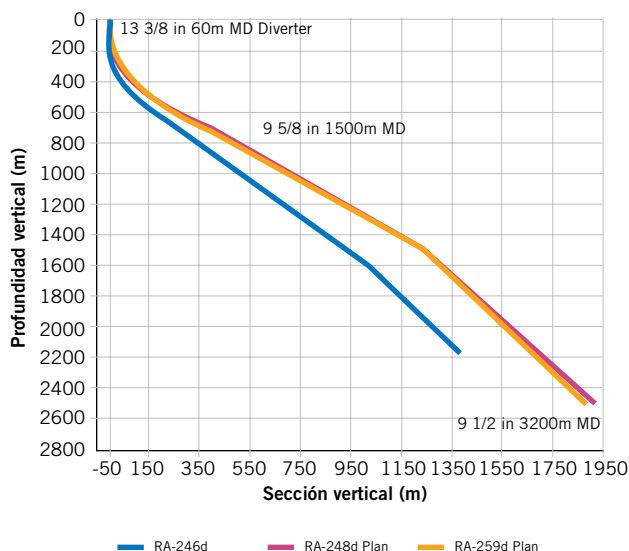


Figura 23.

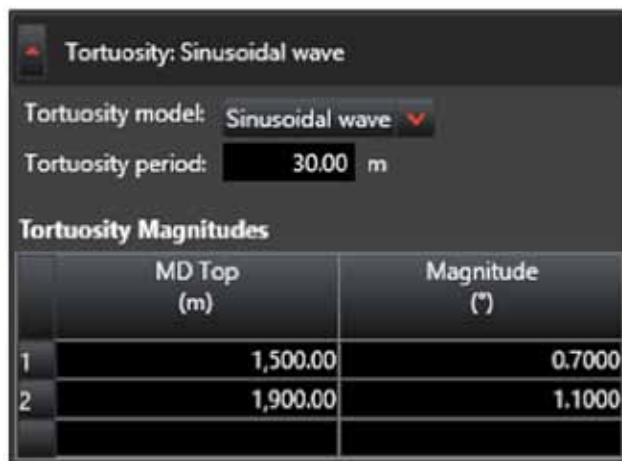


Figura 24.

necesidad de hacerlo, los torques que desarrollarían fueron estimados con el modelo de tortuosidad y se eligieron cañerías para ese fin.

Los lodos utilizados siempre fueron base agua, similar al sistema del pozo RA-1 pero con mejor inhibición. Los pozos pudieron perfilarse en forma asistida a través de un trépano de pasaje pleno. La cementación se realizó hasta el cruce de la cañería guía. En general, los cementos desde el tope hasta 2500 m MD fueron regulares/malos, y desde ahí hasta el fondo fueron buenos. La zona de interés primario se definió en 1800 m MD.

Pozos Bella Vista Sur

Otra zona en la que resulta muy importante el aprendizaje en la construcción de pozos de alta sección vertical es Bella Vista Sur. Esta zona tiene reservorios debajo de la ciudad de Comodoro Rivadavia (Figura 28).

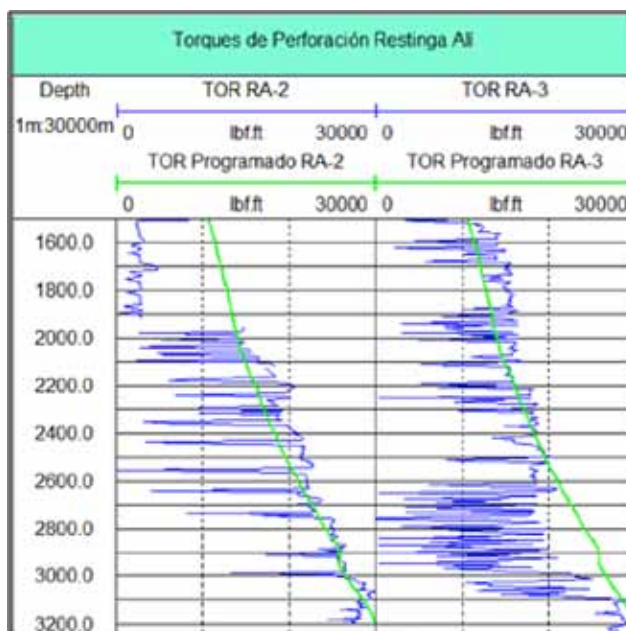


Figura 25.

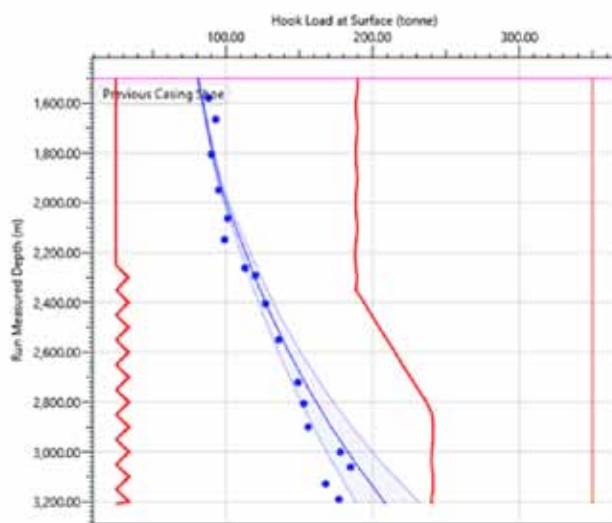


Figura 26.

Estos pozos tuvieron la arquitectura que se observa en la figura 29.

Para resumir se mostrará solo el pozo con mayor criticidad en cuanto a la construcción reflejando los parámetros de torque de perforación y arrastres finales. Las densidades de lodo empleadas no fueron distintas a las utilizadas en pozos verticales de la zona o dirigidos de menor sección vertical.

El equipo utilizado fue el mismo que se empleó para perforar los pozos RA-2 y RA-3 (Figura 30).

Los torques desarrollados fueron menores, pero se comportaron según el plan.

Las curvas de tracción también se comportaron como lo planificado.

Los pozos se pudieron terminar cumpliendo con las trayectorias programadas sin problemas. Los pozos pudieron perfilarse en forma asistida memoria (bajando con sondeo) y la bajada de *casing* de 7 in fue efectuada rotando en algunos tramos, que fue diseñada para hacerlo. También nos encontramos con la necesidad de rotar la cañería de 9 5/8 in para dejarla en su posición.

Bajada de cañería de 7" BV-2 (Figura 31).

Conclusiones

Haciendo una comparativa para tener previsto los requerimientos de pozo en este tipo de trayectorias de alta sección vertical, unimos todas las zonas con sus respectivas trayectorias y litologías.

Se representará cada zona de la siguiente forma: Restinga Alí con los pozos RA-1, Lago Fuego con el LF-2 y Bella Vista Sur con el BV-2. Esta conclusión se puede sacar para el resto de los pozos (Figuras 32, 33 y 34).

En los tres casos, el valor elevado de torque se presentó cuando el BHA entró en la zona de Drop de la curva, el valor fue más elevado cuando los ángulos finales de tangente eran mayores, es decir los pozos que terminaban con ángulos de 30° tuvieron un mayor efecto que los que

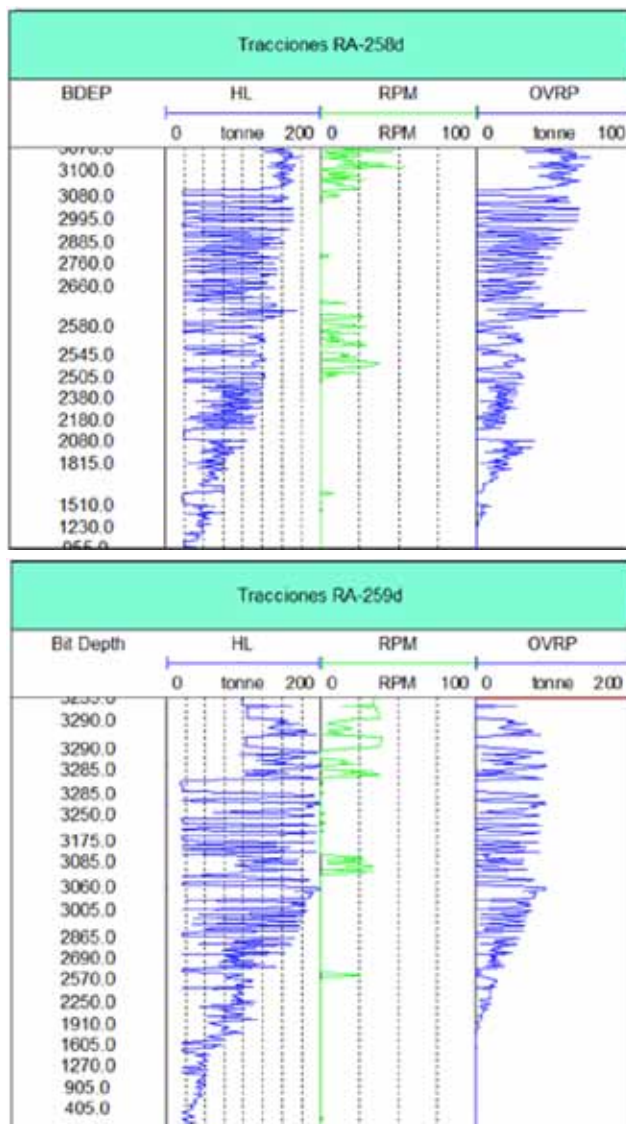


Figura 27.

terminaron en 10°. El efecto de igual manera estaba presente en todos los casos. La litología fue distinta, ya que lo encontramos en tres zonas distintas y una de ellas en distinta provincia. Lo que nos lleva a suponer que este efecto, no depende en su mayor parte por condiciones litológicas, geomecánicas, de sistema de lodo, tipos de BHA. Hay que tenerlo presente y tomar las medidas para contar con el equipamiento adecuado.

En las guías que generalmente se perforan con 12 1/4 in, el BHA a utilizar recomendado, con un solo estabilizador en zona de construcción de curva, y luego agregar uno más de string para la tangente.

En las aislaciones como las vistas en este trabajo, se puede armar el BHA con los requerimientos de la zona, que puede ser flexible (mayoría de Heavy weights) o rígido (mayoría de portamechas), pero teniendo en cuenta que los valores de torque se elevarán mucho durante el drop de la curva. Modelar con tortuosidad utilizando los valores de referencia.

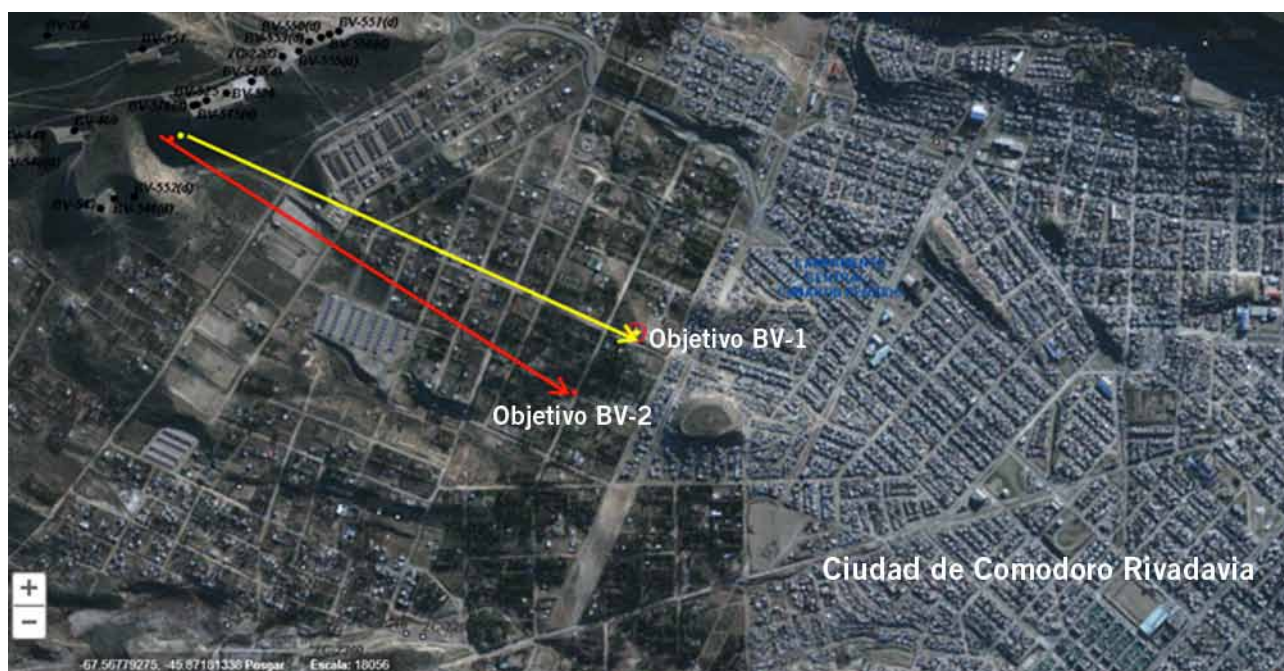


Figura 28.

En caso de Stall de motor de fondo a la hora de deslizar debido a colgamiento, utilizar y programar lacarreara con trepano tricono hasta que no haya necesidad de deslizar, luego si queda resto de pozo considerable por perforar, cambiar por PDC y rotar hasta el fin de pozo.

Las cementaciones en este tipo de pozos es un punto que se debe mejorar, ya que por los altos ángulos y las altas tracciones es menos probable tener un pozo en condiciones para recibir el cemento. La limpieza y el movimiento de cañería al cementar siempre es un punto que se debe estudiar.

Realizar perfiles asistidos con memoria directamente.
Utilizar sondeo combinado para cumplir con los re-

querimientos de torque que se necesiten y los distintos grados, en nuestro caso se utilizaron dos tipos de sondeo: 19,5lb/ft grados G-105 y S-135 y sondeo 4 in 14lb/ft grado S135 XT39.

En caso de aprisionamiento de *casing* se descubrió la utilidad del pirofosfato utilizado en un tapón como el especificado en el trabajo. Cuando no se disponga de HTA es recomendable evaluar su uso con las precauciones que requiere el manejo de ese producto.

Comparación de las distintas trayectorias construidas (Figura 35).

Veamos los beneficios de estos trabajos, en los que participaron todas las especialidades (Figuras 36 y 37).

Más allá de haber mejorado los costos en un 35% referido al costo métrico y un 40% referido a la cantidad de metros por día, el principal beneficio es cumplir con las trayectorias programadas, que fue imposible de realizar anteriormente. También hubieron dos pozos más en Bella Vista Sur, que gracias a la implementación del sondeo combinado de 5 in y de 4 in pudieron ser perforados por el equipo de menor capacidad, que no había sido capaz de perforar el RA-1 hasta el fondo.

Los pozos de Lago Fuego fueron separados, debido a que se manejan recursos distintos propios de la Isla de Tierra del Fuego, pero podemos combinarlos a todos para comparar en tiempos y marcar, según la relación MD/TVD del pozo, la complejidad de los mismos (Figura 38).

Se puede ver la mejora en los metros perforados por día y, al mismo tiempo, se elevaron las complejidades de los pozos. Los pozos RA-2, RA-3, BV-1 y BV-2 fueron perforados con un equipo adecuado a la complejidad de cada uno y, si bien es más costoso, los costos finales fueron menores.

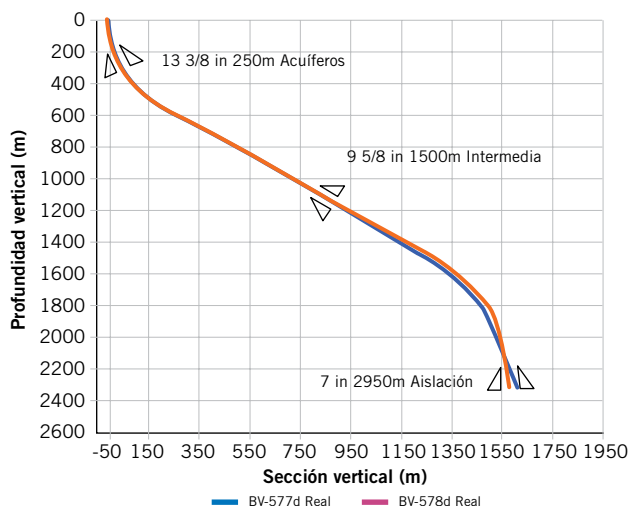


Figura 29.

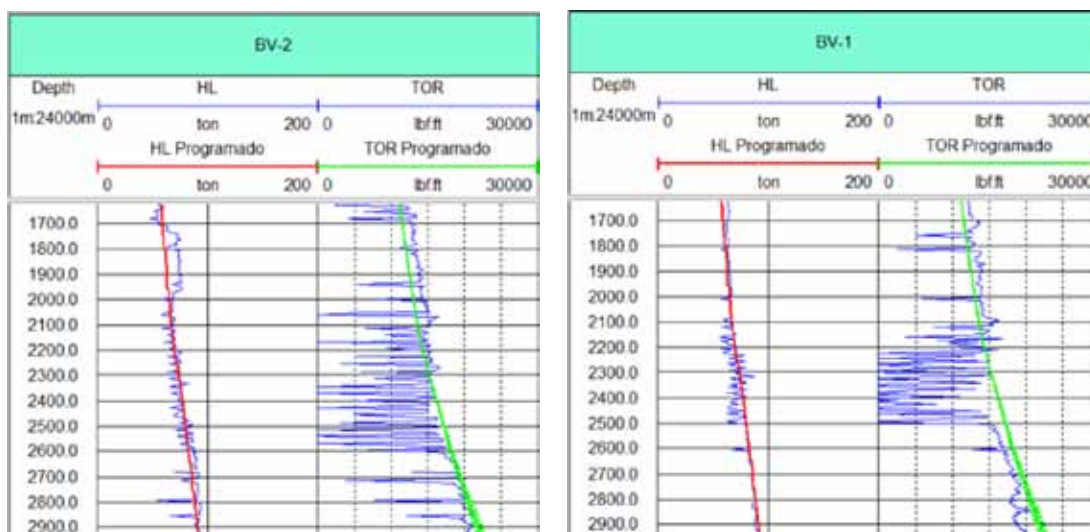


Figura 30.

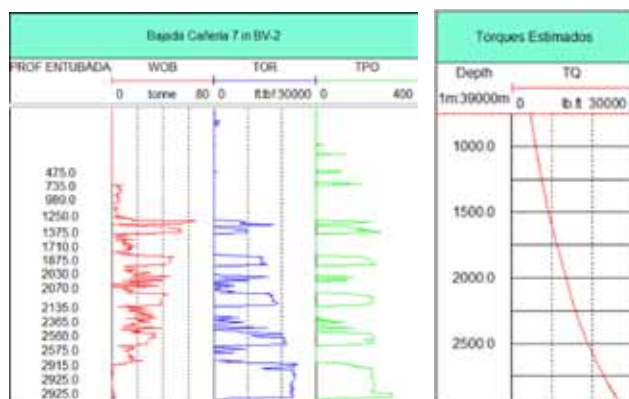


Figura 31.

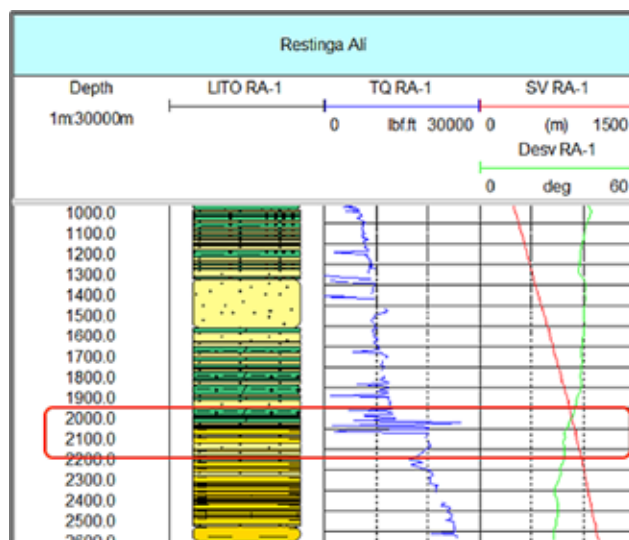


Figura 32.

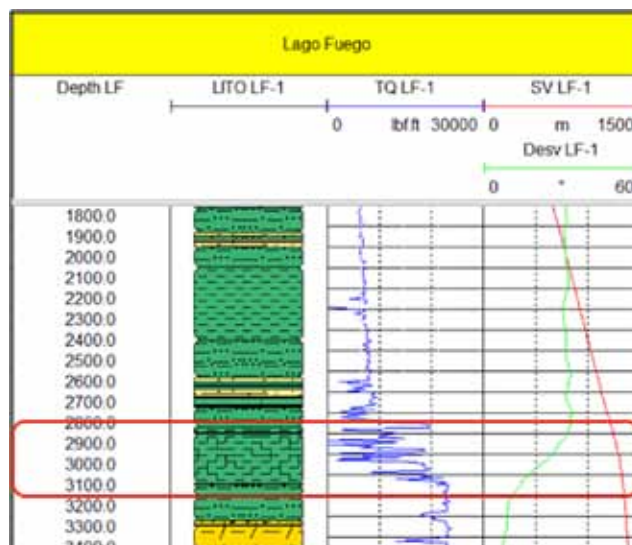


Figura 33.

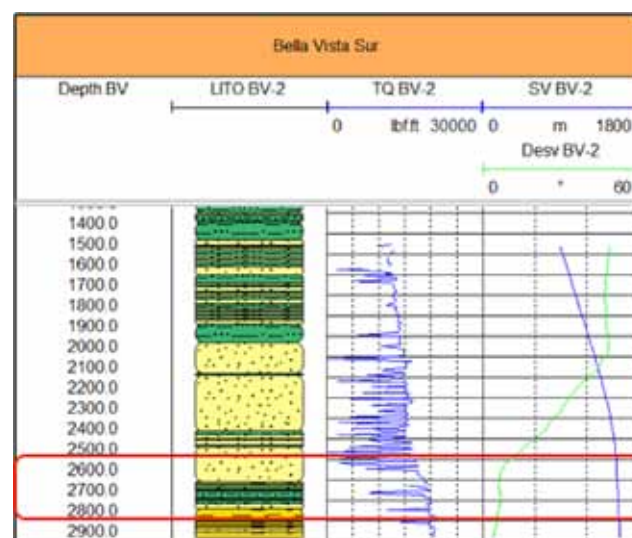


Figura 34.

Bibliografía

Base de datos Open Wells YPF SA
 Informes finales de los pozos terminados.
 Trip Sheets Pozos Lago Fuego
 Documento "Tracciones y Curvas Lago Fuego Dirigidos"

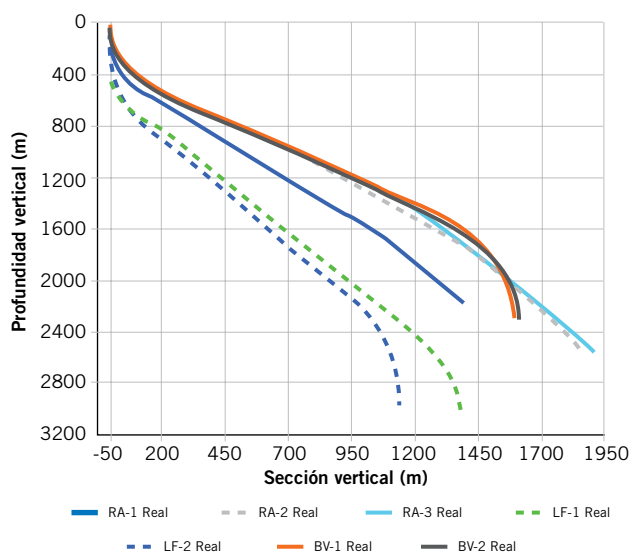


Figura 35.

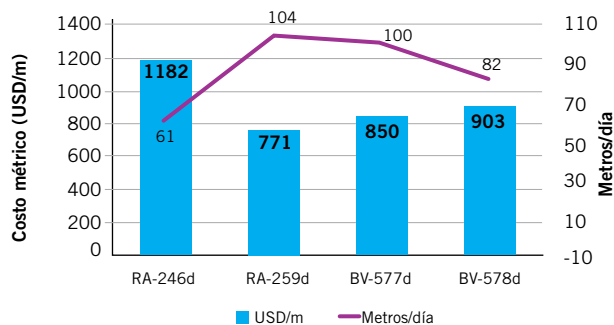


Figura 36.

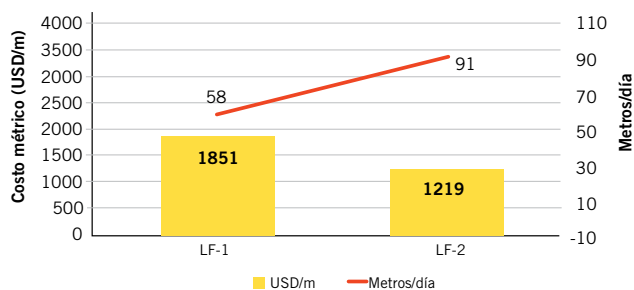


Figura 37.

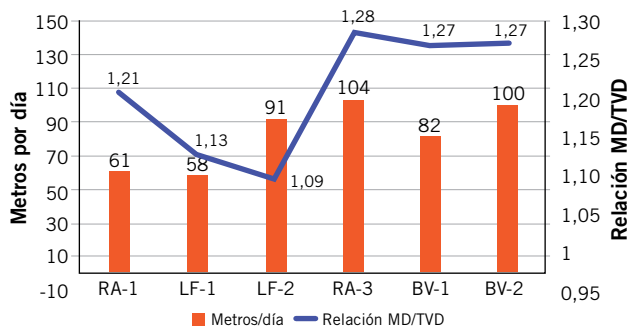


Figura 38.

Informes finales compañías direccionales
 Informes de control geológico realizado en cada pozo
 Base de datos YPF Maps, para la ubicación de los pozos.
 Hojas técnicas Tenaris Cañerías (Conexiones API/Premium):
<http://dcp.tenaris.com/SearchByFeaturesAPI>
<http://casingtubing.tenaris.com/>