



3° CONGRESO
LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE
PERFORACIÓN
TERMINACIÓN, REPARACIÓN Y SERVICIO DE POZOS

Perforación de un pozo HTPH en el sur de la Argentina

Por *Daniel Casalis, Giovanni Landínez, Marcos Laudadio, Leonardo Tísera, Duilio Pelusso y Javier Tello* (YPF S.A.)



Este trabajo fue seleccionado por el Comité Organizador del 3° Congreso Latinoamericano y del Caribe de Perforación, Terminación, Reparación y Servicio de Pozos.

En el yacimiento de Los Perales en el sur argentino, se planificó y se perforó un pozo a 4635 m de profundidad, 135 m más de lo planificado originalmente, cuyo objetivo fue alcanzar las progradaciones sedimentarias de más de 400 m de espesor, desarrolladas en la base de la Fm D-129 y tope de la Fm Cerro Guadal (Neocomiano) (Figura 1).

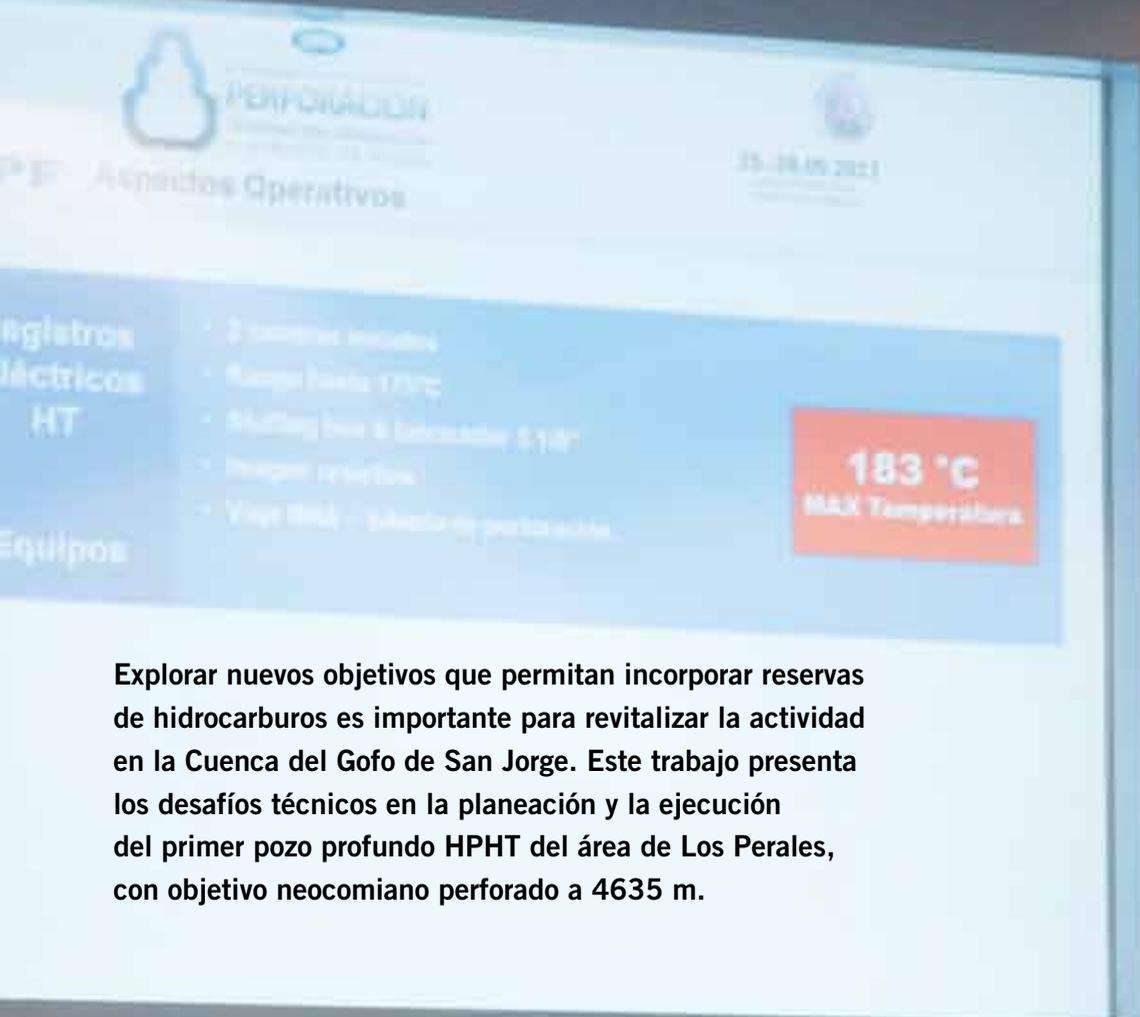
En general los pozos de este yacimiento son perforados a la formación Bajo Barrial Inferior a una profundidad promedio de 1600 m.

Los pozos de referencia que teníamos habían alcanzado la profundidad de 3700 m como máximo, pozo EDL.x-1 perforado en 1989 y las primeras estimaciones dieron que

no encontraríamos sobrepresiones y la temperatura sería de alrededor de los 155 °C a la profundidad final.

Con estas premisas se programa el pozo. Luego de alcanzar la profundidad de 3600 m, se comienzan a observar las primeras manifestaciones de gas y desde los 4000 m se encuentran sobrepresiones, se llega a los 4142 m donde se detiene la perforación con una presión de fondo de 12.300 psi y una temperatura registrada a los 4058 m de 166 °C y se entuba la cañería de 7" (Figura 2).

En este punto el pozo se transformó en HPHT* y comenzó una nueva planificación para alcanzar la profundidad final programada de 4500 m con presiones de fondo que superan los 12.300 psi y temperaturas medidas de 183 °C.



Explorar nuevos objetivos que permitan incorporar reservas de hidrocarburos es importante para revitalizar la actividad en la Cuenca del Gof de San Jorge. Este trabajo presenta los desafíos técnicos en la planeación y la ejecución del primer pozo profundo HPHT del área de Los Perales, con objetivo neocomiano perforado a 4635 m.

Los desafíos a los que nos enfrentamos fueron los siguientes:

- Disponibilidad en la Argentina de equipo de control de pozo de 15K psi.
- Acondicionamiento del equipo de perforación para el posible uso de UBD.
- Fluido de perforación: el pozo en cuestión, por restricciones ambientales se perforó con un lodo base agua de alta densidad, 1950/2000 g/l y especial para alta temperatura.
- Formación con alta resistencia compresiva y consecuente baja ROP.
- *Well control*: en un pozo HPHT siempre se observará flujo de retorno durante un chequeo de flujo (*flow check*), para no confundirlo con una surgencia real del pozo se debió implementar un sistema de *Fingerprinting* para evaluar esta situación. *Fingerprinting* es fun-

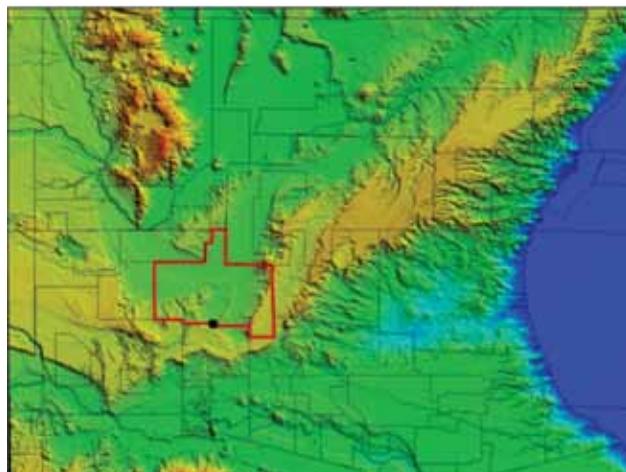


Figura 1. Ubicación y marco geológico.

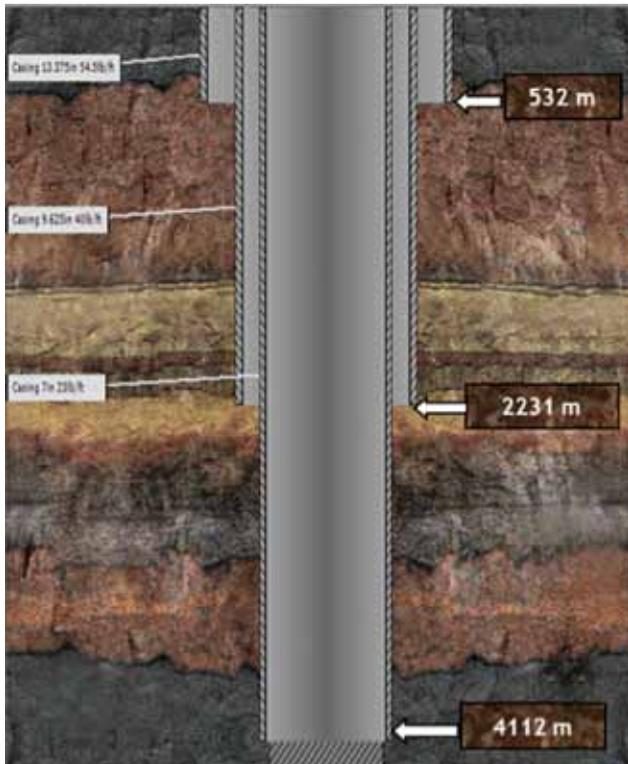


Figura 2. Cañerías entubadas.

damental su uso en pozos HPHT.

- Uso de cañería de contingencia con reducción de diámetro de fase aislación (Figura 2).
- Herramientas de perfilajes para alta temperatura.
- Cementación de la sección inferior con temperaturas de 183 °C y una ventana operación estrecha con ECD acotada.

Fase de planificación

Los puntos salientes en la planificación de la fase HPHT fueron los siguientes:

Disponibilidad de equipo de control de pozo 15Kpsi

Ante la no disponibilidad en la Argentina de equipo de control de pozo de 15Kpsi (BOP y demás componentes de su configuración*-API STD 53), se realizó una licitación que concluyó en la fabricación y la provisión de la misma por el proveedor de equipos y servicios petroleros en China (KERUI). El proceso de diseño y fabricación demandó

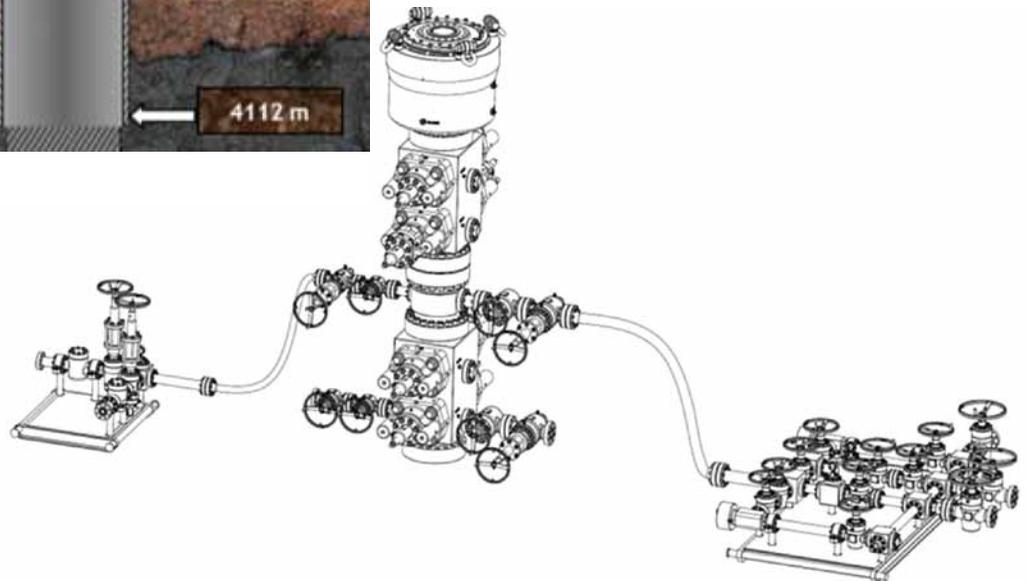


Figura 3. Equipo de control de pozo.

Propiedades	Polymer Driscal 2.2 SG – 350 °F				
	FANN 35	FANN 77			
Temperatura	120	120	200	275	350
Presión	0	0	4875	9500	14250
600	192	164	82	59	46
300	105	88	51	34	25
200	69	61	37	25	18
100	38	34	22	15	11
6	5	7	5	5	3
3	3	5	5	4	3
Viscosidad plástica cP	87	76	31	25	20
Punto de fluencia, lb/100ft ²	18	13	19	9	5

Tabla 1. Ensayos de reología.

tres meses, mientras que el traslado tres meses más, debido a demoras administrativas en el despacho.

No se encontraron antecedentes de uso de BOP 15 Kpsi en YPF. Sus dimensiones (Figura 3), junto al posible montaje de unidad *underbalance*, hicieron que fuera necesario montar la subestructura del equipo perforador sobre un conjunto de ponys y tablonada que aumentaron la altura libre bajo la mesa rotativa a 8 m. Este montaje requirió de estudios de estabilidad de equipo, resistencia de los mismos y compactación adecuada del suelo.

Fluido de perforación WBM HT

La formulación de este fluido de perforación para ambientes HPHT requirió una selección y ensayos de laboratorio previos dados los requerimientos especiales para las condiciones de este pozo. Se planificó un fluido de perforación

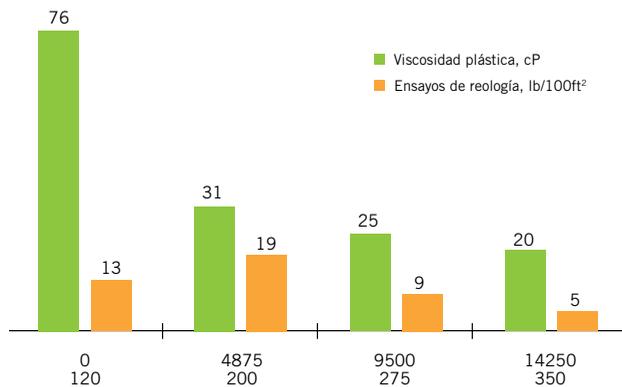


Gráfico 1. Reología HPHT. Polymer Driscal 2,2SG 350°F.

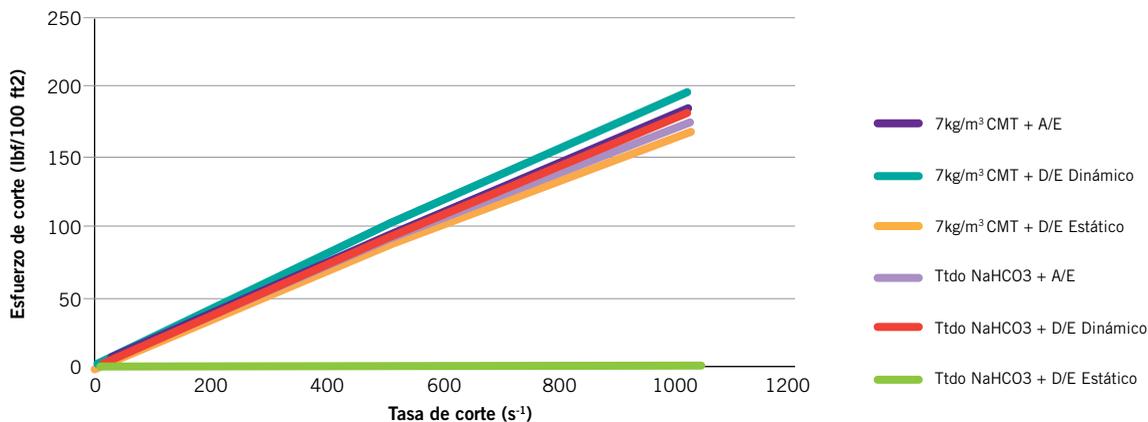


Gráfico 2. Reología

ración *Therma Drill* base agua especial para estos tipo de pozos, densidad de inicio 1950 g/l, densidad máxima alcanzada 2000 g/l y densidad de lodo pesado de reserva, *kill mud* 2100 g/l.

Se realizaron ensayos de laboratorio para definir la mejor formulación en orden de tener, entre otras, un fluido resistente a largos períodos de reposo bajo los efectos de la temperatura, valores reológicos adecuados para sostener altas concentraciones de densificantes y utilización de productos térmicamente estables para las temperaturas a encontrar.

Con diferentes formulaciones y agregados de sólidos se llevaron a cabo los siguientes ensayos:

- Envejecimiento dinámico del lodo a temperatura de fondo prevista.
- Envejecimiento estático del lodo hasta 88 h y a temperatura de fondo prevista.
- Ensayos de contaminación con cemento.
- Ensayos según la norma API 13 B-1.
- Ensayos reología HPHT - Fann 77 (Tabla 1).

Se definieron formulación y productos HT necesarios y productos de contingencia de acuerdo con los resultados de los mismos. Además se llevaron a cabo ensayos de lodo con contaminación de cemento para observar los efectos sobre las propiedades reológicas, como resultado se obtuvo que no es necesario un tratamiento para rotar cemento.

Formación con alta resistencia compresiva y consecuente baja ROP

De acuerdo con los antecedentes de perforación de la fase anterior, hasta 4130 m, en este mismo pozo el riesgo de aprisionamiento durante la perforación representaba un riesgo potencial mayor al que representaba operativamente el uso de trépanos tricónicos que tendrían horas limitadas de rotación, pero menor riesgo de aprisionamiento. Debíamos convivir con la baja penetración y, por ende, las horas acotadas de la vida de los trépanos. En función de esto y luego de consultar con el fabricante de trépanos se acordó trabajar con una vida útil de 150 Krev para los trépanos tricono 6" (IADC 637), por lo que se planifica una curva de avance con 15 carreras de 25 m y 31 h de rotación máxima cada una (Gráfico 3).

De acuerdo con la litología encontrada y al estado de los trépanos luego de sacar a superficie después de cada carrera, se evaluaría aumentar las Krev y la posibilidad de usar trépano PDC (Figura 4).

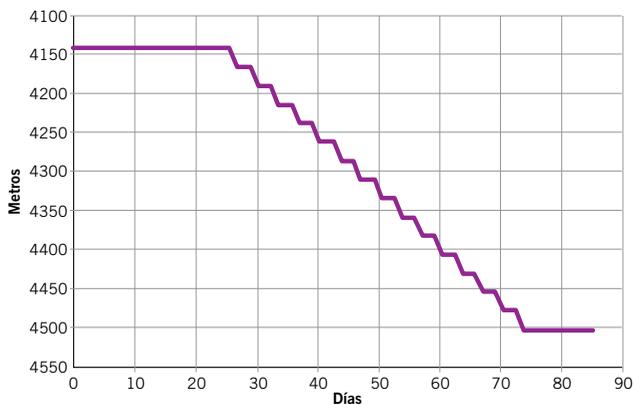


Gráfico 3. Curva de avance.

Well Control y diámetro reducido de perforación

Considerando que se trata de un pozo de gas HPHT y de diámetro reducido, resulta de suma importancia la pronta detección y el rápido cierre del pozo ante un influjo de manera de reducir el volumen del mismo, ya que se expandirá considerablemente en su ascenso a superficie.

En un pozo de estas características, el comportamiento del flujo de retorno durante un *flow check* está afectado por

diversos factores: fluido drenado en líneas de superficie, compresibilidad del fluido, expansión térmica y carga de formación si se está manteniendo el control primario del pozo (la presión hidrostática se encuentra por encima de la presión de formación). Muchas veces puede confundirse este comportamiento de fluido recuperado durante un *flow check* con un influjo de pozo o se puede estar en una condición de influjo de pozo que es mal interpretada con el volumen recuperado durante un *flow check*.

Con este propósito y, en función de una correcta evaluación del flujo de retorno, se desarrolló un mecanismo de control de volumen de retorno basado en los sistemas *Smart Flowback Fingerprinting* que se utiliza en operaciones *off shore* adaptado a nuestra operación. Para esto se desarrolló una macro en Excel que toma la información en tiempo real de los sensores del equipo de perforación, de servidores propios de YPF y permite medir el volumen acumulado durante un chequeo de flujo *versus* una curva base previamente establecida de una condición normal de chequeo de flujo. Una variación en el comportamiento de esta curva de volumen acumulado es una alerta de que estamos en una condición de desbalance hidrostático y el pozo se encuentra aportando fluidos de formación (influjo) (Gráfico 1).



Figura 4. Estado de los trópanos usados.

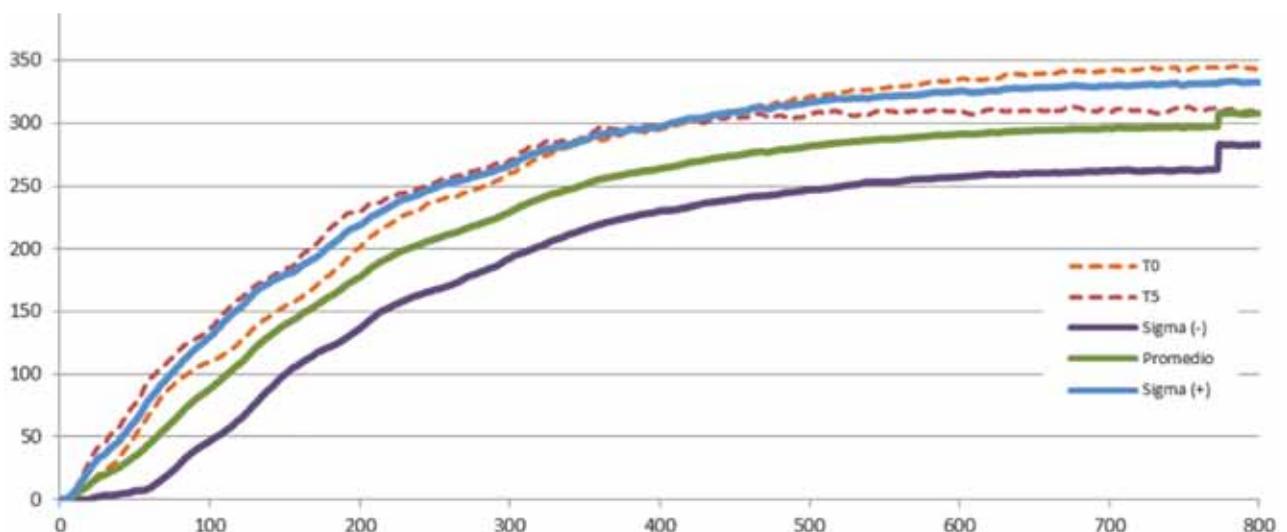


Gráfico 4. *Smart Fingerprint*. SPE 163474

Para calibrar estas curvas, se realizaron pruebas de flujo de retorno antes de hacer el *drill out* (perforación) del zapato del *casing* intermedio y salir a pozo abierto, se registró la curva de *flowback* (retorno) característica del pozo, dado como resultado las curvas que se observan en el gráfico 4, curvas T0 a T5 donde se observa una estabilización de *flowback* entre 10 y 13 m *in* y un volumen retornado de 250 a 350 l (aprox. 2 bbl).

Este *flowback* refleja los efectos de temperatura y compresibilidad dentro de cañería y fue la base de la curva característica del pozo. A esta curva base, al salir a pozo abierto, se van a sumar los efectos antes enumerados, para luego registrar y comparar en tiempo real y de esta manera identificar de manera temprana un pequeño influjo.

El punto de asentamiento del *casing* de 7" fue definido en 4140 m luego de haber encontrado durante la perforación del pozo una zona de presión anormal a partir de 3700 m. Se seleccionó un *casing* de 29# para mejorar el factor de diseño a desplazamiento por gas y ante evacuación (pérdida de nivel de fluido), el *drift* solo permite el paso de un trépano de diámetro 6" y el diseño de pozo fue ajustado de acuerdo con este cambio.

Se instalaría cañería de 5" conexión *semi flush* en pozo abierto y uno 750 m dentro de *casing* de 7", apta para fractura por *casing*. Con este anular reducido se tiene igualmente un aumento en el ECD durante la cementación.

Columna	OD/Peso/grado	Tipo de conexión	Intervalo MD (m)	Cham. día (in)
Producción	5", 20.800 lb/pie, P-110	Tenaris Blue	0-3400	4.031
Entubación	5", 21.400 lb/pie, P110-ICY	TSH W625	3400-4500	4.001

Por la condición de pozo de diámetro reducido y lodo de alta densidad, la ECD en el fondo del pozo durante las maniobras resulta sensible a la velocidad de sacada/bajada, por lo tanto para evitar influjo y generar pérdidas inducidas en la formación, se calculó la velocidad de maniobra antes de comenzar cada una, de esta forma nos asegurábamos de no inducir entrada de gas al pozo manteniendo constante la presión de fondo (Tabla 2). Se instruyó al personal de monitorear la velocidad de sacada y llevar estricto control de la misma según curvas de velocidad (Gráfico 5).

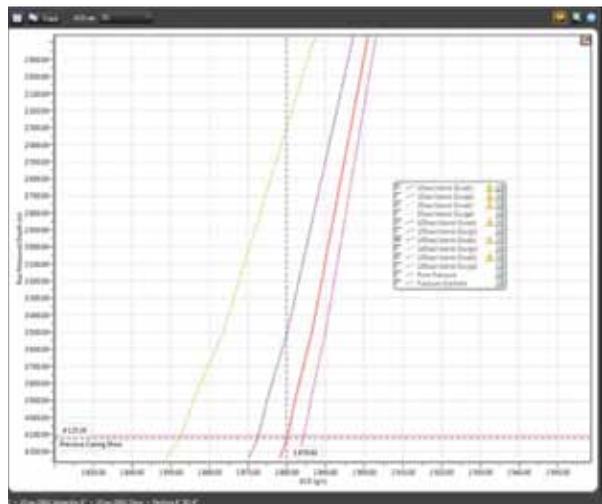


Gráfico 5. Curvas de velocidad de maniobras.

Run	ECD at Measured	ECD at 10seg/stand	ECD at 55seg/stand	ECD at 100seg/stand	ECD at 145seg/stand	ECD at 190seg/stand
Depth	(Swab)	(Swab)	(Swab)	(Swab)	(Swab)	(Swab)
2280	1308	1880	1880	1892	1897	1899
3540	1062	1863	1880	1886	1890	
4140	896	1852	1872	1880	1884	
4240	833	1849	1870	1878	1883	

1 Stand = 27,4 metros

Tabla 2. Velocidad de maniobra.

Herramientas de perfilaje de alta temperatura y diámetro reducido

Considerando las temperaturas del pozo debíamos diseñar la propuesta técnica de los registros eléctricos con las limitantes de las herramientas existentes teniendo en cuenta fundamentalmente los tiempos operativos para evitar exponer las mismas a temperaturas superiores al límite operacional.

En un principio se estimó la temperatura máxima de fondo en 185 °C, por lo que se decidió ajustar las carreras de perfilaje de acuerdo con la temperatura que fuera registrada en la primera carrera.

Se organizaron las carreras del perfil de aislación de forma de optimizar los tiempos operativos según el siguiente cuadro:

Servicios solicitados

1. Inducción-Calibre 4 brazos-Sónico Compensado-GT-SP
2. Resonancia magnética-Mineralogía avanzada
3. Densidad-Neutrón-GR spectral
4. Imagen resistive-GR
5. Presiones
6. Testigos laterals rotados
7. Imagen ultrasonica (Opcional)

La mayoría de las herramientas estaban especificadas para 175 °C, pero con picos máximos de trabajo de una hora en 185 °C, por eso la estrategia se basó en perfilar primero las herramientas más robustas.

Además se tuvo en cuenta la densidad del fluido (1950 g/l) y, debido al requerimiento de nuestros estándares, se planificó el uso de equipamiento de control de presión para perfilar el pozo en forma segura.

Cementación de la cañería 5" con SBHT de 183 °C, estrecha ventana operativa y lechada 17.5 ppg

Se requería una lechada de alta densidad, 17.47 ppg (2090 gr/lit) para alta temperatura, con control de gas y una reología que permitiera realizar la cementación si exceder la ventana operativa.

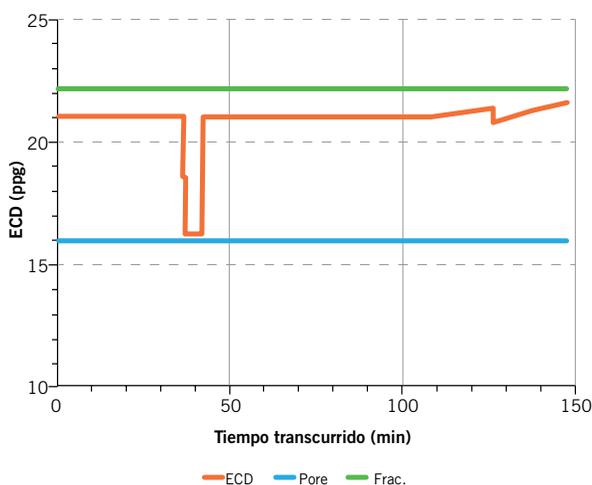
Después de más de 40 ensayos de laboratorio de todos los productos/fluidos por utilizar a la temperatura real de fondo (tanto de la lechada como de los colchones) para evaluar que sus propiedades no se vean afectadas y generar altos geles o valores reológicos no deseados, se consiguió una lechada adecuada.

Características de la lechada

- Lechada principal (MD): 3382 m - 4635 m
- ARG TAIL 17.466 PPG
- 0,05% ARF-995
- 1,40% ARC-RT2
- 0,20% ARC-AS2

1,70% ARC-FR1
 48,00% Hematita
 35,00% Sílice # 200
 16,00% ARC-FL4
 0,30% ARC-DF3
 Agua: 60,00%
 Rendimiento: 59,19 l/sk
 Agua requerida: 21,85 l/sk
 Densidad: 17,47 ppg
 Bombeabilidad: 5:25 hs:min
 Resistencia a la compresión: 500 psi 6:8 hs:min
 Pérdida por filtrado: 22 cc/30 min
 Agua libre: 0 ml
Tope Cemento: 3382 m
Vol Lechada: 55 bbl @ 3.0 bpm

Para la operación de cementación se calculó un volumen de desplazamiento corregido por efecto de la compresibilidad que resultó de un 2,5% (6bbl) y el envío de 5 bbls de espaciador al comienzo del desplazamiento, por sobre el tapón superior, para minimizar cualquier riesgo de contacto entre ambos fluidos dado la incompatibilidad entre lodo y lechada. Este colchón diseñado también tiene el objeto de prevenir o minimizar riesgo de pérdidas de circulación, mejorar la adherencia del cemento al casing y a la formación.



Fase de ejecución

Reunión de pre-inicio

Como parte de la preparación y la comunicación del plan de perforación propuesto se realizaron varias reuniones previas al inicio con el personal operativo y de supervisión de la regional para explicar detalladamente la

propuesta de perforación y especialmente aquellos puntos que eran diferentes en este pozo con respecto de los pozos que normalmente se perforan por YPF en el área. Varios detalles operativos fueron ajustados de acuerdo con la disponibilidad de recursos y servicios en la regional y desde el punto de vista de contratos para servicios identificados como críticos (por ejemplo, equipo UBD de contingencia, Pony para posicionamiento de equipo de torre) tuvieron que ser gestionados a través de adaptación temporal de contratos de servicios para la realización de esta operación.

A todo el personal se le explicó con especial énfasis el control de pozo preventivo destacando la importancia de identificación temprana de signos de aporte de pozo para evitar situaciones de *well control* con presiones de control elevadas y riesgo de comprometer la operación.

El procedimiento de *finger printing* que es nuevo en las operaciones de YPF fue específicamente preparado y explicado a todo el personal de operaciones y de ingeniería en la regional desde la fase de planeación para tener un buen entendimiento del fenómeno de comportamiento de expansión de fluido de perforación por efecto térmico con el objetivo de no ser confundido con un aporte de pozo (situación de control de pozo).

Dado que se incorporaron varios participantes en sitio para la operación (cabina de control geológico, sensores PVT, maquinista y personal de compañía de torre, Company Man, Jefe y Superintendente de operaciones de la regional) se reforzó el proceso de comunicación especialmente ante situaciones / eventos que si no eran bien controlados desde el inicio podrían generar a problemas de calidad críticos.

Operación etapa preparación de equipo de perforación

Para llevar adelante este proyecto se debió contar con un tiempo mínimo previo al ingreso a pozo; preparar la torre de perforación, los equipos, los contratos y los elementos de operación como de respaldo para desarrollar así la perforación.

Entre los puntos más importante por destacar se encuentran:

- Remplazo sección C de cabezal existente de 7 1/16" 10M a sección B1 de cabezal 11" 15M.
- Pony y altura subestructura.
- Reforma y alineación en circuito de alta presión.
- Desgasificador.
- Piletas de circuito principal y volumen auxiliar de ahogue (*kill mud*).
- Capacidad de separador, líneas de quema y de pánico.
- Removedores (agitación) y embudos con capacidad para preparación de gran volumen.

	Servicio	Mont.	Baja	Perfil	Saca	Desm	Total
Run 4.1	QAIT-QSLT-PPC	2,00	1,75	1,25	2,25	1,00	8,25
Run 4.2	CMR-NEXT	1,00	1,75	2,25	2,25	1,00	8,25
Run 4.3	QLDT-QCNT-HNGS	1,00	1,75	1,25	2,25	1,00	7,25
Run 4.4	FMI-GR (1)	1,00	1,75	1,25	2,25	1,00	7,25
Run 4.5	NDT-GR	1,00	1,75	6,00	2,25	1,00	12,00
Run 4.6	MSCT-GR	1,00	1,75	6,00	2,25	1,50	12,50
Run 4.7	UBI-GR	0,50	1,75	2,25	2,25	2,00	8,75
							64,25

- Programación y logística de materiales para preparación de fluido en locación.
- Montaje de BOP 15K de 5,5 m de altura, lo que obligó a la utilización de grúas de 70 tn, tarea debió ser bien organizada desde el aspecto de cargas suspendidas, como asegurar el hermanado y torqueado efectivo.

Operación etapa perforación de pozo de la sección producción

Antes de comenzar la fase de perforación y llevar adelante la sección final de pozo en 6", se realizó la rotación de collar *shoe track* con trépano de conos. Esta maniobra se utilizó para conocer el estado de fondo de pozo y para la conversión de fluido por uno pesado. Así se pudo contar con la primera barrera activa. La zapata de fondo era una de tipo perforadora, por lo tanto y como estaba planificado, se utilizaron una serie de fresas especiales que se encargaron de moler la mencionada zapata y su *crossover* que la vinculaba al casing 7" (Figura 5).

En principio y, como estaba estipulado, se perforó con trépanos de conos, ya que la geología nos desafiaba a valores de compresibilidad de roca entre 20.000 psi y 25.000 psi y, por momento, mayores también. Por ello las ratas de penetración esperadas no superarían 1 m/h, y sumado a un ambiente HPHT, la densidad empleada y la durabilidad de los cojinetes, los tiempo máximo para cada carrera por cambio de trépano estaban entre 40 y 50 h algo más de lo programado.

Con estudios de análisis de roca previos se había identificado los cortadores PDC más específicos por si fuera necesario su uso.

Fueron ejecutadas dos carreras, ambas con trépanos PDC 6 in con configuración 6 aletas y cortadores para alto impacto. La primera de ellas logró un avance desde los 4241 m hasta los 4409 m, lo que llevo un avance 168 m equivalente a más de cuatro carreras de trépanos de cono.

En cuanto al segundo caso, tanto fue su avance en métricas perforadas, que condicionó el poder realizar un cambio en la profundidad final de pozo que llevo a poder tener mejor visualizada mediante recortes en superficie la formación alcanzada. Esta segunda carrera logró un avance desde los 4409 m hasta los 4635 m (profundidad final de pozo) y llegó a 226 m de avance.

Para la primera carrera de PDC se logró ROP 1,75 m/h y 96 h de perforación (Figura 6). Mientras que en el segundo caso, la ROP fue de 1,74 m/h y 130 hs de perforación (Figura 7).

En ningún caso se utilizó motor de fondo, ya que el ambiente y la temperatura hubieran generado una degradación temprana de sus componentes.

Si bien, el diseño original contemplaba la utilización de trépanos TRC, trabajar sobre la evaluación de riesgos y sus mitigaciones correctivas llevando al cambio de un tipo de trépano por otro, produjo un salto cuantitativo como cualitativo en ROP y métricas.

Aunque se perforaron 135 m adicionales a la profundidad planificada, el desempeño de los trépanos permitió que se perforara en menos tiempo de lo que se programó.

Los viajes mayores a 4200 m demandaban que, previamente se ejecutara una rutina de alistamiento por posibles influjos y desestabilización de densidad, producto de ingreso o percolado de gas:

- *Fingerprinting*
- *Flow check*
- Velocidad de viaje
- Llenado de pozo por tanque de viaje

Como fue planeado en cada agregado, antes de realizar el desenrosque, se controló el desplazamiento, que se monitoreaba en tiempo real a través de la sala de monitoreo que opera en el área de NOC según flujo de tareas (Figura 8), todos los controles de ganancia de volumen se realizan a través del nivel del *trip tank*, dando como resultado lo que se observa en la figura 9.

La velocidad de viaje se determinó mediante modelado y se implementó el seguimiento mediante *software*. Con este método, las curvas de surge & swab eran corregidas y ajustadas con los parámetros de densidad y reología y controladas minuciosamente.

La planilla de llenado de pozo es una herramienta de uso frecuente y, si bien es antigua, resulta muy efectiva, manteniendo la condición preventiva y a la cuadrilla en estado alerta.

Durante la etapa de preparación del fluido de alta performance se dispuso un volumen 120 m³ con densidad de 1950 g/l, lo cual demandó 113,7 tn de barita como material densificante. La operación demandó un tiempo consi-



Figura 5. Fresas utilizadas y estado final.



Figura 6.



Figura 7.

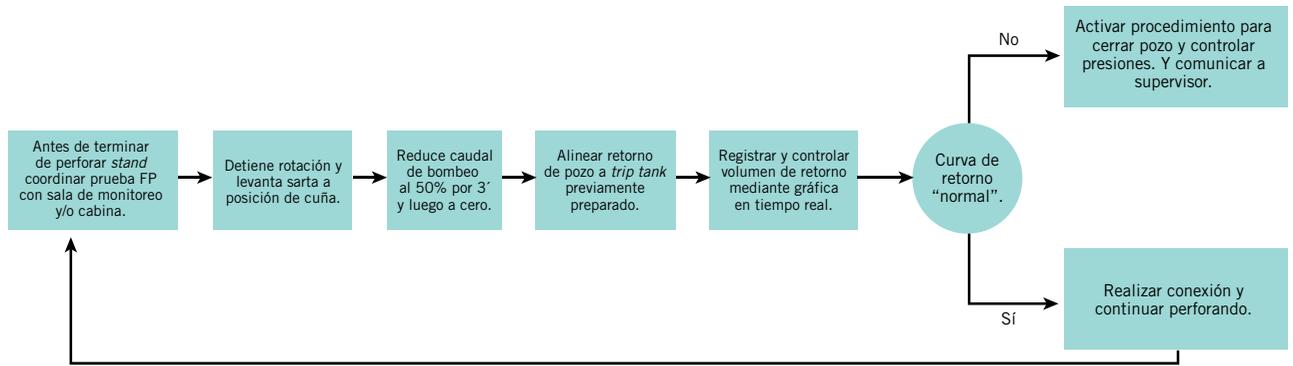


Figura 8. Secuencia de operaciones.

derable de 6 días, debido a la homogenización necesaria, luego estuvo aproximadamente un mes bajo agitación en las piletas antes del comienzo de la perforación, debido a los tiempos que demandó el acondicionamiento de equipo, montaje y pruebas de la BOP. Se realizaron pruebas pilotos con goma xántica para incrementar la capacidad de suspensión del fluido. Dicho tratamiento, más el agregado de los agitadores hidráulicos y mecánicos en piletas solucionaron los inconvenientes de decantación de la baritina.

Por otro lado, se acondicionó un volumen de ahogue de 1,5 veces el volumen del pozo de densidad 2210 g/l.

Además de los ensayos de laboratorio para ajustar el diseño y la formulación, se llevaron adelante ensayos pilotos previos a todos los tratamientos de lodo en locación, al igual que ensayos semanales de reología HPHT, para ello se utilizó viscosímetro Fann 77 y ensayo semanal de la distribución de partículas del fluido del sistema activo en laboratorio de base operativa.

La evaporación del agua del fluido de perforación fue contrarrestada con adiciones constantes de agua fresca. La tasa de adición de agua fue variando a lo largo de la operación y se realizaron los cálculos en base a:

- Mantener la densidad estable.
- Mantener volúmenes.
- Se comparaban los cálculos de tasa de adición de agua con los cálculos teóricos.

Se trabajó con valores de calcio > 400mg/l (0,4 kg/m³) dado que en gran parte de la operación se registró presencia de CO₂.

El control del filtrado fue una preocupación, ya que en estos tipos de pozo es fundamental su evolución.

Al principio de la operación de perforación, se observó que el comportamiento del filtrado HTHP no fue regular. Solo era posible mantener los valores dentro de lo programado al cabo de cierta cantidad de tiempo, esto variaba entre 30-40horas, superado este lapso el filtrado HTHP se incrementaba drásticamente desde 14 cc/30 min hasta 30-40 cc/30 min. Una vez realizados los ensayos correspondientes y, a partir de la profundidad de 4200 m, se comienza a realizar el tratamiento de mantenimiento conservando los valores por debajo de los 20 ml. De esta manera fue posible mantener el control del filtrado HTHP hasta el final de la operación.

En varias oportunidades se observó que el fluido aumentaba la densidad, al disminuir la temperatura. Dicho

evento ocurría cada vez que había una maniobra en pozo (viaje de reconocimiento, cambio de trépano, registro eléctrico, etc.). El fluido de la superficie quedaba removiéndose hidráulica y mecánicamente por prolongados períodos, su temperatura descendía a la temperatura del ambiente (20-30 °C) y la densidad aumentaba un promedio de 60 g/l.

Antes de a cada maniobra se tomaba una muestra del fluido de fondo de pozo, se colocaba a rolar por 16 h a 350 °F. Luego se le realizaba un ensayo completo para verificar el efecto de la temperatura sobre el fluido por períodos prolongados. En todas las oportunidades que se realizó este proceso, se observa que la temperatura no afectaba de manera drástica a las propiedades del fluido. Luego de cada viaje realizado, durante los cuales el fluido permanecía estático por prolongados períodos, al volver al fondo con la herramienta y circular sobre fondo, con las muestras obtenidas se pudo comprobar que las propiedades del fluido no estaban muy deterioradas. Así se demostró el buen desempeño de los productos que se utilizaron para preparar el fluido de perforación.

A partir de perforar los 4360 m se observa que la reología tiene una tendencia creciente, por lo tanto las concentraciones de aditivos para alta temperatura se ajustan a las concentraciones programadas. Previo a esta profundidad, se debió trabajar con concentraciones menores a las programadas, debido a que la tendencia de la reología era disminuir sus valores. Posteriormente y a partir de los 4430 m de profundidad, la tendencia al incremento de la reología se hizo más pronunciada. Esto llevó a que se realizaran ensayos pilotos con *Therma Flow 500*, *Carbonox* y *Therma Thin* (5, 10 y 2 lt-kg/m³, respectivamente) con diferente

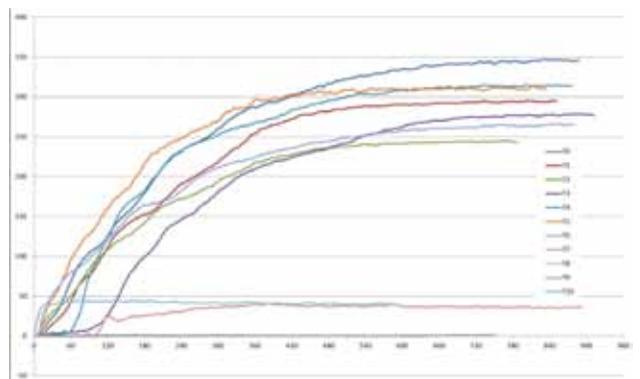


Figura 9. Control de ganancia de volumen. SPE 163474.

concentraciones de filtrado HPHT y nuevamente ajustada la reología, se completa el tratamiento sobre el circuito activo de pozo, ajustando los valores del fluido.

Una vez alcanzada la profundidad final de 4635 m, y a partir de una muestra de fluido de fondo del pozo y se realiza el ensayo de rolado por 88 horas. El motivo de esta decisión se basa en que las carreras de registro eléctrico que se debían realizar durarían un lapso de 5 a 7 días.

Finalizado el ensayo se procedió a explorar la celda y no se encontró sedimentación de barita en el fondo; sin embargo, se observó una disminución pequeña en la lectura de densidad.

El fluido, durante toda la construcción de pozo, ha demostrado un alto coeficiente de dilatación térmica produciendo grandes variaciones en la densidad según la temperatura de las muestras. Se observó una disminución del pH de un punto por efecto de la temperatura y la degradación parcial de los polímeros presentes en el fluido.

La densidad durante la ejecución de operación perforación se mantuvo constante entre 1930-1960 g/l. Antes de los viajes de tubería y la operación de registro eléctrico se incrementaba la densidad a 1980 g/l. Para realizar la maniobra final de viaje de tubería perforación desarmando a superficie, se decide llevar la densidad hasta un valor de 2060 g/l, para luego correr el revestidor. El bisulfito libre siempre fue controlado y ajustado por encima de 200 mg/l.

Durante la entubación de la cañería de 5", se baja hasta 1500 m de profundidad, se circula rompiendo geles y luego continúa corriendo *casing* hasta los 3007 m donde intenta circular sin éxito. Ante la imposibilidad de poder continuar entubando debido a no lograr circular se decide desentubar, intentando circular cada 500 m desentubados sin resultado, se saca así hasta superficie. Una vez con la cañería afuera, se decide bajar cañería, sin centralización (se retiran centralizadores), circulando cada 150 m y reduciendo la densidad con agua a 1930 kg/m³, lo que contribuyó, además, a facilitar el desarrollo de la cementación, debido a la reducción de la reología a valores propicios: VP: 25-30 (0,025 a 0,03 Pas.s) y PC: 15-20 (7,2 a 9,6 Pa). Bajo este modo se pudo entubar sin problemas según lo planeado. Si bien, el filtrado HTHP se vio afectado, este se incrementó de 18 a 33 cc/30 min, no fue significativo su impacto a la operación de revestir y cementar pozo.

Con la cañería en fondo se circuló el pozo a caudal ascendente hasta alcanzar los 120 GPM, se circuló por 4 hs hasta estabilizar presiones. Se detuvo la circulación para bajar colgador y niple de maniobra, quedando la cañería colgada a partir de esta maniobra. Se montó la cabeza de cementación y circuló por 6 hs adicionales hasta el inicio de la operación. Parámetros finales: Q: 124 g GPM (3 BPM), P: 1630 psi, d: 1940 gr/lt, VP: 25 cp y YP 18 lb/100ft², Gas: < 10.000 ppm.

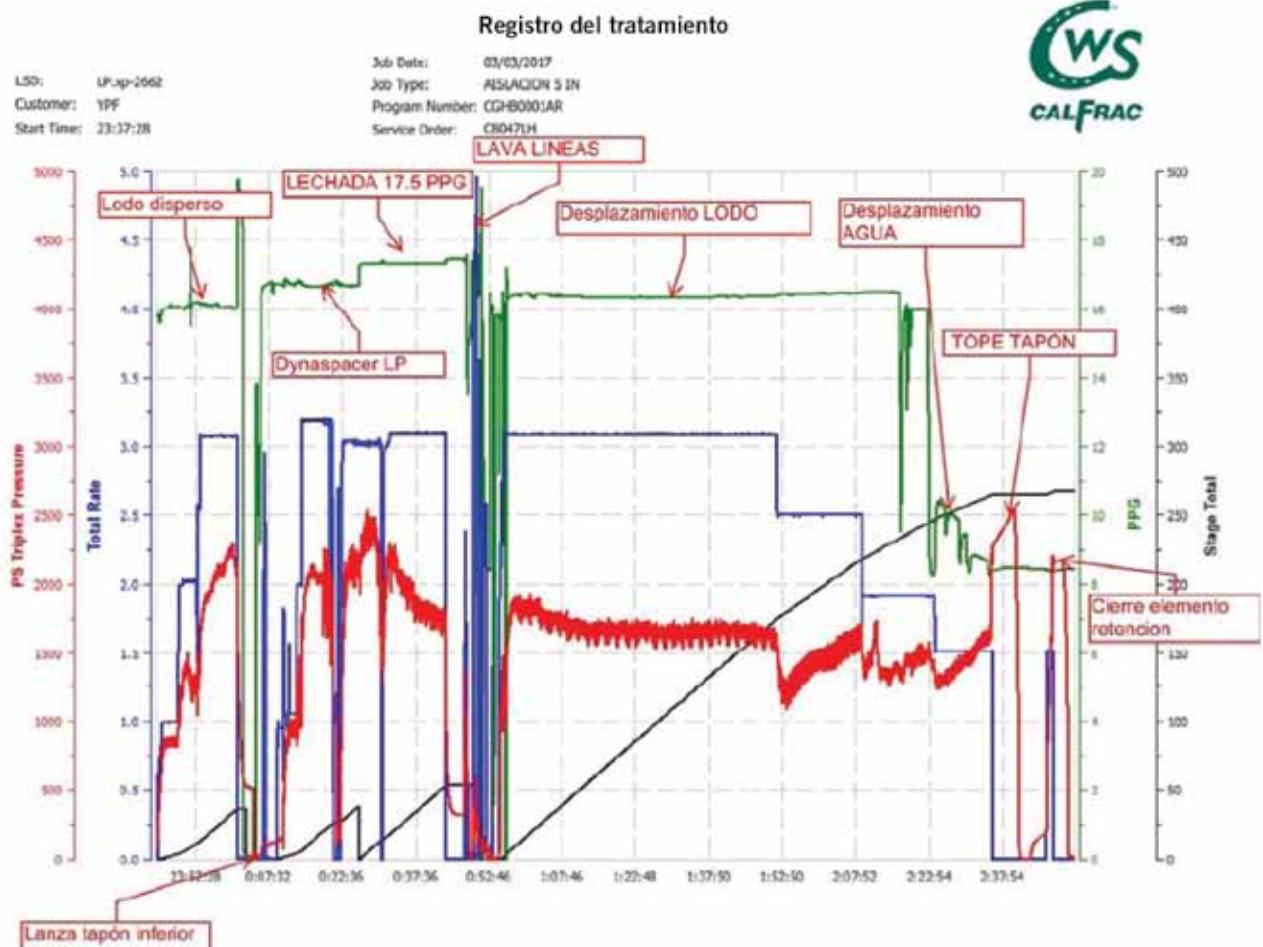


Figura 10. Secuencia de maniobras.

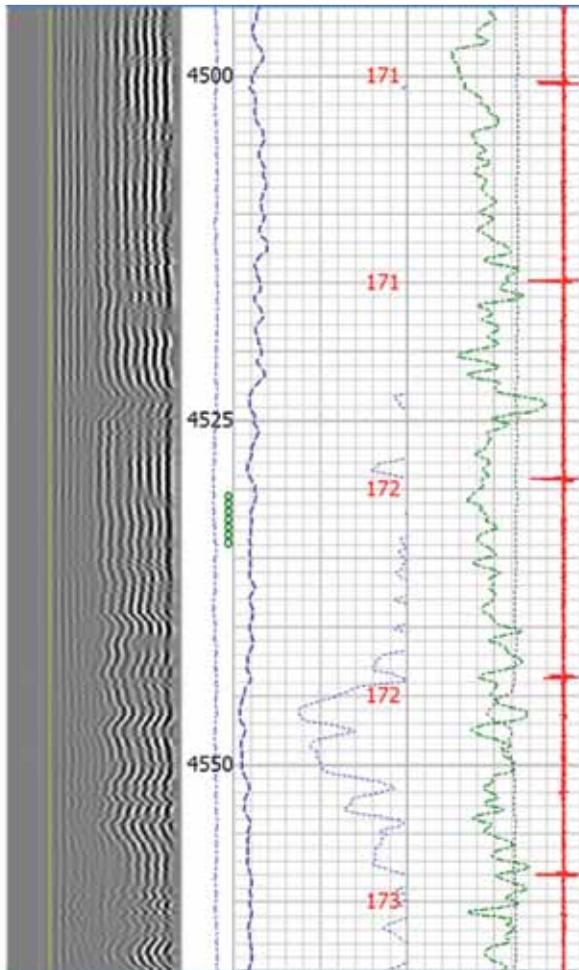


Figura 11. Registro CBL (Cement Bond Log).

La operación de cementación se realizó según lo programado, realiza tope tapón con 1600 psi, alcanzando una presión de cierre de 2270 psi. Luego despresuriza observando el buen funcionamiento de los elementos de retención en el segundo intento y de acuerdo con un programa previo de despresurización (Figura 10).

CBL: semanas después de terminado el pozo, se corrió un perfil CBL, se pudo constatar el fondo en 4610 m, donde se perfiló desde esa profundidad, y el perfil de diagnóstico de cemento tiene un resultado bueno en la zona de los punzados, como se muestra en la figura 11.

Lecciones aprendidas

- Para este tipo de proyectos, en la Argentina es fundamental una buena planificación. Es necesario contar con un marco de opciones y tiempos mínimos para preparar, desarrollar equipos de trabajo, contratos, torre de perforación y herramientas acordes para perforar pozo HPHT.
- La verificación exhaustiva y previa a las operaciones para cerciorarse de que todo el equipamiento (bombas centrífugas, elementos de remoción hidráulica y mecánica, embudos de mezcla, piletas, válvulas, etc.) funcione de manera óptima, es esencial para el éxito de un pozo HPHT.
- La manera más eficiente de realizar tratamientos al flui-

do del circuito activo fue separando parte del volumen, agregar material y luego dosificar paulatinamente sobre el circuito para homogenizar sin variaciones de propiedades.

- Luego de cada viaje de tubería, en las que el pozo quedaba estático por período prolongado, al regresar al fondo con BHA y circular, siempre se pudo observar en la muestra de fluido del fondo, que las propiedades no se veían alteradas. Así se demostró, una vez más, que el diseño y el rendimiento de los productos que se utilizaron cumplieron su propósito.
- Los ensayos de reología HPHT, que se realizaron semanalmente, fueron esenciales tanto para la comprensión del comportamiento reológico del fluido en toda la extensión del pozo, como para los datos obtenidos. Además se utilizaron como *input* para las simulaciones de hidráulica durante la perforación del pozo.
- El cálculo previo de las velocidades máximas de maniobra para cada intervalo fue importante para la prevención de Surge & Swabb, así minimizamos la entrada de gas al pozo.
- Para pozos HPHT el cálculo y el seguimiento del sistemas de “Smart Flowback Fingerprinting” fue fundamental para no incurrir en suposiciones de surgencia inexistentes.
- Con el objetivo de bajar al ECD durante la cementación, utilizar un equilibrio entre caudales bajos y un tiempo de operación bajo.
- Re ensayar todos los productos/fluidos que se utilizarán en la cementación a la temperatura real de fondo (tanto de la lechada como de los colchones) para evaluar que las propiedades de los mismos no se vean afectadas y generar altos geles o valores reologicos no deseados.
- Tener precalculado la despresurización de *casing*, en caso de falla de los elementos de flotación, alta probabilidad de ocurrencia para este caso, dado el ΔP reducido. ■

Conclusiones

Este proyecto de pozo profundo con objetivo Neocomiano representó un desafío técnico por sus características únicas en comparación con los demás pozos de exploración de la Argentina, ya que es un pozo pionero con potencialidad de abrir una nueva área de desarrollo profundo en el Sur de Argentina.

Por delante queda asumir el reto de la prueba de pozo en los intervalos de interés identificados en la perforación, con lo cual se abrirá un nuevo horizonte de posibilidades para el desarrollo de objetivos en esta área.

Observaciones

HPHT well high pressure and high temperature well with expected shut-in pressure exceeding 69 MPa, or a static bottomhole temperature higher than 150 C.

Bibliografía

- NORSOK D-010, Well integrity in drilling and well operations, Rev. 3, August 2004. Global Standards.*
Automated Alarms for Smart Flowback Fingerprinting and Early Kick Detection SPE/IADC 163474.