

CEMENTACIONES EN DESBALANCE ESTÁTICO

Autores

Esteban Braghieri; YPF S.A.; esteban.braghieri@ypf.com

Facundo Guillermo Games; YPF S.A.; facundo.g.games@ypf.com

Leopold Franck Bernanrd Peiffert; YPF S.A.; leopold.f.peiffert@ypf.com

Mario Gabriel Abraham; YPF S.A.; mario.g.abraham@ypf.com

Sinopsis

La perforación de pozos horizontales en el bloque de La Amarga Chica implica atravesar las Fm. Quintuco y Vaca Muerta con elevadas densidades y en algunas zonas en particular, dada la presencia de fisuras a lo largo de Fm. Quintuco o en el tope de Fm. Vaca Muerta, trabajar con márgenes operativos entre admisión e influjo estrechos.

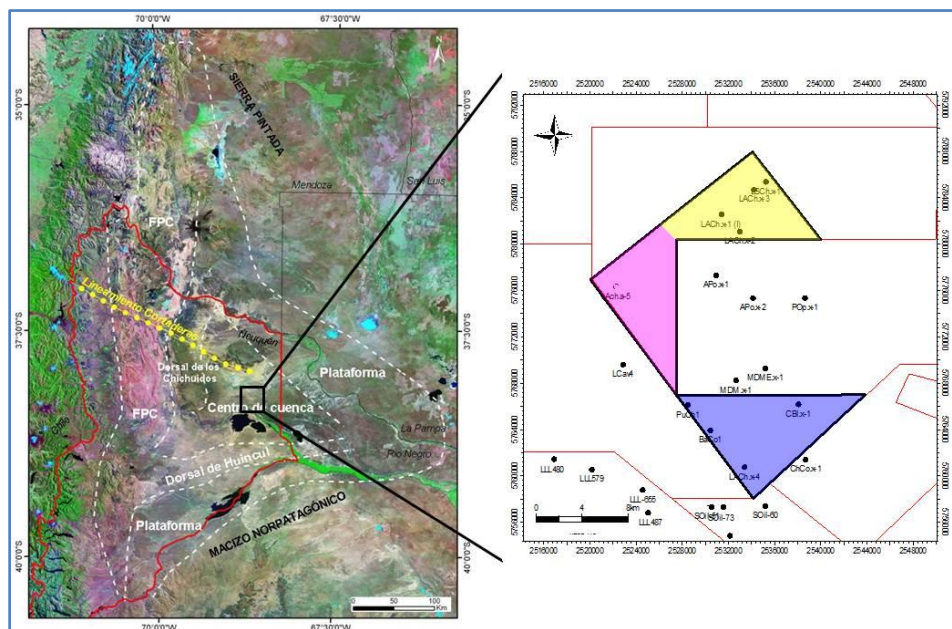
La densidad utilizada para lograr el balance estático del pozo condiciona el diseño de la cementación e implica, dada la necesidad de disponer de una jerarquía de reología, trabajar en la mayoría de los casos con fluidos de mayor densidad. Operar en estas condiciones, sin la asistencia del Equipamiento de Bajo Balance UBD, implica superar las presiones de admisión entrando en pérdidas lo que repercute en mala calidad de cementación con grandes posibilidades de incurrir en posteriores remediaciones.

Para mitigar esta condición se ideó un proceder que consiste en operar durante la cementación con fluidos en condición de desbalance estático logrando mitigar pérdidas y procurando estar por encima de la presión de influjo generando ahorros en costo y tiempo de relevancia.

Introducción

El bloque de La Amarga Chica se ubica en el sector Centro-Este de la provincia de Neuquén, al NE del bloque de concesión Loma Campana. La localidad más cercana es Añelo, ubicada a unos 18 km al SO.

Figura 1 – Ubicación del Bloque



Se trata de un área total de 189 km² dividida en tres triángulos los cuales denominamos Triángulo Sur, Triángulo Centro y Triángulo Norte. Al Norte linda con los bloques de Aguada del Chañar y Aguada Federal, al Oeste con Bandurria Sur, al Sur con Loma Campana y al Este con Cruz de Lorena.

El bloque es operado por YPF en asociación con Petronas. Actualmente atraviesa la tercera fase de un Proyecto Piloto donde uno de los principales objetivos estratégicos continúa siendo el derisking del área. El bloque cuenta a la fecha con 14 pozos horizontales y 3 verticales cuyos objetivos geológicos son niveles varios en la formación Vaca Muerta.

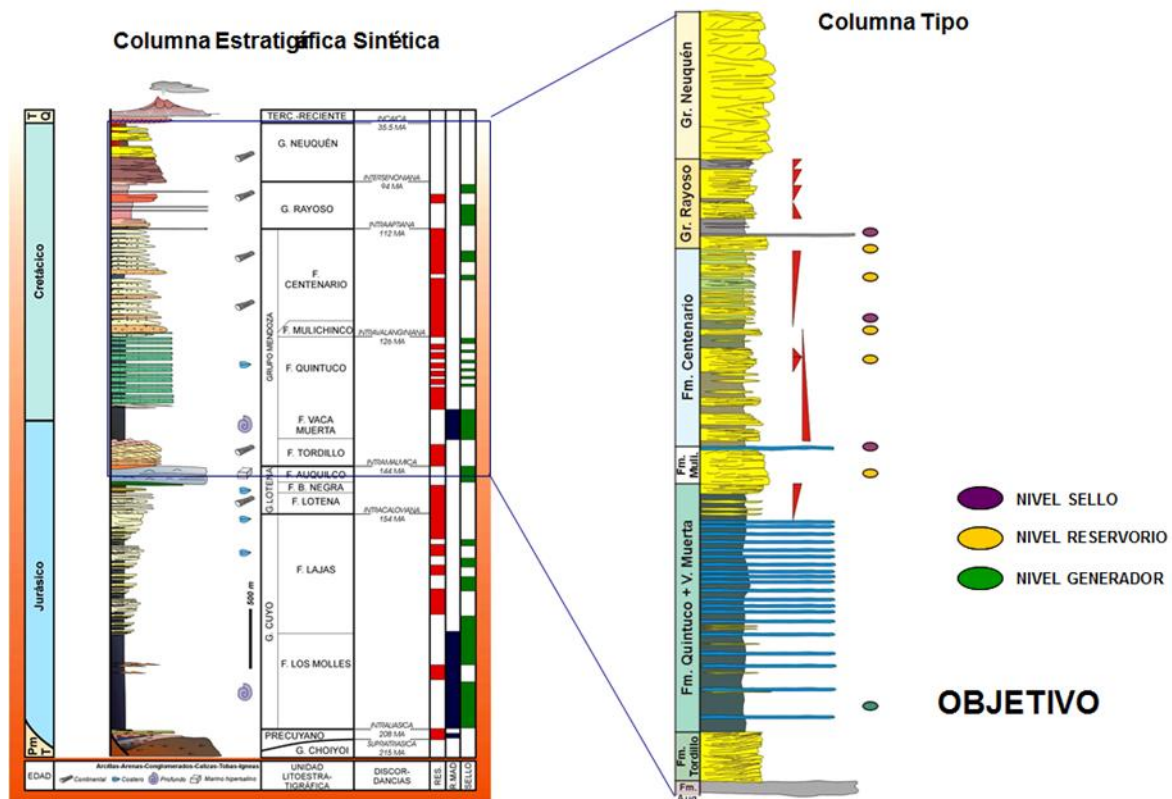
Cada triángulo, en la sección producción, ha presentado diversos comportamientos de geo presiones y en aquellas zonas de mayor problemática se debió utilizar Equipamiento UBD para perforar mediante MPD. La experiencia del bloque indica que los márgenes operativos, es decir la diferencia entre la presión de admisión y la de formación calculada, son por demás escasos. Es por esta razón que la presión que dinámicamente se ejerce al circular fácilmente puede generar que excedamos la curva de admisión incurriendo en pérdidas importantes de fluido.

Desarrollo

Formaciones - Litología

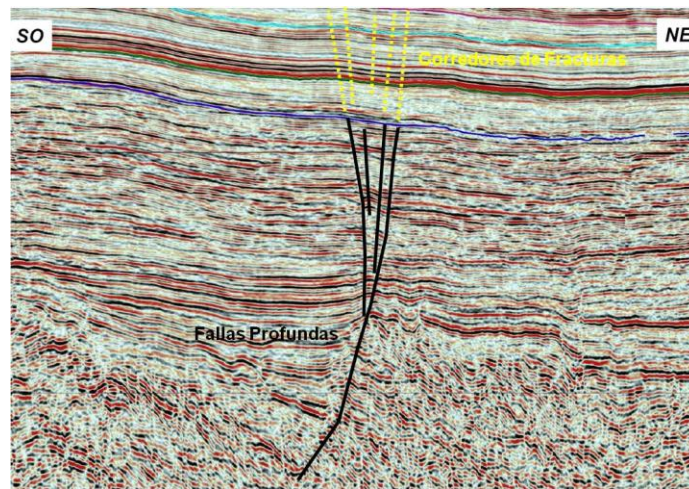
La columna estratigráfica correspondiente al bloque es la que se indica en el esquema debajo. La formación objetivo de todos los pozos perforados en el bloque es Vaca Muerta para lo cual deben atravesarse en orden de aparición las siguientes formaciones: Grupo Neuquén, Grupo Rayoso, Fm. Centenario, Fm. Mulichinco y Fm. Quintuco.

Figura 2 – Columna Estratigráfica



Debido a que el alcance del trabajo aplica a cementaciones en la sección producción nos limitamos a Fm. Quintuco y Fm. Vaca Muerta. Este sistema tiene un espesor promedio de 850 – 900 m y está conformado por una sucesión mixta clástica-carbonática acumulada en ambiente marino somero a profundo. La Fm Vaca Muerta se encuentra constituida por una sucesión de margas y arcilitas calcáreas en materia orgánica de ambiente marino, resultante de un período de máxima transgresión. Hay zonas en la cuenca con alta densidad de fracturas producto de la propagación de fallas precuyanas más profundas. Las fracturas tienden a producirse en las rocas más competentes, en los carbonatos masivos de Quintuco Superior. Existe una gran cantidad de sondeo de la Fm Quintuco en LLL con historia de producción tipo fracturado, con altas producciones iniciales, un pronto declino y estabilización.

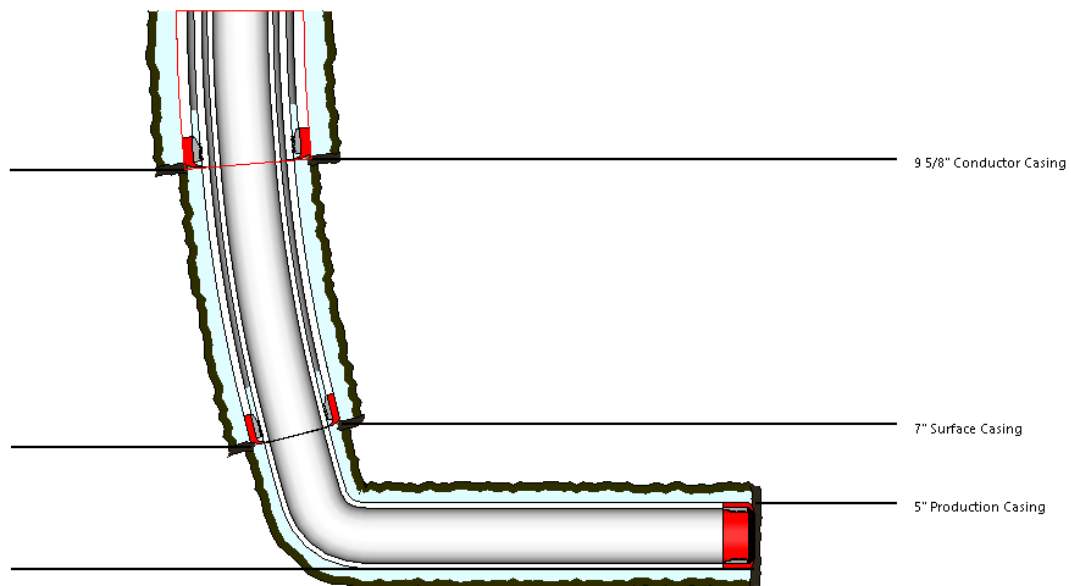
Figura 3 – Visualización de Fallas



Diseño de Pozos

El esquema de diseño de pozos consiste en tres cañerías. El zapato de la intermedia se asienta en el tope de Fm Quintuco. La sección aislación atraviesa la Fm Quintuco y Vaca Muerta con un OH de 6 1/8". El objetivo geológico es Fm Vaca Muerta y en el caso de los pozos horizontales navegan en esta formación con ramas horizontales de hasta 2000 m de extensión. La cañería aislación en el caso de los pozos horizontales con longitud de rama hasta 1500 m es combinada 5" x 4 1/2" mientras que aquellas con rama de extensión superior es monobore de 5".

Figura 4 – Esquema de Pozo

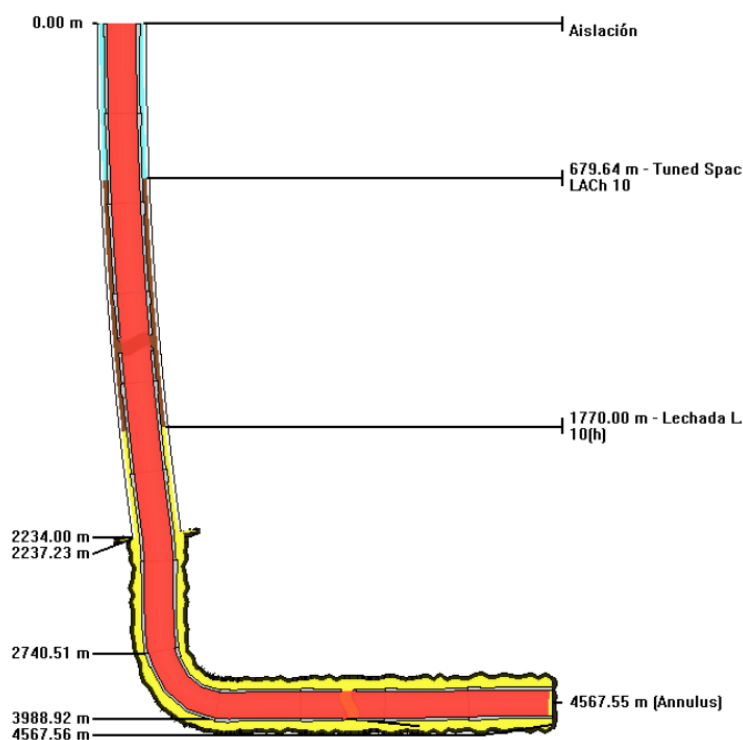


El nivel de navegación promedio se encuentra a una TVD aproximada de 2800 m mientras que la profundidad del zapato de la cañería intermedia se ubica alrededor de los 2200 m TVD. En el esquema inferior se ilustra la posición del cemento una vez finalizada la operación.

El diseño típico de cementación para la fase producción de los pozos horizontales consiste en un colchón y una lechada principal hasta el cruce de la cañería intermedia. Los metros de cruce de cemento van a depender de la expectativa de pérdida durante la operación procurando tener siempre un margen de seguridad ante este escenario (claro que también abarca los metros de cemento contaminado). Se estima aceptable, en base a la experiencia en la zona, planificar unos 500 m lineales de cruce.

En el esquema debajo se muestra gráficamente la posición de los fluidos esperada una vez finalizada la operación de cementación.

Figura 5 – Posición de Fluidos Cementación



Presiones de Admisión e Influjo

Durante la perforación de la sección las Fm. Quintuco y Vaca Muerta presentan grandes probabilidades de aportar fluidos a elevadas presiones. Primero Fm Quintuco en general y luego la entrada a Fm Vaca Muerta la cual en muchas ocasiones presenta fisuras cargadas con hidrocarburos sobre presurizados. En el caso de Fm Quintuco, como se indicó en la descripción litológica, se trata de una formación con presencia de fisuras dada su naturaleza carbonática.

En la siguiente tabla se enumeran los influjos observados en algunos de los pozos perforados. Los gradientes de influjo y de fractura son por cierto bastante cercanos dejando un margen operativo reducido.

Tabla 1 – Aportes y Admisiones Pozo LACH

Pozo	Prof. Aporte (m TVD)	Presión (Psi)	Grad. Inlujo (g/l)	Grad. Admisión (g/l)
Pozo 1	2742	6600	1,693	2,200
Pozo 2	2966	7800	1,849	1,950
Pozo 3	2922	6700	1,612	1,760
Pozo 4	2900	6200	1,503	2,200
Pozo 5	2437	5250	1,515	2,200
Pozo 6	2339	5650	1,900	2,200
Pozo 7			1,033	2,200
Pozo 8	2298	6200	1,800	1,980
Pozo 9	2743	7500	1,923	2,150
Pozo 10	2780	7700	1,948	2,100
Pozo 11	2964	7650	1,815	2,000
Pozo 12	2935	7500	1,797	1,890
Pozo 13	2743	7200	1,846	1,890
Pozo 14	2752	7300	1,865	1,930
Pozo 15	2803	7900	1,982	2,050

Nota: el orden número de los pozos no está asociado a orden cronológico.

Volcando la tabla en un gráfico de áreas y comparando la situación versus un bloque de referencia es claro que las ventanas operativas son reducidas.

Gráfico 1 – Ventana Operativa LACH

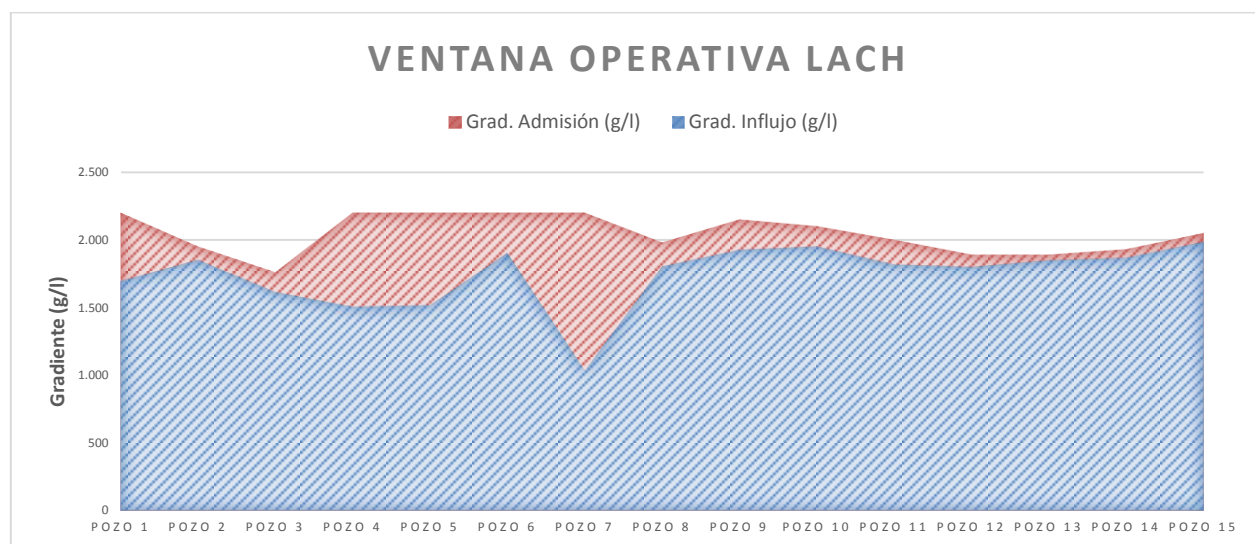
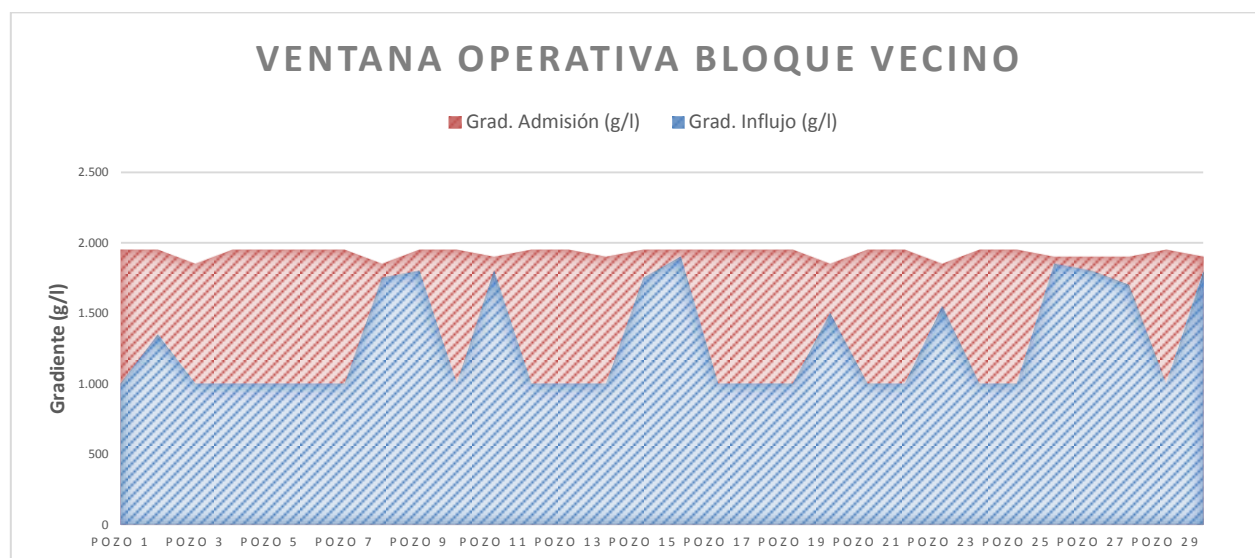


Gráfico 2 – Ventana Operativa Bloque Vecino



Densidades de Operación & Ahogue

Frente al escenario de presiones de formación y admisión descritas, las densidades de operación de aquellos pozos perforados sin el equipamiento de UBD fueron las siguientes.

Tabla 2 – Admisiones y Aportes de Pozos s/UBD

Pozo	Prof. Aporte (m TVD)	Dens. Operativa (g/l)	Dens. Ahogue (g/l)
Pozo 5	2437	1,600	1,830
Pozo 6	2339	1,970	2,150
Pozo 7		1,750	1,750
Pozo 8	2298	1,850	1,950
Pozo 9	2743	1,930	2,130
Pozo 10	2780	1,860	2,100
Pozo 11	2964	1,790	1,850
Pozo 12	2935	1,780	1,920

Las densidades de ahogue son en general elevadas y cercanas a los límites de admisión observados. Los puntos de admisión e influjo muchas veces son coincidentes.

Problemáticas Durante las Cementaciones

Previo a haber implementado la Cementación en Desbalance Estático, en aquellos pozos que han convivido durante la perforación con un margen operativo acotado y sin el uso del equipamiento UBD, se observaron complicaciones varias a la hora de cementar. Ocurre que durante la operación de Cementación Convencional se prioriza estar estáticamente por encima de los

gradientes de aporte calculados y teniendo en cuenta la incidencia de las pérdidas de carga anular, particularmente en estos casos donde los márgenes operativos son acotados, las presiones dinámicas de circulación fácilmente exceden los gradientes de admisión estimados. Un diseño adecuado de Cementación implica disponer de una jerarquía de densidades entre lodo de perforación, colchones y lechadas lo que viene acompañado normalmente por un incremento de densidad de fluidos. El diseño mecánico de pozo implica trabajar con un espacio anular reducido. En definitiva, son factores que incrementan sensiblemente la presión de circulación. Es por ello que en varias operaciones se ha convivido con pérdidas de fluido ocasionando mala calidad de cemento hasta el punto de tener que incurrir en posteriores remediaciones.

Por citar algunos casos en el Pozo 8, incluso durante la operación de descenso de tubulares, se observaron pérdidas que totalizaron 19 m³. Durante la cementación el volumen retornado a piletas fue de 22.8 m³ versus los 70 m³ bombeados debiendo remediar la cementación por anular con impacto en tiempo y costo. El Pozo 6, dada la densidad de ahogue e incluso con la cual se perforó, se decidió previo a cementar proceder a montar el equipamiento UBD. El impacto en costo y tiempo que genera esta decisión fue de relevancia. En el Pozo 10 durante la circulación con cañería en fondo se perdieron 12 m³ y aún con el cambio de lodo por aquel utilizado en la perforación, durante la cementación se contabilizaron pérdidas por 3 m³.

Cementación en Desbalance Estático

- Diseño de Cementación

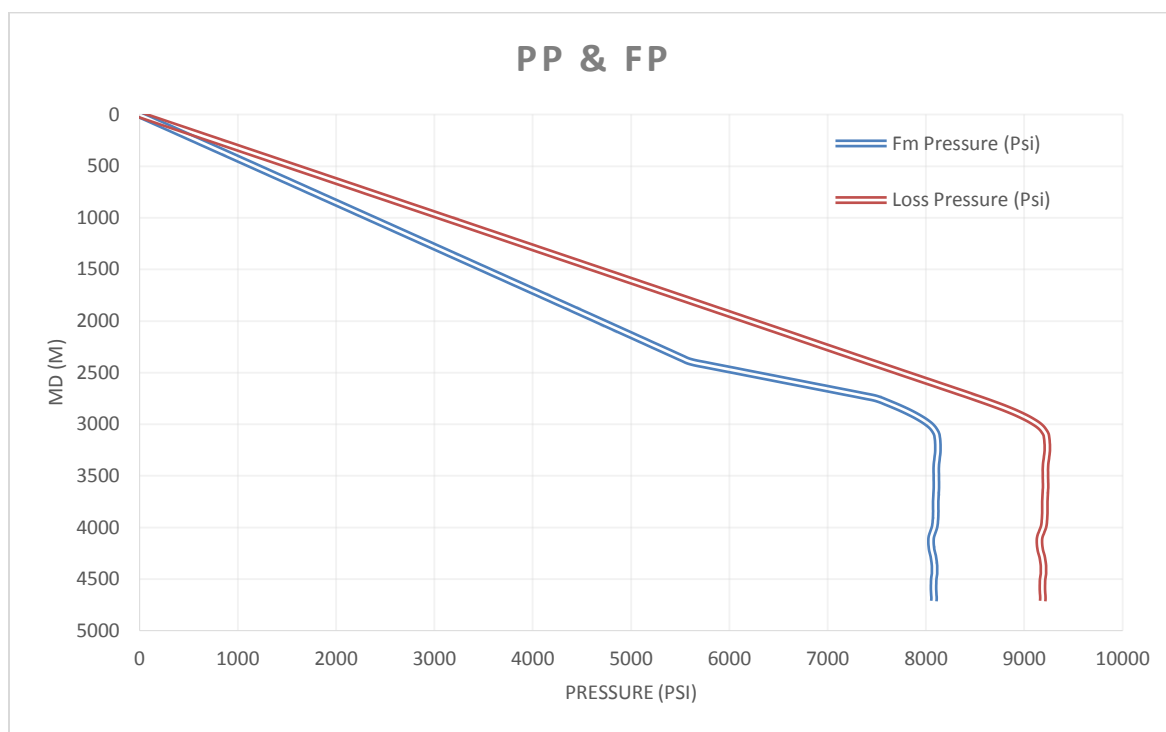
Con la Cementación en Desbalance Estático intentamos operar dentro del margen operativo trabajando con fluidos que hidrostáticamente no logran equiparar la presión de influjo pero que dinámicamente, en base a los caudales de operación planificados, están por encima de estas presiones en los puntos de interés. Es por esta razón que la circulación no debe ceder y los caudales planificados deben seguirse con cuidado. Debido a que el caudal de circulación es lo único que mantiene el sobre balance es preciso disponer en superficie de un arreglo que pueda prever cualquier inconveniente con el bombeo.

Se decide detallar el caso del Pozo 9 siguiendo la línea de análisis para concluir finalmente la necesidad de incurrir en la Cementación en Desbalance Estático. Presentó dos puntos de aporte y uno de admisión a partir de los cuales se generan las curvas de admisión y presión de formación.

Tabla 3 - PP & PF para Pozo 9

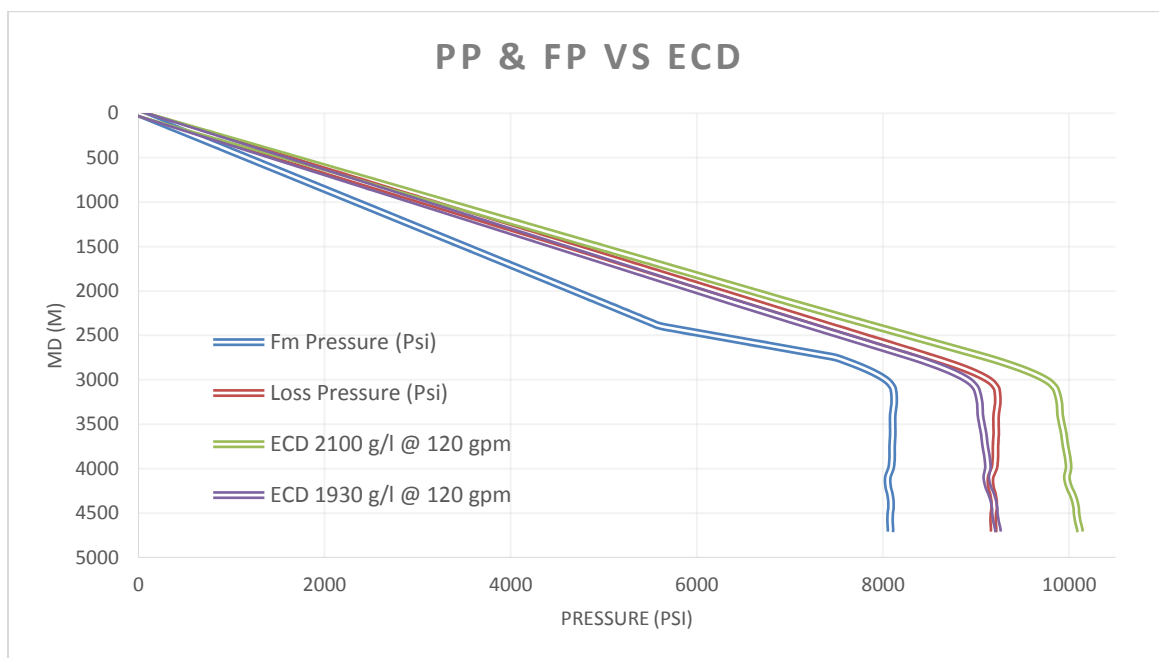
	Punto Aporte 1	Punto Aporte 2	Punto Admisión
Presión (psi)	5,600	7,500	9,080
Gradiente (g/l)	1,648	1,923	2,150
m MD	2,389	2,743	2,920

Gráfico 3 - PP & PF para Pozo 9



El diseño de tubulares para el Pozo 9 consta de 4900 m de cañería combinada 5" x 4 ½". El lodo de ahogue para proceder con el perfil asistido fue de 2100 g/l. Las simulaciones indican que circular con este último a caudal de cementación (120 gpm) excede la presión de admisión. Dado que esta densidad implica cementar con colchones y lechadas de mayor reología y densidad la opción queda descartada dado que se incurre en un escenario aún peor. Se simula circular con lodo de perforación de 1930 g/l el cual es prácticamente el gradiente de aporte. Los resultados muestran que la curva de presión dinámica sigue fuera del rango máximo.

Gráfico 4 - PP & PF vs ECD de Cañerías en TD con Lodo 2100 g/l & 1930 g/l @ 120 gpm para el Pozo 9



Queda pendiente realizar la simulación de la operación de Cementación. Las lechadas acordadas para cementar el pozo fueron las siguientes:

Tabla 4 – Lechadas y Colchones de Cemento

	Densidad (g/l)	Caudal (bbl/min)	Volumen (bbl)
Lodo	1,930	3	-
Colchón	2,040	3	50
Lechada	2,100	3	154
Desplazamiento	1,000	3 - 2 - 1 1/2 - 1	225

El resultado de la simulación detecta gran parte de la operación con presiones en el punto de admisión por encima de la presión de admisión calculada. Por el otro lado en el punto de aporte se observa que tanto hidrostáticamente como dinámicamente están por encima de la presión de formación.

Gráfico 5 - Presiones en el Punto de Admisión con Lodo 1930 g/l para el Pozo 9

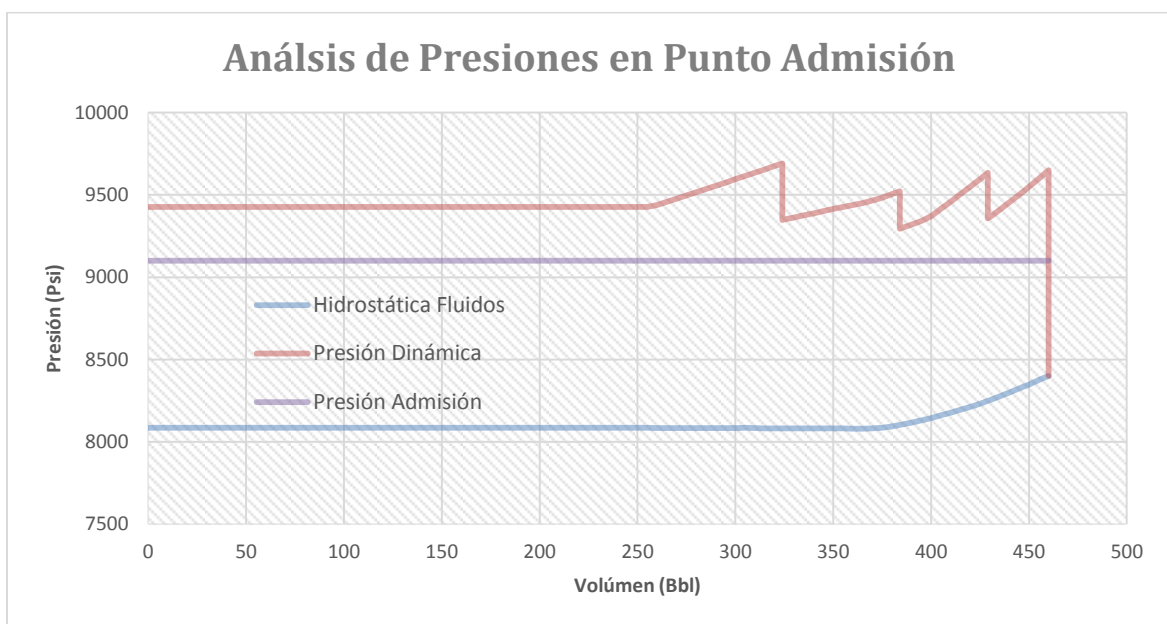
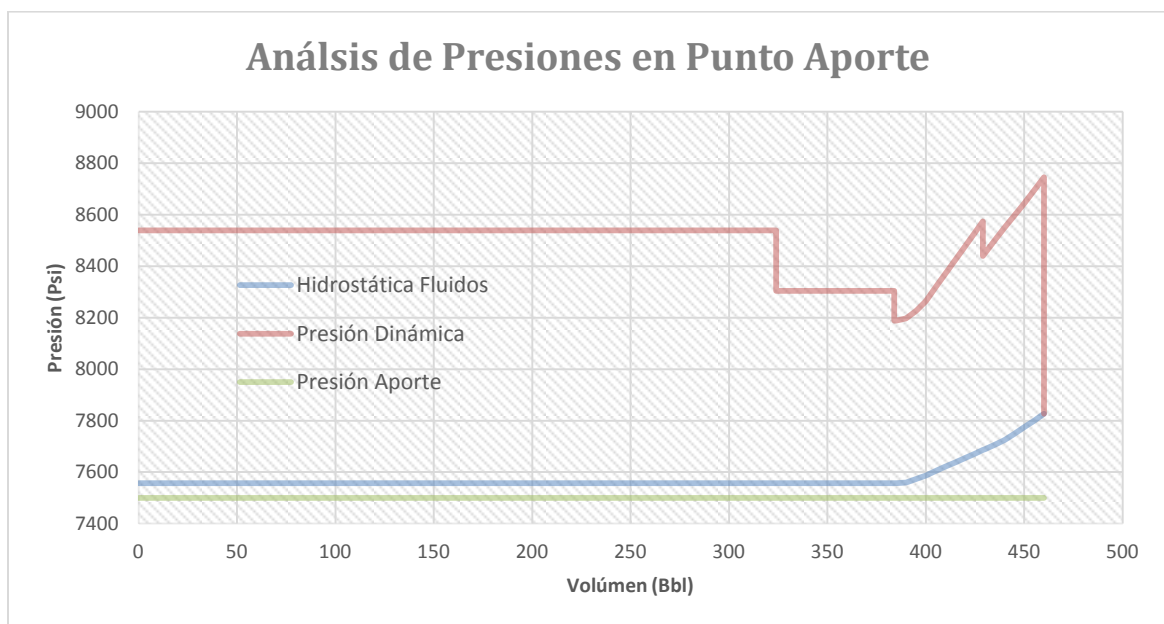


Gráfico 6 - Presiones en el Punto de Aporte con Lodo 1930 g/l para el Pozo 9



Simulando la operación con una densidad de 1850 g/l implica que estáticamente se encontrará por debajo de la presión de aporte. Se respeta el diseño de colchones y lechada ideado para la cementación con lodo 1930 g/l dado que por un lado la incidencia del lodo en la presión es más significativa que la de lechada/colchón y en segundo lugar se prioriza estar estáticamente sobre balance una vez finalizada la operación.

Las simulaciones muestran que logramos mantenernos en el punto de aporte dinámicamente por encima de la presión de aporte y unos pocos barriles antes del final de la operación alcanzamos

el balance hidrostático. Esto permitirá finalizar la operación en sobre balance. En cuanto al punto de admisión salvo en algunos pocos lapsos nos mantenemos por debajo de la presión de admisión. La situación es claramente mejor a la observada al cementar con lodo 1930 g/l. Se planificó el uso de obturante (fibra) ante la posibilidad de admisiones.

Gráfico 7 - Presiones en el Punto de Admisión con Lodo 1850 g/l para el Pozo 9

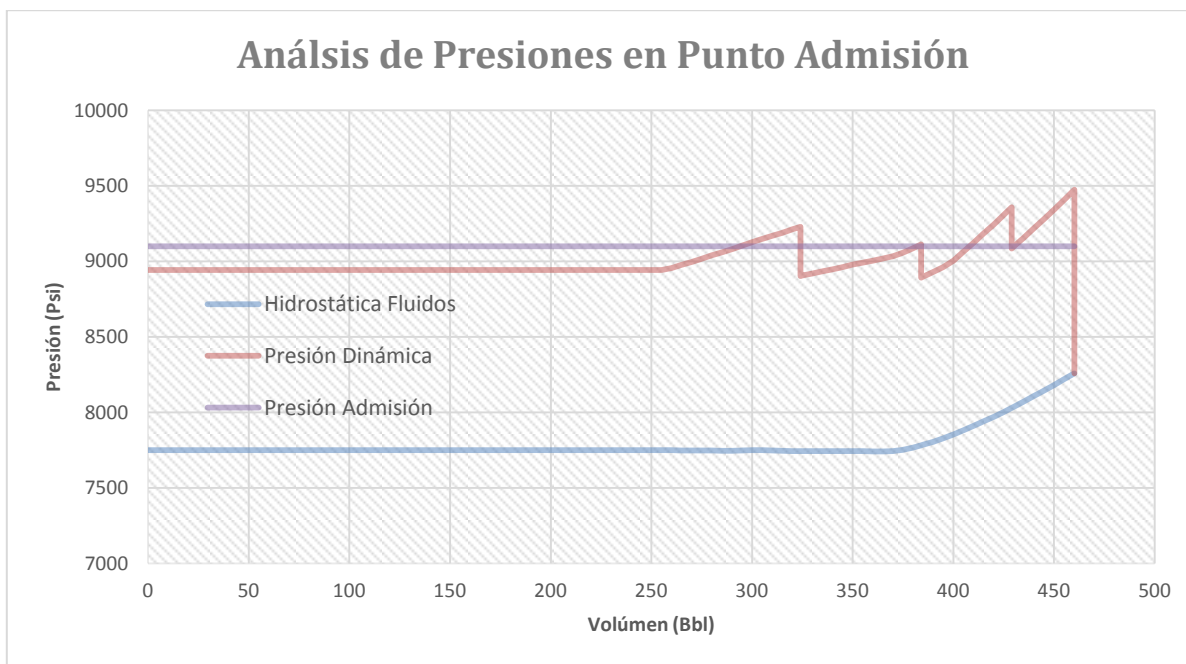
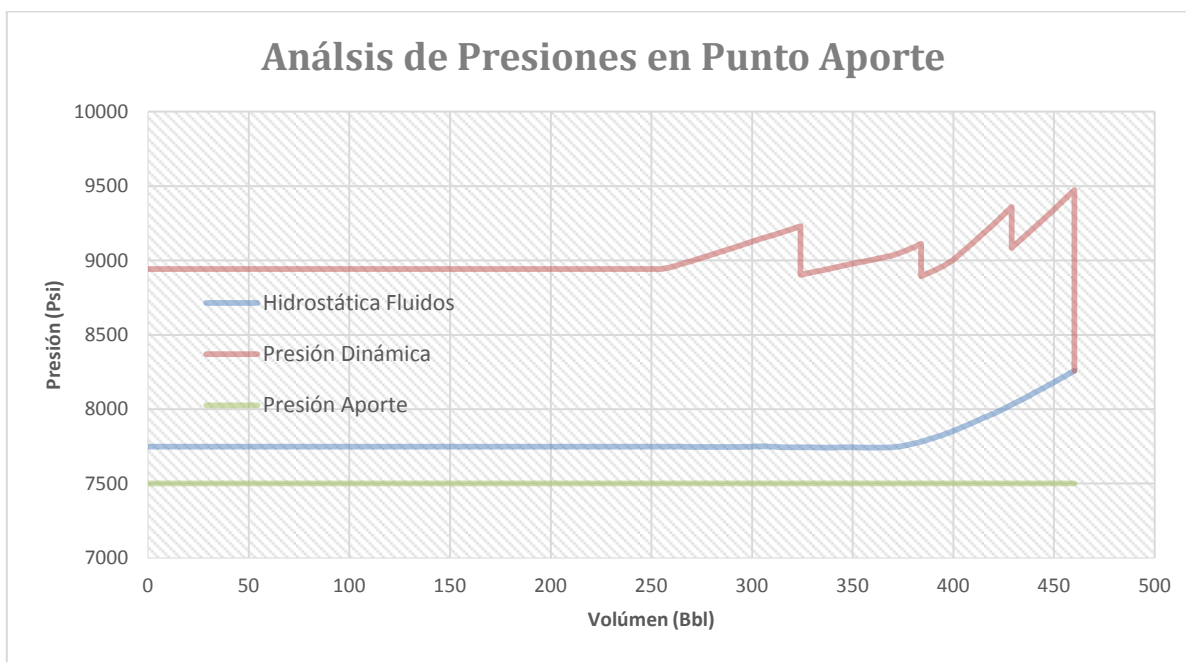


Gráfico 8 - Presiones en el Punto de Aporte con Lodo 1850 g/l para el Pozo 9



Se procede a simular la conversión de lodo con cañería en fondo de 2100 g/l a 1850 g/l. Se determina un caudal máximo inicial de 0,7 bbl/min hasta que el fluido liviano comienza a ganar altura en el espacio anular. A medida que comienza a perder hidrostática se eleva paulatinamente el caudal siempre en base a las curvas de presión de admisión y de formación estimadas. El esquema de bombeo particular para el cambio de lodo del Pozo 9 es el que se muestra continuación.

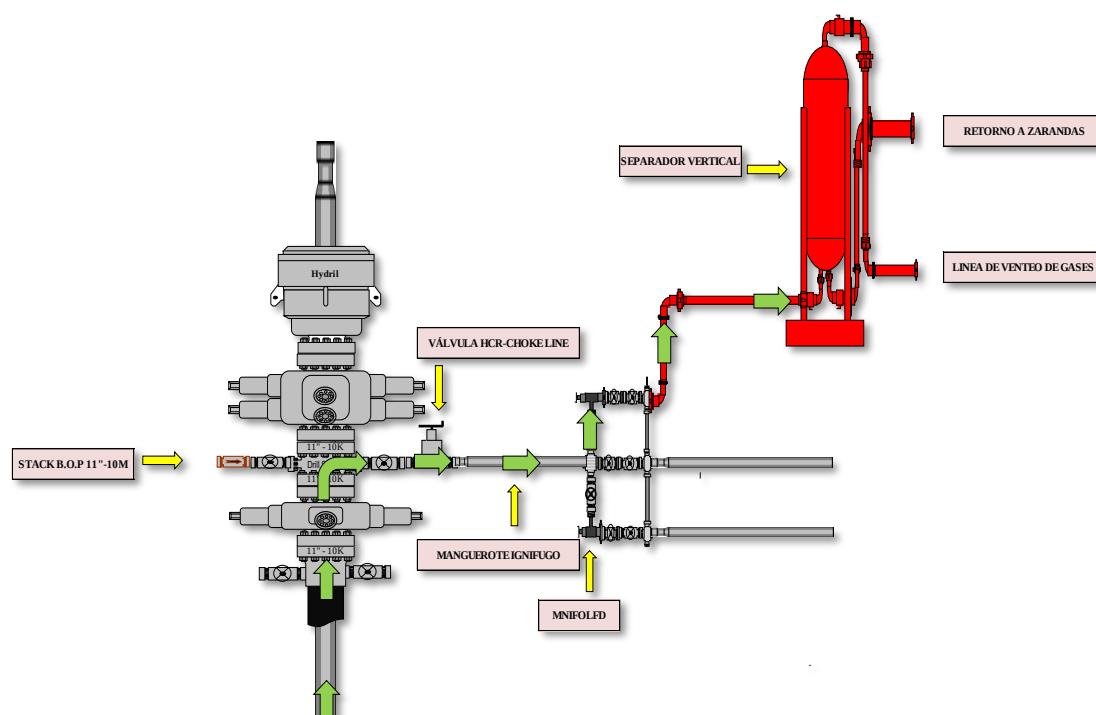
Tabla 5 – Esquema de Bombeo

Caudal	Volumen BBL
0,7 BPM	390
1 BPM	30
2 BPM	50
3 BPM	100

- Arreglo en Superficie

Operar en las condiciones propuestas conlleva un riesgo de control de pozo. Las pérdidas de circulación, paradas programadas o no programadas de bomba como así también haber subestimado la presión de formación son algunas de las causas. Para hacer frente a estas situaciones se dispone en superficie de un arreglo distinto realizando el circuito a través de la línea de choke / manifold / separador del equipo perforador. Esto no solo permite derivar fluidos de formación sin poner en riesgo la seguridad en locación sino también aplicar contrapresión como una herramienta adicional de control de operación.

Figura 6 – Arreglo de Equipamiento en Superficie



- Planes de Contingencia

Se identificaron las siguientes contingencias que requerirían el actuar del responsable de la operación durante la Cementación en Desbalance Estático.

- Admisiones
- Paradas Programadas de Bombas.
- Paradas No Programadas de Bombas.
- Subestimación de Presión de Aporte

En el caso de observar admisiones durante la operación es posible que las altas pérdidas por fricción que generan los fluidos (dada sus características reológicas) sean las causantes. En base al análisis de los márgenes de las ventanas operativa, restricciones de caudal dadas por equipamiento entre otros se recomienda evaluar una reducción en la tasa de bombeo. La recomendación opuesta aplica en el caso de detectar haber subestimado la presión de aporte aunque también se cuenta con la posibilidad de efectuar una contrapresión desde superficie.

En las operaciones de cementación existen momentos en el que el flujo debe ser interrumpido, como por ejemplo el lanzamiento de tapones de cementación. En estos casos donde es posible planificar la interrupción se debe coordinar con el operador del estrangulador para que el pozo sea cerrado sin variar la presión de fondo y así evitar el ingreso de fluidos de formación. En otras instancias el corte de flujo podrá ser inesperado ya sea por rotura de algún componente en superficie o descarga de bombas entre otros. Es preciso para estos casos estar atentos al control de parámetros y en comunicación constante con todos los involucrados en la operación para cerrar el pozo mediante el estrangulador en el menor tiempo posible.

Conclusión

La técnica de Cementación en Desbalance Estático se ha afianzado en el bloque habiéndose aplicado al momento en cuatro pozos. Se han comenzado a aplicar en bloques vecinos. Los resultados han sido satisfactorios sin incidentes y con mínimas/nulas pérdidas de fluido versus las estimadas al cementar convencional.

No se requirió equipamiento adicional ni cambio alguno en los planes de cementación respetando las lechadas tradicionales. Los tiempos de operación no se vieron afectados respecto a la de una cementación convencional. Los beneficios económicos de comenzar a aplicar la Cementación en Desbalance Estático fueron de relevancia evitando incurrir en pérdidas de fluido de perforación, eliminar cementaciones correctivas y por supuesto eliminar para las operaciones el uso del Equipo UBD.

Con el aumento de las extensiones horizontales el impacto de la presión de fricción va a ser cada vez mayor por lo que esta técnica se seguirá afianzando en el bloque y posiblemente en bloques vecinos.

Bibliografía

- Reservoir and Drilling Engineering Combined Effort to Develop Naturally Fractured Over Pressured Shale Formation: Understanding and Operational Specific Procedures. *SPE-171587-MS. Matias Fernandez Badessich and Raul Krasuk.*
- Understanding Geological Heterogeneity to Customize Field Development: An Example From the Vaca Muerta Unconventional Play, Argentina. *URTeC: 192357. Guillermina Sagasti, Alberto Ortiz, Damian Hryb, Martin Foster & Victoria Lazzari.*
- Cementación Bajo Balance en la Perforación de la Formación Quintuco – Vaca Muerta. *Cristian Romero McIntosh, Jonatan Medina & Raul Krasuk.*

Currículos

- Esteban Braghieri. Ingeniero Industrial, UCA. Ingeniero de Perforación, YPF.
- Facundo Guillermo Games. Ingeniero Químico, UTN. Especialista UBD, YPF.
- Leopold Peiffert. Ingeniero Mecánico, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes. Especialista UBD, YPF.
- Mario Gabriel Abraham. Técnico en Petróleo, UTN. Especialista UBD, YPF.