

APLICACIÓN DE AGENTE SELLANTE NO CONVENCIONAL

Daniel Garmendia, daniel.garmendia@marbar.com.ar, MARBAR SRL; María Vanesa Montes de Oca, vanesa.montesdeoca@marbar.com.ar, MARBAR SRL

SINOPSIS

La pérdida de lodo de perforación es un evento recurrente que se presenta tanto en yacimientos maduros como en los ya conocidos no convencionales.

Una vez registrada la pérdida de fluido hacia la formación y dependiendo de su intensidad, se incurre en un NPT (Non Productive Time), incrementando el costo global del pozo (además del costo directo que es la pérdida de fluido).

Para contrarrestar las pérdidas de fluido hacia la formación se implementa en las operaciones de perforación la aplicación de un nuevo material sellante, que se constituye principalmente por alfa-celulosa de alto peso molecular, denominado de ahora en adelante sellante no convencional. Aunque su componente base no posee una dureza intrínseca destacable ni una alta resistencia al corte individual, su naturaleza estructural le confiere el denominado "efecto de apilamiento" (stack effect o layer effect) cuando se compacta bajo alta presión.

En otras palabras, al acumularse o laminarse en grietas o superficies bajo presión, el producto forma sellos mecánicamente resistentes, gracias a la sinergia entre las fibras y la fricción generada por las capas superpuestas. Esta propiedad lo convierte en una solución eficaz para el control de pérdidas severas o totales en condiciones exigentes.

Este material se ha implementado con éxito en distintas áreas de la Cuenca Neuquina en operaciones no convencionales, logrando soportar elevadas presiones diferenciales. Antes de su aplicación en campo primeramente fue testeado en ensayos de laboratorio para evaluar su rendimiento en escenarios desfavorables de pérdidas de fluido. De acuerdo a las estructuras químicas de sus componentes es un producto soluble en fluidos base agua y base aceite.

Este trabajo presenta su camino de aplicación, su comparación con los materiales sellantes convencionales o clásicos, los ensayos de laboratorio para validar su funcionamiento y su aplicación en 3 pozos no convencionales que registraron pérdidas severas de fluidos.

INTRODUCCIÓN

Para contrarrestar las pérdidas de fluidos hacia la formación y sus asociados NPT se desarrollan una gran variedad de materiales sellantes, y cada material aplica a diferentes conceptos físicos para prevenir la pérdida o remediarla.

La experiencia ha demostrado que a menudo es más fácil y más efectivo prevenir las pérdidas de circulación con alguno de los materiales sellantes específicos y/o clásicos que intentar detenerlas o reducirlas una vez que han comenzado. Estas pérdidas se producen generalmente a través de fracturas inducidas durante la perforación o maniobras con tuberías, y tienden a propagarse fácilmente porque la presión requerida para propagarlas es más baja que la requerida para iniciarla.

Este trabajo muestra la aplicación de un *agente sellante no convencional*, que aplica cuando todas las técnicas y métodos para prevenir las pérdidas o remediarlas ya fueron aplicadas en el

yacimiento sin éxito. Se basa en un concepto totalmente distinto a los mecanismos de bloqueo de fractura convencionales y su aplicación no se ve restringida por conjuntos de fondo ubicados en el BHA (Bottom Hole Assembly).

Si bien el *agente sellante no convencional* se aplica una vez que la pérdida de circulación toma magnitudes considerables, es importante recordar como se llega a su aplicación. Para esto es necesario primeramente mencionar que la prevención de las pérdidas comienza con:

- 1- Una correcta selección de fluido de perforación.
- 2- Adición de materiales de fortalecimiento de pozo sobre el volumen circulante.
- 3- Control de parámetros durante la perforación
- 4- Monitoreo de viajes y/o maniobras.

La **correcta selección del fluido** es el primer paso para prevenir pérdidas de circulación. Consta de la implementación de un lodo con las propiedades reológicas adecuadas para minimizar las pérdidas de carga que afectan directamente sobre la cara de la formación, traducidas a su equivalente de unidades de densidad.

Una vez seleccionado un fluido correctamente para un área y/o pozo en particular, el mismo se debe **tratar con materiales de fortalecimiento del pozo**, los cuales son especialmente seleccionados en función de su tamaño (diámetro). Estos actúan directamente sobre los esfuerzos circunferenciales del pozo (aumentándolos), teoría denominada comúnmente por su nombre en inglés *stress cage*, el cual hace referencia a una región cercana al pozo con altos valores de esfuerzo tangencial inducido por el sostén de microfracturas en la pared del pozo.

En la teoría del reforzamiento de pozo se incluyen variables como diámetro del pozo, ancho de las fracturas inducidas en la formación, rango de tamaño de partículas que puede ser utilizado como agente de sostén en las fracturas y permeabilidad de la formación, entre otras. Es decir, la habilidad para formar un puente en la fractura (inducida o existente) dependerá del grado de apertura de ésta y de los tamaños de las partículas en el lodo. El aumento del esfuerzo dependerá de la localización y la longitud del puente formado, la rigidez de la formación y de la extensión de la caída de presión en la fractura aislada. Todo se explica en función de la teoría de propagación de fracturas en rocas.

Un concepto relacionado al reforzamiento de pozo es el de **Resistencia a la propagación de las fracturas**. En este caso, se aísla la punta de la fractura existente y se incrementa mecánicamente la presión de reapertura de las fracturas, lo que aumenta la resistencia a su propagación. En este mecanismo el LCM (Lost Circulation Materials) penetra en una fractura recientemente inducida o ya existente para obturar y aislar la punta de la fractura. La detención de esta propagación de la fractura también detiene la pérdida de circulación.

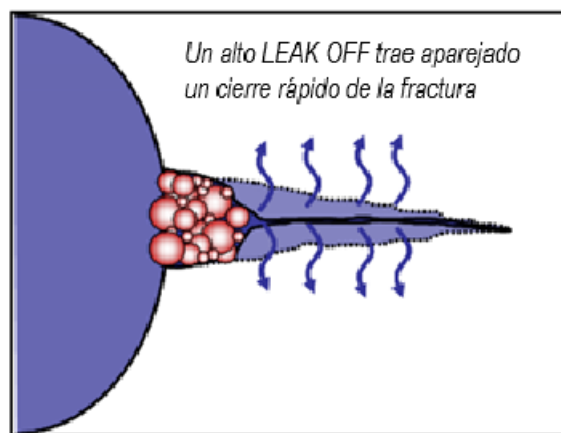


Figura N° 1. Modelo Físico de reforzamiento de pozo propuesto por Alberty y Mclean.

Cuando comienza el crecimiento de la fractura, el pozo pierde instantáneamente un volumen de fluido de perforación en el nuevo espacio intersticial. Si el fluido contiene LCM, la introducción de fluido en la fractura produce una acumulación del LCM que la aísla, protegiendo la punta de la fractura de la presión máxima del fluido en el pozo. Actividades de investigación (“A physical model for stress cages”, SPE 90493) demostraron que el material sellante debe estar presente en el lodo en todo momento durante la perforación, siendo este un método de tratamiento preventivo continuo.

Si el material sellante se adiciona en forma de píldoras, entonces el concepto cambia y deja de ser Resistencia a la propagación de las fracturas y se denomina **Mejoramiento de los esfuerzos tangenciales**.

En este modelo de fortalecimiento del pozo, los esfuerzos tangenciales presentes en la pared del pozo pueden incrementarse mediante el agregado de un material LCM adecuado. Un lodo de perforación tratado previamente con LCM circula en un estado de sobrebalance para inducir fracturas someras en la región del pozo. Estas fracturas recién creadas actúan comprimiendo el pozo, lo que genera un esfuerzo tangencial adicional, o celda de esfuerzos.



Figura N°2. Aumento del esfuerzo tangencial. (“A new treatment for wellbore Strengthening in shale”, SPE 110713)

Si a medida que avanza la perforación se van produciendo microfracturas y son selladas posteriormente por este mecanismo, se incrementa el esfuerzo tangencial de la región adyacente al pozo, por lo que se necesita una presión hidrostática mayor para extender o crear nuevas fracturas.

Se ha demostrado en la práctica que para que este mecanismo prospere, se requieren altas concentraciones de materiales sellantes, y éstos deben ser lo suficientemente resistentes como para resistir los esfuerzos de cierre, mientras que deben estar dimensionados correctamente para obturar la zona cercana a la cara de la fractura, en lugar de hacerlo a mayor profundidad en la formación. Además, deben formar un puente impermeable de manera de minimizar la pérdida a través del puente, permitiendo que se reduzca la presión presente en la fractura. Los materiales tales como las mezclas grafiticas, el mármol, las cáscaras de nuez y el coque de petróleo molido son los más comunes para formar las mezclas que se adicionan al lodo.

Para el caso de pérdidas ya registradas, el modelo comúnmente aplicado es el conocido como **Esfuerzo de cierre de fractura (FCS)**. Este modelo combina el método de resistencia a la propagación de la fractura con el del mejoramiento de los esfuerzos tangenciales y se aplica para altas pérdidas de lodo en las fracturas ya existentes.

Si bien en este método el LCM puede ser aplicado como un tratamiento en todo el sistema circulante, generalmente se aplica mediante píldoras. Un tratamiento efectivo aísla la punta de la fractura debido al rápido drenaje del fluido a medida que las partículas se comprimen y se aglutinan durante la fase de inyección forzada, para luego formar un revoque o tapón en la cara de la fractura.

El tapón pronto se vuelve inmóvil y baja la comunicación entre la punta de la fractura y el pozo, con lo cual impide la transmisión de la presión a la punta, deteniendo la propagación de la misma. En consecuencia, es importante que las partículas puedan deformarse o ser trituradas durante la aplicación de un tratamiento de inyección forzada.

Todo lo mencionado anteriormente consiste en elevar la presión de la formación a la que se producen las pérdidas de fluidos luego de un tratamiento con LCM, y de esa manera ampliar el margen de perforación con respecto a la máxima densidad permitida. Por lo tanto, posterior a un tratamiento con LCM correctamente seleccionados el pozo puede soportar presiones más elevadas.

Estos mecanismos teóricos de fortalecimiento del pozo tienen un componente en común: materiales con partículas dimensionadas específicamente que se agregan al fluido de perforación. Estos materiales de fortalecimiento del pozo (WSMs, siglas en inglés de Well Strengthening Materials), son una categoría de LCMs, y demostraron ser efectivos no sólo para la mitigación de las pérdidas sino también para su prevención.

Si bien existe una gran variedad de LCM disponibles para tratar las admisiones registradas, como se detalló en los párrafos anteriores, se observa una particularidad que en las operaciones de perforación y sus tiempos no es posible ajustar correctamente, y es que el LCM debe ser correctamente diseñado y tener un tamaño particular que no siempre aplica de forma constante en todos los yacimientos. Esto es imposible de determinar en forma detallada y consistente en el tiempo, ya que de las fracturas generadas no se tiene información certera de su espesor, propagación, etc.

Es por este motivo que se propone investigar sobre un material que se independice de todos estos factores anteriormente detallados, y presente un método de aplicación que sea aplicable en cualquier escenario.

DESARROLLO

El *agente sellante no convencional* es un producto diseñado para altas tasas de pérdida de circulación y alto contenido de sólidos.

Durante su aplicación se forma un tapón sólido a medida que se filtra hacia la zona de pérdida, en lugar de permanecer en, o cerca de la cara del pozo. El amplio rango de tamaños de partículas del producto minimiza la posibilidad de que el tapón formado se elimine durante las operaciones de perforación, lo que elimina los tratamientos de remediación repetidos en la misma zona. Además, el producto es totalmente removible con HCl y/o solución alcalina ($\text{pH} > 12$), sin ocasionar daño a la formación.

Se implementa un producto que consta de un blend de alfa-celulosa funcionalizada y pectinas altamente reticulado gracias a los puentes de hidrógeno, con gran capacidad absorbente y obturante.

El rango de tamaño de partícula personalizado optimiza las capacidades de sellado de fracturas de varios tamaños y reduce el tiempo de respuesta efectivo a las pérdidas de lodo completo.

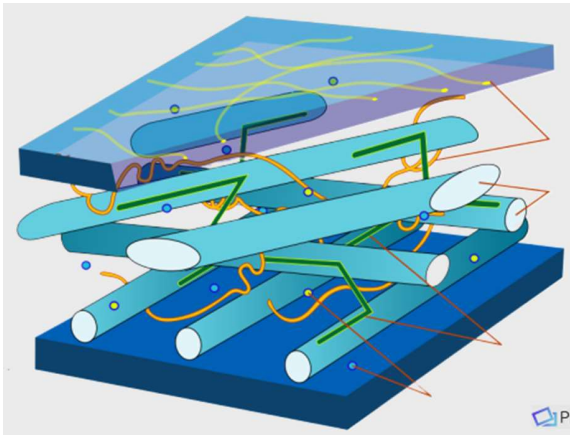


Figura N°3 Imagen Ilustrativa del funcionamiento



Figura N°4. Foto del producto

Dentro de los beneficios se pueden mencionar:

- Se puede utilizar como una aplicación preventiva antes de cementar, para evitar múltiples operaciones fallidas de cementación (previo posicionamiento en el espacio anular).
- Se puede bombear a través de herramientas de fondo de pozo que no permitan más de 110 kg/m³ sin perder su efectividad.
- Resistente a altas temperaturas de pozo.
- Se mezcla fácilmente.
- Compatible en todos los fluidos de perforación. (para este trabajo solo se aplica en casos de campo en fluidos de emulsión inversa a base de diésel).
- Alternativa menos costosa al bombeo de múltiples píldoras de LCM y/o cemento, ya que no necesita de un bombeador, utilizando todos los recursos del Rig.

Este agente sellante no convencional se testea tanto en lodos base agua (WBM) como en lodos de emulsión inversa (OBM). En simultaneo se lo compara con mezclas de LCM convencionales en distintas concentraciones para corroborar su efectividad.

Para los fines prácticos de estudios en función de los casos de aplicación en campo, solo se muestran los ensayos realizados sobre fluidos de perforación de emulsión inversa a base de diésel. Al contemplarse la aplicación para los escenarios más desfavorables y no la prevención de la admisión, es que no se realizan ensayos sobre discos de aloxita, sino que sobre discos ranurados.

La siguiente imagen muestra los discos empleados para validar los ensayos de laboratorio.



Figura N°5. Discos utilizados en el PPA. 4x1 (izquierda) y 3x3 (derecha).

Para los ensayos de laboratorio se prepara un fluido OBM con una concentración típica utilizada en los yacimientos no convencionales, la cual es tratada con los diferentes tratamientos de LCM para ensayar sobre los discos ranurados.

Función	Concentración - UU/m3	
Diesel	675	l/m3
Agua	75	l/m3
Arcilla Organofílica	8	Kg/m3
Emulsificante Primario	8	l/m3
Emulsificante Secundario	12	l/m3
Hidroxido de Calcio	30	Kg/m3
Cloruro de Calcio	30	Kg/m3
Control de Filtrado 1	10	Kg/m3
Control de Filtrado 2	4	Kg/m3
Modificador Reológico	3	l/m3
Agente Humectante	3	l/m3
Densificante BARITINA 4.2	1411	Kg/m3

Tabla N°1. Formulación de un fluido OBM con 1700 gr/l de densidad.

Propiedades	Valor	Unidad
Densidad	1700	gr/l
EE	2000	Volt
Lectura 600	43	Rpm
Lectura 300	26	Rpm
Lectura 200	19	rpm
Lectura 100	13	rpm
Lectura 6	6	rpm
Lectura 3	6	rpm
VP	17	Cps
PC	9	Lbs/100 Ft2
Gel 10"	8	Lbs/100 Ft2
Gel 10'	13	Lbs/100 Ft2
Filtrado HP HT @ 300 F, 500 PSI	8.6	CC
Revoque	2.5	1/32"
Alcalinidad	3.1	ML de H2 SO4 N/10
Cal Libre	11.4	Kg/M3
Cloruros	195000	Mg/L
Solidos %	27	% V/V
Oil %	65	% V/V
Agua %	8	% V/V
Relación O/W	89/11	

Tabla N°2. Propiedades del fluido utilizado en discos ranurados.

Para identificar los tratamientos, se preparan y ensayan 3 formulaciones.

Producto	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3
Lodo base OBM	100%	100%	100%
Grafito Siliconado (D50 = 16 micrones)	20 kg/m3	-	
Carbonato de Calcio (D50= 250 micrones)	20 kg/m3	-	
Fibra sintética 1 (D50 = 500 micrones)	70 kg/m3	-	
Fibra Sintética 2 (D50= 768 micrones)	-	-	30 kg/m3
Agente sellante No convencional	-	110 kg/m3	80 kg/m3
TOTAL SELLO	110 kg/m3	110 kg/m3	110 kg/m3

Tabla N°3. Descripción de los materiales utilizados para conformar los sellos.

Para los ensayos de PPA se evalúan 2 variables.



- El tiempo, en segundos, que se requiere para alcanzar una presión diferencial estable de 500 psi.
- El volumen de filtrado, en mililitros, luego de 30 minutos desde comenzado el ensayo.

Figura N°6. Descripción del equipamiento utilizado para ensayos PPA.

Resultados Obtenidos sobre disco 4x1.

LODO: OBM (DISCO 4x1)				
Formulación 1	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Volumen de Filtrado - ml	15	12	15	14
Tiempo (segundos)	240	222	252	238
LODO: OBM (DISCO 4x1)				
Formulación 2	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Volumen de Filtrado - ml	12	12	10	11
Tiempo (segundos)	66	60	60	62
LODO: OBM (DISCO 4x1)				
Formulación 3	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Volumen de Filtrado - ml	8	10	10	9
Tiempo (segundos)	60	72	72	68

Tabla N°4. Resultado sobre un disco ranurado 4x1 (tipo "cruz")

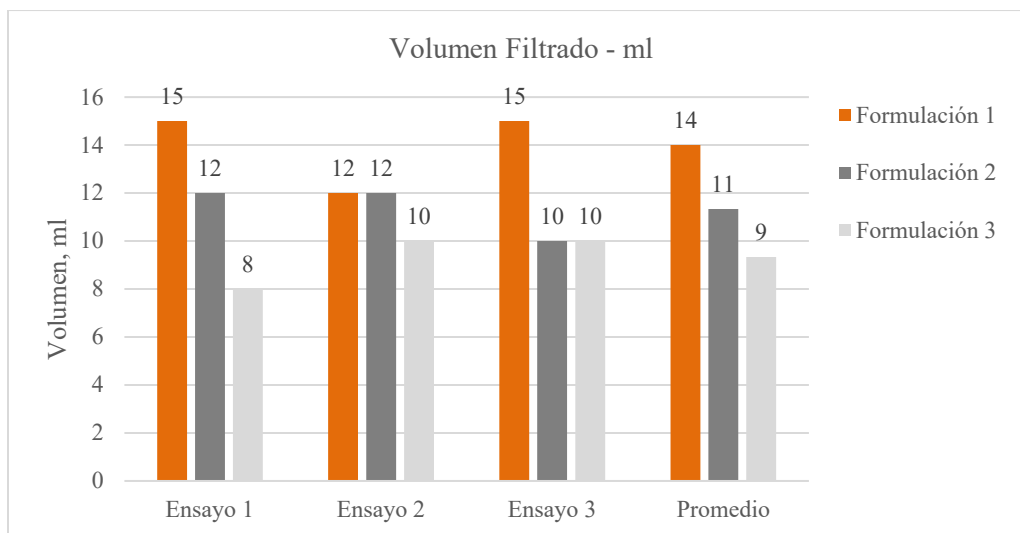


Gráfico N°1. Volumen Filtrado en disco 4x1.

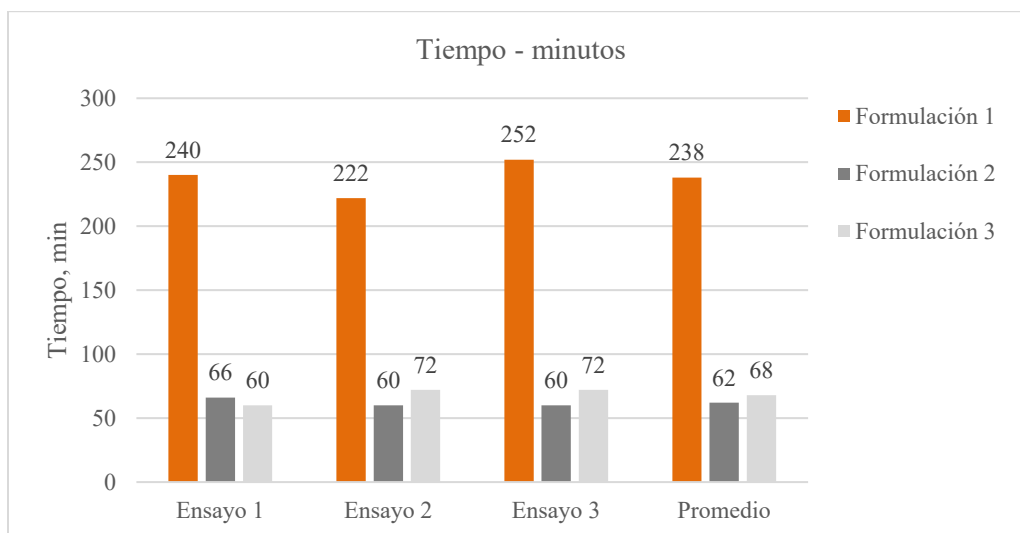


Gráfico N°2. Tiempo de estabilización de Presión en disco 4x1.

Resultados Obtenidos sobre disco 3x3.

LODO: WBM (DISCO 3x3)				
Formulación 1	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Volumen de Filtrado - ml	60	65	70	65
Tiempo (segundos)	300	340	300	313

LODO: WBM (DISCO 3x3)				
Formulación 2	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Volumen de Filtrado - ml	20	22	20	21
Tiempo (segundos)	120	120	130	123

LODO: WBM (DISCO 3x3)				
Formulación 3	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Volumen de Filtrado - ml	40	45	47	44
Tiempo (segundos)	240	260	260	253

Tabla N°5. Resultado sobre un disco ranurado 3x3 (tipo “barras”)

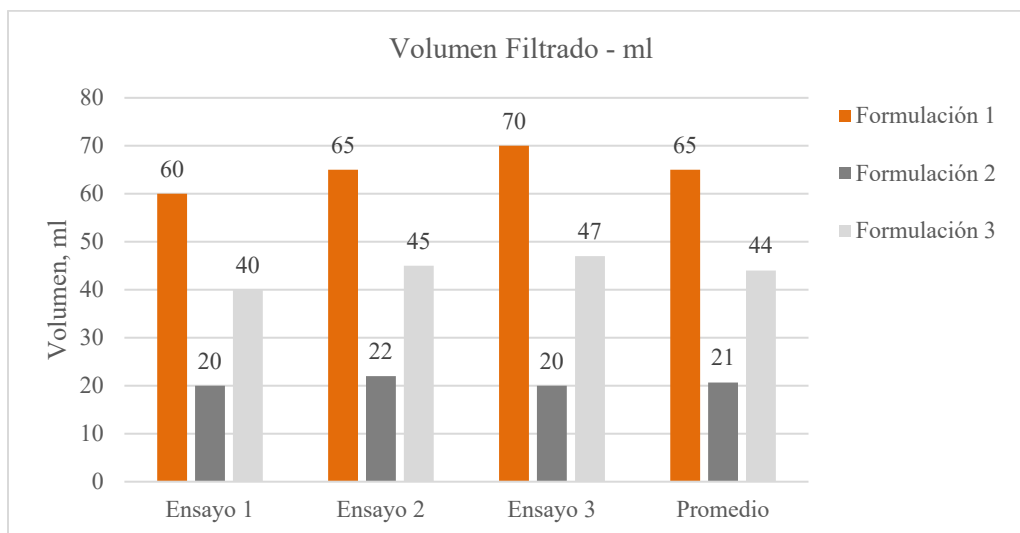


Gráfico N°3. Volumen Filtrado en disco 3x3.

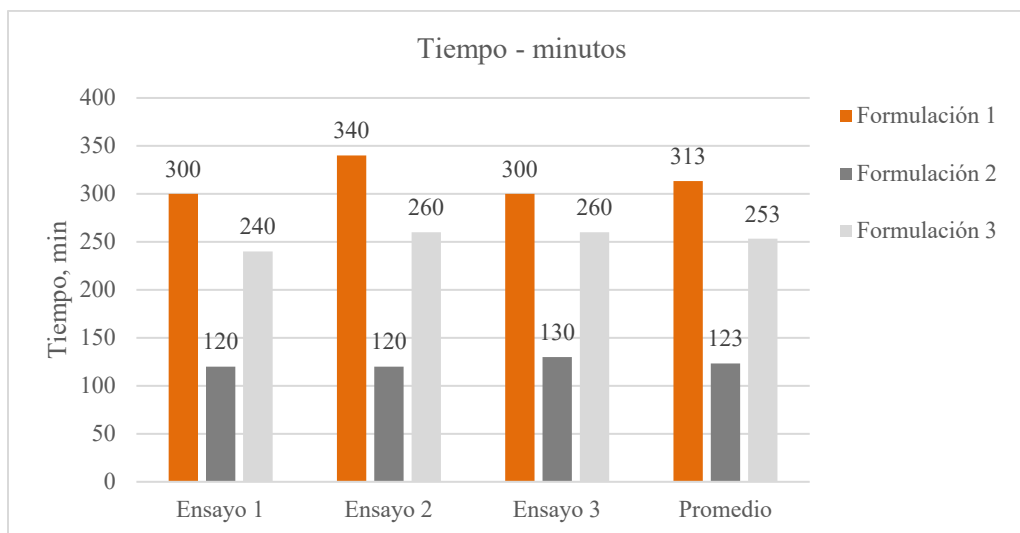


Gráfico N°4. Tiempo de estabilización de Presión en disco 3x3.

Se pudo observar que para los discos 4x1 las 3 formulaciones presentan volúmenes similares de filtrado, pero la gran diferencia se nota en el tiempo requerido para alcanzar estabilizar la presión diferencial. A su vez, la adición de una fibra de 768 micrones a la píldora con el agente sellante no convencional no altera el rendimiento del mismo.

Las diferencias son notables para el disco 3x1, donde la píldora de sello convencional duplica el volumen de filtrado y los tiempos de estabilización de presión. Para este caso más desfavorable la adición de la fibra de 768 micrones produce una baja en el rendimiento del agente sellante no convencional.

Aplicación en pozo No Convencionales.

Primer caso. PAD en Yacimiento Fortín de Piedra.

El PAD se compone de 4 pozos de estructura robusta con un diseño de 4 cañerías.

Este caso de aplicación se realiza en el pozo N°2 del PAD, en la sección producción del mismo, donde el objetivo es la formación Vaca Muerta (“la cocina”). El pozo presenta una profundidad final planificada de 6292 metros, con una rama horizontal de 3000 m.

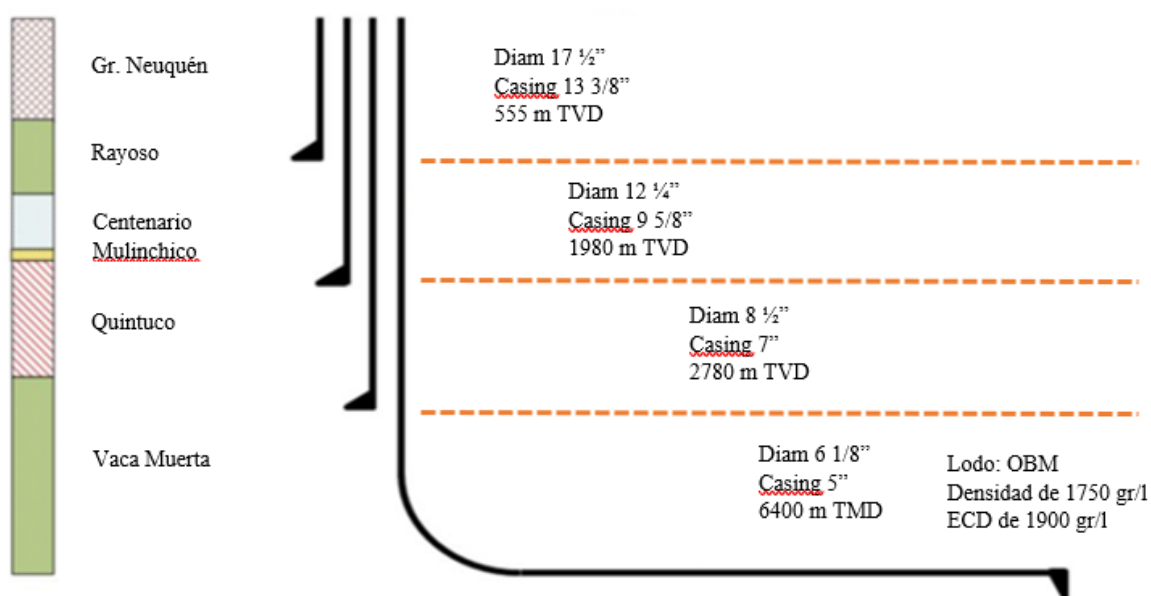


Figura N°7. Estructura del pozo N°2 del PAD

Mientras se perforaba alineado a MPD en 2937 metros se registra una pérdida total de circulación (volumen registrado perdido de 15 m³). Se detiene la perforación y se saca herramienta hasta 2883 metros, donde recupera circulación a través de una píldora sellante con material convencional según el árbol de decisión del programa de fluido de perforación.

Producto	Formulación 1
Lodo OBM de 1750 gr/l	4 m³
Fibra Natural (D90 = 74 micrones)	70 kg/m³
Fibra Sintética 2 (D50= 768 micrones)	40 kg/m³
TOTAL SELLO	110 kg/m³

Tabla N°6. Píldora de sello aplicada inicialmente con LCM convencional.

Retoma perforación con un tratamiento en forma de píldora sellante de 2 m³ por hora de perforación con la píldora de la Tabla anterior, con admisiones de 1,5 m³/hs a 2 m³/hs, hasta los 3232 metros. Una vez en Landing Point se prepara una píldora con el agente sellante no convencional para remediar las admisiones registradas.

A la hora de aplicar el producto se considera la geometría del pozo y la sección a cubrir, considerando la siguiente información.

- Trépano: 6 1/8"
- Capacidad Pozo abierto: 18 l/m
- Zapato casing de 7": 2705 m
- Profundidad alcanzada (L.P): 3232 m
- Volumen de Pozo Abierto: 9,3 m³
- Objetivo: Cubrir toda la sección de pozo abierto.
- Preparación: Se prepara sobre fluido del circuito activo en píldora del Rig.
- Concentración del sello utilizada.

Producto	Formulación 1
Lodo de perforación densidad 1750 gr/l	9,3 m ³
Fibra Sintética 2 (D50= 768 micrones)	30 kg/m ³
Agente sellante No convencional	80 kg/m³
TOTAL SELLO	110 kg/m³

Tabla N°7. Píldora de sello aplicada.

- Posicionamiento: Se bombea píldora de sello posicionándola en zona de pérdida, para luego sacar herramienta y alojarla dentro de casing de 7", precisamente en 2688 metros.
- Contrapresión: En este caso en particular, la sobrepresión se aporta mediante un KILL MUD de ahogo con densidad de 1860 gr/l, desplazado una vez alojada la herramienta dentro del casing de 7".

Una vez contra presionado el volumen de la píldora sellante con el agente no convencional, se saca herramienta total, para acondicionamiento de BHA para sección horizontal. Baja nuevo conjunto de fondo hasta 3232 metros, donde prueba herramienta direccional con caudal de perforación sin registrar admisión de fluido.

Reanuda perforación manteniendo la densidad de perforación antes de suscitada la pérdida. Desde los 3232 metros hasta los 4472 metros se perfora con admisiones parciales con una tasa de admisión general de 300 l/h.

En 4472 metros se tiene que realizar un cambio de BHA por fallas. Sin embargo, las admisiones registradas durante esta maniobra fueron de 6,5 m³.

Reanuda perforación desde los 4472 m hasta la profundidad final del pozo de 6278 metros con una tasa de admisión general de 350 l/h.

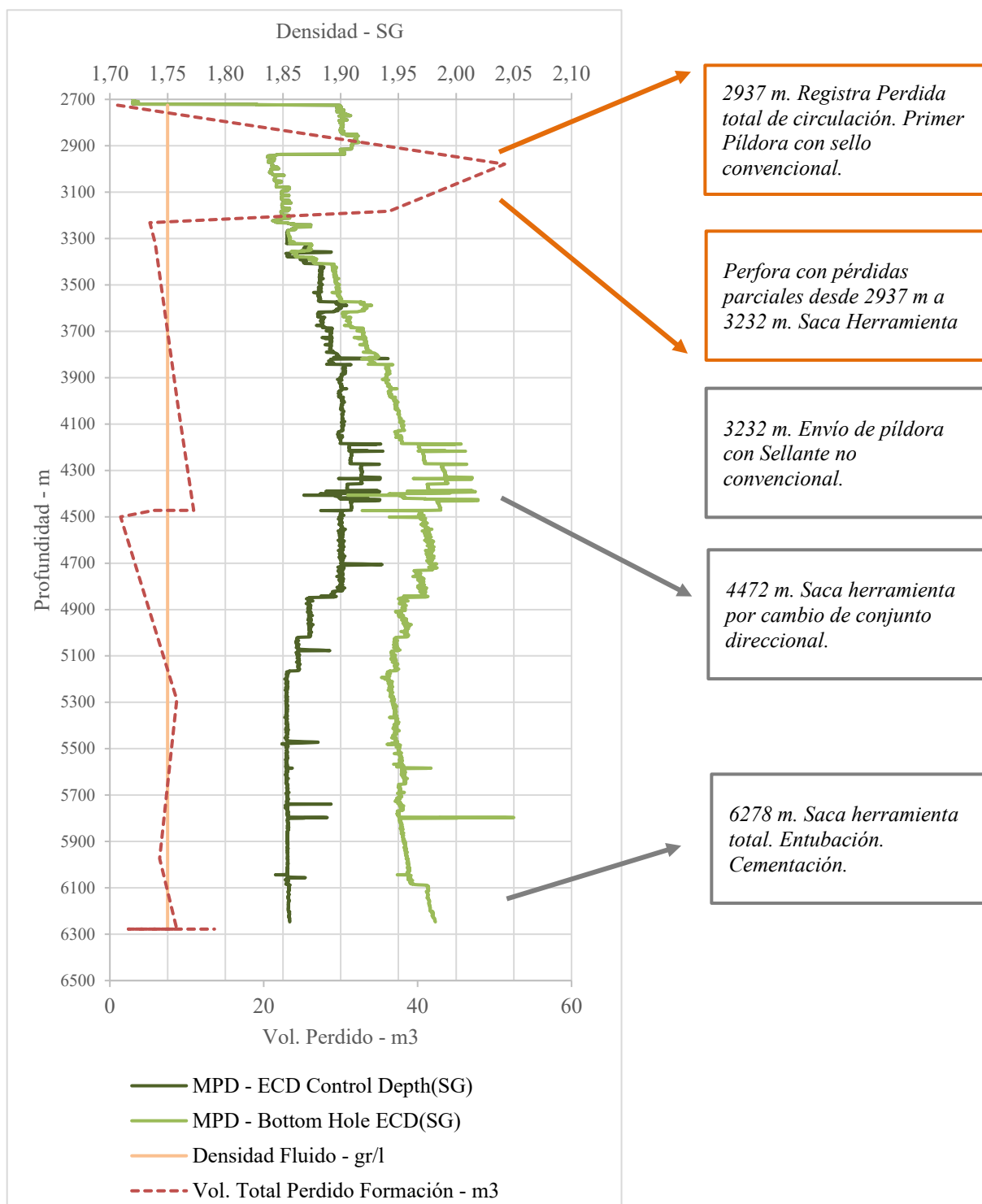


Gráfico N°5. Resumen operaciones

La siguiente tabla muestra un resumen de la aplicación del sellante y su influencia en los volúmenes.

Profundidad	Operación	Vol. Admitido	Tasa Admisión	Tratamiento
2937 m	Perfora	15 m ³		Píldora Tabla N°6
2937- 3232 m	Perfora	71,7 m ³	2170 l/hs	Píldora Tabla N°6
3232 – 0 m	Cambio BHA	8,8 m ³		Píldora Efectiva. Tabla N°7.
3232 – 4472 m	Perfora	16 m ³	300 l/hs	Sin tratamiento
4472 m	Maniobra (BHA)	6,5 m ³		Sin tratamiento
4472 – 6278 m	Perfora	21,1 m ³	350 l/hs	Sin tratamiento
6278 – 0 m	Extracción HTA	9,8 m ³		Sin tratamiento
0 – 6278 m	Entuba	4,8 m ³		Sin tratamiento
6278 m	Cementa	10,6 m ³		Sin tratamiento

Tabla N°8. Resumen Operaciones.

Algunas observaciones importantes de la aplicación en este caso se pueden resumir brevemente en:

- Posterior a la aplicación en 3232 metros, se puede retomar perforación y la tasa de admisión baja de 2170 l/hs a 300 l/hs.
- No fue necesario realizar una contrapresión con bomba ya que el ahogo proporciona la suficiente presión para lograr el efecto requerido.
- Durante la perforación de la fase extendida no se utiliza ningún material de sello adicional manteniendo la tasa de admisión en niveles estables.
- No se registran admisiones considerables durante las maniobras de cambio de herramienta en 4472 metros, la maniobra de sacada final de herramienta, la entubación y cementación final.
- En el caso particular de la Densidad Equivalente de Circulación (DEC), la admisión se registra cuando esta alcanza un valor de 1.91 SG. Luego de la admisión se disminuye a 1.84 SG hasta alcanzar Landing Point. Posterior al tratamiento y reanudación de la perforación, la DEC se puede volver a normalizar hasta valores de 1.93 SG sin registrar admisiones severas.

Segundo caso. PAD en Yacimiento Puesto Parada.

El PAD se compone de 4 pozos con un diseño de 3 cañerías.

Para este caso la aplicación del agente sellante no convencional se realiza en el pozo N°3 del PAD, en la sección producción del mismo, donde el objetivo es la formación Vaca Muerta. El pozo presenta una profundidad final planificada de 5850 metros, con una rama horizontal de 3000 metros aproximadamente.

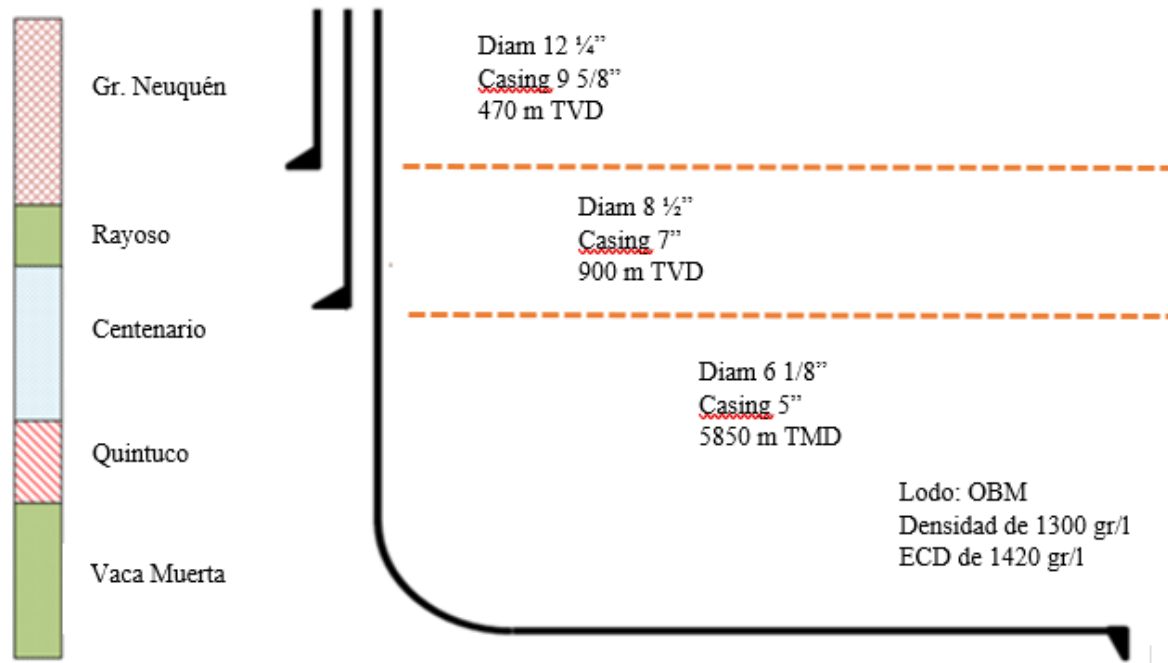


Figura N°8. Estructura del pozo N°3 del PAD

En este caso, perforando la sección producción del tercer pozo del PAD se registra en 1010 metros una admisión de 15 m³/hs. Se intenta remediar en reiteradas oportunidades con píldoras de LCM preventivo para minimizarlas sin resultado. Esta píldora se indica como “Formulación 1” en la tabla N°9.

Continúa con la perforación hasta los 1131 metros donde se decide parar de perforar y enviar píldora con material sellante no convencional, posicionando el mismo desde 1131 metros a 880 metros, realizando una contra presión con 100 psi para que el material desarrolle la consistencia propia del mismo. A su vez se espera un tiempo de estabilización de presión, manteniendo las 100 psi.

Producto	Formulación 1	Formulación 2
Lodo de perforación densidad 1180 gr/l	3 m ³	5 m ³
Fibra Sintética 3 (D50 = 240 micrones)	70 kg/m ³	-
Asfalto (D50 = 80 micrones)	15 kg/m ³	-
Grafito Siliconado (D50 = 16 micrones)	20 kg/m ³	-
Carbonato de Calcio (D50 = 250 micrones)	15 kg/m ³	-
Fibra Sintética 2 (D50= 768 micrones)	-	30 kg/m ³
Agente sellante No convencional	-	80 kg/m³
TOTAL SELLO	120 kg/m³	110 kg/m³

Tabla N°9. Píldoras aplicadas hasta 1131 metros.

Reanuda perforación desde los 1131 metros hasta 2110 metros, donde detiene perforación por registrarse nuevamente admisiones severas. Durante estos 979 metros perforados la píldora indicada como formulación N°1 de la tabla N°9 fue la que se utiliza cada 1 hs de perforación para minimizar las admisiones (un volumen de 3 m³ por hora de circulación).

En 2110 metros se vuelve a detener la perforación para volver a enviar la píldora indicada como formulación N°2 de la tabla N°9, pero ajustando el volumen a 10 m³ para desplazar.

Una vez enviada la segunda píldora con material sellante no convencional, saca herramienta hasta los 700 metros, donde presuriza pozo hasta las 170 psi, y posteriormente circula con 100 GPM para verificar la presencia o no de admisiones. Al notar una disminución importante de las admisiones circulando con 100 GPM, baja para continuar perforando.

Perfora hasta 2307 metros, donde vuelve a sacar herramienta para cambio de herramienta direccional estipulado por programa. Reanuda perforación hasta 5847 metros, profundidad final de pozo, donde se realiza ahogo de pozo con un Kill Mud de densidad de 1350 g/l.

Para este caso de aplicación, donde se requieren 2 aplicaciones, se puede resumir de la siguiente manera para evaluar su rendimiento.

El producto se aplica puntualmente en las profundidades de 1131 metros y 2110 metros. Luego de su segunda aplicación las admisiones bajaron considerablemente, como se puede observar en la Tabla N°10, que cuantifica las admisiones registradas.

Profundidad Alcanzada - m	954	1131	1922	2086	2110	2307	2307	3017	4234	5357	5847	5847	5847	5847
Vol. Perdido Total - m3	0	60.7	33.6	47.9	85.8	24.2	3	30.7	34.7	27.8	15.2	1.7	20.3	60.9
Fm Perforando - m3		57.4	19.6	44.9	77.7	16.7		10.8	10	6.1	6.1			
Fm Maniobras - m3					7.1	2.2	3	2.6				1.7	20.3	40
Eq Ctról Sólidos - m3		3.3	14	3	1	5.3		17.3	24.7	21.7	9.1			
Limpieza Piletas - m3														
Descarte - m3														
Cementación - m3														20.9
Vol. Total Perdido Formación - m3	0	57.4	19.6	44.9	84.8	18.9	3	13.4	10	6.1	6.1	1.7	20.3	60.9

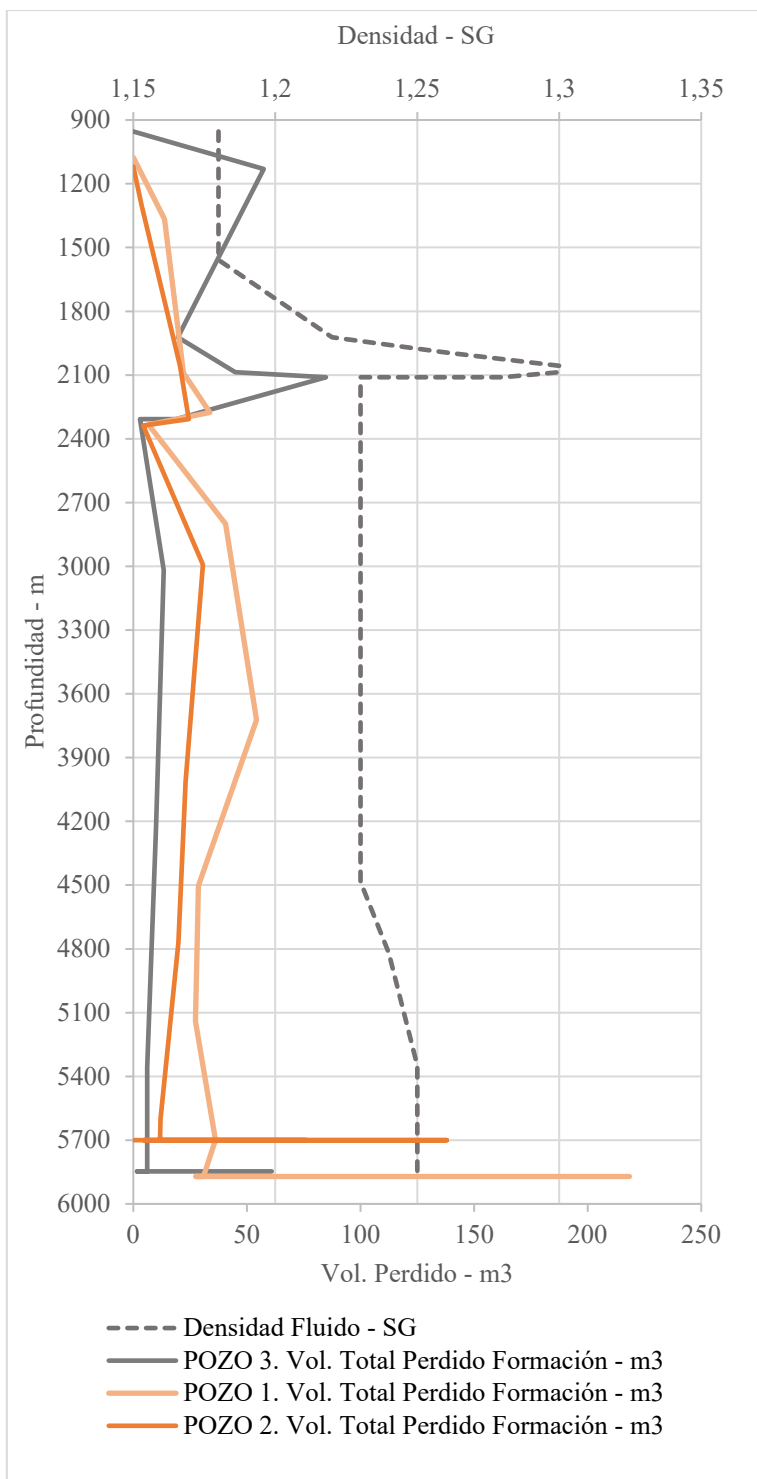
Tabla N°10. Registro de admisiones.

Otra forma de evaluar su desempeño es cuantificar el consumo de LCM convencionales utilizados. Desde que se registra la admisión en 1010 metros se aplican LCM convencionales para contrarrestar estas. Luego de la segunda aplicación de agente sellante no convencional en 2110 metros, y hasta la profundidad final de 5847 metros, los LCM convencionales se continúan aplicando pero de manera preventiva, y su consumo disminuye considerablemente, como se aprecia en la Tabla N°11.

Producto	Consumo hasta 2110 metros	Consumo TOTAL	Consumo hasta 2110 m (%)
Fibra Sintética 3 (D50 = 224 micrones)	1425 kg	2550 kg	56%
Asfalto (D50 = 80 micrones)	1325 kg	3850 kg	34%
Grafito Siliconado (D50 = 16 micrones)	1625 kg	3475 kg	47%
Carbonato de Calcio (D50 = 250 micrones)	1600 kg	2725 kg	59 %
Fibra Sintética 2 (D50= 768 micrones)	3447 kg	6237 kg	55%
Fibra Natural (D90 = 74 micrones)	850 kg	850 kg	0%
TOTAL SELLO			

Tabla N°11. Consumo de LCM a lo largo del pozo.

En esta tabla se puede observar que el 50% de los LCM fueron consumidos en los primeros 1200 metros de perforación (desde el zapato hasta 2110 metros), mientras que el otro 50% se consume en los restante 3700 metros perforados (desde 2110 metros hasta 5847 metros).



En el Pozo N°3 del PAD se registra inicialmente las admisiones severas, no así en los otros pozos aledaños.

Aunque no se registren admisiones inicialmente en los pozos N°1 y 2, si están presentes de forma parcial desde los 2300 (profundidad donde por programa se realiza cambio de BHA)

AGUADA DEL

Gráfico N°6. Resumen operaciones PAD Puesto Parada

En este caso de análisis, si bien las admisiones iniciales son muy elevadas en el pozo en estudio, el N°3, y fue necesario 2 aplicaciones de la píldora con agente sellante no convencional, los siguientes pozos del PAD también presentan admisiones parciales desde los 2300 metros.

Como se aprecia en el grafico N°6, posterior a la segunda aplicación de la píldora se observa en el pozo de estudio que dicho tratamiento mejora notablemente las admisiones para lo restante de la perforación, ya que las tasas de admisión son menores desde los 2300 metros hasta la profundidad final.

Tercer caso. PAD en Yacimiento Aguada del Cajón. (NOC)

Para este caso de aplicación la situación cambia, ya que es una solicitud para un caso particular donde se registra una admisión severa y no se está prestando en simultaneo el servicio de Fluido de Perforación. Se recibe una solicitud y se prepara un plan de aplicación.

La admisión se registra en 2541 metros, antes de llegar a landing point, por lo que se decide sacar herramienta total para volver a la zona de perdida con “punta lisa”. Esto se debe a que la severidad de la admisión no permitía, no solo lograr circular con caudal reducido, sino que el pozo perdía nivel de la columna hidrostática. Es por esto que se pierde gran parte del volumen de fluido con 1420 gr/l y el pozo se termina llenando con un fluido de 1300 gr/l pero sin obtener nivel en la boca de pozo.

El siguiente grafico es un esquema de la arquitectura del pozo en cuestión.

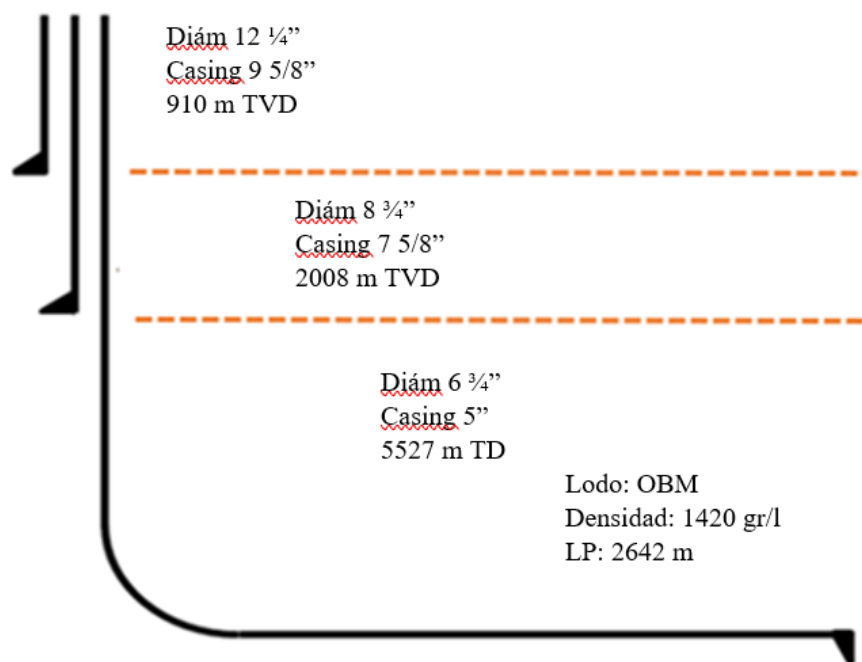


Figura N°9. Resumen operaciones POZO AGUADA DEL CAJON

Dada la severidad de la admisión y que se encontraba en un escenario de “punta lisa” se decide preparar una alternativa con mayor concentración del agente sellante no convencional, como se indica en la tabla siguiente.

Producto	Formulación 2
Lodo de perforación densidad 1300 gr/l	15 m ³
Agente sellante No convencional	200 kg/m³
TOTAL SELLO	200 kg/m³

Tabla N°12. Propuesta para AGUADA DEL CAJON.

Teniendo en cuenta que la admisión se registra en 2541 metros, y el zapato se ubica en 2008 metros (533 metros de pozo abierto) se decide desplazar la píldora a lo largo de la sección de pozo abierto (12,5 m³ de volumen de pozo abierto). Una vez desplazada hacia la sección de pozo abierto, se desplaza con lodo de 1300 gr/lit y se procede a contra presionar hasta alcanzar los 420 psi, para lograr una equivalente en el peso del fluido de 1420 gr/l (escenario Inicial).

La contra presión se realiza de forma escalonada durante más de 2 horas, registrando los valores indicados en el siguiente gráfico. Cada ajuste de presión se ve representado en el gráfico como una línea vertical hasta alcanzar un valor objetivo. Luego ésta comienza a disminuir lentamente hasta un que se realiza un nuevo ajuste de presión.

:

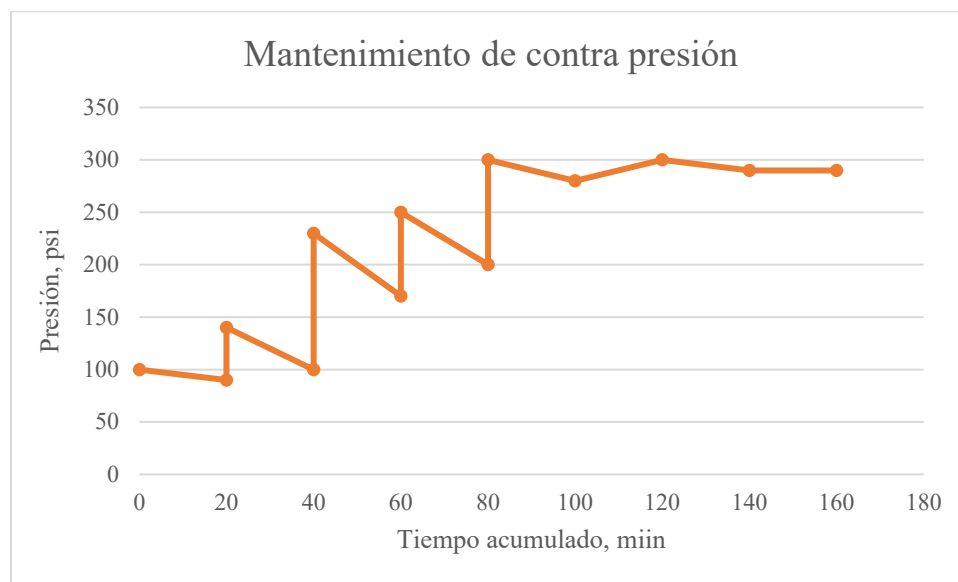
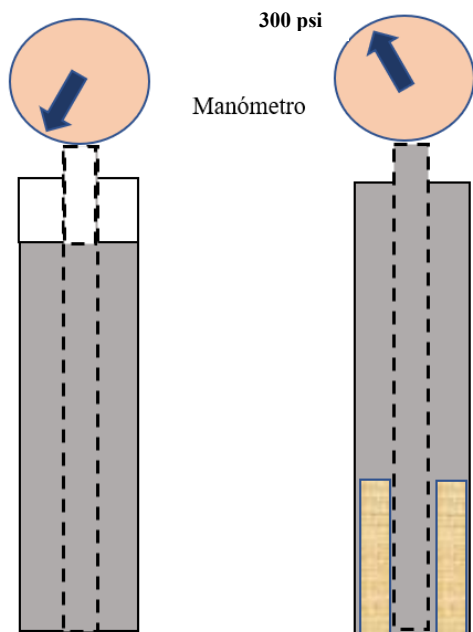


Gráfico N°7. Registro de Presión durante aplicación de la píldora.

Si bien no se alcanza a llegar al objetivo de 420 psi de contra presión, se alcanza a estabilizar en el orden de los 300 psi. El siguiente gráfico resume brevemente la situación antes y después de la aplicación de la píldora concentrada sellante.



En el gráfico de la izquierda, el pozo se encontraba con un fluido de 1300 gr/l y no se alcanzaba nivel en la boca de pozo.

Posterior a la aplicación de la píldora concentrada a 200 kg/m³, no solo se registra nivel en la boca de pozo, sino que se alcanza una contra presión de 300 psi.

Una vez terminada la prueba de contra presión del material se procede a sacar herramienta y seguir perforando.

Como en este caso no se contaba con el servicio de fluido, no se registran datos de admisiones posteriores acorde avanzaba la perforación.

Figura N°10. Aplicación de Píldora concentrada en ADC

CONCLUSIONES

Se ha comprobado inicialmente mediante pruebas de laboratorio que el agente sellante presentaba un rendimiento superior a la combinación de LCM convencionales en escenarios desfavorables. Esto se ve reflejado cuando se aumenta el tamaño de las aperturas de los discos ranurados.

Si se evalúa el tiempo en estabilizar la presión diferencial aplicada junto con el volumen de filtrado recolectado, se puede observar que este es muy bajo comparado con los LCM convencionales. Esto hace que el volumen de fluido que invade a la formación sea menor, permitiendo que en caso de generarse una fractura en la formación, esta no se propague de forma inmediata, aislando la punta de la misma.

Cuando se relacionan los resultados de laboratorio con los casos de aplicación en los yacimientos, se verifica que la contra presión ejercida estabiliza el material en la zona de fracturas, ya que se recupera presión gradualmente hasta volver a retomar circulación.

Otro tema importante es el grado de resistencia del material a no ser removido por la erosión misma del caudal de perforación, que en la mayoría de los Yacimientos No Convencionales los caudales de trabajo generalmente hacen que el perfil de flujo sea turbulento. Esto se verifica ya que en la mayoría de las aplicaciones, estas se realizan prácticamente próximas al zapato y luego la perforación continua como mínimo 2000 metros más.

BIBLIOGRAFÍA

Reportes diarios de fluidos de perforación, PAD Fortín de Piedra. Reportes que informan parámetros de perforación, volúmenes, y propiedades del fluido.

Reportes diarios de fluidos de perforación, PAD Puesto Parada. Reportes que informan parámetros de perforación, volúmenes, y propiedades del fluido.

IADC/SPE 112629 “Investigation of Factors of Strengthening a Wellbore by Propping Fractures”, Conferencia de Perforación del IADC/SPE, Marzo 2008. Autores: Wang, Hong; Soliman, Mohamed Y.; Towler, Brian F.

SPE 90493 “A Physical Model for Stress Cages”, Conferencia y Exhibición anual del SPE, Septiembre 2004. Autores: Alberty, Mark W.; McLean, Michael R.

SPE 101593 “Preventing Mud Losses by Wellbore Strengthening”, Conferencia y Exhibición Técnica del Petróleo y el Gas Ruso del SPE, Octubre 2006. Autores: Song; Jae H.; Rojas, Juan C.

IADC/SPE 87130 “Drilling Fluids for Wellbore Strengthening”, Conferencia de Perforación del IADC/SPE, Marzo 2004. Autores: Aston, M. S.; Alberty, M.W., McLean, Michael R.; Jong, H. J.; Armagost, K.

API 13-B2 – ISO 10414-2: Práctica Recomendadas para Pruebas de Campo de Fluidos de Perforación Base-Aceite.

CURRICULUM VITAE

Nombre y Apellido: **María Vanesa Montes de Oca**

Título y lugar de estudio: Bromatóloga, Universidad Nacional de Cuyo (Mendoza)

Diferentes empresas en las que hizo su carrera:

DLS (3 años).

MARBAR SRL, actual, (10 años)

Cargo actual en la empresa: Encargada Laboratorio Regional Oeste.

Nombre y Apellido: **Orlando Daniel Garmendia**

Título y lugar de estudio: Ingeniero en Petróleo, Universidad Nacional del Comahue (Neuquén)

Diferentes empresas en las que hizo su carrera:

CEPCom (2 años)

ARCHER (5 años).

BAKER HUGHES (2 años)

MARBAR SRL, actual, (4 años)

Cargo actual en la empresa: Jefe de servicio de Fluidos de Perforación.