



Caso de estudio: experiencias de limpieza en pozos horizontales *slim hole* no convencionales

Por **Luis Bustos, Florencia Etcheverry, Leandro Gallo,**
Tatiana Martirena y Gonzalo Vidal (YPF S.A.)

Este trabajo fue seleccionado del 3^{er} Congreso Latinoamericano y del Caribe de Perforación, Terminación, Reparación y Servicio de Pozos, “Ing. Luis Rabanaque” realizado por el IAPG en 2018.

Este trabajo expone el desarrollo sobre las reologías de los fluidos OBM de alta densidad en pos de reducir el punto de fluencia para obtener mejores condiciones de limpieza y disminuir la presión de trabajo.



desbalance de la columna.

Ante estos problemas y con el aporte tecnológico del Fann-77 se realizaron pruebas de laboratorio de presión y temperatura, las cuales correspondían a diferentes profundidades del área estudiada.

Se decidió bajar la reología, para ello se varió la relación O/W y modificadores reológicos, se programó los baches turbulentos y densos con el fin de lograr estabilidad de la emulsión, se monitoreó el SAG (decantación), se minimizaron los tiempos de circulación.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos sobre la perforación, las maniobras de sacada de BHA y de entubación, y el fluido de perforación, en la etapa de aislación de pozos horizontales. Como se abordarán diferentes etapas de la perforación, se tomaron como objeto de estudio dos pozos.

Metodología

Sujetos

Se tomaron como objeto de estudio dos pozos que están ubicados en la misma locación, perforados con el mismo arreglo de fondo (misma compañía de trépano, direccional), equipo perforador, compañía de fluidos, que navegan en la misma dirección y en el mismo nivel de la formación Vaca Muerta.

Los sujetos por comparar fueron los fluidos OBM de los dos pozos. Uno de ellos con las propiedades reológicas que se trabajaban normalmente, y el segundo con menor reología (Figura 1).

Procedimiento

La metodología se aplicó en tres yacimientos diferentes y se tomaron como objeto de estudio dos pozos.

Se recolectaron muestras de fluido OBM en el equipo perforador. Sobre las muestras se realizaron análisis de lodo para determinar las propiedades físicas y reológicas (según Norma API 13 B2 – Quinta Edición).

Para la medición de la reología HPHT a distintas presiones y temperaturas se utilizó el Reómetro FANN - Modelo: iX77. Este equipo evalúa la reología del fluido mientras es sometido a presión y temperatura, lo que permite simular condiciones de fondo de pozo. Los valores utilizados para la rampa de presión y temperatura fueron tomados de mediciones reales de presión de formación y presión de fractura.

Al perforar con lodos densos de alta reología se observa que la limpieza no era la adecuada, ya que durante la perforación se presentan problemas con alto torque y presión excesiva lo que no permite incrementar el caudal de bomba, provocando, en algunos casos, pérdidas inducidas por alta ECD. En consecuencia, se circula por períodos prolongados enviando baches en forma continua sin observar incremento de recortes de perforación en superficie.

Durante la bajada de casing es frecuente la circulación en forma intermedia por dificultad en la corrida del mismo. El hecho de enviar baches sin un programa o un análisis provoca la inestabilidad del lodo y en consecuencia un

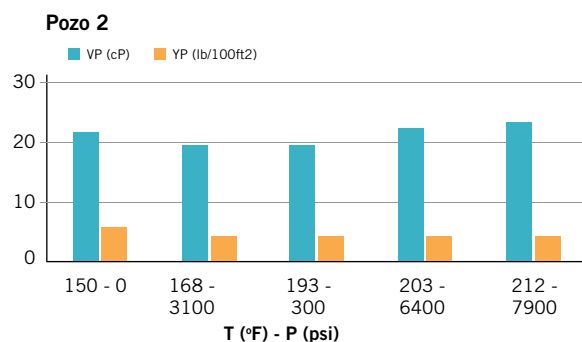
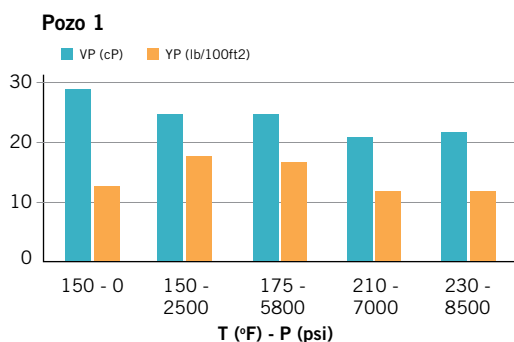


Figura 1. Composición de períodos OBM.

Se corrieron los ensayos en distintas áreas y se observó variables tendencias en los resultados. El gráfico del Pozo 1 muestra la tendencia antes de modificar la reología, y el Pozo 2 trabajando con bajas reologías (Figura 1).

A partir de los resultados obtenidos con el equipo FANN 77 se pudo determinar que las reologías en el fondo de pozo variaban considerablemente con las observadas en superficie, esta diferencia se torna más evidente al aumentar el contenido de sólidos dado al aumento en la densidad. Así, se comienza a trabajar en disminuir las reologías con el fin de obtener en el fondo del pozo las condiciones necesarias para generar turbulencia en la sección horizontal. En la tabla 1 se observan los cambios en promedio a lo largo del pozo de viscosidad plástica (VP) y punto de fluencia (YP) medidos en la operación con el reómetro FANN-35.

Pozo	VP (cP)	YP (lb/100ft ²)	Densidad (g/l)
Pozo 1	23	11	1560
Pozo 2	19	7	1570

Tabla 1. Cambios en promedio de Vp e YP.

Se disminuyó el punto de fluencia de 11 (pozo 1) a 7 (pozo 2) en forma gradual controlando estrictamente el coeficiente de decantación mediante el ensayo SAG (según Norma API 13 B2-Quinta edición). En los primeros pozos fue necesaria la utilización de modificadores reológicos y aumento de la relación O/W, lo que influye directamente en menores valores de viscosidad plástica, que durante la perforación son mantenidos por la optimización de los equipos de control de sólidos (sistema dual) con un límite máximo de un 5% de LGS.

Se extendió la secuencia de inyección de bache al pozo, dado que en la rama horizontal el fluido se comporta con un régimen turbulento, se mejora considerablemente la limpieza del pozo y se pone en evidencia en el significativo aumento de *cutting* en zaranda mientras se perfora y la disminución del arrastre en maniobras.

Se tuvieron en cuenta las siguientes buenas prácticas para la limpieza de pozo:

- Bombear 2 m³ de píldoras (baja viscosidad) seguida de 2 m³ de píldora con alto peso. La herramienta debe estar en rotación durante el desplazamiento del mismo.
- La velocidad de rotación de la herramienta, mientras la píldora viaja en su interior debe ser mayor a 60 rpm. Al acercarse a trépano, incrementar la rotación y durante su viaje en el anular mantener más de 100 rpm, siempre que la herramienta lo permita.
- El trépano no debe apoyar en el fondo mientras la píldora viaja a través de él (se recomienda no perforar durante el bombeo del bache para no adicionar al sistema nuevo volumen de *cutting*).
- No parar la rotación ni las bombas hasta que la píldora se vea en superficie. En zaranda se observará el bache fluido que no llega a cubrir la primera tela, seguido del bache denso que arrastra el *cutting* desprendido de la cama de recortes.
- Píldoras: bombear píldoras de limpieza cada 100-120 m, salvo que se detecte algún indicador de limpieza insuficiente se reduce esta longitud.

Esquema mecánico pozos horizontales *slim hole* - Bloque Loma Campana

Los resultados presentados en este trabajo se corresponden a la perforación de la etapa aislación o de producción que se muestra en la figura 2. Se comienza a perforar alrededor de los 2200 m, donde se encuentra el zapato de la cañería intermedia de 7". Se realiza una sección vertical hasta alrededor de 2600-2700 m, donde se ubica el KOP (*kick off point*), a partir de allí se realiza la construcción de la curva propiamente dicha desde 0° hasta 90° hasta alrededor de los 3200-3300 m, MD, donde se aterriza el pozo, LP. Luego se navega horizontalmente en la capa de interés hasta aproximadamente 5000 m, MD.

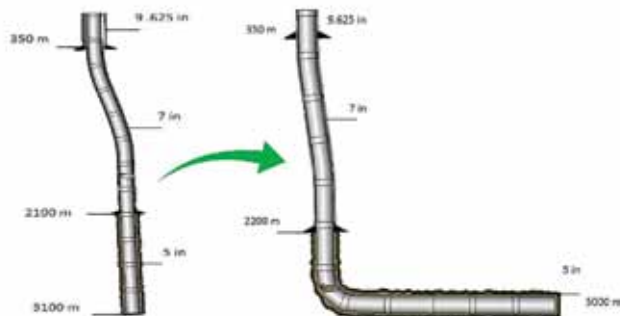


Figura 2. Esquema mecánico de pozos.

Resultados

Perforación

La primera consecuencia del cambio en el punto cedente del fluido es la disminución de la presión de *stand-pipe*, SPP. Operativamente tiene dos implicancias inmediatas, por un lado, permite extender el alcance de la rama horizontal, dado que en los pozos horizontales se llega a la profundidad final, TD, con la SPP muy cerca del límite del equipamiento de superficie, lo cual en muchos pozos es una limitante de la perforación y, por otro lado, se tiene un margen mayor para aplicar presión diferencial en el caso de perforación con motores de fondo, MDF.

Se analizó el comportamiento de dos pozos de Loma Campana, ubicados en la misma locación, que navegan en el mismo nivel con dirección sur, y que tienen una rama lateral de más de 1900 m, denominados Pozo 1 y Pozo 2.

En la figura 3 se muestra la SPP para estos dos pozos. En azul, se grafica el primer pozo de la locación con 2000 m

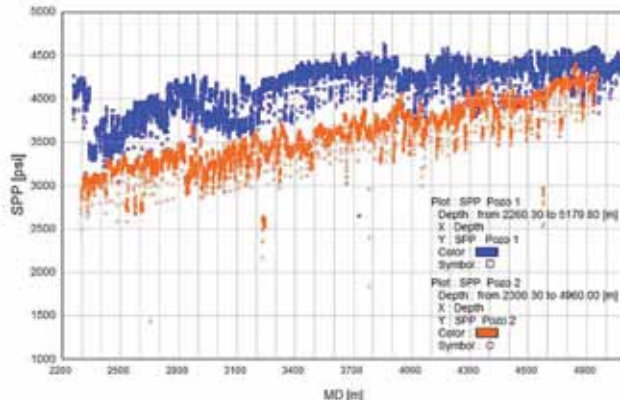


Figura 3. Presión de *stand pipe*.

de extensión horizontal, Pozo 1; donde a partir de 4500 m MD la SPP se convirtió en una limitante operativa por exceder el límite operativo del equipamiento de superficie. Se perforó con parámetros y, sobre todo, con presión diferencial controlada para no exceder este límite. Ante esta problemática se decidió hacer una prueba piloto en el siguiente pozo. Se hizo un seguimiento de SAG durante la perforación para corroborar que no haya decantación de baritina en el fluido. En naranja se muestra el siguiente pozo perforado en esa misma locación, con una extensión lateral de 1900 m, Pozo 2. Este pozo se perforó con un fluido de propiedades estrictamente controladas según el protocolo de prueba. Se llegó a TD (4970 m MD) sin tener problemas con la SPP. En ambos pozos se utilizaron caudales de entre 207 gpm y 211 gpm a lo largo de toda la carrera (Figura 4).

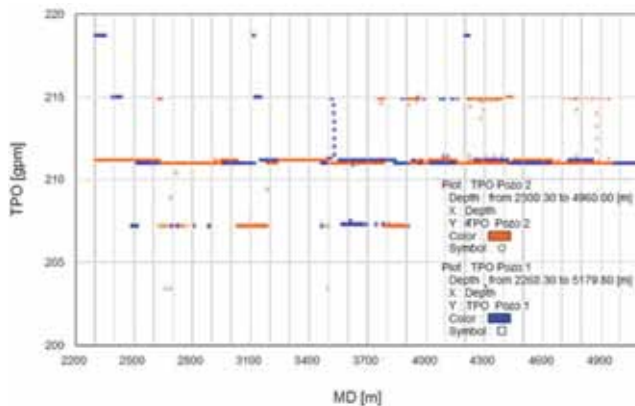


Figura 4. Caudales utilizados.

Esta disminución de SPP tiene otra consecuencia inmediata: en casi la totalidad de los pozos horizontales que se han perforado en el bloque, la rama horizontal se ha realizado con motores de fondo, de manera que al tener menor SPP se tiene más margen para aplicar presión diferencial en el sistema y, por ende, para perforar más rápido. Este es otro punto clave, ya que a partir de 2016 se ha comenzado a utilizar MDF de alto rendimiento. Estos tienen un rango de operación que pueden alcanzar 800-1000 psi de presión diferencial y entregar mayor ROP que los motores

convencionales. Al tener un fluido con bajos valores reológicos, que permita una SPP más baja, pudo optimizarse la utilización de estos MDF.

En las figuras 5 y 6 se muestra la ROP en función de la profundidad (MD), y en escala de colores la presión diferencial aplicada. Se puede ver como en el Pozo 1, el que tiene el fluido que se utilizaba normalmente, a partir de 4500 m la SPP se incrementó hasta valores próximos al límite operativo, de manera que no pudo aplicarse presión diferencial por encima de 450 psi con la consecuente disminución de la ROP.

Al inicio de la etapa aislación no se observan diferencias significativas en cuanto a la tasa de penetración. En la sección vertical, hasta el KOP (≈ 2750 m - 2850 m) se aplica presión diferencial máxima y se obtienen buenas tasas de penetración. Desde el KOP hasta el LP (≈ 3200 m), la prioridad es el trabajo direccional, de manera que los parámetros utilizados son los que favorezcan el rendimiento del BHA en tasa de construcción y no son necesariamente los mismos que maximicen la ROP. En el tramo mencionado (2200 m - 3200 m) se obtiene en promedio la misma ROP on bottom en ambos pozos, alrededor de 10 m/h.

Por el contrario, en la navegación horizontal, se pueden observar algunas diferencias. En el Pozo 2, en el que se controlaron las propiedades reológicas del fluido, no hubo necesidad de limitar la ROP por problemas de SPP. Se limitó la ROP a 50 m/h como estrategia para minimizar tendencias formacionales a desviar el pozo de la trayectoria planeada, y evitar, de ser posible, deslizar. De igual modo, nótese como a partir de 4600 m se perforó con ROP = 50 m/h. A esa profundidad, en el Pozo 1 se perforó con presión diferencial reducida, por lo que no se superaron los 40 m/h.

Como resultado se obtuvo una ROP on bottom promedio de la extensión horizontal de 23,9 m/h en el Pozo 1 contra una de 36,1 m/h en el Pozo 2, o sea un incremento, en condiciones comparables (misma locación, trayectoria, capa de navegación, dirección, trépano y conjunto direccional) del 51%.

Este mayor margen de SPP permitió extender la rama lateral de los pozos horizontales desde 1500 m en promedio, a 1850 m. Con el arreglo actual de fracturas, equiespaciadas a 80 m, implica una ganancia de 4 fracturas más por pozo.

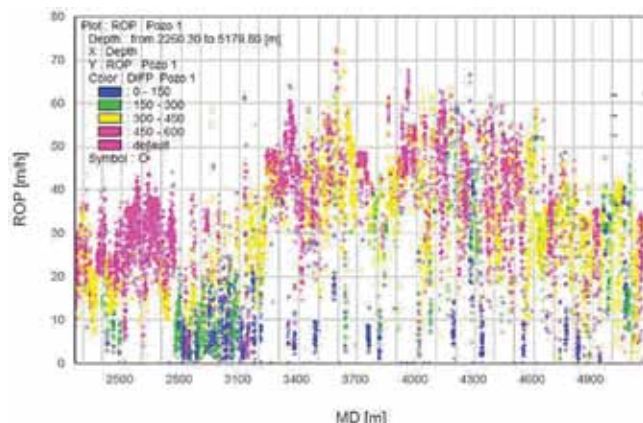


Figura 5. Pozo 1. ROP en función de la profundidad para ambos pozos.

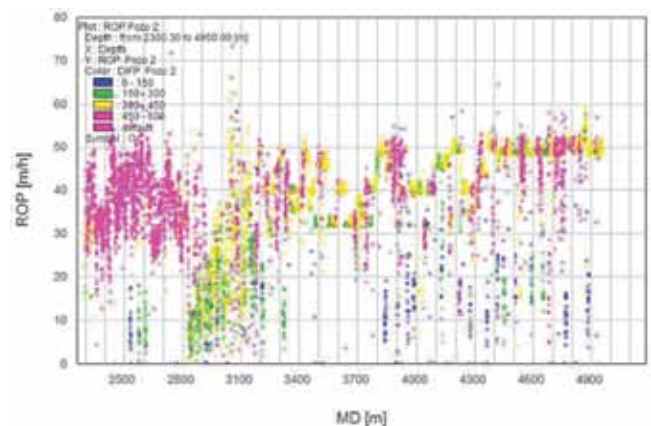


Figura 6. Pozo 2.

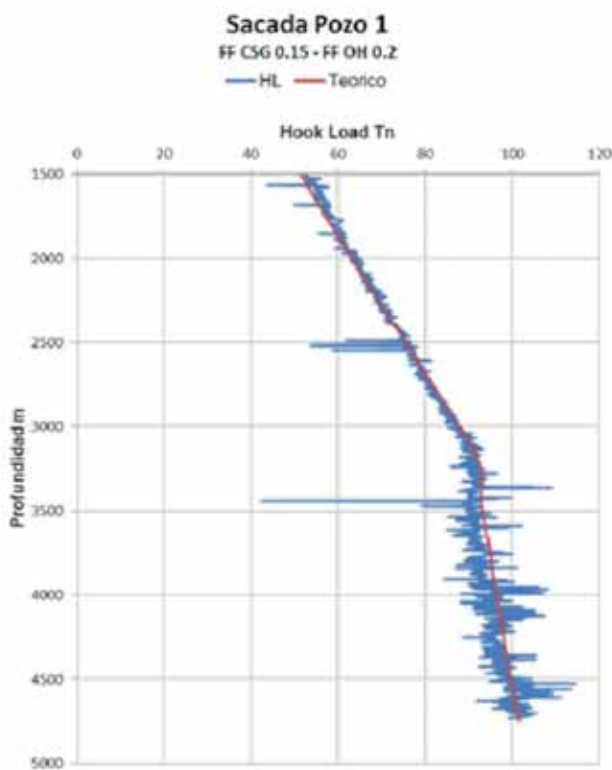


Figura 7. Pozo 1.

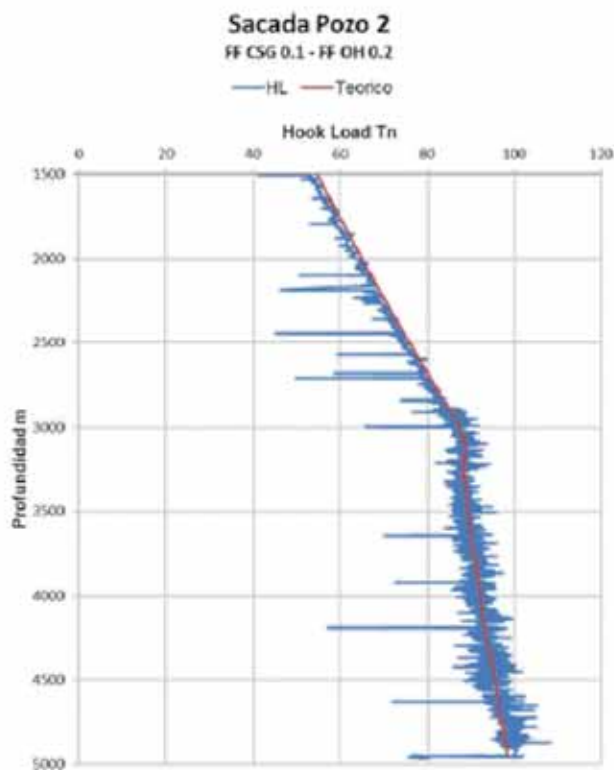


Figura 8. Pozo 2.

Maniobras

Sacada

Las maniobras de los dos pozos se realizaron con normalidad, no se observaron arrastres elevados, ni fue necesario sacar con circulación o circulación/rotación. Si se pueden observar mayores picos de tensión en el Pozo 1, al comparar las figuras 7 y 8. Los factores de fricción dentro de *casing* fueron 0,15 y 0,10 y en OH 0,2 para ambos pozos. En el Pozo 2 se sacó desarmando por ser el último del pad.

Una vez finalizada la perforación se circuló el pozo en el fondo con 100 rpm en superficie y 200 gpm para asegurar la limpieza. Se realizó otra circulación con rotación en el LP.

Entubación

Comparando la entubación de los pozos, en las figuras 9 y 10 se observa el peso en el gancho *versus* profundidad de pozo. En color negro se muestra el cálculo teórico donde hay picos cuando se llena la cañería. En el Pozo 1 se observa mayor amplitud en los datos alrededor del teórico, y también se puede ver que el factor de fricción disminuye para el Pozo 2.

En el Pozo 2 se observa una disminución del HL de entre un 10% y un 15% según la zona, con respecto al Pozo 1. Esto implica una disminución del arrastre, atribuible a mejores condiciones de pozo, lo que aumenta las probabilidades de tener una corrida de *casing* exitosa.

Como consecuencia de la disminución del arrastre se obtuvo una mejora importante en los tiempos de maniobra. En los pozos en cuestión se observan las siguientes

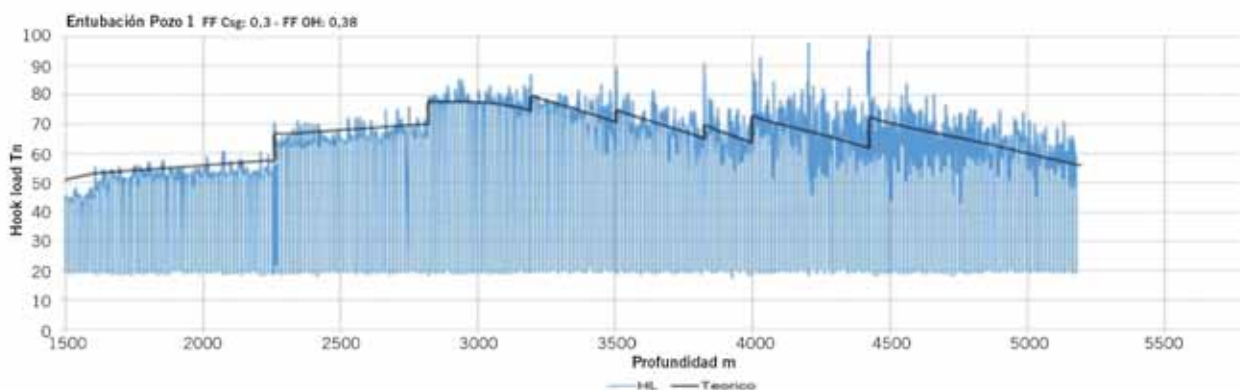


Figura 9. Pozo 1. Peso en el gancho.

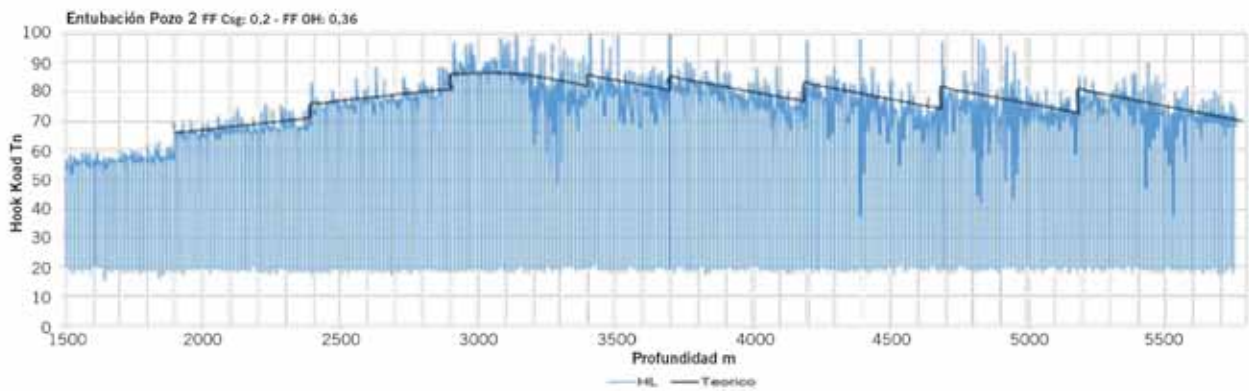


Figura 10. Pozo 2.

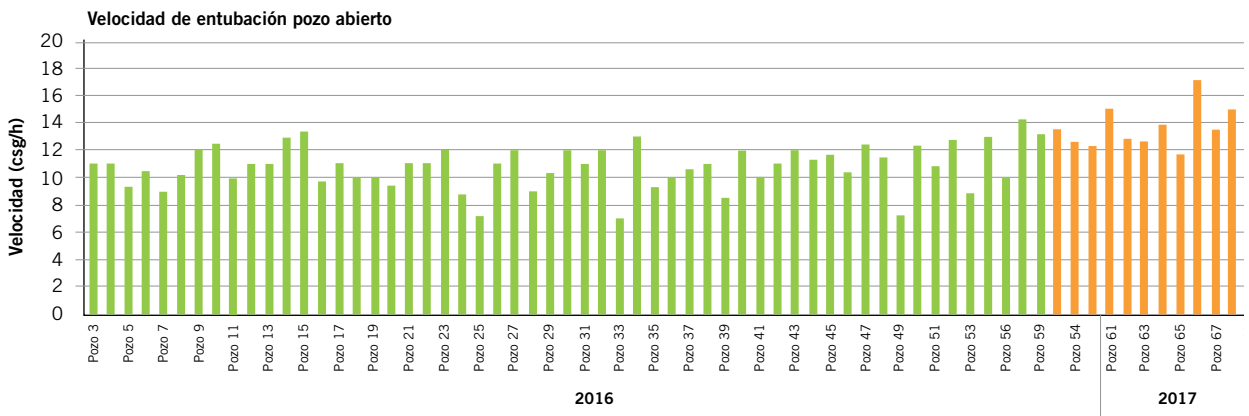


Figura 11. Evolución de la velocidad de entubación.

velocidades de entubación: dentro de cañería (superficie hasta zapato de 7") 15 csg/h, y en pozo abierto (zapato de 7" a TD) en Pozo 1 se corrieron 12 csg/h, y en Pozo 2, 14 csg/h. Esto implica un aumento del 16% de velocidad de entubación.

Si se asume un pozo tipo con las siguientes características: zapato de 7" en 2200 m, LP en 3100 m y 1900 m de extensión horizontal, o sea TD en 5000 m, entonces estas velocidades de entubación se traducen en una diferencia de 3 h por pozo en la maniobra.

En la figura 11 se muestra la evolución de la velocidad de entubación para los 69 pozos perforados entre 2016 y 2017, en pozo abierto. Los pozos diferenciados con color naranja son los que se perforaron con fluido de propiedades reológicas bajas.

La velocidad de entubación en pozo abierto subió en promedio 10,8 csg/h a 13,7 csg/h, un aumento del 27%. Con las mismas hipótesis, esto significa un ahorro de 4,22 h por pozo en la maniobra, en los 69 pozos analizados en promedio implica un ahorro de 290 h totales en maniobras de entubación.

Fluido de perforación

En la etapa intermedia se bajaron las concentraciones de arcilla organofílica y oleohumectante con el fin de finalizar la etapa con un YP bajo, y al momento de densificar el fluido para comenzar el tramo aislación se mantengan estas propiedades. En el tramo aislación también se cambió

la formulación del sistema de fluido, modificando así las concentraciones de arcilla organofílica, oleohumectante, y emulsionante.

Se observó una notable mejoría del aporte de recortes de perforación por zarandas, y en el retorno de los baches de limpieza escasos recortes, indicador de que se ha disminuido el depósito de recortes sobre la cama de recortes en la rama horizontal.

Se observa una significativa mejora en la separación de sólidos en hidrociclones y Decanter centrifuga (Figura 12), lo que permite en el pozo 2 aumentar los caudales de proceso un 77%, manteniendo la humectación y mejorando la eficiencia del sistema en menor cantidad de horas (Figura 13). Aumentando los LGS eliminados un 20%, permitiendo que la Viscosidad Plástica no muestre una tendencia al aumento y reduciendo en igual magnitud la pérdida de baritina.

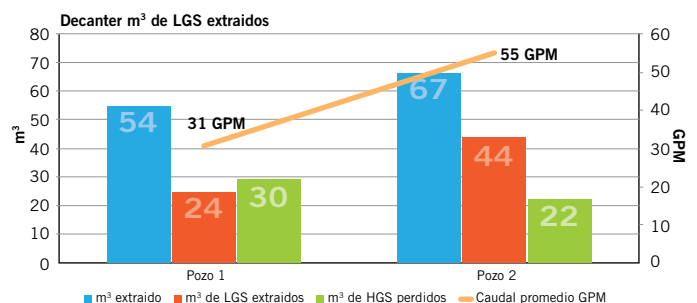


Figura 12. Separación de sólidos.

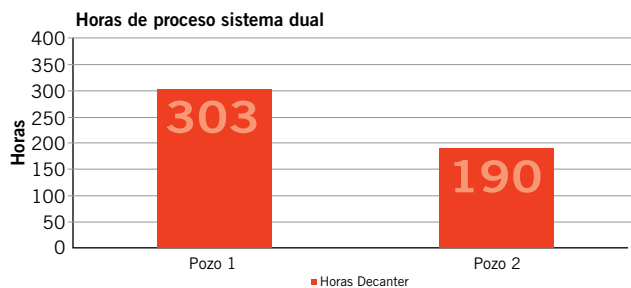


Figura 13. Eficiencia del sistema.

Conclusiones

La implementación de la perforación de pozos horizontales con el fluido de baja reología resultó exitosa y se obtuvieron mejoras tanto en la perforación propiamente dicha de la etapa aislación como en las maniobras posteriores, viaje de BHA a superficie y corrida de casing.

Se obtuvo una disminución de la presión de *stand-pipe* a lo largo de toda la rama horizontal, trabajando a igual caudal, con la misma configuración y con un entorno de perforación comparable, en el pozo perforado con el fluido modificado. A partir de la aplicación de esta metodología de trabajo con el fluido de perforación, este mayor margen de SPP permitió extender la rama lateral de los pozos horizontales de 1500 m en promedio a 1850 m. Con el arreglo actual de fracturas, equiespaciadas a 80 m, implica una ganancia de 4 fracturas más por pozo.

Al perforar casi la totalidad de los pozos horizontales con motores de fondo, en promedio se tiene un incremento de la ROP efectiva debido a la posibilidad de aplicar más presión diferencial por no ser una limitante la SPP, y una mayor ROP general debido a la disminución de horas de circulación para limpieza y las repasadas.

Se obtuvo una disminución del arrastre en las maniobras posteriores a la perforación de entre el 10% y el 15% en el pozo perforado con fluido de parámetros reológicos bajos con respecto al pozo perforado con el fluido utilizado normalmente. Desde la implementación de este fluido la velocidad de entubación en pozo abierto subió en promedio 10,8 csg/h a 13,7 csg/h, un aumento del 27%. Con las hipótesis mencionadas, pozo tipo con las siguientes características: zapato de 7" en 2200 m, LP en 3100 m y 1900 m de extensión horizontal, o sea TD en 5000 m, esto significa un ahorro de 4,22 h por pozo en la maniobra, en

los 69 pozos analizados en promedio implica un ahorro de 290 h totales en maniobras de entubación.

Se optimizaron las formulaciones del fluido para las etapas intermedia y aislación, generando una reducción en el costo por m³. Esto llevó a definir una metodología de buenas prácticas de limpieza mediante el bombeo de píldoras para tal fin.

Se observó una notable mejoría del aporte de recortes de perforación por zarandas y en el retorno de los baches de limpieza, indicador de que se ha disminuido el depósito de recortes sobre la cama de recortes en la rama horizontal.

Se mejoró la separación de sólidos en hidrociclones y Decanter centrífuga permitiendo así mayor eficiencia del sistema. ■