

EQUIPOS ESPECIALES DE CONTROL DE FLUIDOS DE PERFORACION

Alan Gilmour, Benjamin (Ben) Paiuk, Dowell Schlumberger

RESUMEN

Ambientes cada vez más dificultosos y químicas de fluidos cada vez más complejas requieren de un monitoreo más frecuente y exacto de las propiedades físicas y químicas del fluido de perforación. En los últimos años se han introducido varias técnicas de medida avanzadas que proporcionan los medios para mejorar no solo la exactitud en función de las técnicas API sino también para diseñar el fluido de una manera más visionaria mejorando el tiempo de reacción a los cambios del fluido. Dichas técnicas proporcionan un mejoramiento en la estabilidad del pozo y en la eficiencia en la perforación conjuntamente con reducciones en el costo.

Este trabajo describe varios de los nuevos equipos utilizados como son MSM (Monitor de sólidos del lodo), FMP (Monitor de Propiedades del Fluido), Stickance Tester (Probador de Adhesión) y el Medidor de dureza de recortes.

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos 40 años han ocurrido muchos avances en la tecnología de fluidos de perforación. La investigación y el desarrollo han sido impulsados por tendencias generales de perforar pozos más profundos y con mayor temperatura, horizontales y multilaterales y completamientos de pozos sin revestidor. Reglamentos ambientales también han requerido mayores especificaciones para el diseño de fluidos base agua a medida que se impusieron restricciones en el uso de sistemas base aceite.

Sistemas de alta dispersión base agua fueron reemplazados gradualmente por sistemas más inhibidos de cal y yeso no dispersados y luego por sistemas de alta concentración de cloruro de potasio y sodio (Figura 1). Durante los últimos 5-10 años se introdujeron sistemas más exóticos tales como el silicato, MMH (Mezcla de Metal e Hidróxido) y fluidos de glicol. Los fluidos base aceite fueron reemplazados por fluidos basados en sintéticos en zonas sensibles del medio ambiente. Presentemente, están siendo desplazados a favor de cero descargas cuando llega a ser más económico el uso de aceites minerales otra vez, o fluidos base agua en algunas áreas.

El progreso en la tecnología de fluidos de perforación proviene principalmente de los desarrollos en la formulación química. El control de propiedades y procesos aún permanece relativamente anticuado. Por lo tanto, a medida que los fluidos de perforación avanzan y se hacen más complejos, nuestra habilidad de diseñar los sistemas en el campo se ha hecho más difícil.

La norma en fluidos de perforación yace aún en diseñar el fluido de una manera retroactiva. Los cambios en el sistema de fluidos causados por la contaminación o el envejecimiento debido al calor por lo general no se notan inmediatamente. Muchas técnicas API son relativamente inexactas y de ámbito limitado, resultando a menudo en una metodología de ensayo y error para abordar cualquier cambio en el sistema de fluidos. Lo cual resulta en mayores demoras para devolver nuevamente el fluido a sus especificaciones y en mayores costos para su tratamiento. Las técnicas de mezcla convencionales frecuentemente producen grandes cambios en las propiedades y pudieran comprometer seriamente la estabilidad del pozo y aumentar los costos del pozo particularmente en una situación de un pozo crítico.

2. TÉCNICAS DE MONITOREO AVANZADAS.

Ambientes cada vez más dificultosos y químicas de fluidos cada vez más complejas requieren de un monitoreo más frecuente y exacto de las propiedades físicas y químicas del fluido de perforación que antes. Recientemente se han introducido varias técnicas de medida avanzadas que proporcionan los medios para mejorar no solo la exactitud en función de las técnicas API sino también para diseñar el fluido de una manera más visionaria mejorando el tiempo de reacción a los cambios del fluido. Dichas técnicas proporcionan un mejoramiento en la estabilidad del pozo y en la eficiencia en la perforación conjuntamente con reducciones en el costo.

2.1 MSM* - Monitor de Sólidos en el Lodo.

MSM es una técnica analítica rápida y exacta que ha sido comprobada en el campo. Mide la barita (HGS), los sólidos de baja gravedad (LGS), el potasio, y las concentraciones de cloruros en líquidos base agua y barita, LGS y salmuera + fase aceite en fluidos base aceite (Figura 2).

No se necesita preparar la muestra. Se lleva la muestra al instrumento y se obtiene un resultado sumamente exacto en 5 minutos, comparado con más de una hora para una retorta. Esto permite análisis más frecuentes no sólo del sistema activo sino también la medida rutinaria de descargas de control de sólidos.

Puede reemplazar a la retorta en el lugar de la perforación la cual es conocida por su gran inexactitud. El método de retorta involucra la destilación de un volumen conocido de lodo y la medida del volumen de agua que se condensa en el cilindro de medida. Luego, los sólidos se calculan a partir de la densidad del fluido y del contenido de agua. Si el volumen de agua no fuese leído correctamente esto resultaría en grandes errores en el cálculo de HGS y LGS (Figura 3). Los errores relativos que se obtienen por la retorta se comparan con los obtenidos del MSM en la Figura 4.

La Figura 5 muestra una comparación del sistema LGS medido por MSM* y por Retorta API durante el curso de un pozo. En general, los resultados de MSM* muestran niveles más altos de LGS que la Retorta. Se muestran dos puntos donde MSM* midió un gran aumento en LGS que corresponde a operaciones de escarificación. La escarificación produce ripios más finos que hacen dificultosa la remoción por medio del equipo de control de sólidos. Nótese que en cada caso la Retorta midió una caída en LGS. Los registros al final de esta sección del pozo revelaron un sobrebalance de 5.000 lpc durante la perforación. Los ingenieros de fluidos de perforación respondieron a los resultados de MSM* y diluyeron el sistema de fluidos para reducir el nivel de LGS y por lo tanto pudieron haber evitado el potencial de una situación de tubería atorada. Las medidas de Retorta no hubiesen resaltado el problema.

La Figura 6 muestra los resultados obtenidos con una Retorta API de 50 ml. El nivel de Barita y LGS calculados muestran una dependencia completa el uno del otro, siendo uno casi un reflejo exacto del otro. Cuando uno aumenta, el otro disminuye. Lo cual no es una representación veraz de la situación en el campo. Demostrando la debilidad inherente del método de retorta que resulta en graves inexactitudes. Otros problemas con el método de Retorta lo ocasionan el requisito de la lectura del nivel de líquido destilado. Los errores en este proceso también pueden causar grandes variaciones en el cálculo de las concentraciones de Barita y LGS tal como lo ilustra la Figura 5. Tomando en cuenta estos errores, el potencial de errores en los métodos de Retorta y MSM se comparan en la Figura 6. Puede verse claramente que MSM proporciona medidas más exactas.

2.1.1 Optimización del Equipo de Control de Sólidos.

El hecho de que el equipo de control de sólidos es clave en el funcionamiento eficiente y económico de una operación de fluidos de perforación es ampliamente reconocido. Para aumentar a un máximo la velocidad de perforación y para reducir la probabilidad de que ocurran problemas debido a la alta viscosidad o al grosor de las costras de lodo es importante mantener un contenido de sólidos bajo. La técnica MSM permite la optimización del rendimiento del equipo en el sitio del pozo utilizando información más exacta, más confiable y producida más rápidamente que con cualquier otra técnica de medida presentemente disponible en el lugar de perforación.

El mejoramiento en la eficiencia de remoción de sólidos tiene un impacto directo en los costos de fluidos y de pozos. Mientras mayor sea la eficiencia, menores serán los volúmenes de disolución de lodo requeridos con un consecuente menor impacto ambiental. Normalmente, el análisis de descarga del equipo de control de sólidos se lleva a cabo solamente en sistemas base aceite en áreas sensibles del medio ambiente, considerando que los procedimientos normales son extremadamente intensivos en trabajo manual. El MSM provee la capacidad de medir rutinariamente las descargas del equipo de control de sólidos y de determinar la eficiencia de remoción de sólidos. Los datos obtenidos pueden utilizarse para optimizar el uso del equipo, para mejorar la eficiencia, para reducir las descargas y los volúmenes de lodo utilizados.

Las Figuras 7 y 8 muestran como el MSM puede servir en el análisis del rendimiento del equipo. Los datos de campo se obtuvieron de dos pozos bastante diferentes, uno de temperatura y presión altas

perforado usando fluidos base agua y el otro un pozo altamente desviado y perforado con fluidos base aceite. Entonces se pueden tomar decisiones basadas en información para determinar el uso del equipo. El análisis de las descargas también permite el cálculo del fluido perdido con los rípios. Esto asegura que los ingenieros puedan balancear el volumen de lodo utilizado con mayor exactitud, proporcionando un mejoramiento en la identificación de pérdidas pozo abajo.

2.1.2 Estudio Caso 1 (Figura 7)

La eficacia media de remoción de sólidos de perforación se mide para cada intervalo así como el volumen de fluidos de perforación perdidos asociados con los rípios. Estos promedios se derivan de resultados obtenidos diariamente durante el periodo en el cual los ingenieros usaron fluidos de perforación para optimizar el uso del equipo. El equipo a bordo del lugar de perforación consiste de 2 zarandas separadoras, 3 separadoras de movimiento lineal y 2 centrifugadoras, además del equipo estándar de hidrociclón, todo lo cual sería considerado un conjunto de alto rendimiento.

Las zarandas constituyen el medio principal de remoción de sólidos, con el equipo de hidrociclón proporcionando el respaldo. La meta principal sería la de aumentar a un máximo el rendimiento de zarandas para disminuir a un mínimo el uso del hidrociclón. Esto se debe al hecho de que el equipo de hidrociclón descarga generalmente rípios húmedos, aumentando así los volúmenes de lodo requeridos y también produciendo finos debido al paso del fluido por las bombas centrífugas. Dichos finos se acumulan en el lodo, dañando las propiedades del fluido y pueden quitarse solamente desechando el lodo, aumentando más aún los volúmenes de lodo.

Sin embargo, los datos revelan que zarandas de lutitas tienen eficiencias relativamente bajas y que los hidrociclones son necesarios para mejorar la remoción de sólidos de perforación. Más aún, el efecto neto de pérdidas en el volumen de lodo puede verse en el cuadro adjunto. De hecho, durante el curso de un pozo, más del 30% de todo el fluido mezclado se perdió en el equipo de control de sólidos, lo cual representa una enorme pérdida de fluidos y mayores costos. En este pozo, una de las recomendaciones de Dowell fue de aumentar el número de sacudidores de lutitas para mejorar la remoción de sólidos primarios y para reducir la dependencia en hidrociclones. Otra fue la hacer disponibles un mayor rango de tamaños de zarandas.

2.1.3. Estudio Caso 2 (Figura 8)

El pozo de perforación en Malasia acababa de instalar un paquete de control de sólidos actualizado con sacudidoras- separadoras de alto G, sacudidoras de lutitas de movimiento lineal y centrifugadoras capaces de descarga de sólidos así como de recuperación de barita. Se usó el MSM* para determinar el rendimiento del paquete. Los resultados demostraron una tendencia de aumento en LGS y una disminución de Barita, con el resultado de una deterioración de las propiedades del fluido.

Los resultados representan promedios de toda la sección. Aún con el equipo de alto rendimiento, la eficacia de remoción de LGS era consistentemente baja. Se cree que esto se debió a velocidades de penetración súbitas sumamente elevadas y el uso de brocas PDC. Lo cual genera un gran volumen de rípios extremadamente finos que no pudieron remociones eficientemente aún con el uso de zarandas finas en las sacudidoras de lutitas. Los rípios que se filtraron tenían una gran relación de superficie/volumen, resultando en la pérdida de grandes volúmenes de fluidos con los rípios. El resultado de un aumento de LGS en el sistema activo produjo una mayor reología y particularmente viscosidad plástica, reduciendo más aún la eficacia de remoción de LGS.

Se recomendó el examen del costo en la selección de brocas en función de la optimización en la remoción eficiente de sólidos y el costo de fluidos.

Los resultados también demuestran que puede perderse hasta un 35% del volumen de fluidos de perforación en un pozo en el equipo de control de sólidos. Por lo tanto, cualquier mejora que se pueda hacer en la remoción eficaz de sólidos tendrá un impacto inmediato en el costo de fluidos.

3. FMP* - PAQUETE DE MONITOREO DE FLUIDOS.

FMP provee el monitoreo “en línea” y la visualización de las propiedades físicas claves de un fluido de perforación. La unidad puede tomar muestras después de la línea de flujo o de la pileta de aspiración, monitoreando de esta manera en forma continua la salida y/o el ingreso del lodo (Figura 9). Se midieron las siguientes propiedades físicas:

1. Densidad (densímetro no radiactivo)
2. Reología (pv/yp o 6/3 rpm o medida reológica de un sólo punto)
3. pH
4. Temperatura
5. Conductividad.

Los monitores que visualizan las propiedades del fluido pueden ubicarse en el sitio de mezcla, en el piso de la perforadora o en la oficina de la perforadora.

Cualquier cambio en el fluido de perforación por contaminación pozo abajo o por técnicas de mezclado inadecuadas se reflejarán en uno o más cambios de estas propiedades físicas. Por lo tanto, tan pronto como el líquido contaminado o degradado llegue a la superficie, el FMP medirá y visualizará estos cambios facilitando así una respuesta inmediata. Esto permite que el ingeniero de fluidos de perforación actúe precavidamente antes de que todo el sistema se vea afectado, reduciendo así los requisitos de tratamiento. El fluido entonces puede reconstituirse nuevamente de acuerdo a las especificaciones de manera más rápida reduciendo así cualquier impacto en la estabilidad del pozo. El efecto neto es la reducción de los costos de fluidos, de la inestabilidad del pozo y del tiempo perdido y el aumento en la eficiencia en la perforación.

El FMP puede utilizarse también para monitorear las propiedades de fluidos en la pileta de aspiración y asegurar que las propiedades del fluido de retorno al pozo se mantengan o se ajusten suavemente durante las operaciones de mezclado y de peso (Figura 10). La ilustración muestra un ejemplo de los datos de registros de lodo archivados y demuestra los efectos de técnicas ineficaces de mezclado que más prevalecen en el sitio del pozo. A las 16:30 hrs, se añadió Polímero XCD al sistema para aumentar la reología. Bajo circunstancias normales, se pediría que el personal de mezclado mezcle un número de bolsas en una circulación. La primera bolsa de polímero se mezcló muy rápidamente resultando en un aumento excesivamente rápido de PV y YP. Se detuvo la mezcla y se la reanudó una vez disminuyó nuevamente la reología. De ahí en adelante la mezcla procedió más cuidadosamente, sin embargo, esto resultó en el bombeo de volúmenes de fluidos de alta viscosidad pozo abajo. Estas técnicas de mezclado causaron cambios cíclicos en las propiedades de fluidos que pueden permanecer durante muchas circulaciones. Estos efectos también pueden verse con la densidad del fluido no obstante el hecho de que no se hicieron ajustes de densidad durante el lapso de tiempo indicado. En una situación de pozo crítica, dichas fluctuaciones pudieran ser responsables de severos problemas en el pozo como:

1. amago de reventón o pérdida de circulación
2. pistoneo o pulsación del pozo durante los recorridos.

Por lo tanto, el uso de FMP puede evitar problemas de mezcla típicos y asegurar un ajuste suave de las propiedades y de la densidad y aumentar a un máximo la estabilidad del pozo.

4. PROBADOR DE ADHESIÓN

El Probador de Adhesión (Figura 11) provee una herramienta al ingeniero de fluidos de perforación para medir directamente la adhesibilidad de la costra de lodo y no solo predice el potencial de atoramiento de tubería sino también sirve para ensayar la adición de productos para mejorar la calidad de la costra.

Se estima que la industria pierde entre 200 y 500 millones de dólares cada año por adhesión de tuberías, siendo la adhesión diferencial la causa de más o menos un 30% de las pérdidas. Las causas principales de la adhesión diferencial son bien conocidas y la investigación indica que el esfuerzo cedente del corte entre la tubería y la costra de lodo, la lubricidad de la costra y los componentes (particularmente el contenido de LSG) y el grosor de la misma son factores contribuyentes.

La unidad consiste de una celda de pérdida de fluido HTHP modificada (Figura 12). La celda se ajusta a una bola de acero inoxidable que descansa encima de la costra de lodo a medida que se acumula durante la prueba de pérdida de fluidos. A intervalos se gira la bola y se mide la torsión requerida para mover la bola. En un gráfico de la torsión en función del tiempo se produce una línea derecha cuya pendiente se toma como la medida de la calidad y la adhesibilidad de la costra.

La prueba fue diseñada para remedar la situación en la que una tubería yace contra una formación impermeable y la costra crece en derredor. Eso es lo que pasa por ejemplo durante la conexión. Alternativamente, la prueba pudiera ser válida para simular situaciones en las que la tubería se saca hacia el lado alto del pozo donde ya está depositada la costra de lodo o al perforar por deslizamiento lento de tal manera que no se erosione la costra.

El uso del probador de adhesión en el lugar del pozo ayuda al ingeniero de fluidos no solo a identificar los cambios de calidad y adhesión de la costra de lodo sino también a ensayar tratamientos para mejorar la calidad y la adhesibilidad de la costra. La Figura 13 muestra resultados de campo de un pozo HTHP en el cual la densidad del fluido era de 16,8 ppg y BHST 365°F. También muestra características del pozo donde existe una zona de transición rápida con arenas normalmente presurizadas al tope del intervalo. Debido al alto sobrebalance en las arenas normalmente presurizadas, las herramientas de registro tenían una tendencia a adherirse en el pozo. Se llevaron a cabo los ensayos para reducir la adhesión de la costra. Los resultados demostraron el efecto de añadir un aditivo antiadhesivo efectivo al fluido. Un 5% de aditivo por volumen logró una gran disminución en la adhesibilidad de la costra y resultó en registro libre de problemas.

El cuadro en la Figura 14 muestra las propiedades después de añadido el aditivo. Nótese que aunque se logró una gran disminución en la adhesibilidad, las propiedades estándar API muestran poco cambio. Esto demuestra que estas propiedades no aportan ninguna información sobre la calidad de la costra y por lo tanto no sirven como indicadores del potencial de adhesibilidad. Sin embargo, esto demuestra claramente el valor del Probador de Adhesibilidad en el sitio del pozo para identificar y combatir situaciones de adhesión potencial de tuberías.

5. MEDIDOR DE DUREZA DE RECORTES

El medidor de dureza de recortes (Fig. 15) permite medir la dureza de los recortes.

Consiste en un cilindro con una placa de acero con agujeros en la parte inferior. Los recortes son expuestos a diferentes fluidos y luego se los coloca dentro del cilindro. Se aplique y se mide el torque necesario para extruir los recortes. Se grafica el torque contra el número de vueltas necesarias para extruir los sólidos

6. CONCLUSIÓN

Un monitoreo más frecuente y más exacto de las propiedades de fluidos asegura que el fluido permanezca dentro de sus especificaciones por lapsos de tiempo mayores. Esto evita el sobretratamiento, identifica contaminantes en una etapa más temprana haciendo así más fácil el tratamiento, y disminuye a un mínimo los costos de tratamiento de fluidos y el tiempo de circulación. Manteniendo un sistema de lodo y un pozo en condiciones optimas optimiza a su vez la eficiencia de perforación y reduce en general el tiempo de perforación y los costos relacionados.

Figura 1. Evolución de Fluidos de Perforación

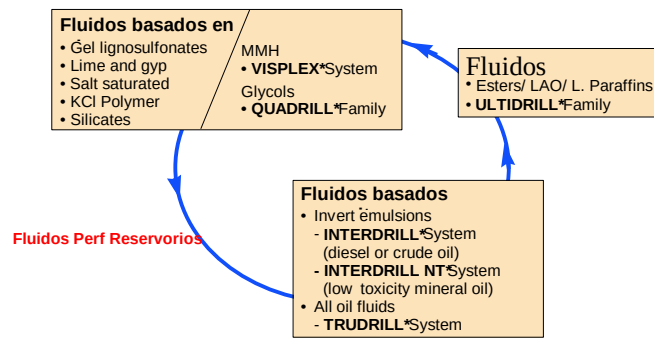


Figura 2. Monitor de Sólidos de Lodos (MSM)



Figura 3. Efecto de Errores de Retorta

12 ppg drilling fluid (1.44 SG) with 6% v/v LGS

Ideal 41.7 mL water in 50 mL retort
= 83.4 % v/v water = 16.6 % v/v solids

10.6 v/v % HGS

6.0 v/v % LGS

Field: Typically ± 1 mL ($\pm 2\%$ v/v)

If 40.7 mL measured, then:
81.4% water and 18.6% solids

12.7 v/v % HGS

1.9 v/v % LGS

If 42.7 mL measured, then:
85.4% water and 14.6% solids

8.6 v/v % HGS

10.1 v/v % LGS

Figura 4. Errores : MSM Vs Retorta

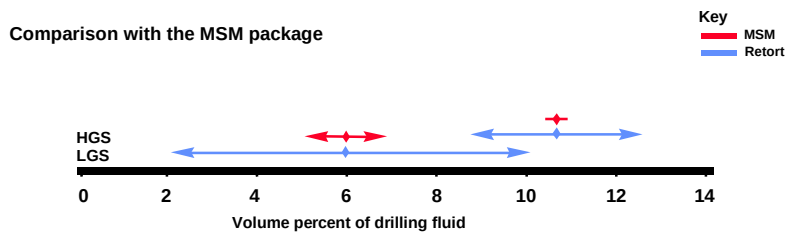


Figura 5. Resultados Retorta HGS y LGS

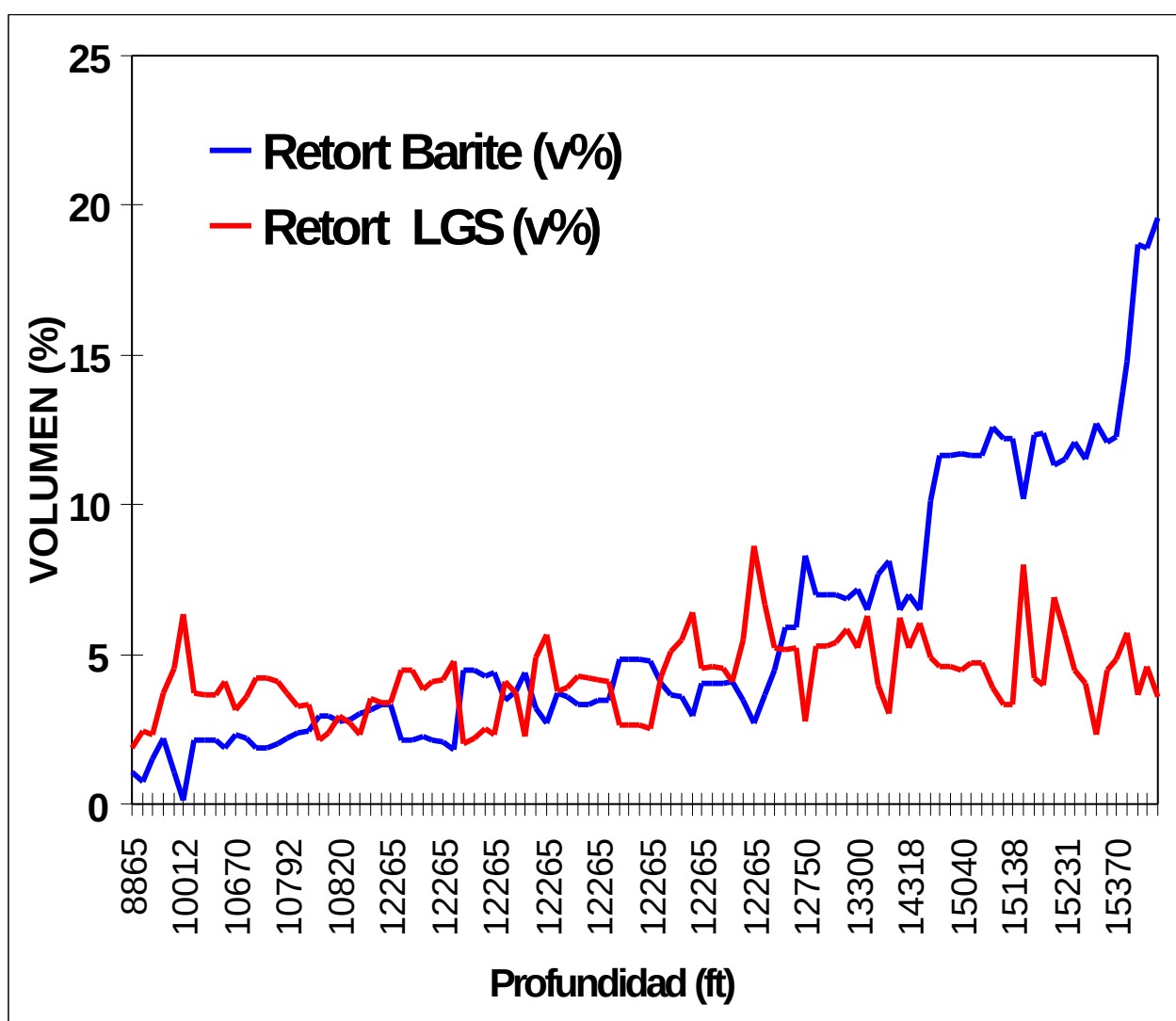


Figura 6: Resultados MSM

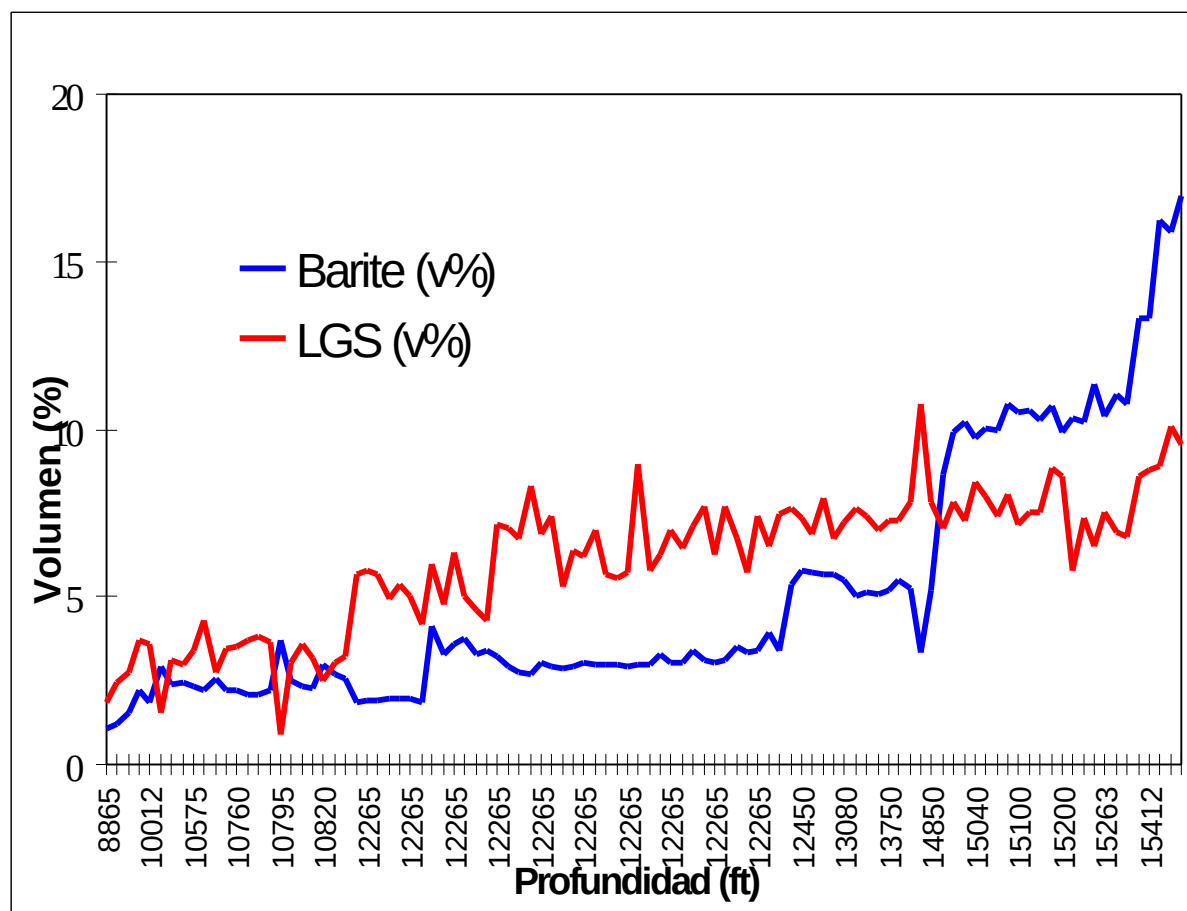


Figura 7: Análisis del Equipo de Control de Sólidos (pozo HTHP, Nigeria)

CASO 1 :EFICIENCIA REMOCION DE SOL (%)**DESCARGAS (bbbls)****Lodo W B**

SECCION	24"	17 1/2"	12 1/4"	8 1/2"	5 7/8"
Shale Shakers	31.2	31.5	42.3	28.5	20.5
Desanders	-	-	-	-	-
Desilters	19.3	15.6	-	-	-
Mud Cleaner	14.2	20.8	25.7	36.1	28.1
Centrifuges	2.2	1.5	4.6	10.0	9.7
SYSTEM EFF.	65.8	69.4	72.69	74.5	58.4

SECCION	24"	17 1/2"	12 1/4"	8 1/2"	5 7/8"
Shale Shakers	1163	672	475	95	16
Desanders	-	-	-	-	-
Desilters	2043	6063	-	-	-
Mud Cleaner	785	771	568	373	-
Centrifuges	14	38	229	122	10
TOTAL	4005	7544	1272	590	26

Total SCE Descarga WBM = 13,437 bbbls Productos = 3,756 bbbls (32 % del lodo mezclado)

Figura 8: Análisis del Equipo de Control de Sólidos (Pozo de ángulo elevado, costafuera de Malasia)

CASO 2 :EFICIENCIAS (%) DESCARGAS(Bbbls)

SECTION	13 3/4"	9 7/8"
Scalp. Shakers	13.5	33.6
LM Shakers	5.4	14.2
Centrifuges	2.7	7.4
SYSTEM EFF.	21.5	55.2

SECTION	13 3/4"	9 7/8"
Scalp Shakers	114	409
LM Shakers	58	253
Centrifuges	41	165
TOTAL	213	827

Total SCE Descarga OBM

13 3/4" : 15% of total
9 7/8" : 36%

Fd = 0.3

Figura 9. Paquete de Monitoreo de Fluidos (FMP)

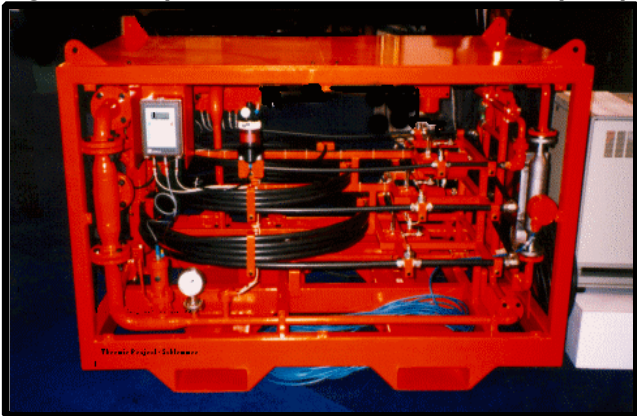


Figura 10: Salida del FMP

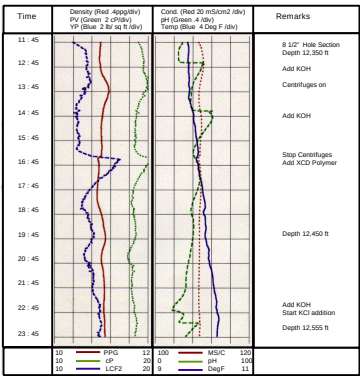


Figura 11: Stickance tester

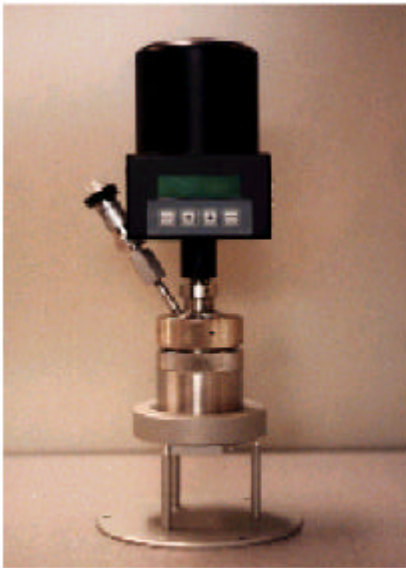


Figura 12: Esquema

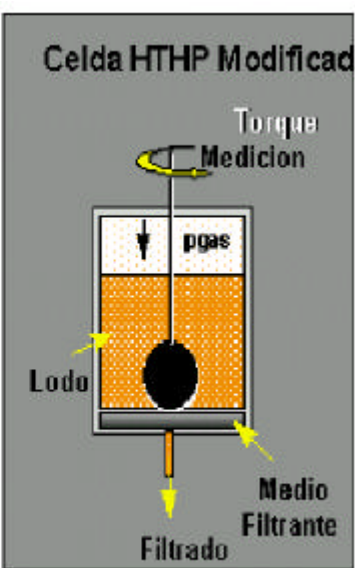


Figura 13. Valores de Adhesibilidad

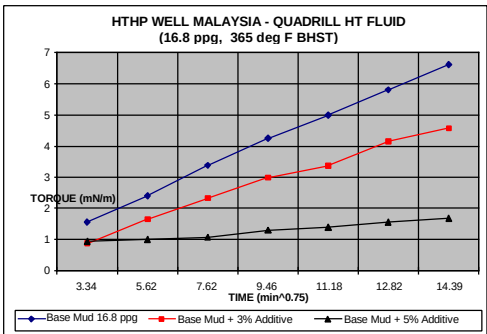
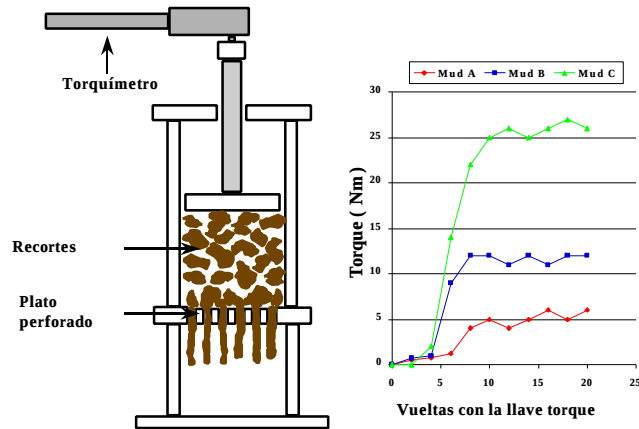


Figura 14: Propiedades del fluido

Property	Base Mud	3% Additive A	5% Additive A
Weight	16.8	16.8	16.8
600	97	90	98
300	59	60	65
200	45	47	52
100	31	32	38
6/3	11/10	12/11	18/16
Gels	19/39/46	13/42/56	31/62/96
PV	36	30	33
YP	23	30	32
HPHT	11.5	13.0	10
pH	10.4	10.4	10.3

Figura 15: Medidor de dureza de recortes**Medidor de ensayo de dureza de Recortes****Referencias :**

1. SPE/IADC 25704 **Medida y Composición de Lodos de Perforación utilizando Fluorescencia de rayos X**. O.H. Houwen, A. Gilmour, M.W. Sanders, D.R. Anderson y L. Prouvost, Sedco Forex
2. IADC/SPE 35100 **Mecanismos de Adhesión Diferencial y una Prueba Simple en el Sitio del Pozo para Monitorear y Optimizar las Propiedades de Lodos de Perforación**. P.I. Reid, G.H. Meeten, y P.W. Way, Schlumberger Cambridge Research; P. Clark, Schlumberger Dowell; B.D. Chambers, BP Exploration; y A. Gilmour, Schlumberger Dowell.
3. SPE 36831 **Monitoreo en el Sitio del Pozo del Contenido de Sólidos en Fluidos de Perforación y Descargas del Equipo de Control de Sólidos**. J.M. Davison, G. Daccord, L. Prouvost, Schlumberger Dowell, y A. Gilmour, Schlumberger Technical Services Inc.