



EVALUACIÓN DE METODOLOGÍAS Y SEPARADORES PARA LA CEMENTACIÓN DE POZOS PETROLEROS.

Yusnier León Arias; Miriam Legón Morgado ; Hernán Velázquez Zayas; Irellys Chávez Arcia.

Centro de Investigaciones del Petróleo, Churruca No 481 e/ Vía Blanca y Washington, Cerro, La Habana, Cuba. Correo E. yusnier@ceinpet.cupet.cu,

RESUMEN

El proceso que presenta más fuentes de falla, en la cementación de pozos de petróleo es el acondicionamiento del pozo a causa de que no se dispone de una metodología ni de los criterios que se recomiendan para que se asegure una eficiente limpieza del pozo. Se requiere que se investigue sobre la remoción química del revoque que se forma en el anular y de la formulación de espaciadores para que se evite la contaminación de la lechada. El cemento, las lechadas y las mezclas de fluidos de cementación se evalúan según especificaciones ISO 10426-2:2003. Se evalúan dos metodologías para la eliminación del revoque, una del laboratorio de Lodos y Cementos del CEINPET y otra de INTEVEP, PDVSA. Se comparan las efectividades de la remoción de revoques y se concluye que poseen similar resultado. Se obtienen formulaciones de limpiadores a partir de surfactantes, dispersantes y la mezcla 50/50 de ambos, los mejores resultados son para el Clean Up y Clean Up/ Alka Temp. Se obtienen formulaciones de espaciadores con aditivos de las compañías de fluidos de perforación que operan en Cuba. Se asegura la disponibilidad de un espaciador con aditivos de cada compañía. Los espaciadores presentan propiedades reológicas adecuadas, una estabilidad en jarra a 2 h por encima de 98 % y poco aumento del tiempo de bombeabilidad cuando se mezclan con las lechadas.

INTRODUCCIÓN

El principal objetivo de la cementación primaria es el aislamiento zonal, que se alcanza cuando se crea un sello en el anular con el fraguado de la lechada de cemento. Dicho proceso impide la formación de canales en el espacio anular, a través de los cuales pueden fluir gas, petróleo o agua, hacia la superficie u otras zonas permeables, o pérdidas significativas de producción de petróleo.

El aislamiento zonal depende de muchos factores, tales como: desplazamiento eficiente del fluido de perforación y los rípios mediante el acondicionamiento del lodo antes y después que se baje la camisa, la existencia de un pozo en calibre y estable, libre de zonas socavadas donde se acumule fluido de perforación gelificado, centralización de la camisa y el adecuado diseño de los lavadores y espaciadores (Nelson, E.B, 2006), (Mobil Cía).

Los fluidos separadores se dividen en lavadores y espaciadores, se bombean delante de la lechada de cemento y si se utilizan en el orden lavador-espaciador-lechada de cemento, el primero adelgaza el fluido de perforación en el espacio anular, el segundo termina de removerlo y garantiza el menor contacto entre la lechada de cemento y el fluido de perforación en el desplazamiento (Sauer, C., 1987).

Los lavadores o limpiadores son fluidos de viscosidad y densidad similar al agua o al aceite utilizados en el fluido de perforación; además contienen mezclas de dispersantes y surfactantes, los que facilitan el ablandamiento del revoque, del fluido de perforación gelificado y su posterior dispersión. Se utilizan para su desplazamiento en flujo turbulento (Beirute, R., 1991).



Los espaciadores son fluidos de densidad diseñada entre la del fluido de perforación y la lechada de cemento. Contienen mayor cantidad de partículas sólidas que los lavadores. Algunos se bombean en flujo turbulento, causando el mismo efecto de limpieza que los lavadores (Halliburton, 2010).

Problema científico

Las normas internacionales no regulan la efectividad de los limpiadores en la limpieza del revoque, estas solo se refieren a la compatibilidad entre los fluidos de cementación. Los criterios y las metodologías de remoción son adoptados por cada compañía, además nuestro país no posee aditivos específicos para la formulación de separadores.

Objetivos del trabajo

- Evaluar las metodologías: Metodología para la evaluación de un sistema como limpiador de revoques, propuesta por Laboratorio de lodos y cementos; CEINPET y Metodología de evaluación de la remoción de revoques, propuesta por INTEVEP; PDVSA.
- Evaluar formulaciones de limpiadores.
- Evaluar formulaciones de espaciadores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Análisis documental.

Se utilizan aditivos para el control del filtrado, viscosidad, agua libre, retardador del tiempo de consistencia, antiespumante y control de la migración de gas de las firmas extranjeras Dalón y DFS.

Se emplean aditivos de las compañías de fluidos de perforación FTW y DFS para la evaluación de los sistemas de lodo polímero/KCl y su interacción con los limpiadores.

Se utilizan los aditivos viscosificantes GW XC, Yield Plus y XGD de las compañías GW, FTW y DFS respectivamente para la preparación de los espaciadores.

Se emplean los surfactantes RH-4 de GW, Clean Up y Surfaclay de DFS y los dispersantes Lignosperse y Alka Temp de las compañías FTW y DFS respectivamente para la preparación de los sistemas limpiadores.

Evaluación de propiedades de las lechadas y mezclas con espaciadores según, ISO 10426 part-2, 2003.

Norma GOST 1581 – 63 para determinar la sedimentación en jarra a 2 h.

Metodología para la evaluación de un sistema como limpiador de revoques, propuesta por Laboratorio de lodos y cementos; CEINPET.

Metodología de evaluación de la remoción de revoques, propuesta por INTEVEP; PDVSA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se dirige la investigación a la preparación y evaluación de fluidos separadores, así como su compatibilidad con las lechadas de cemento cubano para construcción (con y sin aditivo silíceo) y los fluidos de perforación, y al desarrollo de metodologías de remoción de revoques.

- **Desarrollo de metodologías para evaluación de Limpiadores.**

Metodología de Evaluación de un sistema como limpiador de revoques.

La Metodología para la Evaluación de un Sistema como Limpiador de Revoques (MESLR) desarrollada por el Laboratorio de Lodos y Cementos, consiste en obtener un revoque sobre papel de



filtro por medio de filtración estática, diseñar la formulación del limpiador y poner en contacto el limpiador con el revoque en un recipiente durante un tiempo determinado. Luego por un método visual de fotografía y gravimétrico del revoque antes y después de ser sometido a la acción del lavador se determina la efectividad del mismo. Se calcula el % de limpieza como el cociente resultante de la resta del peso del revoque inicial y el final ambos secos entre el peso del revoque inicial, todo por 100 (Legón y col, 2009).

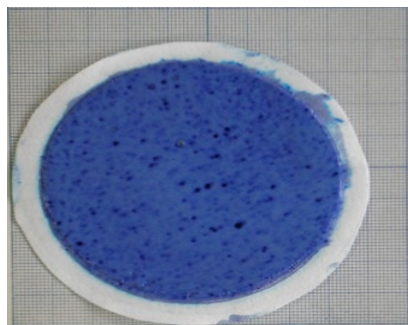


Revoque antes de lavarlo con Clean Up

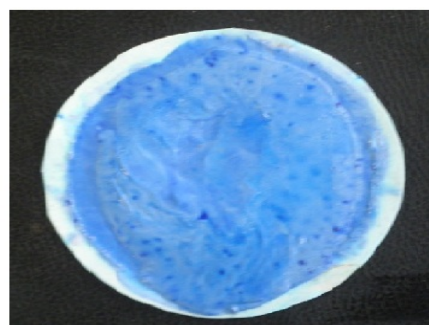


Revoque después de lavado con Clean Up a 50 °C

Figura 1. Revoque del lodo FTW antes y después de ser removido por el Clean Up.

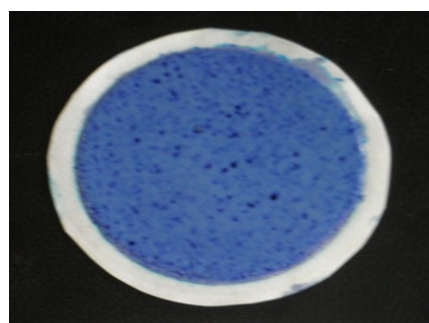


Revoque antes de lavarlo con RH4

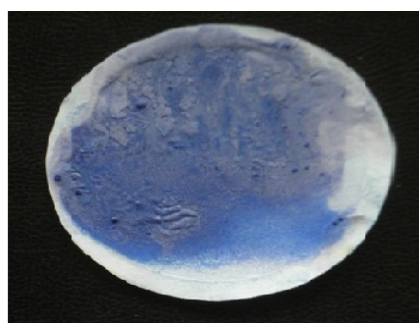


Revoque después de lavado con RH4 a 50 °C

Figura 2. Revoque del lodo FTW antes y después de ser removido por el RH-4.



Revoque antes de lavarlo con Surfaclay



Revoque después de lavado con Surfaclay a 50 °C

Figura 3. Revoque del lodo FTW antes y después de ser removido por el Surfaclay.

Se estudiaron los sistemas limpiadores Clean Up, RH-4 y Surfaclay a 50 °C. Se comprobó que el efecto de limpieza del revoque para el primero y el tercero es el mismo que a temperatura ambiente; obtenidos en el informe de la etapa 10 del proyecto 2904, pero se alcanza en menos tiempo, Figuras 1 y 3. El % de limpieza para ambos está por encima de 50, Tabla I.

El RH-4 no presentó una buena remoción de revoques porque su % de limpieza es de 34 y en las fotografías no se observa una limpieza efectiva, Figura 2 por lo que no se recomienda su empleo como limpiador.



Metodología de evaluación de la remoción de revoques (MERR).

La MERR de INTEVEP consta de tres pasos fundamentales: la determinación del índice de compresionabilidad del revoque; da una medida de la facilidad a la remoción que tiene el revoque y caracteriza el fluido que se utiliza en la fase de perforación, la determinación del % de remoción mecánica que logra cuantificar el efecto que tendrá en la remoción del revoque el acondicionamiento del pozo con el fluido de perforación antes de hacer pasar los fluidos de cementación (limpiador-espaciador-lechada) y el % de remoción química que muestra el efecto que tiene el uso de lavadores en la limpieza del revoque (Pereira, 2009).

A la MERR se le realizaron algunos cambios para facilitar el manejo del equipo en el laboratorio. Estos consisten en la determinación del peso seco del revoque previo al proceso de remoción debido a la dificultad en la manipulación de sacar y colocar el revoque en la celda. El secado se realiza a 100 °C durante 4h. Se aumentó el volumen de limpiador en la celda del equipo a 170 ml.

Las condiciones de pruebas fueron temperatura 50 °C y presión de 500 psi. Se calcula el % de remoción química como el cociente resultante de la resta del peso del revoque inicial y el final ambos secos entre el peso del revoque inicial, todo por 100.

En la Tabla I se muestran los resultados de la acción de los limpiadores sobre el revoque formado tras filtración dinámica del lodo FTW. El Clean Up, El Alka Temp, y las mezclas tienen un % de remoción química por encima de 80. El limpiador de más bajo % de remoción es el RH-4, por lo que se descarta su uso en operaciones de cementación. El sistema Clean Up/ Alka Temp presenta la mayor remoción química (89%) esto es debido a la combinación del efecto del surfactante y el dispersante. El Lignospense y el Alka Temp presentan menor % de remoción química que el Clean Up. Concluyéndose que el uso del Clean Up es suficiente en la limpieza del revoque.

Tabla I. Resultados de la remoción química del revoque formado por el lodo FTW por ambas metodologías.

Limpiador	% de Remoción por la MERR	% de Remoción por la MESLR
Clean Up	85	72
Surfaclay	84	70
RH-4	47	34
Lignospense	76	.....
Alka Temp	80	.....
Clean Up/Lignospense	83	.....
Clean Up/Alka Temp	89	.....

Comparación de las metodologías de evaluación de limpieza de revoques.

De la Tabla I se concluye que la efectividad de ambas metodologías en la evaluación de la limpieza del revoque es similar, manteniendo las condiciones de temperatura, presión y de velocidad de agitación propuestas en cada metodología según ajustes. Ambas demostraron la efectividad de los sistemas Clean Up y Surfaclay, así como la insuficiente remoción del sistema RH-4.

• Estudio y comparación de nuevos sistemas limpiadores.

Se estudiaron varios sistemas limpiadores en cuya formulación se emplean un surfactante, un dispersante y la combinación de ambos en una relación 50/50. Las Tablas II, III, IV, V y VI muestran



las propiedades reológicas de las mezclas de limpiadores y fluido de perforación de las compañías DFS y FTW.

Se observa una disminución de las propiedades reológicas debido a la dilución que sufre el fluido de perforación en el proceso de mezclado. En todos los casos la viscosidad plástica disminuye desde valores por encima de 25 cp hasta valores por debajo de 3 cp, para ambos fluidos de perforación. El punto de cedencia también disminuye.

Tabla II. Propiedades reológicas de las mezclas Lodos/ Lavador RH-4.

Relación	Lodo DFS/Limpiador RH-4					Lodo FTW/Limpiador RH-4				
Lectura	95/5	75/25	50/50	25/75	5/95	95/5	75/25	50/50	25/75	5/95
600	89	61	35	16	9	70	46	21	9	6
300	63	43	24	10	6	50	32	14	6	3
200	51	35	19	8	4	41	25	11	4	2
100	37	25	14	5	3	28	16	6	2	2
60	29	20	11	4	2	21	11	4	2	1
30	22	15	8	3	1	14	7	2	1	0
6	13	8	4	2	1	5	2	1	0	0
3	10	6	3	1	0	4	1	1	0	0
VP (cp)	26	18	11	6	3	20	14	7	3	3
PC (lb/100pie2)	37	25	13	4	3	30	18	7	3	0

Tabla III. Propiedades reológicas de las mezclas Lodos/ Lavador Lignosperse.

Relación	Lodo DFS/Limpiador Lignosperse					Lodo FTW/Limpiador Lignosperse				
Lectura	95/5	75/25	50/50	25/75	5/95	95/5	75/25	50/50	25/75	5/95
600	94	71	37	12	5	72	50	30	14	6
300	66	49	25	8	4	52	36	21	9	3
200	53	40	20	6	3	42	29	17	7	3
100	38	28	14	4	2	30	20	12	4	2
60	30	23	11	3	1	23	15	8	3	1
30	23	17	8	2	1	16	11	6	2	1
6	13	9	4	1	1	8	5	2	1	0
3	11	7	3	1	0	5	4	2	1	0
VP (cp)	28	22	12	4	1	20	14	9	5	3
PC (lb/100pie2)	38	27	13	4	3	32	22	12	4	0

Tabla IV. Propiedades reológicas de las mezclas Lodos/ Lavador Alka Temp.

Relación	Lodo DFS/Limpiador Alka Temp					Lodo FTW/Limpiador Alka Temp				
Lectura	95/5	75/25	50/50	25/75	5/95	95/5	75/25	50/50	25/75	5/95
600	90	63	32	15	9	68	49	28	12	3
300	64	44	21	10	6	49	35	20	8	2
200	52	36	17	8	4	40	28	15	6	2
100	37	25	12	5	3	27	19	10	4	1
60	29	20	9	4	2	21	15	8	3	1
30	22	15	7	3	2	15	10	4	2	0
6	13	8	3	1	1	7	4	2	1	0
3	11	7	2	1	0	5	3	2	0	0
VP (cp)	26	19	11	5	3	19	14	8	4	1



PC (lb/100pie2)	38	25	10	5	3	30	21	12	4	1
------------------------	----	----	----	---	---	----	----	----	---	---

Tabla V. Propiedades reológicas de las mezclas Lodos/ Lavador Clean Up-Alka Temp, (50/50).

Relación	Lodo DFS/Limp Clean Up-Alka Temp (50-50)					Lodo FTW/Limp Clean Up-Alka Temp (50-50)				
	95/5	75/25	50/50	25/75	5/95	95/5	75/25	50/50	25/75	5/95
600	92	62	38	13	5	97	64	30	18	4
300	64	43	25	9	3	71	43	18	11	2
200	53	35	20	6	3	57	34	13	8	2
100	38	25	14	5	1	39	22	8	4	1
60	30	19	11	3	0	30	17	5	3	1
30	23	15	8	2	0	20	10	3	2	0
6	13	8	4	1	0	8	3	1	1	0
3	11	7	3	1	0	5	2	0	0	0
VP (cp)	28	19	13	4	2	26	21	12	7	2
PC (lb/100pie2)	36	24	12	5	1	45	22	6	4	0

Tabla VI. Propiedades reológicas de las mezclas Lodos/ Lavador Clean Up-Lignosperse, (50/50).

Relación	Lodo DFS/Limp Clean Up-Lignosperse(50-50)					Lodo FTW/Limp Clean Up-Lignosperse(50-50)				
	95/5	75/25	50/50	25/75	5/95	95/5	75/25	50/50	25/75	5/95
600	101	66	35	18	8	84	60	27	11	5
300	73	45	24	12	5	58	40	17	7	4
200	59	37	20	9	4	41	32	13	5	3
100	43	27	14	7	3	32	21	8	3	2
60	35	21	11	5	2	23	15	6	2	1
30	27	16	8	3	1	15	10	3	1	0
6	15	9	4	2	1	5	3	1	0	0
3	12	7	3	1	0	4	2	1	0	0
VP (cp)	28	21	11	6	3	26	20	10	4	1
PC (lb/100pie2)	45	24	13	6	2	32	20	7	3	3

Como adelgazantes de las propiedades reológicas todos los sistemas demostraron buena efectividad. Se podría recomendar el empleo de todos en el campo, pero como se había visto anteriormente el RH-4 no presenta una buena remoción química del revoque por lo que se desecha.

• Estudio y comparación de varios sistemas espaciadores.

Se estudiaron tres sistemas de espaciadores formados por Yield Plus, XGD y GW XC al 5%. En el diseño de la densidad se consideraron las densidades de la lechada de cemento sin Zeolita 1.90 g/cm³ y la del lodo 1.50 g/cm³, obteniendo densidades de 1.70 g/cm³. En la Tabla VII se muestran los resultados de las medidas reológicas y la densidad. Las viscosidades plásticas están alrededor de 20 cp, la mayor se alcanza cuando se utiliza GW XC.

Se realizó la estabilidad en jarra en 2 h para cada espaciador. En todos los casos el % de estabilidad está por encima de 98, valor que se reporta como mínimo admisible, Tabla VII.



Tabla VII. Propiedades reológicas de los espaciadores.

Propiedad	Espaciador		
	XGD	Yield plus	GW XC
L600	65	64	69
L300	47	44	46
L200	40	36	42
L100	32	26	32
L60	27	22	27
L30	23	17	22
L6	15	11	15
L3	14	9	13
VP (cp)	18	20	23
PC (lb/100pie2)	29	24	23
Densidad (g/cm3)	1.70	1.70	1.70
% de estabilidad	98	98	99

En las Tablas VIII y IX se muestran los resultados de las pruebas de compatibilidad entre los espaciadores Yield Plus y GW XC y las lechadas de cemento, formuladas según Tabla X. Se destacan los valores de lecturas a 6 y 3 que para la mezcla de los dos tipos de lechada con los dos espaciadores son mayores para la relación 5/95. Esto es debido al aumento de la gelatinosidad que alcanza el espaciador cuando se contamina con cemento. El aumento en las viscosidades que sufre la lechada de cemento por la contaminación con el espaciador, relación 95/5, garantiza un tapón que evita la mezcla entre ellos.

Las lechadas aligeradas tienen mayor viscosidad en las relaciones 50/50 esto se debe que al tener más agua, la mezcla se produce mejor y aumenta el efecto de la contaminación. Las viscosidades plásticas para todas las mezclas aumentan con respecto a las viscosidades plásticas de los espaciadores, 8cp para el GW XC y 20 cp para Yield Plus en la relación 5/95 lo que se explica por el aumento de la gelatinosidad del espaciador.

Tabla VIII. Propiedades reológicas de las mezclas de lechadas y espaciador Yield Plus.

Prueba	Espaciador Yield Plus	Lechada sin zeolita	Lechada sin zeolita/ Espaciador Yield Plus					Lechada con zeolita	Lechada con zeolita/ Espaciador Yield Plus				
			95/5	75/25	50/50	25/75	5/95		95/5	75/25	50/50	25/75	5/95
600	64	.....	222	189	185	173	115	.....	100	136	162	170	95
300	44	75	127	112	123	102	79	39	56	92	105	112	66
200	36	51	90	84	93	49	64	28	41	70	79	80	53
100	26	28	52	50	59	33	53	15	24	44	49	48	39
60	22	.....	35	35	44	25	31	.....	17	33	36	40	34
30	17	10	20	22	30	18	17	6	10	23	24	31	28
6	11	2	6	8	15	9	14	2	5	13	10	19	20
3	9	1	3	5	11	6	30	1	4	11	7	12	18
VP (cp)	20	71	113	93	96	71	36	36	48	72	84	58	29
PC (lb/100pie2)	24	4	15	19	27	31	43	3	8	20	21	54	37



Tabla IX. Propiedades reológicas de las mezclas de lechadas y espaciador GW XC.

Prueba	Espaciador GW XC	Lechada sin zeolita	Lechada sin zeolita/ Espaciador GW XC					Lechada con zeolita	Lechada con zeolita/ Espaciador GW XC				
			95/5	75/25	50/50	25/75	5/95		95/5	75/25	50/50	25/75	5/95
600	65	.....	226	158	164	186	123	.....	109	163	202	136	96
300	49	75	125	96	108	105	86	39	59	103	157	76	82
200	42	51	96	69	72	74	72	28	40	80	119	51	58
100	32	28	68	41	44	42	39	15	23	51	81	55	42
60	27	.....	54	28	32	28	30	.....	17	37	62	10	35
30	22	10	24	18	20	16	19	6	10	26	44	8	28
6	15	2	10	7	9	5	15	2	4	14	21	7	21
3	13	1	6	6	9	4	28	1	3	11	16	5	18
VP (cp)	8	71	86	83	96	81	37	36	54	78	114	60	14
PC (lb/100pie2)	17	4	40	14	12	24	49	3	5	25	43	16	68

Las pruebas de tiempo de bombeabilidad (TB) se desarrollaron bajo las condiciones siguientes: temperatura; 50 °C, presión inicial; 800 psi, presión final; 5000 psi y un tiempo de programa de 40 min resultantes del promedio entre los programas de cementación de tuberías de 7". Todas las pruebas se realizan en el consistómetro de mesa OFITE. La preparación de las lechadas de cemento con y sin zeolita se muestra en la Tabla X

Tabla X. Formulación de lechadas para pruebas de compatibilidad.

Lechada 1.90 g/cm3			Lechada 1.80 g/cm3		
ADITIVO	RELACION	IDENTIFICACION	ADITIVO	RELACION	IDENTIFICACION
Agua	405 g	Del Laboratorio	Agua	370 g	Del Laboratorio
Cemento	923.5 g	56/12	Cemento	672.3 g	56/12
DFL-1	0.6 %	12/12	DFL-1	0.5 %	12/12
Dispercem	0.3 %	13/12	Zeolita San Andrés	5.0 %	93/11
DCR-1	0.3 %	14/12	Dispercem	0.3 %	13/12
DGC-3	0.1 %	52/11	DCR-1	0.1 %B	14/12
AFA	2.0 l/m3	122/11	DGC-3	0.1 %	52/11
			AFA	2.0 l/m3	122/11

De la Tabla XI se concluye que las mezclas de espaciadores y lechadas de cemento no aumentan considerablemente el TB. La mezcla del espaciador Yield Plus y la lechada de cemento con zeolita es la que presenta un mayor aumento en el TB.

La mezcla de lechada de cemento con espaciadores no puede disminuir el tiempo de bombeabilidad debido a las complicaciones que implica el fragüe prematuro de la lechada. Tampoco puede aumentar considerablemente porque en el diseño de lechadas para cementar el TB es el necesario para realizar exitosamente la operación con el margen seleccionado para el inicio del endurecimiento para evitar la migración de gas a través de la lechada.



Tabla XI. Tiempo de bombeabilidad para las mezclas de espaciadores con lechadas de cemento.

Prueba	30 Bc (h:min)	50 Bc (h:min)	70 Bc (h:min)	100 Bc (h:min)
Lechada con zeolita	2:35	3:10	3:30	3:50
Lechada sin zeolita	5:18	5:20	5:21	5:24
Lechada con zeolita/Espaciador Yield plus	6:06	6:15	6:32	6:35
Lechada con zeolita/Espaciador GW XC	5:10	5:20	5:25	5:29
Lechada con zeolita/Espaciador XGD	5:01	5:15	5:18	5:33
Lechada sin zeolita/Espaciador Yield plus	5:43	5:50	5:55	6:10
Lechada sin zeolita/Espaciador GW XC	5:45	5:55	6:00	6:05
Lechada sin zeolita/Espaciador XGD	5:26	5:38	5:49	6:03

CONCLUSIONES.

- Se comparan la efectividad en la remoción de revoques de ambas metodologías y se llega a la conclusión que son igualmente utilizables.
- Se obtienen formulaciones de limpiadores con los mejores resultados para Clean Up y la combinación Clean Up/ Alka Temp.
- Se obtienen formulaciones de espaciadores con aditivos de las compañías de fluidos que operan en Cuba, estos presentan propiedades reológicas en el orden recomendado, una estabilidad en jarra a 2h por encima de 98% y poco aumento del tiempo de bombeabilidad de las mezclas con las lechadas.

RECOMENDACIONES.

- Continuar el estudio de la remoción de revoques a distintas temperaturas y presiones.
- Continuar el mejoramiento de las cementaciones mediante el empleo de fluidos limpiadores y separadores.

BIBLIOGRAFÍA.

- Beirute, R., Sabins, F., Ravi, K., 1991. Large-Scale Experiments Show Proper Hole Conditioning: A critical requirement for successful cementing operations. SPE, No. 22774. Dallas.
- HalliburtonServices. 2010. Displacement mechanics studies. Recompilation of papers. Halliburton cement.
- ISO 10426-2:2003, Petroleum and natural gas industries – Cements and materials for well cementing- Part 2: Testing of well cements.
- Legón M.; Antolín R. 2009. Proyecto 2904 Etapa 10.
- Mobil, Drilling Operations Manual, 2009, 2nd Ed Chapter 6 Cementing.
- Nelson, E.B. 2006. Well Cementing, Second edition. Schlumberger
- Pereira, M., Fedymar. 2009. Metodología de evaluación de remoción de revoques, Gerencia Técnica de Construcción y Mantenimiento de Pozos. Pericia de Cementación de Pozos, PDVSA Intevep.
- Sauer, C. 1987. Mud displacement during cementing: a estate of the art. Journal of petroleum technology. SPE No. 14197 PA.

