



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA EN PETRÓLEOS**

**DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN ESPACIADOR ESPUMADO DE
BAJA DENSIDAD Y ALTA VISCOSIDAD QUE REDUZCA LOS
RIESGOS DE PÉRDIDAS DE CIRCULACIÓN Y MEJORE LA
EFICIENCIA DEL DESPLAZAMIENTO DEL LODO EN EL HUECO
PARA LA REALIZACIÓN DEL LINER DE PRODUCCIÓN DEL
POZO AUCA SUR 11.**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA DE PETRÓLEOS**

SILVIA CAROLINA OBANDO BURBANO

DIRECTOR: ING. RAÚL BALDEÓN

Quito, Julio 2013

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2013
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo **Silvia Carolina Obando Burbano**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Silvia Carolina Obando Burbano
C.I. 1721723656

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “Diseño y evaluación de un espaciador espumado de baja densidad y alta viscosidad que reduzca los riesgos de pérdidas de circulación y mejore la eficiencia del desplazamiento del lodo en el hueco para la realización del Liner de producción del pozo Auca sur 11”, que, para aspirar al título de Ingeniera de petróleos fue desarrollado por Silvia Carolina Obando Burbano, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.

Raúl Baldeón
DIRECTOR DEL TRABAJO
C.I.

DEDICATORIA

En especial a Dios, mi guía e iluminador de todos los momentos de mi vida y el protector incondicional de todos mis actos y pensamientos.

A mis padres, Maura Elisa Burbano Y Tiberio Obando, por haber confiado en, regalándome el apoyo y fuerza para seguir adelante en mi profesión y la culminación exitosa de mi carrera.

A mis hermanos, Deisy Johana Obando, Jhon Stiwen Obando, Susana Obando, Karolay Obando, quienes fueron mi inspiración en los momentos difíciles. A mis Hermanas, Lissethe Elizabeth Vera Chávez, estar conmigo en los momentos difíciles de mi carrera y por la comprensión durante mi etapa universitaria.

A mis maestros, formadores de mis destrezas y capacidades profesionales. Al ingeniero Raúl Baldeón, por guiarme siempre a ser una mejor profesional inculcando valores éticos y profesionales para ser cada día mejor.

A la Universidad Tecnológica Equinoccial, por los conocimientos brindados en mi etapa como estudiante.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer primeramente a Dios por ser mi guía en cada paso de mi carrera.

Un agradecimiento especial a mis padres Maura Burbano y Tiberio Obando, por el apoyo brindado en todas las etapas de mi vida. Gracias por estar presentes en los buenos y malos momentos y por su confianza y apoyo incondicional al estudiar la ingeniería de petróleos.

A mis hermanos Deisy Obando, Susana Obando, Karolay Obando, Jhon Obando y Lisseth Vera por su paciencia y cariño en todos los períodos de nuestra vida juntos.

A mis compañeros de clase, por todos esos momentos compartidos en la etapa universitaria y el ánimo y respaldo en los instantes difíciles de la carrera.

A Halliburton Latín América S.A, por el apoyo en la realización de este proyecto de titulación y por la flexibilidad en los horarios de trabajo.

A mi director de tesis Raúl Baldeón, por todo el apoyo y el tiempo dedicado al presente estudio.

Al ingeniero Walter Zuzart, Pablo Cabascango, guía fundamental de este proyecto de titulación.

A la Universidad Tecnológica Equinoccial, por acogerme dentro de tan prestigiosa institución y por la ayuda en mi formación profesional.

A mis maestros, por las horas de formación académica impartidas dentro y fuera de las aulas de la universidad y por los conocimientos adquiridos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.1.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 CARACTERÍSTICAS DEL POZO	5
2.2 DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA Y CARACTERÍSTICAS DE LA FORMACIÓN SEGÚN REGISTROS.	5
2.2.1 ARENIZCA “U”	6
2.2.1.1 Arenizca “U” superior	6
2.2.1.2 Arenizca “U” inferior	7
2.2.2. ARENIZCA “T”	7
2.2.2.1 Arenizca “T” Superior	7
2.2.2.2 Arenizca “T” Inferior	8
2.2.3 HOLLIN	9
2.2.3.1 Hollin Superior	9
2.2.3.2 Hollin Inferior	10
2.3. BUENAS PRÁCTICAS DE CEMENTACIÓN	11
2.3.1. ACONDICIONAMIENTO DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN.	11
2.3.2 MOVIMIENTO DE LA TUBERÍA Y AYUDA MECÁNICAS	15
2.3.3 CENTRALIZADORES	17
2.4 ESPACIADORES Y LAVADORES	19
2.4.1 ESPACIADORES	19
2.4.2 LAVADORES	24
2.4.3 TIPOS DE ESPACIADORES Y SUS FUNCIONES.	27

2.4.3.1 Espaciador Base agua	35
2.4.3.2 Espaciadores Base aceite	35
2.4.3.3 Espaciador Espumado.	41
2.4.4 REQUERIMIENTOS DEL FLUIDO.	44
2.4.5 VOLÚMENES RECOMENDADOS	44
2.5 CARACTERÍSTICAS DEL NITRÓGENO.	44
2.5.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL NITRÓGENO	45
2.5.2 CONVERSIÓN DE NITRÓGENO.	46
2.5.3 OBTENCIÓN DEL NITRÓGENO A PARTIR DEL AIRE	47
2.5.3.1 Separación criogénica del aire.	47
2.5.3.2 Separación de Aire No-criogénica.	48
2.5.4 PREPARACIÓN DEL NITRÓGENO	48
2.5.4.1 estructura criogénica	48
2.5.4.2 Sistema de trasegado	49
2.5.4.3 Control de la presión del tanque.	49
2.5.4.4 Equipo de bombeo	50
2.6 CALIDAD Y ESTABILIZACIÓN DE LA ESPUMA	50
2.6.1 ELASTICIDAD SUPERFICIAL	53
2.6.2 SUPERFICIE VISCOSA	53
2.6.3 VISCOSIDAD	54
2.6.4 REPULSIÓN ELÉCTRICA	54
2.6.5 DIFUSIÓN DE GAS	55
2.6.6 TEORÍA ANTIESPUMANTE	55
2.6.7 PÉRDIDA DE EFICIENCIA	57
2.6.8 CARACTERÍSTICAS ESENCIALES ANTIESPUMANTES	57
2.7 EQUIPOS UTILIZADOS	58
2.7.1 SPU-180 SKID CONVERTIDOR DE NITRÓGENO	58
2.7.1.1 Preparando la Unidad de Bombeo.	59
2.7.1.2 Finalizando operación de Bombeo	59
2.7.2 UNIDAD ELITE	60

2.7.3 BATCH MIXER y BMR-100	61
2.7.4 UBICACIÓN DE LOS EQUIPOS EN POZO	62
3. METODOLOGÍA	64
3.1 METODOLOGÍA DEL DISEÑO DEL ESPACIADOR ESPUMADO.	64
3.2 INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA CEMENTACIÓN.	64
3.3. CÁLCULOS	66
3.3.1 Diseño del espaciador	66
3.3.2 PRINCIPALES ASPECTOS DE DISEÑO	66
3.3.3 CÁLCULO DE VOLUMEN LÍQUIDO DEL ESPACIADOR (Tuned)	67
3.3.4 DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE N ₂	68
3.3.5 CALCULO DEL TAMAÑO DEL CHOKE REQUERIDO	69
3.3.6 CÁLCULOS DE LECHADA	70
3.3.7 RESUMEN DE PROGRAMA DE BOMBEO AL POZO	73
3.4 PRUEBAS DE LABORATORIO	74
3.4.1 Espaciador	74
Típico diseño zonesweep sm	74
3.4.2 PRUEBAS DE LABORATORIO LECHADA CEMENTACIÓN	76
3.4.2.1 Viscosidad.	76
3.4.2. 2 Agua libre	76
3.4.2.3 Tiempo de bombeabilidad	76
3.4.2.4 Resistencia a la compresión	77
3.4.2.5 Densidad	77
3.4.2.6 Control de filtrado	77
3.4.2.7 Consideraciones especiales	77
3.4.3 RESULTADO DE PRUEBAS DE LABORATORIO LECHADA LEAD	78
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	84
4.1 ANÁLISIS DEL ESPACIADOR ESPUMADO.	84
4.2 ANÁLISIS POST OPERACIONAL DE LA CEMENTACIÓN DEL POZO.	86
4.3 ANÁLISIS DEL EFECTO DEL ESPACIADOR	92

4.3.1 REGISTRO POZO ANTES DE LA CEMENTACIÓN	92
4.3.2 REGISTRO POST JOB	93
4.3.2.1 Arena U	93
4.3.2.2 Arena T	94
4.3.2.3 Formación Hollin	95
4.3.3 PRODUCCIÓN DEL POZO	96
4.4 ESTUDIO COSTO-BENEFICIO	96
4.4.1 COMPARACIÓN DE COSTOS	101
4.4.2 RENTABILIDAD DEL PROYECTO	101
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	102
5.1 CONCLUSIONES	102
5.2 RECOMENDACIONES	104
GLOSARIO DE TÉRMINOS	106
BIBLIOGRAFÍA	109
ANEXOS	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación gráfica de la litología encontrada en el pozo.	5
Figura 2. Arenizca “U” superior	6
Figura 3. Arenizca “T” superior	8
Figura 4. Arenizca “t” inferior	9
Figura 5. Hollin superior	10
Figura 6. Hollin inferior	10
Figura 7. Remoción de lodo	12
Figura 8. Presión de circulación	14
Figura 9. Desplazamiento de fluido con tubería en movimiento	16
Figura 10. Desplazamiento de fluido con tubería sin movimiento	16
Figura 11. Raspadores	17
Figura 12. Centralización / standoff	18
Figura 13. Relación de Incompatibilidad	23
Figura 14. Fluidos incompatibles	24
Figura 15. Compatibilidad lodo y cemento	38
Figura 16. T del generador de espuma	41
Figura 17. Retorno de espaciador espumado	43
Figura 18. Relación nitrógeno líquido vs gaseoso	46
Figura 19. Sistema de trasegado	49
Figura 20. Superficie viscosa	54
Figura 21. Tensión superficial depresión	56
Figura 22. Convertidor de nitrógeno automatizado	58
Figura 23. Unidad cementadora	61
Figura 24. Unidad BMR 100	62
Figura 25. Ubicación equipos	63
Figura 26. Esquema del pozo	70
Figura 27. Espaciador laboratorio	75
Figura 28. Viscosidad y Yield Point	75

Figura 29. Tiempo bombeo Lechada Lead.	79
Figura 30. Esfuerzo a la compresión lead	79
Figura 31. Tiempo bombeo Lechada Tail.	82
Figura 32. Esfuerzo a la compresión Tail	82
Figura 33. Prueba y acondicionamiento de equipo de nitrógeno	89
Figura 34. Desplazamiento de fluidos	90
Figura 35. Expansión colgador versaflex	91
Figura 36. Registro pozo antes de la cementación	92
Figura 37. Registro de cemento arena “U”	93
Figura 38. Registro de cemento arena “T”	94
Figura 39. Registro cemento formación Hollin	95
Figura 40. Costos de servicio cementación con espaciador espumado	98
Figura 41. Costos de materiales de cementación con espaciador espumado	99
Figura 42. Costos de Nitrógeno de cementación con espaciador espumado	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades del lodo previo a cementación	15
Tabla 2. Propiedades del nitrógeno	45
Tabla 3. Unidades de conversión	48
Tabla 4. Información del pozo	65
Tabla 5. Concentración de Nitrógeno	68
Tabla 6. Datos y parámetros para cálculo de choke	69
Tabla 7. Resumen de programa de bombeo en pozo	73
Tabla 8. Comparación de Reologías del Tuned Spacer III-Tuned espumado	74
Tabla 9. Información de lechada Lead	78
Tabla 10. Agua Libre- Reología-Esfuerzo de gel estático Tail	80
Tabla 11. Información de lechada Tail	81
Tabla 12. Agua Libre- Reología-Esfuerzo de gel estático Tail	83
Tabla 13. Calidad de la espuma	84
Tabla 14. Costos cementación con espaciador espumado	97

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I.

RESUMEN POST OPERACIONAL DE LA CEMENTACIÓN DEL LINER
DE PRODUCCIÓN AUCA SUR 11. 110

ANEXO II.

REPORTE DE CEMENTACIÓN Y TUBERÍA DE REVESTIMIENTO. 123

ANEXO III.

TALLY AUCA SUR 11 124

RESUMEN

Debido a la complejidad de las formaciones presentes en el pozo Auca sur 11 de Petroecuador, como wash out en arenas U y presiones heterogéneas en arena “U”, “T” y hollín se diseña un espaciador espumado capaz de alivianar la columna hidrostática, mejorar la remoción del lodo de la baja movilidad presente en los wash out, y a su vez evite pérdidas por circulación maximizando el desplazamiento total de lodo para obtener una buena cementación y no realizar cementaciones secundarias como squeeze.

El espaciador espumado mejora todo el proceso de remoción de lodo erosionando el enjarre e incrementando la movilidad del fluido de perforación reduciendo los riesgos de pérdidas de circulación y mejora notablemente la limpieza del hueco, obteniendo una buena adherencia del cemento-casing y cemento formación visualizada en los registros de cementación realizados finalizada la cementación como el Cement Bond log (CBL), VDL y CAST-V como requisito previo para continuar con la etapa de cañoneo y empezar a producir el pozo. El espaciador espumado es un sistema estabilizado obtenido mediante la inyección “al vuelo” de una cantidad adecuada de nitrógeno a través de un generador hacia un fluido base gelificado que incluye un surfactante como agente espumante y estabilizador. Se debe realizar con una T generadora de espuma que provea el nivel de energía requerida para incorporar el gas nitrógeno dentro de la fase externa líquida como burbujas discretas de alta energía. Es un dispositivo muy importante que contribuye a la estabilidad del espaciador espumado.

ABSTRACT

The complexity of the formations present in the well Auca 11 Petroecuador, as wash out in the sand "u" and heterogeneous pressures formations "u", "t" and Hollin, is necessary to design a foam spacer able to lighten the hydrostatic column, improve mud removal of low mobility present in the wash out, and in turn avoid fluid loss maximizing the total displacement of mud to obtain a good cementing and don't have to do secondary cementing as squeeze.

the foam spacer improves the process of eroding mud removal and increasing mobility enjarre drilling fluid reducing the risk of lost circulation and greatly improves hole cleaning, obtaining good adhesion of the cement-casing and cement formation observed in the logging of cement, these are made after the end job cement; among them are: Cement Bond log (CBL), VDL and CAST- (Circumferential Acoustic scanning Tool-V) as a prerequisite for continuing the shoot stage and start producing the well. foam spacer is a system obtained by injecting stabilized "on the fly" in a suitable amount of nitrogen through a generator to a gelled base fluid including a surfactant as a foaming agent and stabilizer. must be made with a foam generating "t" to provide the level of energy required to incorporate the nitrogen gas into the liquid phase as discrete bubbles external high energy. device is very important contributor to the stability of the foam spacer

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

Es aceptado que un trabajo de cementación bien realizado es de suma importancia, la contaminación del cemento por el fluido de perforación debe ser minimizada, para que el cemento desarrolle sus propiedades deseadas. En adición, el fluido de perforación debe ser desplazado a través del anular, para que la cementación de la Tubería de revestimiento quede bien cementada y pueda formar una adherencia en ambos el tubo y la formación. Cuando este fluido no es desplazado, muchos resultados no deseados pueden ocurrir.

El trabajo de laboratorio y campo nos muestran que los fluidos espaciadores pueden ser ventajosos al mantener el fluido de perforación y la lechada del cemento separados y también ayudan a remover el lodo del anular.

Un buen trabajo de cementación primaria requiere que los fluidos anulares sean desplazados del anular y reemplazados por la composición de cemento. La inadecuada remoción de los fluidos del anular puede resultar en una pobre adherencia del cemento al tubo y a la formación, comunicación entre zonas, corrosión de la tubería y colapso de las mismas.

La contaminación del cemento puede resultar en incompatibilidad interfacial, así como también cambios adversos en el diseño de las propiedades del cemento. La incompatibilidad interfacial es exhibida por el aumento de la viscosidad sobre la mezcla interna. Durante el desplazamiento, esta incompatibilidad puede ser reflejada por una alta presión de bombeo y en casos extremos pueden resultar en terminar el trabajo haciendo una “fractura” en una formación débil con pérdida subsecuente en la formación del cemento. Típicamente los aditivos del fluido de perforación tales como los aditivos de pérdida de filtrado, dispersantes, sal, aceite, pueden ser incompatibles con el cemento. La

contaminación del cemento por estos aditivos afectara las propiedades del cemento como, el tiempo bombeable, y el desarrollo del esfuerzo compresivo. El efecto de la contaminación dependerá en la concentración y el tipo de contaminación.

Por esta razón, el uso de espaciadores o lavadores diseñados para compatibilidad con fluidos de perforación y cemento será beneficioso en la eliminación potencial de la incompatibilidad interfacial y problemas de contaminación.

El uso de fluidos espaciadores de baja viscosidad y ligero puede ser beneficioso en mejorar la eficiencia de desplazamiento, erosionando el enjarre e incrementando la movilidad del fluido de perforación

Diseño y evaluación de un espaciador espumado de baja densidad y alta viscosidad que reduzca los riesgos de pérdidas de circulación y mejore la eficiencia del desplazamiento del lodo en el hueco para la realización del liner de producción del pozo auca sur 11.

Los reservorios con geometría irregular del pozo, heterogéneos como hollín con alta presión y empuje de agua y las arena "U-T" con baja presión, son precisos para obtener una baja remoción lodo; para controlar el influjo de una formación minimizando la presión ejercida en los reservorios de baja presión y Los efectos de elevación de presión anular realizar un espaciador que provea la separación necesaria entre lodo y cemento además de la limpieza necesaria para asegurar una buena limpieza del hueco previo a la cementación.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un espaciador espumado de baja densidad y alta viscosidad que nos permite reducir los riesgos de pérdidas de circulación y mejora notablemente la limpieza y eficiencia de desplazamiento del lodo en el hueco previa a la cementación del pozo.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar las condiciones geológicas actuales del pozo a ser cementado.
- Realizar un levantamiento de toda la información sobre los espaciadores usados en la cementación de pozos petroleros.
- Realizar el análisis técnico preliminar del pozo para ser cementado.
- Diseñar del espaciador espumado en el pozo Auca sur 11 en el Liner de 7 pulgadas.
- Análisis del pozo una vez realizado la cementación.

El principal objetivo de un espaciador es proveer la separación necesaria entre lodo y cemento además de la limpieza necesaria del hueco previo a la cementación. Esto se cumple cuando se tiene características ideales del espacio anular, cuando las características del pozo son homogéneas y las formaciones con presiones iguales.

Cuando las características del área a cementar tiene reservorios heterogéneos (Hollín alta presión y formaciones U y T baja presión), geometría irregular (wash out), es necesario desarrollar un espaciador espumado con mayor efectividad en la remoción de lodo contenido en los wash out. El espaciador espumado contiene una gran cantidad de energía a través del gas atrapado que contribuye significativamente a la limpieza del hueco contenido en los wash out, controla el influjo de los fluidos minimizando la presión ejercida en los reservorios de baja presión Incrementa la viscosidad aparente – el perfil plano ayuda a mantener una interface entre el lodo desplazado y el espaciador espumado, ayudando así a evitar una canalización.

Si se usa un espaciador espumado para realizar la limpieza adecuada se lograra obtener una buena cementación del casing de producción.

MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se revisa la sustentación teórica que el estudio lo requiere. Está organizado por temas que aportarán en la línea investigativa del proyecto.

2.1 CARACTERÍSTICAS DEL POZO

El pozo Auca Sur 11 D es un pozo productor con tipo de trampa anticlinal a una profundidad programada a 10848, con las coordenadas X.

El objetivo Primario del pozo: Arenisca T inferior; y Secundarios: Arenisca: Basal Tena, U inferior, Hollín Superior e Inferior.

2.2 DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA Y CARACTERÍSTICAS DE LA FORMACIÓN SEGÚN REGISTROS.

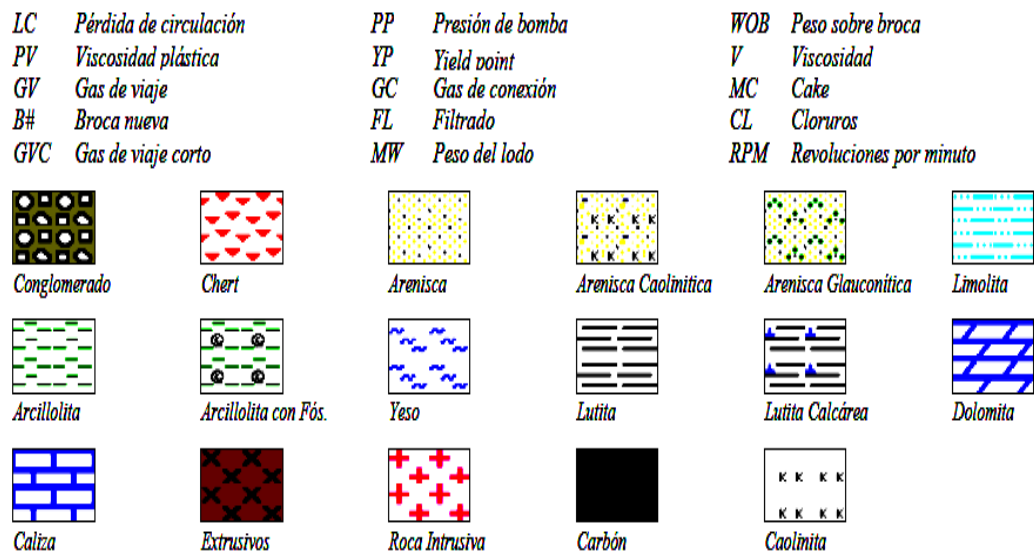


Figura 1. Representación gráfica de la litología encontrada en el pozo.
(Petroecuador /Petroken, 2012)

2.2.1 ARENIZCA “U”

2.2.1.1 Arenizca “U” superior

Tope estimado: 10185 ft PM/9797ft PV.

Arenizca: cuarzosa, gris oscura, blanca subtransparente a subtranslúcida, friable, grano fino a medio, subangular a subredondeada, moderadamente sorteada, matriz no visible, cemento calcáreo, porosidad no visible asociada con glauconita.

En la figura 2 se observa la arenizca con presencia de hidrocarburos en formas de puntos y manchas de color café oscuro, fluorescencia natural no visible, corte muy lento nuboso blanco lechoso, anillo residual delgado amarillo verdoso con luz ultravioleta, anillo residual fino café claro con luz natural muy pobre presencia de Hidrocarburo.

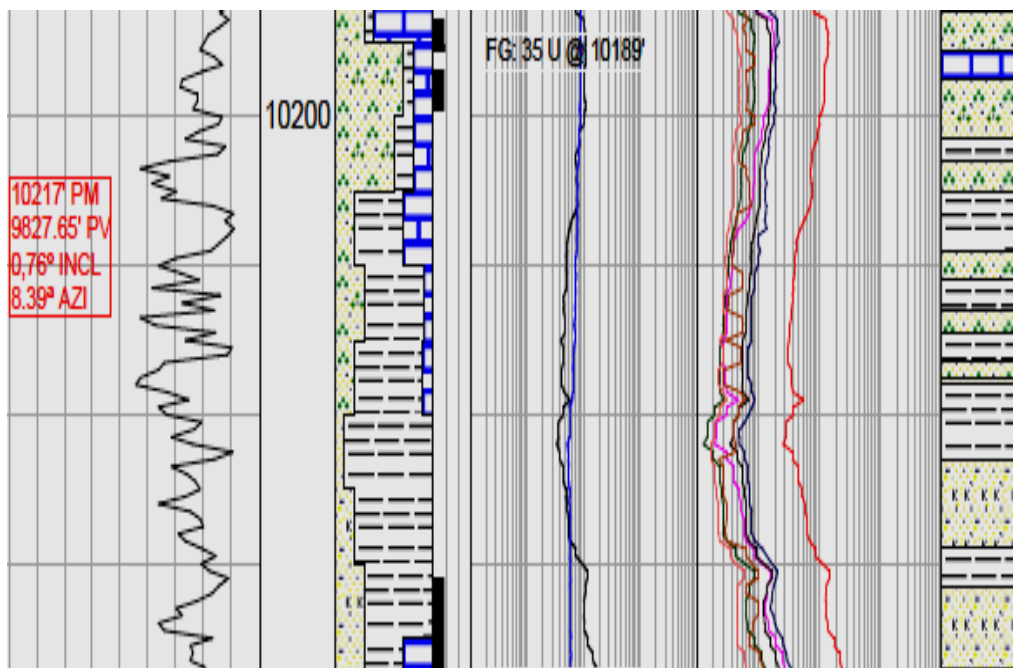


Figura 2. Arenizca “U” superior
(Petroecuador /Petroken, 2012)

2.2.1.2 Arenizca “U” inferior

Tope estimado: 10247ft PM/9858ft PV

Arenizca: Cuarzosa, gris, café claro, subtransparente a subtranslúcida, friable a suelta, grano fino a medio subangular a subredondeada, moderadamente sorteada, matriz Kaolinitica y cemento calcáreo pobre a regular porosidad.

Con presencia de hidrocarburos en forma de puntos y manchas de color negro, café oscuro, presenta fluorescencia natural amarillo oro, corte rápido, nuboso, blanco lechoso, anillo residual delgado blanco amarillento con luz ultravioleta, no visible anillo residual con luz natural. Pobre presencia de hidrocarburo.

2.2.2. ARENIZCA “T”

2.2.2.1 Arenizca “T” Superior

Tope: 10427PM/10032

Arenizca: cuarzosa, gris, gris oscura, subtransparente a subtranslúcida, friable, grano fino a medio, subangular, a subredonda, moderadamente sorteada, matriz arcillosa, cemento calcáreo, porosidad no visible con glauconita.

En la figura 3 se observa la arenizca con presencia de hidrocarburos en forma de puntos y manchas de color negro, café oscuro, no presenta fluorescencia natural, corte moderadamente lento, corrientoso, de color blanco lechoso anillo residual delgado blanco amarillento con luz ultravioleta, no visible con luz natural pobre presencia de hidrocarburo.

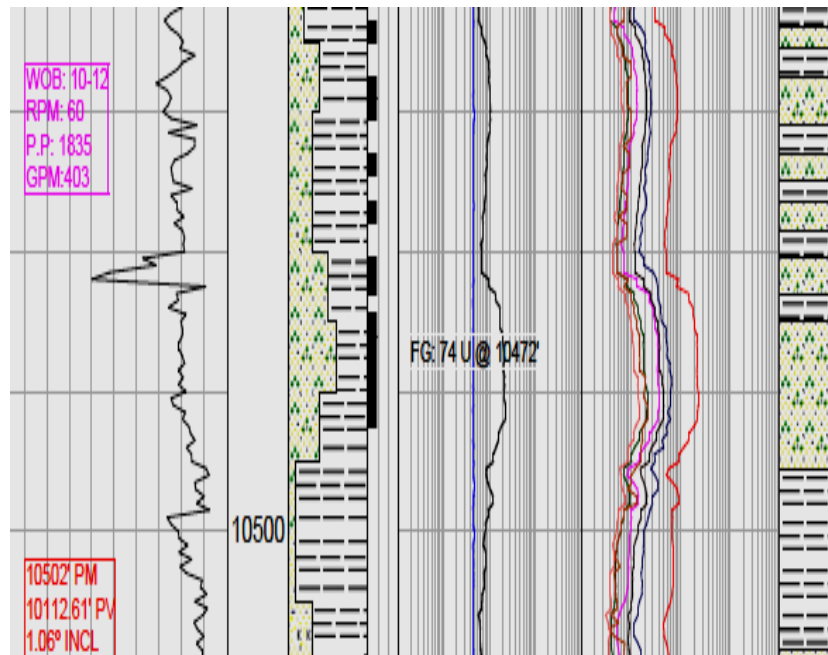


Figura 3. Arenizca “T” superior
(Petroecuador /Petroken, 2012)

2.2.2.2 Arenizca “T” Inferior

Tope: 10517 ft PM/10128ft PV

Arenizca: cuarzosa, gris, gris oscura, café clara subtransparente a subtranslúcida, friable, grano fino a medio, subredondeada, moderadamente sorteada, matriz caolinitica, cemento no visible, regular porosidad. Como se puede ver en la figura 4.

Con presencia de hidrocarburo en forma de puntos y manchas de color café oscuro. Con fluorescencia natural amarilla dorado, corte lento corrientoso color blanco lechoso. Anillo residual delgado blanco amarillento con luz ultravioleta y anillo residual no visible con luz natural. Pobre presencia de hidrocarburos.

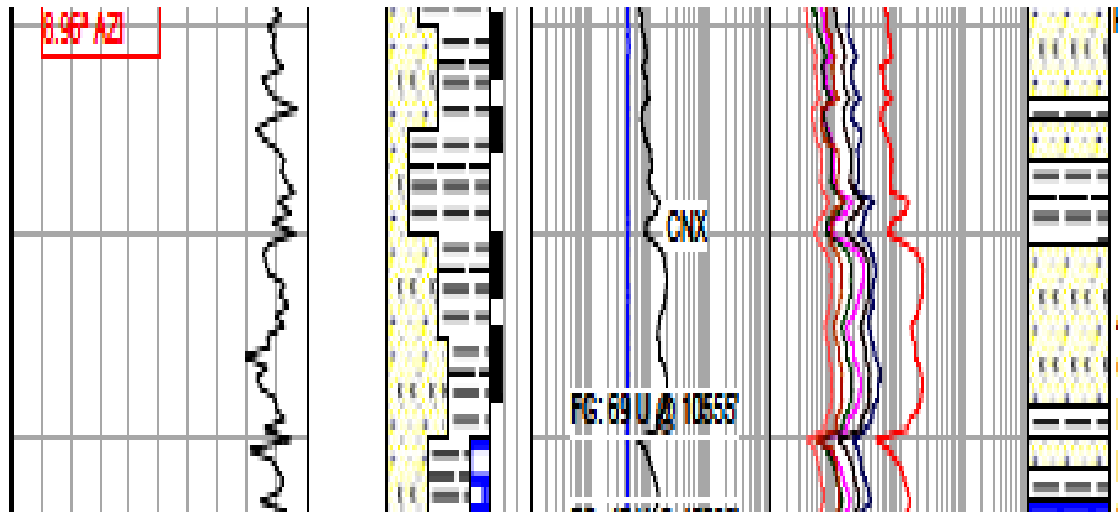


Figura 4. Arenizca “t” inferior
(Petroecuador /Petroken, 2012)

2.2.3 HOLLIN

2.2.3.1 Hollin Superior

Tope: 10705 ft PM/10316 ft PV

Arenizaca: cuarzosa, gris clara blanca, café oscura, translúcida o subtransparente, friable, grano fino subredondeada, clasificación regular, matriz arcillosa, cemento calcáreo, pobre porosidad inferida asociadas con inclusiones de glauconita. Como se observa en la figura 5.

Con presencia de hidrocarburos en forma de puntos de color café oscuro con fluorescencia natural amarillo oros, corte muy lento, corrientoso de color blanco lechoso, anillo residual delgado blanco amarillento de baja luz ultravioleta y anillo residual delgado amarillo pálido con luz natural. Pobre presencia de hidrocarburo.

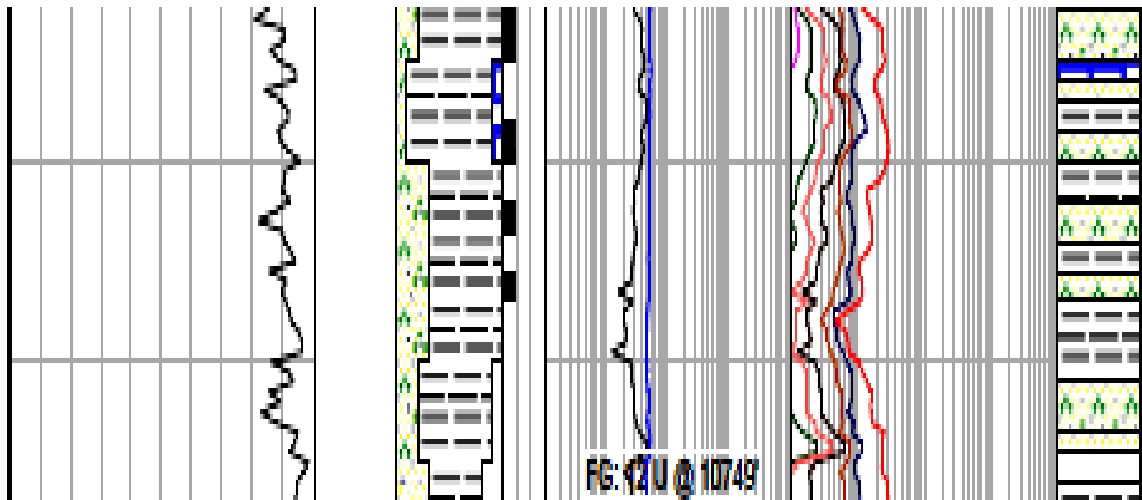


Figura 5. Hollin superior
(Petroecuador /Petroken, 2012)

2.2.3.2 Hollin Inferior

Tope: 10747 ft PM/ 10357 PM

Arenizca: cuarzosa, gris clara, blanca subtranslúcida a subtransparente friable a suelta, grano fino a medio gradando a grano grueso, subangular a subredondeada, clasificación regular, matriz caolinitica cemento no visible, regular porosidad inferida. Con presencia de hidrocarburo irregular. Como lo muestra la Figura 6.

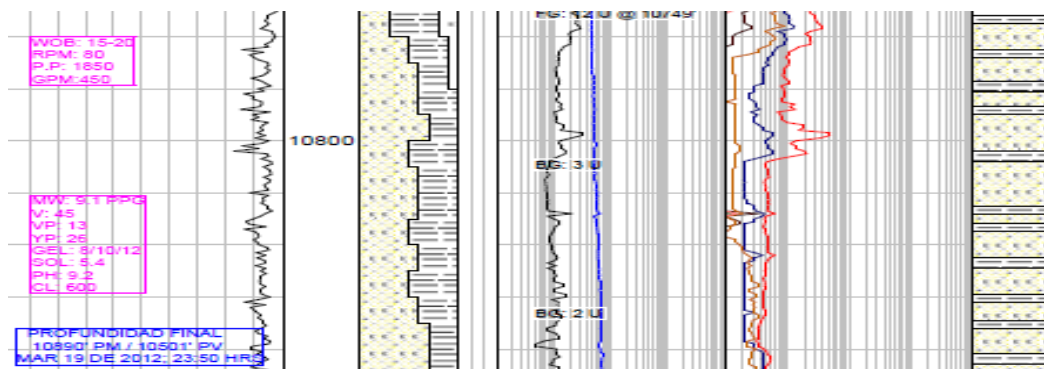


Figura 6. Hollin inferior
(Petroecuador /Petroken, 2012)

2.3. BUENAS PRÁCTICAS DE CEMENTACIÓN

En las cementaciones primarias ya sean superficiales, tuberías de protección o productoras se debe considerar los factores principales que afecten la remoción de lodo.

Algunas de las consideraciones a tomar en cuenta para realizar una excelente remoción previa a un trabajo de cementación son:

- Acondicionamiento del fluido de perforación
- Movimiento de la tubería y ayuda mecánicas
- Centralización del casing
- Velocidad de circulación
- Uso de lavadores y espaciadores

2.3.1. ACONDICIONAMIENTO DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN.

Mientras se corre la tubería y se prepara para el trabajo de cementación, el fluido de perforación permanece estático y se gelifica como se puede ver en la Figura 7. Los bolsillos de lodo gelificado hacen difícil su remoción y reduce la eficiencia de desplazamiento.

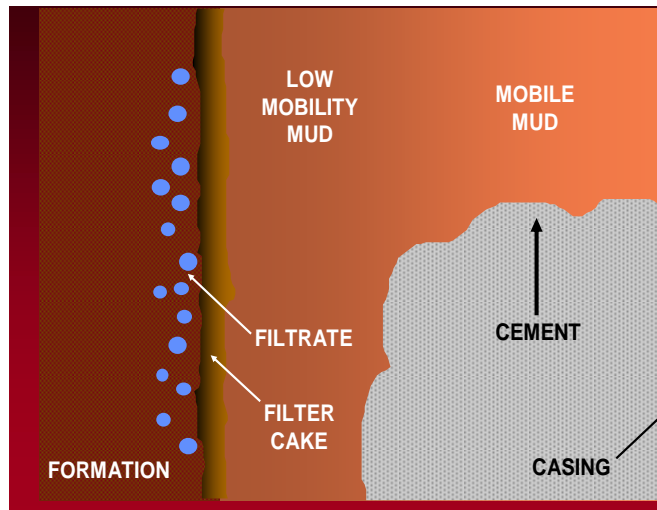


Figura 7. Remoción de lodo
(Halliburton, 2012)

Acondicionar el sistema de fluido es un buen método para obtener un buen trabajo de cementación primaria.

Algunas sugerencias abajo para ello:

- El caudal de circulación debe de ser el máximo posible, para maximizar la limpieza del hueco y sobre todo para lograr la circulación total del hueco y evitar canalizaciones en el mismo. El límite debería de ser el gradiente de fractura de la formación más débil.
- Uno de los puntos importantes a recomendar en el caso de cualquier casing es la circulación de al menos 1 ciclo completo previo al acondicionamiento del lodo. Se recomienda comenzar con el acondicionamiento del lodo siempre y cuando el pozo se encuentre de manera estable y completamente limpio.

- Se debe rotar y reciprocarse la sarta durante el mismo para maximizar la limpieza del hueco y asegurar la circulación de la mayor parte del hueco abierto. Es altamente recomendable para evitar pegas del casing frente a estas formaciones de interés (porosas y permeables).
- El acondicionamiento del lodo debe ser similar en un casing o liner de producción, para maximizar de esta manera la circulación y limpieza del hueco. En la Tabla # 1 se recomiendan valores de $YP < 15$ (dependiendo del ángulo del pozo) y un perfil de geles plano (que no haya variaciones elevadas del valor de gel a los 10", 10' y 30').
- El tiempo de circulación es función de la limpieza del hueco y de la presión de circulación. Será función de la limpieza del hueco ya que se debe circular el tiempo necesario hasta obtener retornos en zaranda limpios, libre de recortes. Será función de la presión de circulación ya que se debe circular el tiempo suficiente (al máximo caudal permisible) hasta obtener presiones de circulación estables y constantes, ello indica que no hay presencia o posibilidades de empaquetamientos y sobre todo cuando mayor porcentaje de hueco se circule entonces la presión será menor. Se recomienda circular hasta lograr ambas condiciones. La teoría que aplica en este caso es la del pozo circulable, en pocas palabras lo que recomienda esta técnica es circular a distintos caudales el pozo, observando la presión, buscando la circulación completa del pozo. Tal como muestra la figura 8 a medida que circulamos mayor área del pozo, la presión por ende va bajando.

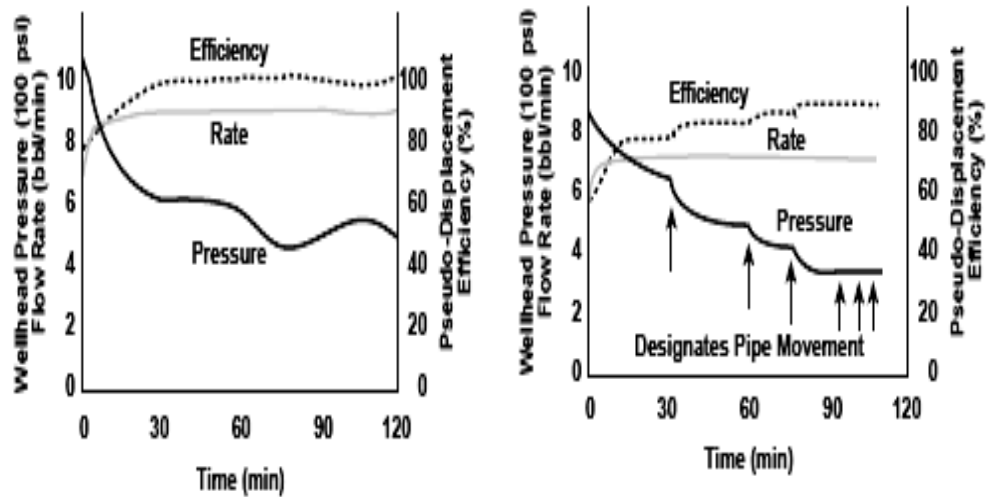


Figura 8. Presión de circulación

(Halliburton, 2012)

- La densidad de entrada debe de ser igual a la densidad del lodo de salida. Si existe alguna diferencia entre ambos, solicitar el ajuste de la densidad de ingreso, para evitar la cementación del liner en condiciones de pozo inestables. Lo mismo aplica en cuanto a los volúmenes de entrada y de salida. El pozo debe de estar **COMPLETAMENTE** controlado (sin pérdidas ni aportes) al momento de cementar. La tabla 1 muestra las propiedades ideales que debe tener el lodo previo a la cementación, Siempre que las mismas no afecten las condiciones del pozo.

Tabla 1. Propiedades del lodo previo a cementación

Property	Hole Deviation, (degrees)									
	0		45		60		85		90	
	Rec'd	Prefer'd	Rec'd	Preferido	Rec'd	Preferido	Rec'd	Preferido	Rec'd	Preferido
Yield Point (YP)	≤ 10	2	15	*	20	*	28	*	30	*
Plastic Viscosity (PV)	≤ 20	15	*	*	*	*	*	*	*	*
Fluid Loss (cc/30 min)	≤ 15	5	*	*	*	*	*	*	*	*
Gel Strength (10 sec/ 10 min)	5 / 6	Flat Profile	5 / 6	Flat Profile	5 / 6	Flat Profile	5 / 6	Flat Profile	5 / 6	Flat Profile

(Halliburton, 2012)

2.3.2 MOVIMIENTO DE LA TUBERÍA Y AYUDA MECÁNICAS

El movimiento de la tubería (reciprocación y/o rotación) ya sea en el acondicionamiento del hueco previo a la cementación y durante la misma, favorece una mejor remoción del lodo en el hueco. El movimiento de la tubería, ayuda rompiendo los “gelled pockets” de lodo, mejorando la circulación del pozo y por ende favoreciendo la cementación del pozo.

En los casings a la hora de ser cementados dependiendo de las instalaciones en la mesa del taladro permite reciprocarse y rotar durante la operación de cementación. En caso de liner convencionales, esto es algo que no se puede lograr, salvo los liners tipo versaflex. La rotación en este caso mejorara el desplazamiento del lodo y sobre todo proveerá de una distribución más homogénea de los fluidos en el espacio anular, previniendo la canalización de los mismos.

En la figura 9 se puede observar el desplazamiento de los fluidos al realizar una prueba con la tubería en movimiento con una centralización del 77%, 51% y 28

% y en la figura 10 cuando la tubería esta sin movimiento con centralización del 77%, 51% y 28 %.

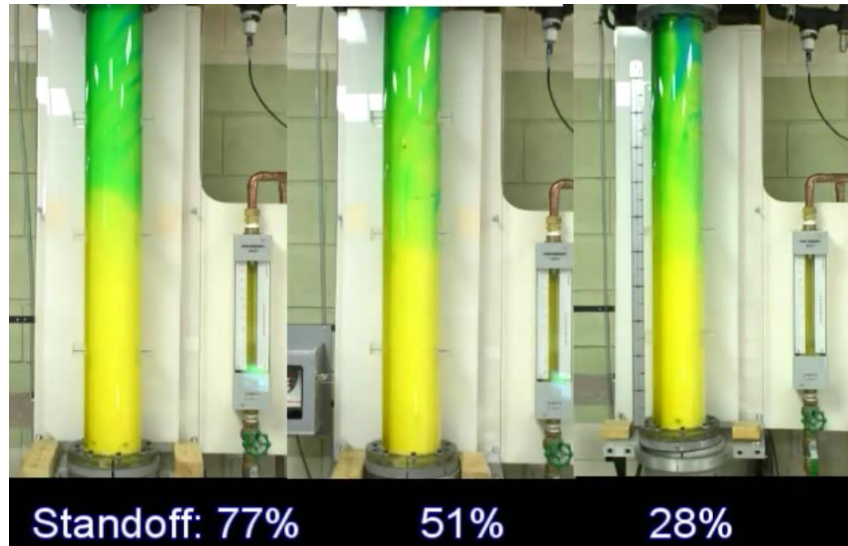


Figura 9. Desplazamiento de fluido con tubería en movimiento
(Halliburton, 2012)

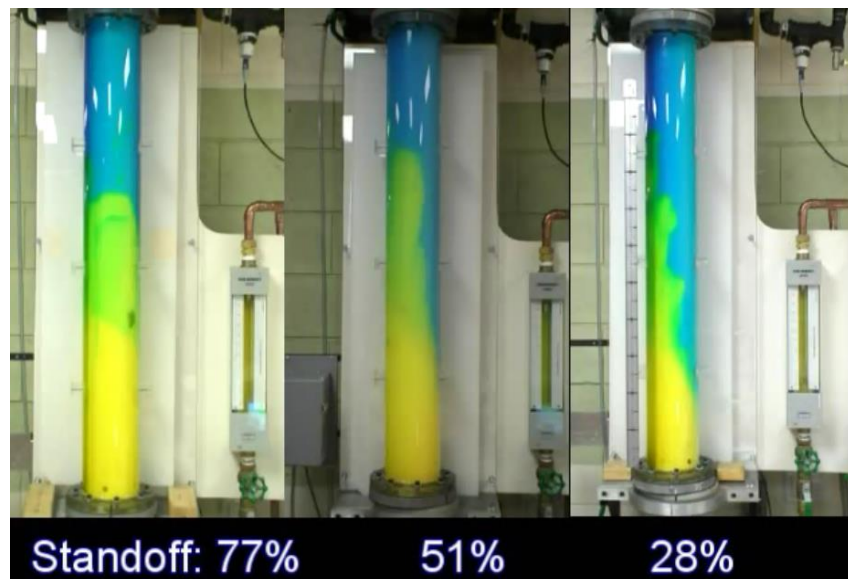


Figura 10. Desplazamiento de fluido con tubería sin movimiento
(Halliburton, 2012)

En la prueba se observó que con tubería sin movimiento 43% del lodo fue removido, mientras que en el tubo en movimiento, 90 % del lodo fue removido.

Las pruebas muestran que la lechada de cemento encontrara la trayectoria de la resistencia menor a través de un alto punto de cedencia y continuara siguiendo esa trayectoria.

El movimiento del tubo puede ser muy beneficioso al romper el gel del fluido de perforación lo cual ayudará en la colocación del cemento.

Una práctica común es el uso de raspadores, estos se pueden observar en la Figura 11, los cuales son colocados frente a las arenas productivas y sobre todo frente a los contactos agua-aceite, para mejorar la adherencia del cemento con la formación en esta zona. La colocación de los raspadores debe ser en las primeras juntas unos 10 ft bajo los objetivos (Contacto agua petróleo, Zona de petróleo) para asegurar que mientras se baje el casing el raspador baje raspando la costra de lodo

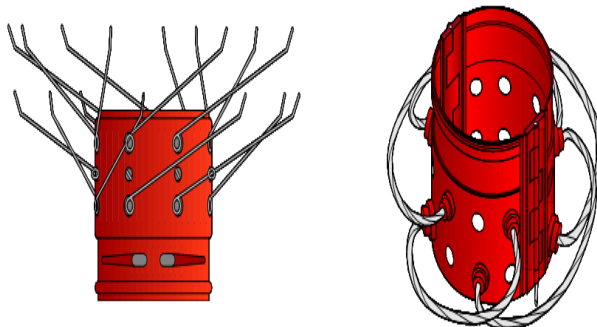


Figura 11. Raspadores
(Halliburton, 2012)

2.3.3 CENTRALIZADORES

Pruebas de desplazamiento han mostrado que el uso de un tubo centrado puede aumentar la eficiencia del desplazamiento (Ver figura 9 y figura 10). El

por ciento de la eficiencia dependerá en factores tales como las condiciones del lodo, agujero y el gasto de circulación. Usando centradores para centrar el tubo, el cemento puede fluir más uniformemente alrededor de la tubería de revestimiento, tubería de producción o tubería corta y proveerán de una pared más uniforme de cemento entre el tubo y la formación.

Normalmente, los centradores deben ser usados a través de la zona productiva así como también 40 pies sobre y debajo de la zona. Los centradores deben ser colocados en cada cople a través de la zona.

El término Standoff se refiere al porcentaje que el casing está centrado respecto al hoyo siendo 100% el caso óptimo, Ver figura 12. La empresa de servicios actualmente recomienda centralizar hasta alcanzar un stand-off lo más alto posible.

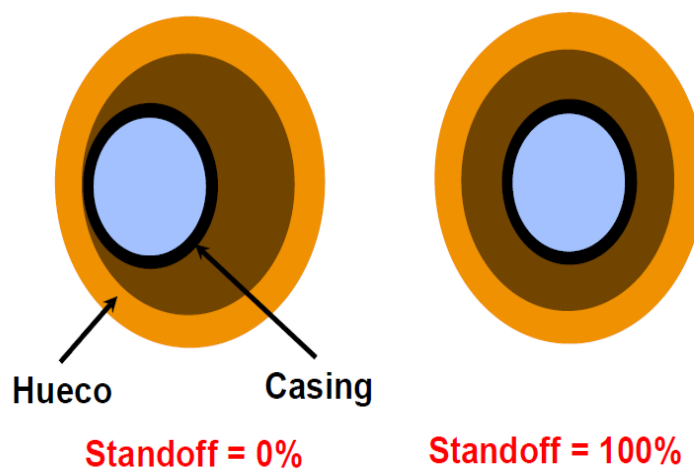


Figura 12. Centralización / standoff

(Halliburton, 2012)

El número de centralizadores va a depender mucho de las condiciones de hoyo y de la zona a ser cementada. Si es una zona de interés se recomienda centralizar con dos centralizadores CENTEK por cada junta.

Procedimiento para centralizar en una zona de producción:

- Contactar al cliente (activo y perforación) solicitar zonas potenciales y objetivos secundarios de interés ya sea para ser producidos, para sellar acuíferos.
- Solicitar al cliente el registro de hueco abierto en el cual contenga el registro caliper y todas las demás curvas del triple combo. Si no se dispone de registros eléctricos solicitar el registro litológico masterlog y centralizar en base a los topes y bases de este registro.
- Establecer las profundidades de las zonas a ser centralizadas (zonas en calibre, generalmente arenas y las zonas de interés).
- en el caso de arenas se recomienda correr la centralización solo con el diámetro de la broca y máximo 15% de exceso.
- Torque y Arrastre debe ser realizado con y sin centralización.

2.4 ESPACIADORES Y LAVADORES

2.4.1 ESPACIADORES

Uno de los factores claves para obtener un trabajo de cementación primaria efectiva es minimizando la contaminación de la lechada con el fluido de perforación. Además, el fluido de perforación debe ser completamente desplazado del espacio anular de tal manera que la Tubería de revestimiento quede cubierta uniformemente para hacer un sello hidráulico efectivo. El espaciador correcto o lavador puede ayudar a la compañía operadora o de servicios a completar estas tareas.

Los resultados de laboratorio y de campo muestran que los fluidos espaciadores pueden ser de gran ventaja en mantener el fluido de perforación y compuestos de cementación separados. Los espaciadores también ayudan efectivamente a remover el lodo.

Un espaciador es usado en operaciones de cementación para realizar las siguientes tareas.

- Separar el fluido de perforación de la lechada de cemento para eliminar la incompatibilidad potencial y problemas de contaminación.
- Pueden mejorar la eficiencia de desplazamiento al permitir el flujo turbulento en rangos de bombeo razonables según sus propiedades reológicas.
- Remover el fluido de perforación y el enjarre
- Proteger la formación.
 - Controlando la presión de formación
 - Inhibiendo zonas sensibles al agua.

Con el objeto de completar estas tareas, el espaciador debe ser compatible con la lechada y con el fluido de perforación. La incompatibilidad en las interfaces donde los diferentes fluidos hacen contactos nos lleva a un efecto de alta viscosidad. Este efecto puede ser desastroso en las siguientes situaciones.

- La masa del fluido incompatible es muy viscosa, para moverse y circular por el espacio anular llevándonos a una fractura de formaciones susceptibles o la terminación del trabajo.
- Los fluidos pueden circular por el anular, pero sin ser desplazados completamente. En vez de eso, son depositadas contra el tubo y el interior del pozo, mientras este proceso continúa, nuevas áreas de interfaces son expuestas y la secuencia es repetida y debido a que el cemento fluirá por donde encuentre menor resistencia, la canalización del cemento será el resultado.

La incompatibilidad interfacial es un problema que un espaciador puede eliminar. Aunque el fluido de perforación y la lechada se mezclen juntos. La contaminación no necesariamente puede ser tan seria como la incompatibilidad interfacial, pero debe ser evitada porque afectará el desarrollo de esfuerzo compresivo y el tiempo de espesamiento de la lechada de cemento.

Los efectos de contaminación son difíciles de predecir y variarán de acuerdo a la naturaleza del contaminante.

Escoger un espaciador correcto para una aplicación en particular dependerá de un número de factores:

- Tipo de fluido de perforación en el pozo – Base aceite o base agua.
- Densidades del fluido de perforación y lechada de cemento.
- Tipos de formaciones en el pozo, ejemplo, arcillas, zonas de sal, calizas, zonas fracturables fácilmente, fracturadas o zonas de pérdidas de circulación.

- Propiedades de fluido necesarias – Bajo rango de turbulencia y control de pérdida de fluidos.
- Tiempo de contacto del espaciador con la formación y el tubo.

Algunas consideraciones importantes a la hora del diseño del mismo:

- **Volumen o longitud de espaciador:** (el mismo debe de ser 1000 ft de cobertura anular o 10 minutos de tiempo de contacto). Es altamente recomendable el uso de lavadores químicos, siempre que los mismos no pudiesen generar un desbalance en la estabilidad del pozo y siempre que las presiones del pozo estén lo suficientemente estables.
- **Densidad:** para generar una buena limpieza de hueco se debe diseñar el espaciador con una densidad por encima de la del lodo para generar un tren de densidad que favorezca la remoción del lodo. Idealmente la densidad debería de ser la media entre la densidad de cemento y la del lodo.
- **Reología:** idealmente la reología del espaciador (estrictamente hablando del Yield Point) debería de ser la media entre el del cemento y el del lodo.
- **Surfactantes:** si lodos base Aceite (OBM) son utilizados en el pozo, el espaciador debe de llevar una carga de surfactantes (que favorezcan el mojado de la zona colocar el cemento por agua y aseguren la compatibilidad con el lodo). La carga de surfactantes debe de ser diseñada a través de un aparato de Mojabilidad (Wetability Apparatus).

Por años la industria miro al YP para evaluar la compatibilidad. Tradicionalmente si el YP de una mezcla fue 2 o 3 veces mayor que la de los otros fluidos la suposición fue que los fluidos fueron incompatibles, esto ha pasado hasta que se encontró que no todo es verdad siempre. La comparación

de los YPs no toma en cuenta el esfuerzo de corte en fondo del caudal. La verdadera compatibilidad depende de cuánto esfuerzo ve la interfase de fluido.

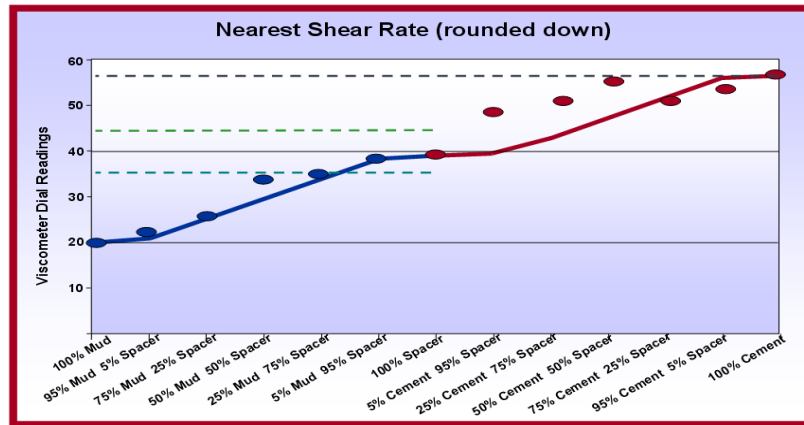


Figura 13. Relación de Incompatibilidad
(Halliburton, 2012)

En la figura 13 hay dos importantes límites. EL primer límite aparece como base desde 100% espaciador. Los resultados sobre (o bajo si el cemento es parte de la mezcla) este límite puede sugerir alguna investigación o indicar una relación de incompatibilidad.

En la figura 14, por ejemplo se muestra fluidos totalmente incompatibles que al bombear al pozo seguramente nos traerían un sin número de problemas.

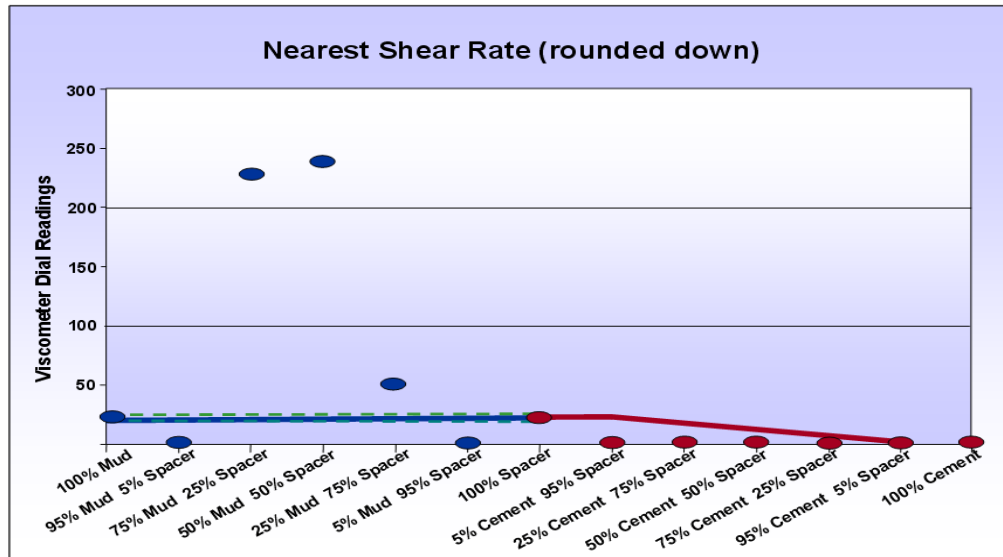


Figura 14. Fluidos incompatibles
(Halliburton, 2012)

2.4.2 LAVADORES

Los lavadores arrastran y remueven los residuos de fluido que los han precedido en los procesos de bombeo. Estos pueden ser tan simples como agua ordinaria o pueden contener agentes químicos para darle propiedades especiales y mejorar su efectividad.

Aunque haya similitudes en la función de los espaciadores y lavadores, habrá diferencias también. El concepto tradicional de un lavador ha sido una baja viscosidad que puede alcanzar un flujo turbulento en un rango de bombeo bajo. Recientemente, las condiciones de perforación han traído más fluidos sofisticados capaces de ser modificados para propósitos como:

- Acarrear agentes de peso (densificantes) para mantener la presión hidrostática.
- Control de pérdida por circulación.

- Dejar la superficie de la formación mojada en agua cuando se desplacen fluidos base aceite que contengan surfactantes.

Los lavadores se diferencian de los espaciadores en que estos normalmente diluyen el fluido de perforación y lo remueven a través de condiciones altas de flujo turbulento, mientras que los espaciadores no necesariamente recaen en turbulencia; en vez de esto ellos pueden utilizar viscosidad o densidad para un desplazamiento eficiente.

Para elegir el tipo de lavador se basa en las condiciones individuales de pozo.

Algunos factores evaluados en la decisión del proceso incluirán:

- Formaciones en el pozo
- Fluidos del pozo, y
- Requerimientos de presión hidrostática.

Formaciones como arcillas y lutitas (esquistos) pueden ser dañados por lavadores de agua potable a menos que sean químicamente modificadas para prevenir el lavado y desprendimiento.

Las formaciones de presiones altas de gas son controladas por presión hidrostática de fluidos en el pozo. Con el objeto de evitar entradas de gas durante la circulación de fluidos de cemento, el fluido debe ser capaz de transmitir suficiente presión hidrostática para confinar la alta presión de gas en su formación. Fluidos ordinarios sin embargo, no soportarán agentes densificantes necesarios para dar al fluido una densidad adecuada y mantener la presión hidrostática.

Aditivos para soportar y contener aditivos densificantes pueden ser agregados a fluidos especiales para permitir la densificación.

Un solo fluido que contenga un silicato reactivo no solo tiene la capacidad de ser densificado sino también ofrece otras ventajas como:

- Requiere volúmenes mínimos de fluidos lavadores de lodo y reduce el tiempo de circulación.
- Reduce la necesidad de remedios caros.
- Rangos de densidad de 9 a 20 lb/gal.
- Rango de temperatura de 40 ° F a 500 ° F.
- Mejora la adherencia.

Un líquido de silicato es un aditivo que ofrece ventajas únicas. Su característica reactiva ayuda a evitar la pérdida de circulación, porque el fluido lavador de silicato deja una capa que reacciona con los componentes del cemento formando una capa de gelatina que mejora la adherencia del cemento, evitando así, que el cemento caiga y mejorando la adherencia del cemento.

Fluidos lavadores con surfactantes aumentan la remoción del lodo si los fluidos son base aceite en el pozo y dejan una capa húmeda en agua sobre la superficie, la cual es preferible para formar un buen sello hidráulico entre el cemento y la formación.

2.4.3 TIPOS DE ESPACIADORES Y SUS FUNCIONES.

ESPACIADORES HALLIBURTON

- Tuned Spacer
- Tuned Spacer III
- Dual Spacer
- Super Flush
- SD Spacer
- SAM-4 spacer

TUNED SPACER

Es un Espaciador base agua con reología fácilmente ajustable para desplazar cualquier tipo de Lodo.

- Optimiza la reología
- Viscosidad estable con temperatura
- Mejora la compatibilidad
- Costo Razonable
- Propiedades

Rango de Densidad: 9 - 20 ppg

Rango de Temperatura: 60 - 325°F

Preparación Base: Cualquier agua

ADITIVOS DE TUNED SPACER

- Tuned Spacer Blend
- D-AIR 3
- Fe-2 (cuando se manipula a granel)
- Material Densificante (barite, etc.)
- Tuned Spacer Dispersante (opcional)
- Surfactants (opcional)

TUNED SPACER III

Es un espaciador base agua con reología fácilmente ajustable para desplazar cualquier tipo de lodo.

- Optimiza reología 80-200
- Temperatura estable hasta 355°F
- Mejoras Financieras

PROPIEDADES DEL TUNED SPACER III

Rango de Densidad 9 -20 ppg

Rango de Temperatura 60 – 355 °F

Preparación base: Cualquier agua

ADITIVOS DEL TUNED SPACER III

- Tuned spacer III blend
- D-AIR-3000/4000
- Agente Densificante (barite, etc)

- Surfactantes (con OBM/SBM)

DUAL SPACER

Espaciador base agua

Diseñado como espaciador en flujo turbulento

Usado con cualquier tipo de lodo

PROPIEDADES DEL DUAL SPACER

Rango de Densidad: 9.2 to 22 ppg

Rango de Temperatura: 60 to 550 °F

Preparación Base: Cualquier agua

ADITIVOS DEL DUAL SPACER

- DSMA (Para batch mixing)
- Dual Spacer blend
- Material densificante (barite, etc.)
- Retardador
- Surfactantes (opcional)
- Viscosificadores (opcional)

DSMA, DUAL SPACER MIXING AID

- Suspensión no acuosa
- Ayuda a prevenir asentamiento causada por la contaminación en el bulk de mezcla
- Sal puede ser agregada después del DSMA

- 1 gal/10bbl agua fresca
- 1.5 to 3 gal/10bbl agua salada

DISEÑO DEL DUAL SPACER

- Lodos base agua
 - Para turbulencia típicamente no hay modificaciones
 - Para sistemas de lodos viscosos, hoyos excéntricos, etc. – la viscosidad debe ser aumentada.

PARA VISCOSIFICAR EL DUAL SPACER.

- Incremente la concentración del blend
- Agregue material arcilloso (bentonita, attapulgite, o sepiolite)
 - <15.0 lb/gal - agregue 3-5 lb/bbl
 - >15.0 lb/gal - agregue 2-3 lb/bbl
- Incremente el DSMA hasta 3 gal/10 bbl de agua de mezcla
- Agregue otros polímeros Como (Biozan, Whelan gum)

DUAL SPACER MODIFICADO

- Para lodos base aceite
 - Agregue surfactantes

SUPER FLUSH

Lavador o Espaciador Reactivo a base de Silicato

Disponibile como una solución o como sólido pre mezclado

Ayuda a controlar perdida de circulación durante la cementación

- Mejora la adherencia del cemento y el aislamiento zonal
- Mejora el control de filtrado
- Previene caídas del cemento de retorno “fall back”
- Ayuda a controlar la perdida de circulación durante la cementación.

APLICACIONES DEL SUPER FLUSH

- Puede ser usado con CaCl_2 para perdidas de circulación
- No es recomendado para cementaciones de Liner
- Debe ser separado con un fluido no-reactivo
 - Agua fresca
 - 3% KCl
 - Hasta 10% con agua de mar de alta pureza
 - Hasta saturación con agua salada que previamente ha sido probada
 - Tuned Spacer, Dual Spacer, etc. son preparados con estas aguas.

DISEÑOS DE SUPER FLUSH DENSIFICADOS

- Rango de Densidad 9.2 lb/gal hasta 20.0 lb/gal
- El pre empacado del blend contiene:
 - Agente Gelificante
 - Agente Buffer
 - Silicato Reactivo
- Agua Fresca o agua salada pre tratada
- Material densificante--Arena, barita, hematite (opcional)

SUPER FLUSH VERSION LIQUIDA

- Super Flush 100
 - 100% Flochek A -- 11.7 lb/gal
- Super Flush 101
 - 1 parte Flochek : 1 parte agua -- 10.0 lb/gal
- Super Flush 102
 - 1 parte Flochek : 2 partes agua -- 9.6 lb/gal

Todos pueden ser densificados con Silica flour

OTROS ESPACIADORES

- “Poz” Scavenger
- Cement Scavenger
- Crosslinked gels
- ALPHA Spacer
- E+ Spacers

QUE ES UN TREN DE ESPACIADORES “TRAINS SPACER”?

- Es una combinación de fluidos delgados y espesos
 - El fluido Delgado limpia el anular en flujo turbulento
 - El fluido espeso saca los sólidos fuera del hoyo.

VOLUMEN DE ESPACIADOR RECOMENDADO, POR LA API 10 B

Mínimo

Cubrir 1000 pies de anular o 10 minutos de tiempo de contacto

SUMARIO

- El espaciador / Preflujo debe:
 - Optimizar el desplazamiento
 - Mantener la separación de los fluidos
 - Dejar la superficie humectada al agua (water-wet)
- El espaciador / Preflujo debe ser diseñado para:
 - Aplicaciones Especificas
 - Condiciones variables del pozo
 - Tipos de lodos Individuales

HUMECTABILIDAD

A que nos referimos por Humectabilidad?

APARATOS DE PRUEBAS DE HUMECTABILIDAD

Consideraciones de Diseño

- Definitivo
- Simple
- Barato
- Repetitivo
- Mobile
- Completamente seguro

- **FLUJOS COMUNES**

- Agua Fresca
- KCl al 3%
- Agua salada
- Salmuera
- Agua Cáustica (PV Espaciador)

PREFLUJOS QUÍMICOS

MUD FLUSH

Diluye / Dispersa / Acondiciona la tubería

- 990 gal agua
- 200 lb MF-1
- 10 gal MORFLO® III
- Incompatible con SUPER FLUSH!

N-VER-SPERSE O

Aumenta el desplazamiento en lodos base aceite

- Solvente o base aceitosa
- 5% MUSOL® (A) por volumen
- 1% HYFLO® IV por volumen

MCA (MUD CLEANOUT AGENT)

Deshidrata partículas arcillosas para su remoción

- 5 - 10% HCl

- 3% Morflo® III
- Inhibidor

PHPA PREFLUJO (PARTIALLY HYDRATED POLY ACRYLATE)

Oxidante fuerte para remover cualquier polímero

- 5% OXOL II (o 10% de Hipoclorito de Sodio)
- 0.5 gal/bbl PEN-88 (o PEN-5)

Los fluidos espaciadores pueden ser ampliamente clasificados en dos categorías: base agua y aceite.

2.4.3.1 Espaciador Base agua

Espaciadores en agua son aquellos que tienen una fase acuosa continua. Estas aguas pueden dañar formaciones sensibles al agua tales como arcillas, y lutitas.

2.4.3.2 Espaciadores Base aceite

Espaciadores en base aceite son aquellos que su fase continua es un hidrocarburo. Estos espaciadores incluyen verdaderas bases en aceite o emulsión inversa y pueden ser formulados usando diésel o aceite crudo.

Los fluidos base aceite protegen estas formaciones pero tienen una superficie la cual no es propicia para adherirse al cemento. Se le pueden agregar surfactantes al espaciador los cuales solucionarán este problema removiendo el residuo debajo del lodo base aceite y dejando mojada en agua la superficie en la cual el cemento tendrá una buena adherencia.

Los espaciadores son fluidos únicos y deben poseer ciertas propiedades para funcionar adecuadamente.

Algunas propiedades son las siguientes:

1. La compatibilidad con fluidos del pozo. (Fluido de perforación y cemento)
2. Separar fluidos.
3. Remover el lodo de perforación y el enjarre.
4. Proteger formaciones
 - a) Controlar presiones.
 - b) Inhibir el daño a arcillas y calizas sensibles al agua.
5. No afectar adversamente propiedades del cemento o lodo.

Compatibilidad

Muchos cementos y aditivos para cementos (orgánicos e inorgánicos) están disponibles en la industria hoy en día. Hay una gran variedad de fluidos de perforación, base aceite, emulsión inversa, poliméricos y dispersos en bentonita, etc. El espaciador debe ser formulado con componentes que le permitirán ser compatible con varios fluidos de perforación y composiciones de cemento.

Ha habido una discusión considerable acerca de métodos adecuados de la determinación de la compatibilidad entre los fluidos de perforación y el cemento. Un método común ha sido combinar 2 fluidos en una botella y mezclar. Este tipo de pruebas es muy ambiguo y es solo una prueba visual. Muchas veces, aunque los fluidos parezcan ser altamente viscosos, ellos pueden de hecho ser tixotrópicos (seudoplásticos) y con alguna agitación, la viscosidad disminuirá. Un acercamiento más real en determinar la compatibilidad de dos fluidos es medir las propiedades reológicas en un viscosímetro de multivelocidad.

Al fluido base (el fluido a contaminarse) se le agregan varios por cientos de contaminantes y se registran sus propiedades reológicas.

Hay muchas variables a ser encontradas entre los pozos y los fluidos que son usados para perforar y terminar estos pozos, como resultado de estas variables, la cantidad de precipitado que se formara entre el fluido de perforación, espaciador y el cemento es usualmente determinado. Un procedimiento estándar de laboratorio para determinar las propiedades de compatibilidad es como sigue:

- a) Agregar el fluido de contaminación al fluido base (fluido a ser contaminado), mientras se agita en una mezcladora Hamilton Beach o mezclador neumático. Mezclar por minuto.
- b) Mida las propiedades reológicas haga tres lecturas(a 600 revoluciones por minuto) a temperatura ambiente.
- c) Si hay incompatibilidad entre cualquier fluido, repita la prueba a 150 ° F, o si es posible, use la temperatura del pozo según su consideración.

Pruebas:

1. Compatibilidad del fluido de perforación y el cemento. (Fluido de perforación contaminado con 10, 20 30, 50 y 100 por ciento) de cemento, la representación se puede ver en la Figura 15.
2. Compatibilidad del fluido de perforación y el fluido espaciador. (El fluido de perforación contaminado con 10, 20 30, 50 y 100 por ciento de fluido espaciador.)

3. Compatibilidad entre el fluido espaciador y la mezcla del cemento (Fluido espaciador contaminado con 0,10, 20 30, 50 y 100 por ciento de mezcla de cemento la mezcla del cemento).



Figura 15. Compatibilidad lodo y cemento
(Halliburton, 2012)

Separar Fluidos

Hay una necesidad de separación de fluidos mantener el fluido de perforación y el cemento separados. Los resultados de laboratorio muestran que la lechada del cemento puede ser separada del fluido de perforación colocando un espaciador entre estos dos fluidos. El espaciador es diseñado para que funcione muy semejante a un pistón y el punto de cedencia (lb/100 pies cuadrados) debe ser igual o exceder el punto de cedencia del fluido de perforación. El punto de cedencia no solo funcionará para mantener el fluido de perforación y el cemento separados, pero también ayudara a desplazar el lodo y a transportar los sólidos cuando sean removidos del pozo. La densidad es también importante al separar los dos fluidos. Normalmente, es preferible que la

densidad del espaciador este entre el fluido de perforación y el cemento. Los resultados de las pruebas en la figura 2 muestran que un espaciador sin densificar no mantendrá la separación de un lodo de 18.0 lb/galón y un cemento de 18.5 lb/gal, pero cuando el espaciador es densificado en un peso entre los dos fluidos (18.2 lb/gal), ellos permanecen separados. Otro factor importante al usar un espaciador densificado es su habilidad para controlar la presión de formación y reducir la entrada de gas a través del cemento.

La barita es el componente densificante más común para fluidos espaciadores, sin embargo, el carbonato de calcio o carbonato de acero también pueden ser usados. Los carbonatos pueden fácilmente ser removidos con ácido.

Remoción de fluidos de perforación y enjarre

Hay varias opiniones acerca de esta remoción. En algunos pozos no ocurrirían daños si todo el enjarre fuera removido de la cara de la formación. En otros pozos donde las formaciones son consolidadas contienen arcillas hidratantes, será preferible dejar al menos una capa lo más delgada posible de enjarre, esto evitara que haya cambios de enjarre en la formación y por lo tanto ayudara a controlar las pérdidas de fluido.

El espaciador deberá ser diseñado para desplazar química y físicamente el lodo y remover algo del enjarre. Los resultados del laboratorio muestran que los espaciadores pueden ayudar a remover el lodo y enjarre cuando son formulados con surfactantes o algún material angular.

La importancia del punto de cedencia de un espaciador ha sido discutida; es una propiedad muy importante en permitir a un material angular funcionar adecuadamente. Cuando el fluido espaciador es bombeado a través del pozo, el punto de cedencia debe ser mantenido en el rango de temperatura del pozo,

de manera que el material angular permanezca suspendido, pero también permita moverse dentro del fluido espaciador para proveer una acción abrasiva. Se debe tomar en consideración el volumen de espaciador a usar. Es conveniente usar un volumen de espaciador que nos dé al menos 4 minutos de contacto con el espacio anular. Las experiencias han mostrado que muchas veces al usar un volumen inadecuado de espaciador este se sobrecarga de sólidos. Este exceso de sólidos puede impedir el funcionamiento adecuado del espaciador durante el resto del trabajo.

Proteger formaciones:

El fluido de perforación y el cemento usualmente contienen químicos para proteger lutitas sensibles al agua y controlar la pérdida de fluidos en las formaciones. Los fluidos espaciadores deben ser diseñados para proteger las formaciones sensibles al agua y controlar la pérdida de fluidos. Si la pérdida de fluido no es controlada y el filtrado se pierde del espaciador, la efectividad del espaciador puede ser alterada, disminuida. Los químicos seleccionados para formular un espaciador deben ser tales que las propiedades de la pérdida reológicas y pérdidas del fluido de perforación y la composición del cemento no serán afectadas. Es muy importante que el contacto de la lechada del cemento por el espaciador tenga un mínimo efecto en las propiedades deseadas de hidratación del cemento.

La sal o KCl son generalmente agregados para proteger las formaciones sensibles al agua potable. Si estos químicos son incluidos en la lechada de cemento, la adición será también hecha en el espaciador o en el lavador. Este agregado provee a la formación de protección. Así como la compatibilidad. Cuando se cimente a través de zonas de pérdida de circulación o zonas con flujo de agua salada utilice el sistema especializado de espaciador o pre-lavador. Los sistemas diseñados para sellar la zona de pérdida de circulación a

través de una reacción química o por la incorporación de materiales de pérdida de circulación en el fluido son requeridos para prevenir la pérdida de estas zonas. Las zonas con flujo de agua salada también deberán sellarse.

2.4.3.3 Espaciador Espumado.

El objetivo primordial del espaciador espumado es mejorar la eficiencia de desplazamiento del lodo en el hueco. Un espaciador espumado de baja densidad y alta viscosidad, nos permite reducir los riesgos de pérdidas de circulación y mejora notablemente la limpieza del hueco.

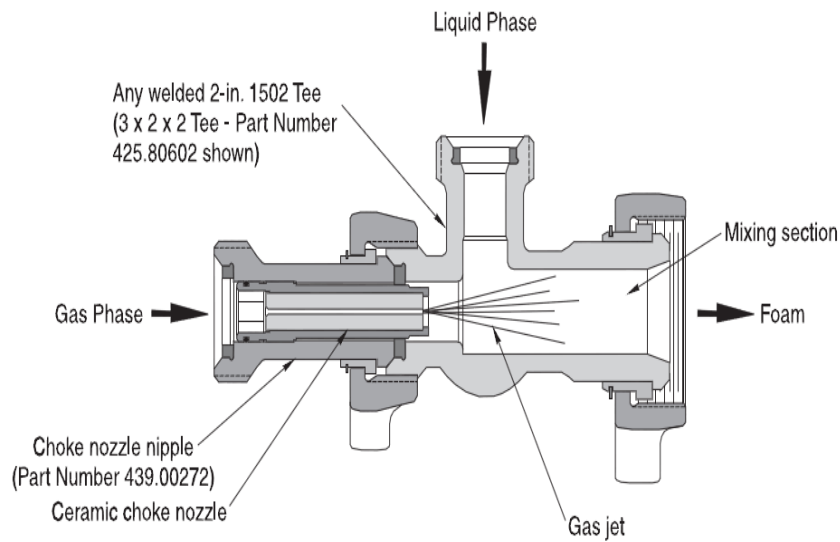


Figura 16. T del generador de espuma
(Halliburton, 2012)

El espaciador espumado es un sistema estabilizado obtenido mediante la inyección “al vuelo” de una cantidad adecuada de Nitrógeno a través de un generador hacia un fluido base gelificado que incluye un surfactante como agente espumante y estabilizador.

La T del generador de espuma (figura 16) provee el nivel de energía requerida para incorporar el gas nitrógeno dentro de la fase externa líquida como burbujas

discretas de alta energía. Es un dispositivo muy importante que contribuye a la estabilidad del espaciador espumado.

El Nitrógeno se inyecta a un flujo constante de 1200 a 1500 SCFM, ajustando el caudal del fluido base para obtener una concentración de 500 a 750 SCF/Bbl de N₂ en el espaciador espumado. El esfuerzo de corte mientras se bombea dentro del pozo ayuda a la homogeneidad de la espuma.

La concentración del N₂ se programa para obtener la densidad requerida para prevenir fracturas y pérdidas de cemento hacia formaciones débiles. La densidad del espaciador disminuye a medida que asciende en el anular, compensando el incremento de ECD (Densidad equivalente de circulación) causado por la circulación de las lechadas de cemento en el anular.

Los principales efectos de la inyección de nitrógeno en el espaciador son:

- Incrementa el rendimiento del fluido
- Disminuye la densidad
- Incrementa la viscosidad aparente – el perfil plano ayuda a mantener una interface entre el lodo desplazado y el espaciador espumado, ayudando así a evitar una canalización
- Mayor efectividad en la remoción de lodo gelificado y parcialmente deshidratado debido al mejoramiento de la erodabilidad del espaciador. El espaciador espumado contiene una gran cantidad de energía a través del gas atrapado que contribuye significativamente a la limpieza del hueco
- Mejoramiento de las propiedades de suspensión y transporte de sólidos.
- Incremento en la estabilidad con los cambios de temperatura
- Reducción del filtrado
- Mejora la compatibilidad con el lodo

El retorno del espaciador espumado a superficie se controla por el siguiente procedimiento:

- Detener la reciprocación de la tubería antes de la circulación del espaciador.
- Cerrar el anular del BOP
- Dirigir el flujo anular a través de un choque que permita mantener una contrapresión de 100 psi a 300 psi, para controlar la expansión del nitrógeno del anular hacia las condiciones atmosféricas. La figura 17 muestra el retorno de un espaciador espumado luego de circularlo a superficie, limpiando el anular



Figura 17. Retorno de espaciador espumado
(Halliburton, 2012)

2.4.4 REQUERIMIENTOS DEL FLUIDO.

Las propiedades requeridas del fluido son determinadas por las condiciones individuales del pozo y las particularidades de las operaciones de cementación. Por ejemplo, se preocupa, más por la estabilidad de la suspensión de sólidos del pre-lavador, si contiene sólidos o el espaciador para la cementación de una Tubería de revestimiento corta y las operaciones de cementación forzada. Más que un trabajo de revestimiento donde los fluidos normalmente no permanecerán estáticos por un periodo de tiempo apreciable.

2.4.5 VOLÚMENES RECOMENDADOS

Se recomienda usar un volumen suficiente. La experiencia ha indicado que un mínimo de 500 pies lineales de fluido es requerido, para completar este objetivo se recomiendan 1000 pies lineales. Para lograr un buen desplazamiento, se recomienda un volumen de lavador o espaciador que obtenga un tiempo de contacto de 10 minutos mientras se bombea el fluido en un sistema turbulento.

2.5 CARACTERÍSTICAS DEL NITRÓGENO.

El nitrógeno es un gas no tóxico, incoloro e inodoro, que se encuentra naturalmente en la atmósfera (el 78% de aire es N₂), también es inerte y no reacciona con los hidrocarburos para formar mezclas de combustibles, además es solo ligeramente soluble en agua y en otros medios líquidos acuoso.

Tabla 2. Propiedades del nitrógeno

Punto de Ebullición	-320.36°F
Densidad del N₂ Líquido	6.745 lb/gal
Densidad del N₂ Gas	0.0724 lb/scf
Calor requerido para convertirlo de líquido a gas a 70°F gas	184 btu/lb
Relación de Expansión de líquido a gas	1 a 696*
Solubilidad en el Agua	2.35 partes de N ₂ en 100 partes de agua a 32°F – 1.55 partes de nitrógeno en 100 partes de agua a 68°F
* Un galón de Nitrógeno Líquido a -320°F se expande a 93.11 scf de gas a 70°F	

(Halliburton, 2012)

2.5.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL NITRÓGENO

Digamos que tenemos un pie cúbico de nitrógeno líquido en un tanque de transporte. Lo estamos almacenando a -320 F para mantenerlo líquido.

Calentamos el Nitrógeno hasta el punto de donde se convierta gas y lo descargamos a una temperatura entre 70 y 100 F.

Cuanto espacio piensan que un pie cúbico de nitrógeno líquido ocupa una vez convertido a gas? La respuesta es casi 700 pies cúbicos estándares. 696.5 para ser exactos. Eso es a condiciones atmosféricas estándar: 70 F y 1 atmósfera (14.7 psi).

Eso quiere decir que por cada pie cúbico líquido que llevamos al pozo, podemos bombear 697 pies cúbicos de nitrógeno gaseoso al pozo, ver figura # 18. Ahora se puede observar porque se almacena como líquido.

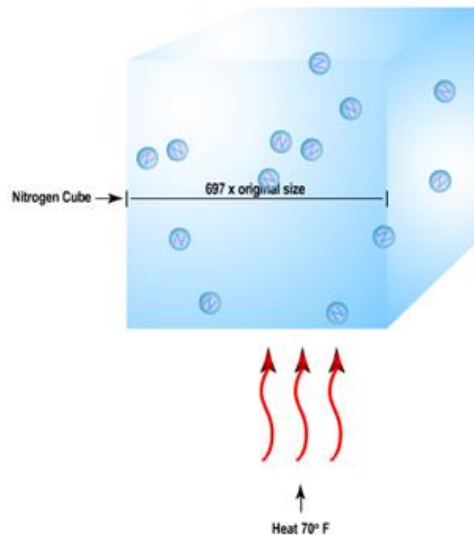


Figura 18. Relación nitrógeno líquido vs gaseoso
(Halliburton, 2012)

El nitrógeno líquido atrapado genera elevadas presiones, debido a que su relación de expansión es de 1:697. Si en un envase cerrado se tienen 50,46 libras de nitrógeno líquido (1 pie cúbico) a -320.4°F y 14.7 psi, y luego este se calienta a 70°F se elevará la presión del envase a 42.500 psi.

El nitrógeno líquido atrapado absorberá calor y puede ejercer una presión de 21 toneladas por pulgada cuadrada, lo que equivale a 90 libras de nitroglicerina.

2.5.2 CONVERSIÓN DE NITRÓGENO.

El Nitrógeno se almacena en un tanque de almacenamiento criogénico. Esto es un tanque aislado de doble pared diseñado para soportar el frío intenso del Nitrógeno líquido. EL N_2 líquido fluye del tanque a través de las válvulas y tuberías y es bombeado a una alta presión por bombas de Nitrógeno.

Los tanques de almacenamiento contienen Nitrógeno líquido por debajo de su punto de ebullición. Es necesario que perdamos tan poco producto como podamos camino a la locación.

2.5.3 OBTENCIÓN DEL NITRÓGENO A PARTIR DEL AIRE

Para obtener Nitrógeno para Servicios de Pozos, tenemos que descomponer el aire en los gases que lo componen. Esto se realiza en instalaciones grandes, no contaminantes llamadas plantas de separación de aire. Hay dos formas: Separación de Aire Criogénico y el Proceso de membrana.

2.5.3.1 Separación criogénica del aire.

La separación de aire de manera criogénica utiliza temperaturas extremadamente frías para separar el aire.

Primero, el aire atmosférico se toma y se limpia para remover impurezas.

Luego, es condensado y refrigerado en una serie de intercambiadores de calor hasta que alcance una temperatura extremadamente fría y casi vuelva a su estado líquido. Luego, el aire se calienta y se destila.

El oxígeno y el nitrógeno bullen a diferentes temperaturas, el Oxígeno bulle a -297 F, y el Nitrógeno a -320.4 F. Cuando el Nitrógeno Líquido se calienta por encima de -320.4 F el Nitrógeno se convierte en gas.

Tabla 3. Unidades de conversión

<i>Unidades Inglesas.</i>			
	Pounds	Pie cúbicos, Gas	Galones Líquido
1 Galón (Líquido))	6.74	93.11	1
1 Pie cubico (Líquido)	50.42	696.46	7.48
<i>Sistema Métrico.</i>			
1 Litro (Líquido)	0.808	0.69646	1
1 Metro Cubico	808	696.46	1

(Halliburton, 2012)

2.5.3.2 Separación de Aire No-criogénica.

Las unidades de membrana producen nitrógeno del aire sin temperaturas criogénicas. Se atrapa el aire, se comprime, se limpia y se enfría. Luego el aire se pasa por una fina membrana que filtra oxígeno. El oxígeno se ventea al aire y solo queda casi Nitrógeno puro. Ahora que se ha aislado, se puede trabajar con él.

2.5.4 PREPARACIÓN DEL NITRÓGENO

2.5.4.1 estructura criogénica

Provee el almacenamiento del nitrógeno, se compone de una doble pared (Un tanque dentro de otro), el tanque externo está diseñado para soportar temperaturas normales, el tanque interno está diseñado para soportar temperaturas criogénicas. La cantidad de aire entre los dos tanques debe ser menor de 2 micrones.

2.5.4.2 Sistema de trasegado

La figura 19, nos permite identificar la carga del tanque y la descarga cuando sea necesaria.

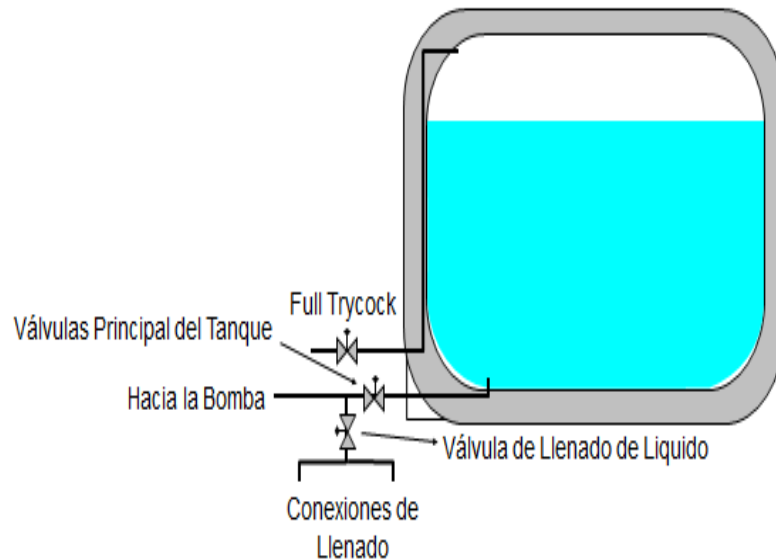


Figura 19. Sistema de trasegado
(Halliburton, 2012)

2.5.4.3 Control de la presión del tanque.

Siempre es necesario tener la capacidad de ventear el exceso de presión en el tanque. Recordemos que en cualquier lugar donde el nitrógeno pueda quedar atrapado, usamos una válvula de alivio de seguridad.

Recordemos la válvula de venteo, esta válvula se usa para condicionar el tanque de Nitrógeno antes de bombear. También puede ser usado para ventear exceso de presión. Cada tanque tiene una válvula de seguridad primaria. Esta válvula está ajustada de 85 a 120 psi. Como último recurso, cada tanque tiene un disco de ruptura. Este disco está diseñado para romperse si otros

dispositivos de seguridad han fallado y la presión dentro del tanque va más allá de los niveles seguros.

Esto libera la presión acumulada en un apuro. Si esto pasa no será posible acumular presión en el tanque y bombear el trabajo. Asegúrese de reemplazar cualquier disco de ruptura con uno que tenga una presión que sea igual a la especificación del equipo original. Si el tanque está equipado con un disco de ruptura de vacío. Este disco romperá de 7 a 10 psi. También se usa una válvula de alivio de viaje. Esta válvula de baja presión está ajustada a 15 psi. Cuando llegues a locación, cierra tu válvula de viaje antes de abrir la válvula de venteo. El Nitrógeno líquido de alta presión fluye a un vaporizador, donde es calentado sobre su punto de ebullición y es convertido a nitrógeno gaseoso. En una unidad de Nitrógeno, El nitrógeno fluye de unas tuberías de baja presión de succión y unas líneas de descarga de alta presión.

2.5.4.4 Equipo de bombeo

La bomba criogénica es la encargada de bombear al nitrógeno líquido al evaporador en las condiciones de presión y caudal adecuadas.

2.6 CALIDAD Y ESTABILIZACIÓN DE LA ESPUMA

La mayoría de las espumas comunes son un medio de dos fases de gas y líquido con una estructura particular que consiste de burbujas de gas atrapadas en una red de finas películas de líquidos. Algunas espumas conocidas son los baños de burbujas, detergentes, lavadores de agua para bajilla y la espuma en cervezas. Muchos aceites espumados cuando son atrapados por el gas pueden ser liberados de repente en condiciones de una caída brusca de presión. En algunas refinerías el flujo a través de gas a alta temperatura y la presión se requiere para romper los hidrocarburos, las mezclas de gas-líquido formara

espuma fuertemente. La espuma atrapa gas con fracciones de gas de 80% o superior. Es evidente que en tales situaciones, en las que se desea catalizadores sólidos en contacto líquidos, la producción de espuma no se requiere. En otras aplicaciones, espumas son útiles, por ejemplo espumas que tienen una alta tensión de fluencia y se puede utilizar en un fluido para llevar a partículas en aplicaciones que van desde el transporte de cortes en la perforación y la colocación de grietas en arena de producción de petróleo para aumentar la conductividad de los la recuperación secundaria de petróleo. Las tecnologías que se ven afectadas por espumas y espumantes son generalizadas

Espumas no se conocen bien y son muy difíciles de controlar. Una espuma No se puede crear sin la introducción vigorosa de gas de una burbujeante mezcla. Los baños de burbuja y jabón no hará espuma a menos gas se agita en por un chorro de agua o de otro mecanismo de mezcla. Aceites espumantes no hará espuma a menos que la caída de presión suficientemente abrupta. Para evitar espuma de cerveza en es necesario verter la cerveza muy lentamente. Para entender la formación de espuma hay que tratar de ser preciso acerca de los valores críticos de liberación de burbujas requerida para hacer y mantener una espuma.

Todas las espumas estáticas son inestables, pero algunos son más inestables que otras .La estabilidad de las espumas es otro tema en el que el conocimiento debe de ser completa. El colapso de la espuma por drenaje y la ruptura de la película.

Para evitar que una espuma se colapse, es necesario oponerse al drenaje por gradientes de tensión superficial inducida por surfactantes. No es posible obtener líquidos químicamente puros de espuma, algunas veces la

contaminación conduce a gradientes de tensión superficial parece ser necesario incluso para crear espumas débiles.

Para obtener una espuma que es necesario introducir el gas en líquido, por un mecanismo de cavitación cuando el gas está en solución, como en los ejemplos anteriores, o por inyección de gas como en jabón lavavajillas y reactores químicos. Las mezclas de gas-líquido harán espuma cuando surfactante están presentes para estabilizar las burbujas en erupción. Cuando un líquido hace espuma puede describirse toscamente por su espumabilidad (facilidad de formación de espuma) y la estabilidad (medida por el tiempo de colapso de las espumas).

Los siguientes son algunos factores básicos de la espuma

- Líquidos puros no hacen espuma
- En algunos sistemas la presencia de un agente tensioactivo o surfactante es necesario, en sistemas de hidrocarburos la mezcla de isómeros.
- Espumas son esencialmente inestables una tendencia a colapsar a un líquido por los estados de energía más bajos
- La fuerte adsorción del surfactante en las paredes de burbujas se opone a este colapso
- La absorción ocurre porque el solvente odia (Lyophobic) parte de la molécula del surfactante (tensoactivo) e intenta escapar desde el solvente a la superficie líquida y lejos orientar líquido, el solvente le agrada (Lyophilic) parte remanente del líquido.
- La correcta elección de los grupos Lyophobic y Lyophilic y puede causar casi cualquier líquido que espuma
- Los resultados primarios de esto es bajar tensión superficial del líquido, porque la superficie es ahora una mezcla de grupos Lyophobic y moléculas de disolvente, por ejemplo, grupos hidrocarburo de un simple jabón en agua

- La depresión de la tensión superficial facilita la generación de espuma (superficies son más fácilmente estirado), pero no es una completa guía a la estabilidad o la vida de tiempo de la espuma resultante.
- Además, hay otras propiedades de un surfactante y líquido a granel que son necesarios para producir una espuma estable. Estos son:

2.6.1 ELASTICIDAD SUPERFICIAL

Elasticidad superficial, también llamado Gibbs-Marangoni elasticidad o "auto-curación" efecto, es una forma en la que los puntos finos en una pared de la burbuja (puntos de probabilidad de ruptura) se pueden reparar. Sin embargo, la velocidad de movimiento (difusión) de moléculas de surfactante a través del líquido debe ser el adecuado.

Si la velocidad de difusión es demasiado rápido, las moléculas de surfactante en el líquido entre las paredes de las burbujas puede alcanzar el punto débil en la película antes de la operación de transporte superficial. En este caso, el punto débil no será reparado. Si es demasiado lento, las moléculas del surfactante nunca disminuirá la tensión superficial suficiente para generar una espuma.

2.6.2 SUPERFICIE VISCOSA

Superficie viscosa disminuye el drenaje de líquido de una espuma recién generado, mantiene la espuma gruesa, más estable para un período más largo (véase la figura 20).

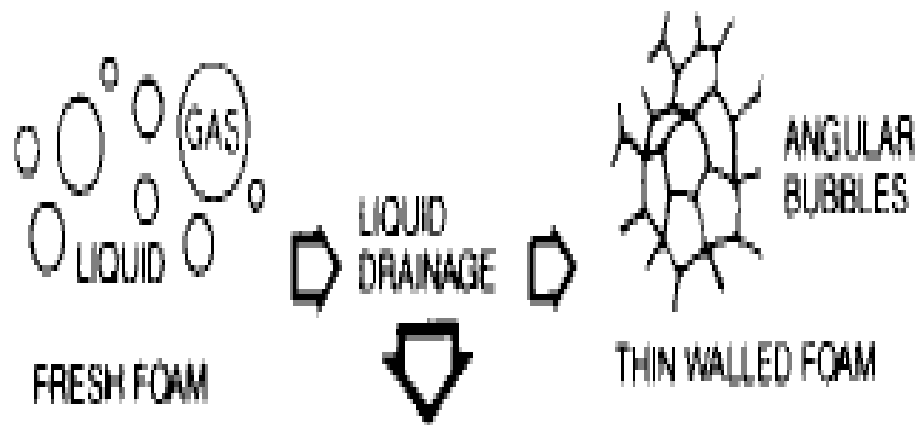


Figura 20. Superficie viscosa
(Bikerman, J., Springer Verlag 1973)

Es producido por la "entrecruzamiento" de moléculas del surfactante en las superficies de burbujas a través de enlaces de hidrógeno.

Los surfactantes no iónicos y proteínas / espumas por este mecanismo (por ejemplo, cerveza, espumas de fermentación).

2.6.3 VISCOSIDAD

Viscosidad estabiliza espumas en muchos líquidos espesos, por ejemplo, pinturas, aceites, viscosa. Esto generalmente se denomina arrastre de aire, y porque el drenaje de líquido es tan lento, la espuma puede ser de larga duración - aunque no es realmente una espuma.

2.6.4 REPULSIÓN ELÉCTRICA

Con surfactantes aniónica o catiónicos, el adelgazamiento de una pared de burbujas procederá hasta que los grupos cargados en las caras opuestas de la

pared esté lo suficientemente cerca para provocar repulsión eléctrica. Esta repulsión evita además adelgazamiento.

2.6.5 DIFUSIÓN DE GAS

Cuando las espumas están recién generadas, las burbujas son de diferentes tamaños. Las pequeñas burbujas de tener una presión interna más alta que las grandes, por lo que el gas tiende a difundirse desde pequeñas a grandes reordenamientos, causando reordenamientos el interior de la espuma, lo que rompería fuerzas. Surfactantes adsorbidas de las paredes de burbuja reducen la difusión del gas.

2.6.6 TEORÍA ANTIESPUMANTE

Antiespumantes previenen la espuma en un sistema de una de dos maneras. O bien desplazan estabilizando la espuma en las paredes de burbujas o localmente hacerlas estallar.

El desplazamiento de espuma estabilizada se produce después de una fina capa de antiespumante se extiende por las burbujas. El éxito depende de las tensiones superficiales del líquido y espumado y anti espumado y la tensión interfacial de la espuma y anti espuma. El factor más importante que determina la difusión, sin embargo, es que la tensión superficial de la antiespumante debe ser menor que el líquido de formación de espuma.

Estallido de las burbujas es causada por puntos de depresión local de la tensión superficial, como por ejemplo los causados por un no-propagación, de partículas de baja tensión superficial como se muestra en la figura # 21 "Depresión Local tensión superficial".

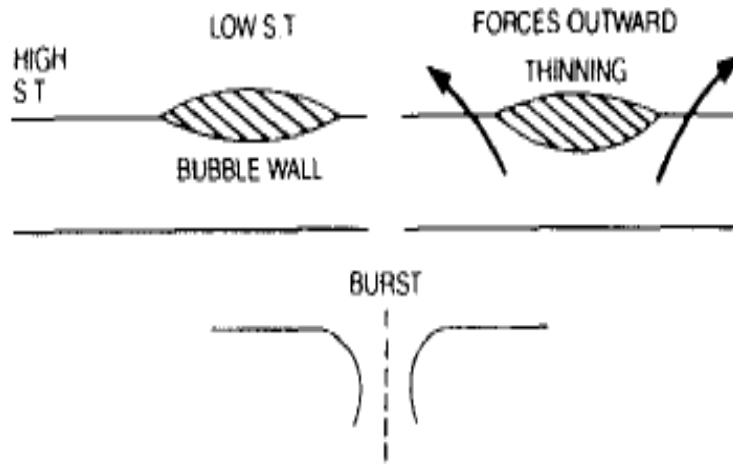


Figura 21. Tensión superficial depresión
(Bikerman, J, Springer Verlag 1973)

También, estabilidad de la espuma se reduce por las moléculas de mezcla de especies diferentes en la superficie. La capa molecular mixta carecerá de estabilidad si la molécula no se puede empaquetar eficientemente juntas.

Antiespumantes de silicona tipo de glicol trabajan de esta manera. En agua fría, que son solubles y promover la formación de espuma. Como la temperatura aumenta, las moléculas de agua se mueven más rápido, lo que debilita las fuerzas con las moléculas de silicona glicol, que se convierten en insolubles.

Esta temperatura es el punto de turbidez debido a que la solución se vuelve turbia. Las partículas de glicol de silicona no pueden extenderse, por lo que se depositan en las paredes de burbujas como sitios de baja tensión superficial.

Dispersión eficaz de un agente antiespumante es esencial para permitir la acción en la mayoría de los sitios de una espuma. Directamente fluidos de polidimetil silicona se dispersan bien en orgánico solventes, y actuar como antiespumantes en bajas concentraciones. Sin embargo, en agua, la dispersión es pobre, por lo que una carga finamente dividida se combina con el fluido. Esto

mejora la dispersión, pero aumenta la viscosidad. Los compuestos de silicona sólo funcionan en sistemas acuosos, bien agitados. Para la máxima dispersión en agua es necesario para emulsionar el compuesto. Estabilidad y distribución de tamaño de partícula de la emulsión entonces influencia más el efecto anti-espuma. Las cargas adecuadas son sílice, titania y magnesia

2.6.7 PÉRDIDA DE EFICIENCIA

Después de un período de tiempo, todos los antiespumantes pierden su eficiencia debido a dos razones. Uno es la saturación mutua de la espuma y el antiespumante. Una vez que esto ocurre, ya no hay ninguna diferencia en la tensión superficial y el antiespumante no se extiende.

La segunda implica la solubilización del antiespumante en agregados moleculares (micelas) de estabilizador de espuma. Esto es especialmente importante en soluciones de tensioactivos fuertes por encima de su concentración micelar crítica. Cuando esto sucede, el antiespumante se elimina del sistema de espuma y no puede funcionar eficazmente.

2.6.8 CARACTERÍSTICAS ESENCIALES ANTIESPUMANTES

Con el fin de desplazar con éxito espuma, un agente antiespumante debe:

- Ser insoluble en el sistema de espuma.
- Tener una tensión superficial inferior a la espuma.
- Dispersan bien en el sistema de espuma.
- Poseer ninguna de las propiedades de estabilización de la espuma. No producir efectos secundarios, tales como el goteo de aceite o fisheyeing.

2.7 EQUIPOS UTILIZADOS

2.7.1 SPU-180 SKID CONVERTIDOR DE NITRÓGENO

En la figura 22 nos indica que el Skid SPU 180 es un equipo de conversión de Nitrógeno de alta presión, auto contenido que provee vaporización sin llamas. Este es un convertidor liviano que puede ser usado tanto en tierra como offshore, tiene un amplio rango de bombeo debido a su arreglo de bombas Triplex gemelas. El controlador Automático de tasa de la Unidad provee un control de calidad durante cementaciones y divergencia de ácidos espumados. El controlador añade Nitrógeno a una tasa constante o puede crear una rampa de subida o bajada.

Para proveer una vaporización sin llamas el SPU 180 usa el calor del motor, escape y Water jacket. Se obtiene Calor adicional del sistema hidráulico, donde un circuito hidráulico que carga el motor permite una capacidad de vaporización adicional.



Figura 22. Convertidor de nitrógeno automatizado
(Halliburton, 2012)

2.7.1.1 Preparando la Unidad de Bombeo.

- Verificar que la temperatura de descarga del nitrógeno se mantenga entre 60 y 80 °F
- Verificar que la temperatura de enfriamiento no caiga por debajo de los 100 °F
- Verificar el manómetro de presión de saturación que no se eleve sobre 30 psi
- Verificar que la presión de succión no sea menor de 60 psi. la presión ideal para el bombeo es 80 psi
- Verificar todos los manómetros del tablero de control para observar todos sus rangos de servicio
- La presión de aceite lubricante del motor debe estar entre 30 y 50 psi
- La temperatura del agua del motor debe estar entre 170 y 195 °F
- La temperatura de aceite hidráulico debe estar entre 130 y 150 °F
- La presión hidráulica auxiliar debe estar entre 300 y 500 psi
- La presión de la bomba hidráulica principal deberá estar alineada y proporcional a la presión de descarga del nitrógeno.
- La presión hidráulica de aumento de calor deberá estar alineada en un punto fijo
- La presión de enfriamiento (coolant) debe estar entre 30 y 50 psi
- La presión del aire debe estar entre 100 y 120 psi.

2.7.1.2 Finalizando operación de Bombeo

- Apagar la bomba de alta presión, girando el potenciómetro en el sentido contrario de las manecillas del reloj
- Cerrar la válvula de descarga (válvula lo-torc)
- Abrir la válvula de circulación de nitrógeno líquido hacia la atmósfera

- Cerrar la válvula de aumento de calor a la posición mínima (girando en sentido contrario a las manecillas del reloj)
- Reducir las rpm del motor a 1200.
- Cerrar el suministro de nitrógeno líquido del tanque de almacenamiento (termo).
- Cerrar la válvula de suministro de los serpentines de aumento de presión.
- Abrir la válvula de desfogue del termo para reducir la presión del mismo de ser posible al mínimo.
- Cerrar la válvula de succión de entrada al equipo
- Abrir el venteo del retorno esto permite salir al líquido atrapado en la línea (dentro de la unidad)
- Parar el motor después de 5 min. ó que la temperatura del agua haya bajado a 160 °F o menos

2.7.2 UNIDAD ELITE

Unidad cementadora de nueva tecnología, mostrada en la figura 23 consta de 2 motores Caterpillar electrónicos, y un motor auxiliar, además consta de dos bombas HT 400 las cuales son usadas para el bombeo de los fluidos al pozo. Esta unidad tiene el sistema FLECS el cual nos permite monitorear las condiciones a las cuales estamos bombeando como presiones, densidad, caudales. La unidad Elite consta de un sistema de control de densidad automático (ADC) en el que nos permite controlar la densidad de la lechada para tener una medida más precisa de esta con la ayuda de un micromotion no radiactivo el que emite la señal directa hacia el FLECS; en esta unidad tenemos un tanque de mezcla de 8 barriles para realizar la mezcla de la lechada y además de tener dos tanques de desplazamiento de 10 barriles cada uno.



Figura 23. Unidad cementadora
(Halliburton, 2012)

2.7.3 BATCH MIXER Y BMR-100

Esta unidad mostrada en la Figura 24 consta de 2 tanques con agitadores hidráulicos de 50 barriles cada uno permitiéndonos tener 100 barriles en la unidad para almacenar el agua de mezcla de las lechadas, lavadores y espaciadores, además de permitirnos pre mezclar la lechada en pozo antes de ser enviada a pozo.



Figura 24. Unidad BMR 100
(Halliburton, 2012)

2.7.4 UBICACIÓN DE LOS EQUIPOS EN POZO

La ubicación de los equipos al momento de realizar un trabajo es fundamental debido a que nos permitirá conocer adecuadamente la ubicación de las aguas e mezcla, como conectarse al pozo y parámetros de seguridad entre otros. Un ejemplo de una buena ubicación de equipos en el pozo se puede observar en la figura 25.

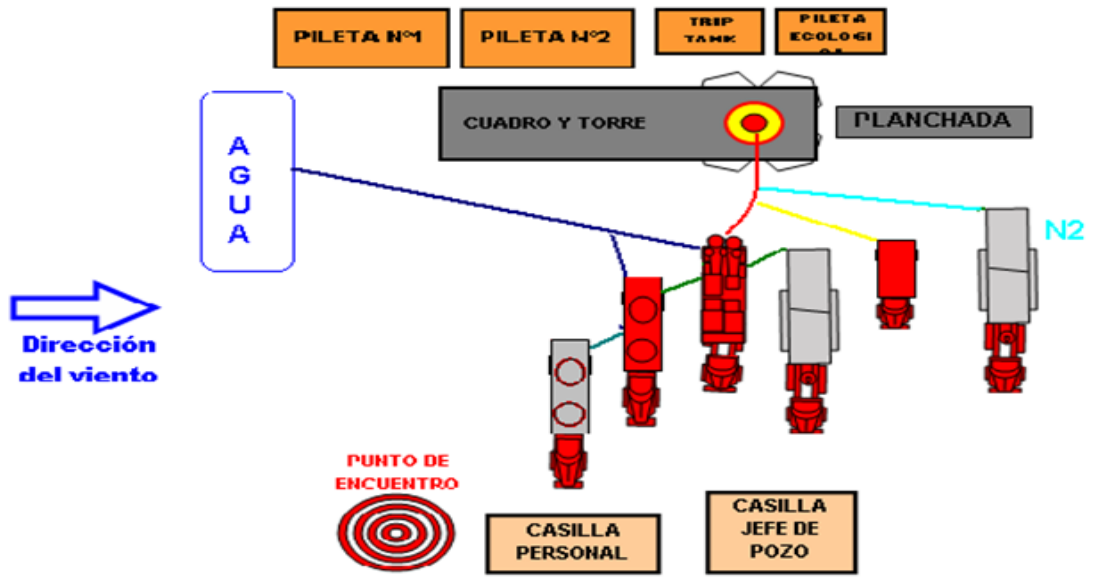


Figura 25. Ubicación equipos
(Halliburton, 2012)

METODOLOGÍA

3. METODOLOGÍA

3.1 METODOLOGÍA DEL DISEÑO DEL ESPACIADOR ESPUMADO.

El ingeniero encargado de diseñar la cementación, además de conocer el objetivo de la cementación, requiere de la siguiente información: datos del estado mecánico del pozo, datos de la formación, y datos de los fluidos usados durante la cementación.

3.2 INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA CEMENTACIÓN.

Datos del estado mecánico del pozo: diámetro de agujero descubierto, profundidad, desviación, diámetro, peso y grado de la tubería de revestimiento a cementar y de la tubería de revestimiento anterior (revisar Anexo III).

Datos de la formación: temperatura de fondo elástica y circulante, tipo de formación, presión de poro y presión de fractura. Se recomienda el uso de la guía práctica para la predicción de geopresiones para cuantificar estos dos últimos parámetros, como se detallan en la tabla 4. Estos datos se obtienen a partir del Tally del pozo indicados en el Anexo II y III.

Se recomienda efectuar pruebas de compatibilidad cemento-lodo para evitar reacciones indeseables entre los fluidos.

Tabla 4. Información del pozo

AUCA SUR 11D Liner de Produccion 7", 26 lb/ft, C-95 @ 10890 ft			
Temperatura Estática	200 °F	Profundidad (MD)	10890 ft
Temperatura Circulante	155 °F	Longitud Shoe Track (ft)	81.89 ft
Gradiente Poro/Fractura (psi/ft)	0.43 / 0.75		
Casing 9 5/8"	0 – 10092 [ft] (MD)		
	Diámetro Externo	9.625 [in]	
	Diámetro Interno	8.681 [in]	
	Peso Lineal y Grado	47 [lbm/ft]	N-80. BTC.
Drill Pipe 5"	0 – 8957.5 [ft] (MD)		
	Diámetro Externo	5.000 [in]	
	Diámetro Interno	4.276 [in]	
	Peso Lineal y Gradp	19.50 [lbm/ft]	S-135
Heavy Weight Drill Pipe 5"	8957.5 – 9882 [ft] (MD)		
	Diámetro Externo	5.000 [in]	
	Diámetro Interno	3.000 [in]	
	Peso Lineal y grado	49 [lbm/ft]	S-135
Liner 7"	9882 – 10890 [ft] (MD)		
	Diámetro Externo	7 [in]	
	Diámetro Interno	6.276 [in]	
	Peso Lineal y Grado	26 [lbm/ft]	C-95
Hueco Abierto	10092 – 10890 [ft] (MD)		
	Diametro (in):	8.5	
	Caliper (in):	8.97	
	% Exceso:	25% (sobre Caliper)	
	Diametro equivalente (in)	9.398	
WBM – Baroid			
Base Agua	Sin acond.	Acondicionado	
Densidad (ppg)	9.1	9.1	
Viscosidad plástica (cp)	13	16	
Punto de Cedencia (lb/100 ft ²)	25	18	
Desarrollo de gel 0s/10s/10 min	9/12/2016	8/10/2012	

(Petroecuador, 2012)

3.3. CÁLCULOS

3.3.1 DISEÑO DEL ESPACIADOR

Se programan en función de tipo de cementación por efectuar, tipo de lodo, y características de la formación. Normalmente se bombean un frente lavador y un frente espaciador con el propósito de lavar y acarrear los recortes de formación remanentes. El frente lavador es un fluido newtoniano, normalmente el agua con surfactante y densidad cercana a 1.0 gr/cm^3 . El frente espaciador es viscoso y se comporta como fluido no newtoniano. La densidad de este frente espaciador debe estar entre la densidad del lodo y la del cemento. Si el gradiente de fractura de la formación lo permite, se recomienda que la densidad del fluido espaciador sea 0.06 gr/cm^3 mayor a la del lodo.

Régimen de flujo

El régimen de flujo que ha mostrado mayor eficiencia de desplazamiento en trabajos de cementación es el turbulento, y se ha experimentado en trabajos experimentales que cuando nos e puede alcanzar por las condiciones del agujero, lo recomendable es desplazar el cemento al mayor gasto posible, cuidando de no rebasar la presión de fractura.

3.3.2 PRINCIPALES ASPECTOS DE DISEÑO

Para el diseño del espaciador se tomó como referencia el documento de la SPE 53955, de donde obtenemos los siguientes datos:

- **Calidad de la espuma**
 - La sociedad de ingenieros de petróleos (SPE), recomienda en su Rango de Trabajo: 18 – 30% (En base a estabilidad de la espuma)

- El Nitrógeno se inyecta a un flujo constante de 1200 a 1500 SCFM, ajustando el caudal del fluido base para obtener una concentración de 500 a 750 SCF/Bbl de N2 en el espaciador espumado. El esfuerzo de corte mientras se bombea dentro del
- Diferencial de presión entre 800 a 1200 psi en cabeza.
- Pozo ayuda a la homogeneidad de la espuma, recomendación de la SPE 53955.

- Volumen del espaciador espumado (Tuned+Agua)= 50 bls.
- YP: 26 lb/100 sqft

3.3.3 CÁLCULO DE VOLUMEN LÍQUIDO DEL ESPACIADOR (TUNED)

Volumen del Tuned Spacer –Agua (Volumne espumado)

$$V_{foam} = \frac{V_{liq}}{1-Q} = 50 \text{ bls} \quad [1]$$

Calidad de la espuma, 30%

$$Q = 1 - \frac{V_{liq}}{V_{foam}} \quad [2]$$

Si utilizamos los 50 barriles como volumen espumado y con una calidad de 30% se obtiene el volumen de líquido.

Volumen Líquido (Tuned)

$$(Q - 1) = \frac{V_{liq}}{V_{foam}} \quad [3]$$

$$(V_{liq}) = (1 - Q) * V_{foam}$$

$$(V_{liq}) = (1 - 0.30) * 50 \text{ Bls}$$

$$V_{liq} = 35 \text{ Bls}$$

3.3.4 DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE N2

Volumen específico del Nitrógeno

En función de las condiciones de presión y temperatura de superficie, usando la sección VI at 80°F and 1200 psi como presión de cabeza, del documental de Cálculos con Nitrógeno de Halliburton obtengo la concentración de Nitrógeno.

$$V_{s'} / V = \frac{scf}{bls} \quad [4]$$

Tabla 5. Concentración de Nitrógeno

PRESSURE-TEMPERATURE VOLUME TABLES FOR NITROGEN GAS*
V'/V IN SCF/BBL

PSIG	60°F	80°F	100°F	120°F	140°F	160°F	180°F	200°F	220°F
P									
100	45	43	41	40	39	37	36	35	34
200	84	80	78	75	72	70	68	66	64
300	122	118	114	110	106	103	99	96	94
400	161	155	150	145	140	135	131	127	123
500	200	193	186	180	174	168	163	158	153
600	239	230	222	214	207	201	194	188	183
700	278	268	258	249	241	233	226	219	213
800	317	305	294	284	275	266	258	250	242
900	356	343	330	319	308	298	289	276	267
1000	395	380	367	354	342	326	315	305	295
1100	434	418	403	389	371	358	345	334	324
1200	473	455	439	424	403	389	375	363	352

(Halliburton, 2012)

De la Tabla se obtiene la concentración de nitrógeno:

$$V_s / V = 455 \frac{scf}{bls}$$

Caudal de N2: 455 scf/bls x 3 bls/min = **1365 SCF/min**

N2: 455 SCF/bls x 35 bl = **15925 SCF**

RPM Bomba: 1365 SCFM / (2.93 SCFM/RPM) = **465 RPM**

3.3.5 CALCULO DEL TAMAÑO DEL CHOKE REQUERIDO

$$Q = 1.64(D^2) \left((V_s)/V \right) \sqrt{\frac{P}{\rho}} \quad [5]$$

Tabla 6. Datos y parámetros para cálculo de choke

Q	Caudal del nitrógeno a través del choke			scfm
D	Diámetro interno del Choke			pulgadas
Vs/V	Volumen específico de Nitrógeno			scf/bbl
P	Presión de choke diferencial			psi
ρ	Densidad del gas			lb/gal
DATA:				
WHP	1200	psi		
Q	1365	scfm	1.9656	
Vs/V	455	scf/bbl		
P	800	psi		
ρ	0.78795564	lb/gal		

(Halliburton, 2012)

La densidad es obtenida mediante el software STINWIN de Halliburton.

$$D = \sqrt{\left((Q/1.64) * \left(1/(V_s/V) * \sqrt{\frac{P}{\rho}} \right) \right)} = p \lg \quad [6]$$

$$D = \sqrt{\left((1365/1.64) * \left(1/(455) * \sqrt{\frac{800}{0.78}} \right) \right)} = 0.2396 p \lg$$

Nota: los choke vienen en medida de 1-64 pulgadas.

$$D = 0.2396 * 64 = 15.3in$$

El choke a utilizarse será de 15.3 pulgadas.

3.3.6 CÁLCULOS DE LECHADA

En la figura 26, se puede observar el esquema del pozo con las diferentes tuberías de revestimiento y profundidades

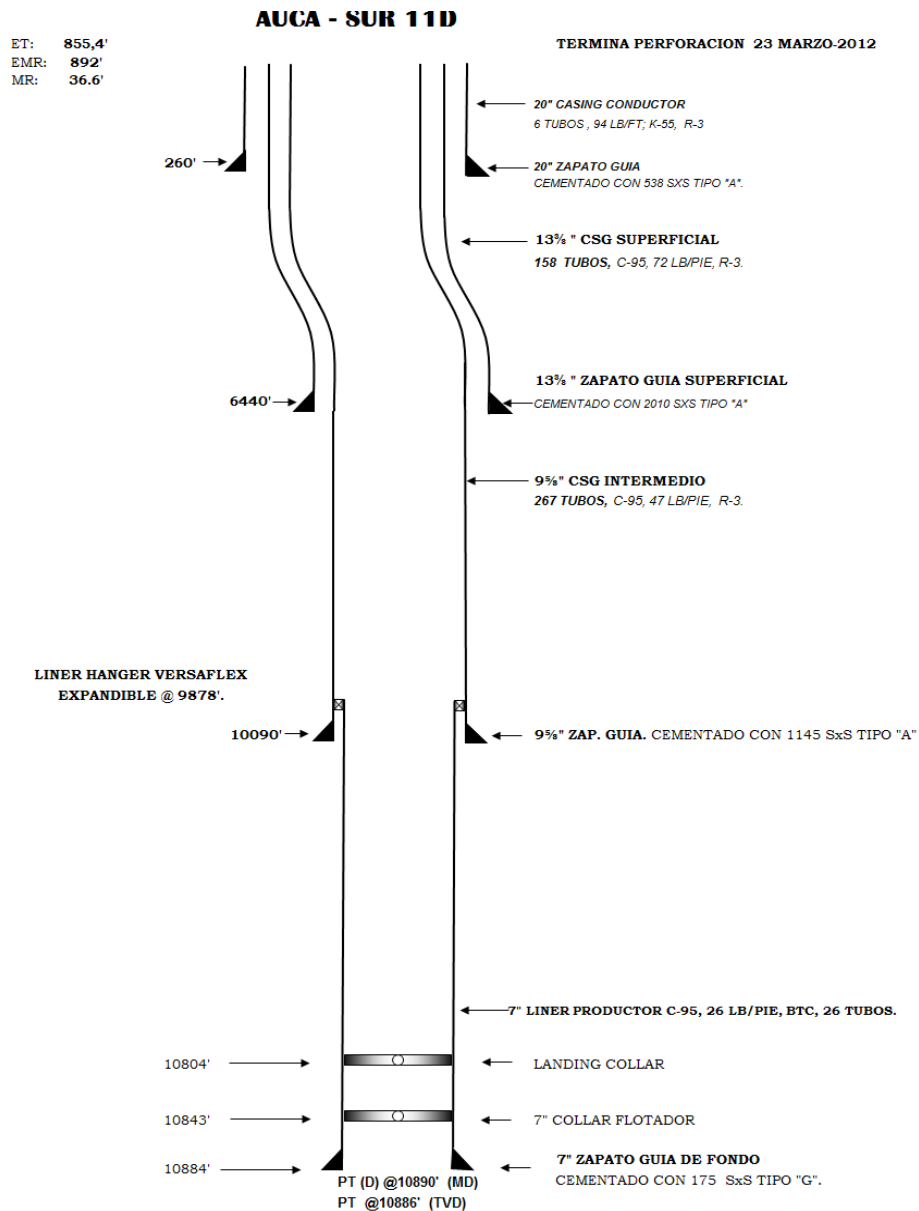


Figura 26. Esquema del pozo
(Petroecuador, 2012)

Consideraciones:

- El tope del cemento (TOC) es igual al Tope de la lechada lead (TOL)
- 14 barriles de cemento sobre e TOL por experiencia
- TOC Tail Lechada = zapato 9 5/8"
- Densidad del lodo: 9.1 [lbm/gal]
- Densidad del agua: 8.40 [lbm/gal]
- Temperatura circulante de fondo (BHCT): 155 °F
- Temperatura estática de Fondo: (BHST): 200°F
- Longitud Shoe Track (ft): 81.89 ft
- Gradiente Poro/Fractura (psi/ft): 0.43 / 0.75
- Diámetro de Hueco : 8.97pulgadas
- % Exceso 25%
- Rendimiento Lead:1.3 [ft]³/sk
- Rendimiento Tail: 1.37 [ft]³/sk

Volumen de lechada Lead

$$Vol_{Lead} = \left(\frac{ODin^2 - ID^2}{1029.4} \right) * Longitud\ cubierta(ft) \quad [bls] \quad [7]$$

$$Vol\ Lead = \left(\frac{8.681in^2 - 7^2}{1029.4} \right) * 200$$

$$Vol\ Lead = 5bls$$

$$\# Sa\ cos = \left(\frac{Vol_{bls} * 5.6146}{Rendimiento \left(\frac{ft^3}{sk} \right)} \right)$$

$$\# Sacos = \left(\frac{5 * 5.6146}{1.3 \left(\frac{ft^3}{sk} \right)} \right) = 22 sks$$

Volumen de lechada Tail

$$Vol_{Tail} = V_{Anular} + V_{Shoe track} \quad [bls] \quad [8]$$

$$Vol_{Tail_{Anular}} = \left(\frac{8.971 in^2 - 7^2}{1029.4} \right) * 798 ft * 1.25 = 30.48 bls$$

$$Vol_{Tail_{Shoe Track}} = \left(\frac{6.276^2}{1029.4} \right) * 81.89 ft = 3.1 bls$$

$$Vol_{Tail} = 30.48 + 3.1 = 33 bls$$

$$\# Sacos = \left(\frac{33 * 5.6146}{1.37 \left(\frac{ft^3}{sk} \right)} \right) = 135 sks$$

Desplazamiento

Con los datos obtenidos en la tabla 4 relacionados a la tubería se procede a calcular el desplazamiento.

$$Desplazamiento_{bls} = \left(\frac{ID^2}{1029.4} \right) * \Delta Distancia (ft) \quad [9]$$

$$Desplazamiento_{DP1} = \left(\frac{4.276^2}{1029.4} \right) * 8957.5 (ft) = 159 bls \quad Lodo$$

$$Desplazamiento_{DP2} = \left(\frac{3^2}{1029.4} \right) * 924.5 (ft) = 8 bls \quad Agua$$

$$Desplazamiento_{Liner} = \left(\frac{6.276^2}{1029.4} \right) * 925.11 (ft) = 35 bls \quad Agua$$

- El desplazamiento (bls) de lodo= 159 bls
- El desplazamiento (bls) de Agua

$$\text{Desplazamiento}_{\text{Agua}} = \text{Desplazamiento}_{\text{DP2}} + \text{Desplazamiento}_{\text{liner}} \quad [10]$$

$$\text{Desplazamiento}_{\text{Agua}} = 8\text{bls} + 35 = 43\text{bls}$$

3.3.7 RESUMEN DE PROGRAMA DE BOMBEO AL POZO

Tabla 7. Resumen de programa de bombeo en pozo

(Halliburton, 2012)

Fluido #	Tipo de Fluido	Nombre del Fluido	Densidad lbm/gal	Caudal bbl/min	Volumen
1	Lavador	Mud Flush III	8.4	4.0	15 bbl
2	Lavador	MCA	8.6	4.0	20 bbl
3	Lavador	Mud Flush III	8.4	4.0	15 bbl
4	Espaciador	Tuned Spacer III	10.0	3.0	35 bbl
5	Lavador	Mud Flush III	8.4	4.0	20 bbl
6	Cemento	VersaCem	15.0	3.0	5 bbl
7	Cemento	LifeCem	15.0	4.0	32.5 bbl
8	Agua	Agua	8.4	10.0	50 bbl
9	Lodo	Lodo	9.1	8.0 – 9.0	153 Bbl

El bombeo de fluidos se realizo de acuerdo a lo indicado en la Tabla 7, como se puede ver en el anexo I, resumen operacional de la cementación.

3.4 PRUEBAS DE LABORATORIO

3.4.1 ESPACIADOR

TÍPICO DISEÑO ZONESWEEPSM

- Fluido Base Tuned Spacer™ con un YP inicial de 20 o 30
- Surfactantes espumantes como ZoneSealant 2000, ZoneSealant, HowcoSuds, o HC-2 al 2% a 4% en volumen del fluido base Tuned Spacer.

En la tabla 8, se muestra la comparación los datos obtenidos de Yield point y viscosidad plástica para el espaciador solo y el espaciador espumado, de tipo Tuned Spacer III @ 10 ppg, YP: 26 lb/100 sqft

Tabla 8. Comparación de Reologías del Tuned Spacer III-Tuned espumado

Espaciador: Tuned	
Aditivos	Concentracion
Agua	36.01 gal/bbl
Tuned	48.15 lb/bbl
CaCO3	64.183 lb/bbl
HC-2	0.84 gal/bbl

Tuned			Tuned Espumado		
Densidad: 10.0 ppg			Densidad: 10.0 ppg		
VELOC.	T. AMB(°F)	BHCT(°F)	VELOC.	T. AMB(°F)	BHCT(°F)
	80	155		80	155
3	10	14	3	22	22
6	12	16	6	25	28
100	28	30	100	50	52
200	35	35	200	59	59
300	40	40	300	67	67
600	52	49	600	78	79
300	40	39	300	65	67
200	33	35	200	57	59
100	26	29	100	48	50
6	11	15	6	24	27
3	10	14	3	21	23
Pv (cp)	19.44	14.950	Pv (cp)		
YP (lb/100 ft²)	22.01	26.27	YP (lb/100 ft²)		

(Halliburton, 2012)



Figura 27. Espaciador laboratorio
(Halliburton, 2012)

En la figura 27 se puede evidenciar las pruebas realizadas en Laboratorio para un espaciador normal y uno espumado.

Laboratory Tests			
°F	Model	PV, cp	YP, lb/(100*in ²)
155.0	GHB4	2.09	6.39
80.0	GHB4	2.76	3.22
80.0*	GHB4	1175.29	13.27

Figura 28. Viscosidad y Yield Point
(Halliburton, 2012)

Aparentemente el espaciador espumado Incrementa la viscosidad. El perfil plano ayuda a mantener una interface entre el lodo desplazado y el espaciador espumado, ayudando así a evitar una canalización, como se evidencia en los resultados de laboratorio obtenidos en la figura 28.

3.4.2 PRUEBAS DE LABORATORIO LECHADA CEMENTACIÓN

3.4.2.1 Viscosidad.

Se adecua la viscosidad necesaria para asegurar el desplazamiento más eficiente del lodo que deberá proporcionar buena adherencia en la formación y la tubería de revestimiento. EL API recomienda una viscosidad de lechada de 10 a 15 bc (unidades de consistencia usadas en pruebas de cementos).

3.4.2. 2 Agua libre

Es el volumen de agua que se separa de la lechada se mide después de haber agitado la lechada 20 minutos en el consistómetro atmosférico y haberla dejado en reposo dos horas.

El máximo valor de agua libre aceptado por el API es de 1.4 %. El agua libre se evita utilizando la cantidad de agua adecuada y mezclando la lechada correctamente.

3.4.2.3 Tiempo de bombeabilidad

Se debe considerar el tiempo en preparar, bombear la lechada, soltar tapones, desplazar cemento, más un tiempo adicional de una hora como factor de seguridad. El tiempo de bombeo viene dado en unidades BC (Bearden Unit), La Norma API nos dice que a los 100 BC una lechada ya no es bombeable, pero Halliburton considera los 70 BC. En la figura 29 se observa que el tiempo de bombeo para la lechada lead del pozo Auca Sur 11 es de 6h 47 minutos y para la lechada tal se puede observar en la figura 31.

3.4.2.4 Resistencia a la compresión

Se debe verificar la resistencia a la compresión den 8,12 y 24 horas de permanecer en reposo a condiciones de presión y temperatura de fondo del pozo. Es generalmente aceptado como resistencia mínima para soportar el peso de la tubería de revestimiento, 500 psi (35kg/cm²) a las condiciones de presión y temperatura estática del fondo del pozo. En la figura 30 se observa que la lechada lead obtuvo los 500 psi a las 9h 31 minutos. En el caso de la lechada Tail a las 6 h 41 minutos, como muestra la figura 32.

3.4.2.5 Densidad

La densidad de la lechada debe ser igual o ligeramente superior a la del fluido de perforación, considerando no rebasar el gradiente de fractura.

3.4.2.6 Control de filtrado

La pérdida de fluido en lechadas para tuberías de revestimiento superficiales e intermedias deberá tener valores máximos de 200 cm³/30 min, para complementos de 500 cm³/30 min y para liners de 50cm³/30 min utilizando una presión diferencial de 1000 psi a temperatura de circulación de fondo. Para evitar canalización de gas, este valor debe ser restringido a un máximo de 20 cm³/30 min a una temperatura estática del fondo.

3.4.2.7 Consideraciones especiales

Para formaciones saladas, se deberá saturar con cloruro de sodio (20 a 37%)
En caso de que la temperatura exceda los 110 °C (230°F), se usara harina de sílice. En las pruebas se debe utilizar la misma agua de mezclado que se utilizara en el campo.

3.4.3 RESULTADO DE PRUEBAS DE LABORATORIO LECHADA LEAD

Tabla 9. Información de lechada Lead

HALLIBURTON
Cementing Ecuador, Coca

LAB RESULTS - Lead

Job Information							
Request/Slurry	222691/1	Rig Name	SINOPEC 127	Date	18/MAR/2012		
Submitted By	Pablo Cabascango	Job Type	Expandable Liner	Bulk Plant	Coca		
Customer	EP Petroecuador	Location	Fco.Orellana.	Well	AUCA SUR 11D		
Well Information							
Casing/Liner Size	7"	Depth MD	10848 ft	BHST	200 F		
Hole Size	8 1/2"	Depth TVD	10459 ft	BHCT	155 F		
Drilling Fluid Information							
Mud Supplier Name		Mud Trade Name		Density	9.2 PPG		
Cement Information - Lead Design							
Conc	UOM	Cement/Additive	Sample Type	Sample Date	Lot No.	Cement Properties	
						Slurry Density	15.00 PPG
						Slurry Yield	1.3 ft3/sk
100.00	% BWOC	Dyckerhoff Class G	Bulk	Mar 21, 2012	2093	Water Requirement	5.76 GPS
0.150	% BWOC	SCR-100	Chemicals	Mar 05, 2012	11-008	Total Mix Fluid	6.12 GPS
0.012	gps	D-Air 3000L	Bulk	Mar 04, 2012	201134 1AL		
0.350	gps	HALAD-300L	Chemicals	Mar 19, 2012	USHA0 3517		
0.500	% BWOC	GasStop HT (PB)	Chemicals	Feb 16, 2012	ZM1001 28	Water Source	Fresh Water
5.76	gal/sack	Fresh Water	Lab	Mar 20, 2012	n/a	Water Chloride	N/A ppm

(Halliburton, 2012)

La tabla 9 nos indica las concentraciones y cantidades de los aditivos a utilizar teniendo en cuenta los efectos primarios, secundarios de estos y concentraciones establecidas, en cada una de los paper oficiales de ellos.

Thickening Time

Temp (°F)	Pressure (psi)	Batch Mix (min)	Reached in (min)	50 Bc (hh:mm)	70 Bc (hh:mm)	100 Bc (hh:mm)
155	5,450	60	30	06:45	06:47	06:49

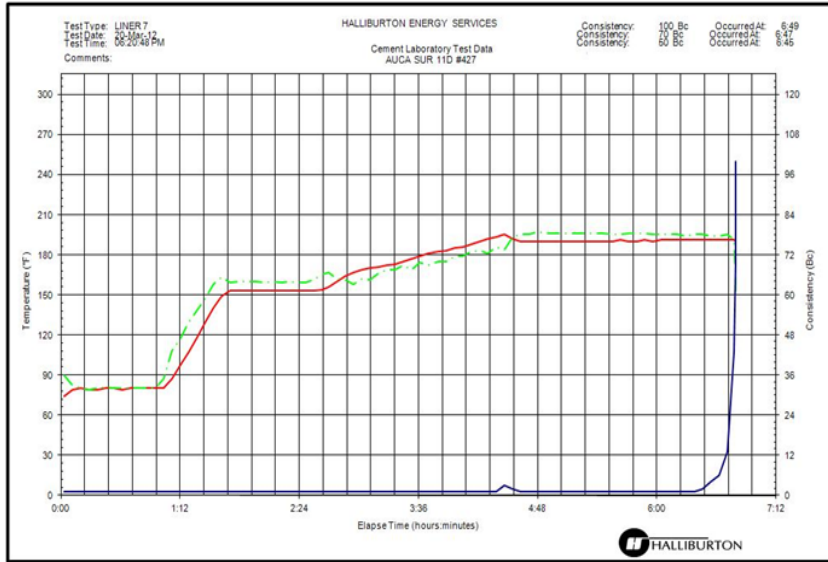


Figura 29. Tiempo bombeo Lechada Lead.
 (Halliburton, 2012)

Operation Test Results Request ID 222691/1

UCA Comp. Strength

End Temp (°F)	Pressure (psi)	50 psi (hh:mm)	500 psi (hh:mm)	24 hr C S (psi)
155	3,000	09:31	11:51	1,605

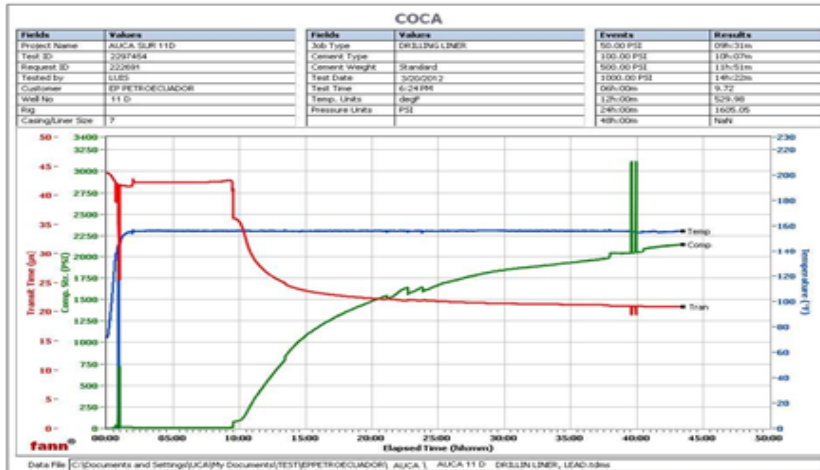


Figura 30. Esfuerzo a la compresión lead
 (Halliburton, 2012)

Tabla 10. Agua Libre- Reología-Esfuerzo de gel estático Tail

Mixability (0 - 5) - 0 is not mixable							
Mixability rating (0 - 5)							
5							
Se mezcla con facilidad en superficie.							
Free Water							
Test Temp (°F)							% FW Vert
155							0
API Static Gel Strength							
Temp (°F)	10 sec. gel	10 min.gel				Cond Time (min)	
155	21	39				20	
API Static Gel Strength							
Temp (°F)	10 sec. gel	10 min.gel				Cond Time (min)	
80	13	52				20	
API Rheology							
Temp (°F)	600	300	200	100	6	3	PV/YP
155	163	100	74	55	15	11	87.9 / 16.2
API Rheology							
Temp (°F)	600	300	200	100	6	3	PV/YP
80	186	128	97	68	15	11	117.4 / 17
API Fluid Loss							
Test Temp (°F)	Test Pressure (psi)	Test Time (min)		ISO FL (cc/30 min)	Meas. Vol.		
155	1,000	30		32	16		

(Halliburton, 2012)

La tabla 10 resumen las demás pruebas realizadas en laboratorio a la lechada lead.

Tabla 11. Información de lechada Tail

HALLIBURTON
Cementing Ecuador, Coca

LAB RESULTS - Tail

Job Information								
Request/Slurry	222690/1	Rig Name	SINOPEC 127	Date	18/MAR/2012			
Submitted By	Pablo Cabascango	Job Type	Expandable Liner	Bulk Plant	Coca			
Customer	EP Petroecuador	Location	F.co.Orellana.	Well	AUCA SUR 11D			
Well Information								
Casing/Liner Size	7"	Depth MD	10848 ft	BHST	200 F			
Hole Size	8 1/2"	Depth TVD	10459 ft	BHCT	155 F			
Drilling Fluid Information								
Mud Supplier Name	Mud Trade Name		Density			9.2 PPG		
Cement Information - Tail Design								
Conc	UOM	Cement/Additive	Sample Type	Sample Date	Lot No.	Cement Properties		
						Slurry Density	15.00	PPG
						Slurry Yield	1.37	ft ³ /sk
100.00	% BWOC	Dyckerhoff Class G	Bulk	Mar 21, 2012	2093	Water Requirement	5.4	GPS
0.012	gps	D-Air 3000L	Bulk	Mar 04, 2012	201134 1AL	Total Mix Fluid	5.81	GPS
0.400	gps	HALAD-300L	Chemicals	Mar 19, 2012	USHA0 3517			
5.000	% BWOC	Microbond HT Dry Blended	Chemicals	Mar 19, 2012	102111			
0.400	lb/sk	WellLife 734 (PB)	Chemicals	Mar 20, 2012	572254	Water Source	Fresh Water	
0.600	% BWOC	GasStop HT (PB)	Chemicals	Feb 16, 2012	ZM1001 28	Water Chloride	N/A	ppm
6.000	% BWOC	LifeCem 100	Bulk	Mar 21, 2012	061129 9			
5.40	gal/sack	Fresh Water	Lab	Mar 20, 2012	n/a			

(Halliburton, 2012)

La tabla 11 nos indica las concentraciones y cantidades de los aditivos a utilizar teniendo en cuenta los efectos primarios, secundarios de estos y concentraciones establecidas, en cada una de los paper oficiales de ellos.

Thickening Time

Temp (°F)	Pressure (psi)	Batch Mix (min)	Reached in (min)	50 Bc (hh:mm)	70 Bc (hh:mm)	100 Bc (hh:mm)
155	5,450	60	30	03:15	03:16	03:18

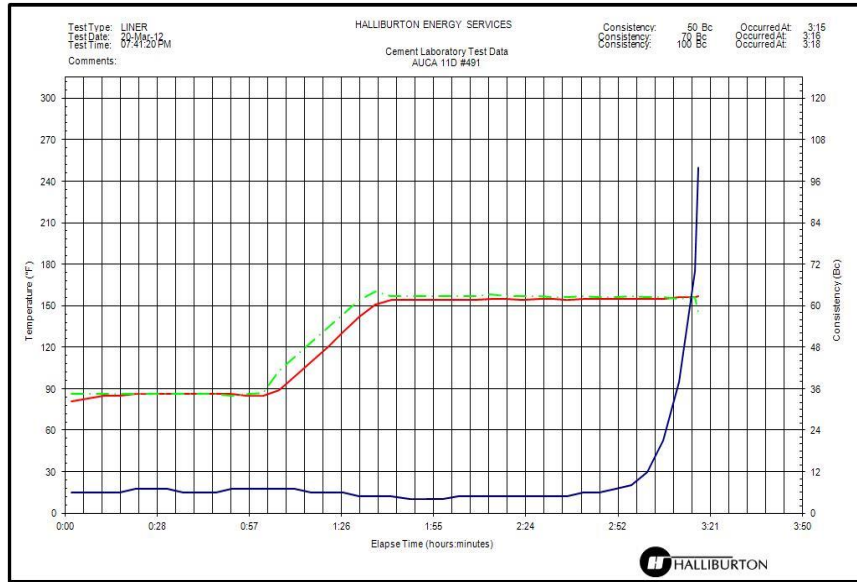


Figura 31. Tiempo bombeo Lechada Tail.
 (Halliburton, 2012)

Operation Test Results Request ID 222690M UCA Comp. Strength

End Temp (°F)	Pressure (psi)	50 psi (hh:mm)	500 psi (hh:mm)	24 hr CS (psi)
155	3,000	04:25	06:41	1,186

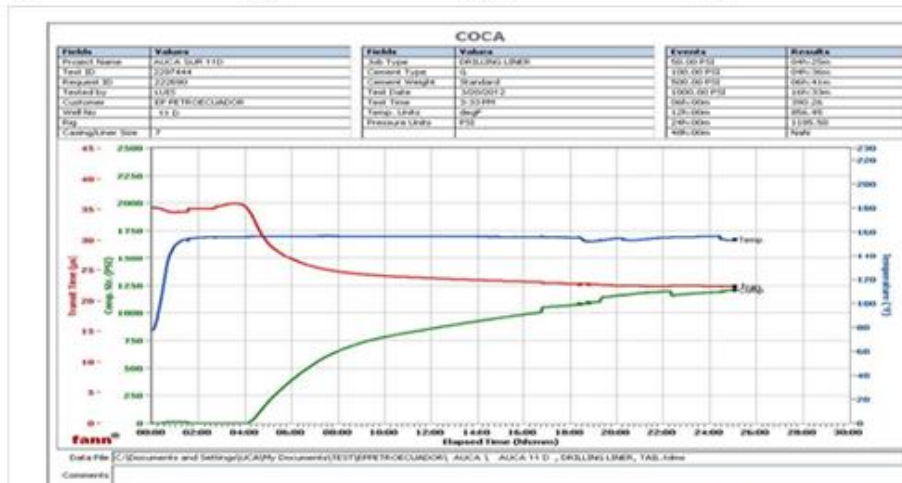


Figura 32. Esfuerzo a la compresión Tail
 (Halliburton, 2012)

La tabla 12 resumen las demás pruebas realizadas en laboratorio a la lechada tail.

Tabla 12. Agua Libre- Reología-Esfuerzo de gel estático Tail

Mixability (0 - 5) - 0 is not mixable							
Mixability rating (0 - 5)							
4							
Se mezcla con facilidad en superficie.							
Free Water							
Test Temp (°F)							% FW Vert
155							0
API Static Gel Strength							
Temp (°F)	10 sec. gel		10 min.gel		Cond Time (min)		
155	2		8		20		
API Static Gel Strength							
Temp (°F)	10 sec. gel		10 min.gel		Cond Time (min)		
80	4		9		20		
API Rheology							
Temp (°F)	600	300	200	100	6	3	PV/YP
155	48	27	18	11	3	2	24.9 / 2.2
Datos tomados en el FYSA. K1=0.235 / K2=0.961							
API Rheology							
Temp (°F)	600	300	200	100	6	3	PV/YP
80	92	51	36	22	5	4	47.6 / 4.4
Datos tomados en el FYSA. K1=0.235 / K2=0.961							
API Fluid Loss							
Test Temp (°F)	Test Pressure (psi)	Test Time (min)		ISO FL (cc/30 min)	Meas. Vol.		
155	1,000	30		24	12		

(Halliburton, 2012)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS DEL ESPACIADOR ESPUMADO.

La calidad de la espuma permanecía casi constante a las diferentes profundidades como se detalla en la Tabla13.

Tabla 13. Calidad de la espuma

Measured Depth	Density	Quality
Ft	lb/gal	%
8458.6	7.47	31.36
8576.0	7.50	31.14
8694.0	7.52	30.91
8790.0	7.54	30.73
8900.9	7.57	30.53
8989.0	7.58	30.37
9106.3	7.61	30.16
9223.1	7.63	29.96
9339.7	7.65	29.76
9455.0	7.67	29.57
9458.6	7.47	31.36

(Halliburton, 2012)

El objetivo primordial del espaciador espumado era mejorar la eficiencia de desplazamiento del lodo en el hueco. El espaciador espumado de baja densidad y alta viscosidad, permitió reducir los riesgos de pérdidas de circulación y mejoro notablemente la limpieza del hueco.

El espaciador espumado fue estabilizado obteniendo la cantidad adecuada de Nitrógeno a través de un generador hacia un fluido base gelificado que incluye un surfactante como agente espumante y estabilizador.

La concentración del N₂ se programó para obtener la densidad requerida para prevenir fracturas y pérdidas de cemento hacia formaciones débiles. La densidad del espaciador disminuyó a medida que ascendió en el anular, compensando el incremento de ECD causado por la circulación de las lechadas de cemento en el anular.

Los principales efectos de la inyección de nitrógeno en el espaciador fueron:

- Incremento el rendimiento del fluido
- Disminuyó la densidad
- Incremento la viscosidad aparente – el perfil plano ayuda a mantener una interface entre el lodo desplazado y el espaciador espumado, ayudando así a evitar una canalización
- Mayor efectividad en la remoción de lodo gelificado y parcialmente deshidratado debido al mejoramiento de la erodabilidad del espaciador. El espaciador espumado contiene una gran cantidad de energía a través del gas atrapado que contribuye significativamente a la limpieza del hueco
- Mejoramiento de las propiedades de suspensión y transporte de sólidos.
- Incremento en la estabilidad con los cambios de temperatura
- Reducción del filtrado
- Mejoró la compatibilidad con el lodo

El retorno del espaciador espumado a superficie se controló por el siguiente procedimiento:

- Se detuvo la reciprocación de la tubería antes de la circulación del espaciador.
- Se Cerró el anular del BOP
- Al Dirigir el flujo anular a través de un choque permitió mantener una contrapresión de 100 psi a 300 psi, para controlar la expansión del nitrógeno del anular hacia las condiciones atmosféricas. La figura siguiente muestra el retorno de un espaciador espumado luego de circularlo a superficie, limpiando el anular

Para garantizar la integridad de los fluidos y por seguridad, las aguas de mezcla y lavadores se prepararon una vez que el liner estaba en fondo y con parámetros de circulación estables.

4.2 ANÁLISIS POST OPERACIONAL DE LA CEMENTACIÓN DEL POZO.

- Se ubicaron dos centralizadores por junta a lo largo de los intervalos de interés, en total **20 centralizadores** semi-rígidos Centek, distribuidos en los intervalos de las arenas U, T y Hollín Superior. Los centralizadores se ubicaron de acuerdo a la litología, registros de evaluación de formación y tally. Se consiguió un Stand off promedio de 75% a lo largo de las zonas de interés.
- El cálculo de volúmenes se realizó en base al registro de calibre del pozo, usando un exceso de 15 % sobre el diámetro promedio del caliper (diámetro equivalente: 9.12 in). Según el caliper el hueco no muestra wash outs pronunciados en las secciones de lutita, se observa una geometría uniforme, por lo cual se tiene un diámetro promedio de 8.875 in.

- Se bombearon 20 Bbl de lechada Lead de 15 lb/gal, cubriendo hasta el tope del liner, incluido un exceso de 14 Bbl con el propósito de lograr un cemento sin mayor contaminación en el traslape; y 30 Bbl de lechada Tail-LifeCem de 15 lb/gal, cubriendo hasta el zapato de 9 5/8", 90 ft por encima del tope de "U" Superior a 9931 ft. Se aplicó un traslape de 190 ft.
- El diseño de la lechada Tail se realizó aplicando la filosofía Well Life, brindando a la lechada excelente control de filtrado, mejor adherencia, y minimizando el tiempo de transición de desarrollo de fuerza de gel. Además, la lechada LifeCem tiene propiedades únicas de expansión constante, es una lechada auto-curable que se activa al contacto con hidrocarburos, sellando microcanales o microanulares. Esto nos permite lograr un efectivo aislamiento zonal, soportando los diferentes tipos de cargas a los que está expuesto el pozo a lo largo de su vida productiva.
- Bajando el liner se circuló para romper geles en el zapato de 9 5/8" con 420 gpm y 1100 psi. El liner llegó a fondo sin ningún tipo de restricción a lo largo del hueco abierto. Una vez el liner en profundidad se inició la circulación con 300 gpm y 800 psi. Se fue incrementando gradualmente el caudal hasta llegar a un máximo de 400 gpm con 1100 psi. Se mantuvo reciprocando la tubería durante la circulación. La presión mostró un comportamiento estable y similar a los valores de la simulación (1100 psi a 10 bpm). Se notaba un hueco limpio y estable. En la figura 33 se observa los valores de presión y caudal de circulación.
- A diferencia de otros colgadores, el colgador Versaflex no limita la presión de circulación, lo cual nos permite lograr buenos caudales de circulación, obteniendo así una mejor limpieza y una evaluación efectiva del comportamiento de la circulación. Además, se reduce el tiempo de circulación y el tiempo estático antes de realizar la cementación, ya que

este tipo de colgador se asienta y expande luego de realizado el trabajo. El área de flujo a través del colgador es abierta y la restricción física es menor respecto a los otros colgadores de liner.

- Para garantizar la integridad de los fluidos y por seguridad, las aguas de mezcla y lavadores se prepararon una vez que el liner estaba en fondo y con parámetros de circulación estables.
- Mientras se circulaba se realizó la reunión de seguridad pre-operacional con todos los involucrados para exponer el procedimiento operacional y tratar asuntos de seguridad. Se conectó las líneas a la cabeza de cementación, y se probó con 6000 psi.
- Luego de probar las líneas, se continuó circulando hasta terminar de acondicionar el lodo y mientras se pre mezclaban las lechadas lead y tail. Las propiedades finales del lodo fueron: PV: 12 cP; YP:17 lb/100ft²; Perfil de geles: 4/6/8.

Cementación Liner de Producción 7"
AUCA SUR 11D EP PETROECUADOR
Prueba y Acondicionamiento de Equipo de Nitrógeno

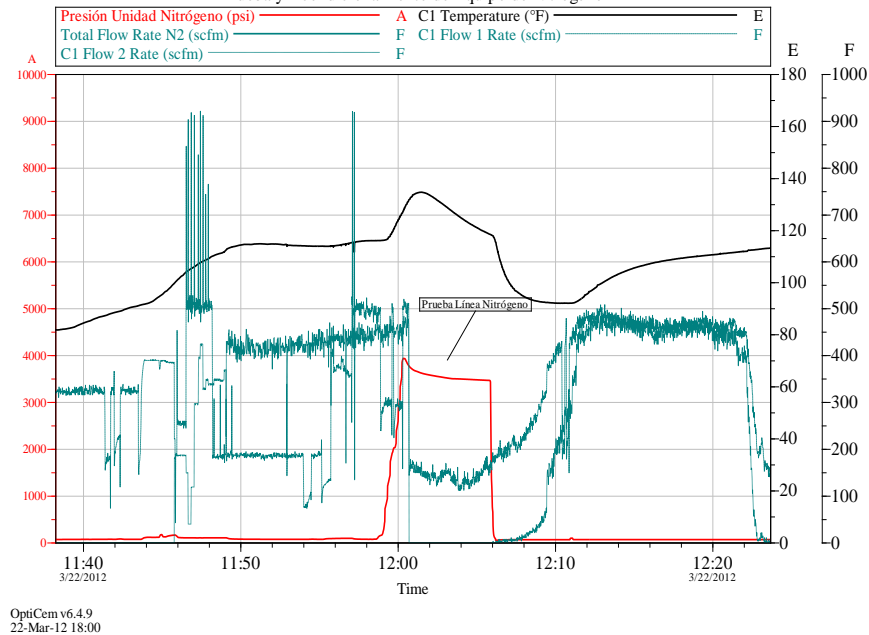


Figura 33. Prueba y acondicionamiento de equipo de nitrógeno
(Halliburton, 2012)

- Luego de mezclar las lechadas lead y tail en la Unidad, se las acondicionó en el Batch Mixer hasta lograr la densidad requerida de acuerdo al programa. A continuación, se paró la circulación, se cerró la válvula manual del TopDrive y se llevó a cabo el bombeo de los fluidos según el programa.
- Posteriormente se liberó el tapón dardo de la cabeza de cementación. Se inició el desplazamiento como muestra la figura 34, observando el movimiento evidente del testigo. Se desplazó con 50 bbl de agua a 10 bpm y con 146 bbl lodo a 9 bpm. Se notó el enganche de tapones con un pico de 2400 psi a los 160 bbl. Se asentó tapón a los 196 bbl total desplazados, presurizando desde 1900 psi hasta 2400 psi. La presión máxima en el desplazamiento fue 3500 psi. Los retornos fueron normales durante todo el trabajo.

- Se mantuvo la presión de asentamiento de 2400 psi durante 5 minutos, se liberó presión y se observó el retorno de 1.5 bbl de backflow, confirmando el correcto funcionamiento de las válvulas flotadoras. Aprovechando la ventaja de poder reciprocar la sarta con el colgador Versaflex se mantuvo en movimiento durante el desplazamiento.

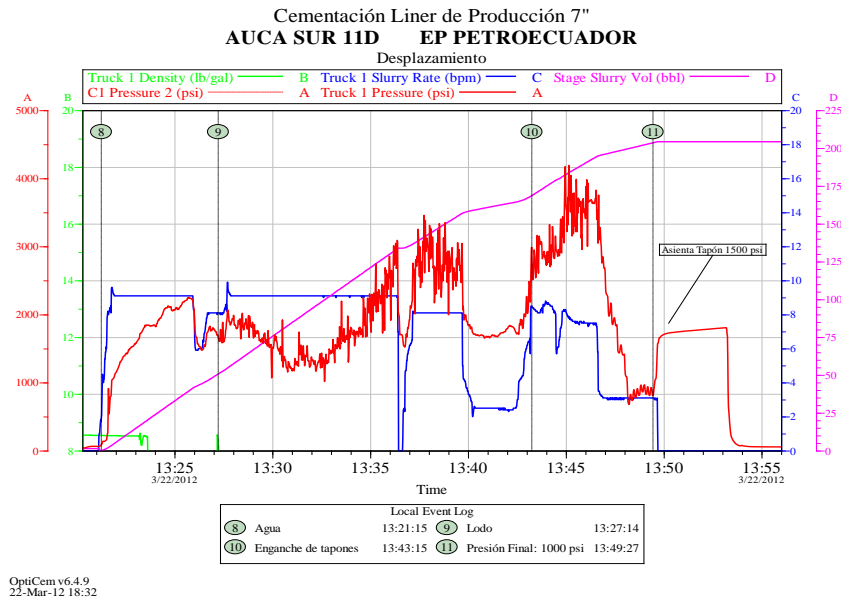


Figura 34. Desplazamiento de fluidos
(Halliburton, 2012)

- De acuerdo a la presión de desplazamiento se observa que cuando entran los lavadores al anular la presión incrementa debido a los efectos de limpieza. Luego del enganche de tapones se incrementó nuevamente el caudal para no perder eficiencia de desplazamiento y se notó cierta restricción debido a la limpieza y barrido realizado en el hueco. Sin embargo, no se evidencia empaquetamientos y los retornos fueron normales todo el tiempo.

- Se soltó la esfera en caída libre y realizó las maniobras para la expansión del Colgado. Se presurizó con la unidad de cementación a 0.5 bpm hasta observar la expansión a 3800 psi, según se observa en la figura 35.

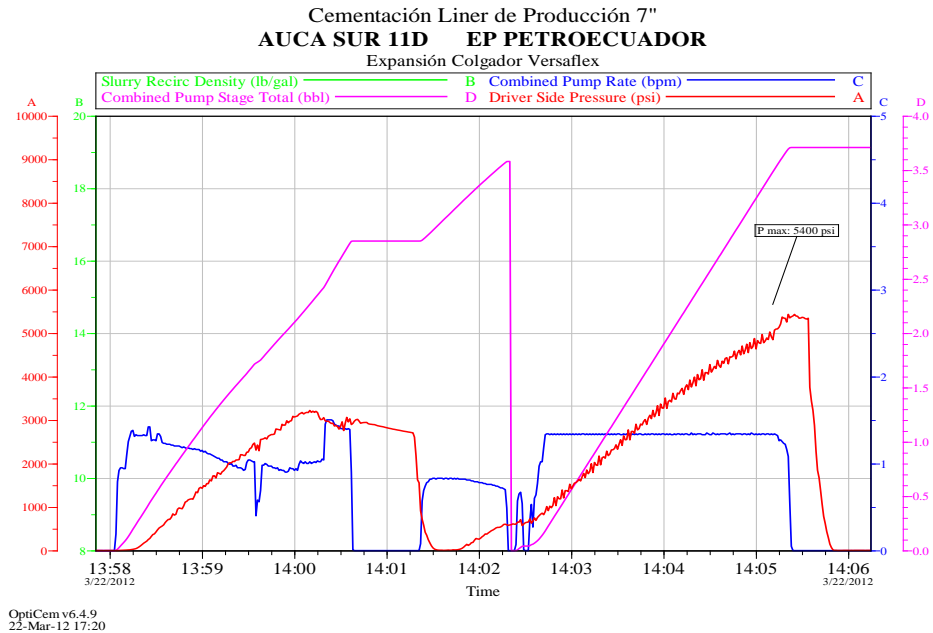


Figura 35. Expansión colgador versaflex
(Halliburton, 2012)

La presión en el desplazamiento muestra un incremento de presión desde la acción de los lavadores en el anular, debido a los efectos de limpieza. A pesar que la presión real es más alta la tendencia es similar al diseño. Se nota claramente efectos de restricción, viscosidad, y arrastre de suciedad. Sin embargo no se llegó a un empaquetamiento y los retornos fueron normales todo el tiempo.

Luego de la expansión, se probó el asentamiento con 100 KLb de tensión, se liberó la herramienta sin inconvenientes, se levantó circulando en directa a 450 gpm con 1250 psi. Se observó el retorno de todo el tren de lavadores y espaciadores gastados y contaminados, y aproximadamente unos 40 Bbl de la

lechada removedora contaminada. Confirmando el diseño y volúmenes adecuados en la Cementación. Al final, se dejó el pozo lleno de agua.

4.3 ANÁLISIS DEL EFECTO DEL ESPACIADOR

4.3.1 REGISTRO POZO ANTES DE LA CEMENTACIÓN

En la figura 36 se puede observar el registro de las arenas U, T y formación Hollín antes de la cementación con el uso del espaciador espumado. De esta grafica es importante resaltar los reservorios Heterogéneos: hollín alta presión y formaciones U y T débiles; Wash out característicos en lutitas, presentes en la formación U y Hollín.

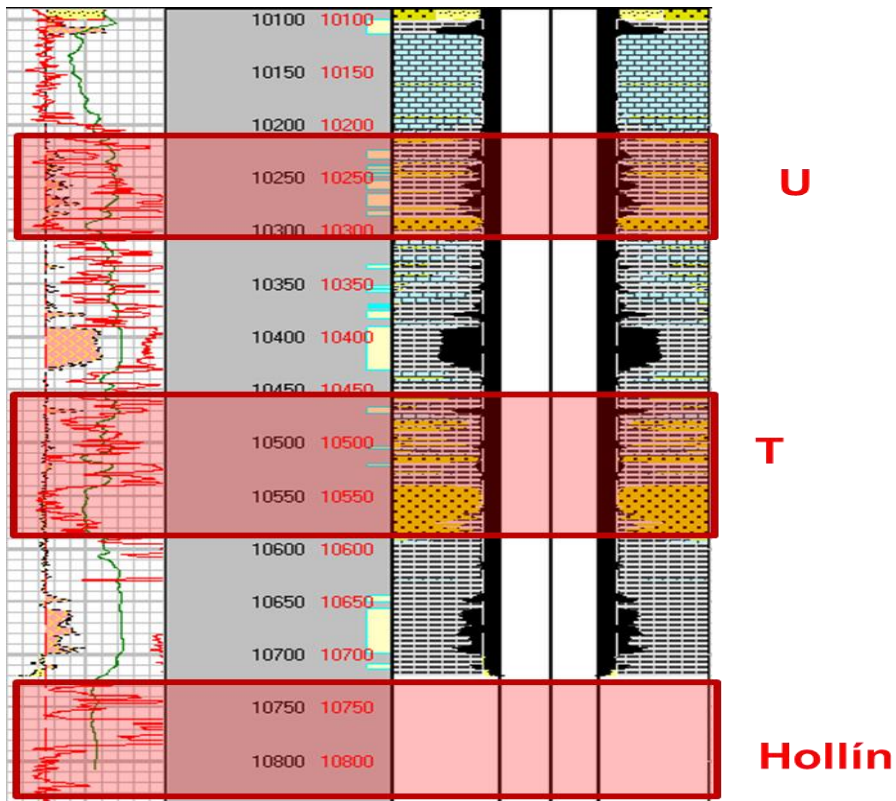


Figura 36. Registro pozo antes de la cementación
(Petroecuador, 2012)

4.3.2 REGISTRO POST JOB

4.3.2.1 Arena U

Comprendida entre 10200-10300 pies, en la figura 36 se puede observar lo siguiente:

CBL: indica una amplitud menor a 5mV, lo que significa un buen cemento adherido al casing. El registro VDL, me permite observar que tengo buena adherencia de Cemento a formación, reflejando que los wash out presentes antes de la cementación fueron cubiertos de manera correcta y La presión baja de la zona fue despreciable. El registro CAST-V me indica que tengo presencia de canales de agua.

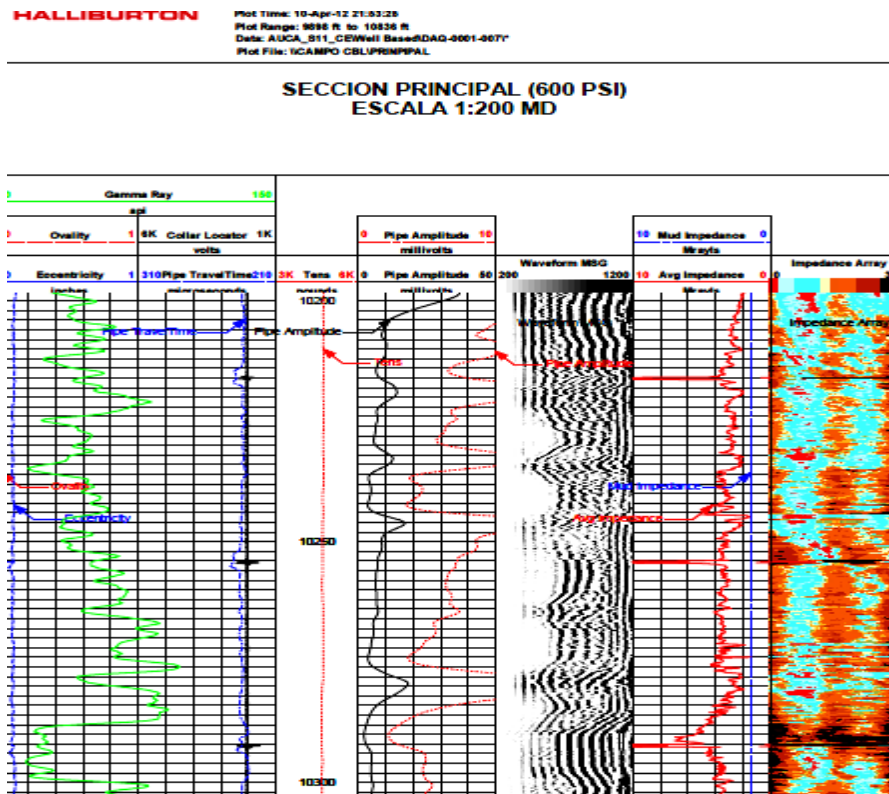


Figura 37. Registro de cemento arena “U”

(Halliburton, 2012)

4.3.2.2 Arena T

De 10300-10450 pies, se puede observar los siguientes resultados de la figura 37:

CBL: indica una amplitud al menor de 5 mV, lo que significa buena adherencia del cemento al casign. El registro VDL, me permite observar que tengo buena adherencia de casing-cemento, y buena adherencia formación cemento, El registro CAST-V me indica que tengo presencia de pequeños canales de agua y gas en la parte superior de la formación, en la parte inferior de la formación indica buen cemento.

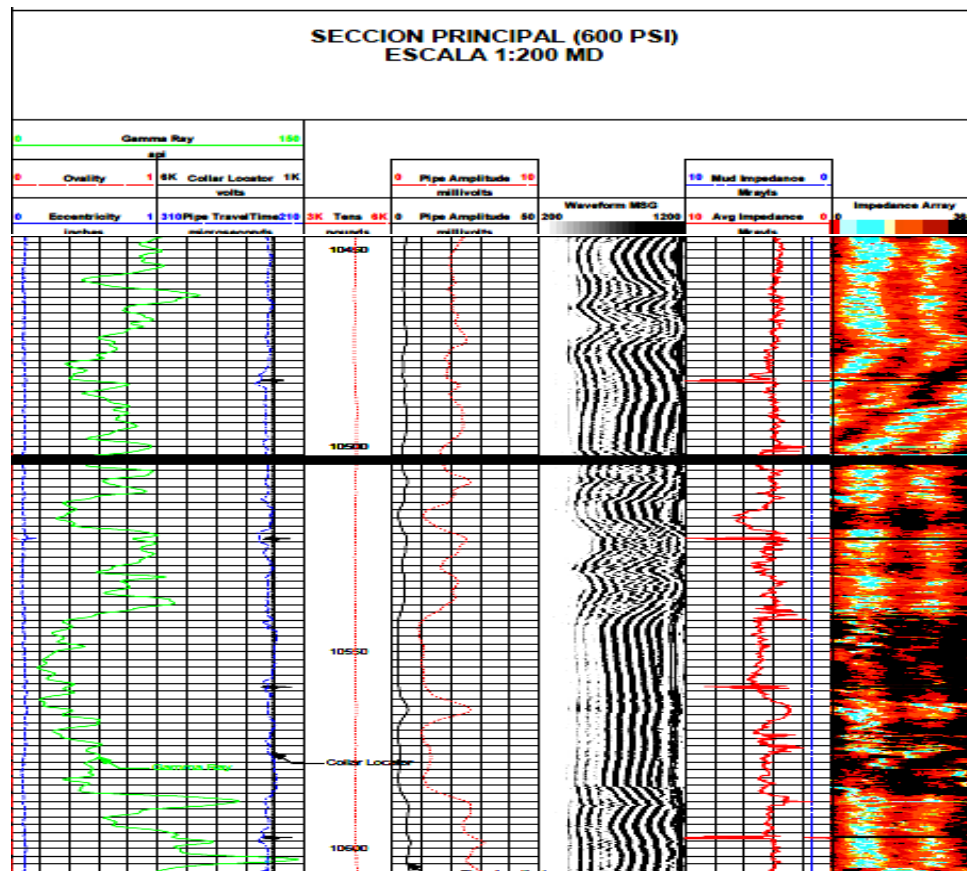


Figura 38. Registro de cemento arena "T"

(Halliburton, 2012)

4.3.2.3 Formación Hollin

Desde 10750-10800 pies, con presiones entre 3900 y 4100 psi, se puede observar los siguientes resultados mostrados en la figura 87:

CBL: en Hollin Superior indica una amplitud mayor de 5 mV, lo que significa mala adherencia del cemento al casing. El registro VDL, me permite observar que tengo mala adherencia adherencia de casing-cemento, y adherencia formación cemento, El registro CAST-V me indica que tengo presencia de pequeños canales de agua y gas. En hollín inferior el CBL me indica que en la parte inferior (10752-10760) de la formación tengo buen cemento, despreciando la presencia de presiones altas y el no efecto de espaciador espumado.

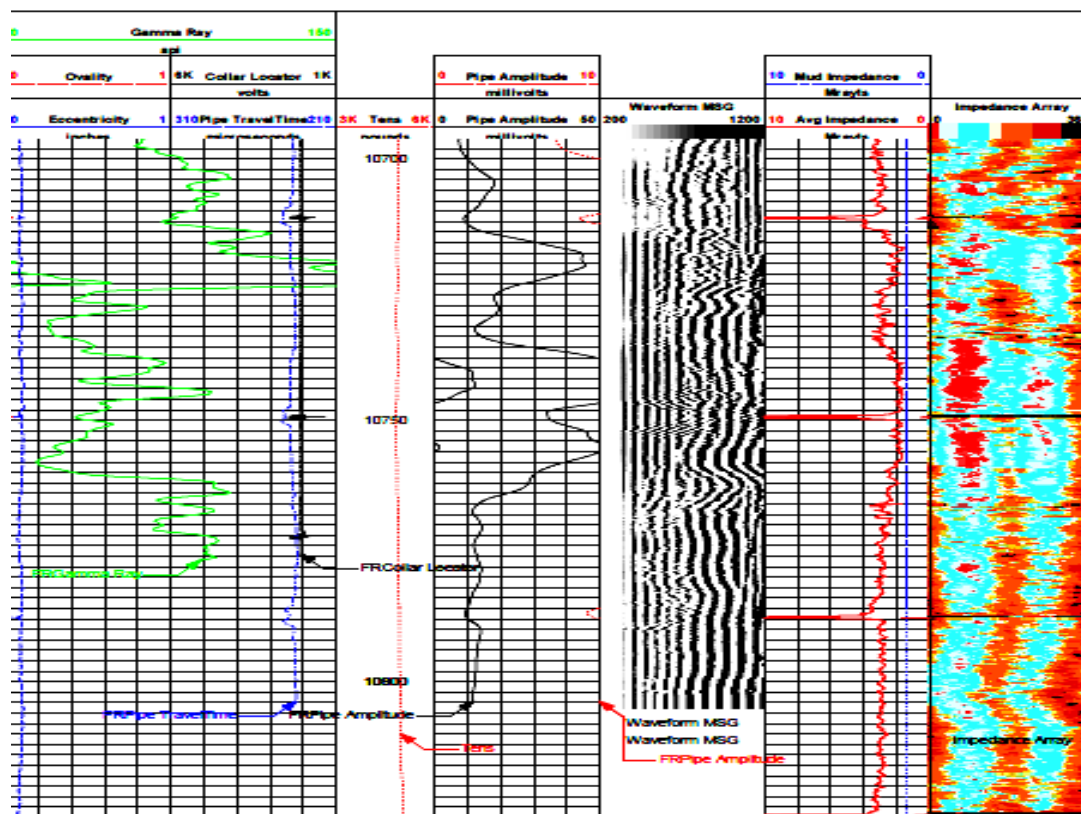


Figura 39. Registro cemento formación Hollin
(Halliburton, 2012)

4.3.3 PRODUCCIÓN DEL POZO

- De acuerdo al registro de cementación en la arena “U” se obtiene buena adherencia del cemento al casing y de la formación al casing, indicando que los wash out de esa zona fueron cubiertos. En la formación Hollín inferior se obtiene buena cementación, se descarta en efecto a la diferencia de presiones.
- El cliente decide perforar Hollín inferior sin tener éxito.
- Se decide realizar prueba de admisión por anular a 600 psi, se observa comunicación entre casing y anular
- Se perfora hollín superior y nos e obtiene producción, se realiza prueba de admisión sin éxito.
- El cliente decide asentar tapón y perforar la arena “T” superior, obteniendo buenos resultados de producción: producción diaria=672bls

4.4 ESTUDIO COSTO-BENEFICIO

Detener las pérdidas por circulación, limpiar wash out, controlar reservorios con presiones heterogéneas, antes de que estén fuera de control es crucial para el logro de las operaciones seguras y rentables desde el punto de vista económico. El impacto de estos factores está directamente relacionado con el costo del equipo de perforación, el fluido de perforación, entre otros.

En cementación la pérdida por circulación se traduce en insuficiente relleno de cemento en el espacio anular ya sea por fuga durante la etapa de bombeo o por retorno del cemento después de detener las bombas, ocasionando problemas como aislamiento inadecuados de zonas, problemas de corrosión por la deficiente distribución del cemento. En ciertas situaciones las operaciones correctivas son los llamados squeeze o cementación forzadas realizados después de realizar una prueba de admisión. Que pueden reparar el daño pero

son costosas y en su gran mayoría sin éxito. La misma solución se presenta en el caso de que no se logre limpiar los wash out del pozo y se obtuvo mala cementación y cuando no se controla las presiones de diferentes reservorios. En el pozo Auca Sur 11 para la cementación del liner de 7 se realizó una cementación con un espaciador espumado para alivianar la columna hidrostática y evitar pérdidas por circulación, limpiar los wash out y controlar los reservorios heterogéneos.

Durante la cementación no se obtuvo pérdidas por circulación y los resultados de la cementación fueron indicados en el paso 4.3 de este capítulo.

La cementación con el espaciador espumado tiene un costo de \$ 91218 y de una cementación con espaciador normal \$ 85425, los cargos de estas los puede ver en la tabla 14 y figuras 39, figura 40 y 41.

Tabla 14. Costos cementación con espaciador espumado
(Halliburton, 2012)

Costos	Cementación con espaciador espumado	Cementación con espaciador Normal
Costo por servicios (USD)	5779	13197
Costos Materiales (USD)	79646	79646
Nitrógeno	5793	0
Total Cementación primaria	91218	85425
Cementación remedial		
Prueba de admisión	0	9500
Squeeze	0	24500
Total Cementación primaria y Remedial	0	34000

			PSL	Boots&Cools	FECHA INICIO	21 de Marzo de 2012
					FECHA FIN	22 de Marzo de 2012
CLIENTE:	E.P. PETROECUADOR		No CONTRATO	L/P 2009006	Orden se Servicio No	
POZO:	AUCA SUR 11D		PROVINCIA	ORELLANA	CIUDAD	FCO ORELLANA
CAMPO:	AUCA SUR					
TALADRO:	SINOPEC 127					
DESCRIPCION DEL SERVICIO:		Servicios Cementación de Liner de Producción 7" con Espaciador Espumado con Nitrógeno				
No. PAG.	No	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO	PRECIO
CONTRATO	CODIGO				UNITARIO	TOTAL
1	01-201	Viaje de ida por unidad de bombeo (1)	60.74	KMT	\$ 5.25	\$ 318.89
2	01-216	Registrador electrónico de presión, rata y densidad	1	UND	\$ 487.40	\$ 487.40
6	03-101	Viaje de ida por tanque convertidor, por Km	60.74	KMT	\$ 5.25	\$ 318.89
6	03-104	Cargo básico, primeras 4 horas o fracción	1	UND	\$ 3,023.94	\$ 3,023.94
6	03-109	Tanque de 2000 Gls o equivalente por trabajo	1	UND	\$ 1,242.21	\$ 1,242.21
6	03-110	Generador de espuma por trabajo	1	UND	\$ 387.93	\$ 387.93
			TOTAL		US \$	\$ 5,779.26
Pablo Cabascango						
REPRESENTANTE DE HALLIBURTON (NOMBRE EN LETRA DE IMPRENTA)		REPRESENTANTE DE HALLIBURTON (FRMA)				
Ing. Alfredo Obando		22 de Marzo de 2012				
CLIENTE O SU REPRESENTANTE (NOMBRE EN LETRA DE IMPRENTA)		CLIENTE O SU REPRESENTANTE (FRMA)		FECHA FIRMA CLIENTE (DD/MM/AA)		
COMENTARIOS			INFORMACION PARA LA FACTURACION			
Km Base Coca - AUCA SUR 11D = 60.74 [km]			SALES ORDER			
			DELIVERY			
			F. SAP			

Figura 40. Costos de servicio cementación con espaciador espumado (Halliburton, 2012)

				PSL	Cementing	FECHA	22 de Marzo de 2012
CLIENTE:	E.P. PETROECUADOR			No CONTRATO	LP 2009006	Solicitud Materiales No	
POZO:	AUCA SUR 11D			PROVINCIA	ORELLANA	CIUDAD	FCO ORELLANA
CAMPO:	AUCA SUR						
TALADRO:	SINOPEC 127						
DESCRIPCION DEL SERVICIO:				Materiales Cementación Liner de Producción 7"			
No.	No. PAG.	No	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	PRECIO
Item	CONTRATO	Parte				UNITARIO	TOTAL
CEMENTO Y ADITIVOS							
92	9	21091	CEMENTO IMPORTADO DYKEROFF "G", 94LB/SK	SK	175	25.73	\$ 4,502.75
33	8	21032	MICROBOND HT	LB	715	22.20	\$ 15,873.00
31	8	21031	HALAD 300L	GAL	73	74.47	\$ 5,436.31
11	8	21011	SCR-100	LB	5	36.27	\$ 181.35
37	8	21036	GAS STOP HT	LB	100	70.71	\$ 7,071.00
67	9	21066	ANTIESPUMANTES D-AIR 3000L	GAL	5	73.62	\$ 368.10
77	9	21076	MUD FLUSH III	GAL	2100	2.24	\$ 4,704.00
79	9	21078	ESPACIADOR MCA	GAL	840	4.99	\$ 4,191.60
81	9	21080	ESPACIADOR TUNED SPACER III	GAL	1470	6.57	\$ 9,657.90
99	9	21098	WELLIFE 665	LB	820	9.04	\$ 7,412.80
100	9	21099	WELLIFE 734	LB	80	32.24	\$ 2,579.20
						SUBTOTAL ACCESORIOS DE CASING	\$61,978.01
ACCESORIOS DE CASING							
203	11	21203	WELD A	EA	1	50.60	\$50.60
413	14	09006413	CENTRALIZER CENTEK 7"x8 1/2"	EA	14	438.42	\$6,137.88
415	14	09006415	SOLID STOP COLLAR 7", Centek	EA	28	105.24	\$2,946.72
						SUBTOTAL ACCESORIOS DE CASING	\$9,135.20
						SUBTOTAL MATERIALES	\$71,113.21
						IVA 12%	\$8,533.59
						TOTAL	US \$ 79,646.80
Pablo Cabascango				REPRESENTANTE DE HALLIBURTON			
REPRESENTANTE DE HALLIBURTON (NOMBRE EN LETRA DE IMPRENTA)				(FIRMA)			
Ing. Alfredo Obando				22 de Marzo de 2012			
CLIENTE O SU REPRESENTANTE (NOMBRE EN LETRA DE IMPRENTA)				CLIENTE O SU REPRESENTANTE (FIRMA)			
				FECHA FIRMA CLIENTE (DD / MM / AA)			
COMENTARIOS					INFORMACION PARA LA FACTURACION		
Cemento: (Lead)30[sk]+(Tail) 145[sk] = 175[sk]					SALES ORDER		9365382
					DELIVERY		
					F. SAP		

Figura 41. Costos de materiales de cementación con espaciador espumado (Halliburton, 2012)

				PSL	Boots&Coots	FECHA	22 de Marzo de 2012
CLIENTE:	E.P. PETROECUADOR			No CONTRATO	L/P 2009006	Solicitud Materiales No	
POZO:	AUCA SUR 11D			PROVINCIA	ORELLANA	CIUDAD	FCO ORELLANA
CAMPO:	AUCA SUR						
TALADRO:	SINOPEC 127						
DESCRIPCION DEL SERVICIO:		Materiales Cementación de Liner de Producción 7" con Espaciador Espumado con Nitrógeno					
No.	No. PAG.	No	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	PRECIO
Item	CONTRATO	Parte				UNITARIO	TOTAL
MATERIALES Y ADITIVOS							
155	10	21155	NITROGENO	100 scf	1862.2	1.52	\$ 2,830.54
133	10	21132	FOAMING AGENT FOR WATER AND BRINE	GAL	34	68.88	\$ 2,341.92
					SUBTOTAL MATERIALES		\$5,172.46
						SUBTOTAL MATERIALES	\$5,172.46
						IVA 12%	\$620.70
						TOTAL	US \$ 5,793.16
Pablo Cabascango			REPRESENTANTE DE HALLIBURTON				
(NOMBRE EN LETRA DE IMPRENTA)			(FIRMA)				
Ing. Alfredo Obando			22 de Marzo de 2012				
CLIENTE O SU REPRESENTANTE			CLIENTE O SU REPRESENTANTE		FECHA FIRMA CLIENTE (DD / MM / AA)		
(NOMBRE EN LETRA DE IMPRENTA)			(FIRMA)				
COMENTARIOS					INFORMACION PARA LA FACTURACION		
					SALES ORDER		
Nitrógeno utilizado para acondicionar equipo y bombeo: 2000 [gal] N2 liquido x 93.11 [SCF/gal] = 186220 [SCF] = 1862.2 [100 scf]					DELIVERY		
					F. SAP		

Figura 42. Costos de Nitrógeno de cementación con espaciador espumado (Halliburton, 2012)

4.4.1 COMPARACIÓN DE COSTOS

Al realizar una cementación con el espaciador espumado en la que obtenga una buena cementación primario la operadora se estará ahorrando alrededor de 34000 dólares, como muestra la tabla 14, en caso de que la cementación no tuviera éxito. Por gatos de prueba de admisión y de squeeze si esta admitiera. Además está perdiendo los días de producción del pozo por no tener una buena cementación.

Para el pozo Auca sur 11, se obtuvo buena cementación en las arenas “U” y “T” y en hollín inferior. La perforadora intenta producir por Hollín y no es posible debido a las características del pozo, gastando 6000 dólares en cada prueba de admisión sin tener éxito, posteriormente a esto se realizó tapón CIBP para producir por la arena T superior donde se empezó a producir con éxito.

4.4.2 RENTABILIDAD DEL PROYECTO

Al utilizar un espaciador espumado que nos garantice la buena remoción del lodo en el hueco y de esta manera la limpieza adecuada del este, estamos asegurándonos de tener una buena cementación, que nos garantice la resistencia a la compresión para continuar con nuestras perforaciones o cañoneo para producir el petróleo. Una mala cementación implica realizar un squeeze en el implica costos adicionales para la operadora debido a que tendría costos adicionales por taladro, costos por una nueva cementación, y etc. El espaciador espumado nos permite garantizar una buena limpieza del pozo y de esta manera mejorar la adherencia del cemento entre la tubería de revestimiento y la formación, realizando un correcto sello de zonas que van a perjudicar la producción del petróleo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Al realizar la cementación con el espaciador espumado no se obtuvieron pérdidas por circulación ni en superficie ni en la columna hidrostática.
- El espaciador espumado diseñado en base a las especificaciones de la sociedad de ingenieros petroleros y las buenas prácticas de cementación cumplió con el objetivo de limpieza del hueco de la manera adecuada. Incrementa el rendimiento del fluido, Disminuye la densidad, Incrementa la viscosidad aparente. El perfil plano ayudo mantener una interface entre el lodo desplazado y el espaciador espumado, ayudando así a evitar una canalización.
- Se diseño un espaciador espumado con una calidad de la espuma de 30% , considerando una presión de cabeza entre 800-1200 psi , y un diámetro para el choke de 15,3 pulgadas, obteniendo un mayor efectividad en la remoción de lodo gelificado obteniendo una buena adherencia del cemento'-formación y cemento casing observado en el registro de cementación de espuma de 30%, presiones de cabeza de 800-1200 psi
- El espaciador espumado aliviano la columna hidrostática lo cual controlo la presión alta de Hollín y las presiones débiles de las formaciones U y T.
- El Hoyo se mostró estable y limpio durante la circulación y el lodo tenía un peso menor (9 lb/gal) y una reología relativamente baja (PV: 12, YP: 17).

- La cementación se realizó haciendo uso de las buenas prácticas de cementación : Acondicionamiento del fluido de perforación, Movimiento de la tubería y ayuda mecánicas, Centralización del casing, Velocidad de circulación, Uso de lavadores y espaciadores

5.2 RECOMENDACIONES

- Siempre que tengamos reservorios heterogéneos con presiones altas y débiles, wash out se debe considerar la realización el espaciador espumado para garantizar la limpieza de hueco y para una buena cementación primaria.
- Al realizar la cementación debemos tener en cuenta la circulación adecuada, sacando la píldora dejada en fondo a superficie y al menos dos fondo arriba adicionales con un caudal con el cual se logre una velocidad anular del fluido de +/- 300 ft/min y menor a la velocidad anular durante la perforación, nos permite lograr una limpieza y estabilidad necesaria del pozo, con el propósito de asegurar las condiciones antes de la cementación. El acondicionamiento del lodo una vez asegurado un pozo limpio, también es clave para lograr una remoción efectiva del lodo y lograr el recubrimiento de cemento deseado. Es importante asegurar la limpieza adecuada del pozo y realizar una evaluación de los parámetros de circulación, incrementando el caudal de manera controlada hasta llegar al caudal de desplazamiento
- Utilizar centralizadores, ubicando 2 por junta en los intervalos de U, T y Hollín Superior. No hubo ningún problema en la corrida del liner hasta el fondo. Los centralizadores Centek tienen un perfil suave y son muy robustos como para deformarse durante la corrida e ir generando arrastre que afecte a las paredes del hueco, además de que su diámetro mayor es 8.5". La adecuada centralización es crucial para lograr un flujo uniforme alrededor de la tubería y con esto una obtener una mejor remoción de lodo y por ende un buen recubrimiento de cemento en las zonas de interés.

- Es recomendable tomar los registros de evaluación del cemento al menos 72 horas después de la cementación, con el propósito de reflejar un estado más real del cemento. Se debe tomar en cuenta las propiedades expansivas de nuestro cemento.
- De acuerdo a los resultados de eficiencia de desplazamiento es recomendable, mejorar aún más la centralización e incrementar la viscosidad de la lechada tail , para una mejor cobertura de la lechada principal
- Siempre que se realicen trabajos con Nitrógeno debemos consultar las debidas precauciones de seguridad que se deben llevar acaba para realizar el trabajo.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Aislamiento zonal.- El aislamiento zonal o contención de la presión es típicamente provisto por medio de una capa de cemento rodeando al tubing o casing

API.- American Petroleum Institute.

Casing.- Tubería de revestimiento.

Cementación Primaria.- Es la operación de cementación realizada inmediatamente después de que la tubería de revestimiento ha sido corrida al fondo del pozo.

Compatibilidad.- Es la Capacidad de formar una mezcla que no presente reacciones ni físicas ni químicas indeseables.

ECD.- densidad equivalente de circulación, debe de ser mayor que la presión de poro pero de la formación para evitar que esta se manifieste cuando los baches lavador y espaciador se encuentren en el espacio anular.

Hueco.- Espacio anular entre una tubería de y la formación.

Espaciadores.-El espaciador provee la separación necesaria entre lodo y cemento además de la limpieza necesaria para asegurar una buena limpieza del hueco previo al ingreso de cemento.

Erodabilidad.-El principal propósito de un trabajo de cementación primaria es sellar el anular y proveer aislación zonal de los fluidos de la formación, un trabajo de cementación primaria se ve afectada principalmente por las condiciones del lodo de perforación cuando el cemento es bombeado dentro del

pozo, por lo que la costra del lodo o el fluido de perforación deshidratado deben ser desplazados de la cara del pozo para alcanzar un trabajo de cementación primaria exitosa.

Fluido espumosos.- Fabricados mediante la inyección de agua y agentes espumantes dentro de una corriente de aire o gas creando un espuma estable y viscosa o mediante la inyección de una base gel conteniendo un agente espumante, su capacidad de acarreo es dependiente más de la viscosidad que de la velocidad en el anular. En cuanto a los fluidos aireados en una base gel, tienen el propósito de reducir la cabeza hidrostática y prevenir pérdidas de circulación en zonas de baja presión.

Fluidos Newtonianos.- es un fluido cuya viscosidad puede considerarse constante en el tiempo.

Fluidos no Newtonianos.- Un fluido no newtoniano es aquel fluido cuya viscosidad varía con la temperatura y la tensión cortante que se le aplica. Como resultado, un fluido no-newtoniano no tiene un valor de viscosidad definido y constante, a diferencia de un fluido newtoniano.

Lavadores.- colchones químicos de baja densidad usados para remover la costra de lodo.

Lodos de perforación.- Una mezcla de arcillas, agua y productos químicos utilizada en las operaciones de perforación para lubricar y enfriar la barrena, para elevar hasta la superficie el material que va cortando la barrena, para evitar el colapso de las paredes del pozo y para mantener bajo control el flujo ascendente del aceite o del gas. Es circulado en forma continua hacia abajo por la tubería de perforación y hacia arriba hasta la superficie por el espacio entre la tubería de perforación y la pared del pozo.

Nitrógeno.-El nitrógeno es un gas no tóxico, incoloro e inodoro, que se encuentra naturalmente en la atmósfera (el 78% de aire es N₂), también es inerte y no reacciona con los hidrocarburos para formar mezclas de combustibles, además es solo ligeramente soluble en agua y en otros medios líquidos acuoso.

Presión Hidrostática.- Presión ejercida por el peso de la columna de fluido, en función de la densidad del fluido y longitud de la columna del mismo.

Reología.- es una disciplina científica que se dedica al estudio de la deformación y flujo de la materia o, más precisamente, de los fluidos.

Tiempo de Bombeabilidad.- Tiempo que una lechada permanece bombeable al pozo.

UCA.- Equipo utilizado para medir la resistencia a la compresión de la lechada de cemento.

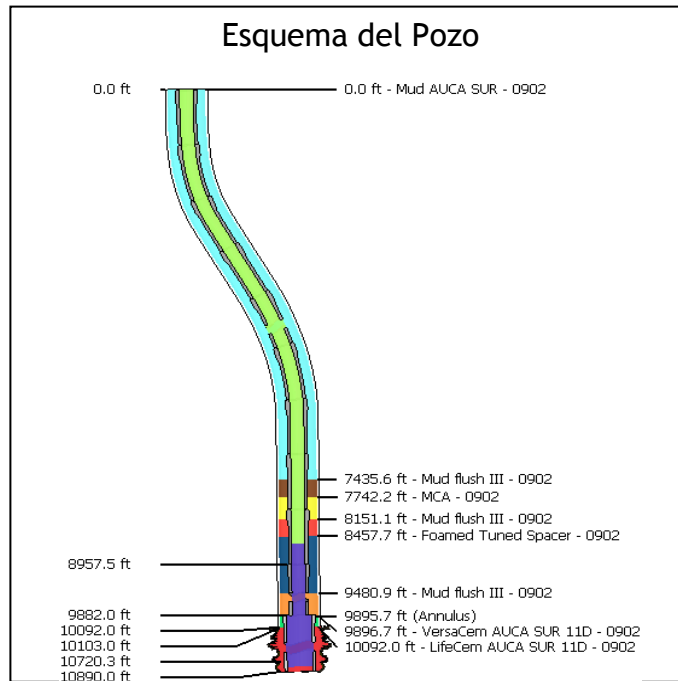
BIBLIOGRAFÍA

- CABASCANGO, P. (2012). *Technical Professional Cementing*, Halliburton. Ecuador: Halliburton University.
- DIANBIN, L., CASTANIER, L., & BRIGHAM, W. (2006). *Displacement by Foam in Porous Media*. Stanford: Stanford University.
- FREITAS, Flavio. (2012). *Supervisor de servicios de Nitrógeno*, Halliburton. Brasil: Halliburton.
- HALLIBURTON UNIVERSITY, I. (2004). *Using Foamed Spacers to Mitigate Annular Pressure Buildup*. Houston: HALLIBURTON UNIVERSITY.
- HALWORLD. (2012). *Halliburton collaborate-Knowledge management, cementing I*. Houston: Halliburton University.
- HALWORLD. (2012). *Halliburton collaborate-Knowledge management, cementing, best practice* . Houston: Halliburton University.
- JOSEPH, D. (1997). *En Surfactant: Understanding foams & foaming; Washington*. Minesota: University of Minnesota.
- OSIPOW , L., & ROBERT, E. (1972). *Surface Chemistry*. Florida: Krieger Publishing Co. .
- PETROECUADOR, I. (2012). *Registro Petrofísico de Campos Productores*. Quito: Petroecuador.
- SOCIETY PETROLEUM ENGINEERS, I. (2000). *Primary Cementing Optimisation: Well Conditioning Procedure and Foamed Spacer*. Houston: SPE.
- WILLIAMSON, R., SANDERS, W., PHILLIPS, C., JAKABOSKY, M., SERIO, M., & GRIFFITH, J. (2003). *Control of Contained-Annulus Fluid Pressure Buildup*. Houston: Halliburton University.

ANEXOS

ANEXO I. RESUMEN POST OPERACIONAL DE LA CEMENTACIÓN DEL LINER DE PRODUCCIÓN AUCA SUR 11.

AUCA SUR 11D Liner de Producción 7", 26 lb/ft, C-95 @ 10890 ft			
Temperatura Estática	200 °F	Profundidad (MD)	10890 ft
Temperatura Circulante	155 °F	Longitud Shoe Track (ft)	81.89 ft
Gradiente Poro/Fractura (psi/ft)	0.43 / 0.75	Ingeniero Halliburton	Pablo Cabascango



Características de hueco	
Diametro (in):	8.5
Caliper (in):	8.97
% Exceso:	25% (sobre Caliper)
Diametro equivalente (in)	9.398

Fluido de Perforación

WBM – Baroid		
Base Agua	Sin acond.	Acondicionado
Densidad (ppg)	9.1	9.1
Viscosidad plástica (cp)	13	16
Punto de Cedencia (lb/100 ft ²)	25	18
Desarrollo de gel 0s/10s/10 min	9/12/16	8/10/12

Fluidos Bombeados

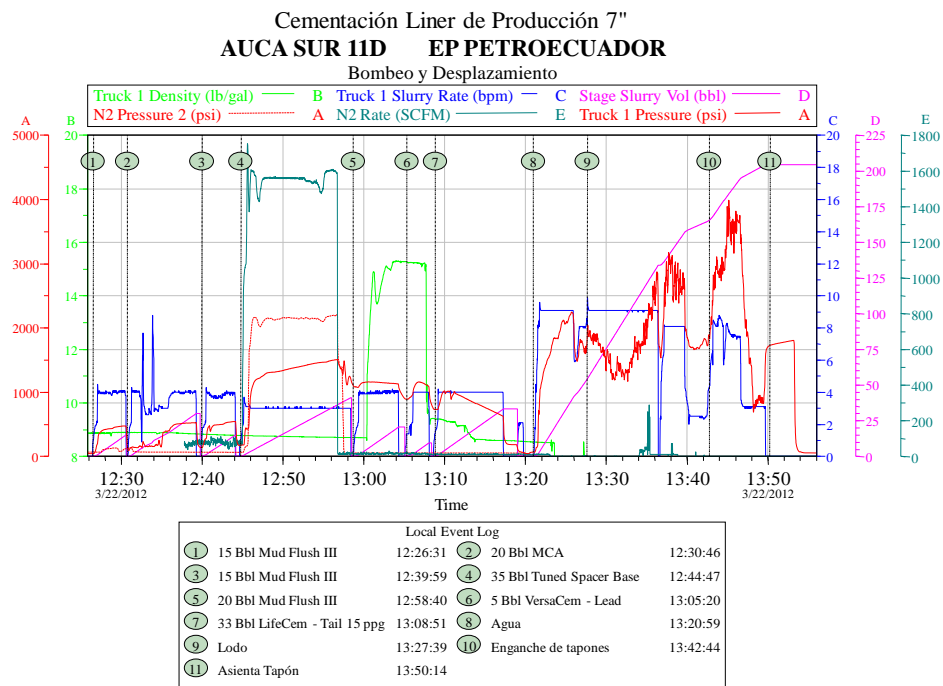
Lavadores	Mud Flush	MCA
Base	Agua	Agua
Volume (bbl)	50	20
Densidad (ppg)	8.4	8.6
Viscosidad Plástica (cp)	1	1
Punto Cedente (lb/100 ft ²)	0	0

Espaciadores		
Nombre	Tuned Spacer III	Tuned Spacer Espumado
Base	Agua	Tuned Spacer – Agua
Volumen (bbl)	35 Bbl	50 Bbl
Densidad (ppg)	11	7.6
Viscosidad plástica (cp)	25	1175
Punto de Cedencia (lb/100 ft ²)	20	13.27

Lechadas		
	Lead-VersaCem	Tail - LifeCem
Sacos	30	145
Volumen (bbl)	5	33
Tope de Cemento	9892	10092
Densidad (ppg)	15.0	15.0
Rendimiento (ft ³ /sk)	1.30	1.37
Requerimiento de Agua (gal/sk)	5.76	5.40
Viscosidad plástica (cp)	87.9 @ 155°F	310.36 @ 155°F
Punto de Cedencia (lb/100 ft ²)	16.2 @ 155°F	4.64 @ 155°F
Tiempo bombeable (hh:mm) @ 70 Bc	6:47	3:16
Esfuerzo de compresión (psi)	1605 psi @ 24 h	1186 psi @ 24 h

Desplazamiento	
Volumen bombeado(bbl):	50 Bbl Agua + 149 Bbl Lodo
Capacidad de las bombas (bbl/str):	Volumen físico
Eficiencia % :	-----

Gráfica Opticem RT:



OptiCem v6.4.9
22-Mar-12 22:35

COMENTARIOS

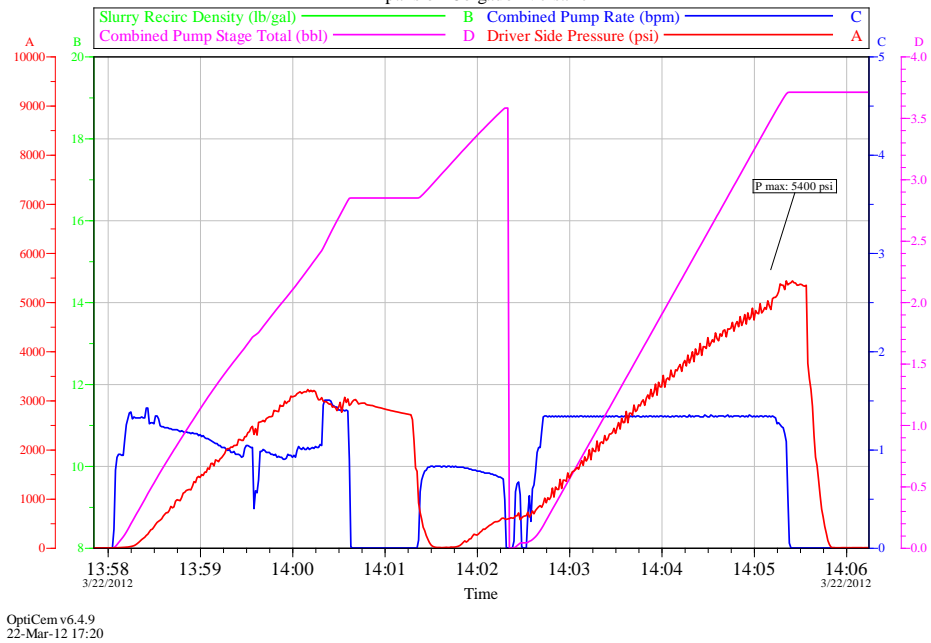
- Se ubicaron dos centralizadores por junta a lo largo de los intervalos de interés, en total **20 centralizadores** semi-rígidos Centek, distribuidos en los intervalos de las arenas U, T y Hollín Superior. Los centralizadores se ubicaron de acuerdo a la litología, registros de evaluación de formación y tally. Se consiguió un Stand off promedio de 75% a lo largo de las zonas de interés.
- El cálculo de volúmenes se realizó en base al registro de calibre del pozo, usando un exceso de 15 % sobre el diámetro promedio del caliper (diámetro equivalente: 9.12 in). Según el caliper el hueco no muestra wash outs pronunciados en las secciones de lutita, se observa una geometría uniforme, por lo cual se tiene un diámetro promedio de 8.875 in.
- Se bombearon 20 Bbl de lechada Lead de 15 lb/gal, cubriendo hasta el tope del liner, incluido un exceso de 14 Bbl con el propósito de lograr un cemento sin mayor contaminación en el traslape; y 30 Bbl de lechada Tail-LifeCem de 15 lb/gal, cubriendo hasta el zapato de 9 5/8", 90 ft por encima del tope de "U" Superior a 9931 ft. Se aplicó un traslape de 190 ft.
- El diseño de la lechada Tail se realizó aplicando la filosofía Well Life, brindando a la lechada excelente control de filtrado, mejor adherencia, y minimizando el tiempo de transición de desarrollo de fuerza de gel. Además, la lechada LifeCem tiene propiedades únicas de expansión constante, es una lechada auto-curable que se activa al contacto con hidrocarburos, sellando microcanales o microanulares. Esto nos permite lograr un efectivo aislamiento zonal, soportando los diferentes tipos de cargas a los que está expuesto el pozo a lo largo de su vida productiva.

- Bajando el liner se circuló para romper geles en el zapato de 9 5/8" con 420 gpm y 1100 psi. El liner llegó a fondo sin ningún tipo de restricción a lo largo del hueco abierto. Una vez el liner en profundidad se inició la circulación con 300 gpm y 800 psi. Se fue incrementando gradualmente el caudal hasta llegar a un máximo de 400 gpm con 1100 psi. Se mantuvo reciprocando la tubería durante la circulación. La presión mostró un comportamiento estable y similar a los valores de la simulación (1100 psi a 10 bpm). Se notaba un hueco limpio y estable. En la siguiente gráfica se observa los valores de presión y caudal de circulación.
- A diferencia de otros colgadores, el colgador Versaflex no limita la presión de circulación, lo cual nos permite lograr buenos caudales de circulación, obteniendo así una mejor limpieza y una evaluación efectiva del comportamiento de la circulación. Además, se reduce el tiempo de circulación y el tiempo estático antes de realizar la cementación, ya que este tipo de colgador se asienta y expande luego de realizado el trabajo. El área de flujo a través del colgador es abierta y la restricción física es menor respecto a los otros colgadores de liner.
- El retorno del espaciador espumado a superficie se controló por el siguiente procedimiento:
 - Detener la reciprocación de la tubería antes de la circulación del espaciador
 - Cerrar el anular del BOP
 - Dirigir el flujo anular a través de un choque que permita mantener una contrapresión de 100 psi a 300 psi, para controlar la expansión del nitrógeno del anular hacia las condiciones atmosféricas. La figura siguiente muestra el retorno de un espaciador espumado luego de circularlo a superficie, limpiando el anular

- Para garantizar la integridad de los fluidos y por seguridad, las aguas de mezcla y lavadores se prepararon una vez que el liner estaba en fondo y con parámetros de circulación estables.
- Mientras se circulaba se realizó la reunión de seguridad pre-operacional con todos los involucrados para exponer el procedimiento operacional y tratar asuntos de seguridad. Se conectó las líneas a la cabeza de cementación, y se probó con 6000 psi.
- Luego de probar las líneas, se continuó circulando hasta terminar de acondicionar el lodo y mientras se premezclaban las lechadas lead y tail. Las propiedades finales del lodo fueron: PV: 12 cP; YP: 17 lb/100ft²; Perfil de geles: 4/6/8.
- Luego de mezclar las lechadas lead y tail en la Unidad, se las acondicionó en el Batch Mixer hasta lograr la densidad requerida de acuerdo al programa. A continuación, se paró la circulación, se cerró la válvula manual del TopDrive y se llevó a cabo el bombeo de los fluidos según el programa.
- Posteriormente se liberó el tapón dardo de la cabeza de cementación. Se inició el desplazamiento, observando el movimiento evidente del testigo. Se desplazó con 50 bbl de agua a 10 bpm y con 146 bbl lodo a 9 bpm. Se notó el enganche de taponés con un pico de 2400 psi a los 160 bbl. Se asentó tapón a los 196 bbl total desplazados, presurizando desde 1900 psi hasta 2400 psi. La presión máxima en el desplazamiento fue 3500 psi. Los retornos fueron normales durante todo el trabajo.

- Se mantuvo la presión de asentamiento de 2400 psi durante 5 minutos, se liberó presión y se observó el retorno de 1.5 bbl de backflow, confirmando el correcto funcionamiento de las válvulas flotadoras. Aprovechando la ventaja de poder reciprocarse la sarta con el colgador Versaflex se mantuvo en movimiento durante el desplazamiento.
- De acuerdo a la presión de desplazamiento se observa que cuando entran los lavadores al anular la presión incrementa debido a los efectos de limpieza. Luego del enganche de tapones se incrementó nuevamente el caudal para no perder eficiencia de desplazamiento y se notó cierta restricción debido a la limpieza y barrido realizado en el hueco. Sin embargo, no se evidencia empaquetamientos y los retornos fueron normales todo el tiempo.
- Se soltó la esfera en caída libre y realizó las maniobras para la expansión del Colgador. Se presurizó con la unidad de cementación a 0.5 bpm hasta observar la expansión a 3800 psi, según se observa en la gráfica.

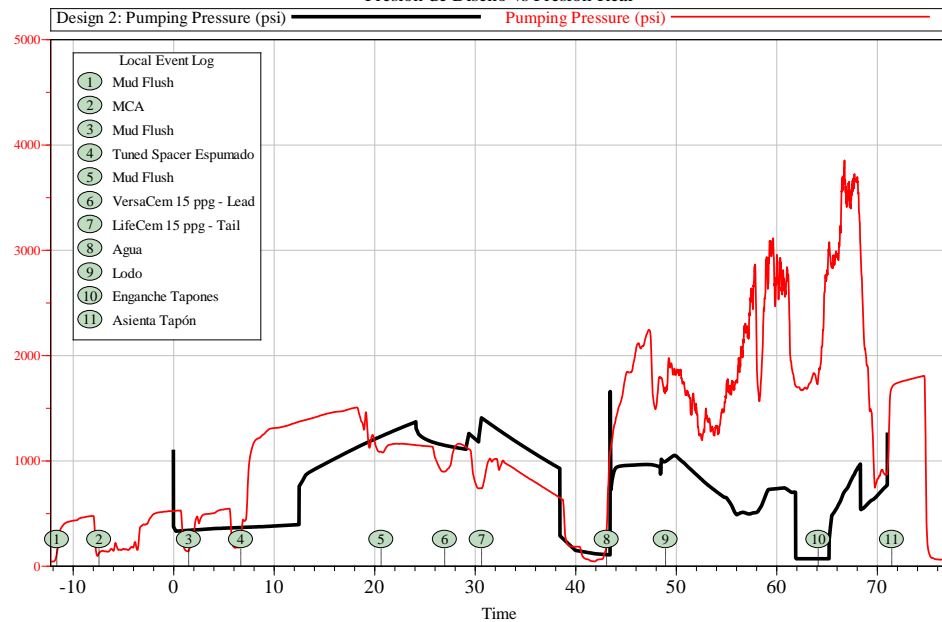
Cementación Liner de Producción 7"
AUCA SUR 11D EP PETROECUADOR
Expansión Colgador Versaflex



Resultados

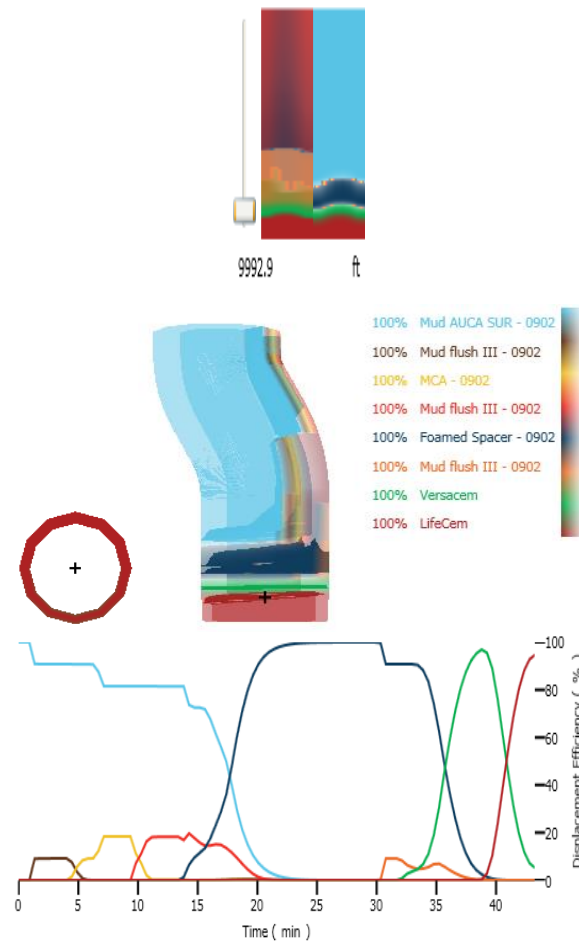
- A continuación en el gráfico de presión de diseño vs real. La presión de bombeo de los fluidos es similar al diseño, mostrando viscosidades concordantes. La presión en el desplazamiento muestra un incremento de presión desde la acción de los lavadores en el anular, debido a los efectos de limpieza. A pesar que la presión real es más alta la tendencia es similar al diseño. Se nota claramente efectos de restricción, viscosidad, y arrastre de suciedad. Sin embargo no se llegó a un empaquetamiento y los retornos fueron normales todo el tiempo.

Cementación Liner de Producción 7"
AUCA SUR 11D EP PETROECUADOR
 Presión de Diseño vs Presión Real



OptiCem v6.4.9
02-Apr-12 19:04

- Luego de la expansión, se probó el asentamiento con 100 KLb de tensión, se liberó la herramienta sin inconvenientes, se levantó circulando en directa a 450 gpm con 1250 psi. Se observó el retorno de todo el tren de lavadores y espaciadores gastados y contaminados, y aproximadamente unos 40 Bbl de la lechada removedora contaminada. Confirmando el diseño y volúmenes adecuados en la Cementación. Al final, se dejó el pozo lleno de agua.
- En las gráficas siguientes se observa los resultados de la simulación de eficiencia de desplazamiento con iCem, en donde se estima lograr un buen recubrimiento de cemento hasta el tope de U inf.



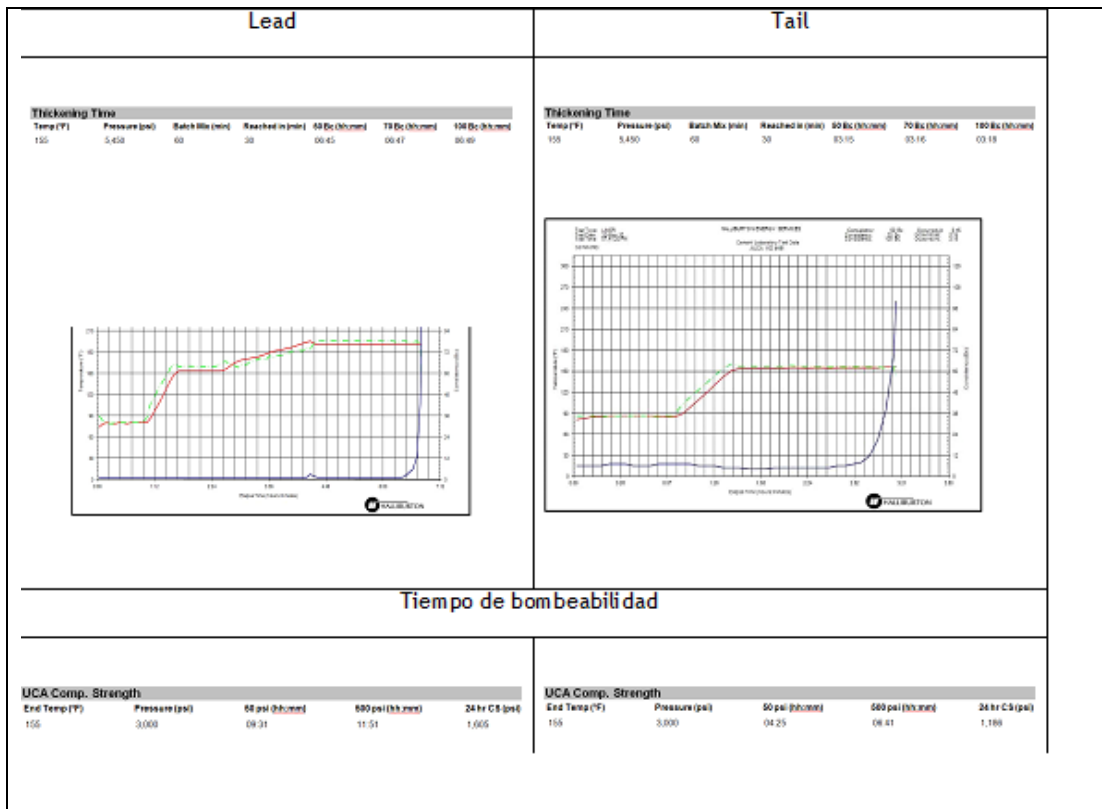
Lecciones Aprendidas

- Una circulación adecuada, sacando la píldora dejada en fondo a superficie y al menos dos fondo arriba adicionales con un caudal con el cual se logre una velocidad anular del fluido de +/- 300 ft/min y menor a la velocidad anular durante la perforación, nos permite lograr una limpieza y estabilidad necesaria del pozo, con el propósito de asegurar las condiciones antes de la cementación. El acondicionamiento del lodo una vez asegurado un pozo limpio, también es clave para lograr una remoción efectiva del lodo y lograr el recubrimiento de cemento deseado. Es importante asegurar la limpieza adecuada del pozo y realizar una

evaluación de los parámetros de circulación, incrementando el caudal de manera controlada hasta llegar al caudal de desplazamiento.

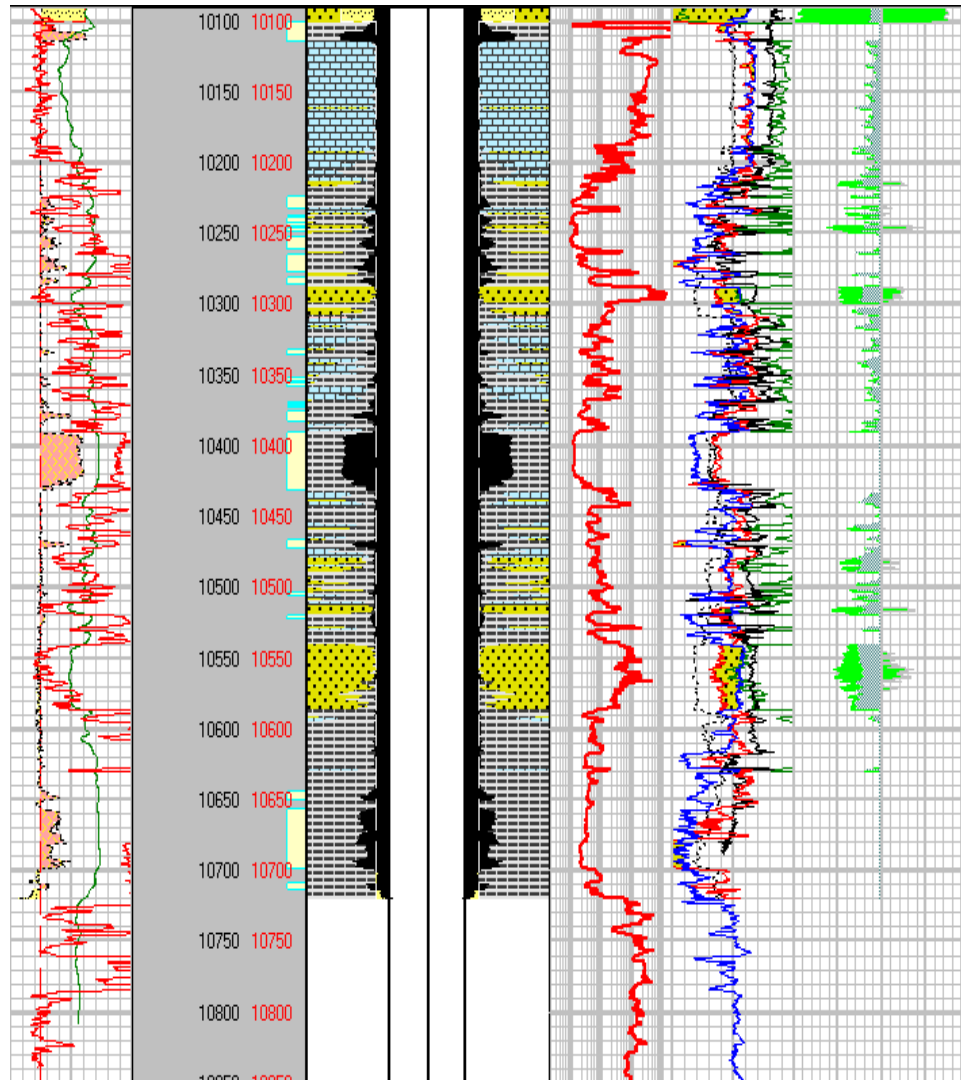
- No se presentó ninguna restricción en la bajada de la tubería. El Hoyo se mostró estable y limpio durante la circulación y el lodo tenía un peso menor (9 lb/gal) y una reología relativamente baja (PV: 12, YP: 17). Esto se obtuvo gracias al diseño del pozo, en el cual se asentó el casing intermedio de 9 5/8" en la Caliza A, cubriendo el intervalo de las Lutitas Napo. Esto nos evitó presiones de circulación altas e inestables por acumulación de restos de lutita
- En este trabajo se utilizaron 20 centralizadores Centek 7" x 8 1/2", ubicando 2 por junta en los intervalos de U, T y Hollín Superior. No hubo ningún problema en la corrida del liner hasta el fondo. Los centralizadores Centek tienen un perfil suave y son muy robustos como para deformarse durante la corrida e ir generando arrastre que afecte a las paredes del hueco, además de que su diámetro mayor es 8.5". La adecuada centralización es crucial para lograr un flujo uniforme alrededor de la tubería y con esto una obtener una mejor remoción de lodo y por ende un buen recubrimiento de cemento en las zonas de interés.
- Es recomendable tomar los registros de evaluación del cemento al menos 72 horas después de la cementación, con el propósito de reflejar un estado más real del cemento. Se debe tomar en cuenta las propiedades expansivas de nuestro cemento.
- De acuerdo a los resultados de eficiencia de desplazamiento es recomendable, mejorar aún más la centralización e incrementar la viscosidad de la lechada tail LifeCem, para una mejor cobertura de la lechada principal

- Pruebas de Laboratorio




- Análisis en PRIZM

Correlation	Depth	Formation/Hole/	Casing/Hole/For	Resistivity	Porosity	Saturation	Perms
GR 0 api 150	MD	Annulus	Annulus	RT(RT90) 0.2 ohmm 2000	PHIN(NPHI) 0.45 V/V -0.15	Wrr	Gas
SP -50 mV 100	TVD>	White	White	ResM(N/A) 0.2 2000	RHOB 2.0 g/cc 3.0	WV	Water
CALI 6 16	Bad Hole	Mudcake	Mudcake	ResS(N/A) 0.2 2000	DT 140 uspf 40	Oil	Oil
BS 6 16	BADHOLE	Shale	Shale		EPOR_C 0.3	Gas	
Bad Hole		Sandstone	Sandstone		PEF(PE) 0 b/e 10		
Mudcake		Limestone	Limestone		Sandstone		



ANEXO II. REPORTE DE CEMENTACIÓN Y TUBERÍA DE REVESTIMIENTO.

		REPORTE DE CEMENTACION Y TUBERIA DE REVESTIMIENTO					
Equipo:	SINOPEC - 127	Cia. Cementadora :	HALLIBURTON				
POZO :	AUCA SUR 11D	ESTIMATIVO:	2895	FECHA :	22-Mar-12		
Diametro de la broca	8 1/2	Profundidad total	10890	Elevación de la mesa	892	Elevación del suelo	855.4
N°. Tubos	Tamaño	Grado	Peso(Lbs/pipe)	Tipo de cuello	Longitud	Profundidad de Asentamiento	
26	7"	C-95	26	BTC	979.39	10885	
Observaciones: Se bajan 25 casing de 7" + 1 Pup Joint							
Diametro caliper: 9,530							
Tipo de zapato :	Flotador	Asentado a :	10884'				
Tipo de collar :	Flotador	Asentado a :	10843'				
Landing collar :	Flotador	Asentado a :	10804'				
Colgador :		Asentado a :					
Centralizadores : Se usan 14 Centralizadores Semi rígidos Centek + 28 Stop Collars.							
Tubos recibidos :	27	Tubos utilizados:	26	Tubos sobrantes:	1		
Quedan 5 casing 7" en buen estado							
Tipo de Cementacion: Primaria							
Preflujo :	15	Barriles	TIPO:	MUD FLUSH	Peso:	8.4 ppg	
Preflujo :	20	Barriles	TIPO:	MCA ACIDO	Peso:	8.6 ppg	
Preflujo :	15	Barriles	TIPO:	MUD FLUSH	Peso:	8.4 ppg	
Preflujo :	35	Barriles	TIPO:	TUNED SPACER ESPUMADO CON NITF	Peso:	10.0 ppg	
Preflujo :	20	Barriles	TIPO:	MUD FLUSH	Peso:	8.4 ppg	
Preflujo :		Barriles	TIPO:		Peso:		
Preflujo :		Barriles	TIPO:		Peso:		
Preflujo :		Barriles	TIPO:		Peso:		
Cemento :	5 + 33 BLS (175 SXS).		TIPO:	"G"	Peso:	15 ppg	
5 [bb] Lechada VersaCem - Lead 15 [lb/gal]; 3 [bb] Agua + 30 [sks] Cemento "G" Dyckerhoff + 1 [gal] D-air 3000L + 5 [lbs] SCR-100 + 13 [gal] Halad 300L + 18 [lb] GasStop HT. Propiedades: D = 15 [lb/gal], WR = 5.76 [gal/sk], Y = 1.3 [ft³/sk]							
33 [bb] Lechada LifeCem - Tail 15 [lb/gal]; 18.8 [bb] Agua + 145 [sks] Cemento "G" Dyckerhoff + 82 [lb] GASSTOP HT + 60 [gal] Halad-300L + 820 [Lb] LIFECEM100 /WellLife 665 + 80 [lb] WellLife 734 + 715 [lb] MicroBond HT + 2 [gal] D-air 3000L. Propiedades: D = 15 [lb/gal], WR = 5.4 [gal/sk], Y = 1.37 [ft³/sk].							
Desplazamiento calculado : 50 BLS AGUA + 146 BLS LODO							
Preflujo inicial :			12:26		Preflujo final :		
Mezcla de cemento inicial :			12:00 (Lechada Tail Premezclada)		Mezcla de cemento final :		
Desplazamiento inicial :			13:21		Tapón de asentamiento con:		
Desplazamiento inicial con:			10 BPM 50 BLS		1500 PSI a las 13:50		
Descripción del retorno: SE OBSERVA RETORNO DE LAVADORES Y ESPACIADOR ESPUMADO.							
NO SE OBSERVA RETORNO DE CEMENTO NI LODO CONTAMINADO.							
OBSERVACIONES : Se evidencia acople de tapon dardo a los 164 bls desplazados y 2200 psi.							
Presion final de desplazamiento 500 psi. Asienta tapon con 1000 psi. Expande colgador Versaflex con 5200 psi							
Backflow de 1,5 bls. Retornos normales durante todo el bombeo y desplazamiento. Controla retorno de espaciador con BOP y choke manifold							
Supervisor:				ING. ALFREDO OBANDO			
Codigo:				92401			

ANEXO III. TALLY AUCA SUR 11

EP PETROECUADOR		Pozo: AUCA SUR 11 - D Equipo: SINOPEC 127									
(CASING: 7") (GRADO N-80) (ROSCA BTC) (26 LB/FT)											
PREPARADO POR:		ING. ALFREDO OBANDO					PROFUNDIDAD POZO:		10,890.00		
FECHA:		23 de marzo de 2012					ZAPATO GUIA:		10,890.00		
N°	Cent.	Long. (pies)	(pies)	Grado	Cap. Bbl/pie	Cap. (Bbls)	Desp. Met (Bbl/pie)	Desp. (Bbls)	Peso (Lb/Pie)	P. acum. (KLb)	Tope jta (Pies)
Zapato Guia		1.84	1.84	N-80							10,888.16
1	X	38.06	39.90	N-80							10,850.10
Collar flotador		2.55	42.45	N-80							10,847.55
2	X	38.12	80.57	N-80							10,809.43
Landing Collar		1.32	81.89	N-80							10,808.11
3		38.14	120.03	N-80							10,769.97
4	X	38.21	158.24	N-80							10,731.76
5	X	38.19	196.43	N-80							10,693.57
6		38.05	234.48	N-80							10,655.52
7		37.84	272.32	N-80							10,617.68
8	X	38.09	310.41	N-80							10,579.59
9	X	38.20	348.61	N-80							10,541.39
10		37.76	386.37	N-80							10,503.63
11		38.07	424.44	N-80							10,465.56
12		38.19	462.63	N-80							10,427.37
13	X	38.13	500.76	N-80							10,389.24
14	X	38.09	538.85	N-80							10,351.15
15	X	38.19	577.04	N-80							10,312.96
16		38.08	615.12	N-80							10,274.88
17		38.07	653.19	N-80							10,236.81
18		38.14	691.33	N-80							10,198.67
Pup joint Marca		21.28	712.61	N-80							10,177.39
19		38.07	750.68	N-80							10,139.32
20		38.08	788.76	N-80							10,101.24
21		38.08	826.84	N-80							10,063.16
22		38.13	864.97	N-80							10,025.03
23		38.09	903.06	N-80							9,986.94
24		38.20	941.26	N-80							9,948.74
25		38.13	979.39	N-80							9,910.61
xo/New Van		2.87	982.26	N-80							9,907.74
Elastomer to bo		15.49	997.75	N-80							9,892.25
Top of Hanger		10.23	1007.98	N-80							9,882.02

Page 1