

**DISEÑOS DE LECHADAS DE CEMENTO EN LABORATORIO PARA LAS
OPERACIONES DE CEMENTACIÓN EN CAMPO.**

HALLIBURTON

SERGIO ROLDAN AMEZQUITA

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
NEIVA
2009**

**DISEÑOS DE LECHADAS DE CEMENTO EN LABORATORIO PARA LAS
OPERACIONES DE CEMENTACIÓN EN CAMPO.**

HALLIBURTON

SERGIO ROLDAN AMEZQUITA

**Informe de pasantía presentado como requisito parcial para optar al
título de:
INGENIERO DE PETROLEOS**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
NEIVA
2009**

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Neiva, Diciembre 09 de 2008

1. INTRODUCCION

HALLIBURTON CEMENTACIÓN brinda a sus clientes la más alta gama de calidad en la industria mundial, en la cementación de pozos petroleros, adquiriendo así un prestigio global, reconocido gracias a sus altos estándares.

Entre las operaciones de completamiento se encuentra la cementación de pozos, la cual esta presente en las diferentes etapas de la vida de un pozo petrolero; desde el aseguramiento del casing de superficie durante la perforación, hasta los tapones de abandono. Los objetivos principales de las operaciones de cementación son; aislar formaciones, estabilizar y dar soporte en la cara de pozo, sellar cavernas y fracturas, protección y sostén del casing y liners. Para llevar a cabo una operación de cementación exitosa los ingenieros deben determinar previamente el volumen de la lechada de cemento con la ayuda de las lecturas de registro del caliper y las propiedades físico-mecánicas (parámetros reológicos, perdida de filtrado, tiempo de bombeabilidad, agua libre, resistencia a la compresión, tixotropía, compatibilidades) de la lechada, para obtener un diseño que sea compatible con las condiciones del pozo y que cumplan con los requerimientos exigidos por el trabajo; todo esto en busca de un trabajo de calidad que exceda las expectativas del cliente. Por lo tanto para garantizar un trabajo de calidad, es necesario conocer bien todas las variables del pozo y posibles problemas que se puedan presentar en dicho programa, pero es aun más importante tener un amplio conocimiento sobre los aditivos y como estos afectan la propiedades Físico-mecánicas de la lechada, para así predecir el comportamiento de la lechada en condiciones de pozo, garantizando un buen manejo de esta en el subsuelo y el cumplimiento de todas los requerimientos y especificaciones exigidos por el programa. De ahí la necesidad de contar con un laboratorio en donde se simule las condiciones de pozo, y se puedan diseñar las lechadas que cumplan con los requerimientos y especificaciones exigidas, brindando soporte para un trabajo de calidad en campo teniendo como meta la excelencia operacional.

Los Principales focos de trabajo fueron Arauca con Occidental de Colombia, en el Meta y Casanare con ECOPETROL, HUPECOL, y Metapetroleum, cumpliendo con todo el proceso en el diseño de la lechada y su aplicación en campo, adquiriendo destreza en la operación y total criterio para tomar las decisiones apropiadas para las diferentes situaciones que se presentan, comprendiendo a cabalidad la operación, desde la acción de los aditivos en su adecuada concentración, hasta el final del bombeo de los fluidos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Exceder las expectativas en las actividades encomendadas adquiriendo conocimientos y destreza tanto teórica como experimental de las prácticas y procedimientos realizados en las operaciones de Cementación y en el Laboratorio de Cementación de HALLIBURTON, cumpliendo con las políticas de HSEQ.

2.2 objetivos específicos.

- Aprender a diseñar los diferentes tipos de lechadas que tengan las propiedades físico-mecánicas, requerimientos y características acordes con las necesidades de la operación.
- Comprender y seguir los diferentes procedimientos de las pruebas que se le realizan a las lechadas para determinar sus propiedades, y responder a las diferentes situaciones que se puedan presentar.
- Identificar el comportamiento de las lechadas con los diferentes aditivos de HALLIBURTON y/o compuestos que modifican sus características, propiedades físico-mecánicas y tiempo de bombeabilidad.
- Conocer y poner en práctica los procedimientos de control de calidad de los aditivos, agua y cemento petrolero.
- Adquirir destreza y conocimiento técnico y teórico para dirigir cualquier operación de cementación.
- Conocer los aspectos influyentes en las operaciones de cementación, teniendo la capacidad de desarrollar, concluir, y, recomendar el procedimiento para optimizar la operación en busca de la satisfacción del cliente superando las expectativas.

3. ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN LABORATORIO

3.1 CAPACITACIONES

Para dar inicio a la pasantía y la vinculación con la empresa, se cumplió con toda la capacitación requerida para el desarrollo de actividades dentro de la misma, el sistema de administración HMS del cual se describen todos los procedimientos de trabajo, responsabilidades del personal, configuración institucional, conducto regular, etc.

Durante este lapso, leyó entendió y a lo largo de la pasantía se cumplió con la políticas siguiendo el reglamento interno de trabajo en el cual se contemplan todas las normas exigidas, además de eso las políticas extralegales, la de alcohol y drogas y el código de conducta.

Se conoce y participa activamente el los diferentes programas de HALLIBURTON tales como el PII, CPI, PPR, i-Learn, Programa STOP y ECO, DONE RIGHT.

Se desarrollo la capacitación inicial exigida a todo integrante de Halliburton en I-Learn para crear un ambiente de trabajo seguro, amable con el medio ambiente y de gran desempeño.

Se realizó la inducción por parte del supervisor del laboratorio de cementación acerca de las normas, procedimientos, ambiente de trabajo y estándares de calidad. Cumpliendo con el cronograma se capacitó de manera técnica para llevar a cabo todas las actividades, responsabilidades y tareas rutinarias encomendadas en el laboratorio, tales como conocimiento de los procedimientos API desarrollados en el laboratorio según las normas API RP 10B, manejo de software, cálculos esenciales para el desarrollo de las pruebas, cuidados y seguridad específica en el laboratorio, Best practices de cementación, Play books, y HMS, todo con el fin de realizar una práctica integra, competente y autonomía técnica. Para esto se recopiló y estudió el material bibliográfico referente a las pruebas de laboratorio dando soporte teórico a las actividades desarrolladas.

Ya asimiladas las pruebas y procedimientos que se llevan a cabo en el laboratorio de cementación y teniendo los conocimientos básicos de las actividades que se desarrollan en el laboratorio de cementación, se procedió a ejecutar las labores encomendadas, empezando por la realización de los balances de materia para las pruebas, determinando su Yield (rendimiento) y el requerimiento de agua para las lechadas a diferentes densidades con sus respectivos aditivos, para realizar las diferentes lechadas de muestra para proceder con las diferentes pruebas partiendo de los datos obtenidos, preparando un barril equivalente de 600cc, este volumen específico de lechada en laboratorio es representativo para las diferentes

pruebas a las que se somete la lechada para determinar sus propiedades físico mecánicas.

CEMLAB: Luego de haber corroborado los datos con cálculos manuales, se procedía a programar los datos en el software CEMLAB con la concentración en %BWOC (Based Weight Of Cement) teniendo como tal base de cálculo un saco de Cemento petrolero clase "G" (94 lbm/sx cto)

Determinación de las condiciones a simular para resultados representativos.

El objetivo del laboratorio, es realizar pruebas a las lechadas de cemento que van a ser utilizadas en campo, simulando las condiciones reales de pozo, teniendo en cuenta el mayor número de factores que puedan incidir en los resultados, por esta razón las pruebas se realizan con el cemento y agua que se encuentran en locación de la operación, y que el número de lote de los aditivos a ser usados coincidan con los de las pruebas de laboratorio. Además de eso las lechadas se encuentran sometidas a presión y temperatura, las cuales varían dependiendo de la profundidad del pozo. Siendo consecuente con lo anterior el API RP 10B presentan sus respectivas tablas para determinar los valores requeridos a partir de la profundidad.

Presión.

Para la determinación de la presión de prueba, en la requisición de pruebas, se especifica la densidad del lodo el cual esta siendo usado en ese momento en el pozo, a partir de este valor se determina la presión hidrostática, en fondo y se le suma la presión en cabeza tabulada en el API RP 10B a partir de la profundidad especificada

Temperatura.

Este es el valor mas importante para la exactitud de las pruebas y la confiabilidad de las mismas, ya que las lechadas de cemento son altamente sensibles a la temperatura y a los cambios de esta, de una buena determinación de la temperatura de prueba depende la el éxito y que los resultados sean aproximados a la realidad.

Las lechadas de cemento al ser bombeadas se encuentran sometidas a dos tipos de temperatura, una temperatura de circulación (BHCT) y una temperatura estática (BHST)

Para la determinación de la BHST el cliente suministra el gradiente de temperatura del campo de la operación dado en grados Fahrenheit por cada 100 pies; con este valor, la profundidad medida y la temperatura en superficie podemos determinar la temperatura a la cual estará sometida la lechada en condiciones estáticas en fondo.

Para la determinación de la BHCT nos referimos al API RP 10B donde se plantean las correlaciones para el cálculo la temperatura circulante a partir del tipo

de trabajo (si es Casing, Liner, Tapón o Squeeze), el gradiente de temperatura, la temperatura estática, profundidad y el grado de inclinación del pozo, según la variación de esta última encontramos el método API para pozos totalmente verticales, el API modificado para pozos inclinados (siendo este el más usado en el laboratorio), y el método AMOCO para los pozos horizontales, para estos dos últimos métodos es necesario conocer la profundidad medida MD y la profundidad verdadera TVD para el uso de estas.

3.3.4 Rampas.

Las rampas son usadas en los equipos para simular la rata calentamiento de los fluidos al ser bombeados al hueco, esta es hallada a partir de BHST y BHCT y el tiempo en que demora el fluido en alcanzar dicha temperatura, este tiempo es tomado a partir de los datos tabulados en el API RP 10B Anexo E.

3.2. Factores observados que influyen en las propiedades de la lechada.

Las propiedades de la lechada de cemento se ven influenciadas principalmente por factores como, la relación de agua por cada saco de cemento(galón/saco)., la densidad de la lechada (lb/gal), y el rendimiento de la lechada (scft/saco).

La relación de agua requerida por saco de cemento es imperante para determinar el tiempo de espesamiento y la resistencia a la compresión del cemento. La mayoría de las lechadas se mezclan con una cantidad de agua que brinda un volumen igual al volumen de la lechada sin separación de agua libre, concluyendo que:

- Demasiada agua: el agua libre aparece en la parte superior de la lechada en el asa de muestra y retrasa el fraguado.
- Muy poca agua: la lechada es espesa y difícil de bombear y acelera el fraguado.

La densidad de la lechada o el peso de la lechada del cemento deben, con excepción de la cementación forzada, ser la suficiente como para mantener el control del pozo. Por esto las densidades de la lechada siempre se monitorean con precaución. En el campo, esto es monitoreado por dos tipos de densímetros, uno de recirculación tipo Coriolis (Micromotion) y otro de descarga tipo radioactivo,. Para evitar un trabajo de cementación primaria mal hecho, la lechada debe mantener su densidad adecuada ya que las propiedades de la lechada que se ven mas afectadas por los cambios de densidad son los tiempos de espesamiento, las características de flujo (capacidad de bombeo), eficiencia de desplazamiento de fluido de perforación, agua libre, fraguado, resistencia a la compresión, y la pérdida de fluidos.

Los Principales tipos de lechadas utilizadas son:

LEAD: son lechadas por lo general livianas y mucho mas económicas, utilizadas como relleno para aislar zonas no tan comprometedoras por encima del tope

competente de cemento o sacrificio (lechadas Scavenger) para prevenir la contaminación de la lechada principal, siempre va delante de la lechada principal y detrás de los preflujos.

TAIL: es la lechada principal a la cual se le diseñan las propiedades físico mecánicas específicas para cada trabajo, esta lechada es la que brinda cemento competente, soporta el casing, aislar zonas, y provee integridad en el zapato etc. Esta lechada es la de mayor importancia ya que cumple con los objetivos principales de la cementación.

3.3. ADITIVOS PARA EL DISEÑO DE LAS LECHADAS:

Durante el inicio de labores en el laboratorio de cementación, y punto importante fue el conocimiento de los aditivos de cementación, las concentraciones, rangos de temperatura, efectos secundarios y compatibilidades de los aditivos del cemento (API Clases G), teniendo comprensión de lo anterior es posible adecuar las lechadas de cemento para que se ajusten a los requisitos específicos de cada pozo y de cada trabajo. Se utilizaron nueve categorías de aditivos de cemento:

3.3.1 Aceleradores de fragüe

El mecanismo de acción de los aceleradores es incrementando la velocidad de hidratación, esto es posible por un aumento del carácter iónico de la fase acuosa, la que causa que le C3S, C2S y C3A se hidraten y liberen (hidratos de Calcio-Sílice) que son los responsables de la resistencia del cemento.

Como agente acelerador se usa Cloruro de Calcio (1%-3% BWOC). Este es el mas utilizado en los trabajos, y, econolite que es un Meta Silicato de sodio semi-hidratado a bajas concentraciones

3.3.2 Retardadores de Cemento:

Los retardadores de cemento retardan el tiempo de fraguado del cemento (hidratación) para que pueda éste aplicarse de forma segura. Las altas temperaturas de pozos profundos ocasionan que el cemento fragüe prematuramente. Mientras mayor sea la temperatura, más rápido será el fraguado del cemento por esta razón una buena determinación de la temperatura a partir de los datos suministrados asegura el éxito de la prueba. Los retardadores usualmente tienen un rango de temperatura efectivo limitado. El retardador mas utilizados por nosotros es uno a base de materia orgánica (HR5) por lo cual tiene un rango de acción a temperaturas bajas,(90 ° a 215 °F) ya que a temperaturas mas altas la materia orgánica se degrada, para temperaturas mas altas usamos un retardante sintético (SCR100).

El mecanismo de acción de los retardadores es decreciendo la velocidad de hidratación, inhibiendo la hidratación y precipitación del $(HO)_2Ca$ por la adsorción o la formación de precipitados los cuales son prácticamente impermeables. Las sustancias químicas más ampliamente utilizadas por nosotros como retardadores son a base de ligninas (lignosulfato de sodio, lignosulfato de calcio) el cual es el

retardante por excelencia usado en los campos de Colombia, llamado HR5®, o polímeros sintéticos

3.3.3 Aditivos ligeros (Alivianadores):

En algunas ocasiones, el peso de la lechada requiere reducirse para proteger formaciones que tengan un bajo gradiente de fractura, para aumentar el rendimiento, disminuir el agua libre o por razones económicas. Para reducir el peso de las lechadas de cemento, se añade agua, así como sólidos de baja gravedad específica, y/o aquellos que permitan la incorporación de agua como el la bentonita premezclada (prehidratada), las puzzolanas (Material Silíceo-Alumino, que desarrolla propiedades cementantes en presencia de la cal), esferas huecas de porcelana (spherilite), perlita(roca volcánica expandida), silicalite (roca volcánica expandida)

El cemento espumado es de los últimos proyectos que se tienen en la empresa utiliza nitrógeno produce lechadas de 6 a 14 lb/gal, y que tienen una excelente relación de resistencia a la densidad (baja permeabilidad alta porosidad).

3.3.4 Aditivos Pesados (Densificantes).

El objetivo principal de los aditivos pesados es limitar las altas presiones de formación. Los aditivos pesados se utilizan para obtener densidades de lechadas de hasta 22 lb/gal y aumentar la Resistencia a la compresión. Cuentan con un bajo requerimiento de agua. Los aditivos pesados son químicamente inertes y compatibles con otros aditivos.

Los materiales mas comúnmente utilizados para densificar los cementos son la hematina (mineral de hierro) 4.95 spgr, y la barita (más común en los fluidos de perforación) 4.33 spgr

3.3.5 Aditivos de Pérdida de Fluido (Control de Filtrado).

El objetivo de los aditivos de pérdida de fluido es ayudar a evitar la pérdida de agua de la lechada de cemento. Esto el máximo desarrollo de resistencia a la compresión, y la adherencia del cemento entre la formación y la tubería de revestimiento.

Las lechadas frente a las zonas permeables y sometidas a diferenciales de presión, pueden perder agua. Los aditivos de pérdida de filtrado evita que la lechada pierda esta agua que es requerida la para hidratación de los componentes del cemento que generan la resistencia, y que a consecuencia de esto se generen revoques que tienen una resistencia nula e incrementa las presiones de fricción y también el potencial de generación de muchos problemas. Los aditivos para pérdida de fluidos reducen la permeabilidad del revoque del cemento.

El mecanismo de acción del controlador de filtrado es mejorando la distribución entre partículas a los efectos de formar un revoque impermeable y viscosificando el agua intersticial. Para esto se usan aditivos a base de polímeros orgánicos o sintéticos, derivados de la celulosa (denominados por nosotros como HALAD ®)

3.3.6 Reductores de Fricción o Dispersantes de Cemento:

Los agentes dispersantes son añadidos a las lechadas de cemento para mejorar sus propiedades de flujo. Los dispersantes modifican la interacción electrostática, produciendo partículas cargadas que se repelen, eliminando la adherencia eléctrica por medio de la repulsión entre partículas. Esta separación resulta en una menor resistencia al movimiento de las partículas que sumado al efecto lubricador del agua, proporciona una disminución considerable de la viscosidad.

Los aditivos usados son a base de polímeros, lignosulfatos y ácidos orgánicos

3.3.7 Aditivos de Pérdida de Circulación.

Se hace referencia a la pérdida total o parcial del fluido de perforación o de la lechada de cemento debido a la formación de vacíos durante la perforación de un pozo. Lo cual puede ocurrir debido a un bajo gradiente de fractura, a formaciones no consolidadas o a formaciones cavernosas

El control de la pérdida de circulación durante la perforación involucra añadir material obturante que evitará pérdidas de la lechada de cemento cuando se esta aplicando. Alguno de los materiales más comunes utilizados por nosotros para la pérdida de circulación son de tipo granulares (gilsonita, carbón activado, perlita, micas), laminados (nylon, polipropileno, fibra de vidrio), o si son muy criticas se utilizan materiales mas especializados de fraguado repentino(Thermatek)

3.3.8 Aditivos de Control de Gas.

La migración de gas natural por el cemento no fraguado es un problema importante. Las lechadas de cemento son capaces de transmitir presión hidrostática y mantener un control de presión de sobre-equilibrio al encontrarse en estado fluido. Sin embargo, los cementos de forma natural desarrollan esfuerzo gel cuando se dejan estáticos. El periodo de gelificación antes de que el cemento fragüe podría ser de varias horas. En este estado la lechada que no haya fraguado no transmitirá por completo la presión hidrostática de fluidos al pozo por un efecto de cizallamiento de la lechada a la cara de pozo.

Al encontrarse en estado de gel, y antes de endurecer, el cemento también perderá una pequeña cantidad de filtrados en zonas permeables que son resultado de una reducción de volumen. Debido a que la presión podría ser transferida por el cemento en gel, ocurre una reducción de presión en el punto en donde los filtrados se fugan. El gas de zonas porosas cercanas queda libre de filtrarse a través del cemento no fraguado a otras zonas o a la superficie. La

trayectoria de la migración de gas es permanente y existe incluso después de que el cemento ha endurecido perfectamente.

A partir de Gas Potencial de la zona se puede combatir este problema con diferentes aditivos en la lechada de cemento. Si es leve se puede utilizar un aditivo para minimizar la duración del tiempo en que el cemento se encuentra en estado de gel (Gas Stop).

3.3.9 Aditivos Especiales

Debido a que existen pozos con temperaturas muy elevadas el cemento fraguado al exponerse a temperaturas mayores a 230°F este sufre un fenómeno llamado retrogresión, fenómeno el cual consiste en la pérdida de la resistencia a la compresión del cemento.

Uno de los componentes del cemento fraguado es el HSC (Hidrato Sílico calcio) que a temperaturas superiores a 230°F se convierte en “Hidrato alfa Silicato di Cálcico”, que presenta una débil estructura prosa, llevando al incremento de la permeabilidad y a la pérdida de la resistencia

La incorporación de Sílice finamente molido, entra este en reacción a altas temperaturas y evita la formación del complejo químico indeseable y forma otro complejo “Hidrato Silicato mono Cálcico”, que le produce impermeabilidad y estabilidad. El aditivo usado para esta situación es el sílice finamente molido (Sílica flúor)(SSA-1) o el sílice de partículas mas grandes (Coarse sílica)(SSA-2)

3.4 PRUEBAS DE LABORATORIO.

En el laboratorio inicia la operación de cementación, desde la calidad de los fluidos hasta el éxito de la operación, cualquier parámetro que no se cumpla en laboratorio, en campo se van a ver magnificadas, de ahí la importancia de ejecutar pruebas que sean concluyentes. A continuación se describen los tipos de pruebas realizadas en laboratorio y los equipos utilizados para estos fines.

3.4.1 Tiempos De Bombeabilidad.

El tiempo de bombeabilidad es el tiempo requerido para que un cemento se torne no bombeable. La lechada de cemento se diseña para que cumpla con el tiempo total de operación mas un tiempo como medida de seguridad, por inconvenientes o el comportamiento del pozo exige disminuir la rata de bombeo, a corto plazo esta prueba es la mas importante en el éxito de la operación. Para esta prueba se simulan las siguientes condiciones de pozo:

- Temperatura de circulación de fondo de pozo (BHCT)
- Profundidad del pozo
- Presión del pozo

Teniendo en cuenta que la temperatura, más que la profundidad, tiene el mayor efecto sobre los tiempos de bombeabilidad del cemento, también hay que tener en cuenta que una vez que se deje de mover la lechada del cemento, este comienza a generar esfuerzo gel. Siempre se debe seguir una regla básica: *nunca se debe dejar de mover el cemento hasta que este en su lugar.*

La consistencia de una lechada de cemento se expresa en unidades Bearden (Bc). Dicho valor es determinado por un mecanismo de potenciómetro.

El equipo utilizado para realizar la prueba es el **Consistometro HPHT**, el cual es capaz de simular las condiciones de pozo (presión, temperatura).

3.4.2 Resistencia a la Compresión

Una vez concluido el bombeo de la mezcla del cemento al pozo, se requiere que esta desarrolle una resistencia inicial suficientemente alta para minimizar el tiempo de espera por fraguado (WOC), y para soportar los esfuerzos generados en la etapa de completamiento. La decisión de cuanto esperar para que el cemento genere suficiente resistencia a la compresión para la perforación será función del tipo de cemento, aditivos y la temperatura del pozo. La lechada de cemento se diseña, para que la resistencia adquirida sea correlacionable con el tiempo de bombeabilidad, buscando que la resistencia del cemento sea alta en consecuencia a la densidad de la lechada, en el menor tiempo posible, la regla general es lograr una resistencia mínima de 500 psi antes de hacer drill out.

El equipo utilizado es el **Ultrasonic Cement Analyzer (UCA)**, proporciona una determinación del desarrollo de la resistencia a la compresión de la lechada de cemento, mientras esta se encuentra bajo la temperatura y presión simulada de las condiciones de pozo sometiendo a temperatura estática (BHST). La resistencia compresiva del cemento es determinada midiendo el cambio en la velocidad de una señal ultrasónica transmitida a través de la muestra de cemento mientras esta se endurece. El procesador usa el tiempo de tránsito entre el pulso inicial transmitido y el pulso recibido para calcular la velocidad ultrasónica, esta velocidad se usa para calcular la resistencia al esfuerzo compresivo de una ecuación polinómica empírica, programada dentro del procesador para diferentes densidades de fluido.

3.4.3 Pérdida de filtrado

En el anular se pueden generar grandes diferenciales de presión y la mayoría sobre las formaciones las cuales tienen permeabilidades que permiten que el agua en la lechada de cemento se filtre hacia la formación y la lechada se deshidrate, ocasionando que la densidad, la viscosidad de este aumenten y el tiempo de bombeo disminuye. Si la cantidad de agua filtrada de la lechada es excesiva, esto tendrá un impacto negativo en el éxito de la cementación primaria, ya que los componentes del cemento no tendrán la suficiente agua para hidratarse y desarrollar la resistencia del cemento. En las cementaciones de los Liner, se debe contar con excelente control de filtrado, ya que el área de flujo entre el hanger del liner y el revestimiento anterior, es tan reducido que si no se cuenta

con buen control de filtrado, se puede generar costras en las cunas del haner, provocando un empaquetamiento.

Las lechadas se diseñan acorde con la zona, si es una zona productora, el control de filtrado debe ser optimo, para evitar que el agua filtrada entre en zona productora ocasionando danos de formación y la perdida de filtrado debe ser menor a 45 cc/30 min, si es una zona intermedia menor de 80 cc/30min

El equipo utilizado para realizar esta prueba en el laboratorio es una **filtro-prensa**, un cronómetro y una probeta.

El tiempo de la prueba depende de la velocidad de la deshidratación, si la deshidratación es lenta se toma el volumen de fluido recolectado en 30 minutos de prueba. El volumen reportado API esta dado por la siguiente formula en función del volumen recolectado y el tiempo de prueba:

$$V_{API} = V_{RECOLECTADO} \frac{10,944}{\sqrt{T_{PRUEBA}}}$$

3.4.4 Propiedades Reológicas

El propósito de esta prueba es caracterizar la conducta reológica de las lechadas de cemento, el procedimiento desarrollado esta estandarizado para generar resultados reproducibles para la industria del petróleo. Dicho procedimiento fue desarrollado después de un análisis cuidadoso de muchos parámetros que afectan la conducta reológica de las lechadas de cemento.

Los modelos reológicos que representan de la mejor manera posible los datos y logrando la caracterización del comportamiento de flujo (presiones de fricción, régimen de flujo, etc.) de la lechada de cemento en cualquier geometría (tubería, anillo, etc.) son el Modelo de la Ley de la Potencia y el Modelo Plástico Bingham, siendo este último el aceptado en la mayoría de los lodos de perforación y las lechadas.

Las lechadas de cemento se diseñan para cumplir una estricta jerarquía reológica, entre el fluido de perforación, los preflujos y las lechadas, siendo esta ultima la mas alta, todo esto con el fin de que exista una buena remoción del lodo de baja movilidad, una buena adherencia del cemento hacia la formación y hacia el revestimiento, otro punto a tener en cuenta en el diseño es el efecto sobre el asentamiento de sólidos y el agua libre como también en las caídas de presión por fricción. Esta presión por fricción que es sumada a la presión hidrostática de los fluidos, y la presión total que es dividida por la altura para dar la densidad circulante (ECD). Los trabajos deben diseñarse para que la ECD quede por debajo de la presión obtenida por el gradiente de fractura. Adicionalmente, la reología de las lechadas se usa para determinar el régimen de flujo de las lechadas.

Para el desarrollo de esta prueba se utiliza un **viscosímetro FANN 35**, el cual es un viscosímetro rotacional, se realizan las mediciones a diferentes RPM, para obtener los valores de Shear Stress con los cuales se determina las propiedades reológicas de la lechada, a temperatura ambiente y a temperatura circulante.

3.4.5. Agua Libre.

Esta prueba se realiza a la temperatura Circulante (BHCT) y se asume que la lechada ya esta entre el revestimiento y la formación, al cabo de dos horas de condiciones estáticas se observa si la lechada tiene desprendimiento de agua, esta es medida y reportada en porcentaje. Si lo que se observa no es agua libre si no una mezcla de agua con cemento este se define como fluido libre.

Para llevar a cabo esta prueba se requiere de un consistómetro atmosférico, una probeta de vidrio de 250 cc y un cronometro, la temperatura de prueba es la temperatura circulante, para las operaciones es de suma importancia que el porcentaje de agua libre, y de fluido libre sea mínimo, y en pozos horizontales debe ser 0% sin tolerancia para que no se generen canales.

4. CEMENTACIÓN PRIMARIA

La cementación primaria de un pozo petrolero significa solo un pequeño porcentaje en el costo total de la terminación, este constituye una de las partes más importantes del éxito de la perforación. El posicionamiento del cemento en el pozo se realiza con equipos especialmente diseñados para esta finalidad.

La cementación primaria se realiza inmediatamente después de que la tubería de revestimiento ha sido corrida al fondo del pozo y es ubicada en el casing point establecido. Esto se realiza bombeando la lechada de cemento todo lo largo de la tubería de revestimiento, para que salga por el tramo inferior (por el zapato), y hacia arriba por el espacio anular. Se permite que el cemento fragüe antes de reasumir la perforación (Drill Out), o de completar el pozo.

Los materiales, herramientas, equipo y técnicas que pueden utilizarse varían dependiendo de las condiciones del pozo, profundidad, y personas que planeen el trabajo. Una cementación primaria exitosa representa un desafío constante y requiere de conocimientos y tecnología actualizados.

4.1. Cementación casing de superficie.

Esta cementación tiene como objetivo soportar el revestimiento que fluctúa en las zonas trabajadas entre 9 5/8" y 20", además proveer buena integridad en el zapato para pruebas de Leak Off Test., y Formation Integrity Test. Adicionalmente aislar zonas someras de agua fresca. Así mismo permite instalar el equipo de control de superficie (BOP) para continuar de una forma segura la perforación de la siguiente sección.

Las primeras fases se perforaran generalmente con broca de diámetro grande, hasta profundidades competentes para sentar el revestimiento. Para la cementación se utiliza dos o un tipo de lechada, dependiendo de la profundidad y de las exigencias del cliente; las lechadas para este tipo de trabajo se diseñan con aceleradores de fragüe debido a que el tiempo de bombeabilidad exigido es mínimo debido a la poca profundidad a la que se sitúa el cemento. También el diferencial de presión entre la formación y el anular no es muy alto por lo cual no se le agregan controladores de filtrado, pues el potencial de deshidratación de la lechada es bajo. Cuando la lechada de relleno tiene una densidad menor de 14 ppg esta se diseña con un aditivo extendedor como la bentonita, para ser consecuente con las jerarquías reológicas.

Este trabajo se puede realizar usando el sistema de tapones convencionales, o el sistema de "Inner String", con Zapato Flotador tipo "Stab In" y un Stinger. Subdesplazando para dejar un Shoe Track virtual 45 ft de cemento por encima del Zapato Flotador.

En todos los trabajos de cementación del casing de superficie, se bombea cemento hasta recibir en superficie retornos de la misma, Toda la información

disponible que pueda recopilar es adicionada y se usa con el objetivo de mejorar los diseños de cementación.

Objetivos:

- Proveer un buen soporte para el revestimiento al cementarlo hasta superficie
- Aislar los acuíferos superficiales
- Reforzar el revestimiento al ubicar cemento competente alrededor del revestimiento y permitir variaciones de lodo y pruebas de integridad
- Soportar las BOP
- Cero LTI o incidentes ambientales

Discusión:

El anular es cementado hasta superficie usando diferentes tipos lechadas según las exigencias del pozo y del cliente; lechada de relleno que oscilan entre 12.5ppg y 14 ppg que cubren la mayor longitud del anular y lechada principal que su densidad oscila entre 14 ppg y 15.8ppg que cubre una longitud mínima de 400 ft en el anular desde el casing point para brindarle una excelente integridad en el zapato, estas lechadas son diseñadas con aceleradores de fragüe para reducir el WOC y que el tiempo de bombeabilidad este acorde con el tiempo requerido para la operación mas un tiempo de seguridad. Se usa cemento Clase G.

Top Job:

Estar preparados para bombear cemento desde superficie por el anular en el caso dado de no tener retorno de cemento en el contrapozo, se debe disponer y verificar la tubería de macarrón.

Recomendaciones Realizadas:

- El hueco se debe acondicionar circulando fondos arriba o hasta que se tenga retornos limpios en superficie, la reología del lodo se debe ajustar para que tenga un punto de cadencia (Yield Point) menor a 15 lb/100 sq ft
- Si el revestimiento es de diámetro considerable, es poco profundo y las propiedades de los fluidos tienen altas propiedades mecánicas, se debe asegurar el revestimiento con cadenas pues puede boyar.
- Si ocurre pérdida de circulación mientras se bombea o desplaza el cemento, se debe disminuir la rata pero sin detener las bombas completamente.
- Si se usan dos tipos de lechada se recomienda hacer el respectivo cambio de la lechada Lead a la Tail cuando se tenga buen retorno de lechada en

superficie, verificar la densidad de ésta y proceder a hacer el cambio cuando la lechada Lead salga neta, es decir que no esté contaminada con lodo.

- Con el volumen de cemento retornado y el volumen de cemento en hueco calcular el diámetro promedio real de pozo, para tener en cuenta en los excesos para futuras operaciones.

4.2. Cementación Casing intermedio

Objetivos:

Proveer sello hidráulico para prevenir cualquier tipo de influjo a través de las zonas intermedias.

Proveer aislamiento zonal a través del intervalo cementado, con una lechada principal de una longitud determinada por las condiciones finales del pozo y una lechada de relleno para cubrir zonas de menor riesgo y evitar que la lechada principal sea contaminada

Reforzar la resistencia del revestimiento contra el colapso o efectos de "buckling".

Discusión:

La tubería intermedia de revestimiento se instala después de la tubería de superficie de revestimiento. Esta tubería se puede extender desde superficie, el tamaño y tipo de la tubería intermedia de revestimiento depende del número de otras sartas que se vayan a correr por debajo de ella, y el grado requerido para soportar las condiciones de pozo, los tamaños fluctúan entre 7" a 13 3/8", siendo el más usado en las zonas trabajadas el de 9 5/8" BTC. Se recomienda zapato y collar flotador non rotating y juego de tapones no rotating, para facilitar el Drill Out.

La primera lechada bombeada es de relleno (lead), es seguida por lechada principal de mayor densidad.

Diseño de la lechada:

La lechada propuestas para este tipo de trabajo varía entre una densidad de 15.6 ppg a 16 ppg con cemento clase "G", aditivadas con control de filtrado por obtener pérdidas por debajo de 85cc/30min, suficiente retardador para adquirir tiempo de bombeabilidad que cubra el tiempo de trabajo más un tiempo estimado de seguridad de 1 hora y media, y jerarquía reológica entre las lechadas y los preflujos. Si durante la perforación se presentan pérdidas de circulación a las lechadas se le adiciona material de pérdida, que en nuestro caso es fibra de vidrio o mica fina.

Centralización:

Este es un punto relevante para este tipo de operaciones pues los centralizadores nos ayudan a tener un buen anillo de cemento en todas las direcciones si la inclinación del pozo es muy pronunciada es aún mayor la necesidad de instalar estos accesorios al revestimiento, instalando el primer centralizador a 5 pies del zapato y en la junta siguiente y los otros de acuerdo a la distribución de las arenas y perfil direccional para obtener el mejor “Stand Off” (recomendable igual o mayor del 70%).

Recomendaciones realizadas:

- El hueco se debe acondicionar circulando 2 fondos arriba o hasta que se tengan retornos limpios en superficie, es importante evitar al máximo los tiempos estáticos durante la circulación, por lo cual es aconsejable que se conecte la cabeza de cementación y la líneas de superficie en “Y” cuando el revestimiento este en fondo.
- una vez el revestimiento esté en fondo, el lodo se debe acondicionar bajando las reologías y tratando de obtener un perfil plano de resistencia de gel y un YP por debajo de 15 lb / 100 sq ft, con pérdida de filtrado razonable, con costras delgadas y competentes y bajo contenido de sólidos, todo esto ayuda a minimizar los bolsillos de lodo gelificado y reducir el espesor del filter cake.
- En caso de presentarse pérdidas durante el bombeo del cemento, se deberá disminuir la tasa de bombeo al máximo, sin embargo, no se deberán detener las bombas completamente, ya que se correría el riesgo de empaquetarse. Se deberá reducir la tasa de bombeo basados en la simulación realizada antes del trabajo teniendo en cuenta la caída libre del cemento.
- Se recomienda reciprocarse el revestimiento a baja velocidad para no causar pistoneo ni suaveo del pozo, con 5 o 6 ft de longitud es suficiente, dependiendo de las condiciones del pozo, si este lo permite.
- Se verifican las condiciones de entrada y salida del lodo y las condiciones de presión del pozo, tendientes a decrecer a medida que se circulan los volúmenes de hueco.
- Si el desplazamiento se realiza con las bombas del taladro se debe realizar una prueba volumétrica de las bombas de este para estar seguros de la eficiencia de las bombas.
- Mantener los tanques de lodo con el cual se va a desplazar aislados, con el objetivo de llevar un control físico del volumen bombeado.

- Asegurar que todas las líneas de flujo desde las tinas de lodo, estén perfectamente alineadas para asegurar que todo el fluido sea bombeado por el Stand Pipe que el volumen cuantificado sea consecuente con el real.

4.3 Cementación Casing de producción.

Objetivos:

El objetivo de estos trabajos es dar soporte al revestimiento, ofreciendo una excelente integridad en el zapato y un buen sello anular a través de toda la zona productora, cementando desde el zapato hasta llevar el tope de cemento a una profundidad óptima, y de esta forma permitir producir selectivamente las diferentes zonas de la formaciones. La cementación también previene problemas de colapso del revestimiento.

Discusión:

El revestimiento de producción es la última sarta de tubería que se instala en el pozo. En algunos pozos se instala Liner en vez de revestimiento de producción. El revestimiento de producción se extiende hasta superficie hasta la formación de exploración mas profunda. Debe ser lo suficientemente pequeña como para ajustarse a todos los revestimientos anteriores. Las más comunes utilizadas en las áreas trabajadas son de 7" y de 5 ½ ". Primero se cementa y después se cañonea la zona de explotación. Por tanto un buen trabajo de cementación aquí afecta el éxito del pozo más que en ninguna otra parte. Dependiendo de las condiciones del pozo, se puede utilizar todos los tipos de equipos, tales como centralizadores, raspadores, herramientas de etapas múltiples, para asegurar el éxito del trabajo.

El exceso utilizado para los cálculos de volumen es de 30% al 50% sobre el caliper el cual es muy común que se corra en esta etapa del pozo, a este registro le sacamos el diámetro promedio de la zona a cementar

Debe recolectarse una cantidad de agua suficiente para la operación que incluye el agua para la mezcla de cemento, espaciadores, desplazamiento y un volumen adicional para lavado de equipo.

Diseño de la lechada:

La lechada propuestas para este tipo de trabajo varia dependiendo de la zona, desde lechadas livianas Tuned Light® de 12.5 ppg hasta lechadas pesadas de 17 ppg; con cemento clase "G", debido a que se sienta el revestimiento y el cemento queda ubicado en zonas productoras, que tienen una alta permeabilidad, en la cual hay que minimizar al máximo los daños que se le puedan generar a la formación, por este motivo las lechadas son aditivadas con excelente control de filtrado por obtener perdidas por debajo de 40cc/30min, suficiente retardador para adquirir tiempo de bombeabilidad que cubra el tiempo de operación más un tiempo estimado de seguridad de 1 hora y media, y jerarquía reológica entre las lechada y los preflujos. Si durante la perforación se presentan perdidas de circulación a las

lechadas se le adiciona material de perdida, que en nuestro caso es fibra de vidrio o mica fina.

La columna de cemento se posiciona desde el zapato hasta una zona libre por encima de la zona de interés, con una lechada principal, teniendo en cuenta el exceso en volumen determinado previamente, sobre el tamaño de los datos del caliper , y una lechada de relleno. Las lechadas son premezcladas en Batch Mixer, en busca de la homogeneidad de las mismas y optimizar a lo largo de toda la columna las propiedades físico-mecánicas del cemento.

Centralización:

La centralización es muy importante para lograr un anillo de cemento uniforme a lo largo de toda la zona productora y de la zona a cementar con la lechada principal. Centralizar el revestimiento así: Un centralizador tipo rígido a 5 pies arriba del zapato, un centralizador rígido a 5 pies arriba del collar y centralizadores rígidos , localizados de acuerdo al registro de formaciones perforadas ubicándolas en las secciones arcillosas.

Recomendaciones Realizadas:

- Durante la corrida del revestimiento, se recomienda romper circulación periódicamente en hueco abierto para remover el lodo de baja movilidad, que ha estado estático en el pozo desde el viaje de acondicionamiento.
- Al acondicionar el lodo cuando el revestimiento este en fondo, se debe obtener un YP menor a 15 lb/100 sqft y geles de 10 s y 10 min con un perfil plano, con pérdida de filtrado mínima, con costras delgadas, competentes y bajo contenido de sólidos, todo esto ayudara a minimizar los bolsillos de lodo gelificado y reducir el espesor del filter cake.
- Se debe circular el hueco al menos 1.5 fondos arriba antes de desarrollar el trabajo, es importante que se eviten al máximo los tiempos estáticos durante la circulación, por lo cual es aconsejable que se conecte la cabeza de cementación y líneas de superficie en “Y” cuando el revestimiento este en fondo.
- En caso de presentarse pérdidas durante el bombeo del cemento, se deberá disminuir la tasa de bombeo al máximo, sin embargo, no se deberán detener las bombas completamente, ya que se correría el riesgo de empaquetarse. Se deberá reducir la tasa de bombeo basados en la simulación realizada antes del trabajo teniendo en cuenta la caída libre del cemento.

- Se recomienda reciprocar el revestimiento a baja velocidad para no causar pistoneo si suabeo del pozo, con 5 o 6 ft de longitud es suficiente, dependiendo de las condiciones del pozo, si este lo permite.
- Se verifican las condiciones de entrada y salida del lodo y las condiciones de presión del pozo, tendientes a decrecer a medida que se circulan los volúmenes de hueco.

4.4 Liners

Objetivos:

Se procede correr un liner, para cementarlo totalmente hasta 400 ft por encima del tope de liner, 300 ft aproximadamente de overlap entre el revestimiento anterior y el liner. Para este trabajo es esencial obtener un aislamiento anular adecuado, entre el zapato del revestimiento anterior y overlap.

Discusión:

El liner de producción es un revestimiento que se cuelga desde la tubería de revestimiento anterior. Este tipo de liner subsecuentemente se cementa y perfora como cualquier otro revestimiento de terminación, brinda aislamiento y soporte cuando la tubería de revestimiento ha sido fijada por encima de la zona productora.

La lechada se calcula con un exceso en hueco abierto, el volumen del overlap que aproximadamente son 300 ft y el cemento sobre el tope del Liner (TOL) 400 ft Esta lechada es bombeada por la tubería de perforación por detrás del tren de preflujos. Pasa y sale por el zapato y sube al exterior del Liner. El Pump Down Plug se libera de la cabeza de cementación luego de haber bombeado toda la lechada y se empieza el desplazamiento, este tapón se acopla con el tapón de limpieza del Liner (Wiper Plug) , y después las cuñas de seguridad se rompen con un diferencial de presión. Ambos continúan hacia abajo hasta que asienta en el Landing Collar dejando un Shoe Track de seguridad entre el Landing Collar y el Zapato. Generalmente no se corren tapones inferiores en la cementación del liner; por lo tanto conforme los dos tapones descienden, limpian el lodo del liner. Este lodo, que esta atrapado entre el zapato y el coupling no debe pasar al espacio anular contaminando el cemento.

Finalizado el desplazamiento se prueba la integridad del equipo de flotacion realizando Back flow, se realiza Sting Out de la tubería de perforación y se observa la presión que marca en el Stand Pipe, esta presión evidencia cemento sobre el tope del liner, y se puede calcular la longitud del cemento entre el revestimiento anterior y la tubería de perforación, siendo consecuente con esto podemos conocer el volumen de cemento sobre el tope del liner afirmando una buena cementación.

Diseño de la lechada:

La lechada propuestas para este tipo de trabajo varia dependiendo de la zona, desde lechadas livianas Tuned Light de 12.5 ppg hasta lechadas de 16 ppg; con cemento clase "G", debido a que se sienta el liner y el cemento queda ubicado en zonas productoras, que tienen una alta permeabilidad, en la cual hay que minimizar al máximo los daños que se le puedan generar a la formación, por este motivo las lechadas son aditivadas con excelente control de filtrado por obtener perdidas por debajo de 40cc/30min, suficiente retardador para adquirir tiempo de bombeabilidad que cubra el tiempo de trabajo mas un tiempo estimado de seguridad de 1 hora y media, y jerarquía reológica entre las lechada y los preflujos. Si durante la perforación se presentan perdidas de circulación a las lechadas se le adiciona material de perdida, que en nuestro caso es fibra de vidrio o mica fina. El area de flujo se reduce bastante durante la cementación de liner en comparación con la cementación de otro tipo de revestimiento, por esta razón las lechadas se diseñan para adquirir propiedades reológicas de las lechadas relativamente bajas, sin dejar a un lado la jerarquía reológica entre estos fluidos.

Centralización:

Para asegurar una adecuada calidad de cemento del liner, entrada al overlap y overlap, se recomienda centralizar el liner en dichas zonas con un centralizador por junta, para obtener 70% de StandOff en las mismas debido a que el área equivalente entre el revestimiento anterior y el liner es muy reducida, el tipo de centralizador sugerido es el Rígido en espiral de 7", cada centralizador deberá ser asegurado por medio de dos stop collar.

Recomendaciones Realizadas:

- Durante la corrida del liner se recomienda romper circulación periódicamente (cada 100 ft), en hueco abierto para remover el lodo de baja movilidad, que ha estado estático en el pozo desde el viaje de acondicionamiento.
- Es importante que al llegar a profundidad total, se acondicione el lodo hasta obtener un Yield Point menor a 15 lb/100 sqft y perfil de geles con comportamiento plano, para facilitar su remoción.
- Circular el pozo hasta obtener retornos limpios y tener la seguridad que el bolsillo esta libre de recortes, pues al entrar el cemento que tiene propiedades reológicas mas altas, me puede arrastrar estos recortes y causar empaquetamiento.
- Con el propósito de evitar tiempos estáticos al máximo, es necesario conectar la cabeza de cementación y líneas de superficie con la corrida de la última junta, en caso de requerir sentar el liner Hanger con la unidad cementadora.

- Se deberá asegurar el 100 % de la circulación del hueco antes de sentar el Liner Hanger, el tiempo de circulación después de sentar el colgador dependerá de la estabilidad en la presión en cabeza al compararla con la presión de circulación simulada.
- Se recomienda usar una píldora viscosa que ocupe el espacio volumétrico del revestimiento y así evitar que una vez se realice el Sting Out, el cemento que queda sobre el tope del liner no se segregue dentro de este.
- También es importante bombear una píldora viscosa de limpieza una vez se realice el sting out para lograr la completa limpieza de cualquier exceso de cemento que quede por encima del tope de cemento y en la tubería de trabajo.
- Debido que por lo general estos trabajos se realiza a profundidades altas, tener en cuenta para el desplazamiento dentro de la tubería de perforación el diámetro del up set, que es menor al diámetro del cuerpo, esto nos da un diámetro efectivo de la tubería de perforación, que al no tenerlo en cuenta podemos incurrir en un sobre desplazamiento.
- Monitorear las presiones minuciosamente, para observar cualquier indicio de empaquetamiento para manejar los caudales de la manera mas conveniente.
- Recalcular el desplazamiento cuando se observe el pico de presión del enganche del *Pump Down Plug* con el *Wiper Plug*, para tener un desplazamiento exacto.
- Sentar tapón con un diferencial de presión aproximado de 1000 psi por encima de la última presión de desplazamiento.

5. TAPONES DE CEMENTO

5.1 Tapones de Abandono

Objetivos:

El propósito de estos trabajos es proveer un tapón de abandono competente desde con el fin de abandonar la sección de hueco abierto por debajo de la zona de interés. Si es para abandonar definitivamente el pozo el ministerio de minas exige abandonar el pozo con tapones, a través y por arriba de zonas potenciales de explotación petrolera y gas; por arriba y por debajo de zonas de agua dulce; por arriba y por debajo de la zona uno en la zona de aporte, en una zona intermedia, y uno en superficie, se recomienda que estos tapones tengan una longitud de 400 ft ya sea en hueco abierto o en tubería.

Discusión:

Cuando se abandona un pozo seco o agotado, parte del revestimiento que se dejó no cementada puede extraerse del pozo. Esto deja zonas de agua dulce desprotegidas. Además, pueden descubrirse zonas de alta presión. Esto permite que el fluido migre a la superficie y cause condiciones superficialmente desfavorables.

El método para efectuar los trabajos es el de tapón balanceado utilizando fluidos con alturas equivalentes e igual densidad tanto en el anular como en la tubería. Se recomienda subdesplazar el tapón de cemento por 5 bbls, una vez realizado el tapón de cemento se saca la tubería a baja velocidad (40-60 ft/min) para evitar el efecto de suabeo sobre el mismo hasta estar por encima del máximo tope teórico de cemento.

Si el tapón es ubicado en hueco abierto se le aplica un exceso sobre el tamaño del hueco en calibre o sobre el diámetro obtenido por el registro caliper, teniendo en cuenta formación a cementar. Si el tapón es ubicado en tubería no es necesario aplicar excesos.

Diseño de la lechada:

La lechada de cemento esta diseñada con cemento clase "G" . Adicionalmente esta aditivada para brindar 1 ½ hora de seguridad por encima del tiempo de bombeo del trabajo, si el tapón es ubicado en hueco abierto se le agrega controladores de filtrado y proveer un filtrado menor a 70 cc/30 min. Para este tipo de trabajo se requiere adquirir una resistencia rápida, que sea mayor a 2000 psi a las 24 horas.

Recomendaciones Realizadas:

- Para reducir la contaminación del tapón de cemento usar el diverter tool en la punta de la tubería de trabajo.

- Usar tubería de cola de diámetro pequeño para evitar que al sacar la tubería del tapón de cemento este me cause suabeo me pueda desbalancear el tapón.
- Acondicionar el Yield Point del lodo hasta obtener un valor menor a 15 lb/100 sqft para asegurar que el cemento quede en contacto con la formación.
- Lavar la zona a cementar cuando se corre la tubería de perforación en el hueco para mejorar la adherencia del cemento a la formación, eliminar tiempos estáticos de operación.
- Disponer de un Side Entry Sub para conectar la tubería de perforación al top drive y a las líneas de cementación una vez se encuentre en posición para balancear el tapón de cemento.
- Antes de realizar el trabajo circular el pozo 2-3 fondos arriba hasta acondicionar el lodo con un YP a BHCT menor a 15 lb/100 sqft y perfil de geles con comportamiento plano.
- Para evitar el tiempo estático durante la circulación se debe realizar las conexiones de superficie inmediatamente una vez se llegue a fondo con la sarta de trabajo.

5.2 Tapones para perforación direccional (Side Track).

Objetivos:

El propósito de estos trabajos es proveer soporte para salir de un hueco viejo e iniciar un nuevo pozo direccional luego de haber aislado con un tapón de fondo en la zona inferior, para lograr este objetivo, se balancea un tapón de cemento y luego se procederá a reperforar y salir con la nueva trayectoria.

Discusión:

En algunas ocasiones no se realiza o no se puede llevar a cabo perforación vertical. Tal vez un objeto se encuentra bloqueando la trayectoria hacia abajo como por ejemplo una sarta rota, una herramienta, etc, el pozo esta desviado o se desea perforar hacia una meta que esta fuera del alcance del pozo. Antes de poder llevar a cabo la perforación direccional, es necesario un asiento o un puente en el cual fijar la herramienta.

La perforación direccional o la desviación se lleva a cabo colocando el tapón, y después desviando la broca retirándola del tapón en otra dirección, el tapón de desviación se brinda para moverse en torno de objetos que no son recuperables, corregir las desviaciones verticales excesivas del pozo, perforar un pozo de alivio o reducir la producción de agua no deseada.

El método para efectuar los trabajos es el de tapón balanceado utilizando fluidos con alturas equivalentes e igual densidad tanto en el anular como en la tubería. Se recomienda subdesplazar el tapón de cemento por 5 bbls, una vez realizado el tapón de cemento se saca la tubería a baja velocidad (40-60 ft/min) para evitar el efecto de suabeo sobre el mismo hasta estar por encima del máximo tope teórico de cemento.

Diseño de la lechada:

Es común que una sección del tapón quede dentro del revestimiento anterior y el resto en hueco abierto, el volumen calculado para hueco abierto va con un exceso considerable, se debe balancear con el hueco en calibre y realizar un subdesplazamiento.

Las lechadas se realizan con Cemento Clase “G”, la densidad de estas lechadas son generalmente altas, con tiempo de bombeabilidad suficiente para mezclar, bombear, sacar tubería por encima de tapón, mas 1 ½ de factor de seguridad; resistencia a la compresión es al característica mas importante de este tipo de cemento, ya que debe ser lo suficientemente resistente para desviar la broca hacia la nueva trayectoria deseada, se diseña este tipo de lechada para adquirir una resistencia a la compresión mayor a 2500 psi en menos de 24 horas, filtrado API menor a 80 cc/30 min, jerarquía reológica entre la lechada y los preflujos en BHCT.

Recomendaciones Realizadas:

- Realizar subdesplazamiento de 5 bbls para que el tapón se balancee por si solo, evitando contaminación de la lechada.
- Para reducir la contaminación del tapón de cemento usar el diverter tool en la punta de la tubería de trabajo.
- La lechada diseñada debe adquirir una resistencia a la compresión mayor a 2500 psi antes de las 24 horas.
- Balancear una píldora viscosa debajo de donde se planea balancear el tapón, para que esta píldora evite que el tapón se segregue.
- Lavar la zona a cementar cuando se corre la tubería de perforación en el hueco para mejorar la adherencia del cemento a la formación, eliminar tiempos estáticos de operación.
- Antes de realizar el trabajo se deberá circular el pozo 2-3 fondos arriba hasta acondicionar el lodo con un YP a BHCT menor a 15 lbf/100 sqft y perfil de geles con comportamiento plano.

- Evitar el tiempo estático durante la circulación se deberán realizar las conexiones de superficie inmediatamente una vez se llegue a fondo con la sarta de trabajo.
- Usar tubería de cola de diámetro pequeño para evitar que al sacar la tubería del tapón de cemento este me cause suabeo me pueda desbalancear el tapón.
- Disponer de un Side Entry Sub para conectar la tubería de perforación al top drive y a las líneas de cementación una vez se encuentre en posición para balancear el tapón de cemento.

6. CEMENTACIÓN FORZADA (SQUEEZE)

Objetivos:

Los objetivos de estos trabajos son los siguientes:

- Corregir un trabajo de cementación primaria defectuosa, ocasionado por canalizaciones o llenado insuficiente.
- Para crear sello en sitios que intencionalmente no se cementaron durante la cementación primaria.
- Para reducir la relación gas/petróleo cerrando parte de las perforaciones de producción de gas, es decir aislando zonas apostadoras de gas.
- Para mejorar la relación de aceite con el agua cerrando parte de la formación de producción de agua, es decir aislando zonas de aporte de agua.
- Para cerrar una formación no productiva del pozo.
- Para evitar la migración de fluidos
- Para reparar fugas en los revestimientos, por corrosión o perforación.

Discusión:

La cementación forzada es un proceso mediante el cual el cemento es forzado al espacio anular de una tubería de revestimiento. Las perforaciones en la tubería a menudo requieren obtener una trayectoria de flujo hacia el espacio anular. El canal o área de una mala unión, así como las perforaciones se llenan con cemento. Se permite que incremente la presión de bombeo para forzar la lechada de cemento al área deseada. Se permite que el cemento se endurezca formando un tapón que bloquea el movimiento del fluido.

Las perforaciones de explotación pueden abandonarse mediante la cementación forzada. También, las fugas de las tuberías de revestimiento debido a la corrosión, pueden sellarse con este proceso

Para realizar una cementación forzada por circulación se hace forzar el cemento desde los perforados realizados para estos propósitos, tratando de cubrir el espacio anular libre de cemento. En caso de no observar circulación por el anular es necesario realizar un Hesitation en el intervalo en cuestión.

Durante estos procedimientos se debe tener precaución de manera que la presión de bombeo y la presión ejercida por el peso de los fluidos no sean lo suficientes, para inducir una fractura que es totalmente indeseable en este procedimiento. La

presión requerida para forzar el cemento en la formación sin fracturarla la denominamos presión de bombeo.

Para determinar el volumen, y el caudal se ejecuta previa a la operación de cementación una prueba de inyección en la que el fluido de pozo sea bombeado a la formación para determinar a que rango y presión se absorberá el fluido.

Diseño de la lechada:

El volumen de la lechada es exacto igual que su desplazamiento, estas lechadas se realizan con Cemento Clase "G", la densidad de estas lechadas depende del tipo de trabajo que se busca y si este va a ser circulado o Hesitado. El tiempo de bombeabilidad es de suma importancia debido que nos va a dar un estricto tiempo de operación, y que en determinado caso puede ser una limitante de la operación este debe ser tener el suficiente tiempo para mezclar, bombear, realizar el forzamiento y sacar tubería, mas 1 ½ de factor de seguridad; resistencia a la compresión mayor a 2000 psi en menos de 24 horas, el filtrado API menor a 50 cc/30 min. Las reologías son cuadradas dependiendo del tipo de trabajo, si se busca circulación las reologías son relativamente bajas.

Recomendaciones Realizadas:

- Se recomienda cambiar el fluido del pozo, por agua fresca para evitar cualquier riesgo de contaminación con fluidos diferentes.
- Realizar la prueba de inyektividad antes de mezclar y bombear el cemento, para determinar parámetros de trabajo antes de proceder con el squeeze Según lo observado en esta prueba de inyektividad determinar las presiones máximas en superficie, el rango de inyección y los volúmenes a bombear.
- Para el cálculo de presión máxima por colapso, asumir que hay comunicación hidráulica detrás del revestimiento, a la altura del retenedor, por lo que toda presión interna se transmitiría al revestimiento por encima del retenedor.
- Realizar una prueba de integridad de la tubería de perforación en el punto neutro.
- Una vez se realice el Sting Out al finalizar la operación, proceder de inmediato con la limpieza de la tubería circulando en reversa el exceso de cemento.

7. CONCLUSIONES

- Se adquirió conocimientos y destreza teórica y experimental en las prácticas y procedimientos realizados en las operaciones de Cementación y en el Laboratorio de Cementación de HALLIBURTON, cumpliendo con las políticas de HSE&OE
- Durante la pasantía, se diseñaron los diferentes tipos de lechadas bajo los procedimientos estipulados en la norma API RP 10B y en la GLOBAL BEST PRACTICES del laboratorio de cementación de Halliburton, cumpliendo con las propiedades físico-mecánicas, requerimientos y características acordes a las necesidades de la operación.
- Se aprendió a identificar los comportamientos de las lechadas realizadas con los diferentes aditivos de HALLIBURTON y/o compuestos que modifican sus características, propiedades físico-mecánicas y tiempo de bombeabilidad,
- Se adquirió conocimiento práctico y teórico para dirigir cualquier operación de cementación en campo, así como el reconocimiento de los aspectos influyentes de estas, teniendo la capacidad de desarrollar concluir y recomendar el procedimiento para optimizar la operación.
- Se obtuvo conocimiento y se aplicó durante la realización de procedimientos de control de calidad de los aditivos, agua y cemento petrolero.
- Durante la estadía en laboratorio, implemente la determinación de la gravedad específica del cemento por el método del picnómetro de Le Chatelier, ejerciendo un mejor control de calidad.
- Se diseñó un nuevo formato de entrega de resultados de las pruebas de laboratorio, donde se facilita la comprensión por parte del cliente de los resultados, además de llevar un control mas estricto de las pruebas llevando una Base de Datos.
- Se dio inicio a la implementación de la base de datos, en la intranet de Halliburton denominada **VIKING®**.
- Operacionalmente se realizaron recomendaciones de gran impacto.
- En general el desarrollo en la pasantía fue muy satisfactorio, tanto para mi como para Halliburton, evidenciado por la acogida de la empresa, hacia mi desempeño, y las oportunidades brindadas para un crecimiento profesional, que dan la oportunidad de ejercer en el área de ingeniería.

7. RECOMENDACIONES

Hacia la empresa:

- Seguir con la implementación en la Base de Datos VIKING®, esto facilitara la estandarización del las solicitudes y reporte de pruebas de laboratorio, dando cumplimiento con un requerimiento dando accesibilidad a cualquier persona.
- Contar en el laboratorio todos los lotes de aditivos que se encuentren en circulación por el país, y así mismo usar el lote de aditivo en la prueba, correspondiente al de la operación de cementación.
- Seguir con la determinación de la gravedad especifica del cemento por el método de Le Chatelier, en las pruebas API realizadas al cemento de caracterización enviado por HOLCIM, llevando un control de calidad mas estricto y parámetro de cálculos mas exactos.

Hacia los fututos Pasantes:

- Como estudiantes tenemos la ventaja de tener ideas frescas y la mente abierta, podemos hacer grandes aportes hacia la empresa.
- La universidad nos brinda bases teóricas las cuales, nos servirán en la empresa para poder ser competitivos, y lo mas importante nos enseña a aprender con facilidad.
- La empresa nos brinda la oportunidad de crecer profesionalmente, ejerciendo, brindándonos responsabilidades, para aprovechar estas oportunidades lo mas importante es la proactividad en nuestras labores, siempre brindar mas de lo que esperan de uno.
- Asumir responsabilidades, cumplirlas con disciplina, y siempre ir un paso adelante, entre mas responsabilidades recarguen sobre nosotros nos va dando jerarquía en la empresa,