



Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“Operaciones de Cementación Primaria del Pozo Sofia 1. Ubicado
en el Campo Auca”**

TESINA DE GRADUACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

TECNOLOGO PETROLERO

Presentado por:

Marcela Eunice León Abad

GUAYAQUIL - ECUADOR

2014

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas aquellas personas que de una u otra forma me brindaron su incondicional apoyo para la realización de este trabajo. En especial a Dios, a mi madre por su constante motivación. A la Escuela Superior Politécnica del Litoral y a la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra sobre todo al Ing. Alberto Galarza por su valiosa dirección durante todo este tiempo y por brindarme el soporte necesario para superar las dificultades que atravesé.

DEDICATORIA

A Dios porque sin él no hubiera podido llegar hasta aquí, a mis padres y a todas las personas que creyeron en mí y siempre conte con su apoyo en todo momento que son muchos y han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría dedicarles esto por su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Dra. Elizabeth Peña Carpio
DECANA (e) - FICT



Ing. Alberto Galarza.
DIRECTOR DE TESINA

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesina de grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

Marcela León Abad

Marcela Eunice León Abad

RESUMEN

El propósito de este trabajo es describir y analizar las operaciones de cementación primaria en un pozo petrolero perforado en el oriente ecuatoriano.

Siendo la cementación un aspecto importante, ya que la aportación de un material cementante en el espacio anular entre revestidor y hoyo, se realiza con el objetivo de: Soportar las cargas axiales de los revestidores que van a ser corridos posteriormente, proveer soporte y protección al revestidor y aislar las zonas del hoyo.

Para lograr una cementación exitosa se toman en cuenta aspectos como: el tipo de cemento, efectiva remoción de lodos, centralizar la tubería de revestimiento, y el diseño correcto de las lechadas para cada una de las etapas, considerando densidad de los fluidos, reología, agua libre, tiempo de fraguado y pérdidas de filtrado se calcula y establecen los volúmenes óptimos para el trabajo. De una buena cementación depende que la posterior completación no fracase y se pueda producir bajo lo planeado las reservas del yacimiento.

La Cementación se ejecuta siguiendo los respectivos programas operacionales que consisten en procedimientos a seguir para efectuar dicho trabajo.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|----|
| RESUMEN | |
| ABREVIATURA | |
| INTRODUCCIÓN..... | |
| CAPITULO 1 | 17 |
| 1. ANTECEDENTES..... | 17 |
| 1.1 Objetivos generales..... | 17 |
| 1.2 Objetivos específicos..... | 17 |
| CAPITULO 2 | 18 |
| 2. GENERALIDADES DEL PROCESO DE CEMENTACIÓN | 18 |
| 2.1 Cemento..... | 2 |
| 2.1.1 Tipos y características del cemento | 2 |
| 2.1.2 Aditivos para el cemento | 3 |
| 2.1.3 Lavadores | 6 |
| 2.1.4 Fluidos espaciadores..... | 7 |
| 2.2 Tipo de cementación..... | 8 |
| 2.2.1 Cementación primaria | 8 |
| 2.2.1.1 Cementación en una etapa | 10 |
| 2.2.1.2 Cementación en dos etapas..... | 11 |
| 2.2.2 Cementación forzada (Squeeze) | 13 |
| 2.3 Proceso de cementación..... | 14 |
| 2.3.1 Diseño de la lechada | 14 |
| 2.3.2 Mezclado en seco del cemento | 15 |
| 2.3.3 Mezclado y bombeo al pozo | 16 |
| 2.3.4 Velocidad de desplazamiento | 16 |
| 2.3.4.1 Velocidad crítica o mínima..... | 17 |
| 2.4 Dispositivos utilizados para la cementación | 18 |
| 2.4.1 Revestidor | 18 |

| | |
|---|----|
| 2.4.2 Zapato guía..... | 19 |
| 2.4.3 Zapato diferencial | 20 |
| 2.4.4 Collar flotador | 21 |
| 2.4.5 Colgador de Liner | 22 |
| 2.4.6 Tapón de desplazamiento | 23 |
| 2.4.7 Centralizador | 24 |
| 2.4.8 Cabeza de cementación | 26 |
| 2.4.9 Dardo de desplazamiento | 27 |
| 2.5 Equipos de cementación | 28 |
| 2.5.1 Unidades de mezcla y bombeo | 28 |
| 2.5.2 Equipos para ensayos de laboratorio..... | 30 |
| 2.5.2.1 Consistómetro..... | 30 |
| 2.5.2.2 Balanza presurizada | 32 |
| 2.5.2.3 Analizador ultrasónico de la lechada de cemento | 33 |
| 2.5.2.4 Viscosímetro de fann | 35 |
| 2.5.2.5 Filtro prensa | 36 |
| 2.5.2.6 Permeabilímetro | 36 |
| CAPITULO 3 | 38 |
| 3. UBICACIÓN DEL POZO Sofia 1 | 38 |
| 3.1 Generalidades del Campo | 38 |
| 3.2 Pozo Sofia 1 | 40 |
| 3.3 Programa de cementación para el pozo Sofia 1 | 41 |
| 3.3.1 Cementación del revestimiento conductor | 42 |
| 3.3.1.1 Cálculos para la cementación | 42 |
| 3.3.1.2 Secuencia operacional | 43 |
| 3.3.2 Cementación revestimiento superficial | 45 |
| 3.3.2.1 Cálculos para la cementación | 45 |
| 3.3.2.2 Secuencia operacional | 46 |
| 3.3.3 Cementación del revestimiento intermedio | 48 |
| 3.3.3.1 Cálculos para la cementación | 49 |

| | |
|---|----|
| 3.3.3.2 Secuencia operacional | 50 |
| 3.3.4 Cementación de liner de producción..... | 51 |
| 3.3.4.1 Cálculos para la cementación | 52 |
| 3.3.4.2 Secuencia operacional | 53 |
| CAPITULO 4 | 56 |
| 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 56 |
| 4.1 Conclusiones | 56 |
| 4.2 Recomendaciones | 57 |
| Bibliografía | 59 |

ABREVIATURA

ACI: Instituto Americano del Cemento

API: Instituto Americano del Petróleo

ASTM: Sociedad Americana para prueba de materiales

BBLs: Barriles

BHA: Ensamble de Perforación Inferior

BPD: Barriles por día

BOP: Preventor de reventones

gal: Galones

gal/sxs: Relación agua/cemento

HWDP: Tubería pesada de perforación

ID: Diámetro interno

K: Índice de consistencia

KOP: Punto de quiebre

lb: Libras

lb/bbl: Libras por cada barril

lb/ft: Libras por pie

lbs /gal: Libras por galón (Densidad)

LCD: Pantalla de cristal líquido

kg/cm²: Kilogramos por centímetros cuadrados

kg/lt: Kilogramos por cada litro

MD: Profundidad del pozo

OD: Diámetro externo

pH: Potencial de hidrógeno

PV: Viscosidad plástica

PPG: Libras por cada galón

PPM: Partes por millón

PSI: Libras por pulgada cuadrada

PSM: Mezclador de lechadas de precisión

RPM: Revoluciones por minuto

TVD: Profundidad vertical verdadera

UCA: Analizador ultrasónico de Cemento

Vc: Velocidad critica en ft/s

NRe: Numero de Reynolds, adimensional

N: índice de comportamiento del flujo

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|--------------------------------------|
| Figura 1: Aditivos..... | |
| Figura 2: Revestidor..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| Figura 3: Zapato guía | 20 |
| Figura 4: Zapato diferencial | 20 |
| Figura 5: Collar flotador..... | 22 |
| Figura 6: Colgador Liner | 22 |
| Figura 7: Tapón de desplazamiento..... | 24 |
| Figura 8: Centralizador..... | 25 |
| Figura 9: Cabeza de cementación..... | 26 |
| Figura 10: Dardo de desplazamiento..... | 27 |
| Figura 11: Camión Bulk..... | 28 |
| Figura 12: Unidad de mezcla y bombeo..... | 29 |
| Figura 13: Consistómetro de presión atmosférica | 31 |
| Figura 14: Consistómetro presurizado..... | 32 |
| Figura 15: Balanza presurizada | 32 |
| Figura 16: Analizador ultrasónico | 34 |
| Figura 17: Viscosímetro de Fann..... | 35 |
| Figura 18: Filtro Prensa..... | 36 |
| Figura 19: Permiabilímetro | 37 |
| Figura 20: Diagrama de Cementación | 41 |
| Figura 21: Diagrama de cementación, Sección 26"..... | |
| Figura 22: Diagrama de cementación, Sección 13 3/8" | 48 |
| Figura 23: Diagrama de cementación, Sección 9 5/8" | 51 |
| Figura 24: Diagrama de cementación, Sección 8 1/2" | 55 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla I: Tipos y características del cemento..... | 3 |
| Tabla II: Velocidades mínimas para el flujo turbulento..... | 18 |

INTRODUCCIÓN

Este trabajo presenta los aspectos generales de la cementación en un pozo petrolero, definiendo conceptos hasta el desarrollo de un programa de cementación real, para mostrar las diferentes etapas de este proceso.

Se comienza explicando cada uno de los procesos y las herramientas que se necesitarán.

Se definirán tanto la ubicación del pozo como las características del campo en el cuál se encuentra y se detallarán las profundidades de las diferentes zonas de interés.

Luego se describen las generalidades del pozo con el que se trabajará y se explican los cálculos para determinar los volúmenes de cemento que se necesitan en cada una de las secciones.

Para concretar lo antes mencionado se realizará un análisis de los resultados, sugiriendo recomendaciones para futuros trabajos.

CAPITULO 1

1. ANTECEDENTES

Para términos de este trabajo el pozo tendrá el siguiente nombre: “SOFIA 1” es un pozo direccional ubicado en el oriente ecuatoriano, su objetivo primario es la Arenisca Hollín inferior a una profundidad medida (MD) de 10879’ y profundidad vertical (TVD) 10349.71’, con una máxima Inclinación de 26.710° a una MD de 2932’.

1.1Objetivos generales

Describir el proceso de cementación utilizado en las operaciones de cementación del pozo “Sofia 1” en sus diferentes etapas.

1.2 Objetivos específicos

- Especificar el tipo de lechada utilizada según la sección.
- Determinar los volúmenes de las lechadas en la sección de 20”, 16”, 12 1/4” y 8 1/2”.
- Verificar que los procedimientos aplicados fueron los adecuados.

CAPITULO 2

2. GENERALIDADES DEL PROCESO DE CEMENTACIÓN

La CEMENTACION es el proceso de mezclar cemento y agua y bombearlo a través de tubería de acero (Casing ó tubería de revestimiento) y luego hacia el espacio anular formado entre el Casing y la formación con el propósito de que se adhiera a ambos, soportar la tubería e impedir el movimiento de fluidos entre las formaciones y se emplea en la industria de servicios de pozos petroleros en todo el mundo, en muchos casos esto puede hacerse en una operación simple, bombeando cemento debajo de la tubería de revestimiento, hacia arriba y dentro del espacio anular.

Por tal motivo al momento de diseñar y cementar un pozo petrolero se deben tomar en cuenta ciertas técnicas, así como las mejores prácticas operacionales dirigidas al proceso de cementación. (MC, 2002).

2.1 Cemento

El cemento es principalmente un producto de la mezcla de calizas (carbonato de calcio) y arcillas o esquistos (pizarras cristalinas: clorita, talco o cuarzo con mica) y se puede agregar hierro y alúmina si estos no están presentes en las calizas o arcillas. Estos componentes son mezclados, ya sea por vía húmeda o seca, luego se los coloca en el horno que funde la mezcla entre 2600 °F y 3000 °F en un material denominado: Clinker, paso siguiente del enfriamiento se lo pulveriza y mezcla con pequeñas cantidades de yeso, que será el responsable del tiempo de fragüe del cemento.

2.1.1 Tipos y características del cemento

Dependiendo de su aplicación, varían los componentes requeridos en su fabricación es así que a nivel internacional el API (Instituto Americano del Petróleo) provee las especificaciones que cubren las nueve clases: A, B, C, D, E, F, G y H de cementos destinados para la industria petrolera. Sin embargo los tipos de cemento más utilizados son los de clase A y G.

El cemento Clase H normalmente se usa con 38% de agua por peso de cemento (BWOC) en pozos profundos y con 46% de agua (BWOC) en pozos someros (de escasa profundidad). (Tipos de Cemento, 2013)

| CLASE | Relación Agua/Cemento (gl/sxs) | Densidad de la lechada (lb/gal) | Profundidad (pies) | Temperatura de fondo (°F) |
|-------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------|---------------------------|
| A | 5,2 | 15,6 | 0 - 6000 | 80 – 170 |
| B | 5,2 | 15,6 | 0 - 6000 | 80 – 170 |
| C | 6,3 | 14,8 | 0 - 6000 | 80 – 170 |
| D | 4,3 | 16,4 | 6000 - 10000 | 170 – 230 |
| E | 4,3 | 16,4 | 6000 - 10000 | 170 – 230 |
| F | 4,3 | 16,4 | 10000 - 16000 | 230 – 320 |
| G | 5 | 15,8 | 0 - 8000 | 80 – 200 |
| H | 5 | 16,4 | 0 - 8000 | 80 – 200 |

Tabla I: Tipos y características del cemento
Elaborada por: Marcela León Abad

2.1.2 Aditivos para el cemento

1.1.1. Aditivos del Cemento

Todas las mezclas agua-cemento usadas en la industria petrolera, contienen algún aditivo para variar alguna propiedad de la mezcla original. Los aditivos tienen como función adaptar los diferentes cementos petroleros a las condiciones específicas de trabajo. Pueden ser sólidos y/o líquidos (solución acuosa).

Pueden ser requeridos para:

- Variar la densidad de la lechada
- Cambiar la fuerza de compresión
- Acelerar o retardar el tiempo de asentamiento
- Controlar la filtración y la pérdida de fluido
- Reducir la viscosidad de la lechada

Las cantidades de aditivos secos normalmente son expresados en términos de porcentaje por peso de cemento (% BWOC). Los aditivos líquidos normalmente son expresados en términos de volumen por peso de cemento (gal/sx).

Se reconocen ocho (8) categorías de aditivos:

Aceleradores: Reducir el tiempo de fraguado, se usan en pozos donde la profundidad y la temperatura son bajas. Para obtener tiempos de espesamiento cortos y buena resistencia a la compresión en corto tiempo. Pueden usarse: cloruro de calcio (CaCl_2 , el más usado, en una concentración de 1,5 - 2,0%), silicato de sodio (Na_2SiO_3), cloruro de sodio (NaCl , al 2.0 - 2.5%), ácido oxálico ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$), agua de mar, etc.

Retardadores: Utilizados en secciones profundas donde las altas temperaturas promueven un asentamiento más rápido. Hacen que el tiempo de fraguado y el desarrollo de resistencia la compresión del cemento sea más lento. Los más usados son: lignitos, lignosulfonato de calcio (0,1 -

1,5%), ácidos hidroxicarboxílicos, azúcares, derivados celulósicos, etc.

Extendedores: Disminuir la densidad de los sistemas de cemento y/o reducir la cantidad de cemento por unidad de volumen del producto fraguado, con el fin de reducir la presión hidrostática (con el fin de evitar una fractura) y aumentar el rendimiento (pie³/saco) de las lechadas. También reducen la fuerza de compresión e incrementan el tiempo de fraguado. Entre los más usados se tienen: bentonita prehidratada (2 - 20%), silicato de sodio (Na₂SiO₃), diatomeas (10 - 40%), mezclas 50:50 Pozolancon cemento Portland, etc

Densificantes: Incrementar la densidad de los sistemas de cemento.

Dispersantes: Reducir la Viscosidad de las lechadas de cemento.

Agentes de Control De Pérdida De Fluido: Controlar la pérdida de la fase acuosa de la lechada hacia la formación. Previenen la deshidratación prematura de la lechada.

Agentes De Control O De Pérdida De Circulación: Controlar la pérdida de cemento hacia zonas débiles de la formación o fracturas.

Aditivos Especiales: Controlar la pérdida de cemento hacia zonas débiles de la formación o fracturas tales como antiespumantes, controladores de la regresión de la resistencia compresiva, etcétera

2.1.3 Lavadores

Durante los pasos previos a la cementación de una tubería de revestimiento, una cuadrilla de cementación bombea una serie de fluidos por la tubería de revestimiento para desplazar el fluido de perforación del interior de la misma, y del espacio anular que existe entre la tubería y la formación.

El primer fluido bombeado suele ser un lavador químico, que separa el fluido de perforación de la lechada de cementación. La densidad y viscosidad de los lavadores químicos son similares a las del agua o

petróleo, por esta razón pueden diseñarse de tal manera que eliminen tanto los fluidos de base agua, como los de base aceite. Si se bombea delante de la lechada de cementación contribuyen a la eliminación del lodo porque lo diluye, reduce su densidad y lo dispersa.

Otra de sus ventajas es que los lavadores mejoran la calidad de la adherencia entre la tubería de revestimiento y el cemento y entre el cemento y la formación.

2.1.4 Fluidos espaciadores

Los espaciadores son fluidos que han sido diseñados para densificarse a viscosidades controladas. Pueden actuar como barreras compatibles entre el lodo y el cemento. Como los sistemas de espaciadores son compatibles, normalmente no perjudican las propiedades del lodo, cemento o espaciador. EL desplazamiento total del fluido de perforación por el espaciador es crucial para establecer el aislamiento zonal; un desplazamiento incompleto puede conducir a la formación de un canal de lodo continuo en la zona de interés, creando vías de comunicación entre las distintas zonas. Esa comunicación con lleva a la producción de fluidos no deseados, la pérdida de hidrocarburos o incluso la migración de los fluidos hacia la superficie. La optimización de las propiedades

reológicas de un fluido espaciador mejora el aislamiento zonal y el desplazamiento del lodo.

2.2 Tipo de cementación

2.2.1 Cementación primaria

Consiste en bombear la lechada hacia el espacio anular para formar un relleno de cemento completo e impermeable alrededor de la tubería, especialmente alrededor del zapato y frente a las zonas que contienen fluidos. Los problemas más comunes de la cementación primaria son el revoque de lodo de perforación, zonas de pérdidas de circulación (zonas ladronas), formaciones débiles, sartas largas, zonas productoras muy separadas, y revestir pozos abiertos con liners. Cuando se introduce cemento en el pozo, es necesario desplazar y eliminar totalmente el lodo de perforación en las zonas del pozo donde ha de colocarse el cemento, si no se logra desplazar este lodo completamente, puede producirse canalización, contaminación del cemento, mala adhesión a la cañería y la formación y en general, un trabajo insatisfactorio.

La cementación primaria tiene como principales funciones:

- Fija la tubería de revestimiento con la formación.
- Restringir el movimiento de fluidos entre las formaciones productoras y el confinamiento de los estratos acuíferos.
- Proteger la tubería contra la corrosión.
- Reforzar la tubería contra el aplastamiento debido a fuerzas externas y reforzar la resistencia de la sarta a presiones de estallido.
- Sellar la pérdida de circulación en zonas.
- Aísla la zapata de revestimiento.

En la actualidad existen varias técnicas de cementación primaria, y la selección de cuál es la más acertada a usar depende de varios factores, a continuación se presentan las técnicas de cementación más comunes y cuando se las utiliza.

- Cementación en una etapa
- Cementación en dos etapas
- Cementación de Liner

2.2.1.1 Cementación en una etapa

Básicamente es la más sencilla de todas, la lechada de cemento es ubicada en su totalidad en el espacio anular desde el fondo hasta la profundidad deseada, para esto se requerirá de presiones de bombeo altas lo que implica que las formaciones más profundas deban tener presiones de formación y fractura altas y no permitir que se produzcan pérdidas de circulación por las mismas.

Usualmente esta técnica es usada en pozos poco profundos o para cementar la Tubería de Revestimiento superficial, y el equipo de fondo será el básico para la cementación, zapato guía, collar flotador, centralizadores, raspadores, tapones de fondo y tope.

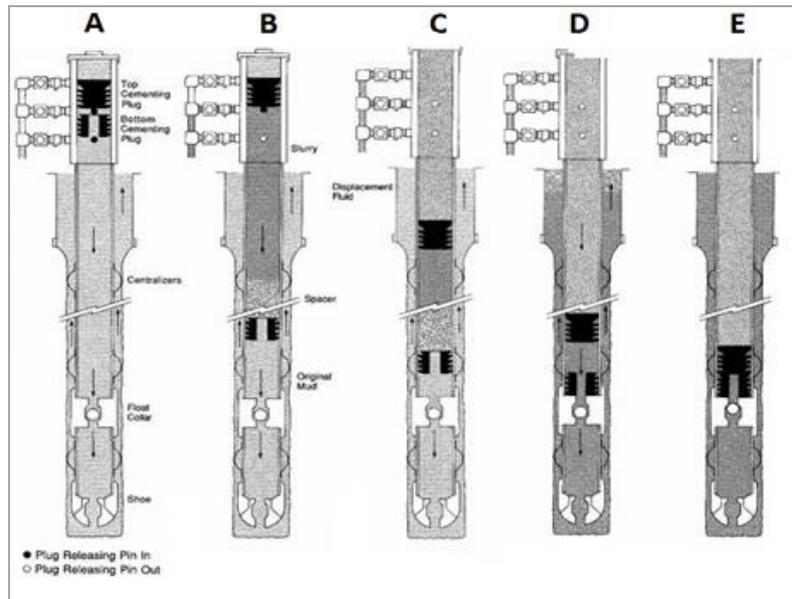


Figura 1-1 Secuencia Cementación una Etapa

Fuente: Libro Oilwell Drilling Engineering Principles and Practice Capítulo 11 -Pag 257

2.2.1.2 Cementación en dos etapas

Esta cementación consiste en ubicar la lechada de cemento primero en la parte inferior del espacio anular casing-formación, y luego la parte superior de la lechada a través de un dispositivo desviador. Este tipo de técnica se utiliza cuando:

- Las formaciones de fondo de pozo no soportan las presiones hidrostáticas ejercidas por la columna de cemento.
- Zonas de interés están muy separadas entre sí y es necesario cementarlas.

2.2.1.3 Cementación de Liner

Una sarta de liner usualmente incluye una zapata y un collar flotador, junto con una tubería de revestimiento más larga y un colgador de liner, colocado hidráulica o mecánicamente, para asegurar la parte superior, todo el ensamblaje es corrido con tubería de perforación y luego se coloca el colgador a unos 300 – 500 pies dentro de la tubería de revestimiento anterior.

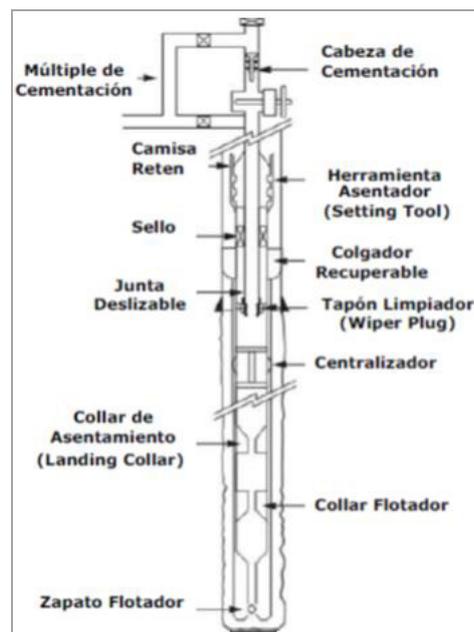


Figura 1-2 Secuencia Cementación una Etapa

Fuente: Libro Oilwell Drilling Engineering Principles and Practice Capítulo 11 - Pag 257

- Zonas superiores a ser cementadas con cementos no contaminados.
- Pozos profundos y calientes requieren lechadas diferentes de acuerdo a las características propias de un nivel determinado. (BJ Services – EDC LAR, 2004)

2.2.2 Cementación forzada (Squeeze)

Es el proceso que consiste en inyectar cemento a presión a través de disparos en la tubería de revestimiento al espacio anular. Esta es una medida para remediar una cementación primaria defectuosa.

La Cementación Secundaria tiene varias aplicaciones entre las más comunes se tiene:

- Reparar un trabajo de cementación primaria fallida debido a canalización de lodo o una altura de cemento insuficiente en el espacio anular.
- Reducir altas producciones de agua y/o gas.
- Abandonar zonas no productoras o agotadas.
- Proteger la migración de fluido hacia zonas productoras

- Eliminar la intrusión de agua proveniente de arriba, debajo o dentro de la zona productora de hidrocarburos.
- Reparar tuberías fracturadas debido a corrosión o fallas por ruptura.
- Sellar zonas de pérdida de circulación.
- Prevenir la migración vertical de los fluidos del reservorio dentro de las zonas productoras.

2.3 Proceso de cementación

2.3.1 Diseño de la lechada

Para diseñar una lechada debemos tomar en cuenta variables fundamentales de diseño y de verificación tales como: densidad (peso de la mezcla), tiempo de fraguado, resistencia a la compresión, viscosidad, control de pérdida por filtrado y agua libre. Los ensayos realizados en laboratorios para el cemento tienen la función de evaluar el desempeño y las características químicas de las lechadas, mediante la medición de ciertas propiedades bajo ciertas condiciones de fondo de pozo y el análisis cualitativo y cuantitativo de los componentes de las lechadas antes de ser mezclada. La norma API RP 10B delinea las prácticas

recomendadas para las pruebas de laboratorio que se llevan a cabo con las lechadas de cemento para pozos de petróleo, así como sus aditivos; estas pruebas se describen a continuación:

- Determinación del contenido de agua en la lechada
- Determinación del tiempo de bombeabilidad.
- Determinación del filtrado.
- Pruebas de permeabilidad.
- Determinación de las propiedades reológicas.

En el cemento seco también se hacen mediciones de fineza y de pureza. (BJ Services – EDC LAR, 2004)

2.3.2 Mezclado en seco del cemento

Se mezcla el cemento con aditivos en seco al granel, se debe tener mucha precaución al diseñar la lechada correctamente para un trabajo de cementación específico, ya que puede desperdiciarse una lechada si no se dosifican con exactitud todos los aditivos importantes con el cemento seco. Una técnica de verificación química se emplea para asegurarse de que los componentes secos se incorporen adecuadamente al cemento seco en las proporciones correctas.

2.3.3 Mezclado y bombeo al pozo

Cuando se introduce cemento en el pozo, es necesario desplazar y eliminar totalmente el lodo de perforación en las zonas del pozo donde ha de colocarse el cemento. Si no se logra desplazar este lodo completamente, puede producirse canalización, contaminación del cemento, mala adhesión a la tubería y a la formación y, en general, un trabajo insatisfactorio. Las técnicas de remoción de lodo pueden dividirse en tres grupos diferentes: ayudas mecánicas y movimiento de la tubería, ayudas químicas y velocidad de desplazamiento.

2.3.4 Velocidad de desplazamiento

Desde hace muchos años, se sabe que las tasas de desplazamiento rápidas normalmente se traducen en mejores cementaciones. Las tasas de desplazamiento rápidas crean turbulencia en los fluidos que se bombean, lo que produce una remoción más completa del lodo de perforación. Cuando se produce una eliminación más completa del lodo de perforación existente en el espacio anular, se forma una camisa de cemento completa alrededor de la tubería, se elimina la canalización, se incrementa la adhesión a la formación y la tubería y se contamina menos el cemento en sí. Gracias a estos beneficios, se recomienda el uso de tasas de flujo suficientemente altas para

generar turbulencia en las lechadas. Las tasas de flujo que se requieren para producir dicha turbulencia varían según la lechada.

La velocidad mínima que la lechada requiere para llegar a un estado de turbulencia suele denominarse velocidad crítica. Es sólo en el espacio anular comprendido entre el casing y el hoyo que el flujo turbulento resulta beneficioso durante un trabajo de cementación primaria.

2.3.4.1 Velocidad crítica o mínima

Esta velocidad puede ser expresada en términos de una ecuación general para fluidos no-newtonianos (viscosidad variable):

$$V_c = \frac{N_{Re} * K * 96^n}{1,86 * (De)^n * \rho} * \left(\frac{1}{2 - n} \right)$$

Donde:

Vc: Velocidad crítica en ft/s

NRe: Numero de Reynolds, adimensional

K: índice de consistencia

n: índice de comportamiento del flujo

De: diámetro equivalente en pulgadas (in)

ρ: densidad de la lechada en lb/gal

| Clase API | Dispersante | Velocidad crítica, (ft/s) | | | |
|-----------|-------------|---------------------------|------|------|------|
| | % CD-31 | De=1 | De=2 | De=3 | De=4 |
| A | | 13,2 | 11,3 | 10,3 | 9,7 |
| A | 0,6 | 8,7 | 6,7 | 5,8 | 5,2 |
| A | 1,0 | 6,0 | 2,4 | 1,4 | 1,0 |
| A | 1,0 | 3,2 | 1d,7 | 1,2 | 0,9 |
| A | 1,0 | 6,7 | 4,7 | 3,7 | 3,3 |
| C | | 14,5 | 11,9 | 10,7 | 9,9 |
| C | 0,8 | 8,3 | 6,4 | 5,5 | 5,0 |
| C | 0,8 | 7,0 | 5,9 | 5,3 | 4,9 |
| G | | 13,3 | 11,2 | 10,2 | 9,5 |
| G | 0,8 | 4,7 | 3,6 | 3,0 | 2,7 |
| G | 0,8 | 2,9 | 1,9 | 1,5 | 1,3 |
| H | | 13,1 | 11,3 | 10,3 | 9,7 |
| H | 0,8 | 6,6 | 4,0 | 3,0 | 2,4 |
| H | 0,6 | 10,1 | 9,3 | 8,9 | 8,6 |

Tabla II: Velocidades mínimas para el flujo turbulento
Elaborada por: Marcela León Abad

Estas velocidades críticas se basan en un Número de Reynolds de 3000 y diámetros equivalentes de 1, 2, 3 y 4 pulgadas. El diámetro equivalente es igual a: $(De) = \text{diámetro de pozo} - \text{diámetro de la tubería}$. (BJ Services – EDC LAR, 2004)

2.4 Dispositivos utilizados para la cementación

2.4.1 Revestidor

Es una tubería de acero diseñada y clasificada en función de su peso, diámetros y longitud con la finalidad de asegurar una sección perforada en un pozo.



Figura 1: Revestidor

Fuente: YantaiJerehOilfieldServicesGroup.

2.4.2 Zapato guía

El zapato guía es un cilindro de acero corto y pesado que se encuentra unido al extremo inferior del primer tramo del casing, tiene la punta redondeada y se utiliza para guiar el casing hasta la profundidad real (TD - True deep) a través de la perforación evitando que el casing tropiece con irregularidades, se incruste en la formación o vaya desmoronando la pared del pozo.

Siempre se utiliza el zapato guía independientemente de que se emplee, o no, un dispositivo de flotación.

Se usa primero como seguridad en caso de que falle la válvula del collar flotador y segundo para tener un mejor ingreso del casing al hueco y permitir la bajada del revestidor.

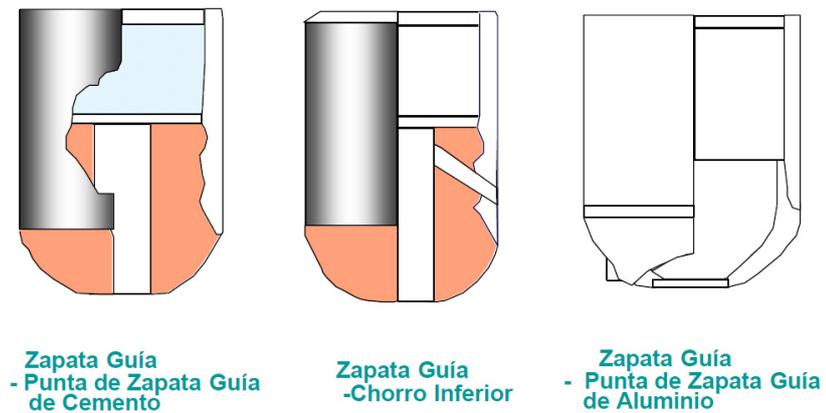


Figura 2: Zapato guía
Fuente: Schlumberger, Dtp. Cementación

2.4.3 Zapato diferencial

Sirve de zapato guía y de flotador. Tiene un dispositivo que permite el llenado de la tubería, de esta forma ejerce una flotación y ayuda con el peso de la tubería, este dispositivo interno puede convertirse en una válvula de retención.

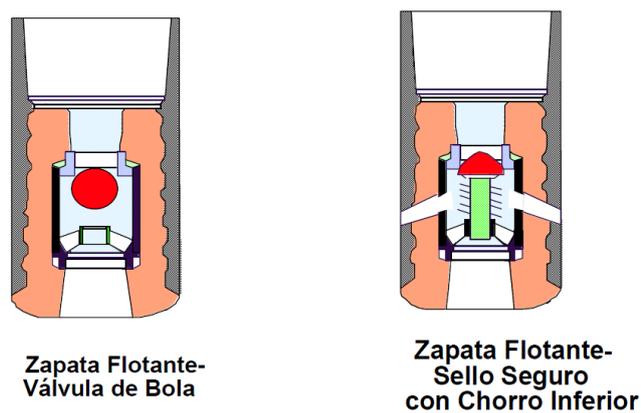


Figura 3: Zapato diferencial
Fuente: Schlumberger, Dtp. Cementación

2.4.4 Collar flotador

El Collar flotador se instala uno o dos (a veces más) tramos de tubería por encima del fondo de la sarta de revestimiento, Se utiliza como elemento de flotación y puede transformarse por medios mecánicos en una válvula de retención, que permite la circulación hacia abajo (durante el descenso, mas no durante el ascenso), de fluido a través de la sarta de revestimiento., así la mezcla agua-cemento se queda en el anular y no regresa a la tubería.

La válvula que se encuentra en el collar de flotación también cumple la función de válvula de retención (check-valve) en la sarta y previene el retorno de cemento una vez que éste se ha bombeado a su sitio, en el espacio anular, fuera de la sarta para que el operador tenga cierta garantía de que el cemento que se encuentra fuera de la tubería en ese momento es de buena calidad. Esto es importante, porque la densidad de la lechada es casi siempre superior a la del fluido de desplazamiento.

La lechada puede contaminarse justamente detrás del tapón de tope. La mayoría de los operadores emplean un collar flotador a la altura de una o varias juntas por encima del zapato de la tubería con el propósito de crear espacio dentro de la tubería para el cemento contaminado.

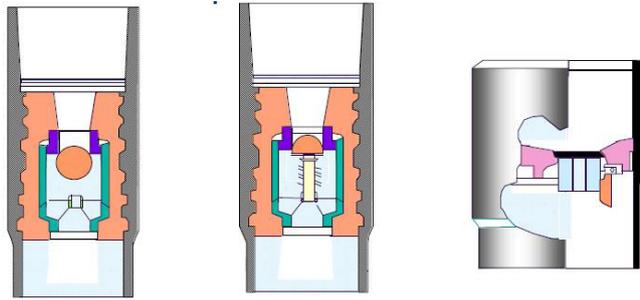


Figura 4: Collar flotador

Fuente: Schlumberger, Dtp. Cementación

2.4.5 Colgador de Liner

Esta herramienta es colocada en la parte superior de la tubería de liner y tiene como objetivo fijarlo al revestidor previo colgándolo ya sea hidráulica o mecánicamente.



Figura 5: Colgador Liner

Fuente: Schlumberger, Dtp. Cementación

2.4.6 Tapón de desplazamiento

Para un trabajo de cementación se necesitan tapones de desplazamiento, se van a utilizar dos tipos uno inferior y otro superior, el propósito de usar el primer tapón es limpiar la película de lodo que se adhiere dentro del casing, separando los fluidos delante de la lechada de cemento, y evitar de esta forma la contaminación de la lechada, el tapón inferior es lanzado antes de bombear la lechada de cemento y es desplazado mediante el cabezal de cementación con fluidos de desplazamiento. El tapón de desplazamiento está pinado en la herramienta fijadora del Hanger Liner y posee un receptáculo donde se encastrará el dardo, el cual cortará los pines y ambos viajarán juntos hasta el tapón de encastre, desplazando de esta manera el cemento del interior del liner. Después que el cemento es mezclado y bombeado, se lanza el tapón superior y, a continuación, el fluido de desplazamiento.

El trabajo de cementación finaliza cuando el tapón superior asienta sobre el tapón inferior en el collar flotador, collar de asiento o cualquier otro dispositivo que se haya instalado en el fondo del casing.

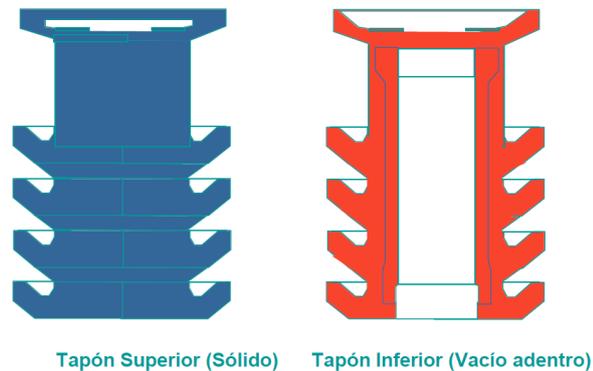


Figura 6: Tapón de desplazamiento
Fuente: Schlumberger, Dtp. Cementación

2.4.7 Centralizador

Uno de los objetivos principales durante una cementación es suministrar una distribución uniforme de la lechada de cemento alrededor de la tubería. Los centralizadores mantienen la tubería separada de las paredes del pozo. Contribuyen a deslizar la tubería por el pozo y proporcionan una separación en todo el largo de la zona de interés que minimiza la canalización del lodo a través de la lechada de cemento.

Un tipo de centralizador que se emplea ampliamente cuenta con varios flejes de acero soldados a anillos terminales también de acero. Normalmente, se ubica un centralizador en cada tramo de tubería, el cual se colocará atravesando zonas productoras o zonas débiles (es decir, cuando sea fundamental contar con un anillo de cemento efectivo).

Quizás sea necesario colocar los centralizadores más cercanos entre sí en aquellas secciones del pozo en donde se desvíe la tubería de la vertical.

Se puede prevenir la presión diferencial cuando la tubería se "pega" por largas esperas en zonas de pérdidas de circulación. Es frecuente usarlos en conjunto con los rascadores. Pueden ser flexibles, rígidos, sobre medida, del tamaño del pozo. etc.

Ventajas de una tubería centralizada

- Mejora la eficiencia de desplazamiento (excentricidad mínima).
- Reduce el riesgo diferencial de atrapamiento.
- Previene problemas clave de asentamiento.
- Reduce el arrastre en pozos direccionales.



Figura 7: Centralizador
Fuente: Schlumberger, Dtp. Cementación

2.4.8 Cabeza de cementación

Cabeza de Cementación, es la conexión en la parte superior del casing, para realizar el enlace con las líneas de cementación facilita el fluido de bombeo en la cubierta y también sostener y liberar cemento en el tiempo apropiado. Permite la introducción de un bache de cemento delante del segundo tapón. Siempre se utilizan porque proveen un sello ajustado con el casing. Este equipo va conectado al Landing Joint, que es una junta que sirve de conexión entre la cabeza de cementación y el casing. El utilizar este equipo provee de un método confiable y fácil para lanzar los tapones dentro del casing antes y después del cemento en los trabajos de cementación.



Figura 8: Cabeza de cementación
Fuente: RugaoYaou CO., LTD

2.4.9 Dardo de desplazamiento

El dardo de desplazamiento es un accesorio de cementación que se utiliza para separar las fases entre los fluidos de perforación / desplazamiento, y la lechada de cemento cuando se cementa un liner. Este es lanzado a partir de la superficie desde la cabeza de cementación luego de haber bombeado el cemento, el dardo va viajando entre el cemento y el fluido de desplazamiento limpiando la tubería de perforación, hasta llegar al tapón de desplazamiento que se encuentra en la herramienta fijadora.



Figura 9: Dardo de desplazamiento
Fuente: Schlumberger, Dtp. Cementación

2.5 Equipos de cementación

2.5.1 Unidades de mezcla y bombeo

Camión Bulk

Estos camiones son los encargados de transportar el cemento hacia la locación, para posteriormente ser mezclados con agua, recordemos que al transportar el cemento este va sin ser mezclado, únicamente lo que lleva en su mezcla, son los aditivos. Son cargados mediante líneas de aire, lo cual hace que el cemento se presurice.



Figura 10: Camión Bulk

Fuente: Schlumberger, Dtp. Cementación

Camiones cementadores – PSM

El mezclador de lechadas de precisión (PSM), es un sistema de mezclado de cemento re-circulador, el cual permite preparar y controlar la densidad de lechadas consistentes para un amplio rango de densidades. Compacto y liviano, el PSM utiliza la energía de mezclado de la lechada que se recircule mientras se incorpora el

cemento a granel al sistema y mezcla exhaustivamente la lechada resultante. El PSM, ha sido diseñado tomando en cuenta al operador y al encargado de mantenimiento y plantea pocos problemas de mantenimiento. El sistema posee muy pocas partes móviles y se controla con una sola palanca, brinda un control preciso de la densidad (puede mezclar cualquier lechada bombeable con una diferencia de apenas $\pm 0,2$ libras/galón), una densidad constante (el sistema mantiene una lechada homogénea durante todo el trabajo), mezclado a altos caudales (superiores a los 10 BPM), mezclado con densidades pesadas (lechadas de hasta 22 Lb/gal a 4 BPM), mezclado continuo a cualquier caudal deseado para satisfacer los requerimientos normales de cementación y mezclado en batches de cantidades sumamente pequeñas de lechada.



Figura 11: Unidad de mezcla y bombeo
Fuente: Schlumberger, Dtp. Cementación

La unidad consta de los siguientes componentes:

- Una consola de comando, que alberga todos los controles en un lugar central y permite al operador ingresar la densidad deseada antes de que se inicie la cementación.
- Un microprocesador, que monitorea constantemente la densidad de mezclado y ajusta el flujo total para mantener la densidad deseada.
- Dos Densímetros DB-IV, uno de los cuales mide continuamente la densidad de la lechada en la cubeta pequeña de circulación y el otro que mide la densidad final de la lechada. Ambos emplean una celda de peso electrónica para mayor precisión y confiabilidad.

Un mini monitor (3305), que muestra en tiempo real el desarrollo de un trabajo (seis parámetros: dos de presión, dos de flujo y dos de densidad) y registra la densidad final de la lechada, a fin de tener un registro permanente de la cementación.

2.5.2 Equipos para ensayos de laboratorio

2.5.2.1 Consistómetro

Consistómetro de presión atmosférica

El consistómetro de presión atmosférica, es un aparato dentro del cual se vierte la lechada de cemento dentro de una celda, en su parte interior contiene una paleta la misma que servirá para mantener en movimiento a la lechada de cemento.

El equipo, calibrado a una temperatura comprendida entre 32° y 200°F, se mantiene calentando aproximadamente por unos 20 minutos; se utiliza para acondicionar lechadas, para realizar los ensayos destinados a determinar la cantidad de agua libre existentes en una lechada, la misma que no debe ser mayor al 5% en la lechada de relleno y en la lechada de cola al 3%, así como también la cantidad de pérdida por filtrado y las propiedades geológicas de una lechada.



Figura 12: Consistómetro de presión atmosférica
Fuente: Schlumberger, Dtp. Cementación

Consistómetro presurizado

Es un equipo que contiene una celda cilíndrica en su interior para colocar la lechada de cemento, esta se mantiene con un movimiento rotativo; provisto de un equipo de paletas fijas, todo el contenido se encuentra en una cámara de alta presión, Con instrumental calibrado para trabajar hasta 40.000 PSI y 600°F, se emplea en los ensayos de tiempo de espesamiento para medir el

tiempo durante el cual una lechada en particular permanece en estado fluido bajo ciertas condiciones de laboratorio que simulan las condiciones de pozo.



Figura 13: Consistómetro presurizado
Fuente: Schlumberger, Dtp. Cementación

2.5.2.2 Balanza presurizada

El funcionamiento de este equipo es simple y básico, en el recipiente se llena de fluido, en este caso la lechada de cemento, se tapa el recipiente, luego con la bomba se presuriza, después es colocado en la balanza para ser pesado.

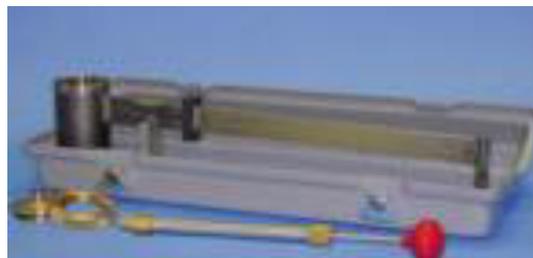


Figura 14: Balanza presurizada
Fuente: Schlumberger, Dtp. Cementación

2.5.2.3 Analizador ultrasónico de la lechada de cemento

Es un instrumento que se emplea para monitorear el desarrollo de la resistencia a la compresión de una muestra de cemento, el mismo que en la parte superior derecha tiene un programador en el cual se digitan los valores de Temperatura circulante y Temperatura estática; también se verifica la densidad de la lechada, ya que según esta cambia la concentración de los aditivos colocados al cemento.

La diferencia de tiempo que registra un impulso ultrasónico al ser transmitido y recibido a través de una celda de ensayo, es traducida en un valor de resistencia a la compresión por una unidad micro-procesadora central capaz de efectuar ocho pruebas independientes al mismo tiempo sin destruir las muestras. Como no se rompen las muestras sometidas a ensayos, es posible utilizar una muestra de ensayo para reemplazar numerosos ensayos cuando se desea conocer el desarrollo de la resistencia para distintos tiempos de curado a una temperatura específica.

Los datos sobre resistencia de cualquier período pueden recuperarse si se solicita al microprocesador que los alimente en un plotter computarizado, que producirá un gráfico del desarrollo de la resistencia a la compresión en función del tiempo de curado.

El UCA permite al operador determinar cuándo el cemento ha alcanzado un nivel satisfactorio de desarrollo de resistencia a la compresión y le evita tener que esperar que transcurra un tiempo arbitrario de curado para determinar si es conveniente proseguir con las operaciones seguras. Cuando se realizan cementaciones a doble etapa por lo general se dan de 18 a 20 horas para que fragüe el cemento, después de este tiempo se puede continuar la operación.

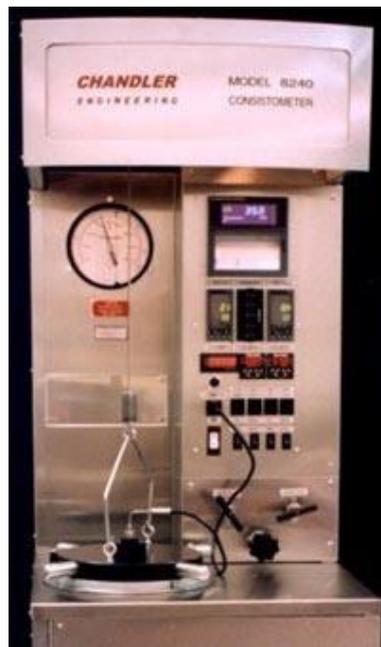


Figura 15: Analizador ultrasónico
Fuente: Schlumberger, Dtp. Cementación

2.5.2.4 Viscosímetro de fann

El viscosímetro Fann, es un instrumento versátil que se utiliza en el laboratorio para efectuar ensayos de viscosidad.

Muestra el esfuerzo de corte (lecturas del Fann) continuamente en una escala graduada y permite observar características de viscosidad en función del tiempo.



Figura 16:Viscosímetro de Fann
Fuente: Schlumberger, Dtp. Cementación

Las lecturas para determinación de parámetros reológicos que se requieren actualmente son las lecturas a 300, 200, 100, 6 y 3 rpm.

La lechada se introduce en una celda que en su interior contiene una paleta que mantiene en movimiento a la misma. La muestra obtenida la colocamos en una probeta de 250 ml, esperamos por un tiempo de 2:00 horas para saber la cantidad de agua libre que se desprendió.

2.5.2.5 Filtro prensa

El Filtro-prensa se encuentra disponible en dos modalidades: una que opera a temperatura ambiente y una presión de 100 psi y otra que funciona a alta presión (1000 psi) y alta temperatura (400° F). Se utiliza para determinar la cantidad de pérdida de fluido en una prueba de filtración.



Figura 17: Filtro Prensa

Fuente: Schlumberger, Dtp. Cementación

2.5.2.6 Permeabilímetro

El permeabilímetro consta de un molde de chapa o acero inoxidable, un sujetador, un manómetro de presión y pipetas graduadas, es un aparato que se emplea para determinar la permeabilidad al agua del cemento fraguado.



Figura 18:Permiabilímetro
Fuente: Schlumberger, Dtp. Cementación

CAPITULO 3

3. UBICACIÓN DEL POZO SOFIA 1

3.1 Generalidades del Campo

Características Litológicas de los Reservorios

- **Hollín Principal.** Es una Arenisca masiva de cuarzo, no pudiéndose realizar una descripción más detallada por carecer de núcleos.
- **Hollín Superior.** Se trata de una arenisca cuarzosa de grano fino, con contenido alto o medio de glauconita, e importante presencia de material carbonáceo. La Porosidad promedio es de 14%.
- **Arenisca “T”.** Consiste en una arenisca cuarzosa, limpia de grano fino, con esporádicas capas de arcilla. Los Poros en algunas muestras se encuentran rellenos con illita y caolinita.

Su porosidad es del 12% en 38 promedio. Hacia arriba (T superior), se desarrolla una arenisca cuarzosa – glauconítica de grano fino.

- **Arenisca U.** Arenisca cuarzosa limpia, masiva. Hacia el techo del cuerpo “U” principal (el mas limpio y desarrollado de la parte superior), se encuentra limolita en estratos delgados. La Arenisca “U” superior es una arenisca cuarzosa de grano fino, dispuestas en capas delgadas, con importantes bioturbación, en promedio presenta una porosidad del 13%.
- **Arenisca Tena Basal.** Se trata de una arenisca cuarzosa redondeada, de grano medio a grueso, con un promedio de porosidad del 19%. (Arco, 2003)

Características de los Crudos

El crudo de Hollín Inferior es de 27° - 30°, el Hollín Superior de 27° - 32°, el de “T” y “U” de 24° - 29° y el de Basal Tena de 20°-22°. Una muestra de crudo Hollín dio un valor de 1.13% de azufre. Dos muestras de crudo “T” mostraron porcentajes de azufre 1.17% y 1.38% dos muestras de “U” de 1.57% y 2.16% de azufre y una muestra de crudo Tena Basal de 1.07%.(Marco Rivadeneira y Roberto Barragan, 2004)

3.2 Pozo Sofia 1

DATOS GENERALES

Características del pozo

El pozo Sofia 1 es un pozo direccional tipo "J" cuyo objetivo primario es la Arenisca Hollín inferior a 10171' TVD.

Se perforó el hoyo de 26" con broca tricónica hasta 180'. Se correrá y cementará la tubería del revestimiento conductor de 20".

En la sección de 16", se correrá y cementará la tubería de revestimiento superficial de 13 3/8", hasta 6,591' MD.

En la sección de 12 1/4" se perforó hasta 9,336' MD. Se correrá y cementará tubería de revestimiento intermedio de 9 5/8".

En la sección de 8 1/2" se perforó hasta llegar a profundidad final de 10,879' MD, atravesando los objetivos planeados "U", "T" y Hollín. Se correrá y cementará liner de producción de 7".

3.3 Programa de cementación para el pozo Sofia 1

El programa de cementación constará de 4 secciones, que se desarrollarán luego de cada una de las perforaciones, en diferentes profundidades.

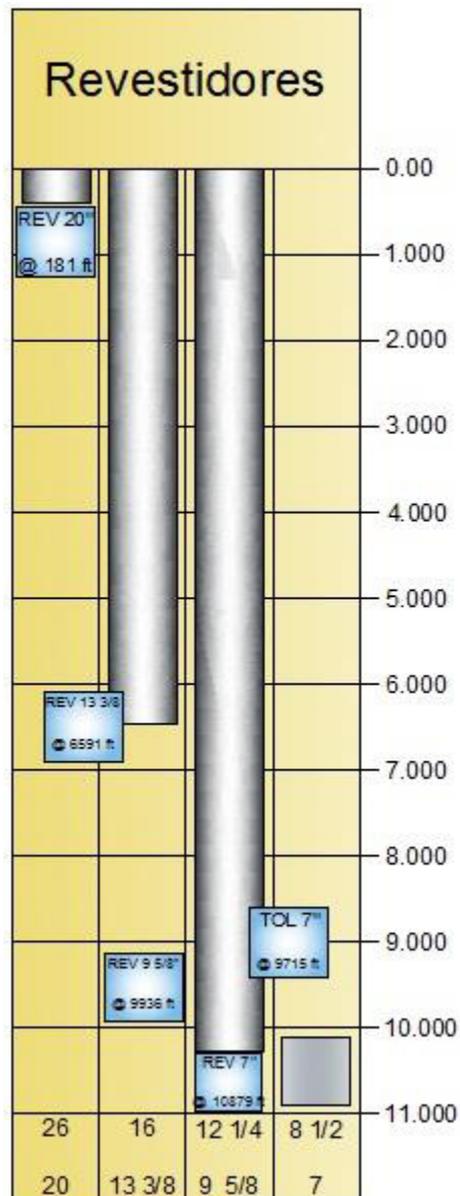


Figura 19: Diagrama de Cementación
Elaborado por: Marcela León Abad

3.3.1 Cementación del revestimiento conductor

Se perforó hasta alcanzar la profundidad de 180 pies (MD) con una broca de 26", en este punto se bajó una tubería de revestimiento de 20" con un diámetro interno de 19.124".

La cementación constará con una lechada de cola, que se colocará en el fondo de ésta hasta superficie.

3.3.1.1 Cálculos para la cementación

$$C_1 = \frac{OD^2 - ID^2}{1029.4}$$

$$C_1 = \frac{(26)^2 - (20)^2}{1029.4}$$

$$C_1 = 0.2681 \frac{bbls}{ft}$$

$$V_{cola1} = C_1 \times H_1$$

$$V_{cola1} = 0.2681 \times 180$$

$$V_{cola1} = 48 \text{ bbls.}$$

$$V_d1 = \frac{ID^2}{1029.4} \times H_1$$

$$V_d1 = \frac{(19.124)^2}{1029.4} \times (180)$$

$$V_d1 = 64 \text{ bbls}$$

$$Sx1 = \frac{V_{cola} \times 5.615}{R_1}$$

$$Sx1 = \frac{48.26 \times 5.615}{1.32}$$

$$Sx1 = 205 \text{ sk}$$

3.3.1.2 Secuencia operacional

- Se realizó una reunión de seguridad pre-operacional con todo el personal involucrado en la operación.
- Se armó equipo para correr casing de 20", se conectó zapata de 20" y bajo un total de 4 casing de 20" desde superficie hasta 180' MD, posteriormente se bajó DP de 5" con Stinger desde superficie hasta +/-179'.
- Se asegura la tubería de revestimiento con cadenas para evitar que con el bombeo la tubería de revestimiento se salga por el efecto de boyanza del cemento y la presión de bombeo en superficie. se realizó conexión e inició proceso de cementación.
- Se armó líneas y se probó on 1500 psi sin problemas, Se empieza a bombear 10 bbls de agua tratada a 8,3 ppg con 200 psi como colchón, mezcla y bombeo de lechada de cemento clase "A" + aditivos (10 GLS de FP-6L + 100 lbs de CD-33 + 55 GLS de A-

7L) a 15,8 ppg (77 bbls), luego se desplaza lechada con 2 bls de agua, se obtuvo 0 bls de back Flow, se levanta lentamente DP y se circula el hoyo hasta obtener retornos limpios. Fin de la operación WOC (6horas).

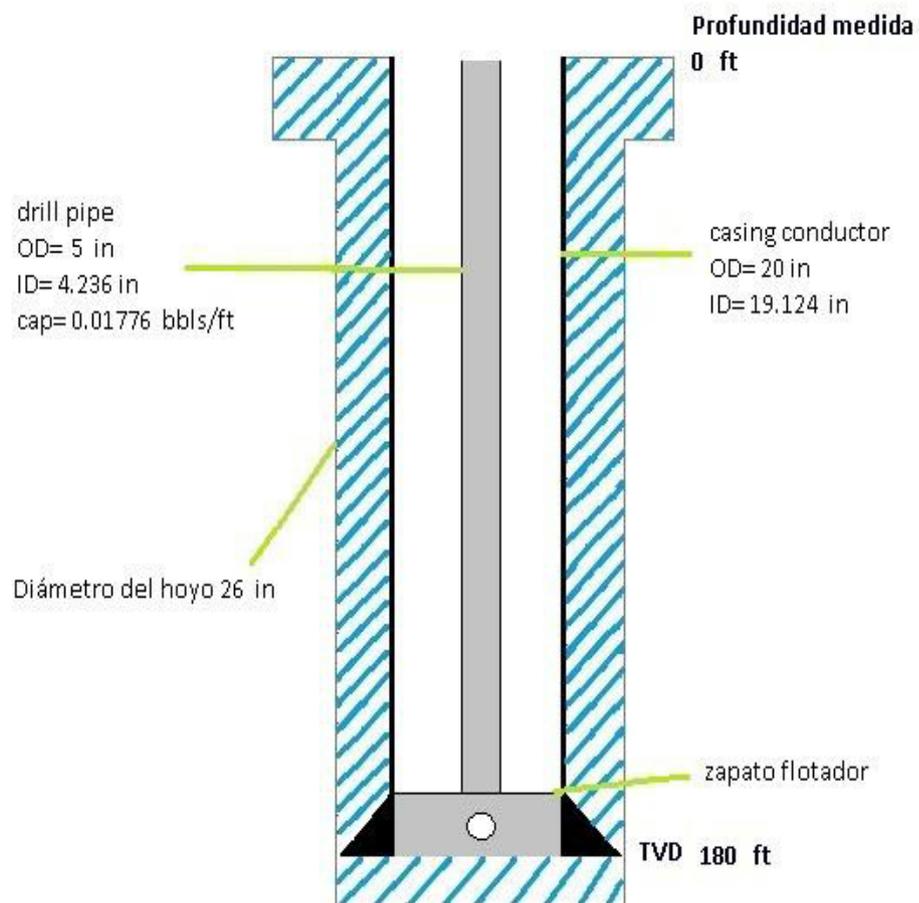


Figura 20: Diagrama de cementación, Sección 26"
Elaborado por: Marcela León Abad

3.3.2 Cementación revestimiento superficial

Se perforó hasta alcanzar la profundidad de 6,591pies (MD) con una broca de 16", en este punto se bajó una tubería de revestimiento de 13 3/8" con un diámetro interno de 12.415".

La cementación constará con una lechada de cola, que se colocará en el fondo de ésta hasta 1,000pies sobre el zapato guía; y una lechada de relleno desde la lechada anterior hasta superficie.

3.3.2.1 Cálculos para la cementación

$$C_2 = \frac{OD^2 - ID^2}{1029,4}$$

$$C_2 = \frac{(16)^2 - (13 \frac{3}{8})^2}{1029,4}$$

$$C_2 = 0.075 \frac{bbls}{ft}$$

$$V_{rell} = C_2 \times H_2$$

$$V_{rell} = 0.075 \times 5591$$

$$V_{rell} = 419 \text{ bbls.}$$

$$V_d = \frac{ID^2}{1029,4} \times H_2$$

$$V_d = \frac{(12.347)^2}{1029,4} \times (5591)$$

$$V_d = 828 \text{ bbls}$$

$$Sx2 = \frac{V_{rell1} \times 5.615}{R_2}$$

$$Sx2 = \frac{419 \times 5.615}{1.96}$$

$$Sx2 = 1200 \text{ sk}$$

$$V_{coia2} = C2 \times H_2'$$

$$V_{coia2} = 0.075 \times 1000$$

$$V_{coia2} = 75 \text{ bbls.}$$

$$Sx2' = \frac{V_{coia2} \times 5.615}{R_1}$$

$$Sx2' = \frac{75 \times 5.615}{1.32}$$

$$Sx2' = 214 \text{ sk}$$

3.3.2.2 Secuencia operacional

- Se armó equipo para correr revestimiento de 13 3/8", se conecta zapata de 13 3/8" BTC + 2 revestidores de 13 3/8" BTC + collar flotador de 13 3/8" + 156 revestidores de 13 3/8".
- Se probó equipo de flotación bajo 158 juntas de revestimiento de 13 3/8" BTC 72.0 Lbs/pie desde superficie hasta 6591' con 13 centralizadores Bow Spring, llenando y rompiendo geles cada 500' en la sección tangencial. Por problema con el Top Drive, observando revestimiento atascado a 5649', se trabaja el revestidor

con peso y tensión hasta liberar y se continúa bajando hasta 6591'.

Los cuatro últimos se bajaron con bombas del taladro.

- Se circula, acondiciona el lodo y se estabilizan presiones.
- Se instala cabezal de cementación
- Se instaló línea y se probó con 3000 psi sin problemas.
- Se bombea 10 bbls de agua tratada.
- Se Libera Tapón inferior flexible con 5 bls agua.
- Se mezcla y bombea 582 bbls de lechada de fondo @ 13.5 ppg
- Se mezcla y bombea 125 bbls de lechada de cola @ 15.8 ppg
- Liberamos Tapón de Tope.
- Inicia Desplazamiento de 10 bls de agua fresca con 5 bpm, 963 bls de lodo 10.5 ppg (8815 Strks) con 1700 psi.
- Se asienta tapón con 1200 psi sobre presión desplazamiento de 1700 psi. Presión final 2900 psi, mantener por 5 min.
- Se Desahogó presión con un retorno de 8 bls. (WOC 16 horas mínimo)

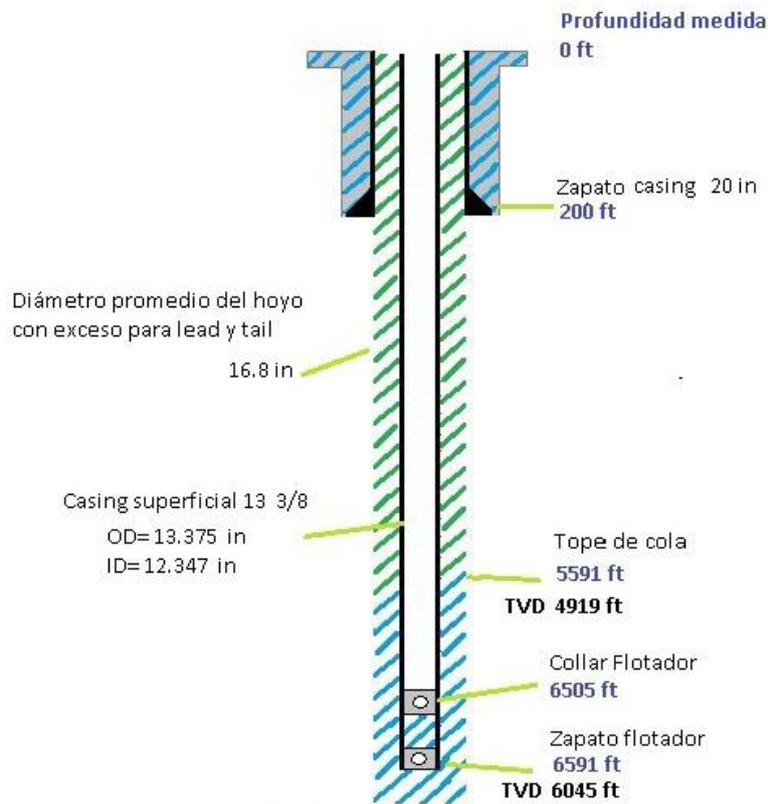


Figura 21: Diagrama de cementación, Sección 13 3/8"
Elaborado por: Marcela León Abad

3.3.3 Cementación del revestimiento intermedio

Se perforó hasta alcanzar la profundidad de 9,936pies (MD) con una broca de 12 1/4", en este punto se bajó una tubería de revestimiento de 9 5/8" con un diámetro interno de 8.681".

La cementación constará con una lechada de cola, que se colocará en el fondo de esta hasta 1,000pies sobre el zapato guía; y una lechada de relleno desde la lechada anterior hasta 200pies sobre el zapato guía anterior.

3.3.3.1 Cálculos para la cementación

$$C_3 = \frac{OD^2 - ID^2}{1029.4}$$

$$C_3 = \frac{(12 \frac{1}{4})^2 - (9 \frac{5}{8})^2}{1029.4}$$

$$C_3 = 0.056 \frac{bbls}{ft}$$

$$V_{rell3} = C_3 \times H_3$$

$$V_{rell3} = 0.056 \times 2340$$

$$V_{rell3} = 131 \text{ bbls.}$$

$$V_d3 = \frac{ID^2}{1029.4} \times H_3$$

$$V_d3 = \frac{(8.681)^2}{1029.4} \times (2340)$$

$$V_d3 = 171 \text{ bbls}$$

$$Sx3 = \frac{V_{rell3} \times 5.615}{R_3}$$

$$Sx3 = \frac{131 \times 5.615}{1.67}$$

$$Sx3 = 440 \text{ sk}$$

$$V_{coia3} = C_3 \times H_3'$$

$$V_{coia3} = 0.056 \times 1000$$

$$V_{coia3} = 56 \text{ bbls.}$$

$$Sx3' = \frac{V_{coia3} \times 5.615}{R_4}$$

$$Sx 3' = \frac{56 \times 5.615}{1.35}$$

$$Sx 3' = 233 \text{ sk}$$

3.3.3.2 Secuencia operacional

- Se armó y bajó revestidor 9 5/8 de 47 lbs/pie hasta 9936' ,durante la corrida se rompió circulación cada 500', bajando los últimos 5 revestidores con bombas del taladro, una vez en fondo se realizó reunión de Seguridad.
- Se armó líneas y probó las mismas con 3000 psi e instaló cabeza de cementación con el fin de proceder a realizar la cementación de la siguiente forma:
 - Se bombeó 50 bls de Mud CleanAcid.
 - Luego se bombeó 10 bls de agua tratada con KCL.
 - A continuación se bombeó 50 bls de MCS Spacer.
 - Se soltó Tapón Flexible.
 - Se bombeó 159 bls de la lechada de relleno @ 14.5 lpg
 - Después se bombeó 61 bls de la lechada de cola @ 16 lpg
 - Se soltó Tapón duro (Desplazando con 724 Bls) y bombeó 10 bls de agua.
 - Desplazamiento de las lechadas con bombas del Taladro con 712 bls con 6682 stk.

- Finalmente se asienta tapón con 1450 psi y presión final de 2300 psi, se esperó 10 minutos y se realizó BackFlow obteniendo 3 bls.
- Se retiran líneas y cabeza de cementación.

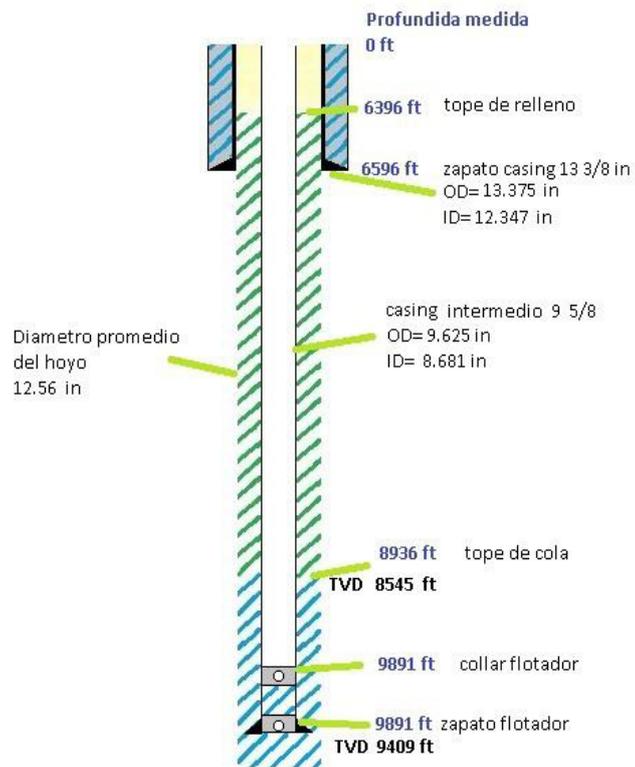


Figura 22: Diagrama de cementación, Sección 9 5/8"
Elaborado por: Marcela León Abad

3.3.4 Cementación de liner de producción

Se perforó hasta alcanzar la profundidad de 10,879 pies (MD) con una broca de 8 1/2", en este punto se bajó el liner de 7" con un diámetro interno de 6.276", con la ayuda una tubería de perforación de 5".

El liner se lo asienta 220 pies (traslape) sobre el zapato guía de la tubería de revestimiento intermedio.

La cementación constará de una lechada de cola desde 10,879' hasta 10,038', removedora, y de relleno desde 10,038' hasta 9,629'.

3.3.4.1 Cálculos para la cementación

$$C4 = \frac{OD^2 - ID^2}{1029.4}$$

$$C4 = \frac{(8\ 1/2")^2 - (7")^2}{1029.4}$$

$$C4 = 0.0226 \frac{bbls}{ft}$$

$$V_{rell4} = C4 \times H_4$$

$$V_{rell4} = 0.0226 \times 409$$

$$V_{rell4} = 9\ bbls.$$

$$V_d4 = \frac{ID^2}{1029.4} \times H_4$$

$$V_d4 = \frac{(6.275)^2}{1029.4} \times (409)$$

$$V_d4 = 16\ bbls$$

$$Sx4 = \frac{V_{rell4} \times 5.615}{R_1}$$

$$Sx3 = \frac{9 \times 5.615}{1.32}$$

$$Sx3 = 30\ sk$$

$$V_{coia4} = C4 \times H_{4'}$$

$$V_{coia4} = 0.0226 \times 841$$

$$V_{coia4} = 19 \text{ bbls.}$$

$$Sx 4' = \frac{V_{coia4} \times 5.615}{R_1}$$

$$Sx 4' = \frac{19 \times 5.615}{1.32}$$

$$Sx 4' = 81 \text{ sk}$$

3.3.4.2 Secuencia operacional

- Se armó equipo para bajar liner de 7" 26.0 lbs/pie, se conecta zapata + 1 revestidor + collar flotador + 1 revestidor + Insert Landing Collar + 23 Revestidores y Pup joint + Liner Hanger Torxs Expandible + HWDP + DP a 7850'.
- Se Prueba el equipo de flotación y se Continúa bajando liner de 7" 26.0 lbs/pie hasta 10879'.
- Se circuló hasta retorno limpios, se compara las presiones a diferentes caudales de bombeo, antes y después de anclar el colgador.
- Se soltó la bola de 1 3/4" con 3000 psi y se procedió a anclar el colgador y posteriormente a presurizar hasta 3900 psi

para expulsar la bola y verificar la liberación del setting tool. Se bombea lo siguiente:

- 40 bls Mud Clean
- 40 bls MCS-W Spacer
- 20 bls de Sure Bond
- 15 bls de lechada removedora a 13 lpg
- 15 bls de lechada cabeza a 16.2 lpg
- 30 bls de lechada de cola a 16.2 lpg
- Por último se suelta dardo y se desplaza con agua 199 bls (engancho en dardo con 160 bls y presión de 2900 psi) y se asentó tapón con 1200 psi sobre la presión de desplazamiento de 1500 psi y presión final 2700 psi, se verifico BackFlow identificando 3 bls.
- Se levanta sarta 14 hasta tope liner y circula para limpiar exceso de la cementación (Retorna a superficie lavadores, espaciadores + 18 bls de cemento contaminado + 6 bls de lechada de Cabeza).

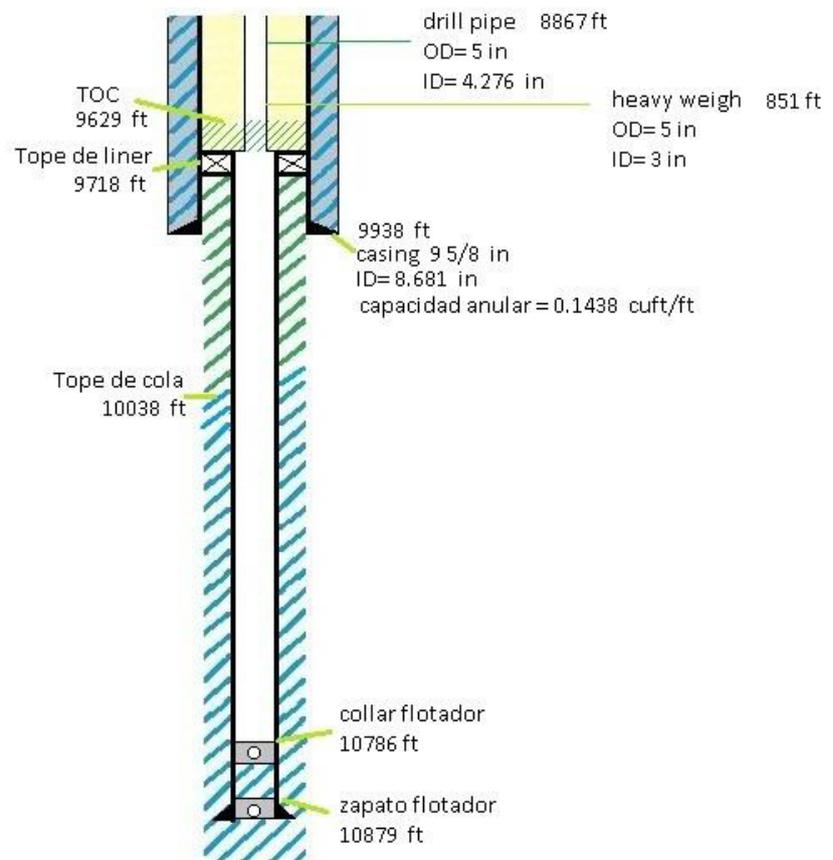


Figura 23: Diagrama de cementación, Sección 8 1/2"
Elaborado por: Marcela León Abad

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Una vez concluido este trabajo se determina lo siguiente:

1. Se cementó el pozo Sofia 1 de acuerdo al programa que se tenía planificado, esto quiere decir que se cumplió con los objetivos durante el tiempo planeado y con la optimización de cada uno de los componentes, equipos y elementos presentes en las lechadas de cada una de las secciones anteriormente descritas.
2. Se diseñó el plan de cementación para cada una de las etapas y se calcularon los volúmenes a depositar en cada lechada.

3. La capacidad de las bombas y su buen funcionamiento permitieron entrar en turbulencia (velocidad crítica) a todos nuestros fluidos, proporcionando una buena limpieza de las paredes del pozo.
4. De acuerdo a los diagramas reportados antes, durante y después de las operaciones de cementación se observa que no hubo caídas de presión considerables ni cambios significativos a lo planificado que afecten los trabajos.

4.2 Recomendaciones

1. Se recomienda verificar los cálculos antes de iniciar los procesos de cementación.
2. Verificar la historia de pozos vecinos (del mismo campo) para estipular los excesos.
3. Para realizar un trabajo de cementación satisfactorio, se recomienda utilizar velocidades altas (velocidad crítica) ya que se obtiene una mejor limpieza de las paredes del hoyo y por consiguiente una mejor adherencia de la lechada a las paredes del pozo.
4. Supervisar las operaciones y monitorear los retornos, puesto que si se llega a perder circulación se deberá reducir el caudal sin detener el bombeo hasta recuperar circulación.
5. Asegurarse que el viaje de limpieza ha sido realizado y que el agujero se encuentra limpio y en buenas condiciones. Acondicionar

las propiedades reológicas del lodo asegurando su limpieza, reduciendo el contenido de sólidos lo más bajo posible antes de bajar la tubería de revestimiento, estos factores son críticos para prevenir los empaquetamientos.

6. La tubería durante todo el proceso debe estar en movimiento para evitar pega diferencial; en caso de tener restricciones durante la bajada, se regresa una junta arriba y se baja rotando con parámetros de 5 – 10 RPM (verificar que el freno este colocado debido al torque residual).

Bibliografía

1. EDC LAR. "Applied Cementing."BJ Services.(Septiembre, 2004).
2. MC, AGMM & GEMR. "ABC de las cementaciones."(Mayo,2002).
3. NelsonErick B. "Schlumberger Well Cementing."(Enero, 2006).
4. Nuñez Del Arco. "Geología del Ecuador." (Junio, 2003).
5. Rivadeneira Marco / Barragan Roberto. "La Cuenca Oriente:Geologia y Petroleo" (Petroecuador). (Octubre, 2004).
6. "Personal Training". "Cementin Services Schlumberger" (Febrero, 2014).
7. "Cementos petroleros, características y análisis."Recuperado Enero 2014,<http://www.actiweb.es/marcus/archivo4.pdf>

ANEXOS

Anexo #1: F Tabla de nomenclatura para cálculos de las lechadas de cemento.

| | 1 Sección 20" | 2 Sección 13-3/8" | 3 Sección 9-5/8" | 4 Sección 7" |
|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Capacidad Anular | C1 | C2 | C3 | C4 |
| Volumen Lechada de cola | V_{cola} 1 | V_{cola} 2 | V_{cola} 3 | V_{cola} 4 |
| Volumen lechada de relleno | V_{rell} 1 | V_{rell} 2 | V_{rell} 3 | V_{rell} 4 |
| Volumen de desplazamiento | V_d 1 | V_d 2 | V_d 3 | V_d 4 |
| Rendimiento | R1 | R2 | R3 | R4 |
| Sacos de cemento | Sx1 | Sx2 | Sx3 | Sx4 |
| Longitud | H₁ | H₂ | H₃ | H₄ |

Elaborado por: Marcela León Abad

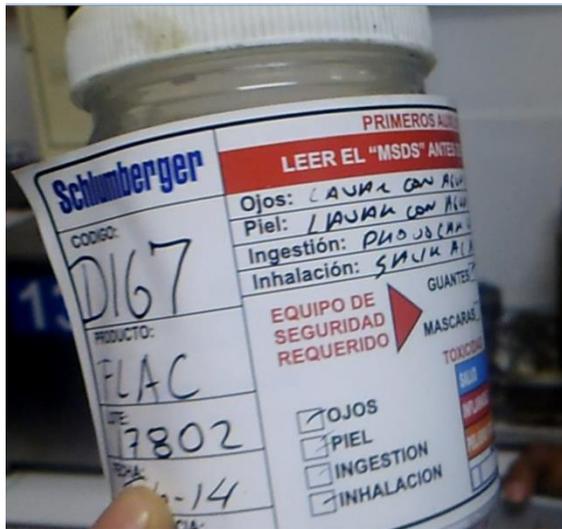
Anexo #2: Fotografías tomadas en visita técnica al departamento de cementación de la empresa Schlumberger.

Lechada de cemento para pruebas de laboratorio.



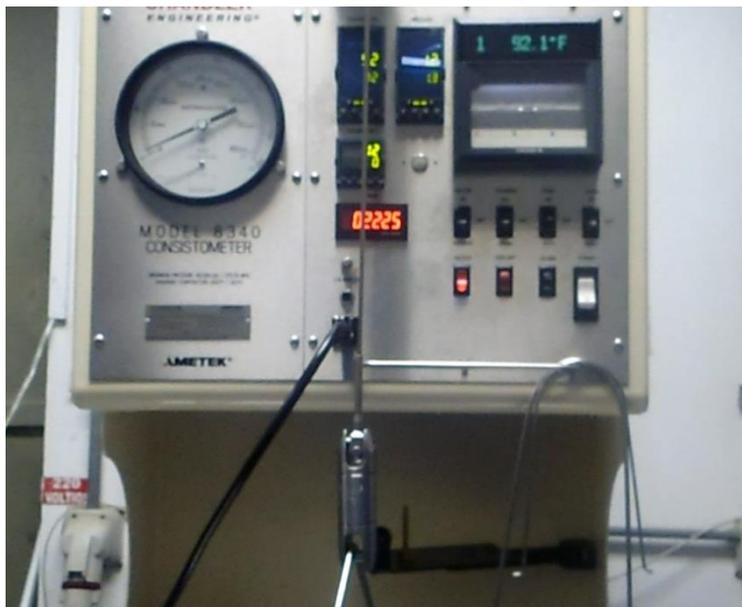
Laboratorio Base Coca Schlumberger.





Aditivo químico en polvo

Equipos para ensayos con lechadas.



Viscosímetro



Viscosímetro



Medidor pérdida por filtrado

Silos de almacenamiento de cemento



Panel de control PSM



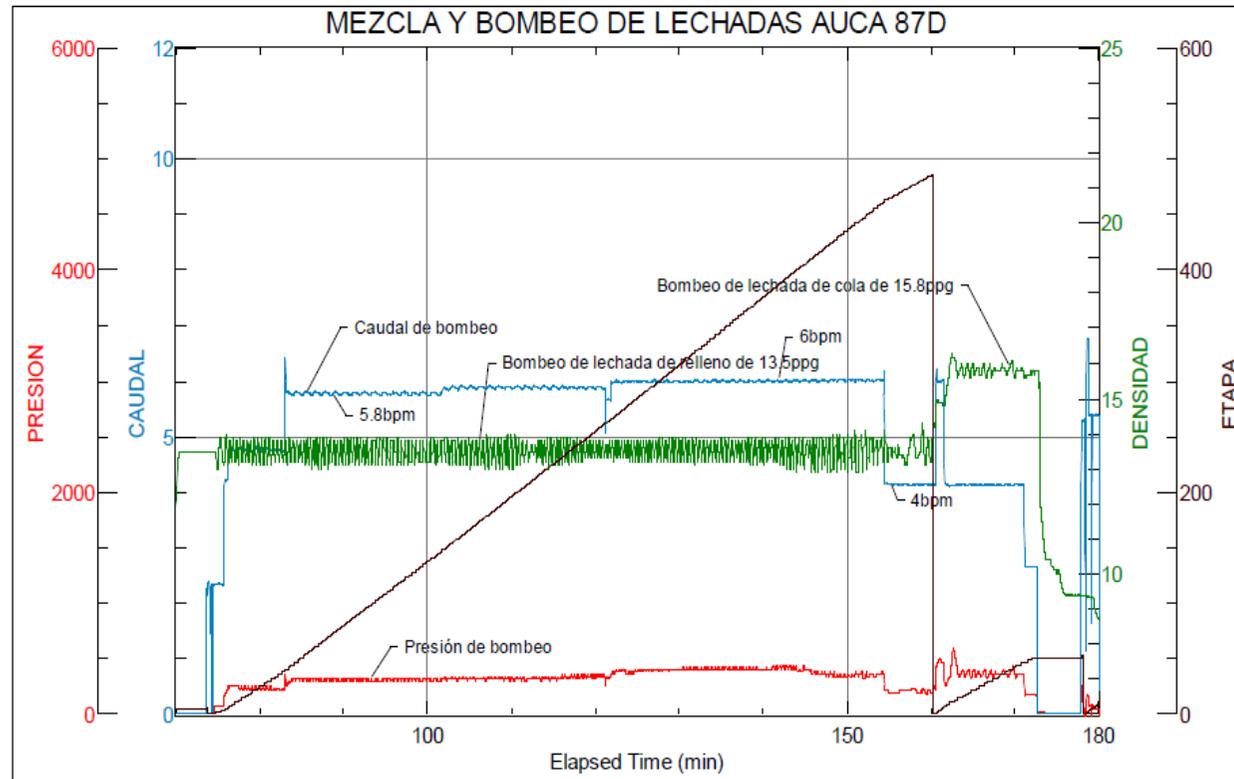
Bombas del camión PSM



Otras clases de cemento transportado en sacos



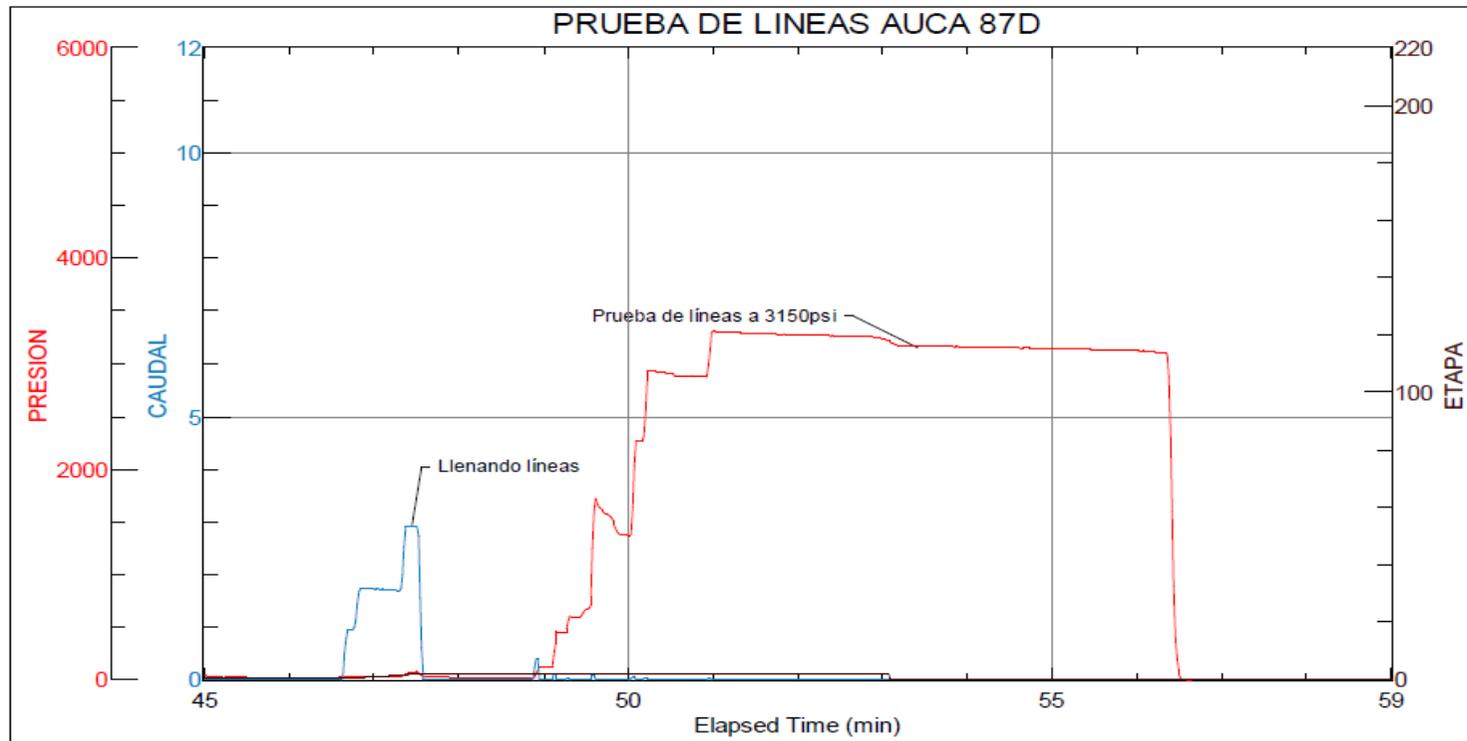
ANEXO #3



MEZCLA Y BOMBEO DE LECHADAS AUCA 87D

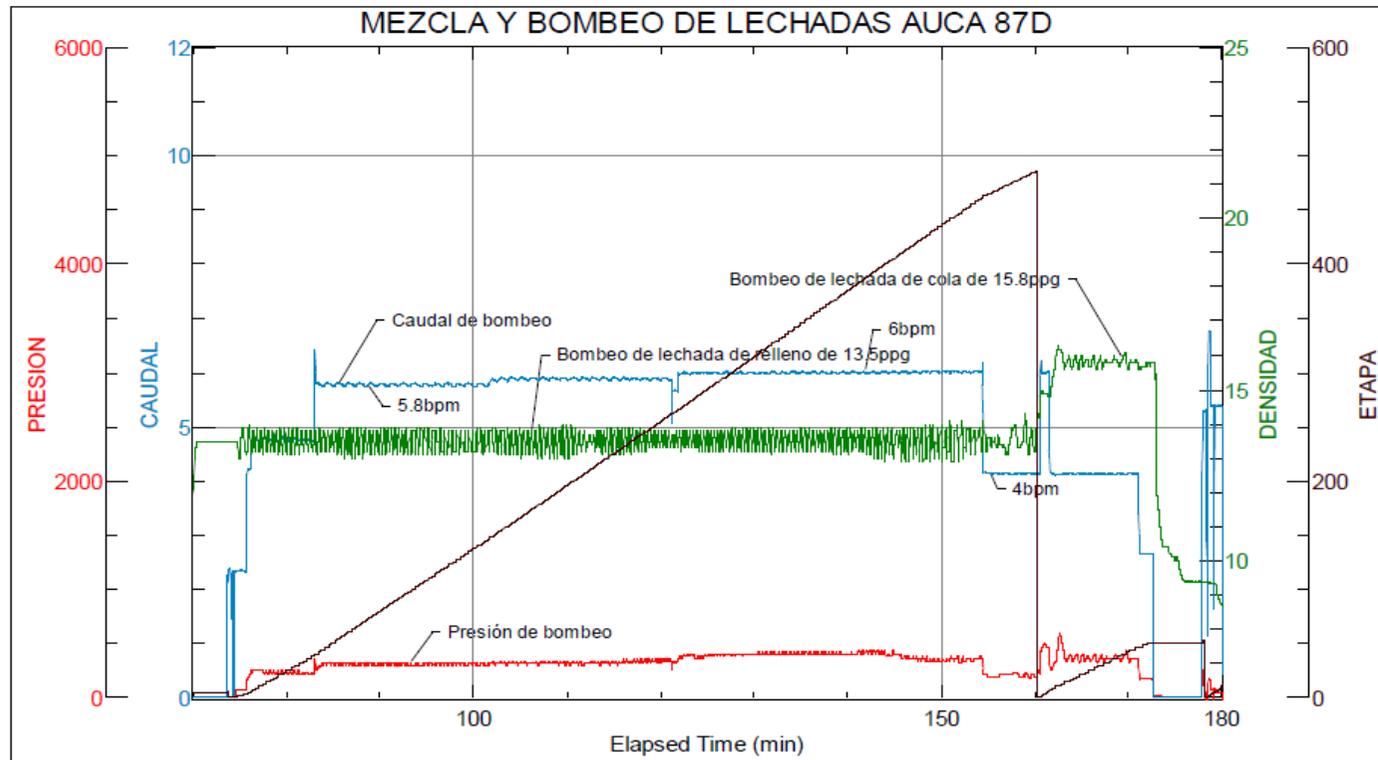
Bombeo de cemento - casing conductor de 20"

ANEXO #4



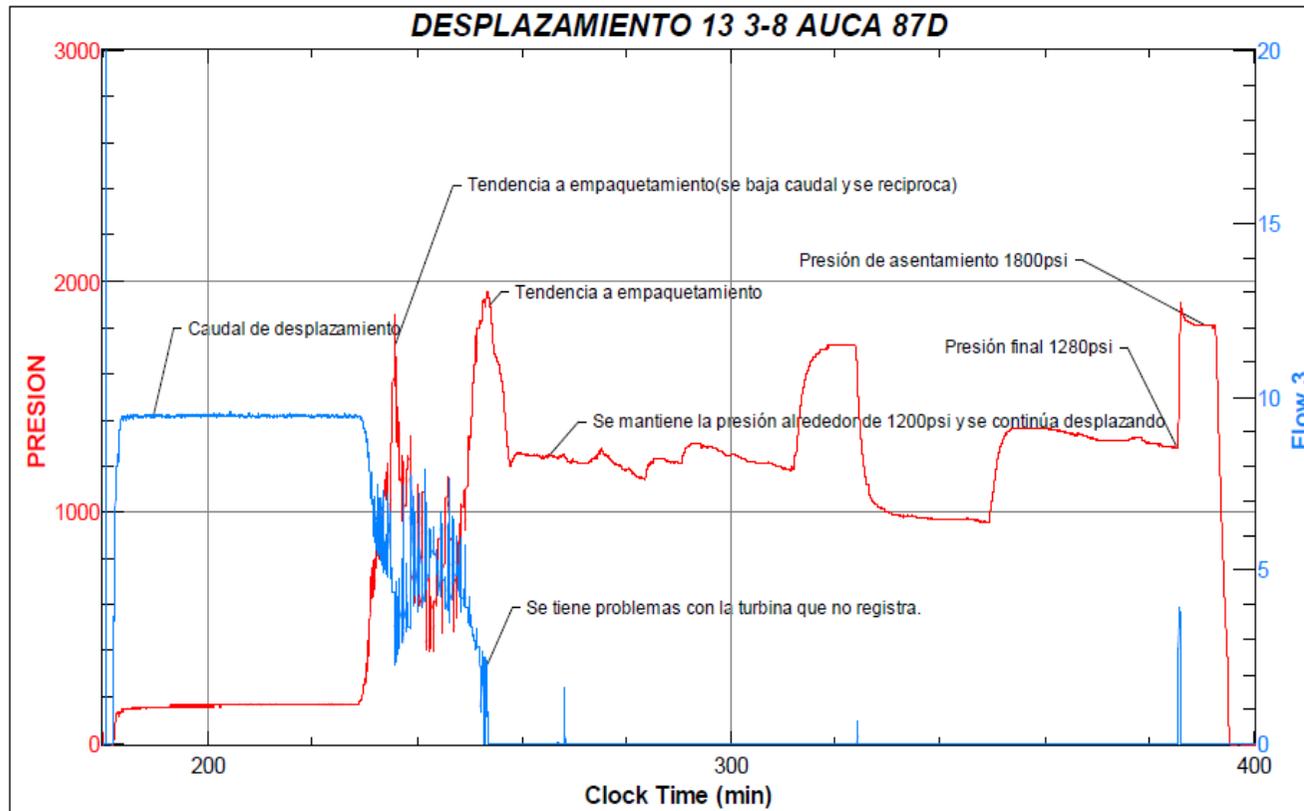
Prueba de líneas - casing superficial de 13 3/8"

ANEXO #5



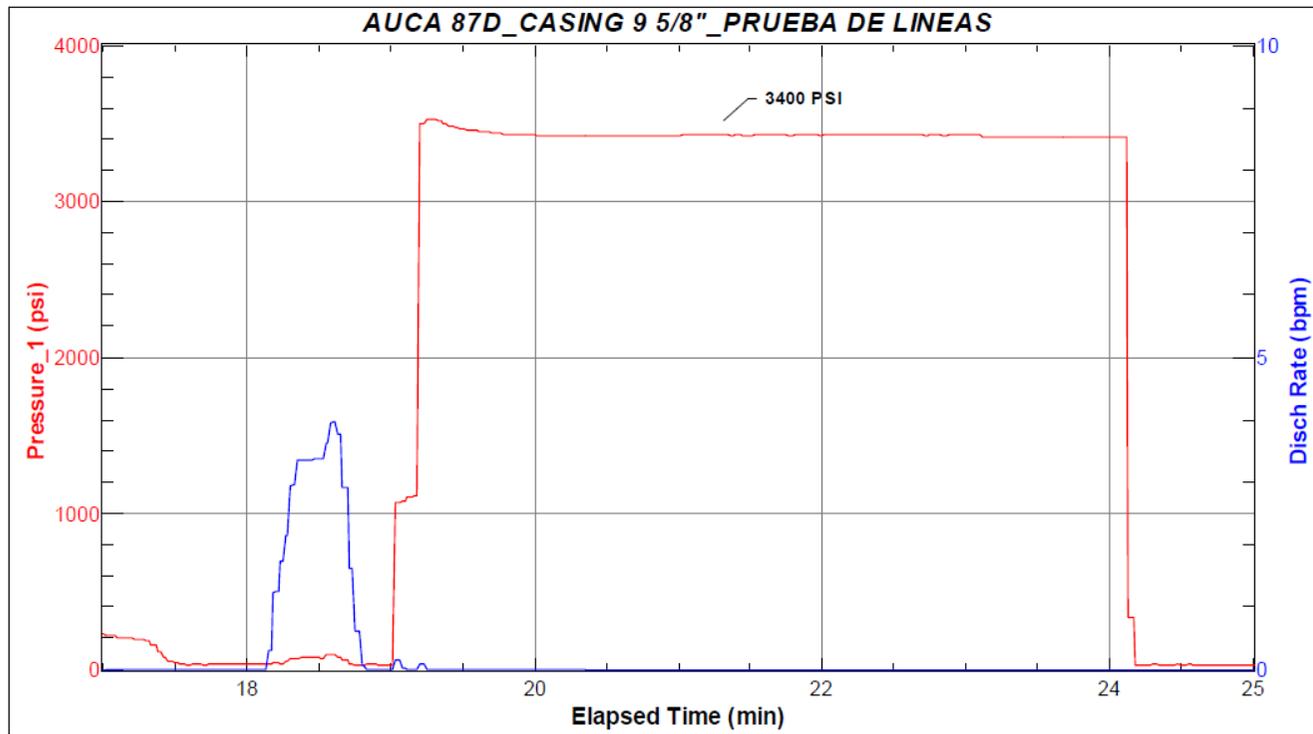
Bombeo de cemento - casing superficial de 13 3/8"

ANEXO #6



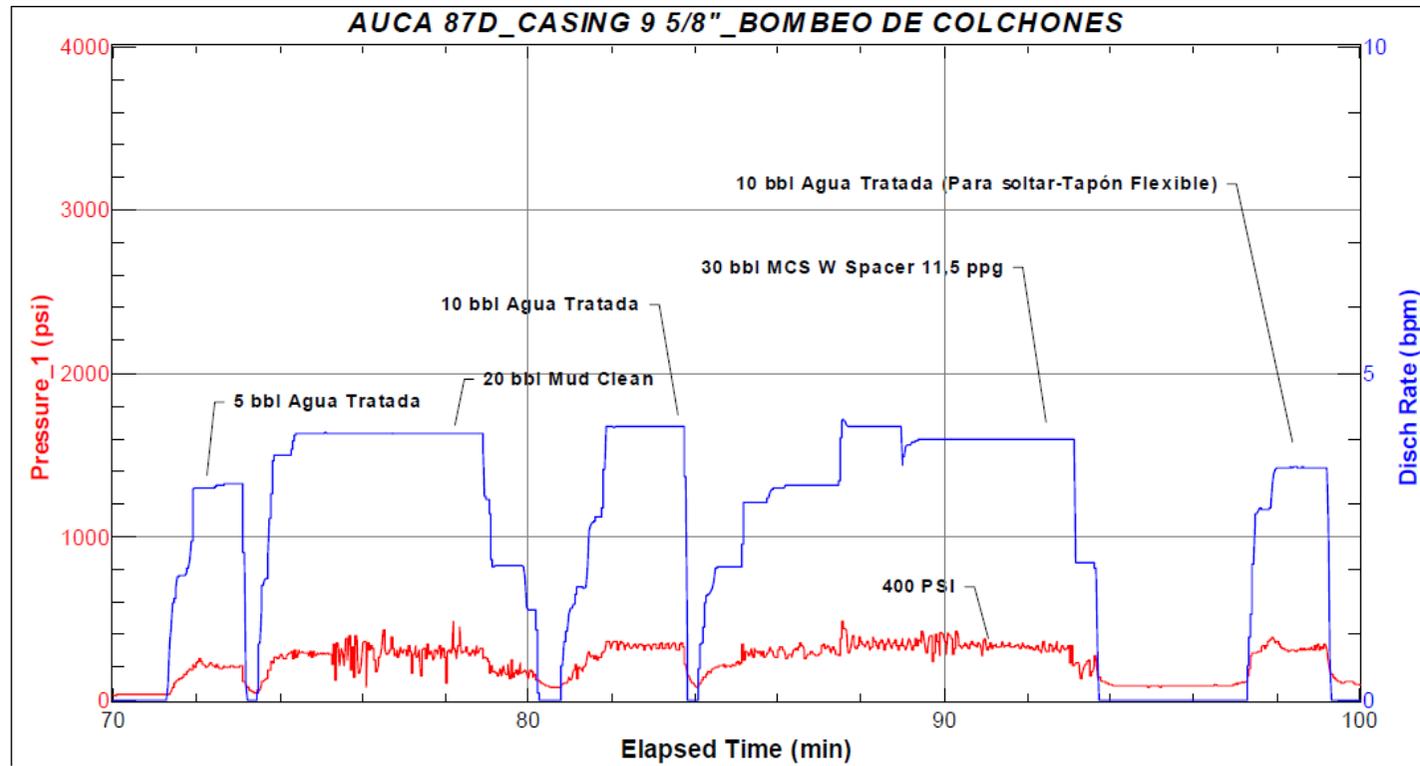
Desplazamiento total - casing superficial de 13 3/8"

ANEXO #7



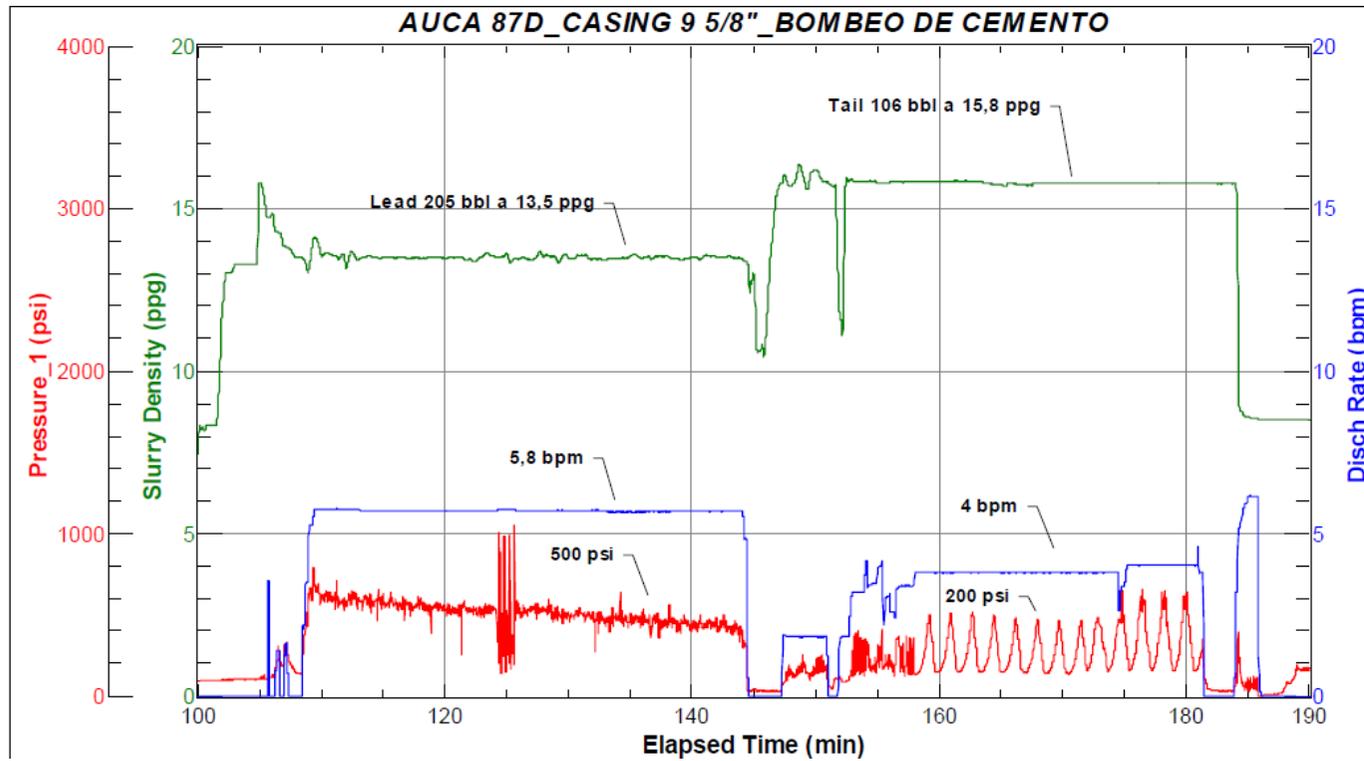
Prueba de líneas - casing intermedio de 9 5/8"

ANEXO #8



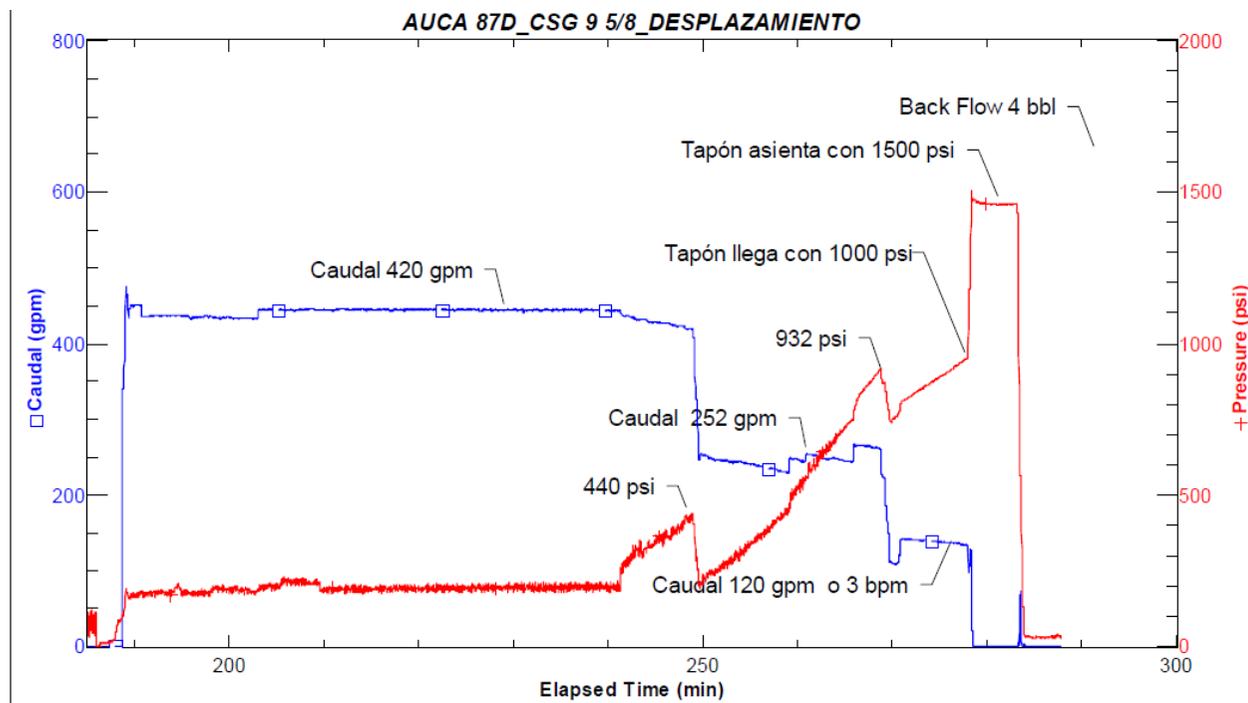
Bombeo de colchones - casing intermedio de 9 5/8"

ANEXO #9



Bombeo de cemento - casing intermedio de 9 5/8"

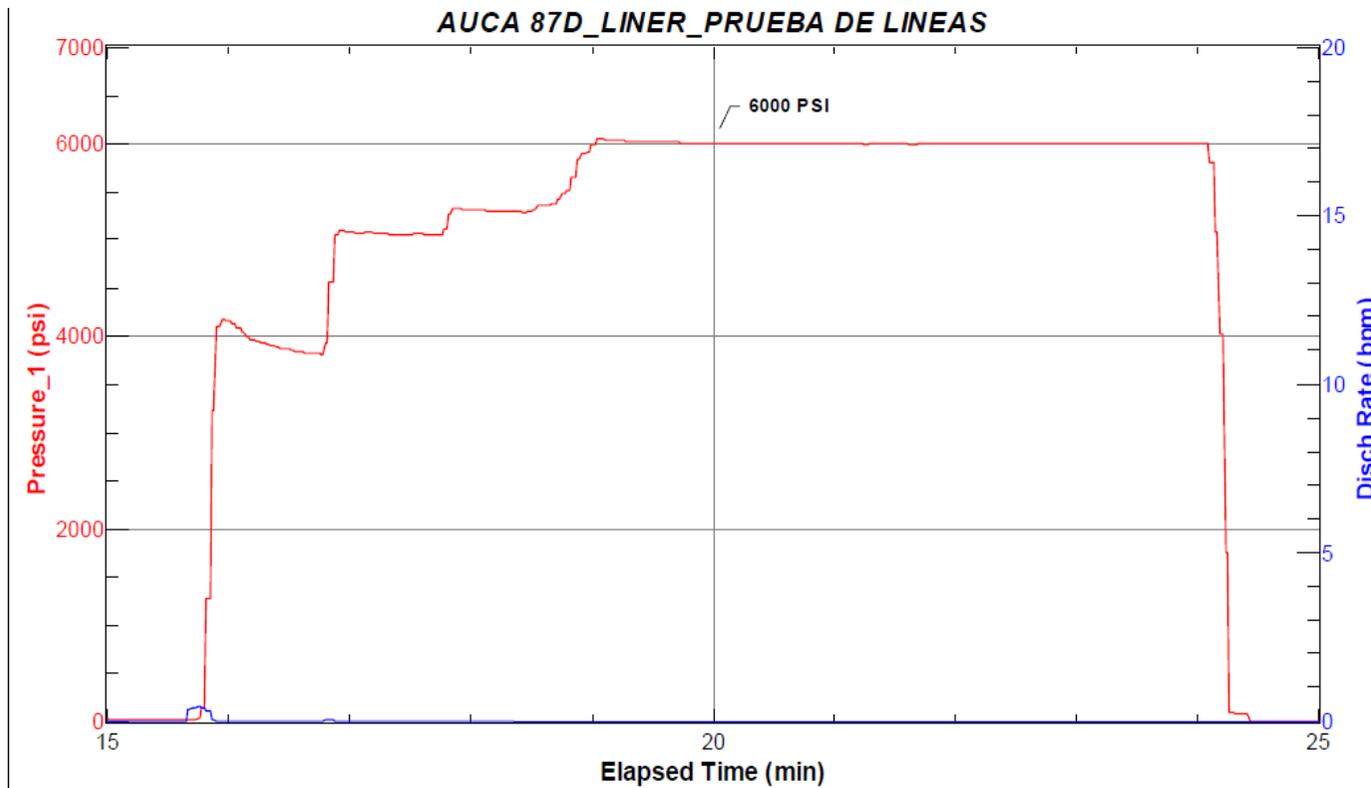
ANEXO #10



Desplazamiento total - casing intermedio de 9 5/8"

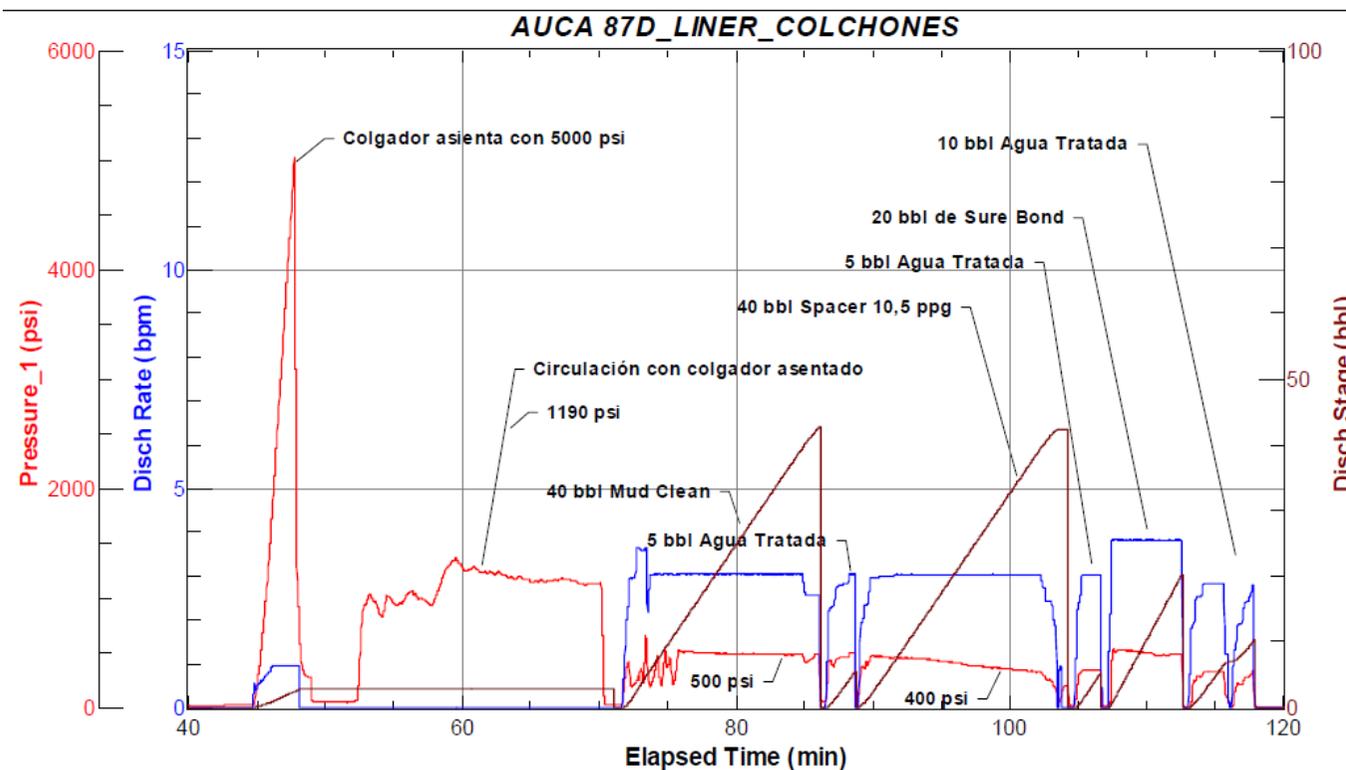
ANEXO #11

AUCA 87D_LINER_PRUEBA DE LINEAS



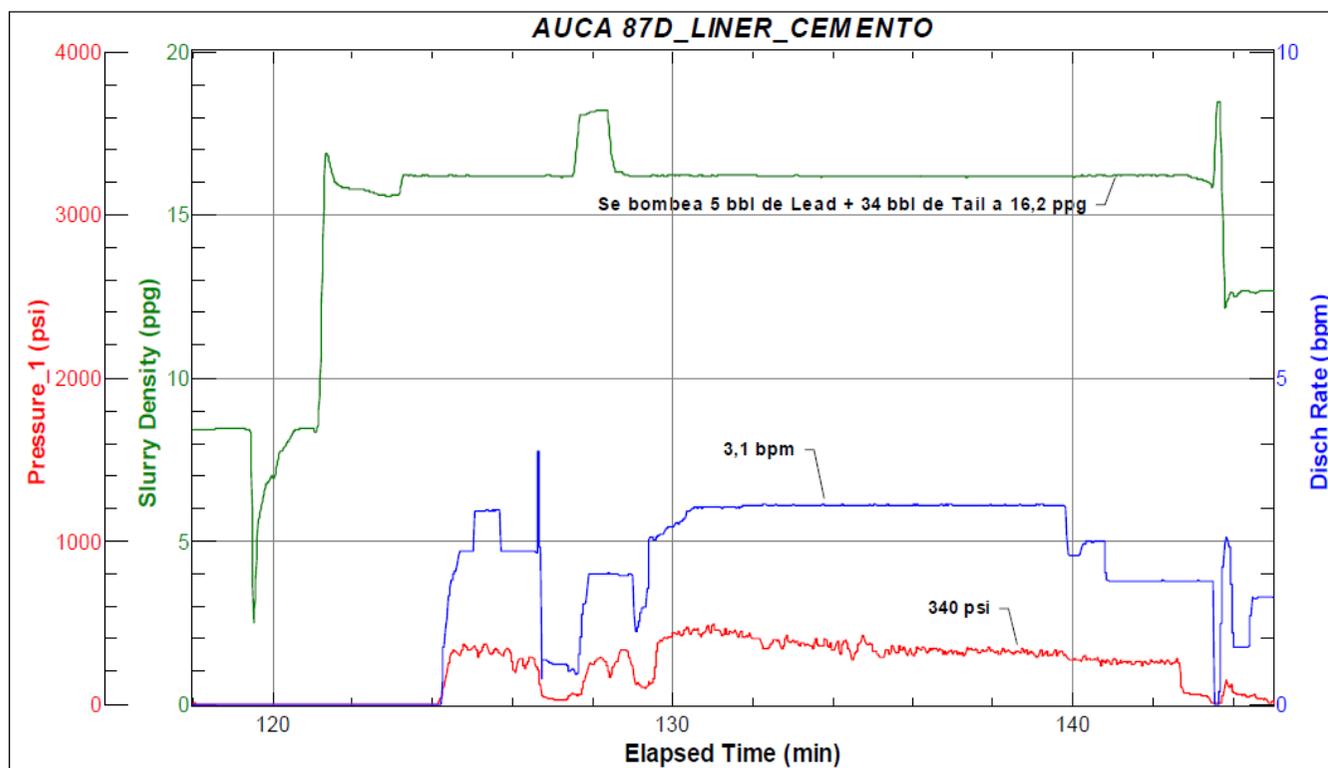
Prueba de líneas - Liner de 7"

ANEXO #12



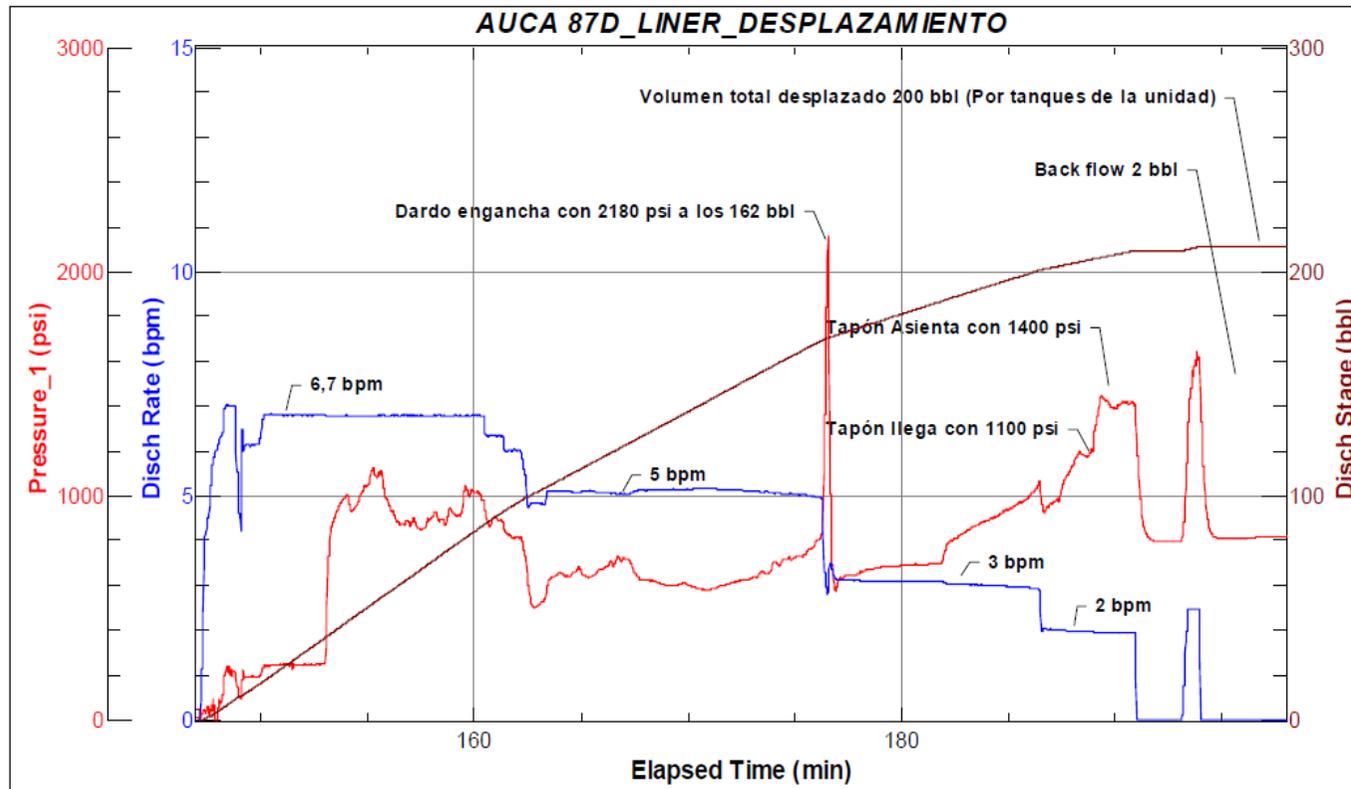
Bombeo de Colchones - Liner de 7"

ANEXO #13



Bombeo de cemento – Liner 7"

ANEXO #14



Desplazamiento total – Liner 7”