

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

OPTIMIZACIÓN QUÍMICA Y MECÁNICA DEL SISTEMA DE RETORNO DE LECHADAS Y DEL TANQUE CERO DESCARGA DE LA GABARRA D-1992. LAS MOROCHAS, ESTADO ZULIA

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Itriago A, Laura Mariana
Para optar al Título
de Ingeniero de Petróleo

Junio, 2013

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

OPTIMIZACIÓN QUÍMICA Y MECÁNICA DEL SISTEMA DE RETORNO DE LECHADAS Y DEL TANQUE CERO DESCARGA DE LA GABARRA D-1992. LAS MOROCHAS, ESTADO ZULIA

Tutor académico: Prof. Violeta Wills

Tutor industrial: Ing. Samira Rodriguez

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Itriago A, Laura Mariana
Para optar al Título
de Ingeniero de Petróleo

Junio, 2013

Caracas, Junio 2013.

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería de Petróleo, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Laura M. Itriago A., titulado:

“OPTIMIZACIÓN QUÍMICA Y MECÁNICA DEL SISTEMA DE RETORNO DE LECHADAS Y DEL TANQUE CERO DESCARGA DE LA GABARRA D-1992. LAS MOROCHAS, ESTADO ZULIA”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero de Petróleo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por los autores, lo declaran APROBADO.

Prof. (nombre y apellido)
Jurado

Prof. (nombre y apellido)
Jurado

Prof. Violeta Wills
Tutor Académico

Ing. Samira Rodriguez
Tutor Industrial

A mi madrina Bertha que me enseñó mediante sus acciones que los sueños son para los que tienen el coraje de perseguirlos.

Agradecimientos

Al Sagrado Corazón de Jesús.

A la Casa que vence las sombras, la Universidad Central de Venezuela, creadora de ciencia y cultura. Testigo silencioso de mis alegrías y frustraciones en cada batalla que libré durante mi época de estudiante.

A mis tutoras Samira y Violeta por dedicarme su tiempo y consejos para la realización de este trabajo.

A mis padres y a mi familia por darme hasta lo imposible, todo el amor, apoyo y fuerzas que necesité durante estos años, y los que vienen...A mi tía Ninoska y mi tío Victor por estar siempre pendientes de mí y ser un apoyo incondicional en mi vida.

A mis amigos Verónica por ser mi confidente, Susana, Jorge y Daniela por todos estos años de amistad, darme siempre fuerzas y estar ahí siempre para mí. También amigas Isabel, Vanessa y Maria Alejandra que a pesar de vivir en otro país siempre estuvieron presentes, apoyándome a pesar de la distancia.

A mis amigas Johanna y Melissa, y mis amigos Aquiles, Alejandro y Henry por compartir conmigo la vida universitaria y alegrarme los días.

A mis amigos, por compartir conmigo todos estos años, hacerme reír y haber sido imprescindibles para mí en la universidad.

A Pierina, Anggie, Guillermo, Leidy, Ana Karina y Gloriana por su amistad y apoyarme directamente en mi carrera universitaria.

A Yanexy, Kristel, Eliz, Iván, Manuel, Angelo y Leonardo quienes pasaron de ser desconocidos a amigos para la vida y compartir conmigo seis meses de trabajo, sacrificios y aprendizaje en el mundo azul.

A todo el equipo de WIT de Schlumberger – Las Morochas, en especial al equipo de Laboratorio de Cementación por compartir conmigo sus conocimientos en cementación y muchos consejos para la vida durante la realización de mi tesis.

Itriago A., Laura M.

**OPTIMIZACIÓN QUÍMICA Y MECÁNICA DEL SISTEMA DE
RETORNO DE LECHADAS Y DEL TANQUE CERO DESCARGA
DE LA GABARRA D-1992. LAS MOROCHAS, ESTADO ZULIA**

Tutor Académico: Ing. Violeta Wills. Tutor Industrial: Ing. Samira Rodriguez.

Trabajo Especial de Grado. Caracas, Universidad Central de Venezuela.

Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Petróleo. Año 2013. 85 Pág.

Palabras Clave: Lechadas de Cemento, Tiempo de Espesamiento, Retardadores Dulces, Lago de Maracaibo, Agitadores.

Resumen. El presente estudio tiene como objetivo proponer una optimización química y mecánica del sistema de retorno de lechadas y del tanque cero descarga de la Gabarra D-1992, utilizada para los trabajos en el Lago de Maracaibo ubicada en Las Morochas, Estado Zulia. Esto se debe a que los retornos provenientes del pozo son dispuestos dentro de la gabarra en un tanque de almacenamiento denominado tanque cero descarga. Dichos retornos llegan sólidos cuando la gabarra regresa del trabajo a tierra, lo cual constituye un problema para el acondicionamiento del tanque y su reutilización. Para solucionar este problema, se propone la adición de un producto retardador dulce en el tanque para poder aumentar el tiempo de fraguado de los retornos y un diseño mecánico que permita mezclar el producto retardador con los retornos dentro del tanque. Se evaluó mediante pruebas estáticas en el laboratorio dos productos dulces retardadores: melaza y una solución de agua-azúcar con una concentración de 7.38 lb/gal. Estos productos se añadieron en distintas cantidades a lechadas de llenado, retardadas y de cola, de las cuales se conoce por trabajos previos que tienen retornos a la superficie. Se evaluaron las propiedades retardadoras de estos productos en estado estático y utilizando un consistómetro presurizado para conocer el tiempo de espesamiento de la lechada con el producto retardador. Se compararon los distintos resultados obtenidos en las pruebas y se concluye que la solución agua-azúcar es la más efectiva en pequeñas cantidades. Se probó esta solución en un trabajo de revestidor superficial con un estimado de 30 barriles de retornos y el producto retardador hizo poco efecto en el tiempo de fraguado de la mezcla, es por ello que se requirió un acondicionamiento mecánico para el tanque. Se analizaron varios diseños mecánicos y se eligió un agitador a chorros como propuesta para mejorar las condiciones de mezcla dentro del tanque.

Tabla de Contenido

Tabla de Contenido	vii
Lista de Tablas	ix
Lista de Figuras	x
Introducción	1
Capítulo I.....	3
Fundamentos de la Investigación	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Objetivos de la investigación.....	4
1.3 Alcance	5
1.4 Justificación	5
1.5. Limitaciones.....	5
Capítulo II	6
Marco Teórico	6
2.1 Antecedentes.....	6
2.2 Bases teóricas.....	8
2.3 Términos de interés.....	23
Capítulo III.....	28
Marco Metodológico	28
3.1 Tipo de investigación.....	28
3.2 Diseño de la investigación.....	28
3.3 Población y muestra.....	28
3.4 Metodología de la investigación	29
3.5 Procedimiento e instrumentos ^[5]	29
3.6 Productos retardadores.....	33
3.7 Pruebas ^[3,4]	34
Capítulo IV	44
Resultados y Discusión de Resultados	44
4.1 Pruebas en el laboratorio.....	44
4.2 Prueba en la gabarra.....	49

4.3 Diseño conceptual.....	49
4.4 Desarrollo del diseño	50
4.5 Selección del diseño.....	51
4.6 Modificaciones del diseño	55
4.7 Factibilidad económica de los diseños ^[10]	56
Conclusiones	59
Recomendaciones.....	60
Referencia Bibliográfica	63
Glosario de Términos.....	65
Apéndice	65
Anexos	68

Lista de Tablas

Tabla 3.1 <i>Lechada Retardada</i>	35
Tabla 3.2 <i>Lechada de Llenado</i>	36
Tabla 3.3 <i>Lechada de Cola</i>	36
Tabla 3.4 <i>Lechada de Cola con acelerador</i>	38
Tabla 4.1 <i>Fraguado lechada de llenado</i>	44
Tabla 4.2 <i>Lechada contaminada-aditivo</i>	45
Tabla 4.3 <i>Fraguado lechada de cola con acelerador</i>	45
Tabla 4.4 <i>Consistómetro presurizado encendido</i>	46
Tabla 4.5 <i>Encendido en intervalos de tiempo</i>	47
Tabla 4.6 <i>Fraguado de la lechada de llenado-melaza</i>	48
Tabla 4.7 <i>Consistómetro Presurizado-melaza</i>	49
Tabla 4.8 <i>Matriz de Selección</i>	54
Tabla 4.9 <i>Matriz de Selección por Jerarquía</i>	55
Tabla 4.10 <i>Precios de los distintos diseños propuestos</i>	56

Lista de Figuras

Figura 2.1 Cementación Primaria	13
Figura 2.2 Hidratación del Cemento Portland.....	17
Figura 2.3 Gabarra D-1992	23
Figura 2.4 Silos de la Gabarra D-1992.....	24
Figura 2.5 Patín de la Bomba de Cemento CPS-361	25
Figura 2.6 Equipos de Cementación Costa Afuera	27
Figura 3.1 Balanza Electrónica	30
Figura 3.2 Mezcladora	30
Figura 3.3 Balanza Presurizada.....	33
Figura 3.4 Consistómetro Atmosférico	33
Figura 3.5 Consistómetro Presurizado	34
Figura 3.6 Lechada en Consistómetro Presurizado.....	39
Figura 3.7 Lechada de llenado en paleta.....	39
Figura 3.8 Lechada de llenado manejable.....	39
Figura 3.9 Sacos de azúcar a utilizar para la prueba	42
Figura 3.10 Azúcar para mezclar	42
Figura 3.11 Mezcla de Azúcar con el agua	43
Figura 3.12 Entrada al tanque con los retornos fraguados	43
Figura 4.1 Medidas del Tanque.....	50
Figura 4.2 Ubicación del Tanque	51
Figura 4.3 Tobera Rotativa	52
Figura 4.4 Agitador Lateral de Hélice.....	53
Figura 4.5 Jet Mixer	54
Figura 4.6 Sala de Máquina	56
Figura 4.7 Tanque con agitador	58

Introducción

La cementación es un proceso que consiste en mezclar cemento seco y ciertos aditivos químicos con agua para formar una lechada de cemento, la cual es bombeada al pozo a través de la sarta de revestimiento y es colocada en el espacio anular entre el hoyo y el diámetro externo del revestidor. Tiene como objetivos principales el aislamiento zonal (prevenir comunicación entre zonas), proveer soporte al revestidor dentro del pozo, proteger al revestidor de corrosiones y al hoyo de un colapso.

Se añaden aditivos químicos los cuales proporcionan características a las lechadas que les permite ayudar a adecuar las mismas a los distintos escenarios en los cuales se encuentra el pozo durante la cementación del mismo. Las lechadas son evaluadas físicamente en un laboratorio de acuerdo a las condiciones de presión y temperatura del fondo del pozo antes de ser bombeadas.

Donde se observan retornos de estas lechadas en la superficie es en los trabajos de revestidores superficiales porque se considera un exceso en el espacio anular del hoyo y en otros casos especiales de revestidores intermedios y/o de producción.

El segmento de Cementación de Well Services de la Compañía Schlumberger S.A. ubicada en el Muelle Simón Bolívar (Las Morochas, Estado Zulia) utiliza la gabarra D-1992 para sus trabajos en Lago de Maracaibo, la cual dispone de un tanque de almacenamiento para recibir los retornos.

Los volúmenes de retorno a recibir en la gabarra de cementación son limitados ya que para la disposición de los mismos sólo se cuenta con un tanque de almacenamiento de 134 bbls de capacidad, y se tiene la problemática de no poseer algún dispositivo mecánico y/o químico que retarden el proceso de fraguado de estos retornos.

En este Trabajo Especial de Grado se plantea una propuesta para retardar el fraguado de los retornos en no menos de 72 horas, basándose en la optimización del sistema mecánico y la composición química de un nuevo producto que será utilizado como aditivo.

El trabajo se divide en cuatro capítulos, en el primer capítulo se explica con más detalles el procedimiento a seguir para encontrar una solución al rápido fraguado de los retornos, se fijan varios objetivos que se desarrollarán a lo largo del trabajo. El segundo capítulo hace referencia a investigaciones previas que se relacionan con las pruebas a realizar en el laboratorio de cementación. Aunado a esto, proporciona información sobre los trabajos de cementación, la química del cemento, las lechadas de cemento y sus aditivos, y los equipos que se utilizan para cementar un pozo. El tercer capítulo consiste en el procedimiento a seguir en cada prueba así como también los instrumentos a utilizar. Por último, en el cuarto capítulo se analizan las pruebas realizadas y se propone una solución mecánica para mezclar los retornos con el producto retardador dentro del tanque.

Capítulo I

Fundamentos de la Investigación

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La gabarra D1992 perteneciente a la celda de Cemento del segmento Well Services de la Compañía Schlumberger S.A. está localizada en el Muelle Simón Bolívar (Estado Zulia, Las Morochas). En dicha gabarra se realizan trabajos de cementación de los revestidores de superficie donde se obtienen retornos de lechadas.

Los retornos son dispuestos dentro de la gabarra en un tanque de almacenamiento denominado tanque cero descarga. Dichos retornos llegan fraguados cuando la gabarra regresa del trabajo a tierra, lo cual constituye un problema para el acondicionamiento del tanque para su reutilización.

Aunado a esto, la gabarra no dispone de espacio suficiente para almacenar nuevos aditivos que puedan mejorar el tiempo de fraguado de los retornos, es por ello que se requiere un nuevo diseño que optimice el proceso y retarde el fraguado de los retornos en al menos 72 horas, tiempo que permitiría que el tanque llegue a tierra con los desechos en estado líquido, lo cual facilitaría el proceso de limpieza y acondicionamiento del mismo y evitaría la pérdida de tiempo y dinero que se viene presentando por efecto del fraguado.

En tal sentido, se pretende con la realización de este Trabajo Especial de Grado presentar un nuevo diseño del proceso de descarga así como también plantear una nueva formulación para tratar los retornos y evitar el fraguado del mismo.

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo General

- Realizar la optimización del sistema de retorno de lechadas y del tanque cero descarga de la gabarra D-1992.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Revisión bibliográfica del material referente a las propiedades físico-químicas del cemento y su proceso de fraguado con la finalidad de obtener información relacionada con el fraguado de lechadas de cemento en la industria petrolera.
- Formular un producto que permita retardar el fraguado de los retornos de lechada en el tanque cero descarga.
- Realizar ensayos en el laboratorio y en el campo para comprobar las propiedades retardantes del producto formulado.
- Proponer el acondicionamiento mecánico del tanque cero descarga.
- Evaluar cuál de las propuestas planteadas es económicamente factible.

1.3 ALCANCE

El presente Trabajo Especial de Grado tiene como finalidad proponer una solución al rápido fraguado de los retornos de lechadas en el tanque cero descarga de la gabarra D1992 mediante la optimización química y mecánica de dicho sistema.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Debido a la alta actividad en la cementación de pozos que hay en la zona oeste de Venezuela, la celda de Cementación de Well Services tiene bajo su cargo varios pozos, en la primera etapa de revestidores superficiales no se corren registros eléctricos por lo que se desconoce el diámetro real del hoyo y se basan en el tamaño de la mecha para realizar los cálculos. Al no tener datos exactos es común obtener retornos en superficie durante los trabajos, esto se debe a que el diámetro verdadero del hoyo no es el supuesto teóricamente o el comportamiento de la formación no es el esperado. Estos retornos son enviados al tanque y cuando la gabarra regresa a tierra, los retornos llegan fraguados.

Es necesario desarrollar un producto que ayude a retardar el fraguado en el tanque cero descarga de la gabarra D-1992 un mínimo de 72 horas ya que la gabarra se encuentra en constante actividad y, además, poseer algún dispositivo mecánico y/o químico que retarden el proceso de fraguado de estos retornos.

1.5. LIMITACIONES

Entre las restricciones que se presentan en este TEG se consideran:

- 1- La capacidad del tanque cero descarga para recibir retornos.
- 2- Diseño del tanque cero descarga no fue realizado para recibir retornos de cementos, es un taque tipo rectangular, lo ideal es una geometría esférica o cilíndrica.
- 3- La disposición física de la gabarra. La gabarra posee un espacio limitado para añadir productos adicionales a los de cada trabajo de cementación y modificarla mecánicamente.

Capítulo II

Marco Teórico

2.1 ANTECEDENTES

Para el desarrollo de la presente investigación se revisaron diversos documentos técnicos, libros, artículos, entre otros, que sirvieron de base para la elaboración del marco teórico y el análisis en las pruebas de laboratorio. Entre estos antecedentes se destacan:

Khan, B y Baradan, B (2002) realizaron un artículo técnico titulado *The effect of sugar on setting-time of various types of cements*. Los autores determinaron la influencia del azúcar proveniente de distintos orígenes en el tiempo de fraguado de tres tipos de cemento. El azúcar en pequeñas cantidades funcionó como retardador de las lechadas de cemento, y en grandes cantidades su efecto disminuyó sus propiedades retardadoras y empezó a acelerar el fraguado de los cementos. El efecto retardador del azúcar es mayor si se añade luego de mezclar el agua con el cemento seco. Igualmente, se concluyó que el efecto del azúcar en el tiempo de fraguado depende de la composición química del cemento utilizado. Este artículo fue un apoyo para la realización de las pruebas en el laboratorio y conocer que el azúcar a pequeñas cantidades actúa como retardador y en grandes cantidades como acelerador.

Bermudez, M (2007) presentó el artículo técnico *Effect of Sugar on the Thickening Time of Cement Slurries* durante La Exhibición y Conferencia Técnica Anual de la Sociedad de Ingenieros de Petróleo (SPE) en California, EEUU. La autora investiga distintos casos en los cuales se ha utilizado el azúcar y hay una disyuntiva entre su comportamiento como retardador o acelerador, es por ello que realiza varios

experimentos para conocer el tiempo de espesamiento de las lechadas con distintas cantidades de azúcar. Se concluye que cuando el azúcar se añade en concentraciones mayores a 13 lb/bbl acelera el tiempo de espesamiento de la lechada. Este documento técnico demuestra la importancia de conocer el tiempo de espesamiento de la lechada cuando se analiza el efecto retardador de un aditivo, es por ello que para la presente investigación se utilizó como guía para realizar los experimentos en el laboratorio utilizando el consistómetro presurizado.

Schlumberger (2010) en su libro *Cement Chemistry and Additives* describe la química del cemento, su curva de hidratación y los tipos de aditivos que existen en las lechadas. Este libro fue fundamental para entender la composición del cemento, interacción entre sus elementos, comportamiento a través del tiempo del cemento y los distintos aditivos que se pueden agregar al mismo. Se analizaron los distintos aditivos retardadores y se concluye, con el aporte de expertos en el laboratorio de cementación, utilizar azúcares como retardador del fraguado para la presente investigación.

Abalaka, A (2011) publicó un artículo técnico titulado *Effects of Sugar on Physical Properties of Ordinary Portland Cement Paste and Concrete* en la Universidad Federal de Tecnología del Estado de Níger, Nigeria. El autor utilizó concreto. A diferencia de las lechadas, los componentes del concreto son: cemento portland, arena, cuarzo y agua. El autor realizó una investigación y observó que con concentraciones de azúcar menores de 1% por peso de cemento aumenta el tiempo de fraguado del concreto y, concentraciones de azúcar de 0.06% por peso de cemento tiene el mayor tiempo de fraguado inicial. Es importante porque es el mismo cemento portland utilizado en las lechadas y su comportamiento con el azúcar es similar a los de los otros documentos. Este autor también utiliza el tiempo de espesamiento del concreto para analizar la efectividad retardadora del azúcar.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Cementación

La cementación de pozos es el proceso por el cual se inyecta en un pozo un volumen determinado de lechada de cemento con propiedades específicas con la finalidad de crear un sello hidráulico y aislar el espacio anular.

Los principales tipos de cementación incluyen: la cementación de los liners y las tuberías de revestimiento, la colocación de tapones de cementación y la realización de trabajos de reparación de cemento.

El proceso de cementación incluye la preparación de la lechada, que se compone de cemento en polvo, agua, y aditivos químicos para controlar las propiedades del cemento. Luego de mezclada, la lechada se bombea al pozo mediante bombas de alta presión utilizando equipos y bombas especiales.

2.2.2 Objetivos de la Cementación

Entre los propósitos principales de la cementación se pueden mencionar los siguientes:

- ✓ Proteger y asegurar la tubería de revestimiento en el hoyo.
- ✓ Aislar zonas de diferentes fluidos.
- ✓ Aislar zonas de agua superficial y evitar la contaminación de las mismas por el fluido de perforación o por los fluidos del pozo.
- ✓ Evitar o resolver problemas de pérdida de circulación y pega de tuberías.
- ✓ Reparar pozos por problemas de canalización de fluidos.
- ✓ Reparar fugas en el revestidor.
- ✓ Proteger el hoyo de un colapso.

2.2.3 Etapas de un trabajo de cementación ^[11]

Al realizar los trabajos de cementación se deben seguir unos pasos previos al trabajo, durante la cementación y después de la misma:

a) Circulación de lodo mediante la bomba del equipo de perforación

Utilizando la bomba del equipo de perforación se hace circular lodo de perforación (también conocido como fluido de perforación) en el pozo, con el fin de acondicionar el lodo y lavar el pozo.

b) Prueba de presión

Previamente de iniciar la cementación, se debe hacer una prueba de presión a las líneas de tratamiento de alta presión que van desde la unidad de cementación hasta el pozo. Se debe reparar cualquier fuga que se detecte y repetir la prueba de presión hasta conseguir el resultado adecuado.

c) Bombeo de lavador y espaciador

Se bombea un lavador químico o un espaciador densificado para que actúen como amortiguadores entre el fluido de perforación y el cemento. Los lavadores químicos son fluidos base agua que pueden utilizarse en espacios anulares pequeños con geometría del agujero regular. Estos fluidos pueden utilizarse cuando se puede lograr turbulencia en todas las secciones del espacio anular. Los espaciadores son fluidos densificados que se bombean en flujos turbulentos o laminares. Estos productos sirven para eliminar completamente los fluidos de perforación del anular antes de inyectar la lechada de cementación.

d) Lanzamiento del tapón inferior

En los trabajos de cementación primaria, antes y después de la inyección de la lechada de cementación, se lanzan tapones limpiadores. Estos elementos sirven para separar la lechada de los fluidos de perforación, limpiar las paredes interiores de la tubería de revestimiento y obtener una indicación positiva (presión) de que el cemento ya está en posición fuera de la tubería de revestimiento.

e) Mezcla de la lechada

La lechada de cementación se forma combinando cemento seco, agua y los aditivos necesarios en un mezclador. El fluido de mezcla (agua más los aditivos del cemento)

puede prepararse antes o al vuelo mediante un sistema de aditivos líquidos. En algunas locaciones, los aditivos se mezclan en seco con el cemento.

f) Bombeo de la lechada inicial

La lechada inicial es un tipo de lechada de baja densidad y alto rendimiento diseñada para llenar y cubrir la sección superior del anular. Este material se bombea después del lavador y el espaciador y antes de la lechada de cola. Su densidad es superior a la del fluido de perforación y menor que la de la lechada de cola.

g) Bombeo de la lechada de cola

La lechada de cola es una lechada de mayor densidad, diseñada para cubrir la sección inferior del anular desde el fondo del agujero. Normalmente, la lechada de cola presenta unas propiedades superiores a las de la lechada inicial. Es esencial que la lechada de cementación tenga la densidad correcta para que sus propiedades sean las deseadas.

h) Lanzamiento del tapón superior

El segundo tapón limpiador de cementación se denomina tapón superior y es sólido. Se bombea al final de los trabajos de cementación con el fin de separar la lechada del fluido de desplazamiento que se bombea en la siguiente etapa del proceso, y evitar así que sea contaminada por dicho fluido. Una vez que la lechada ya se ha bombeado en la tubería de revestimiento, el tapón superior se lanza desde la cabeza de cementación.

i) Desplazamiento de lechadas y taponos con fluidos

Las lechadas de cementación y los taponos limpiadores se bombean (son desplazados) hacia el fondo del pozo mediante el fluido de perforación u otro fluido. Este fluido de desplazamiento empuja el tapón superior y la lechada hacia abajo por la tubería de revestimiento. Cuando el tapón limpiador inferior llega al collar de flotación, la membrana situada en su parte superior se rompe y la lechada es bombeada, saliendo de la parte inferior de la tubería de revestimiento y subiendo por el anular.

Cuando el tapón superior llega al tapón inferior, hay un aumento de presión. Las lechadas de cementación se encuentran en el espacio anular y en el recorrido de zapata. El proceso habrá finalizado cuando se indique un aumento de presión en la superficie y el proceso de desplazamiento haya terminado. Luego, retornarán barriles y parará el flujo. Si este flujo de retorno continúa, significa que hay fugas en el collar de flotación.

j) Revisión de los flujos de retorno

El collar de flotación está equipado con una válvula de retención que evita que los fluidos regresen por la tubería de revestimiento. Si la válvula está defectuosa, la lechada puede empujar los tapones y el fluido por la tubería de revestimiento, debido al efecto de retorno de los tubos en U. Al final de un trabajo de cementación, es necesario comprobar que el collar de flotación o la zapata de flotación no presenten fugas. Para realizar esta comprobación se espera a que el fluido retorne a los tanques de desplazamiento de la unidad de cementación.

Si el collar de flotación o la zapata de flotación funcionan correctamente, dejarán que vuelvan barriles y luego se interrumpirá el flujo. Si este flujo de retorno continúa, significa que el collar de flotación tiene algún defecto.

Los retornos por anular se alinean con mangueras a la bandeja recolectora y de la bandeja recolectora a través de mangueras y una bomba neumática son enviados al tanque.

2.2.4 Cementación Primaria ^[8,11]

Según Schlumberger (2006) la cementación primaria consiste en la colocación de cemento en el anular, espacio existente entre la tubería de revestimiento y el agujero abierto o la tubería de revestimiento anterior, como se observa en la Figura 2.1.

La introducción de un material cementante en el espacio anular entre revestidor y hoyo, se realiza con el objetivo de:

- ✓ Aislamiento zonal.
- ✓ Soportar las cargas axiales de los revestidores a ser corridos posteriormente.
- ✓ Proveer soporte y protección al revestidor.

✓ Proteger el hoyo.

a) Aislamiento zonal

El aislamiento zonal consiste en sellar unas zonas con respecto a otras. Esto evita el desplazamiento de líquidos y gases entre diferentes zonas de la formación a través del anular.

b) Soporte de la tubería de revestimiento

La capa de cemento proporciona soporte axial a la tubería de revestimiento de superficie, así como a cualquier otra tubería de revestimiento que se corra después (p.e., liners).

c) Protección de la tubería de revestimiento

El cemento sirve como soporte y protección contra las formaciones plásticas (por ejemplo, sales) y fluidos corrosivos de la formación (p.e., H₂S y CO₂).

d) Soporte del hoyo

El cemento actúa como soporte para el hoyo en formaciones plásticas, sensibles al agua o no consolidadas.

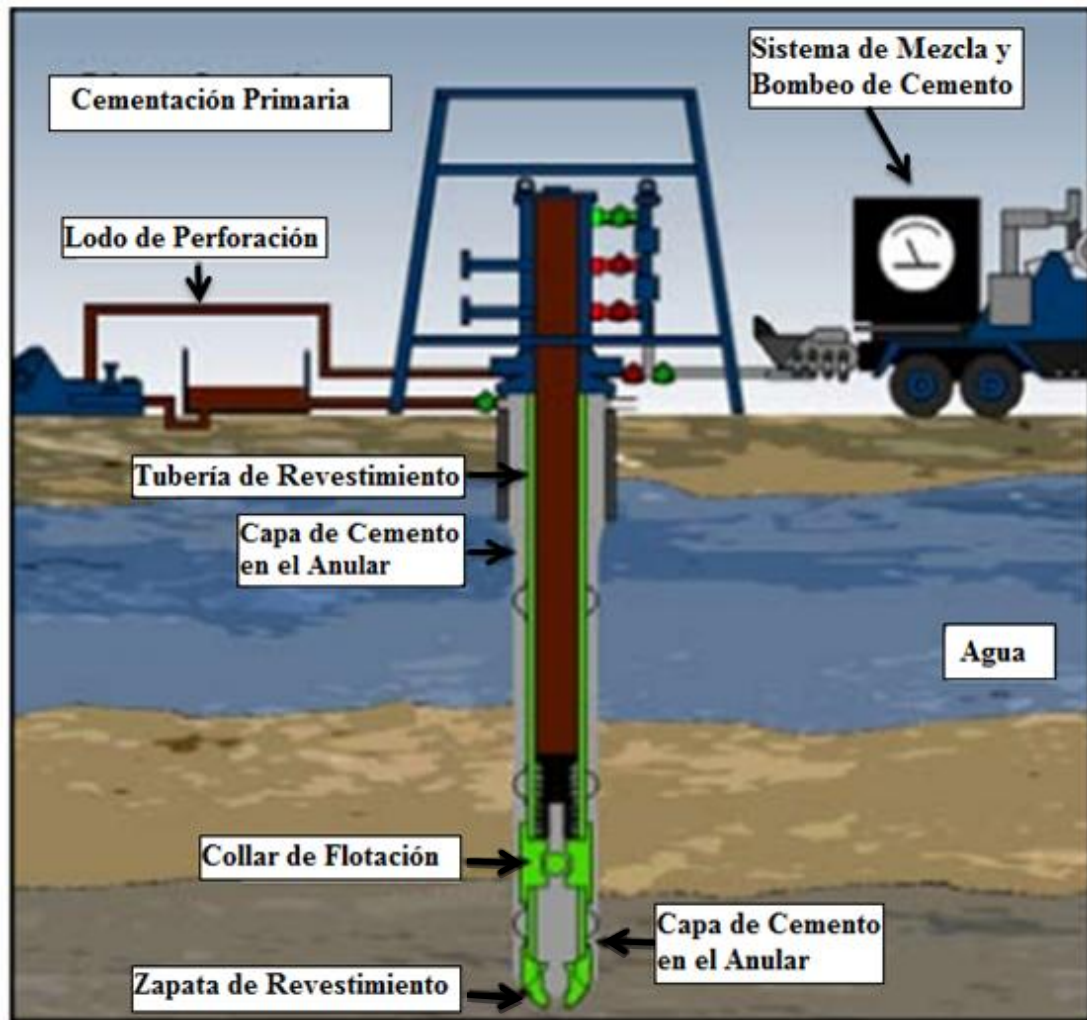


Figura 2.1 Cementación Primaria (Schlumberger, 2006)

2.2.5 Cementaciones de Reparación o Secundarias ^[11]

Cuando con la cementación primaria no se consiguen los objetivos deseados o cuando el cemento o la tubería de revestimiento presentan fallas debido al paso del tiempo, es necesario corregir el problema. Estos procesos de reparación reciben el nombre de cementaciones de reparación.

La técnica de reparación más común es la cementación forzada, un procedimiento en el que se fuerza a la lechada a pasar a través de agujeros o rajaduras de la tubería de revestimiento, con el fin de reparar un trabajo de cementación primaria o un problema en un pozo.

2.2.6 Elaboración del Cemento Portland ^[12]

Los ingredientes crudos del cemento Portland son lima, sílice, alúmina y óxido de hierro. La lima se obtiene de depósitos de rocas calcáreas y productos industriales de desechos álcali. La alúmina, sílice y óxido de hierro se derivan de arcillas, lutitas y lo despreciado del horno o residuos volátiles de cenizas de centrales térmicas de carbón. Estos materiales son pulverizados en un polvo fino y combinados para obtener una composición dada de óxido a granel y alimentar a un horno giratorio.

Calentado a altas temperaturas 1500 °C (2730 °F), los materiales crudos pasan por unas reacciones químicas complejas para producir cuatro compuestos principales que conforman el cemento:

- ✓ Silicato Tricálcico, Ca_3SiO_5 (abreviado como C_3S).
- ✓ Silicato Dicálcico, Ca_2SiO_4 (C_2S).
- ✓ Aluminato Tricálcico, $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ (C_3A); y
- ✓ Ferroaluminato Tetracálcico, $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$ (C_4AF).
- ✓ Óxidos de Ca + Mg, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCO_3 , Na_2SO_4 , etc.

Estos componentes abandonan el horno como clinker. Después que este producto ha sido enfriado, una pequeña cantidad de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) es añadido y la mezcla es pulverizada en un molino secundario de pulverización hasta obtener finalmente el cemento Portland.

2.2.7 Principales Componentes del Clinker

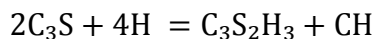
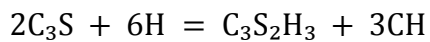
- a) Silicato Tricálcico - C_3S
 - ✓ Mayor componente en el cemento (formado del CaO y SiO_2).
 - ✓ Se hidrata más rápidamente que el C_2S – controla el tiempo del fraguado.
 - ✓ Contribuye en todas las etapas de desarrollo de la resistencia (especialmente en la temprana).
- b) Silicato Dicálcico- C_2S
 - ✓ Formado de CaO y SiO_2 .

- ✓ Se hidrata muy lentamente.
 - ✓ Contribuye a la resistencia tardía del cemento.
- c) Aluminato Tricálcico - C₃A
- ✓ Formado del CaO y Al₂O₃.
 - ✓ Se hidrata rápidamente.
 - ✓ Tiene un papel importante en:
 1. El desarrollo de la temprana resistencia.
 2. El comportamiento reológico de la lechada.
 3. Los tiempos de fraguado y espesamiento.
- d) Ferroaluminato Tetracálcico - C₄AF
- ✓ Formado de CaO, Al₂O₃ y Fe₂O₃.
 - ✓ Da color al cemento.
 - ✓ Poco efecto sobre las propiedades del cemento.

2.2.8 Hidratación del Cemento Portland ^[2,9,12]

El cemento Portland es el más común de los cementos hidráulicos, los cuales fraguan y desarrollan una fuerza compresiva a través de la hidratación, no mediante el secado. La hidratación envuelve reacciones químicas entre el agua y los componentes del cemento. Por lo tanto se endurece así esté al aire o sumergido en agua. Una vez fraguado, tiene baja permeabilidad y resiste el ataque del agua.

Cuando se mezclan con el agua, el C₂S y C₃S (que constituye hasta un 80% del cemento Portland) produce productos similares de hidratación:



El silicato de calcio hidratado (C₃S₂H₃), denominado gel C-S-H, es amorfo, comprende 70% del cemento fraguado y le da al cemento su fuerza. El hidróxido de

Calcio - $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [CH], conocido como portlandita, satura la fase acuosa aumentando su pH.

Al comienzo, estas reacciones de hidratación proceden vigorosamente y una capa densa de gel C-H-S se construye alrededor de cada partícula de silicato. Pero el gel es relativamente impermeable y pronto previene que más agua alcance la superficie de los silicatos anhídridos, dificultando una hidratación adicional (Ver Figura 2.2).

Inmediatamente se presenta un intervalo de baja reactividad llamado período de inducción. La hidratación eventualmente retorna cuando la permeabilidad de la capa de gel C-S-H empieza a aumentar, permitiendo que más agua alcance la superficie de los granos de silicato.

La hidratación del cemento Portland puede ser considerado como una superposición de secuencias de reacciones conduciendo a un espesamiento y endurecimiento continuo de la lechada de cemento. Durante la hidratación inicial, cuando el material anhídrido es añadido al agua y los productos hidratados empiezan a formarse, los granos del cemento se mantienen independientes y la lechada puede ser bombeada.

Este estado continúa durante la mayoría del período de inducción. Pero cuando la hidratación retorna, los granos de cemento empiezan a unirse y la lechada deja de ser bombeable. Se desarrolla una fuerza compresiva a medida que la hidratación de los productos crece. Las reacciones aumentan de velocidad a medida que aumenta la temperatura.

La velocidad de estas reacciones también depende de las concentraciones relativas de los componentes del cemento y el tamaño de sus partículas o finura. Mientras más C_3S hay en relación con el C_2S , más rápido se fraguará el cemento, porque el C_3S reacciona primero que el C_2S . Generalmente, mientras más fino sea el cemento, mayor agua es requerida para preparar una lechada bombeable y se forma con mayor rapidez la fuerza compresiva. La velocidad de la reacción es un factor clave en el diseño de la operación del cemento. La hidratación, como otras reacciones químicas, es sensible con respecto a la temperatura. La velocidad de reacción aumenta también con la temperatura

Al finalizar el período de inducción, empieza el período de aceleración, es decir, la solidificación o fraguado inicial. El C_3S empieza a hidratarse velozmente otra vez y el $Ca(OH)_2$ comienza a cristalizar. La velocidad de hidratación alcanza un máximo al final de este período. Comienza el endurecimiento inicial.

Durante el período de desaceleración por la hidratación del C_3S , el espesor de la capa C-S-H crece y mientras sigue creciendo, el movimiento a través de la capa C-S-H determina la velocidad de la reacción y la hidratación queda controlada por la velocidad de difusión dentro de la capa. Luego la velocidad de reacción empieza a disminuir después de 12 a 24 horas y llega a un estado estable, en el cual, la velocidad de difusión sigue disminuyendo hasta que no haya más C_3S a hidratar.

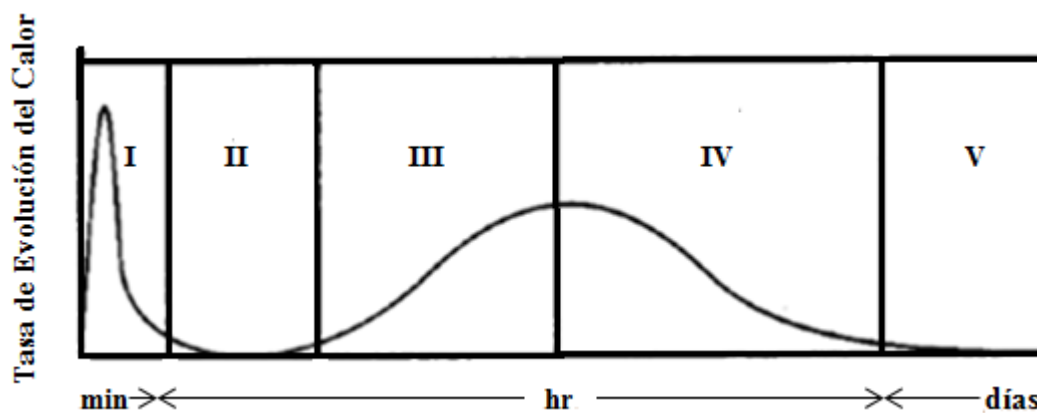


Figura 2.1 Hidratación del Cemento Portland (Universidad de Oviedo, 2010)

Donde,

- I. Período de Preinducción
- II. Período de Inducción
- III. Período de Aceleración
- IV. Período de Desaceleración
- V. Período de Difusión

2.2.9 Clases de Cemento ^[6]

Las concentraciones relativas de los componentes y su fineza son criterios por los cuales el API (Instituto Americano de Petróleo) clasifica los cementos utilizados en el campo.

Los de Clase A, B y C (las letras indican una cronología) fueron desarrollados en los años 50's.

a) Clase A

Se utiliza cuando no se requieren propiedades especiales. Está disponible únicamente en el grado ordinario (O).

b) Clase B

Se utiliza cuando se requieren condiciones de moderada o alta resistencia a los sulfatos. Está disponible en los grados de moderada (MSR) o de alta (HSR) resistencia a los sulfatos. Los de Clase B tienen menos C_3A que los Clase A y fueron diseñados para la resistencia de sulfato.

c) Clase C

Se utiliza cuando se requieren condiciones de desarrollo de una temprana alta resistencia; es típicamente el más finamente pulverizado de todas las clases API de cemento para pozos. Está disponible en los grados ordinario (O), de moderada (MSR) y de alta resistencia (HSR) a los sulfatos. Los Clase C, con más C_3S y C_3A mucho más finos, fueron diseñados para aportar temprano una fuerza compresiva alta.

Los cementos Clase A, B y C se utilizan para pozos de menos de 6000 pies de profundidad.

d) Clase D

Este producto está indicado para ser utilizado cuando se requieren condiciones de temperaturas moderadamente altas. Las especificaciones para el Cemento Clase D cubren los grados de moderada (MSR) y de alta (HSR) resistencia a los sulfatos. Los agentes apropiados para modificar el fraguado son típicamente interpulverizados o mezclados durante la fabricación.

e) Clase E

Es similar al cemento Clase D. Está indicado para ser utilizado bajo condiciones de altas temperaturas.

Los cementos de Clase D y E, llamados también cementos retardados, fueron diseñados para cementar pozos de hasta 14000 pies de profundidad. Sus bajas

concentraciones de C_3S y C_3A (rápidos en hidratarse) prolonga la hidratación y consecuentemente el tiempo disponible para bombear.

f) Clase F

Es utilizado bajo condiciones de temperaturas extremadamente altas.

En los años 60's, el desarrollo de aditivos extendieron los límites de profundidades de todos los cementos. Los cementos introducidos más recientemente, Clase G y H, tienen unas especificaciones de elaboración rigurosas y se comportan con mayor predicción. El H es más grueso que el G y ambos tienen composiciones similares a los de Clase B.

g) Clase G

Este producto está indicado para ser utilizado como un cemento básico para pozo. Solamente debe añadirse agua o sulfato de calcio, o ambos, para el proceso de pulverización o mezclado con el Clinker durante su fabricación. Está disponible en los grados MSR y HSR.

h) Clase H

Este producto está diseñado para ser usado como cemento básico para cementación de pozos petroleros. Disponible en grados de resistencia al sulfato moderado (MSR y resistencia al sulfato alto (HSR).

2.2.10 Lechadas de Cemento

Es una mezcla de agua, cemento y aditivos. En relación a su composición y características algunas de las lechadas más utilizadas se mencionan a continuación:

a) Convencionales

Son capaces de adaptarse a las condiciones de temperatura y presión de un pozo para la cementación del mismo y donde no se requiere controlar estrictamente algunas de las propiedades físicas o químicas de una lechada.

b) Tensoactivas

Son mezclas de cemento con aditivos más surfactantes compatibles con el fluido de perforación que no afectan las propiedades originales del diseño de la lechada y que otorga el beneficio adicional de actuar como lavador y agente de acarreo por sus propiedades físico-químicas y reológicas. Adicionalmente esta lechada, desarrolla propiedades mecánicas por lo que el volumen utilizado incrementa la altura anular a ser aislada lo que impacta positivamente los costos de cementación por sustitución de los preflujos lavadores y espaciadores.

c) Térmicas

Cambian sus propiedades de fraguado dependiendo del tiempo de bombeo y temperaturas del pozo. Se subdividen en aceleradas y retardadas. Usualmente la lechada retardada se utiliza con una lechada acelerada cuando hay diferencias altas de temperatura a lo largo de la profundidad del pozo.

d) Expansivas

Están diseñadas para la expansión volumétrica del cemento, cierra los canales y mejora el sello hidráulico de esta manera compensa la reducción del volumen causada por la hidratación química del cemento más la pérdida de fluido de las formaciones permeables.

e) Dúctiles

Utilizada como aditivo en el cemento con el propósito de mejorar múltiples propiedades tanto de la lechada como del cemento después de fraguado. Es extremadamente versátil lo cual beneficia notablemente el alcance del cemento fraguado para cumplir con su objetivo de desarrollar un buen sello hidráulico duradero en el tiempo.

f) Antimigratorias

Son mezclas diseñadas para reducir la permeabilidad de la matriz del cemento durante la transición líquido-sólido a través de la incorporación de materiales de

granulometría variables, que generan un bloqueo a la migración de los fluidos contenidos en la mezcla y los externos de la misma.

2.2.11 Aditivos del cemento ^[7]

a) Aceleradores

Son aditivos químicos utilizados en la lechada de cemento con la finalidad de reducir su tiempo de bombeabilidad, es utilizado principalmente en diseños de lechadas para pozos con bajas temperaturas y en lechadas donde se desee conseguir una resistencia a la compresión temprana. El mecanismo de acción radica en la formación rápida de C-S-H Gel (Silicato de calcio hidratado), generalmente son compuestos hechos a base de sales inorgánicas o sustancias causticas (bases). Tres aceleradores muy utilizados son el Cloruro de Calcio (CaCl_2), el Cloruro de Sodio (NaCl) y el agua del mar.

b) Antiespumantes

Son aditivos químicos cuya función principal es reducir la formación de espuma o eliminar la espuma una vez que esta se haya formado, no debe ser soluble en la lechada ni tampoco alterar ninguna de sus propiedades químicas, su mecanismo de acción es dirigirse hasta la superficie de la lechada y atacar la tensión superficial debilitándola y así atacar la espuma. Estos aditivos son sustancias a base de silicona.

c) Controladores de Filtrado

Son aditivos químicos que evitan la deshidratación de la lechada cuando esta entra en contacto con la cara de la formación para evitar posibles problemas operacionales y a largo plazo. Se utilizan derivados de celulosa, polímeros catiónicos y polímeros sintéticos.

d) Dispersantes

Son agentes que producen la repulsión entre sí de las partículas de cemento superando las fuerzas de cohesión que actúan entre dichas partículas. Son usados para modificar reologías y presiones por fricción de las lechadas de cemento. Generalmente son surfactantes hecho a base de polímeros. Se utilizan como dispersantes algunos retardadores, lignosulfonatos, adelgazadores de lodo, sales inorgánicas y ácidos.

e) Extendedores

Son aditivos cuyo propósito es el de alivianar la densidad de la lechada y en consecuencia el peso de la columna hidrostática. La lechada puede alivianarse adicionando agua, sólidos con peso específico inferior al del cemento o ambos. El agua, la bentonita, silicatos, nitrógeno inyectado y microesferas de cerámica o vidrio son muy utilizados como aditivos extendedores.

f) Retardadores

Aumentan el tiempo de bombeabilidad de la lechada de cemento. Existen varias teorías acerca del mecanismo de acción de estos aditivos, pero la más aceptada por expertos es que funcionan encapsulando los silicatos para prevenir la hidratación y aumentan la viscosidad de la lechada para bajar la velocidad de hidratación del cemento, a fin de prevenir un rápido fraguado del cemento. Hay que tomar en cuenta que los incrementos de temperatura y profundidad aceleran el proceso de fraguado. La mayoría de retardadores son a base de materiales orgánicos como por ejemplo, azúcar.

g) Preventores de Retrogresión

La retrogresión de la resistencia o pérdida de la resistencia se puede minimizar o evitar mediante el agregado de otra fuente de sílice a la lechada, tal como harina sílica o arena sílica. La harina sílica requiere mezclar con más agua que la arena de sílice para adquirir la misma viscosidad. Dicha Sílica es usada sólo a temperaturas mayores de 230 °F.

h) Controladores de Gas

Son aditivos químicos las cuales reducen significativamente la permeabilidad de la lechada, de esta forma impidiendo el paso de cualquier tipo de fluido (principalmente gas). Los principales componentes son polímeros.

2.3 TÉRMINOS DE INTERÉS

2.3.1 Gabarra

Es un accesorio de navegación no autopropulsado cuyo objetivo es trasladar las estructuras, equipos y personal para realizar el servicio a un pozo (Ver Figura 2.3).



Figura 2.2 Gabarra D-1992 (Schlumberger, 2013)

2.3.2 Equipos ^[11]

Según Schlumberger (2006) los trabajos de cementación suelen realizarse con los siguientes equipos:

- ✓ Equipo de material a granel para el almacenamiento y la mezcla
- ✓ Unidad de bombeo de cemento
- ✓ Líneas de tratamiento
- ✓ Sistema de mezclado
- ✓ Mezclador por baches
- ✓ Tanques de fluido
- ✓ Sistema de aditivos líquidos
- ✓ Cabezas de cementación.

a) Equipo de Material a Granel

En los trabajos de cementación primaria, se necesitan los siguientes equipos de material a granel para almacenar el cemento seco y transferirlo al sistema de mezclado de cemento:

Silos de cemento a presión o silos de cemento de gravedad: los distintos cementos y mezclas deben almacenarse en silos de cemento separados como se aprecia en la Figura 2.4. Los silos deben tener la capacidad suficiente para almacenar el cemento necesario. Además, estos silos también sirven para mezclar y manipular aditivos y material a granel en seco.



Figura 2.3 Silos de la Gabarra D-1992 (Schlumberger, 2013)

Transporte de cemento a granel: se utilizan para transportar el cemento seco hasta el pozo. También pueden utilizarse durante la cementación para transferir directamente el cemento al sistema de mezclado.

Compresor de aire: suministra el aire para presurizar los silos y llevar a cabo la transferencia de cemento.

Mangueras de caucho de 4 pulgadas: sirven para transferir el material desde el silo hasta el equipo de mezclado de cemento.

Tanque de descarga: ayuda a controlar el flujo de cemento seco desde la planta de material a granel al sistema de mezclado.

Es esencial mantener en buen estado el equipo de material a granel, ya que para realizar adecuadamente los trabajos de cementación es crucial que este equipo funcione de forma efectiva.

b) Unidad de Bombeo de Cemento

La unidad de bombeo de cemento (Ver Figura 2.5) desempeña las siguientes funciones:

- ✓ Suministra alta potencia y presión de bombeo
- ✓ Mide los fluidos de mezcla
- ✓ Proporciona y controla el sistema de
- ✓ Mezclado de cemento
- ✓ Controla el caudal y la presión de bombeo.



Figura 2.4 Patín de la Bomba de Cemento CPS-361 (Schlumberger, 2006)

c) Línea de tratamiento

La línea de tratamiento es un conjunto de tuberías, válvulas y uniones giratorias que se utiliza para llevar la lechada de cementación y otros fluidos bombeados desde la unidad de cementación al pozo.

d) Sistema de mezcla

El objetivo del sistema de mezcla es garantizar la proporción exacta de cemento seco y fluido de mezcla de manera que se obtenga una lechada con características predecibles, que pueda bombearse al fondo del pozo al caudal deseado.

e) Mezclador por baches

La mezcla por baches es un sistema simple para la mezcla de lechadas de cementación. Normalmente, estos mezcladores están equipados con paletas, bombas centrífugas de circulación, y líneas para que la lechada circule y se mezcle en los tanques por baches durante el proceso de mezcla.

f) Tanques de fluido

Los fluidos utilizados en el proceso de cementación (fluido de mezcla para la lechada inicial y la lechada de cola, lavadores y espaciadores) deben almacenarse y prepararse en tanques de fluido.

g) Sistema de aditivos líquidos

Los sistemas de almacenamiento y medición de aditivos líquidos sirven para almacenar y medir los aditivos líquidos durante las operaciones de cementación.

h) Cabezas de Cementación

La cabeza de cementación es el dispositivo instalado en el tramo superior de la tubería de revestimiento donde se colocan los tapones de cementación que se lanzarán durante la cementación.

En la Figura 2.6 se puede apreciar los equipos utilizados costa afuera, los cuales cumplen las mismas funciones que los equipos en tierra pero son diseñados para desempeñarse en la gabarra.

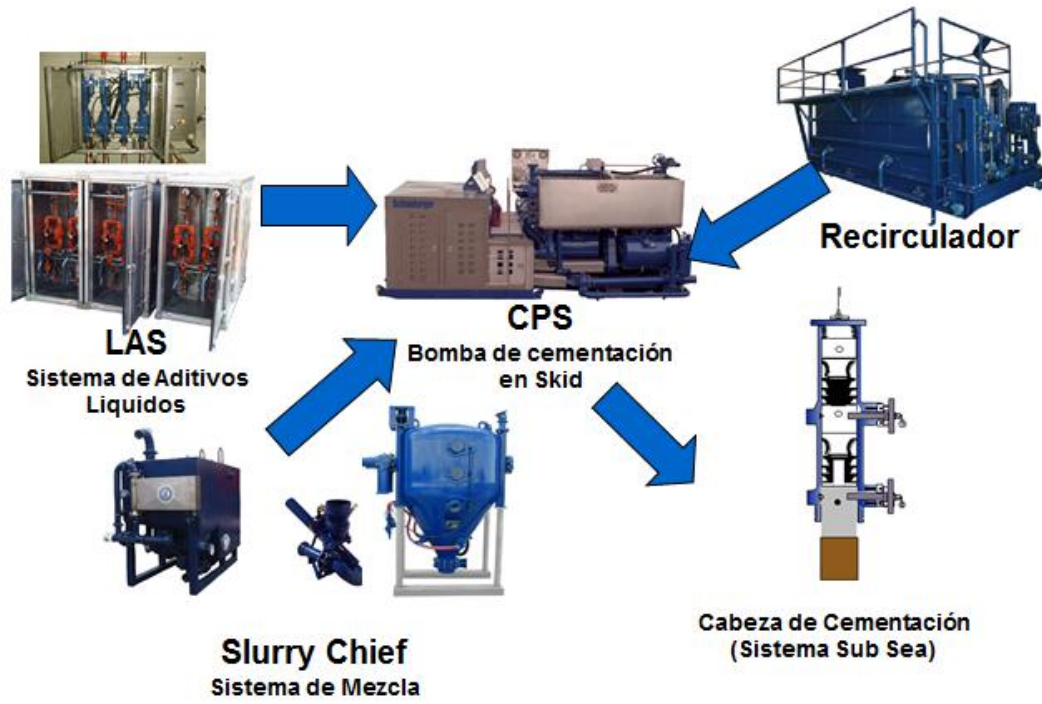


Figura 2.5 Equipos de Cementación Costa Afuera (Schlumberger 2008)

Capítulo III

Marco Metodológico

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según Arias (2006) la investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno o grupo con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Se determina la situación del problema del fraguado en el tanque y las condiciones en las que se encuentra el mismo dentro de la gabarra.

Aunado a esto, se realizan pruebas en el laboratorio con el fin de determinar la cantidad de producto necesario para retardar el fraguado por un mínimo de 72 horas a través del análisis e interpretación del comportamiento de las lechadas.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño que se utilizó para el desarrollo del presente trabajo de investigación se enmarcó en el renglón de investigación experimental que, según Arias (2006), consiste en someter a un objeto o grupo de individuos a determinadas condiciones o estímulos (variable independiente), para observar los efectos que se producen (variable dependiente). En este caso, se somete la lechada a distintas cantidades de productos retardadores.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

La celda de cemento realiza diversos trabajos con distintos tipos de lechadas, entre las principales se encuentran las expansivas, dúctiles, convencionales, tensoactivas, térmicas, tixotrópicas y antimigratorias. En el caso de estudio se utilizan como muestra las lechadas convencionales y térmicas debido a que son las que tienen retornos a la superficie.

3.4 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología presentada para el diseño de este TEG se divide en 5 etapas las cuales son:

ETAPA I. Revisión Bibliográfica

Correspondiente a la revisión del material bibliográfico que abarque todo lo relacionado con la química del cemento, lechadas de cemento y aditivos retardadores.

ETAPA II. Diseño de Producto

Donde se seleccionará y utilizará un nuevo aditivo que permita la prolongación del fraguado del cemento.

ETAPA III. Pruebas de laboratorio

Se realizarán pruebas para simular el comportamiento de las lechadas con los aditivos utilizando los instrumentos del laboratorio de cemento de SLB- Las Morochas.

ETAPA IV. Acondicionamiento Mecánico

Proponer el acondicionamiento mecánico del tanque cero descarga.

ETAPA V. Evaluación Económica

Evaluar cuál de las propuestas planteadas es económicamente factible. Evaluar los costos y el tiempo de trabajo que serán invertidos por la compañía consultando los precios a proveedores y el almacén de la compañía.

3.5 PROCEDIMIENTO E INSTRUMENTOS ^[4]

Se presenta el procedimiento inicial a seguir para realizar todas las pruebas de laboratorio del presente trabajo:

3.5.1 Muestreo

La Norma venezolana de recomendaciones prácticas para ensayos de laboratorio de cementación de pozos de petróleo y/o gas (ISO 10426-2, 2008) especifica los requerimientos y establece las recomendaciones para la evaluación de lechadas de cemento y los materiales relacionados, bajo condiciones simuladas de pozos, regula que las muestras de cemento y aditivos deben tomarse del tanque, transporte a granel o extraerse de las líneas de flujo durante la transferencia. El cemento y los aditivos

secos deben ser mezclados minuciosamente antes de tomar las muestras. Para esta investigación la muestra se toma de las líneas de flujo durante la transferencia.

También la ISO 10426-2 (2008) especifica que las muestras del agua de mezcla deben ser tomadas de la fuente, extraídas de tal manera que se evite la contaminación, envasar y etiquetar. Para esta investigación se utiliza el agua del Lago de Maracaibo.

3.5.2 Preparación de la lechada

Primero se pesan los materiales secos en una balanza electrónica (Ver Figura 3.1) la cual es un instrumento de medición compuesta principalmente por un plato o bandeja de muestra, cuerpo, display y botón de tarar; la función principal de este dispositivo es indicar la cantidad de material (en gramos, miligramos o libras).



Figura 3.1 Balanza Electrónica (Schlumberger, 2013)

Una vez pesados, los materiales se mezclan con el agua en la mezcladora como se aprecia en la Figura 3.2. Consiste en un vaso de 1 litro de capacidad, un dispositivo de mezcla inferior y una cuchilla.



Figura 3.1 Mezcladora (Schlumberger, 2013)

Se enciende el motor y se mantiene a 4.000 ± 200 rev/min ($66,7 \pm 3,3$ rev/s). Si están presentes aditivos en el agua de mezcla, se agita a la velocidad superior hasta dispersarlos minuciosamente antes de añadir el cemento (el orden de adición de los aditivos al agua de mezcla es importante).

Luego se añade el cemento o la mezcla a una tasa uniforme, no más de 15 s si es posible. Algunos diseños de lechada pueden necesitar más tiempo para humedecer completamente la mezcla de cemento, sin embargo, el tiempo utilizado para añadir la mezcla debe mantenerse al mínimo.

Cuando se hayan añadido todos los materiales secos, tape el vaso de la mezcladora y continúe mezclando a 12.000 ± 500 rev/min ($200 \pm 8,3$ rev/s) por 35 ± 1 s.

En el presente trabajo esto aplica para las lechadas de llenado, de cola y retardadas. Hay casos en el que este procedimiento no aplica, por ejemplo en el caso de realizar una lechada antimigratoria, cuyo tiempo de mezclado es distinto.

Para realizar las pruebas en el laboratorio, las cantidades a utilizar de cada componente (agua de mezcla, cemento y aditivos) dependen de un volumen final de 600 ml de lechada.

Para la medición de estos componentes sólo se podrán pesar, es decir, no se permiten las mediciones en volúmenes. La unidad utilizada es el gramo (g).

Una vez obtenida la lechada, se procede a determinar su densidad utilizando una balanza presurizada (Ver Figura 3.3), se diferencia de la convencional en que tiene una copa presurizada, la cual disminuye el aire atrapado que representa un problema en la medición de densidad de estas lechadas.



Figura 3.2 Balanza Presurizada (Schlumberger, 2013)

Las lechadas se preparan previamente utilizando un consistómetro atmosférico que es un instrumento dinámico utilizado principalmente para acondicionar la lechada de cemento según la temperatura circulante tomando en cuenta que esta no debe sobrepasar 190 ° F , el dispositivo está compuesto por un controlador de temperatura, cuerpo y motor (Ver Figura 3.4). El fluido que utiliza como conductor térmico es el agua con una pequeña capa de aceite mineral blanco. Para esta investigación se utiliza una temperatura circulante de 120 ° F.



Figura 3.3 Consistómetro Atmosférico (Schlumberger, 2013)

Por último, se utiliza un consistómetro presurizado que es un instrumento utilizado para medir y registrar la consistencia de una lechada de cemento en un rango de tiempo determinado. Es decir, su tiempo de espesamiento o el tiempo en el cual una lechada deja de ser bombeable. La unidad de medición es la consistencia de Bearden (Bc). Este instrumento está compuesto principalmente por una celda, una copa, un cuerpo, un potenciómetro y aceite como conductor térmico y agente presurizante como se puede apreciar en la Figura 3.5.



Figura 3.4 Consistómetro Presurizado (Schlumberger, 2013)

3.6 PRODUCTOS RETARDADORES

Luego de una revisión teórica y aporte de expertos en el laboratorio se decidió utilizar productos dulces como aditivos retardadores. Se realizaron varias pruebas en el Laboratorio de Cemento para comprobar la vialidad de estos productos.

a) Solución Agua-Azúcar

Inicialmente se utilizó como producto retardante una solución de azúcar en agua con una concentración de 7.38 lb/gal (Apéndice 1). Esta solución agua-azúcar se debe a que tanto el azúcar como el agua ayudan a retardar el proceso de fraguado del cemento.

b) Melaza

Luego, se utilizó melaza, la cual es un residuo derivado de la caña de azúcar que se caracteriza por ser espeso, tener alto contenido de azúcares y ser económico.

El volumen de aditivo que se utiliza para agregar el producto retardador en base al volumen total de la lechada es:

$$\%Va = \frac{Vp (ml)}{Vl (ml)} \times 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde,

Vp = es el volumen de producto retardador que se añade a la lechada expresado en mililitros (ml).

Vl = es el volumen total de la lechada sin el producto retardador expresado en mililitros (ml).

$\%Va$ = es el porcentaje del volumen del producto retardador. La relación del volumen del retardador y el volumen de la lechada expresada en porcentaje (%).

Es decir, el producto retardador se añade en función del volumen total de la lechada.

3.7 PRUEBAS ^[2,3]

a) Pruebas estáticas

- Las lechadas, espaciadores y lodos fueron acondicionados previamente en un consistómetro atmosférico con una temperatura de 120 °F durante 20 minutos.
- Se utilizaron varios vasos de plástico con 100 ml de lechada en cada uno, luego se le agregaron distintas cantidades de producto retardador respectivamente y se mantuvieron estáticos o en movimiento según la prueba durante varios días.
- A distintas lechadas (puras o contaminadas con espaciador y lodo base aceite) se le añadieron distintas cantidades del producto, esto se realiza para conocer la cantidad que hay que agregar a la lechada en relación a su volumen total que permita retardar por mayor tiempo el fraguado de la misma.

b) Pruebas en el consistómetro

Luego se utilizó un consistómetro presurizado para medir el tiempo de espesamiento de la lechada con el producto retardador.

A partir de trabajos previos realizados en la celda de Cementación del segmento Well Services de la Compañía Schlumberger S.A. se obtuvieron las descripciones de las distintas lechadas que fueron utilizadas para su preparación.

Las tablas presentadas a continuación muestran los aditivos de la lechada, su función y la cantidad que hay que utilizar para su preparación. Las tablas están expresadas Por Peso de Cemento (BWOC) y en Galones por Sacos (GPS).

Tabla 3.1 Lechada Retardada

Aditivos	Función	Concentración	Concentración en gramos
D909	Cemento H	100% BWOC	427
Agua del Lago	-----	-----	259
Sílica Activa	SILICA	43.0% BWOC	637
D174	Expansivo	3.0% BWOC	13
D079	Extendedor	0.5% BWOC	2
D206	Antiespumante	0.05 GPS	2
D080	Dispersante	0.01 GPS	0.5
D207	Cont. Filtrado	0.3% BWOC	1.3
D500	Cont. Gas	1.50 GPS	57
D177	Retardador	0.14 GPS	6

Tabla 3.2 Lechada de Llenado

Aditivos	Función	Concentración	Concentración en gramos
D909	Cemento H	100% BWOC	439
Agua del Lago	-----	-----	451
D206	Antiespumante	0.05 GPS	2
D020	Extendedor	2% BWOC	9
S002	Acelerador	1% BWOC	4

Tabla 3.3 Lechada de Cola

Aditivos	Función	Concentración	Concentración en gramos
D909	Cemento H	100% BWOC	758
Agua del Lago	-----	-----	351
D206	Antiespumante	0.05 GPS	3.4
D080	Dispersante	0.02 GPS	1.7

Se realizaron pruebas con otro tipo de lechada (Ver Anexo 5), además de pruebas piloto donde se experimentó con los productos retardadores. Las pruebas presentadas se consideran las más importantes para el presente estudio.

3.6.1 Pruebas Estáticas Solución Agua-Azúcar

Se utilizaron vasos de plástico con 100 ml de lechada y se comparó su comportamiento con distintas cantidades de producto retardador.

a) Lechada de Llenado sin contaminar

Se le agregaron a tres vasos 1 ml, 7 ml y 25 ml de producto retardador. Esto quiere decir que de acuerdo a la Ecuación 1 se agregó una cantidad de aditivo retardador equivalente a un 1, 7 y 25% en volumen por cada 100 ml de lechada respectivamente

para cada vaso. Se mantuvieron estáticos durante una semana y se observaron a través de los días. Esta prueba se repitió tres veces y se obtuvieron resultados similares.

b) Lechada de Llenado contaminada con lodo base aceite y espaciador

Las lechadas se contaminan porque se conoce que en condiciones reales los retornos llegan al tanque contaminados del pozo. Para realizar esta prueba se contaminaron 40 ml de lechada de llenado con 30 ml de espaciador y 30 ml de lodo base aceite (obtenido como muestra de los taladros) obteniendo así 100 ml de *VI* (Ecuación 1). Se agregó una cantidad de aditivo retardador equivalente a un 1, 7 y 25% en volumen por cada 100 ml de lechada respectivamente para cada vaso. Se observó durante una semana el endurecimiento de cada vaso. Esta prueba se realizó dos veces, y al igual que la prueba anterior, los resultados fueron similares.

c) Lechada de Llenado Contaminada con espaciador

Para esta prueba la lechada de llenado se contaminó con espaciador porque se sospecha que el lodo base aceite utilizado en la prueba anterior pudo haber influenciado en el retardado de la misma. Se utilizan 80 ml de lechada de llenado contaminados con 20 ml de espaciador. Se agregó una cantidad de aditivo retardador equivalente a un 1, 7 y 25% en volumen por cada 100 ml de lechada respectivamente para cada vaso. La prueba tuvo una duración de una semana y se repitió dos veces obteniendo el mismo resultado.

d) Lechada Retardada Contaminada

En esta prueba la lechada retardada se contaminó con espaciador. Al igual que la prueba anterior, se contaminaron 80 ml de lechada de llenado con 20 ml de espaciador. Se agregó una cantidad de aditivo retardador equivalente a un 1, 7 y 25% en volumen por cada 100 ml de lechada respectivamente para cada vaso. Esta prueba tuvo una duración de una semana y no se repitió.

e) Lechada de Cola con acelerador

A la lechada original presentada en la Tabla 3.3 se le añade 1% BWOC (Por peso de Cemento) de Calcio (Ver Tabla 3.4). Se agregó una cantidad de aditivo retardador

equivalente a un 0.5, 1 y 1.5% en volumen por cada 100 ml de lechada respectivamente para cada vaso. Esta prueba tuvo una duración de una semana al igual que las pruebas anteriores y no se repitió.

Tabla 3.4 Lechada de Cola con acelerador

Aditivos	Función	Concentración	Concentración en gramos
D909	Cemento H	100% BWOC	758
Agua del Lago	-----	-----	351
D206	Antiespumante	0.05 GPS	3.4
D080	Dispersante	0.02 GPS	1.7
S002	Acelerador	1% BWOC	7.6

3.6.2 Pruebas en el consistómetro presurizado con solución de azúcar en agua

El objetivo de estas pruebas es conocer el tiempo de espesamiento de la lechada con el producto retardador. Estas pruebas se realizaron sólo 1 vez debido a la disponibilidad del consistómetro en el laboratorio.

a) Consistómetro Presurizado encendido continuamente

Se utilizó el Consistómetro Presurizado (Modelo 8), número 8040 del laboratorio con una Presión inicial de 50 psi y una Temperatura inicial de 77 °F. El motor del consistómetro se mantuvo encendido durante toda la prueba. Se agregó una cantidad de aditivo retardador equivalente a un 1% en volumen por 600 ml de lechada (volumen total de lechada que se utiliza en el laboratorio).



Figura 3.5 Lechada en Consistómetro Presurizado



Figura 3.6 Lechada de llenado en paleta



Figura 3.7 Lechada de Llenado manejable

b) Consistómetro Presurizado encendido en intervalos de tiempo

Se utilizó el Consistómetro Presurizado (Modelo 8), número 8040 del laboratorio con una Presión inicial de 50 psi y una Temperatura ambiente inicial de 77 °F. Esta prueba es similar a la prueba anterior pero difiere en que se detuvo en intervalos de tiempo. Se realiza de este modo porque en condiciones reales la mezcla no va a estar en constante movimiento. Se agregó una cantidad de aditivo retardador equivalente a un 1% en volumen por 600 ml de lechada (volumen total de lechada que se utiliza en el laboratorio). El motor del consistómetro se detuvo cada hora de 15 a 30 minutos y la prueba tuvo una duración de 60 horas.

3.6.3 Prueba estática con melaza

Esta prueba se realizó siguiendo el mismo procedimiento de las pruebas estacionadas con la solución agua-azúcar. A tres vasos plásticos con lechada de llenado se agregó una cantidad de aditivo retardador equivalente a un 0.5, 1 y 2% en volumen por cada 100 ml de lechada respectivamente para cada vaso.

3.6.4 Prueba en el consistómetro presurizado con melaza

Al igual que las pruebas anteriores, se utilizó el Consistómetro Presurizado (Modelo 8), número 8040 del laboratorio con una Presión inicial de 50 psi y una Temperatura ambiente inicial de 77 °F. El motor del consistómetro se mantuvo encendido durante toda la prueba. Se agregó una cantidad de melaza equivalente a un 1% en volumen por 600 ml de lechada (volumen total de lechada que se utiliza en el laboratorio), es decir, 1 ml de melaza por cada 100 ml de lechada.

3.6.5 Prueba en la gabarra

Se eligió agregar el 1.5% en volumen de aditivo, con respecto al total de los retornos. El día 9 de diciembre de 2012 se realizó una prueba en la gabarra durante un trabajo de revestidor superficial 9 5/8”.

Para este trabajo se estableció de acuerdo a experiencias previas de revestidores superficiales, un aproximado de 30 barriles de retorno. Por cada barril de retorno hay 0.63 galones de solución de azúcar en agua, es decir, hay que mezclar 4.64 libras de azúcar y 0.28 galones de agua (Apéndice 2). Se requirieron 139.2 libras de azúcar (Ver Figuras 3.9 y 3.10) y 8.4 galones de agua para mezclar la solución.



Figura 3.8 Sacos de azúcar a utilizar para la prueba



Figura 3.9 Azúcar para mezclar

Se realizó la mezcla del agua con el azúcar como se muestra en la Figura 3.11 durante el trabajo de cementación en la gabarra y se echó en el tanque vacío para que actuase como colchón al recibir los retornos.



Figura 3. 10 Mezcla de Azúcar con el agua



Figura 3.11 Entrada al tanque con los retornos fraguados

Capítulo IV

Resultados y Discusión de Resultados

4.1 PRUEBAS EN EL LABORATORIO

4.1.1 Pruebas estáticas con solución de azúcar en agua

a) Lechada de Llenado sin contaminar

La Tabla 4.1 muestra el comportamiento de la mezcla de la lechada de llenado con el producto retardador en distintas concentraciones expresadas en %Va a través de una semana.

Tabla 4.1 Fraguado de Lechada de Llenado

Tiempo en Fragar (horas)	%Va
24	25
120	7
156	1
4	0

Al no añadir aditivo, la lechada fragua en 4 horas. Se puede observar que para un 1% de producto retardador añadido a la lechada, la mezcla no fraguó totalmente durante una semana, esto demuestra la efectividad del azúcar en retardar el fraguado de la lechada de llenado. Para un 7% de producto retardador agregado se observa que al quinto día la muestra fragua en su totalidad y se deduce que a mayor cantidad de producto agregado, el efecto retardador sobre la lechada disminuye. Por último, al 25% la muestra fraguó al primer día, esto implica que el azúcar a grandes cantidades no retarda el tiempo de fraguado de la lechada.

b) Lechada de Llenado contaminada con lodo base aceite y espaciador

Los resultados obtenidos son similares a los de la prueba anterior a diferencia que a 7% la lechada estando contaminada tarda más en fraguarse como se observa en la Tabla 4.2, esto se debe a que el estado más crítico de la lechada es sin contaminantes ni aditivos adicionales. Los contaminantes ayudan a retardar el proceso de fraguado.

Tabla 4.2 Lechada contaminada-aditivo

Tiempo en Fragar (horas)	%Va
24	25
140	7
156	1
4	0

c) Lechada de Llenado Contaminada con espaciador

Se corrobora que la lechada contaminada tarda más en fraguar que la lechada en estado puro porque se repite el comportamiento de la Tabla 4.2.

d) Lechada Retardada Contaminada

Para esta prueba el comportamiento del producto retardador con la lechada contaminada es el mismo que el obtenido con la lechada de llenado, siendo más efectiva la concentración al 1%. Se comprueba que el comportamiento del producto retardador con la lechada retardada es similar al de la lechada de llenado.

e) Lechada de Cola con acelerador

Tabla 4.3 Fraguado Lechada de cola con acelerador

Tiempo en Fragar (horas)	%Va
156	1.5
140	1
120	0.5
3	0

A diferencia de los resultados obtenidos anteriormente, el comportamiento de la mezcla con un %Va agregado de 1.5% resultó más efectivo que el comportamiento de

1%. Lo cual indica que a medida que aumenta la cantidad de acelerador, aumenta la cantidad de producto retardador (Ver Tabla 4.3).

Se conoce que las propiedades aceleradoras de las lechadas aumentan con la profundidad y temperatura, esto implica que los retornos al llegar al tanque se encuentran acelerados. Aunado a esto, se encuentran en el período de aceleración como se muestra en la Figura 2.2.

Debido a lo anterior y los resultados obtenidos en el laboratorio, para estas pruebas estáticas con la solución agua-azúcar se escoge el comportamiento de 1,5% como el %Va para agregar a la lechada más efectivo para retardar el fraguado de los retornos en el tanque.

4.1.2 Pruebas en el consistómetro presurizado con solución de azúcar en agua

a) Consistómetro Presurizado encendido continuamente

La prueba culminó el día 29 del mismo mes. El motor del consistómetro se mantuvo encendido durante toda la prueba a diferencia de la prueba con el consistómetro encendido en intervalos de tiempo. Como se muestra en la Tabla 4.4, la mayor consistencia obtenida fue de 26 Bc, lo cual es positivo porque después de una semana la lechada sigue siendo bombeable (una lechada no es bombeable a partir de 70 Bc), hay que tomar en cuenta que la misma se realizó con el motor encendido durante toda la prueba, hecho que difiere mucho a las condiciones reales en la gabarra donde es difícil estar moviendo continuamente los retornos con el producto retardador.

Tabla 4.4 Consistómetro presurizado

Mayor Consistencia	26 Bc
Temperatura Final	136 °F
Presión Final	417 psi
Duración de la Prueba	137 horas

En el Anexo 3. Se muestra cómo la consistencia (línea azul) se mantuvo en 9 Bc durante 100 horas donde empezó a aumentar hasta los 26 Bc. A 136 °F, el producto retardador no pierde sus propiedades retardadoras.

La Figura 3.6 es de la lechada al finalizar la prueba, se puede notar que es fluida y sigue siendo bombeable.

Hay que tomar en cuenta que la lechada se concentró alrededor de la paleta (Ver Figura 3.7), esto se debe a la fricción generada por el movimiento de la misma. Pero aun así sigue siendo manejable como se muestra en la Figura 3.8.

b) Consistómetro Presurizado encendido en intervalos de tiempo

Por razones de seguridad, el motor se apagó durante la noche.

Según la Tabla 4.5, la consistencia se mantuvo en 4 Bc y la temperatura en 137 °F, lo que demuestra una vez más que el producto retardador no pierde sus propiedades a altas temperaturas. Hay que tomar en cuenta que a pesar que la prueba fue corta, la lechada al estar estática y luego en movimiento tiene un comportamiento similar en condiciones ideales a la prueba realizada anteriormente.

Tabla 4.5 Encendido en intervalos de tiempo

Mayor Consistencia	4 Bc
Temperatura Final	137 °F
Presión Final	1306 psi
Duración de la Prueba	59 horas

4.1.3 Pruebas estáticas con melaza

Tabla 4.6 Fraguado de la lechada de llenado con melaza

Tiempo en Fragar (horas)	%Va
24	10
24	1.5
24	1
4	0

Se agregó el productor retardador con un volumen de 10, 1.5 y 1% del volumen total de la lechada. Estas cantidades se utilizan de acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas estáticas de la solución agua-azúcar, se utiliza 10% porque no se conoce si la melaza tiene el mismo comportamiento que el otro producto retardador. Al revisar el comportamiento de las lechadas al día siguiente de haber realizado la prueba, los vasos ya habían fraguado (Tabla 4.6). Esto se debe a que el contenido en agua de la melaza es bajo, dificultando así la mezcla correcta del producto en la lechada. Esta prueba se repitió adicionando %Va de 0.5 y 25%, siendo los resultados similares a los de la primera prueba, a las 24 horas ya las lechadas habían fraguado.

4.1.4 Prueba en el consistómetro presurizado con melaza

La prueba inició el día 29 de noviembre de 2012 y culminó ese mismo día. El motor del consistómetro se mantuvo encendido durante toda la prueba y se detuvo al alcanzar los 70 Bc con una temperatura de 115 °F y una presión de 1297 psi. Se añadió melaza de 1% de %Va al igual que las pruebas anteriores con el consistómetro. Los resultados se pueden observar en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7 Consistómetro Presurizado-Melaza

Mayor Consistencia	70 Bc
---------------------------	-------

Temperatura Final	115 °F
Presión Final	1297 psi
Duración de la Prueba	4 horas

Se observa en el Anexo 4. cómo a las dos horas la consistencia (línea azul) empieza a ascender rápidamente hasta llegar a los 70 Bc.

El comportamiento de la melaza fue similar para las pruebas estáticas y la prueba en el consistómetro. Para esta investigación no es recomendada utilizar la melaza porque habría que utilizar una cantidad mayor a la agregada en los ensayos y la capacidad de la gabarra es limitada.

4.2 PRUEBA EN LA GABARRA

La gabarra regresó al muelle el día 10 de diciembre del mismo año y el cemento se encontraba fraguado (se comprobó introduciendo un tubo en el tanque). Esto se debe a no tener un mecanismo especial para mezclar continuamente los retornos con el producto retardador (Figura 3.12).

4.3 DISEÑO CONCEPTUAL

Una vez evaluado el estado del tanque de la gabarra, se definieron las consideraciones básicas necesarias para su acondicionamiento mecánico.

Entre las consideraciones a tomar en cuenta de los retornos se tienen:

- ✓ Estado de los retornos: contaminados.
- ✓ Densidad de los retornos.
- ✓ Rápido fraguado de los retornos.

Por otra parte, las características del acondicionamiento del tanque para recibir estos retornos a considerar son:

- ✓ De ser posible, permitir el mezclado de los retornos con el producto retardador.
- ✓ El tanque en caso de estar cementado se deberá descementar y limpiar previamente.

- ✓ El material del tanque es acero.

Los retornos serán menos densos que la lechada bombeada, de acuerdo a las especificaciones de los estándares *Density Measurement* y *Mud Balance* (Schlumberger, 2007) su densidad no deberá ser menor a 2 lpg de la lechada inicial y en caso de bombear lodo base aceite, debe ser mayor a la misma.

4.4 DESARROLLO DEL DISEÑO

Para el diseño inicial del acondicionamiento del tanque, además de tomar en cuenta las características tanto de los retornos como del tanque, fue necesario establecer ciertos valores como constantes:

- ✓ Las medidas del tanque.
- ✓ Capacidad del tanque.
- ✓ Ubicación del tanque dentro de la gabarra. 2743 mm y 4267 mm

Las medidas en milímetros (mm) del tanque están representadas en la Figura 4.1.

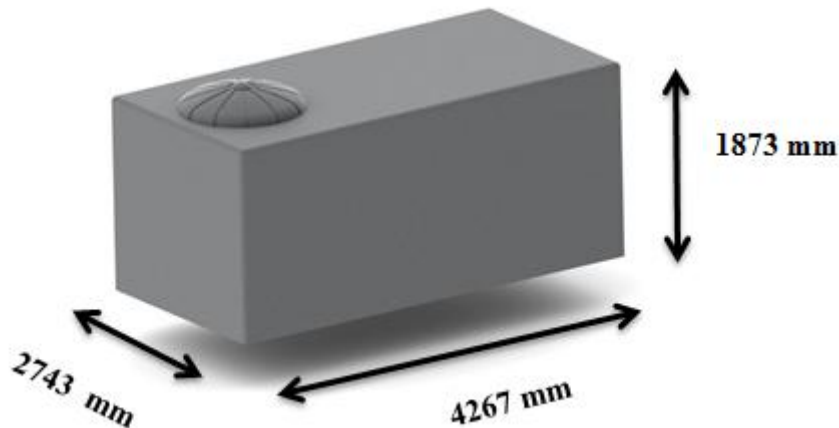


Figura 4.1 Medidas del Tanque tomadas del Plano de la Gabarra

Posee una capacidad volumétrica de 134 bbl.

En la Figura 4.2 se puede observar la ubicación del tanque dentro de la gabarra.



Figura 4.2 Ubicación de Tanque (Schlumberger, 2013)

4.5 SELECCIÓN DEL DISEÑO

Para establecer el diseño mecánico a desarrollar se empleará el método de la matriz de decisión, la cual se emplea para la selección objetiva de alternativas viables que tienen como propósito solventar un problema planteado.

Este método consiste en un cuadro de doble entrada en el que uno de los ejes representa las alternativas que pueden adoptarse y el otro las restricciones o factores que deben satisfacerse. Para cada opción se indicará la calificación relativa en una escala, que representa el grado de cumplimiento de cada parámetro (Ver Tabla 4.8).

Se enumerarán, en orden de jerarquía, los factores a evaluar siendo el más importante considerado como 10 y dicha enumeración se multiplicará a la calificación relativa con el fin de conseguir la ponderación total; la suma por fila de los totales ayudará a tomar la decisión y reflejará la alternativa más adecuada para resolver el problema existente (Ver Tabla 4.9).

Los factores a evaluar en la matriz, en escala de 1 a 5, se describen a continuación:

- ✓ Espacio: Se tomará en cuenta el espacio que ocupe el modelo dentro de la gabarra. Tendrá mayor puntaje la opción que abarque menor espacio.

- ✓ Mezcla: Para evitar que los retornos se endurezcan, su mezcla con el producto retardador es importante. Obtendrá mayor calificación en modelo que cumpla con esta característica.
- ✓ Eficiencia: el modelo que posea un mayor rendimiento y consiga el objetivo de mezclar con menor gasto de energía. El mayor puntaje será para el modelo que sea más eficiente.

4.5.1 Alternativas de Diseño

Diseño N°1: Consiste en colocar una tobera que es una herramienta diseñada para controlar la dirección o características del flujo de un líquido o un gas (especialmente aumentar su velocidad o presión) dentro de un espacio cerrado, en su mayoría, tuberías.



Figura 4.3 Tobera Rotativa (Rostor-Motorrens S.L., 2006)

Existen muchos tipos de toberas pero para la presente investigación se recomienda utilizar las que son del tipo rotativas, las cuales trabajan con presiones de hasta 2900 psi.

Las toberas rotativas (Ver Figura 4.3) se caracterizan por trabajar con líquidos viscosos, lechadas, y líquidos que contienen partículas sólidas que obstruirían otras toberas. De acuerdo a la compañía Rostor, su funcionamiento se basa en que los chorros limpian las paredes de la tubería y a la vez provocan una fuerza de reacción para que la tobera avance hacia delante.

Diseño N°2: Utilizar un agitador como se muestra en la Figura 4.4 el cual crea movimiento entre los líquidos y permite homogeneizar la mezcla, la eficacia del mezclado depende de la potencia de la corriente generada.



Figura 4.4 Agitador Lateral de Hélice (Sulzer Pumps Wastewater Brasil Ltda, s.f.)

Se recomienda utilizar agitadores sumergibles de hélice que en comparación con los agitadores montados en lugares secos, ahorran el consumo de energía. Se utiliza por ejemplo para mantener sólidos en suspensión, barrido del fondo en tanques, mezcla, circulación o desestratificación. Según la compañía Sulzer, garantizan resultados de mezcla homogéneos, fiabilidad elevada del proceso, alto rendimiento, costes operativos bajos y poco impacto medioambiental. La compañía DeTech Pumps Co. Ltd. recomendó la utilización del agitador QJB 15/4-790/3-360C/S/P (Anexo 6) y QJB1.5/6-260/3-960, además proporcionó su cotización (Ver Tabla 4.10).

Diseño N°3: Jet Mixer o agitador a chorros, según la compañía Transvac, utiliza energía líquida presurizada para hacer entrar, mezclar y bombear un líquido secundario. Para esta investigación se recomienda bombear agua de acuerdo a los resultados obtenidos por Khan y Baradan (2002), funciona como retardador y es fácil de obtener.

Tienen mayor eficiencia que los agitadores de hélice. Son de rápida instalación y consumen menos energía que otros agitadores, también tienen son de fácil mantenimiento y ocupan poco espacio dentro de la gabarra (Ver Figura 4.5).



Figura 4.5 Jet Mixer (Mixers de la compañía Xylem, s.f.)

4.3.2 Matriz de Selección

Para cada opción se indicará la calificación relativa en una escala del 1 al 5, que representa el grado de cumplimiento de cada parámetro (Ver Tabla 4.8).

Tabla 4.8 Matriz de Selección

Criterios	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Espacio	5	4	5
Mezcla	3	5	4
Eficiencia	4	3	5

4.3.3 Matriz de Selección por Jerarquía

Se enumeran, en orden de jerarquía, los factores a evaluar siendo el más importante considerado como 10 y dicha enumeración se multiplica a la calificación relativa de la Tabla 4.8 con el fin de conseguir la ponderación total como se observa en la Tabla 4.9.

Un ejemplo de cálculo es que “Mezcla” es el factor más importante, es por ello que se considera un 10, y se multiplica el 10 por los resultados obtenidos en la Tabla 4.8 para “Mezcla” en la Opción 1,2 y 3. Así se realiza con los otros dos factores utilizando el número 9 y 8 según su orden de jerarquía.

Tabla 4.9 Matriz de Selección por Jerarquía

Criterios	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Mezcla	30	50	40
Eficiencia	36	27	45
Espacio	40	32	40
Total	106	109	125

4.3.4 Opción Seleccionada

La propuesta que mejor se adapta a los requerimientos establecidos por obtener un mayor puntaje de acuerdo a la matriz de decisión es la opción 3 (Ver Figura 4.7). Esta opción de diseño consiste en la instalación de un agitador a chorros dentro del tanque.

4.6 MODIFICACIONES DEL DISEÑO

Se consultó con varios proveedores distintas compañías, el diseño que mejor se adapta a las necesidades del tanque es el FJB Jet Mixer de la compañía Fluko. Según su catálogo, se caracteriza por trabajar con una corriente de líquido impulsada por la rotación de alta velocidad del rotor que forma fuertes circulaciones en todo el tanque. Por otro lado, la rotación de alta velocidad de rotor también puede producir algo de turbulencia, permitiendo así alcanzar todos los rincones del tanque. A diferencia de los agitadores convencionales, puede dispersar y mezclar totalmente todos los líquidos en el tanque sin ángulo muerto.

Los motores de estos Jet mixers trabajan con una potencia que abarca desde 1.5 a 90 Kw, pueden medir hasta 3 metros y alcanzar 2900 rpm.

Para poder instalar el diseño, se debe tomar en cuenta el lugar por el cual se va a instalar, se propone ubicarlo en la sala de máquinas de la gabarra D-1992 que limita con una pared exterior del tanque (Ver Figura 4.6). Es importante recalcar que no se inyectará agua continuamente por ocupar espacio dentro del tanque, sólo cuando se considere necesaria su mezcla y agitación de acuerdo a la pericia de los trabajadores.



Figura 4.6 Sala de Máquina (Schlumberger, 2013)

4.7 FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE LOS DISEÑOS ^[9]

A partir de información obtenida de distintos proveedores, se obtiene un estimado del precio de las propuestas planteadas en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10 Precios de los distintos diseños propuestos

DISEÑO	PRECIO DE LA UNIDAD
Diseño N° 1	300 US\$
Diseño N° 2	1000 US\$
Diseño N° 3	50000 US\$

Cada vez que se fragua o seca el tanque, con una frecuencia de hasta unas 2 veces por semana, se invierte, desde el mes de enero de 2013, la cantidad de Bs. 50.000,00. Esta cifra seguramente experimentará aumentos, ya que anteriormente era de Bs. 15.000,00. De todas maneras, se realizarán los cálculos en base de Bs. 50.000,00, es decir, US\$ 7.936,50, al cambio oficial de Bs.6,30 por US\$.

Si se calcula, conservadoramente, unas 8 veces mensuales que se fraguen los retornos, la empresa pagaría un total de Bs. 400.000,00 por tal concepto, es decir, US\$ 63.492,06 mensuales; lo cual constituye una cifra significativa

Buscando economía, rapidez y seguridad, se ubicaron los tres diseños. El Diseño 3 es el más caro de todos porque su costo es de US\$ 50.000,00, pero resulta el adecuado, por muchas razones ya mencionadas:

- Bajo costo de instalación.
- Ocupa menos espacio, lo cual adquiere mayor relevancia en una gabarra.
- El mantenimiento es relativamente más sencillo.
- Amplio alcance dentro del tanque.

Al analizar los números, en la hipótesis anterior de 8 limpiezas mensuales del tanque, el Diseño 3 comienza a ser rentable cuando se utiliza por duodécima vez para dichos fines, pues es cuando se habría gastado similar cantidad con el sistema tradicional (descementar el tanque mediante una compañía).

El equipo (Diseño 3) requiere de inversiones para su instalación y puesta en marcha. Eso aumenta el gasto inicial, además de que habrá que contemplar una partida para el futuro mantenimiento del bien.

Por más elevados que puedan llegar a ser estos conceptos (bombas, instalación, mantenimiento, adiestramiento, entre otros), no deberían sobrepasar o estar muy distantes del costo del bien a instalar. Suponiendo que sea necesario invertir una cantidad equivalente al costo del Diseño 3 (US\$ 50.000,00), la inversión total, para un equipo que puede estar funcionando años, sería de US\$ 100.000,00, es decir tan solo el equivalente a 12,6 veces el costo de un trabajo con el método tradicional actual (Bs. 50.000,00, es decir, US\$ 7.936,50). Después de unas 13 veces y durante toda su vida útil, el equipo constituye una indiscutible inversión.

Además, así el estudio de factibilidad económica arroje la consideración de otros factores (por ejemplo, diferente cotización del dólar), y que la diferencia de precio entre ambos procesos (el tradicional y el proceso utilizando el Diseño 3) no sea tan significativa como se plantea, de todas maneras la balanza debería inclinarse a favor

del Diseño 3, por ser mucho más rápido, silencioso, menos dañino a la estructura de la gabarra y acorde a la misma.

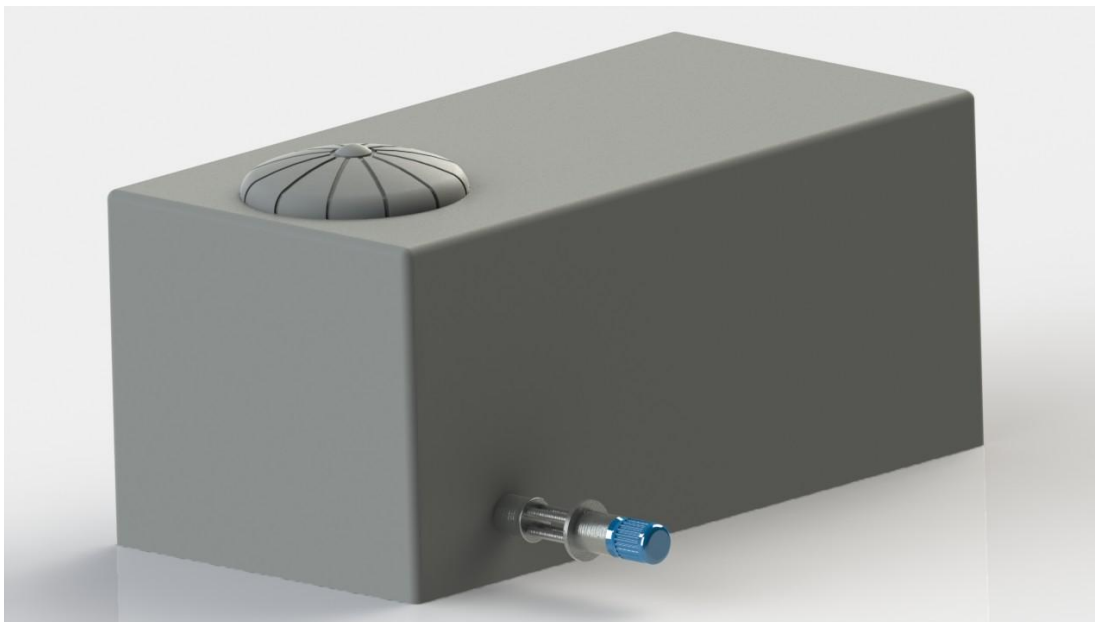


Figura 4.7 Tanque con Agitador a Chorros

Conclusiones

1. El producto retardador que satisface los objetivos requeridos de retardar por más tiempo el fraguado de las lechadas en el laboratorio es la Solución Agua-Azúcar.
2. La concentración de Agua-Azúcar a utilizar es de 7,38 lb/gal en un rango entre 1 y 1,5% del volumen de la lechada.
3. Se confirma que a menor concentración, el azúcar actúa como retardador y a grandes cantidades como acelerador.
4. La lechada sin contaminar es el estado más crítico con el cual se puede experimentar el producto retardador, esto se debe a que los contaminantes aumentan el tiempo de fraguado de las mismas. Para las pruebas con las lechadas contaminadas con espaciador y lodo base aceite se confirma esto porque con un 7% de %Va, la lechada tarda 20 horas más en fraguar que al realizar la misma prueba en una lechada pura.
5. Tanto el lodo base aceite como el espaciador aumentan el tiempo de fraguado de la lechada.
6. La Solución Agua-Azúcar es efectiva en estado estático en lechadas que fueron sometidas previamente a temperaturas de 120 °F, además, es efectiva al someterse junto con la lechada a condiciones de presión y temperaturas del pozo.
7. Es necesario invertir en una solución mecánica al tanque para mezclar continuamente los retornos con la Solución Agua-Azúcar.

Recomendaciones

1. Realizar mayor número de pruebas en condiciones reales con los productos retardadores.
2. Llevar a cabo la instalación de un agitador a chorros e inyectar agua al tanque para mezclarse con los retornos y la Solución Agua-Azúcar.
3. Ejecutar los trabajos de cementación considerando un menor exceso en el momento de calcular los volúmenes de lechadas a utilizar.
4. Realizar mantenimiento continuo al tanque.
5. Adicional a la solución agua-azúcar, también se recomienda contaminar en el tanque a los retornos con cualquier producto retardador que se encuentre en la gabarra al momento de realizar un trabajo, entre estos, se pueden mencionar lodos base aceite y gasoil.

Referencia Bibliográfica

1. Abalaka, A (2011). *Effects of Sugar on Physical Properties of Ordinary Portland Cement Paste and Concrete*. Universidad Federal de Tecnología del Estado de Níger, Nigeria.
2. Blanco, F (2004). Hidratación del Cemento Portland. Obtenida en diciembre de 2012, Universidad de Oviedo, página web de la Escuela de Minas: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion7.HidratacionCEMENTO.pdf>.
3. Bermudez, M (2007). *Effect of Sugar on the Thickening Time of Cement Slurries*. Presentado en el Concurso Internacional de artículos técnicos de la Conferencia y Exhibición Técnica Anual de la SPE. California: Sociedad de Ingenieros de Petróleo.
4. Khan, B y Baradan, B (2002). *The effect of sugar on setting-time of various types of cements*. Quaterly Science Vision [Revista en línea]. Disponible: http://www.sciencevision.org.pk/BackIssues/Vol8/Vol8No1/Vol8No1_09_Effect_of_Sugar_BazidKhan.pdf [Consulta: septiembre de 2012].
5. Norma Venezolana, Recomendaciones prácticas para ensayos de laboratorio de cementación de pozos de petróleo y/o gas. Publicada por Fondonorma en 2008.
6. Norma Venezolana, cementos y materiales para cementación de pozos petroleros. Requisitos. Publicado por Fondonorma en 2008.
7. Schlumberger Well Integrity-Well Services (2004) Aditivos de Cementación. Presentado en una exposición de “Client Support Laboratory”. Oklahoma.

8. Schlumberger Well Integrity-Well Services (2004) *Primary Cementing Overview*. Presentado en una exposición de “Client Support Laboratory”. Oklahoma.
9. Schlumberger Well Integrity-Well Services (2004) *Cement Manufacturing, Chemistry and Characterization*. Presentado en una exposición de “Client Support Laboratory”. Oklahoma.
10. Samuelson, P (1973). *Curso de Economía Moderna*. 9na ed. España: Aguilar. 1004 p.
11. Schlumberger (2006). JET Módulo 14: Introducción a la cementación. Trabajo no publicado de Well Services Training and Development, IPC.
12. Schlumberger (2012). *CMM-Cement Chemistry and Additives*. Trabajo no publicado de Well Services Training and Development, IPC.

Glosario de Términos

Aditivos: Materiales añadidos al cemento para modificar u obtener alguna propiedad deseada en la lechada.

Bc - unidades Bearden de consistencia: Consistencia de una lechada de cemento determinada en un consistómetro presurizado.

Cemento (Portland): Clinker que consiste generalmente en silicato de calcio hidráulico y aluminatos que contienen una o más formas de sulfato de calcio como compuesto añadido.

Clase de cemento: Designación realizada por la ISO para denotar la clasificación de varios cementos petroleros ISO de acuerdo con su uso.

Densidad: La densidad es el peso por unidad de volumen y suele expresarse en lbm/galUS o kg/m³. Las lechadas utilizadas en la cementación de pozos de petróleo y gas tienen una densidad entre 11,5 lbm/galUS y 19,0 lbm/galUS [1.380 kg/m³ y 2.280 kg/m³].

Espacio anular: Distancia entre la tubería de revestimiento y el hoyo del pozo. La pared exterior del espacio anular puede ser tanto superficie del hoyo, como tubería de revestimiento.

Grado del cemento: Designación realizada por la ISO para denotar la resistencia al sulfato de un cemento en particular.

Liner: Los liner son tuberías de cementación que no llegan hasta la superficie sino que son colgadas del interior de la tubería anterior. La superposición depende del objetivo del liner y puede oscilar entre 50 y 500 pies.

Lodo de perforación: Fluido utilizado para estabilizar el hoyo durante el proceso de perforación y/o rehabilitación.

Revolución por minuto (rpm): Una revolución por minuto es una unidad de frecuencia que se usa también para expresar velocidad angular. En este contexto,

se indica el número de rotaciones completadas cada minuto por un cuerpo que gira alrededor de un eje.

Potencia: Se define como la potencia necesaria para elevar verticalmente a la velocidad de 1 pie por minuto un peso de 33 000 libras. La potencia es trabajo mecánico que incorpora en su valor el parámetro tiempo. Es decir, la potencia se expresa con un número que cuantifica el trabajo efectuado durante un lapso de tiempo. Mientras más rápido se realiza el trabajo la potencia que se desarrolla es mayor.

Retrogresión de la resistencia a la compresión: Reducción de la resistencia e incremento en la permeabilidad del cemento causada por la exposición a temperaturas superiores a 110 °C (230 °F).

Rotor: El rotor es el componente que gira (rota) en una máquina eléctrica, sea ésta un motor o un generador eléctrico. Junto con su contraparte fija, el estator, forma el conjunto fundamental para la transmisión de potencia en motores y máquinas eléctricas en general.

Temperatura circulante (BHCT): se refiere a la máxima temperatura a la que se enfrentara al ser bombeada al Pozo.

Tiempo de espesamiento: Las pruebas del tiempo de espesamiento sirven para calcular el tiempo que una lechada está en estado líquido en las condiciones de presión y temperatura simuladas del pozo. Estas condiciones se simulan mediante un consistómetro presurizado, que mide la consistencia de la lechada de prueba contenida en una copa rotativa. Los resultados de la prueba se expresan en unidades Bearden de consistencia (Bc).

Tipo de cemento: Designación utilizada por la ISO para denotar la clasificación de varios cementos de construcción ISO de acuerdo con su uso.

Zapata: El primer tramo de la tubería de revestimiento tiene una zapata de flotación o zapata guía en el extremo. Esta zapata sirve para proteger el extremo de la tubería de revestimiento y ayuda a guiarla en su paso hacia el fondo del pozo.

Apéndice

Apéndice 1: Cálculo de la concentración de la solución Agua-Azúcar

Se mezclan 200 g de azúcar por cada 100 ml de agua hasta quedar una solución homogénea.

A partir de la Ecuación 2 se despeja el Volumen de azúcar que se utilizan por cada 100 ml de agua:

$$\frac{Mazúcar}{GEazúcar} = Vazúcar \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde,

$Mazúcar$ = Cantidad de azúcar en gramos (g).

$GEazúcar$ = Gravedad Específica del azúcar.

$Vazúcar$ = Volumen del azúcar (ml).

$$\frac{200g}{1,587} = 126,024 \text{ ml}$$

Es decir, 200 g de azúcar equivalen a 126,024 ml de azúcar (Apéndice 3).

Se suman 100 ml de agua de mezcla y 126,024 ml de azúcar:

$$Vsolución = Vsto + Vste \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$Vsolución = 100 + 126,024 = 226,024 \text{ ml}$$

Donde,

$Vsolución$ = Volumen de la solución (ml).

$Vsto$ = Volumen del soluto, en este caso, el azúcar (ml).

$Vste$ = Volumen del solvente, es decir, en agua (ml).

La concentración en masa-volumen (% m/V)

$$\% \frac{m}{V} = \frac{msto(g)}{Vsol(ml)} \times 100 \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde,

$Msto$ = Masa del soluto, en este caso, el azúcar (g).

$Vsol$ = Volumen de la solución, en este caso, la solución azúcar-agua (ml).

$$\%m/V = \frac{200g}{226,024ml} \times 100$$

$$\% m/V = 88,49$$

Se busca expresarla en lib/gal para obtener un resultado a ser aplicado en cantidades industriales:

$$\frac{88,49 \text{ g/ml}}{100} \quad \times \quad \frac{3785.4 \text{ ml}}{1 \text{ gal}} \quad \times \quad \frac{1 \text{ lib}}{453.6 \text{ gr}}$$

Solución: 7,38 lib/gal

Se utilizan 7,38 libras de azúcar por cada galón de solución.

Apéndice 2: Libras de azúcar y galones de agua a utilizar por 1 bbl de retorno.

Se calcula la cantidad de galones de solución agua-azúcar a utilizar para 1 barril de retorno y así poder calcular la cantidad de azúcar y agua a mezclar en cada trabajo con retornos en la gabarra.

En este caso se va a utilizar un Vpr de 1,5% porque es el más recomendable según las pruebas en el laboratorio.

Se sustituye en la Ecuación 1:

$$Vl = 1 \text{ bbl}$$

$$\%Aditivo = 1,5\%$$

Y se despeja el Vp.

Como resultado, se necesitan 0,015 barriles de solución agua-azúcar para retardar el fraguado de 1 barril de retorno.

Esta unidad se calcula en galones.

$$0,015 \text{ bbl} \times 42 = 0,63 \text{ galones de solución agua-azúcar.}$$

De acuerdo al Apéndice 1, la concentración de la solución es de 7,38 lib/gal. Esto quiere decir que:

$$0,63 \text{ gal} \times 7,38 \text{ lib/gal} = 4,64 \text{ libras de azúcar por cada barril de retorno.}$$

Se multiplica la gravedad específica del azúcar por 8,33 para conocer la concentración del azúcar en la solución agua-azúcar:

$$1,587 \text{ g/ml} \times 8,33 = 13,21 \text{ lib/gal}$$

Al dividir la masa de azúcar entre su concentración se obtiene el volumen que ocupa el azúcar en los 0,63 galones de solución:

$$4,64 \text{ lib} / 13,21 = 0,35 \text{ galones de azúcar.}$$

Para calcular el volumen de agua que se requiere por cada barril de retorno, se restan los galones de azúcar de los galones de la solución agua-azúcar

$$0,63 - 0,35 = 0,28 \text{ galones de agua}$$

Para la prueba realizada en la gabarra, se predijo por trabajos anteriores que retornarían aproximadamente 30 bbl.

Significa que se requieren:

$$4,64 \text{ lib} \times 30 = 139,2 \text{ libras de azúcar}$$

$$0,28 \text{ gal} \times 30 = 8,4 \text{ galones de agua}$$

Apéndice 3: A pesar de ser estos los cálculos realizados para la prueba de campo, el Apéndice 1 presenta una inconstancia en las unidades de la Ecuación 2. Lo correcto es utilizar la densidad de la glucosa (1,54 g/cc) en vez de la gravedad específica del azúcar (1,58) y haber pesado la masa de la solución agua-azúcar para obtener un resultado certero de su concentración.

Anexos

Anexo 1. Día 1 de lechada de llenado contaminada con espaciador

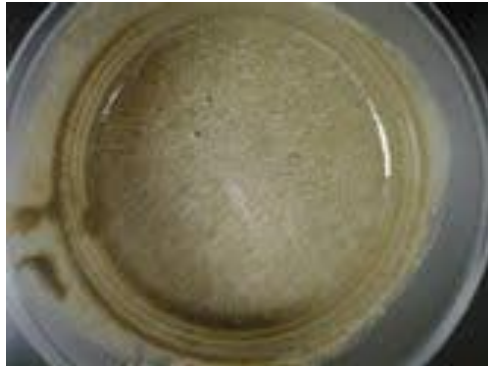
Lechada de Llenado Contaminada con Espaciador añadiendo Solución Agua-Azúcar de 1%.



Lechada de Llenado Contaminada con Espaciador añadiendo Solución Agua-Azúcar de 7%.



Lechada de Llenado Contaminada con Espaciador añadiendo Solución Agua-Azúcar de 25%



Anexo 2. Día 8 de lechada de llenado contaminada con espaciador

Lechada de Llenado Contaminada con Espaciador añadiendo Solución Agua-Azúcar de 1% después de una semana.



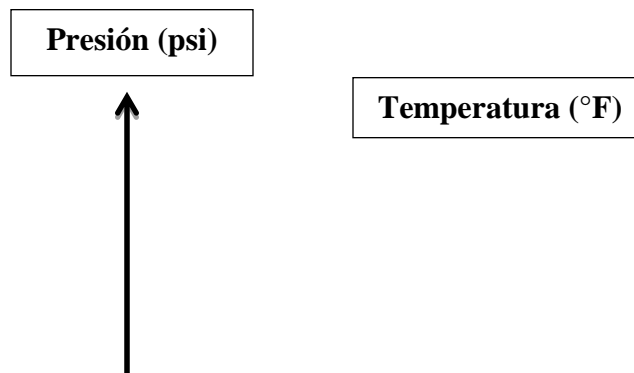
Lechada de Llenado Contaminada con Espaciador añadiendo Solución Agua-Azúcar de 7% después de una semana.

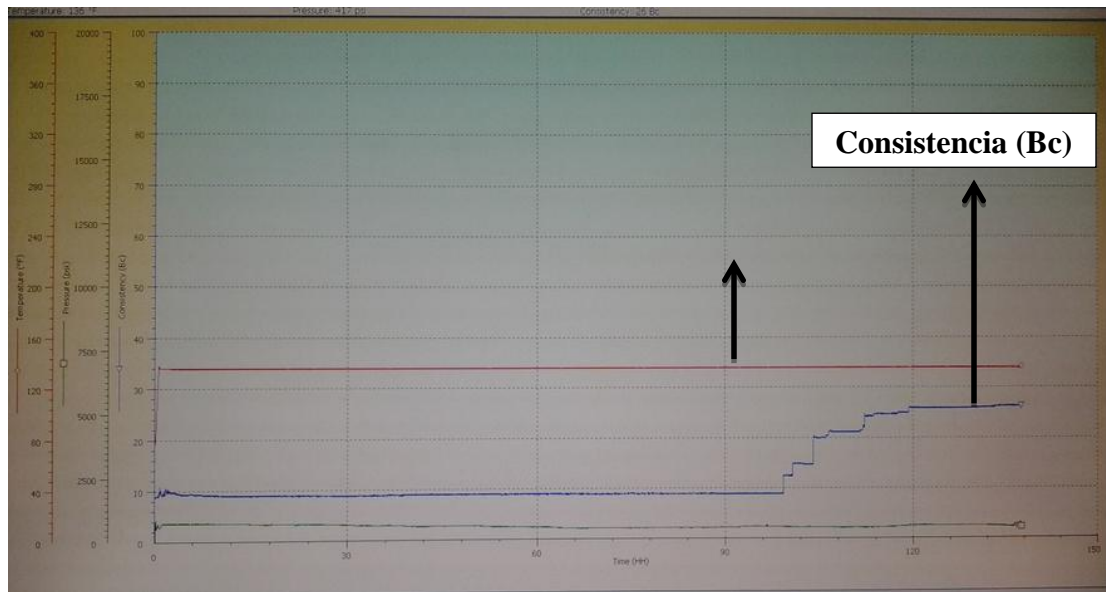


Lechada de Llenado Contaminada con Espaciador añadiendo Solución Agua-Azúcar de 25% después de una semana.



Anexo 3. Comportamiento de la lechada de llenado con la Solución Agua-Azúcar





Anexo 4. Comportamiento de la lechada de llenado con la melaza



Anexo 5. Pruebas estáticas con Lechada Antimigratoria.

Se realizaron dos pruebas con la lechada antimigratoria para conocer el comportamiento del producto retardador con otro tipo de lechada.

Composición de la Lechada Antimigratoria

Aditivos	Función	Concentración en gramos
D909	Cemento H	668.19
D124	Extendedor	53.45
D167	Cont. Filtrado	1.34
Agua del Lago	-----	187.05
D047	Antiespumante	2.95
D079	Extendedor	3.34
D080	Dispersante	1.10
D500	Cont. de Gas	119.83
D177	Retardador	5.22

La primera prueba se realizó durante 3 días sin haber sometido previamente a la lechada al consistómetro atmosférico con %Aditivo- solución agua-azúcar de 2%, 10%, 20% y 30%.

Tiempo en Fragar (horas)	%Aditivo
24	30
24	20
N/A	10
N/A	2

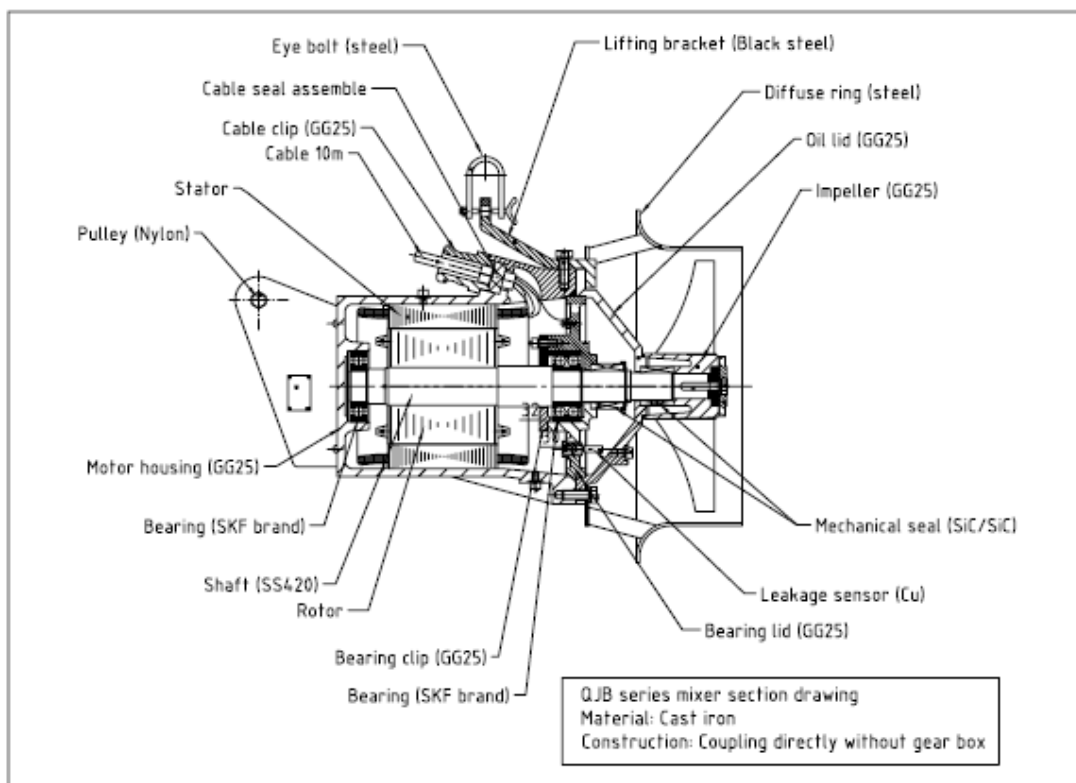
Para un %Aditivo de 10% y 2% las muestras aún no habían fraguado a los 3 días. Posee un comportamiento similar al de lechadas retardadas, de llenado y de cola.

La segunda prueba con esta lechada tuvo una duración de 1 día y tampoco se acondicionó previamente la lechada.

Tiempo en Fragar (horas)	%Aditivo
N/A	5
N/A	2
4	0

Únicamente fraguó la lechada pura sin aditivo.

Anexo 6. Especificaciones del Agitador Sumergible recomendado por DeTech Pumps Co. Ltd.



Descripción del Producto

QJB Submersible Mixer Description

QJB Submersible mixer is designed to applicate widely in waste water treatment, especially for mixing, sludge digestive, tank, suspend solids decrease, circulation etc. It can operate smoothly in the conditions as following:

1. Max medium temperature • 40• •
2. Acid value PH= 5-9
3. Medium density • •1150kg/m³
4. Max submerged depth is no more than 20 m while long time operation.

QJB has 3 kinds of constructions: Cast iron motor, Stainless steel motor & Slow-speed propeller.

Features:

Compact reliable mixer has excellent impeller and seal design.

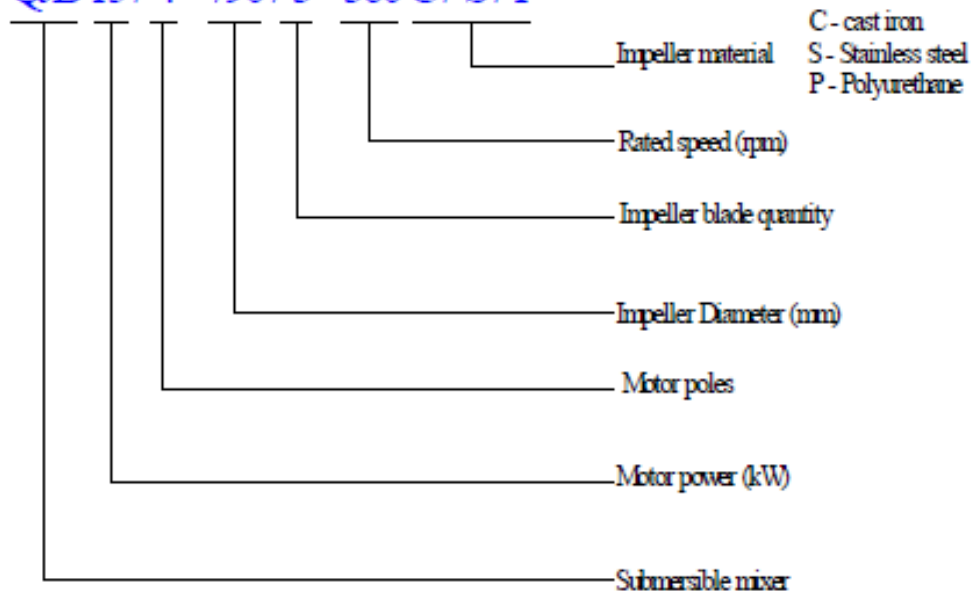
It has water-pressure cable inlet with strain relief and anti-kick protection, fully prevent from water into chamber.

Double mechanical seal used, gives good seal capability against motor. And we have Tungsten carbide & Silicon carbide material for option.

Motor is squirrel cage, IP68, F class insulation.

Impeller is stainless steel material for cast iron & stainless steel motor. And polyurethane for slow-speed propeller with good fluid design. It can operate with low power consumption, high efficiency.

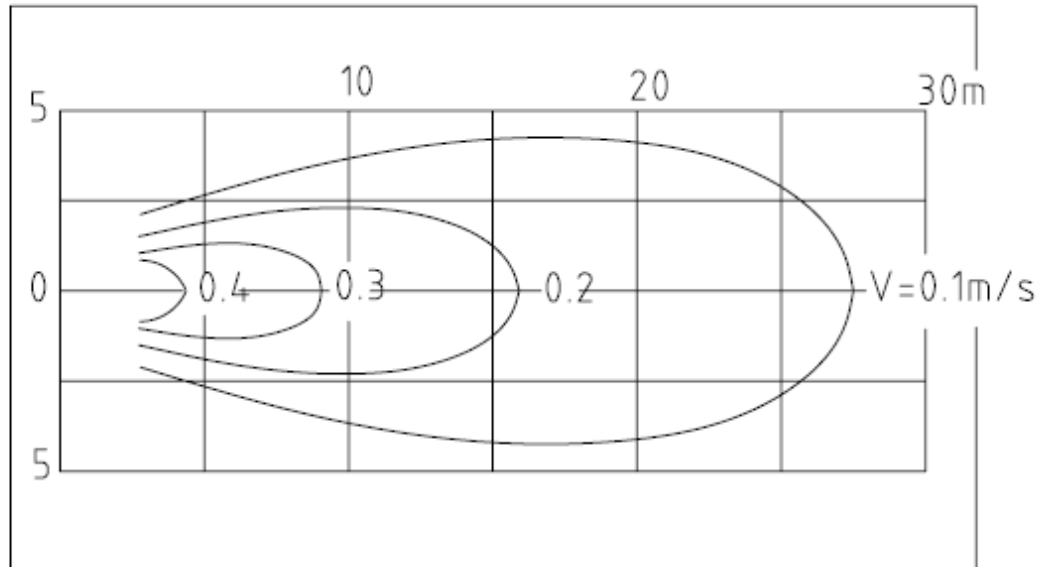
QJB 15 / 4 - 790 / 3 - 360 C / S / P



Data sheet

Curve

Type: QJB1.5/6-260/3-960



Data

P2 (kW)	1.5	Speed (rpm)	960
Q (m ³ /s)	0.245	Axial force (N)	185
Current (A)	3.9	Impeller Dia. (mm)	260