

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA METODOLÓGICA INTEGRAL PARA  
LA PLANIFICACIÓN, REVISIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE  
CEMENTACIÓN DE POZOS PETROLEROS**

Presentado ante la Ilustre

Universidad Central de Venezuela

Por el Br. Melgarejo P, Crisostomo J

Para optar al Título

De Ingeniero de Petróleo

Caracas, Noviembre de 2018

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

### **DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA METODOLÓGICA INTEGRAL PARA LA PLANIFICACIÓN, REVISIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE CEMENTACIÓN DE POZOS PETROLEROS**

TUTOR ACADÉMICO: Prof., Muñoz, Richard.

Presentado ante la Ilustre

Universidad Central de Venezuela

Por el Br. Melgarejo P, Crisostomo J.

Para optar al Título

De Ingeniero de Petróleo.

Caracas, Noviembre de 2018

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO

**CARTA DE APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi carácter de tutor del Trabajo Especial de Grado presentado por el ciudadano bachiller Crisostomo José Melgarejo Pérez, titular de la cédula de identidad V - 21005343, para optar al título de Ingeniero de Petróleo; considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Caracas, a los 16 días del mes de Noviembre de 2018.

---

Ing. Richard Muñoz

C.I. V – 5.414.696

Caracas, Noviembre de 2018.

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 los Bachiller; Crisostomo Melgarejo titulado:

**“DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA METODOLÓGICA INTEGRAL PARA LA PLANIFICACIÓN, REVISIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE CEMENTACIÓN DE POZOS PETROLEROS”**

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**.

---

Ing. Edinson Carballo  
Jurado

---

Ing. Edgar Hernández  
Jurado

---

Ing. Richard Muñoz  
Tutor

## DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a Dios, a mi Nazareno milagroso de Achaguas y a mi Familia que para mí siempre ha sido lo más importante en mi vida, fui verdaderamente bendecido de estar entre tan maravillosas personas.

Pero de manera especial lo dedico a la memoria de dos de las más grandes bendiciones que Dios ha podido dar a mis Familias, a mi pensar un par de ángeles que nos enviaron para enseñarnos que es el amor, el cariño y la felicidad.

El primero un primo que es el más grande ejemplo que he visto de la locura sana, del amor sin penas, del cariño sin freno, de cómo ser un gran hijo, sobrino, nieto, amigo, padre e ingeniero. Lo grande del Cesar de su nombre se quedó pequeño con tanto que fue amado. El segundo más que un primo fue mi hermano, mi secuaz de travesuras y mi mano derecha en trabajo, ocurrente y sentimental, siempre era mi respaldo para lo que se necesitara, hasta el final siempre pensó de los demás sacrificándose, al final no sé qué tanto de mí se llevaron con él, pero el “termina esa vaina rápido pareja para que te vengas pal pueblo” aun lo escucho en las mañana impulsándome para levantarme. Dudo que algún Nelson te iguale.

Aun me impresiono como sus recuerdos llena a todos de un dulce amargo exquisito entre lágrimas y risas. Son y serán siempre parte de lo soy y seré.

Esta copla es para ustedes Cesar Gallipoly y Nelson José Melgarejo.

## AGRADECIMIENTOS

Primeramente, Agradezco a Dios y a mi Nazareno Bendito por darme tanto y colocar las bendiciones en mi camino para poder llegar hasta aquí.

Agradezco a mis Padres Ana Pérez y Chara Melgarejo, que fueron durante toda la carrera un pilar de apoyo incondicional y un ejemplo de tenacidad y lucha, a mis padres putativos Ramón y Maritza, por abrirme las puertas de su hogar y de su familia y acogerme como un hijo siempre brindándome apoyo y cariño.

A mis abuelas Carlina y Faridys, ellas que aunque de carácter fuerte son un manantial de amor y apoyo para ambas familias, para mí son el vivo ejemplo de superación y dedicación por sus hijos, sin ellas mi vida no estuviese tan llena de felicidad y amor.

A mis hermanos Nindy, Rafael, Wady, Chana, Cornelio y Lupe, a mis tíos, tías, primos y primas por llenarme de cariño y amor en todo momento y mi hermanito mayor putativo Chachi que estuvo siempre en toda esta proyecto.

A mis compadres Domingo, Jesús y mi comadre Mónica que estuvieron en todo momento de este trabajo dándome apoyo e impulso para terminarlo, y a mis compadres Jonas, Marcel, Roque, Dubrancer, Marcos, Karlos, Arcayata, que desde todas parte del mundo me apoyaron.

A mi tutor el Profesor Richard Muñoz, a los Profesores: Rene Rojas, Simón González, Miguel Castillejo, Lisbeth Miranda, Alida Padrón, Sandro Gasbarri, Adriana Zambrano, Yujeisly Reina, Pedro Díaz, Eliana Alvarado, Alberto Vegas, Norma Guzmán, Manuel Barrios, Yosmar Blanco y Ronald Torres. Los cuales mediante su enseñanza, apoyo y amistad me condujeron a ser un mejor ingeniero.

A la Ing. Giovannina Ragusa (el Ángel de Petróleo), el Ing. Juan González, Juanita Pérez y a la compañía Schlumberger por su gran apoyo a este trabajo.

Finalmente, a mis amigos y compañeros que me llenaron de bellos momentos durante toda la carrera, esos momentos de risas y lágrimas que atesorase siempre.

A TODOS ELLOS GRACIAS.

Melgarejo P, Crisostomo J.

Melgarejo P., Crisostomo J.

**DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA METODOLOGICA INTEGRAL PARA LA PLANIFICACIÓN, REVISIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE CEMENTACIÓN DE POZOS PETROLEROS.**

**Tutor Académico: Ing. Richard Muñoz. Trabajo Especial de Grado. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Petróleo. Año 2018.**

**Palabras claves:** POZOS PETROLEROS-PROYECTO DE CEMENTACIÓN, CEMENTACIÓN DE POZOS PETROLEROS.

**RESUMEN.** En el proceso de la construcción de un pozo petróleo la cementación de los Revestidores es crucial para mantener la integridad del mismo, la mala práctica de este proceso representa un riesgo de gran magnitud. En tal sentido esta práctica requiere de metodologías que conlleven a un proceso de planificación y evaluación de proyectos de esta índole. Por tal motivo esta investigación tiene como objetivo general diseñar una herramienta metodológica integral para la planificación, revisión y evaluación de proyectos de cementación de pozos petroleros. Para el alcance que persigue esta investigación se estableció una metodología de diseño no experimental de tipo proyectivo y modalidad proyecto factible que permitió generar una propuesta de diseño de un diagrama de flujo que describe los procesos que se desarrollan en la cementación de pozos petroleros. De la misma manera se evaluó la metodología integral desde el punto de vista del diagrama de flujo mediante la aplicación de una matriz de criterios de expertos, y su integración con programas computacionales a través del uso del programa WellPlan de la compañía Halliburton. Consecuentemente se obtuvo como resultado una herramienta eficiente en cuanto a la descripción de los procesos para la cementación primaria y eficaz con respecto a la planificación, ejecución y evaluación de proyectos de cementación de pozos petroleros avalando lo integral que es la herramienta, siendo el diagrama de flujo la mejor estrategia para el desarrollo de la metodología integral, ya que a través de la misma se pudo abarcar todos los procesos respectivos a un proyecto de cementación primaria de pozos petroleros.

## INDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	4
AGRADECIMIENTOS .....	5
RESUMEN.....	7
INDICE GENERAL.....	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
ÍNDICE DE TABLAS .....	13
INTRODUCCION .....	14
CAPITULO I EL PROBLEMA .....	16
1.1 Planteamiento del problema .....	16
1.2 Objetivos.....	17
1.2.1 Objetivo general .....	17
1.2.2 Objetivos específicos .....	17
1.3 Alcances.....	18
1.4 Limitaciones .....	18
1.5 Justificación.....	18
CAPITULO II MARCO TEÓRICO .....	20
1.1 Antecedentes de la investigación.....	20
1.2 Bases teóricas .....	23
1.2.1 Cementación.....	23
1.2.2 Revestidores .....	26
1.2.3 Lechada .....	28
1.2.4 Tipos de lechadas de cementos .....	42

1.2.5 Equipos y herramientas de una cementación .....	42
1.2.6 Pre-flujos .....	54
1.2.7 Centralización de la tubería de revestimiento .....	56
1.2.8 Movimiento de la tubería de revestimiento.....	60
1.2.9 Diseño de la cementación.....	61
1.2.10 Diagrama de flujo.....	64
<b>CAPITULO III MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>70</b>
1.1 Diseño de la investigación.....	70
1.2 Tipo de investigación.....	70
1.3 Modalidad de la investigación.....	71
1.4 Metodología.....	71
1.4.1 Revisión bibliográfica .....	72
1.4.2 Revisión de herramientas computacionales .....	73
1.4.3 Desarrollo de diagramas de flujo .....	73
1.4.4 Elaboración de hojas de resultados .....	74
1.4.5 Pruebas de la metodología .....	74
1.4.5 Pruebas de compatibilidad con simuladores .....	76
<b>CAPITULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>77</b>
1.1 Revisión bibliográfica.....	77
1.2 Evaluación de herramientas computacionales.....	77
1.3 Desarrollo de diagramas de flujo.....	80
1.4 Elaboración de hojas de resultados.....	84
1.5 Prueba de la metodología .....	86
1.6 Prueba de compatibilidad con simuladores .....	97

CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	100
Conclusiones.....	100
Recomendaciones .....	101
CAPITULO VI LA PROPUESTA .....	102
Situación a centralizar .....	102
Objetivos de la propuesta .....	102
Objetivo general.....	102
Objetivos específicos .....	102
Matriz FODA.....	103
Plan de acción.....	104
Resultados.....	104
Fase Pre-Job .....	104
Fase Job.....	106
Fase Post-Job.....	107
Elementos.....	108
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	123
APENDICE A. Hoja de datos de entrada para programas computacionales .....	125
APENDICE B. Hoja de datos de salida para programas computacionales.....	128
APENDICE C. Diagrama de flujo “Met-Cem” version vertical.....	133
APENDICE D. Diagrama de flujo “Met-Cem” version horizontal .....	135

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de construcción de un pozo .....	23
Figura 2 Tipos de Tuberías de Revestimientos. ....	28
Figura 3 Curvas de los distintos tipos de fluidos .....	39
Figura 4 Planta de cemento, silos a presión y silos de gravedad .....	43
Figura 5 Camión de transporte de cemento a granel. ....	43
Figura 6 Unidad bombeo .....	44
Figura 7 Cabezal de cementación 9-5/8 y 10.000 lpc .....	45
Figura 8 Equipos y herramientas para la cementación de pozos. ....	47
Figura 9 Zapata Flotadora .....	48
Figura 10 Cuello flotador .....	49
Figura 11 Cuellos de Etapas .....	50
Figura 12 Raspadores .....	51
Figura 13 Raspadores reciprocantes .....	52
Figura 14 Cestas de cementación. a) Reciprocante. b) Estandar .....	53
Figura 15 Tapones de Cementación. a) Tapón Superior. b) Tapón Inferior .....	54
Figura 16 Centralizadores .....	58
Figura 17 Descentralización de la tubería: A) Centrada. B) Descentralizada. C) Recostada a la pared del hoyo .....	58
Figura 18 Centralización de la tubería .....	59
Figura 19 Efecto de la cantidad y posición de los centralizadores en el proceso de centralización .....	60
Figura 20 Diagrama para Diseñar diagramas .....	65
Figura 21 Matriz de evaluación de Diagrama de Flujo.....	75
Figura 22 Matriz de evaluación de compatibilidad de hojas A y B .....	76
Figura 23 WellPlan datos de inicio .....	78
Figura 24 WellPlan Interface principal .....	79
Figura 25 Wellplan interface para trabajos de cementación .....	80

Figura 26 Hoja de datos de entrada para el simulador “Hoja A” .....	85
Figura 27 Hoja de datos de salida para programas computacionales “Hoja B” páginas 1 y 2 .....	85
Figura 28 Hoja de datos de salida para programas computacionales “Hoja B” páginas 3 y 4. ....	86
Figura 29 Hoja A con los datos reales propocinados por las compañías de servicio página 1 .....	87
Figura 30 Hoja A con los datos reales propocinados por las compañías de servicio página 2 .....	88
Figura 31 Resultados de la simulación en formato hoja B página 1. ....	89
Figura 32 Resultados de la simulación en formato hoja B página 2. ....	90
Figura 33 Resultados de la simulación en formato hoja B página 3. ....	91
Figura 34 Resultados de la simulación en formato hoja B página 4. ....	92
Figura 35 Matriz de evaluación de experto 1 .....	93
Figura 36 Matriz de evaluación de experto 2 .....	94
Figura 37 Matriz de evaluación de experto 3 .....	95
Figura 38 Grafico de resultados de las matrices evaluación de la Metodología .....	96
Figura 39 Interacción del simulador en la carga de datos .....	97
Figura 40 Interacción del simulador en la carga de datos .....	98
Figura 41 Matriz de evaluación de compatibilidad .....	98
Figura 42 Grafico de resultados de la matriz evaluación de compatibilidad .....	99
Figura 43 Diagrama de flujo Met-Cem Fase Pre-Job .....	105
Figura 44 Diagrama de flujo Met-Cem Fase Job .....	106
Figura 45 Diagrama de flujo Met-Cem Fase Post-Job .....	107

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Formulación Química de los Cementos Portland .....	30
Tabla 2. Tipos de Cementos según API .....	32
Tabla 3. Informe de diagrama de flujo .....	81
Tabla 4. Descripción de los elementos del Diagrama de flujo .....	108

## INTRODUCCION

Según Goodstein <sup>[1]</sup> “La planificación es el proceso de establecer objetivos y escoger el medio más apropiado para el logro de los mismos antes de emprender la acción, consiste en decidir con anticipación lo que hay que hacer, quién tiene que hacerlo, y cómo deberá hacerse”. De la misma partimos que las actividades de la industria de los hidrocarburos tienen un alto componente en la planificación de sus acciones y procedimientos puesto a que están asociados a grandes riesgos.

Por otra parte, el ingeniero petrolero trabaja con el fin de alcanzar un objetivo bien definido basándose en tareas que necesariamente deben pasar por un proceso controlado de planificación, bien sea esta estratégica u operativa. La mejor manera de asegurar que un proceso finalizara exitosamente es mediante la aplicación de un método ya establecido y bien descrito el cual lo conduzca al fin esperado.

En particular, cementar un pozo implica realizar un trabajo que en su mayor parte es a ciegas, no se sabe a ciencia cierta que está sucediendo con la lechada de cemento que va colocándose en el anular. Por otra parte, se tiene una sola oportunidad para realizar este trabajo del cual depende la vida del pozo. Para minimizar los riesgos asociados es sumamente importante que se realice un proceso de planificación que conlleve visualizar todos los aspectos que puedan interferir en el buen resultado del trabajo. Por tal motivo, el presente trabajo de investigación tiene como finalidad diseñar una herramienta metodológica integral para la planificación, revisión y evaluación de proyectos de cementación primaria de pozos petroleros.

En tal sentido, este trabajo de investigación está estructurado de la siguiente manera: un capítulo I en el cual se plantea la problemática existente, y a partir de ella se trazan objetivos, alcances limitaciones y justificación; seguidamente el capítulo II que consiste en presentar algunas investigaciones previas (antecedentes) referentes al tema que aportan información relevante para el desarrollo de la investigación. También en este capítulo se establecen fundamentos teóricos; en el capítulo III se presenta la

metodología que permite el desarrollo de los objetivos planteados; en capítulo IV y V se discuten y analizan resultados, y se establecen conclusiones y recomendaciones respectivamente, e relación al diseño de la metodología. Finalmente, en el capítulo VI se presenta una propuesta de diagrama de flujo para describir la metodología diseñada en esta investigación.

# CAPITULO I

## EL PROBLEMA

### 1.1 Planteamiento del problema

La cementación de pozos petroleros es un proceso mediante el cual se logran tres conceptos fundamentales: aislamiento zonal, soporte y protección de la sarta de perforación, control de presiones en el pozo. A través del tiempo los procesos de cementación de pozos petroleros se han ido haciendo mucho más complejos. Las empresas dedicadas a realizar este trabajo cada vez cuentan con profesionales mejor formados en el área y equipos de avanzada que permiten realizar los trabajos con mayor eficiencia. Aunque la experiencia del personal juega un papel de mucha importancia, con el pasar del tiempo, se ha hecho patente los sistemas informáticos que ayudan a mejorar los procesos y se suman a esa experiencia del personal.

Los procesos de planificación asistidos por modelos matemáticos o informáticos ayudan mucho a manejar la data en su totalidad sin olvidar detalles que suelen ser causantes de problemas posteriores.

Según Charles George en el año 1992 en su publicación *Ten Steps To Improve Your Next Cement Job*, “Muchos trabajos de cementación de pozos petroleros fallan como consecuencia de fallas en la planificación” [2]. Estas fallas son debido a que prácticamente los trabajos se realizan a ciegas, dependen básicamente de que, con suficiente antelación, se ejecuten con una cuidadosa planificación.

En este orden de ideas, realizar la planificación adecuadamente conlleva a evitar costosas reparaciones e incluso evitar la posible pérdida de todo el trabajo de perforación. Los problemas que pueden presentarse durante el trabajo de aislamiento incluyen canalizaciones en la matriz del cemento, penetraciones no deseadas de fluidos, agua o gas a alta presión, corrosión de las tuberías. Las posibles soluciones de estos problemas requieren, necesariamente, realizar costosos trabajos de remediación.

Con solo una oportunidad de circular el cemento hasta colocarlo en el anular, el mejor seguro para un trabajo de calidad es una comprensión profunda de los parámetros y las técnicas probadas para el éxito.

Las reuniones preliminares de la planificación de un trabajo de cementación, las cuales se realizan con suficiente anticipación, deben contar con una metodología que permita estudiar todas y cada una de las variables que puedan tener influencia en la calidad del aislamiento zonal deseado. Son muchos los casos en los que se imponen la destreza o experiencia del ingeniero a cargo de la planificación o simplemente de los datos aportados por pozos vecinos. Estos datos no necesariamente aportan información real, sino que por el contrario pueden darnos información errada por cambios no esperados en las condiciones del pozo a aislar. El costo de aplicar este proceso de planificación puede ser mucho más económico que realizar un trabajo de cementación secundaria.

En tal sentido la existencia de una herramienta metodológica integral que permita realizar el diseño y monitoreo completo de una cementación desde el proceso de recolección de datos del pozo hasta la revisión del estudio de evaluación final del proceso completo conlleva a minimizar los riesgos asociados a este tipo de trabajos.

## **1.2 Objetivos**

### ***1.2.1 Objetivo general***

Diseñar una herramienta metodológica integral para la planificación, revisión y evaluación de proyectos de cementación de pozos petroleros.

### ***1.2.2 Objetivos específicos***

- 1 Realizar una revisión bibliográfica acerca de los procesos de cementación de pozos petroleros y de la creación de metodologías mediante el uso de flujogramas de decisiones, aplicados a la planificación de proyectos.
- 2 Examinar programas computacionales comerciales para la planificación y evaluación de proyectos de cementación de pozos petroleros.

- 3 Desarrollar diagramas de flujo de los procesos que describen la metodología de planificación, revisión y evaluación de proyectos de cementación de pozos petroleros.
- 4 Elaborar formatos de recolección de datos y resultados obtenidos mediante el uso de la metodología.
- 5 Ejecutar pruebas de la metodología creada, con el uso de data real de cementación de pozos petroleros.
- 6 Ejecutar pruebas de compatibilidad de los resultados de la metodología en programas computacionales comerciales.
- 7 Analizar los resultados de las pruebas ejecutadas.

### **1.3 Alcances**

Esta investigación tiene como alcance, el diseño de una metodología integral para la planificación, revisión y evaluación de proyectos de cementación de pozos petroleros, mediante el desarrollo de flujogramas que describen rutas de decisiones y los pasos óptimos que tengan compatibilidad con programas computacionales comerciales.

### **1.4 Limitaciones**

Esta investigación está limitada por la adquisición de los programas computacionales requeridos a tiempo para el desarrollo del trabajo, la asistencia de las compañías propietarias de dichos programas y de la data de proyectos de cementación de pozos petroleros en diversos resultados.

### **1.5 Justificación**

El éxito de un proyecto de cementación de pozos petroleros está fundamentado en la implementación de una metodología eficaz y eficiente desde su planificación hasta su ejecución, ya que este tipo de proyectos son altamente sensibles a riesgos de pérdidas económicas, materiales y humanas en caso de que llegue a fracasar. Es por tal motivo, que el diseño de una metodología integral que permita planificar, revisar y

evaluar este tipo de proyectos es indispensable, debido a que permite mitigar riesgos de fracaso antes del proceso de cementación.

En este orden de ideas, esta metodología conduce de manera significativa a encaminar los proyectos de cementación de pozos petroleros en un menor tiempo operacional que permite reducir los altos costos que este acarrea.

Por otra parte, esta metodología es importante en las proyecciones de nuevas herramientas didácticas para el proceso de capacitación de ingenieros de petróleos que optan a especializarse en la cementación de pozos petroleros, logrando que eficientemente generen proyectos exitosos.

Finalmente, la aplicación de esta metodología también conlleva a que se puedan generar bases de datos, programas computarizados que alcancen automatizar la planificación y evaluación de proyectos, logrando dar respuestas instantáneas en la toma de decisiones sobre proyectos de cementación de pozos petroleros.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 1.1 Antecedentes de la investigación

DE SANTA, D; SUAREZ, G; LAGRECA, A; ROVIRA, F. (2003) Evaluación de la metodología integral de perforación en la sección 12 ¼” de pozos exploratorios en el bloque alóctono del norte de Monagas. *Trabajo de investigación realizado en PDVSA Intevep y publicado en la revista VISIÓN TECNOLÓGICA volumen 10 numero 2*

Con este trabajo los autores persiguen la descripción y evaluación la aplicación de una metodología integrada de la perforación del hoyo de 12 ¼”, en dos pozos exploratorios profundos en el Campo Macal. La metodología abarca una amplia gama de actividades tales con la selección de mechas, diseño y análisis dinámico de sartas, monitoreo y control de vibraciones en tiempo real, post-análisis de parámetros operacionales y evaluación continua de procesos.

Como resultado, de la aplicación de la de esta metodología, específicamente en el Formación Barranquin, se observó un incremento del 30% en horas efectivas de operación de la tasa de penetración promedio de las mechas tricónicas empleadas y se obtuvo un 35% de incremento en la tasa de penetración promedio, al ser comparado con las tasas obtenidas en pozos vecinos de referencia.

Este trabajo muestra una dinámica referente a la tarea de mejorar una operación de pozos la cual crea un perfil de cómo hacer una metodología integral de forma, y representando como mejoran los procesos usando este tipo ruta, en tal sentido lo señalado por estos autores cobra importancia para esta investigación, ya que permite justificar la importancia que tiene el desarrollo de metodologías integrales para la solución de problemas de operaciones referente a la industria petrolera.

BOLIVAR, R; CENTENO, M; CICCOLA, V; RODRIGUEZ, W. (2003). Fuentes de fallas en la tecnología de cementación de pozos. *Trabajo de investigación realizado en PDVSA Intevep y publicado en la revista VISION TECNOLIGICA volumen 10 numero 2.*

La mencionada investigación describe las fuentes de las fallas de la tecnología de cementación y posibles soluciones, señalando que tres actores están involucrados en esta operación: la manufactura del cemento, la compañía de servicio, y la compañía petrolera dueña del pozo y de las reservas a explotar. La fuente de fallas abarca la calidad del cemento petrolero, diseño de las lechadas, aditivos químicos, relación entre ensayos API y realidad del pozo, calibración de equipos, determinación de la geometría de la zona a cementar y simuladores adecuados para el diseño del trabajo.

De la misma manera, estos autores resaltan que se debe prestar particular atención a tres aspectos básicos: la calidad de los cementos petroleros, la calidad de servicios que ofrecen las compañías de cementación, y disponer de simuladores o sistemas expertos que permitan al ingeniero de cementación planificar, hacer seguimiento y evaluación de la operación. Por último, se concluyó en que hay muchas fallas de la tecnología de aislamiento zonal y las nuevas exigencias en construcción de pozos plantean la necesidad de revisar el proceso, los materiales, herramientas, etc., usados en cementación. En otras palabras, se requieren esfuerzos tecnológicos que permitan a la industria petrolera disminuir el nivel de riesgo de la operación.

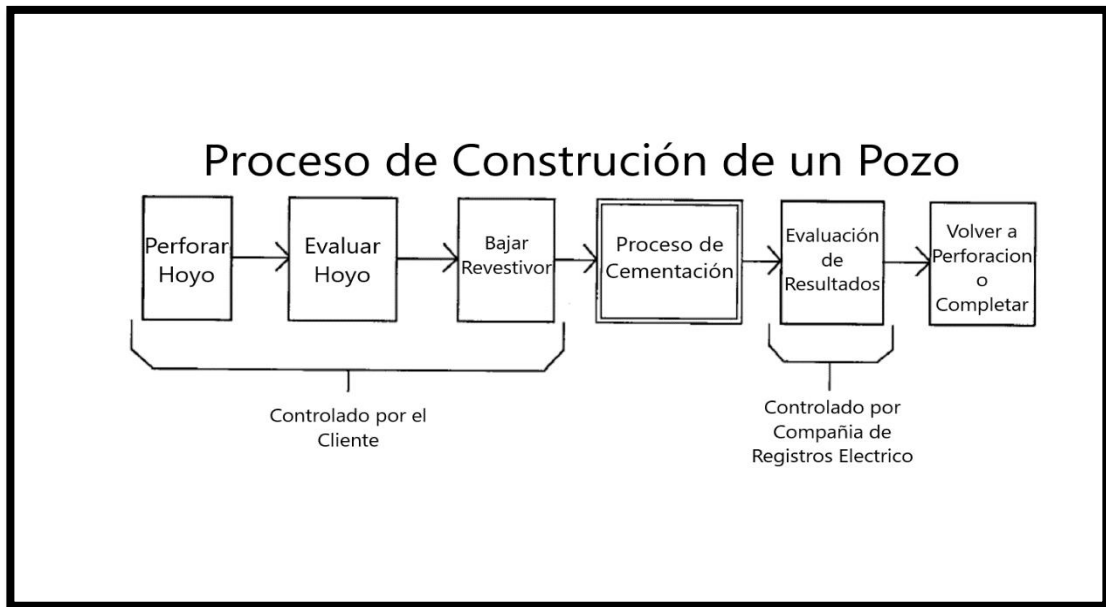
La investigación identifica las fallas y las posibles soluciones o avisos de alerta que hay que considerar en el proceso de la cementación de pozos petroleros, los cuales serán los focos que atienda la herramienta metodológica y poder mitigar las fallas expuestas.

STILLEY, R.D.; GRIFFTH J.E (Febrero 1992) Cementics as a Total Service. *Paper IADC/SPE 23898 presentado en IADC/SPE Drilling Conference held en New Orleans. Luisiana.*

En el trabajo publicado nos describe las responsabilidades de las compañías operadoras, perforadoras y las de servicio al momento de realizar un trabajo de cementación para la época, la cual recaía en su gran mayoría en las compañías operadoras, los investigadores presentan las fallas que se enfrentaban en la época y las repercusiones económicas que acarrearán las malas prácticas con ejemplos y cifras

Sucesivamente, proponen un nuevo esquema de responsabilidades, los cuales le da más carga a las compañías de servicio las cuales pasaron de solo ir a pozo a solo mezclar y bombear la lechada, a tener rol de la planificación, diseñar la lechada, de tener los insumos necesarios para el trabajo de cementación, Pasar la responsabilidad total de la logística del trabajo de cementación, lo cual por supuesto amerita que la compañía de servicio, debe tener los conocimientos necesarios para efectuar el trabajo lo más óptimo posible.

Al identificar los actores y las responsabilidades de su esquema propuesto (Figura 1) para los trabajos de cementación los investigadores nos muestran los procesos que están presente en este tipo de trabajos en el pozo, este es el esquema actual de la industria. Aparte de asociar los roles con los actores de los procesos y de donde nace la concepción de este esquema, se da suficientes argumentos para amparar este tipo de investigación la cual tiene como fin aportar con una herramienta metodología que describa apropiadamente los procesos asociados a cementación de pozos petroleros.



**Figura 1. Proceso de construcción de un pozo** <sup>[3]</sup>

## 1.2 Bases teóricas

### 1.2.1 Cementación <sup>[4]</sup>

Exponen que el cemento es usado en las operaciones de construcción de pozo para proteger y soportar la sarta de revestimiento, prevenir movimientos de fluidos a través del espacio anular, detener el movimiento de fluidos dentro de las fracturas de la formación y cerrar o abandonar una porción del pozo. Una lechada de cementación originada por la mezcla en superficie de cemento seco y agua de la superficie es bombeada y desplazada hidráulicamente hasta la ubicación deseada. Así, esta endurece o reacciona, y la lechada se convierte en cemento sólido, presentando características de resistencia favorables.

#### 1.2.1.1 Tipos de cementación <sup>[4]</sup>

La cementación de pozos petroleros se puede dividir en dos (2) grandes familias: la Cementación primaria y la Cementación secundaria.

#### 1.2.1.1.1 Cementación primaria <sup>[4]</sup>

Se conoce como el proceso de colocación de una lechada de cemento en el espacio anular existente entre la tubería de revestimiento y las paredes del hoyo perforado.

La cementación primaria es un proceso crítico en la construcción de un pozo. Esta proporciona un sello hidráulico que establece un aislamiento zonal, lo que impide la comunicación de los fluidos entre la zona productora y del pozo y bloquea el escape de los fluidos hacia la superficie. Además, la cementación produce anclaje y sustentabilidad al revestidor y lo protege contra la corrosión producida por los fluidos de formación. Si no se logran estos objetivos, la capacidad del pozo para explotar todo su potencial puede verse severamente limitada.

La cementación primaria, vista desde su proceso operacional, se puede subdividir en dos (2), en una etapa y en multietapas.

#### **Cementación primaria en una etapa** <sup>[5]</sup>

Es la más sencilla de todas y común de todas, la lechada de cemento es bombeada en su totalidad y de forma continua en el espacio anular desde el cabezal especial de cementación en superficie a través del Casing, y después desde el fondo del pozo hasta la profundidad deseada, para esto se requerirá de presiones de bombeo altas lo que implica que las formaciones más profundas deban tener presiones de formación y fractura altas y no permitir que se produzcan pérdidas de circulación por las mismas.

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

#### **Cementación primaria multietapas** <sup>[5]</sup>

Esta cementación consiste en ubicar la lechada de cemento primero en la parte inferior del espacio anular Tubería de Revestimiento-formación, y luego la parte

superior de la lechada a través de un collar de etapa el cual es una junta de Casing con puertos que se abren y cierran o sellan mediante camisas de accionamiento a presión.

Este tipo de técnica se utiliza cuando:

- Las formaciones de fondo de pozo no soportan las presiones hidrostáticas ejercidas por la columna de cemento.
- Zonas de interés están muy separadas entre sí y es necesario cementarlas.
- Zonas superiores a ser cementadas con cementos no contaminados.
- Pozos profundos y calientes requieren lechadas diferentes de acuerdo a las características propias de un nivel determinado.

#### 1.2.1.1.2 Cementación secundaria <sup>[5]</sup>

Esta cementación se efectúa para fines remediales, ocurre en casos de fallas de la cementación primaria, puede tener como fin la corrección de alguna zona específica donde la cementación primaria no haya sido efectiva y así mediante la inyección de cemento aislar efectivamente la zona, o sellar el pozo para su abandono. Este tipo de operación también puede ser conocida como cementación forzada (*Squeeze*).

La cementación secundaria tiene varias aplicaciones, entre las más comunes se tiene:

- Reparar un trabajo de cementación primaria fallida debido a canalización de lodo o una altura de cemento insuficiente en el espacio anular.
- Reducir la relación gas petróleo de producción a través del aislamiento de la zona de gas del intervalo de petróleo adyacente.
- Eliminar la intrusión de agua proveniente de arriba o debajo de la zona productora de hidrocarburos.
- Reparar tuberías fracturadas debido a corrosión o fallas por ruptura.
- Prevenir la migración vertical de los fluidos del reservorio dentro de las zonas productoras.
- Sellar zonas de pérdida de circulación.
- Abandonar una zona no productiva o agotada.

### **1.2.2 Revestidores** <sup>[4]</sup><sup>[6]</sup>

Los *Casing*, tuberías de revestimientos o revestidores, son tubulares cilíndricos circulares rectos de acero diseñados y clasificados en función de su peso, diámetro, espesor, resistencia y longitud, con la finalidad de tener la protección adecuada para la sección perforada del pozo.

La combinación de estas tuberías varía dependiendo de la profundidad y las fuerzas a la cual estas tuberías serán sometidas, este grupo de tubos se conoce como sarta de revestimiento.

Las sartas de revestimientos se aglomeran dependiendo de su operación en cuatro tipos dependiendo de la operación.

#### **1.2.2.1 Revestidor conductor o Tubería de revestimiento guía** <sup>[6]</sup>

La tubería de revestimiento guía son las de mayor tamaño de diámetro, protege las formaciones someras contra la contaminación con fluido de perforación y ayuda a prevenir derrumbes que involucran las capas superficiales no consolidadas del terreno y los sedimentos, está diseñada para proveer soporte estructural a la siguiente sarta a cementar, las tuberías de producción y también puede brindar soporte al cabezal del pozo y Equipos de seguridad Anti-reventones cuando el suelo no es lo suficiente firme. Su longitud es la más pequeña de todas las anclada a superficie, y su rango más común de diámetro es entre 20 y 30 pulgadas.

#### **1.2.2.2 Revestidor superficial o Tubería de revestimiento de superficie** <sup>[6]</sup>

La tubería de revestimiento de superficie, es la segunda sarta a perforar posee un diámetro más pequeño, mantiene la integridad del pozo y previene la contaminación de las aguas subterráneas someras con hidrocarburos, salmueras subterráneas y fluidos de perforación, esta también viene anclada desde superficie. Las medidas suelen oscilar entre 9 5/8 pulgadas y 20 pulgadas, y la profundidad entre 100 y 5000, es la primera sarta de revestimiento con fines de control de presión.

### *1.2.2.3 Revestidor intermedio o Tubería de revestimiento intermedia* <sup>[6]</sup>

La tubería de revestimiento intermedia aísla las zonas hidrocarburíferas, anormalmente presionadas, fracturadas y de pérdidas de circulación, lo cual provee el control del pozo a medida que los ingenieros avanzan con la perforación, para acceder a la zona productiva objetivo pueden requerirse múltiples sargas de tuberías de revestimiento intermedia, el tamaño y la longitud de las tuberías de revestimiento intermedias varían mucho de un operador a otro y de un campo a otro, e incluso dentro de un mismo campo. Los tamaños más utilizados son: 13 3/8 pulgadas, 10 3/4 pulgadas y 9 5/8 pulgadas. La longitud puede oscilar entre 1.000 pies y 15.000 pies.

### *1.2.2.4 Revestidor de producción o Tubería de revestimiento de producción* <sup>[6]</sup>

La tubería de revestimiento de producción aísla las zonas que se encuentran por encima y dentro de la zona de producción y tolera todas las cargas anticipadas a lo largo de la vida productiva del pozo. La colocación y cementación de la tubería de revestimiento de producción es uno de los pasos más importantes en la perforación de un pozo. La longitud y tamaño de la tubería de revestimiento de producción varía mucho, pero las más usuales son: 4-1/2 pulgadas, 5 pulgadas, 7 pulgadas y 9-5/8 pulgadas.

Las tuberías de revestimiento de producción pueden anclarse y cementarse desde la superficie del pozo hasta la profundidad objetivo (Dicha práctica no es muy económica) o anclarse a aproximadamente 300 pies dentro de la tubería de revestimiento anterior y hasta el fondo del pozo, y cementarse solo ese segmento. Este último tipo de tubería recibe el nombre de Liner

Además, esta tubería también cumple otras misiones:

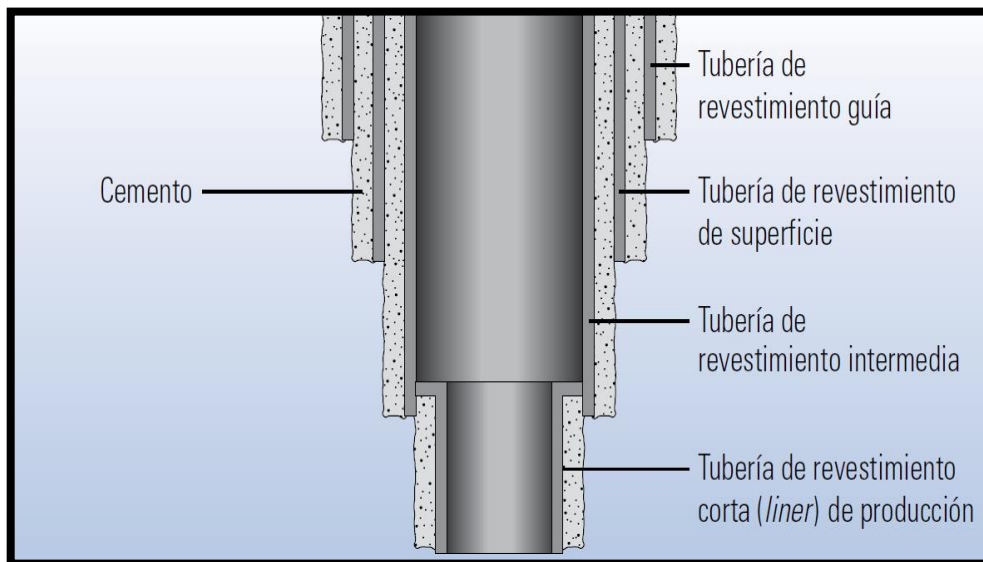
- Recubrir tuberías de revestimiento intermedias dañadas o desgastadas.
- Aislar la zona productiva de otras formaciones y de los fluidos presentes en ellas.
- Actuar como cubierta de protección de los equipos de terminación, tales como:
  - ✓ Equipo de bombeo artificial subterráneo
  - ✓ Equipo de terminación en zonas múltiples

✓ Mallas de control de arena

#### 1.2.2.5 *Liner de producción* <sup>[6]</sup>

Los Liner son tuberías de acero que se utilizan para la cementación que no llegan hasta la superficie, sino que son colgadas del interior de la tubería anterior. La superposición depende del objetivo. El uso de Liner (como tuberías de revestimiento de producción) permite utilizar menos tubería de revestimiento y, por tanto, reducir el costo del pozo.

En la figura 2 se representan todos los diferentes tipos de tuberías de revestimiento.



**Figura 2 Tipos de Tuberías de Revestimientos** <sup>[4]</sup>

#### 1.2.3 *Lechada* <sup>[6]</sup>

La lechada es un fluido bombeable que cambia de fase líquida a sólida al transcurrir el tiempo, se usa en el proceso de cementación de pozos petroleros, se compone por una mezcla de agua, cemento seco y aditivos químicos que ayudan al control de las propiedades de la mezcla, después de bombearse y ser ubicada en el espacio anular del hoyo, esta se endurece y convierte en un sólido capaz de resistir las condiciones de temperatura y presión del hoyo.

Una buena lechada de cemento debe reunir las siguientes características:

- Baja pérdida de fluido durante el proceso de colocación en el espacio anular y después del fraguado.
- Reología adecuada a las características de cada pozo en particular.
- Corto tiempo de transición, para evitar la migración de fluidos a través de la ella, ya que durante este período la mezcla pierde presión hidrostática para convertirse en sólida.
- Densidad adecuada para cada tipo de pozo.
- Estabilidad para conocer las condiciones de presión y temperatura una vez que ha sido colocada en el espacio anular.

#### *1.2.3.1 Cemento* <sup>[7]</sup>

El cemento usado para los pozos petroleros es el cemento Portland, proviene de pulverizar Clinker obtenido por fusión incipiente de materiales arcillosos y calizos, que contengan óxidos de calcio, silicio, aluminio y hierro en cantidades convenientemente dosificadas y sin más adición posterior que yeso sin calcinar, así como otros materiales que no excedan del 1% del peso total y que no sean nocivos para el comportamiento posterior del cemento.

Los principales constituyentes del Clinker del cemento Portland, pueden ser observados en la Tabla 1.

**Tabla 1. Formulación Química de los Cementos Portland** <sup>[7]</sup>

Formulación Química de los Cementos Portland			
Fase Componente	Fórmula	Designación	[%]
<b>Silicato Tri-cálcico (Alita)</b>	3CaO. SiO <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> S	<b>50</b>
<b>Silicato Di-cálcico (Belita)</b>	2CaO. SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S	<b>25</b>
<b>Aluminato Tri-cálcico</b>	3CaO. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A	<b>10</b>
<b>Ferro aluminato Tetra-cálcico</b>	4CaO. Al <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> AF	<b>10</b>
<b>Otros Óxidos</b>	-	-	<b>5</b>

1.2.3.1.1 Tipos de Cementos <sup>[8]</sup>

Los cementos fueron clasificados por el API primeramente como A, B y C, exclusivamente para pozos someros con temperaturas y presiones de bajas a moderadas. Sin embargo, existían otros tipos de cemento Portland manufacturados que estuvieron disponibles para pozos más profundos con temperaturas y presiones más altas. Estos últimos son conocidos como cementos de fraguado lento y fueron clasificados por API como cementos clase D, E y F.

Particularmente los cementos de fraguado lento presentaron problemas de incompatibilidad con algunos aditivos químicos y adicionalmente no estaban siempre disponibles para las compañías de servicio, por lo que el Instituto Americano del Petróleo se vio en la necesidad de incorporar al mercado de cementación de pozos dos tipos básicos de cemento los cuales pudieran ser manufacturados sin aditivos a excepción del yeso y estos serían compatibles con muchos de los aditivos de las compañías de servicio. Estos cementos son conocidos como cementos clase G y H.

Las Normas API se refieren a clase; las Normas ASTM a tipo:

✓ Cemento Clase A o tipo I: Diseñado para emplearse a 6.000 pies de profundidad como máximo, donde no se requiere de propiedades especiales. Disponible únicamente en el tipo ordinario el cemento clase A es similar al ASTM C150, Tipo I.

✓ Cemento Clase B o tipo II: Diseñado para ser usado desde superficie hasta una profundidad de 6.000 pies, cuando las condiciones requieren de moderada a alta resistencia a los sulfatos. Se encuentra disponible en ambos tipos, moderada y alta resistencia a los sulfatos. El cemento clase B es similar al ASTM C150, Tipo II.

✓ Cemento Clase C o tipo III: Diseñado para ser usado desde superficie hasta una profundidad de 6.000 pies, cuando las condiciones requieren alta resistencia inicial. Se encuentra disponible en el tipo ordinario, moderada y alta resistencia a los sulfatos. El cemento clase C es similar al ASTM C 150, Tipo III.

✓ Cemento Clase D: Diseñado para ser usado desde una profundidad de 6.000 pies hasta 10.000 pies, en condiciones moderadamente alta de presión y temperatura. Se encuentra disponible en los tipos de resistencia a los sulfatos de moderada a alta.

✓ Cemento Clase E: Diseñado para ser usado desde una profundidad de 10.000 pies hasta 14.000 pies, para condiciones de alta presión y temperatura. Se encuentra disponible en los tipos de resistencia a los sulfatos moderada y alta.

✓ Cemento Clase F: Diseñado para ser usado desde una profundidad de 10.000 pies hasta 16.000 pies, para condiciones extremadamente alta de presión y temperatura. Se encuentra disponible en los tipos de resistencia a los sulfatos moderada y alta.

✓ Cemento Clase G: Es usado como un cemento básico desde la superficie hasta 8.000 pies de profundidad, puede ser usado con químicos aceleradores o retardadores para cubrir una amplia gama de temperaturas o profundidades. Durante la fabricación del cemento no se debe mezclar o agregar ningún aditivo al cemento crudo (Clinker) a excepción del sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ) o agua u una combinación de ambos. Se encuentra disponible en los tipos de resistencia a los sulfatos moderada y alta.

✓ Cemento Clase H: Es usado como un cemento básico desde la superficie hasta 8.000 pies de profundidad, puede ser usado con químicos aceleradores y retardadores

para cubrir una amplia gama de temperaturas y profundidades. Generalmente no se agrega ningún aditivo al cemento crudo durante su fabricación, a excepción del sulfato de calcio o agua, o una combinación de ambos. Se encuentra disponible en los tipos de resistencia a los sulfatos moderada y alta.

La tabla 2 nos resume los diferentes tipos de cementos con base a la calificación API.

**Tabla 2. Tipos de Cementos según API [7]**

Clase API	Mezcla de Agua [gal/sxs]	Densidad de Lechada [lb/gal]	Profundidad [pies]	Temperatura [°F]
<b>A</b>	5,2	15,6	0 – 6.000	<b>80 – 170</b>
<b>B</b>	5,2	15,6	0 – 6.000	<b>80 – 170</b>
<b>C</b>	6,3	14,8	0 – 6.000	<b>80 – 170</b>
<b>D</b>	4,3	16,4	6.000 – 10.000	<b>170 – 230</b>
<b>E</b>	4,3	16,4	6.000 – 14.000	<b>170 -290</b>
<b>F</b>	4,3	16,4	10.000 – 16.000	<b>230 – 320</b>
<b>G</b>	5,0	15,8	0 – 8.000	<b>80 – 200</b>
<b>H</b>	<b>4,3</b>	<b>16,4</b>	<b>0-8000</b>	<b>80-200</b>

### 1.2.3.2 Aditivos Químicos [8]

Los aditivos son compuestos químicos que se agregan al cemento con la finalidad de adaptarlo a las condiciones específicas de trabajo. Sus principales funciones son:

- Facilitar el desplazamiento de la lechada de cemento hasta el espacio anular.
- Permitir que el desarrollo de la resistencia a la compresión se lleve a cabo rápidamente.
- Proporcionar un adecuado aislamiento zonal durante la vida productiva del pozo.

La selección de los aditivos se realiza de acuerdo a su funcionalidad química y/o física, temperatura de trabajo y presiones a las cuales estará expuesto el cemento

durante la vida útil del pozo. Actualmente se disponen de más de cuarenta aditivos en el mercado que se utilizan con el cemento API para conseguir las características óptimas de una lechada de cemento a cualquier condición del pozo. Estos aditivos pueden ser adquiridos en forma sólida o líquida, y pueden ser distinguidos en las siguientes categorías:

#### 1.2.3.2.1 Aceleradores<sup>[8]</sup>

Los aditivos aceleradores se usan para reducir el tiempo de fraguado del cemento. Se caracterizan por no incrementar la resistencia a la compresión, pero si la velocidad a la cual se desarrolla esta fuerza y se utilizan principalmente para cementar pozos someros o a bajas temperaturas.

Los aceleradores más utilizados para los cementos Portland son las sales orgánicas, entre ellas los cloruros son los más conocidos, especialmente, el cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ). Otras sales utilizadas como aceleradores son el silicato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), el cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ), el ácido oxálico ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ), los aluminatos, los nitratos, los sulfatos, las bases alcalinas y los hidróxidos de amonio.

#### 1.2.3.2.2 Retardadores<sup>[8]</sup>

Los aditivos retardadores se usan para aumentar el tiempo de fraguado y aumentar el tiempo de espesamiento, permitiendo colocar el cemento en el espacio anular antes de endurecerse. Se caracterizan por no disminuir la resistencia a la compresión del cemento, pero si la velocidad a la cual se desarrolla esta fuerza.

Los retardadores pueden ser empleados para diseñar lechadas que serán desplazadas a pozos de altas temperaturas. Los más comunes son los lignosulfonatos y los azúcares. La efectividad de los lignosulfonatos se ve limitada cuando se trabaja a temperaturas superiores a 200 °F, mientras que los compuestos azucarados se usan a temperaturas mayores, entre 200 y 350 °F.

#### 1.2.3.2.3 Extendedores<sup>[8]</sup>

Los aditivos extendedores se utilizan para reducir la densidad de la lechada para permitir la cementación a través de zonas de débiles, o para bajar costos al obtener

lechadas de mayor volumen. Una lechada más liviana disminuye la presión hidrostática y ayuda a evitar daños a la formación por pérdida previniendo pérdidas de circulación causadas por zonas permeables y fracturas.

Cuando son agregados en la mezcla pueden llegar a generar densidades entre 11.9 y 13.7 lbs/gal, e incluso de 10.8 lb/gal lo cuales se consideran valores bajos. Adicionalmente aumentan el rendimiento de la lechada al reducir la cantidad de cemento necesaria para producir un volumen específico de mezcla, disminuyendo los costos asociados con las operaciones de cementación del pozo.

De acuerdo a las características de la lechada que se desee emplear en la cementación del pozo, se pueden utilizar los siguientes extendedores:

- Extendedores acuosos: permiten añadir excesos de agua para alcanzar grandes volúmenes de mezcla manteniendo una lechada homogénea y evitando el desarrollo excesivo del fluido libre. Las arcillas son un ejemplo de este tipo de aditivos.
- Extendedores con agregados de baja densidad: se encargan de reducir la densidad de la lechada de cemento cuando son añadidos en grandes cantidades a la mezcla.
- Extendedores gaseosos: se usan para obtener densidades considerablemente bajas en la lechada y aun así permitir que se desarrolle una buena resistencia a la compresión del cemento. El nitrógeno y el aire son los más usados específicamente en cementos espumantes y cementos livianos, estos serán explicados a lo largo del trabajo.

#### 1.2.3.2.4 Densificantes<sup>[8]</sup>

Los aditivos densificantes se usan para aumentar la densidad de la lechada de cemento cuando se requieren altas presiones hidrostáticas que controlen las presiones anormales en la formación y los hoyos inestables. En estos casos, generalmente se requieren lechadas de densidad igual o superior a 18 lbs/gal. La arena es uno de los

densificantes más usados debido a su bajo requerimiento de agua. También se usa la ilmenita, la hematita, la barita, los óxidos y las sales.

#### 1.2.3.2.5 Dispersantes <sup>[8]</sup>

Los aditivos dispersantes son materiales que reducen la viscosidad de la lechada de cemento y ajustan las propiedades reológicas hasta valores aceptables para el desplazamiento de la mezcla. El mecanismo de acción de este aditivo se basa en reducir la repulsión electrostática entre los granos de cemento, es decir, alteración de las cargas superficiales de las partículas para evitar la asociación entre ellas; permitiendo obtener las propiedades reológicas deseadas en la lechada. Los dispersantes más comunes son los polímeros, lignosulfonatos y las sales sódicas.

#### 1.2.3.2.6 Agentes de Control de Pérdida de Filtrado <sup>[8]</sup>

Las excesivas pérdidas de agua hacia la formación pueden impedir que el cemento fragüe adecuadamente. Los agentes controladores de la pérdida de filtrado son materiales que controlan la pérdida de la fase acuosa en las lechadas de bajo peso frente a una formación permeable. Es importante controlar el volumen de la fase acuosa para evitar aumentos indeseados en la densidad y cambios en el comportamiento reológico que puedan afectar la consistencia de la mezcla evitando que los fluidos de la formación invadan la mezcla afectando su consistencia.

#### 1.2.3.2.7 Agentes Controladores de Pérdida de Circulación <sup>[8]</sup>

La pérdida de circulación durante los trabajos de cementación primaria es un problema serio que generalmente requiere la aplicación de trabajos de cementación secundaria. Los aditivos controladores de pérdida de circulación son materiales que controlan la pérdida de la lechada hacia formaciones débiles reduciendo de una u otra forma la permeabilidad de las zonas al actuar como un tapón capaz de bloquear los espacios intersticiales que se encuentran en las zonas altamente fracturadas (donde ocurre generalmente la pérdida) y en las formaciones cavernosas. Los principales agentes controladores de pérdida de circulación son los agentes taponadores y su uso dependerá de la severidad del problema.

#### 1.2.3.2.8 Antiespumantes<sup>[8]</sup>

Algunos aditivos pueden causar la formación de espuma en la lechada durante el proceso de mezclado ocasionando consecuencias indeseables. La presencia excesiva de espuma puede causar algunas consecuencias indeseables como disminución de la densidad de la lechada y cavitaciones en el equipo de bombeo. Para evitar que esto suceda se agregan materiales antiespumantes que se encargan de reducir el entrapamiento de aire mediante un cambio en la tensión superficial y/o espacio entre los sólidos, eliminando así las condiciones en la mezcla que pudiesen generar la formación de espuma en el sistema.

#### 1.2.3.2.9 Antimigratorios<sup>[8]</sup>

Los aditivos antimigratorios evitan la entrada del agua y del gas a la lechada de cemento al actuar como una barrera protectora que impide el paso de cualquier fluido presente en la formación. Generalmente se utilizan cuando se sospecha la presencia de gases en la formación, ya que estos fluidos pueden invadir la mezcla y entrar al espacio anular creando canales en la matriz del cemento que le permiten migrar hacia la superficie u otra formación. Los más usados son los aditivos poliméricos.

#### 1.2.3.2.10 Agentes que previenen la retrogresión a la resistencia<sup>[8]</sup>

Estos aditivos evitan que el cemento pierda la resistencia a la compresión una vez colocado en el pozo y transcurridos varios días; permitiendo que sus propiedades se mantengan inalteradas, es decir, evitando su retrogresión.

El fenómeno de retrogresión puede llegar al punto de debilitar la dureza del cemento especialmente si la temperatura se incrementa. La debilidad en la fuerza del cemento se debe a que el componente principal encargado de la dureza (silicato cálcico hidratado), se convierte en silicato dicálcico hidratado. Este nuevo compuesto aumenta el volumen poroso del cemento por lo que es más propenso a ser atacado por los fluidos corrosivos.

Estudios realizados han establecido que la adición de 30% a 40% de harina de sílice al cemento seco previene la formación del silicato dicálcico, y ayuda a la

formación de silicato cálcico hidratado, el cual es menos poroso y más fuerte que el silicato dicálcico. La harina de sílice se emplea en la cementación de pozos donde las temperaturas superan los 230 °F.

#### *1.2.3.3 Propiedades de una lechada de cemento*<sup>[9]</sup>

Las lechadas de cemento están diseñadas para diversas condiciones: distintas temperaturas y presiones, formaciones y fluidos con distintas propiedades.

Las propiedades de la lechada y del cemento fraguado se diseñan y evalúan en un laboratorio, donde se someten a las distintas condiciones en las que van a emplearse.

Los procedimientos de prueba en laboratorio se rigen por las normas incluidas en API RP-10B / ISO 10426-2 Procedimiento Recomendado para la Prueba de Cementos para Pozos<sup>[9]</sup>.

##### *1.2.3.3.1 Densidad*<sup>[8]</sup>

La densidad es el peso por unidad de volumen y suele expresarse en lbm/galUS (Lpg) o kg/m<sup>3</sup>.

El método preferido para la medición de la densidad de la lechada es con el uso de la balanza presurizada de fluidos, esta es similar en operación a la balanza convencional de lodo, la diferencia es que la lechada se debe colocar en una taza de muestra de volumen fijo bajo presión, con ayuda de un pistón.

##### *1.2.3.3.2 Tiempo de fraguado*<sup>[9]</sup>

Es el tiempo que una lechada está en estado líquido en las condiciones de presión y temperatura simuladas del pozo. Para conocer dicho tiempo se mide la consistencia de la lechada, la cual se expresa en unidades Bearden de consistencia (Bc).

La prueba del tiempo de espesamiento finaliza cuando la lechada de cementación alcanza una consistencia de 100 Bc. No obstante, 70 Bc se considera el valor máximo de consistencia bombeable.

#### 1.2.3.3.3 Requerimiento de agua <sup>[9]</sup>

Es la cantidad de agua, expresada en galones por saco de mezcla de cemento seco, antes de la adición de los aditivos líquidos. Normalmente se expresa en galones por saco y puede ser tanto agua dulce como agua salada.

#### 1.2.3.3.4 Requerimiento de fluido de mezcla <sup>[9]</sup>

El fluido de mezcla es la cantidad total de aditivos líquidos más el agua, expresada en galones por saco de cemento seco.

#### 1.2.3.3.5 Reología <sup>[10]</sup>

Reología es la ciencia que trata de la deformación y del flujo de la materia. El uso de valores reológicos en las lechadas de cemento y en el lodo de perforación nos permite calcular los siguientes parámetros:

- La velocidad anular y el caudal de bombeo necesario para conseguir un flujo tapón laminar o turbulento.
- La velocidad interior en la cañería.
- Las presiones de fricción que producen la lechada y el lodo de perforación al circular a través del pozo.
- La potencia hidráulica necesaria.
- El volumen de lechada, colchones lavadores, etc.

Basado en su comportamiento de flujo, los fluidos se pueden clasificar en dos tipos diferentes: newtonianos y no newtonianos.

### **Fluidos newtonianos**

Son todos los fluidos cuya viscosidad permanece constante a toda velocidad de corte. En estos fluidos, el esfuerzo de corte es directamente proporcional a la velocidad de corte. Los Fluidos Newtonianos típicos usados en operaciones de cementación son el agua, algunos colchones lavadores (colchones químicos), gasolina y aceites livianos.

### Fluidos no newtonianos

Muchas lechadas de cemento exhiben un comportamiento No Newtoniano muy complejo. Generalmente la viscosidad es una función de la velocidad de corte y del comportamiento del corte. Se debe diferenciar entre fluidos adelgazantes, en los cuales la viscosidad decrece con el incremento de la velocidad de corte y los fluidos dilatantes donde ocurre lo inverso. De manera general podemos decir que las lechadas de cemento caen dentro de la primera categoría y los modelos reológicos más usados para describir las propiedades de la lechada son el Modelo de Ley de Potencia y el Modelo Plástico de Bingham (Figura 3).

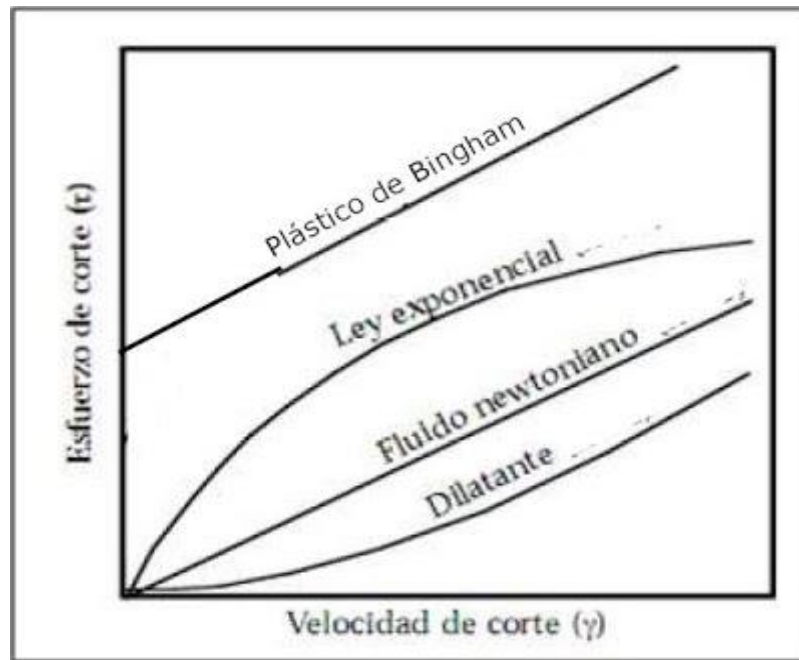


Figura 3 Curvas de los distintos tipos de fluidos <sup>[10]</sup>

- Modelo flujo plástico de Bingham

Este modelo describe un fluido en el cual se requiere una fuerza finita para iniciar el flujo (punto cedente) y que luego demuestra una viscosidad constante cuando la velocidad de corte aumenta (viscosidad plástica). La ecuación para el modelo de Flujo Plástico de Bingham es la siguiente:

$$\tau = YP + PV \times \gamma$$

Dónde:

$\tau$  = Esfuerzo de corte.

YP = Punto cedente o esfuerzo de corte a una velocidad de corte de cero (intersección de Y).

PV = Viscosidad plástica o tasa de aumento del esfuerzo de corte con el aumento de la velocidad de corte (pendiente de la línea).

$\gamma$  = velocidad de corte.

- Modelo flujo de la ley de potencia o ley exponencial

Este modelo describe un fluido en el cual el esfuerzo de corte aumenta según la velocidad de corte elevada matemáticamente a una potencia determinada. Matemáticamente, el modelo de Ley Exponencial se expresa como:

$$\tau = K \times \gamma^n$$

Donde:

$\tau$  = Esfuerzo de corte.

K= Índice de consistencia.

$\gamma$  = Velocidad de corte.

n = Índice de Ley Exponencial

### **Viscosidad**

La viscosidad es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales. Su valor se puede determinar al conocer el valor de la pendiente de la línea en la gráfica de esfuerzo de corte Vs velocidad de corte.

En su sentido más amplio, la viscosidad se puede describir como la resistencia al flujo de una sustancia. Por definición la viscosidad ( $\mu$ ) se pueden describir como la relación del esfuerzo de corte ( $\tau$ ) a la velocidad de corte ( $\gamma$ ):

$$\text{Viscosidad}(\mu) = \frac{\text{esfuerzo de corte}(\tau)}{\text{velocidad de corte}(\gamma)}$$

La viscosidad se suele expresar en centipoise [cP]. Es la unidad más usada debido a que el agua posee una viscosidad de 1,0020 cP a 20 °C.

### **Punto de cedencia**

Expresado en libras fuerza por cada cien pies al cuadrado (lbf/100 pies<sup>2</sup>), es el esfuerzo mínimo de corte que debe aplicarse a un fluido para que comience a desplazarse. Por ende, esta propiedad determina la resistencia del fluido a fluir.

#### 1.2.3.3.7 Resistencia a la compresión <sup>[9]</sup>

Indica la capacidad del cemento para no fallar en compresión. El cemento debe ser lo suficientemente resistente para sostener la tubería de revestimiento en el agujero, soportar los esfuerzos generados por las operaciones de perforación y cañoneo, y resistir una presión hidráulica alta sin fracturarse. Esta propiedad se expresa en libras por pulgada cuadrada (lpc).

#### 1.2.3.3.8 Pérdida de fluido <sup>[9]</sup>

Cantidad de fluido que pierde una lechada de cemento al ser forzada contra una pantalla de 325 mesh (simula la cara de la formación) bajo un diferencial de 1000 lpc.

#### 1.2.3.3.9 Fluido libre <sup>[9]</sup>

Es la cantidad de agua que puede separarse de la lechada de cementación. Si existe una cantidad muy alta de agua libre, el desempeño de la lechada puede verse afectado. Esta tendencia se mide en mL/250 mL.

#### 1.2.3.3.10 Compatibilidad con los fluidos <sup>[9]</sup>

Esta propiedad es determina el grado de compatibilidad de los fluidos de pozo en operaciones de cementación como lo son el lavador y el espaciador, y la lechada de cemento tal que no ocasione reacciones físicas ni químicas indeseables.

#### **1.2.4 Tipos de Lechadas de Cementos** <sup>[7]</sup>

En la cementación de pozos puede surgir la necesidad de colocar distintas lechadas de cemento para cubrir la formación; sin embargo, en algunos casos es posible colocar un solo tipo de lechada ya que las características de la formación así lo permiten. En general se distinguen dos tipos de lechada de cemento; lechada de cola y lechada de relleno o llenado.

##### **1.2.4.1 Lechada de cola** <sup>[7]</sup>

Es la última lechada que se bombeará en el hoyo. Esto es recomendable puesto que se podrá colocar una lechada de cemento de alta calidad a través del intervalo de interés.

##### **1.2.4.2 Lechada de relleno** <sup>[7]</sup>

Es una lechada de menor costo que se usa para llenar el espacio anular por encima de la lechada de cola. Como este tipo de lechada es de menor densidad, se usa también para reducir la presión hidrostática en una formación débil, ya que una de mayor peso podría fracturarla.

#### **1.2.5 Equipos y herramientas de una cementación** <sup>[6]</sup>

Para lograr una cementación exitosa, es necesario instalar equipos, herramientas y accesorios en la tubería de revestimiento antes de correrla en el hoyo. Cada uno de estos provee la asistencia mecánica necesaria para desplazar eficientemente el fluido de perforación y controlar el pozo. Adicionalmente reúnen una serie de características en cuanto al diseño, principio de operación y ubicación en la tubería de revestimiento que en conjunto permiten que el proceso de cementación del pozo pueda realizarse sin problemas.

Los trabajos de cementación suelen realizarse con los siguientes equipos:

#### 1.2.5.1 Equipo de material a granel<sup>[6]</sup>

En los trabajos de cementación, se necesitan los siguientes equipos de material a granel para almacenar el cemento seco, aditivos químicos sólidos o *blend* (mezcla de cemento seco y aditivos sólidos) y transferirlos al sistema de mezclado de cemento.

- Silos a presión o silos de gravedad (figura 4): los distintos cementos y mezclas deben almacenarse en silos separados



**Figura 4 Planta de cemento, silos a presión y silos de gravedad<sup>[6]</sup>**

- *Bulk* o Camión de transporte de cemento a granel (ver Figura 5): se utilizan para transportar el cemento seco, aditivos sólidos y *blend* hasta el pozo. También pueden utilizarse durante la cementación para transferir directamente el cemento al sistema de mezclado.



**Figura 5 Camión de transporte de cemento a granel.<sup>[6]</sup>**

- 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.

#### 1.2.5.2 Unidad de bombeo<sup>[6]</sup>

La unidad de bombeo de cemento (figura 6) 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 6 Unidad bombeo<sup>[6]</sup>**

#### 1.2.5.3 Línea de tratamiento<sup>[6]</sup>

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.

#### 1.2.5.4 Mezclador por baches o recirculador<sup>[6]</sup>

La mezcla por baches es un sistema simple para la mezcla de lechadas de cemento. Existen varios tipos de mezcladores por baches, con una capacidad que oscila

entre 15 y 150 barriles. 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.

#### *1.2.5.5 Sistema de aditivos líquidos* <sup>[6]</sup>

Los sistemas de aditivos líquidos sirven para almacenar y medir los aditivos líquidos durante las operaciones de cementación. Inicialmente, estos sistemas se diseñaron para utilizarse en espacios confinados en equipos de perforación costa afuera; sin embargo, por su eficiencia y economía, ahora son un elemento imprescindible para cualquier trabajo de cementación en el que se utilicen aditivos líquidos.

#### *1.2.5.6 Cabezales de cementación* <sup>[6]</sup>

El cabezal de cementación (ver Figura 7) aloja un conjunto de válvulas y líneas que permiten conducir la lechada desde la unidad de bombeo hasta el interior del pozo. Los cabezales convencionales varían de dimensiones entre 2-7/8 hasta 20 pulgadas de diámetro y pueden manejar un rango de presiones entre 1500 lpc y 10.000 lpc.



**Figura 7** Cabezal de cementación 9-5/8 y 10.000 lpc <sup>[6]</sup>

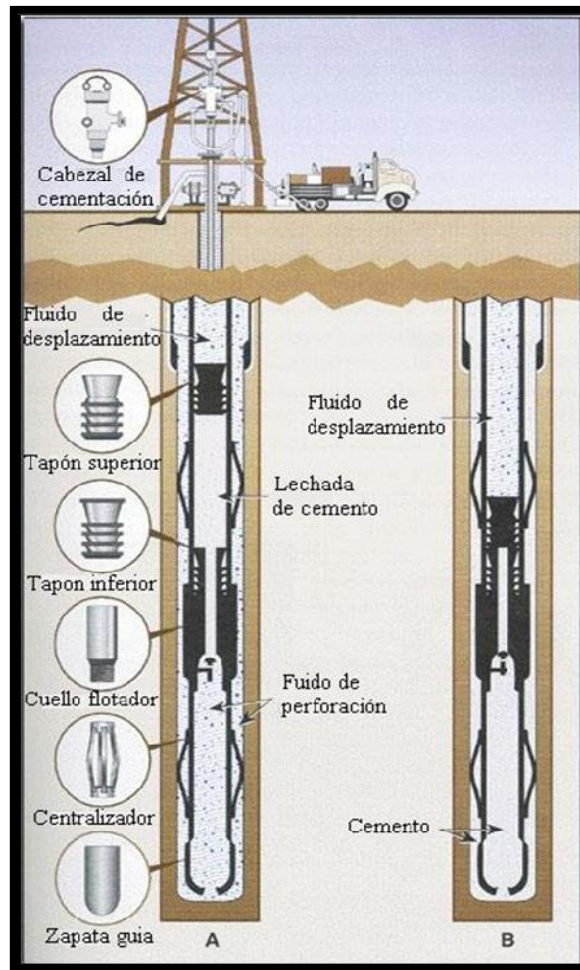
#### *1.2.5.7 Equipos de ensamblaje de sarta de perforación* <sup>[6][8]</sup>

En los trabajos de cementación se utilizan distintos tipos de aditamentos y accesorios para tuberías de revestimiento, entre los que se pueden incluir: zapatas guía, collares de flotación, tapones, collares de múltiples etapas, centralizadores, entre otros.

El primer equipo colocado en la tubería de revestimiento se coloca en la parte inferior, y es la zapata guía o flotadora, seguidamente se coloca un cuello flotador a una o dos juntas sobre la zapata; esta corta sección de la tubería de revestimiento limitada por estos equipos se conoce como junta de la zapata, y actúa como una seguro para evitar el reingreso de la lechada a la tubería bajo el principio de vasos comunicantes, su longitud puede exceder dos juntas de la tubería de revestimiento u 80 pies, y permite asegurar el desplazamiento del cemento en buenas condiciones a través de la zapata. Por otra parte, se instala un cabezal de cementación en la superficie del revestimiento para controlar el desplazamiento de los fluidos hacia el hoyo, entre otras cosas.

Adicionalmente se colocan centralizadores para permitir que la lechada de cemento se posicione adecuadamente en el espacio anular; así como también otras herramientas u accesorios que serán explicados a lo largo del trabajo.

En la Figura 8 se muestra la ubicación de cada uno de los equipos y herramientas instaladas en la tubería de revestimiento para la cementación de un pozo.



**Figura 8 Equipos y herramientas para la cementación de pozos. [8]**

**1.2.5.7.1 Zapata** [8]

Es una herramienta mecánica generalmente fabricada con acero resistente en la parte externa y bordeada con cemento en su interior. Se coloca en la primera junta de la tubería de revestimiento y su perfil redondeado ayuda a dirigir la tubería en su descenso hasta la profundidad total donde será cementada. Puede ser: guía o flotadora.

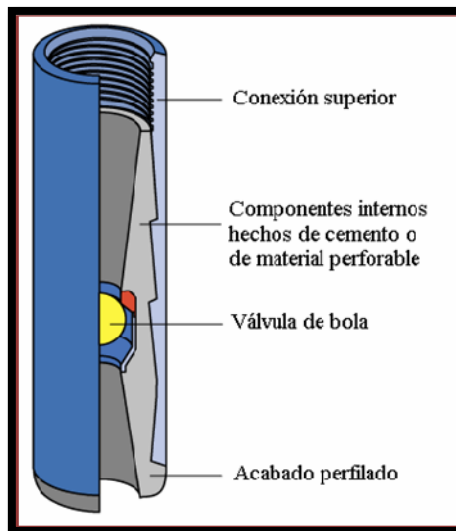
**Zapata Guía**

Es una válvula de un sólo paso, diseñada para permitir el paso de los fluidos a través del fondo de la herramienta, e impidiendo a su vez el retorno de los mismos a la sarta.

En zonas donde la práctica común es tocar el fondo, vale la pena utilizar una zapata con orificios laterales, además del orificio de fondo. De esta manera, si el orificio de fondo se atasca mientras se tocaba el fondo, todo el cemento viajará a través de los orificios laterales y se eliminará la posibilidad de tener que perforar el revestimiento.

### **Zapata Flotadora**

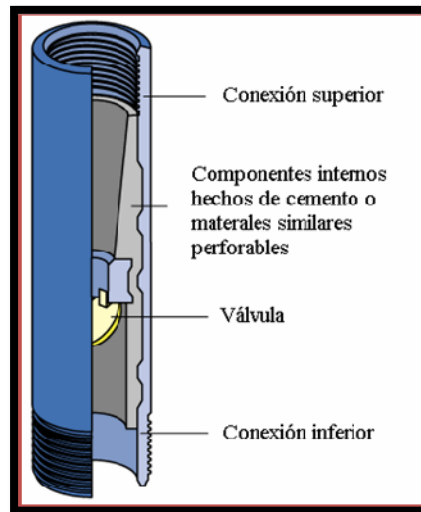
Es similar a una zapata guía, excepto en que a esta se le incluye una válvula de retropresión para prevenir que el cemento vuelva a entrar a la tubería de revestimiento después de haberse completado el trabajo. Esto permite la liberación de la presión en superficie del revestimiento y del equipo de cementación una vez que se asienta el tapón superior (ver Figura 9).



**Figura 9 Zapata Flotadora** <sup>[8]</sup>

#### 1.2.5.7.2 Cuello Flotador <sup>[8]</sup>

El equipo flotador permite que la tubería de revestimiento sea introducida en el hoyo, impidiendo el paso de los fluidos hacia el interior del revestimiento. Esto reduce las cargas y permite que la tubería flote en un ambiente de menor resistencia. Esta fuerza de flotación ayuda a reducir las cargas del gancho (ver Figura 10).



**Figura 10 Cuello flotador** <sup>[8]</sup>

Se coloca entre el segundo y tercer tubo desde el fondo hacia arriba. Está compuesto por: un cuello y una válvula mecánica de retención.

El cuello tiene como función servir de asiento para que el tapón superior (colocado después de bombear la lechada de cemento), al llegar a ese nivel no pueda pasar. Cuando aumenta la presión en esta zona, significa que el cemento ha pasado por completo hacia el espacio anular.

Si no se utiliza el cuello flotador, es necesario que la tubería de revestimiento sea llenada periódicamente a medida que se introduce en el hoyo, a fin de evitar que las cargas de colapso afecten las condiciones mecánicas de la tubería.

#### 1.2.5.7.3 Cuello de Etapas <sup>[8]</sup>

Los cuellos de etapa son los equipos principales para la cementación de pozos en múltiples etapas. Se colocan en la tubería de revestimiento para permitir el paso de la lechada de cemento hacia el espacio anular. Generalmente se usan para cementar efectivamente las secciones superiores de la tubería de revestimiento.

Esta herramienta posee un puerto que se abre para permitir el desplazamiento de la lechada de cemento hacia el espacio anular y se cierra una vez que se ha desplazado la mezcla, reteniéndola efectivamente en el anular (ver Figura 11)

Las partes internas están sujetas firmemente durante el movimiento de rotación de la tubería de revestimiento; sin embargo, se recomienda colocar un centralizador por encima y por debajo de la tubería; así como también una cesta de cementación debajo de los puertos mientras se corren los cuellos. Una vez terminada la corrida a la profundidad de asentamiento, se cementa la sección más baja de la tubería de revestimiento de manera convencional, excepto que el cemento es desplazado con un tapón flexible que golpea al cuello flotador.

Los puertos de los cuellos de etapas por su parte, son orificios que se abren para permitir el paso de la lechada de cemento hacia el espacio anular, en la segunda etapa de la cementación. Una vez terminado el bombeo se lanza el tapón de cierre, el cual golpea entre 800 y 1000 lpc de presión sobre el cuello flotador para cerrar los puertos.

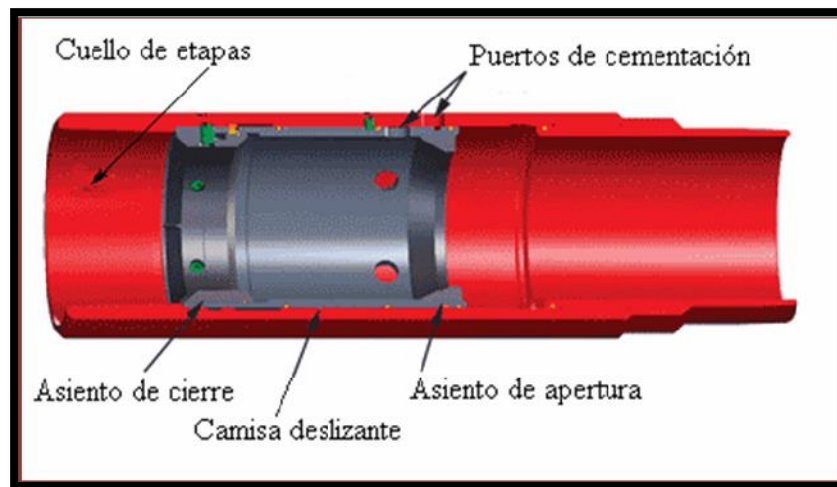
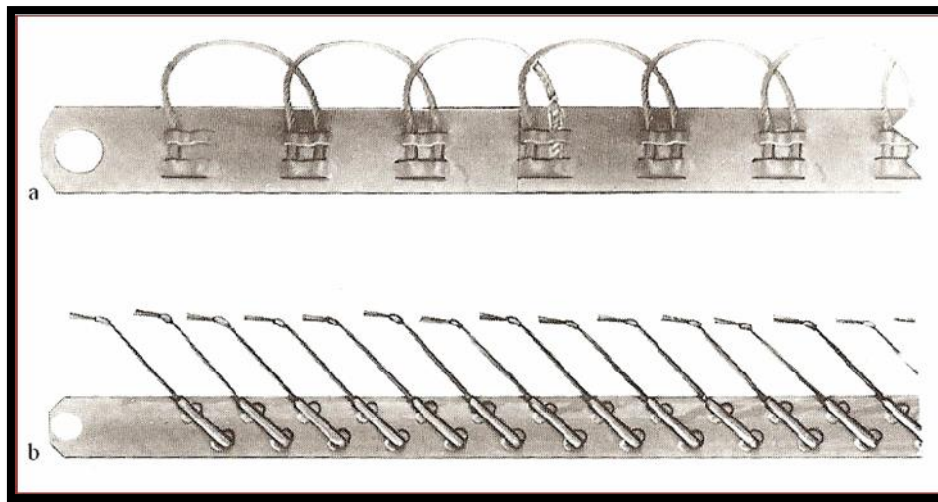


Figura 11 Cuellos de Etapas <sup>[8]</sup>

#### 1.2.5.7.4 Raspadores<sup>[8]</sup>

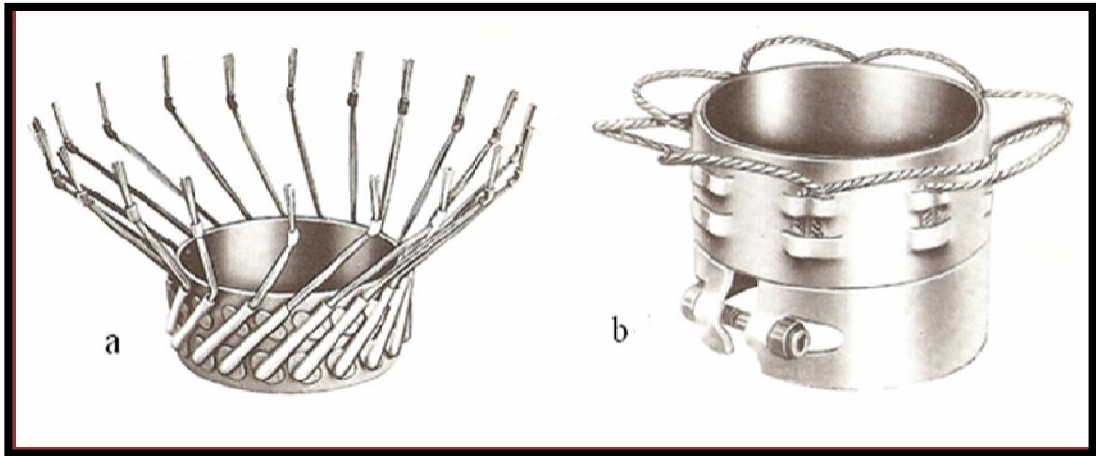
Son dispositivos mecánicos, que se utilizan para remover mecánicamente el revoque de fluido de perforación que se forma en las paredes del hoyo, mejorando así la adherencia entre el cemento y la formación. Existen dos tipos de raspadores: raspadores rotatorios y raspadores recíprocos.

Los raspadores rotatorios son barras rectas que contienen alambres o cables unidos longitudinalmente a la tubería de revestimiento mediante tornillos especiales o tachuelas soldadas. Su función es remover el fluido de perforación mientras la tubería de revestimiento es sometida a rotación.



**Figura 12 Raspadores**<sup>[8]</sup>

Los raspadores recíprocos por su parte, son collares que contienen alambres radiales (ver figura 12) o cables (ver Figura 12); y su función es remover el fluido de perforación cuando la tubería es sometida a un movimiento recíproco o de vaivén.



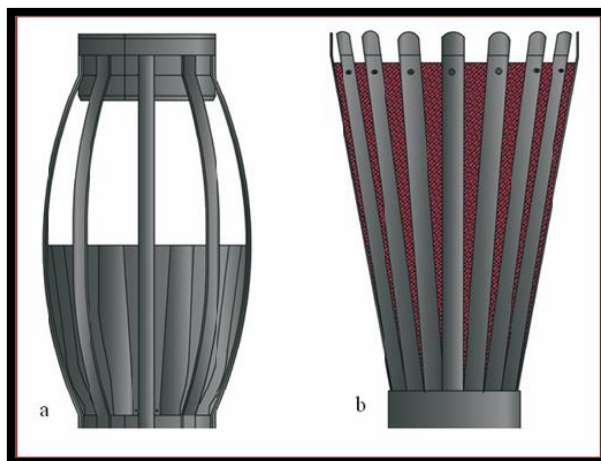
**Figura 13 Raspadores reciprocantes<sup>[8]</sup>**

En general, se prefieren los raspadores tipo cable o reciprocantes sobre los raspadores de alambre, tipo araña o rotatorios, ya que estos proveen mayor fuerza para remover el fluido de perforación; sin embargo el operador debe estar seguro de cuál es el tipo apropiado a seleccionar durante las operaciones.

#### 1.2.5.7.5 Cestas de Cementación<sup>[8]</sup>

Son dispositivos que se corren sobre la tubería de revestimiento cuando existe la posibilidad de pérdidas de circulación en el hoyo. Actúan como una especie de empaadura en el espacio anular para separar los fluidos y soportar la presión hidrostática del cemento en cualquier punto donde sean colocadas.

Están construidas con pétalos delgados de acero reforzado, arreglados en un patrón solapado (ver Figura14). La empaadura o barrera se forma cuando los pétalos se ajustan al tamaño del hoyo creando una especie de paraguas invertido en el espacio anular.



**Figura 14 Cestas de cementación. a) Reciprocante. b) Estandar** <sup>[8]</sup>

Generalmente, se colocan por debajo de los cuellos de etapas, aunque también pueden ser usadas sobre estos. Son más efectivas cuando la tubería de revestimiento está centralizada y cuando es posible colocarlas en secciones del hoyo calibradas. Por otra parte, se debe evitar el movimiento vertical de la tubería para prevenir el daño a la cesta; ya que sólo se permite movimiento de rotación cuando se utilizan.

#### *1.2.5.8 Tapones de Cementación* <sup>[8]</sup>

Son contruidos de elastómeros moldeados sobre aluminio y se usan para evitar la contaminación de la lechada de cemento con los espaciadores y el fluido de perforación, limpiar las paredes de la tubería de revestimiento e indicar cuando el desplazamiento del cemento ha finalizado.

##### 1.2.5.8.1 Tapón Inferior <sup>[8]</sup>

El tapón inferior es desplazado delante de la lechada con la finalidad de limpiar la tubería de revestimiento durante su descenso a la profundidad del cuello flotador y separar la mezcla de cemento del fluido de perforación. Cuando éste llega al cuello flotador, se crea un diferencial de presión capaz de romper un diafragma en el centro del tapón, permitiendo que la lechada pase a través de él. Después que todo el cemento se encuentre en el espacio anular, se suelta el tapón superior hasta golpear el tapón inferior, lo cual indica que el desplazamiento de la lechada hacia el espacio anular ha finalizado.

#### 1.2.5.8.2 Tapón Superior<sup>[8]</sup>

El tapón superior es desplazado detrás de la lechada de cemento con el propósito de impedir que el fluido de desplazamiento canalice a través del cemento y contamine la lechada. Cuando éste alcanza al cuello flotador, se genera un incremento de presión en la superficie, indicando que el proceso desplazamiento ha finalizado.

A pesar de que ambos tapones son similares en su apariencia, el diseño y operación de los mismos varía significativamente. El tapón inferior, utiliza un diafragma que se rompe entre 200 y 400 lpc de presión. El tapón superior por su parte, contienen un núcleo sólido y construido a prueba de roturas (ver Figura 15).



**Figura 15 Tapones de Cementación. a) Tapón Superior. b) Tapón Inferior**<sup>[8]</sup>

#### **1.2.6 Pre-flujos**<sup>[8]</sup>

El primer paso en la preparación del pozo es lograr la remoción del fluido de perforación que se encuentra en el hoyo y dejar las paredes de la formación receptivas al contacto con el cemento.

En muchas ocasiones el fluido de perforación y la lechada de cemento son incompatibles. Cuando esta situación ocurre la mezcla de cemento, tiende a canalizar a través de una masa viscosa formada en la interface de los fluidos, dejando parches de fluido contaminado en las paredes de la formación y el Revestidor. Generalmente la lechada de cemento y el fluido de perforación son mezclas muy viscosas que pueden generar grandes caídas de presión por fricción, poniendo en riesgo la integridad del

trabajo al existir la posibilidad de fracturar la formación o taponar por completo el espacio anular.

Para evitar tales problemas se deben diseñar fluidos compatibles con la lechada de cemento y el fluido de perforación, cuyas propiedades físicas y químicas permitan desplazar la lechada de cemento hacia el espacio anular y la circulación del fluido de perforación. Estos fluidos se conocen como Pre-flujos y son bombeados al pozo antes de introducir la lechada de cemento para eliminar el fluido de perforación del revestidor y la formación. Los Pre-flujos se clasifican según su formulación en lavadores químicos y espaciadores.

#### *1.2.6.1 Lavadores Químicos*<sup>[8]</sup>

Los lavadores son adelgazadores del fluido de perforación de fácil dispersión en el agua, los cuales permiten remover el fluido de perforación de las paredes del hoyo. En la mayoría de los casos están compuestos por surfactantes, los cuales modifican la tensión interfacial entre los sólidos y el agua o aceite, dejando las paredes de la formación humectadas permitiendo que el cemento no se contamine con el fluido de perforación al llegar a dichas superficies. De esta manera se logra una mejor adherencia del cemento a la formación, evitando problemas futuros de canalización de fluidos.

Los lavadores químicos son fabricados para diluir cualquier tipo de fluido de perforación que se encuentre en el pozo, bien sea fluido base agua o base aceite. Se recomienda utilizar un mínimo de 500 pies, de columna en el anular o 10 minutos de tiempo de contacto con la formación para obtener una aceptable remoción del revoque. Debido a su viscosidad relativamente baja el régimen de flujo turbulento permite desplazarlos de manera eficiente, lo que permite obtener mayor limpieza y barrido en las paredes del Revestidor.

#### *1.2.6.2 Espaciadores*<sup>[8]</sup>

Son fluidos que se encargan de separar la lechada de cemento y el fluido de perforación con la finalidad de evitar la contaminación entre ambos y facilitar el

proceso de desplazamiento de la lechada de cemento hacia el espacio anular. Para lograr los objetivos, para los cuales han sido diseñados, es necesario que exista compatibilidad química del espaciador con el fluido de perforación y la lechada, ya que estos serán bombeados en el siguiente orden: fluido de perforación/espaciador/ lechada de cemento.

El diseño más simple de un espaciador es una mezcla con baja densidad y pérdida de filtrado que puede ser bombeada en flujo turbulento; sin embargo, el principal problema de estos espaciadores es que pueden ser incompatibles con el fluido de perforación. Es por ello, que es generalmente aceptado, que el mejor espaciador es aquel que posee una densidad mayor a la del fluido de perforación y menor a la densidad de la lechada. Para ajustar estas densidades es necesario implementar agentes densificantes. Adicionalmente se incluyen viscosificantes para lograr la suspensión efectiva de estos agentes.

### ***1.2.7 Centralización de la Tubería de Revestimiento*** <sup>[7] [8] [11]</sup>

#### ***1.2.7.1 Centralizadores*** <sup>[8]</sup>

Son dispositivos mecánicos que se encargan de mantener la tubería de revestimiento alejada de las paredes del hoyo. El uso de centralizadores permite que el fluido de perforación pueda ser removido eficientemente del hoyo, disminuye la posibilidad de atascamiento diferencial de la tubería y proporciona un área de flujo uniforme en el espacio anular, que ofrece menor resistencia al paso de la lechada de cemento.

Es posible pensar que una medida contra las posibles pérdidas económicas y para minimizar los riesgos y problemas operacionales, sea conveniente seleccionar la mayor cantidad de centralizadores; y hasta mayor tamaño; sin embargo, hay que tener en cuenta que a mayor número de estos y a mayor tamaño, reducirá el espacio de tránsito de la lechada la cual afecta las velocidades de esta en hoyo.

Actualmente se han diseñado centralizadores que pueden adaptarse a una gran variedad de condiciones y configuraciones en el hoyo; entre ellas:

- Hoyos inclinados, secciones curvas y horizontales.
- Formaciones cavernosas.
- Hoyos reducidos.
- Formaciones blandas o duras.
- Formaciones abrasivas.
- Presencia de arcillas hidratables.

#### 1.2.7.1.1. Tipos de Centralizadores<sup>[8]</sup>

El Instituto Americano del Petróleo, define tres tipos de centralizadores; flexibles, rígidos y sólidos.

**Centralizadores Flexibles:** son los más utilizados en la industria. Están formados por un conjunto de flejes fijos a un par de aros de acero. Se caracterizan por permitir una buena centralización en pozos verticales o poco inclinados (hasta 30°) y por generar mayor fuerza de arrastre contra la pared del hoyo o la tubería de revestimiento que los centralizadores rígidos y sólidos (ver Figura 16.a)

**Centralizadores Rígidos:** están formados por láminas de acero rectas, sujetas a un par de aros, condición que les permite proporcionar un diámetro exterior fijo a lo largo de todo el centralizador. Su función principal es asegurar una centralización mínima, ya que el principio de funcionamiento de las láminas de acero no es la flexibilidad. Esto no siempre es posible ya que al no poseer láminas sólidas, existe el riesgo de que la herramienta se deforme (ver Figura 16.b)

**Centralizadores Sólidos:** al contrario que de los centralizadores flexibles y rígidos, los centralizadores sólidos son construidos en una pieza única. Sin embargo, poseen aletas que proporcionan una separación entre el exterior de la tubería de revestimiento y la pared del hoyo, tal como en el caso de los centralizadores rígidos. Pueden ser tanto rectas como curvas; estas últimas tienen la finalidad de inducir un movimiento de rotación al fluido para generar turbulencia (ver Figura 16.c).

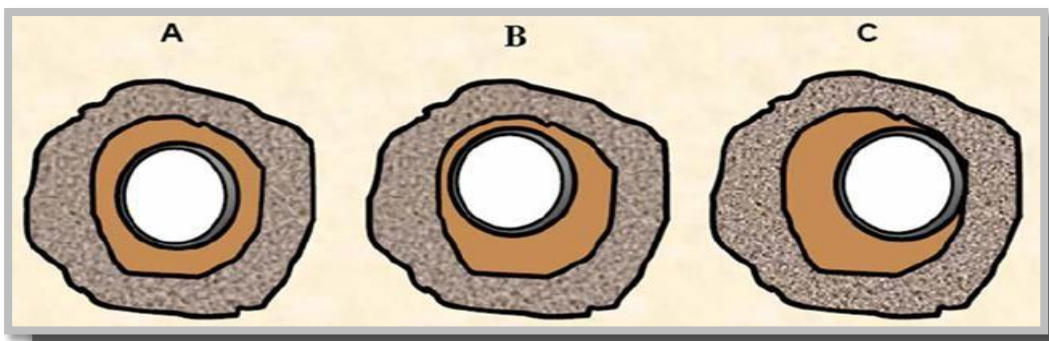


**Figura 16 Centralizadores** <sup>[7]</sup>

### 1.2.7.2 La centralización <sup>[7]</sup>

Es el proceso mediante el cual se mantiene la tubería de revestimiento alejada de las paredes del hoyo de manera que el eje de la tubería coincida lo mejor posible con el eje del agujero.

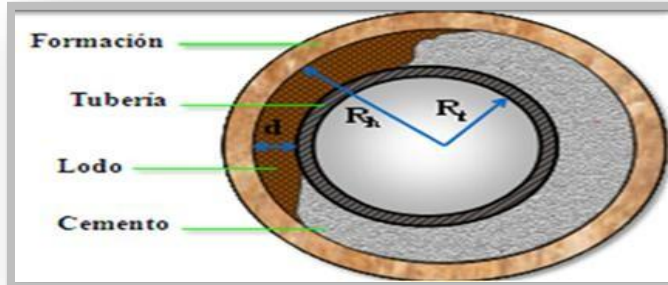
Existen diversas formas en las que puede posicionarse la tubería de revestimiento en el hoyo, cada una de ellas depende principalmente de la geometría y trayectoria del pozo perforado. En la Figura 17, se muestran algunos ejemplos de descentralización de la tubería vistos desde una sección transversal.



**Figura 17 Descentralización de la tubería: A) Centrada. B) Descentralizada. C) Recostada a la pared del hoyo** <sup>[7]</sup>

Para evitar la descentralización de la tubería y que está en contacto con la formación, es necesario realizar las medidas pertinentes de la centralización. La cual

consiste en la medida absoluta o relativa de la posición de la tubería de revestimiento respecto al hoyo, (ver Figura 18)



**Figura 18 Centralización de la tubería <sup>[7]</sup>**

A continuación, se muestra la ecuación que permite calcular el valor de la medida de centralización.

$$Stand\ Off = \frac{d}{Rh - Rt} * 100\%$$

Dónde:

Rh = Radio del Hoyo [pulg].

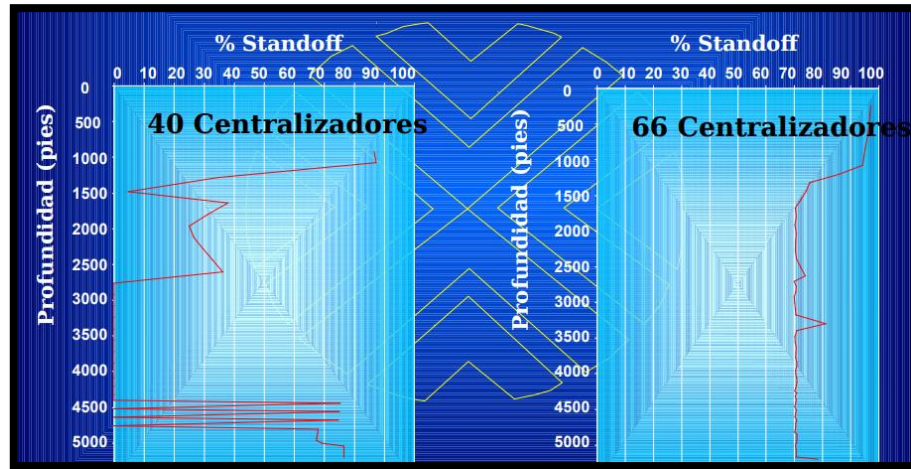
Rt = Radio externo del Revestidor [pulg].

d = Mínima separación entre la pared del hoyo y el revestido [pulg].

Stand Off = Medida de Centralización [%].

Cuando el valor de centralización es mayor que cero implica que no hay contacto con las paredes del hoyo, pero sí el valor es igual a cero indica que la tubería de revestimiento se encuentra en contacto con las paredes del hoyo. Es importante conocer que si el Stand Off es mayor de 70% como nos muestra la figura 16 implica la existencia de una buena centralización entre la tubería de revestimiento y el agujero del hoyo.

Según los modelos arrojados por el grupo de planificación la cantidad de centralizadores del diseño de la centralización dependerá de la tortuosidad de hoyo, si este posee una gran cantidad de vueltas, recodos o rodeos de líneas que se generaran durante la perforación, el resultado será una mayor cantidad de centralizadores en la sarta de revestimiento.



**Figura 19 Efecto de la cantidad y posición de los centralizadores en el proceso de centralización <sup>[11]</sup>**

### ***1.2.8 Movimiento de la Tubería de Revestimiento <sup>[8]</sup>***

Después acondicionar el fluido de perforación mediante lavadores y espaciadores, es necesario mover, hacer girar y reciprocarse la tubería de revestimiento, durante la cementación del pozo. El movimiento de la tubería durante la colocación de la lechada de cemento ayuda a remover el fluido de perforación que posiblemente se encuentra atrapado en las zonas más angostas del espacio anular. Existen dos tipos de movimiento de tubería, el de rotación y el reciprocante.

El movimiento de rotación es aparentemente más efectivo cuando la tubería está seriamente descentralizada y se realiza a una velocidad de 15 a 20 RPM. Durante este proceso las fuerzas de arrastre entre tubería/fluido de perforación y tubería/cemento actúan empujando la lechada de cemento a través del fluido de perforación gelificado.

Las desventajas más importantes de este movimiento son las siguientes:

- La tubería de revestimiento requiere un cabezal de cementación especial.
- Para pozos profundos con largas tuberías de revestimiento se requiere aplicar una cantidad de torque adicional a la tubería lo cual puede llegar a torcerla considerablemente.

El movimiento recíprocante por su parte, es mejor cuando la tubería está centralizada y debe realizarse de 15 a 20 pies por cada minuto. Este movimiento provee fuerzas de arrastre lineal debido al efecto de empujar y halar la tubería de revestimiento que ayudan a romper los esfuerzos de gel del fluido de perforación.

### ***1.2.9 Diseño de la cementación*** <sup>[6]</sup>

El ingeniero de cementación debe considerar una gran cantidad de datos proveniente de una variedad de fuentes y optimizar los parámetros de la operación de cementación de acuerdo con las condiciones del pozo. Cada operación de cementación tiene una serie de objetivos específicos que combinan aspectos técnicos con la economía del proyecto y las normativas locales. Para que una operación de cementación logre alcanzar exitosamente sus objetivos, el ingeniero debe diseñarla considerando según 3 tipos de información o datos básicos:

- Datos de profundidad y geometría del hoyo.
- Condiciones del pozo.
- Régimen de temperatura.

#### ***1.2.9.1 Datos de profundidad y geometría del hoyo*** <sup>[6]</sup>

Profundidad vertical (TVD), profundidad medida (MD), azimut y ángulos de desviación, tamaño y peso de la sarta de revestimiento, el tamaño del hoyo abierto y tipo de sarta de revestimiento, son algunos de los datos que debe considerar un ingeniero al momento de diseñar la cementación.

Los datos de profundidad son particularmente importantes porque influyen fuertemente sobre la temperatura, el volumen de líquido, y las presiones hidrostáticas y dinámicas.

Pozos de alto ángulo son particularmente difíciles y requieren un estricto control de los desplazamientos de lodo y la estabilidad de la lechada. Si no se conoce la trayectoria exacta del pozo, la sarta de revestimiento relativamente flexible no será adecuadamente centralizada y puede recostarse en la pared del pozo en diversos lugares.

En principio, el tamaño del hoyo va a ser determinado por el tamaño de mecha que se utilice para perforar esa sección. Sin embargo, diversos factores operacionales y geológicos pueden producir un cambio en el tamaño del hoyo afectando de esta manera el volumen de lechada de cementación requerido. También puede afectar drásticamente la mecánica de desplazamiento. Para medir de manera confiable el tamaño del hoyo, antes de correr la sarta de revestimiento dentro del hoyo, se corren con guaya fina un Caliper. En general los Calipers registran un mayor número de mediciones independientes proporcionando una mejor estimación del tamaño del hoyo y el volumen.

#### *1.2.9.2 Condiciones del pozo* <sup>[6]</sup>

Los problemas específicos en un intervalo del hoyo abierto que será revestido requieren una evaluación cuidadosa. La presencia de zonas productivas, formaciones altamente presurizadas, gradientes de fractura bajo e intervalo con gas presentan desafíos particulares. Diseñar el trabajo cuidadosamente es necesario para superar estos problemas relacionados con los pozos.

Es importante conocer el régimen de presión a lo largo de toda la sección del hoyo abierto. Las presiones de poro son importantes para los efectos de control del pozo, y dicha información puede obtenerse a partir de registros.

En el otro extremo, el riesgo de fractura de la formación debe ser cuidadosamente evaluado, y un el gradiente promedio de la presión de fractura se proporciona normalmente para cada intervalo de hoyo abierto. Estos valores se basan normalmente los resultados de la prueba de integridad de presión o *leakoff testing*, que

se realiza durante en la perforación de la zapata de la sarta de revestimiento anterior, o una prueba de integridad de la formación a cualquier profundidad particular de interés.

Las zonas productivas ameritan una atención especial. Es importante, por ejemplo, evitar un daño excesivo de la formación que puede ser causado por el filtrado de la lechada de cementación. Adicionalmente la zona de producción debe ser aislada de manera eficiente de otros intervalos no productores o acuíferos, con el fin de asegurar a largo plazo la mayor productividad del pozo.

Si existen formaciones con presencia de gas, lechadas especiales de cemento deben ser diseñadas para impedir que el gas migre de la formación hacia el espacio anular atravesando la lechada. Esto puede originar distintos problemas operacionales que conoceremos a fondo más adelante.

#### *1.2.9.3 Régimen de temperatura* <sup>[6]</sup>

La temperatura afecta el tiempo de fraguado y la resistencia a la compresión de las lechadas de cemento. La temperatura tiene una gran influencia y a medida que aumenta, la lechada se deshidrata y el fraguado se produce más rápidamente. Esto ocasiona que el tiempo de fraguado disminuya. La temperatura de fondo circulante (bottomhole circulating temperatura BHCT) y la temperatura de fondo estática (bottomhole static temperatura BHST) deben ser consideradas junto con el diferencial de temperatura entre el fondo y el tope de la columna de cemento.

La primera es la temperatura teórica que alcanza la lechada de cementación durante su bombeo y desplazamiento hasta el espacio anular, es decir la temperatura a la cuál es expuesta la lechada de cementación durante su colocación en el pozo. La temperatura circulante de pozo se determina normalmente de una lista o correlación establecida por el API. Sin embargo, algunos operadores prefieren trabajar con temperatura medidas en los pozos durante la circulación.

La segunda tiene gran importancia, debido a que la lechada de cementación estará expuesta a esta temperatura una vez que la misma haya sido colocada en el nivel del espacio anular deseado. Por ende tendrá una influencia importante sobre el

desarrollo de gel y resistencia a la compresión de la lechada de cementación. Normalmente, se determina a partir del gradiente geotérmico promedio del área de interés o se puede estimar a través de medidas hechas durante la corrida de los perfiles.

Por último la diferencia de temperatura entre el tope y el fondo de la columna de cemento puede ser importante en el diseño de la lechada. Una lechada de cemento retardada para un tiempo de colocación adecuado, a las condiciones circulantes en el fondo del hoyo, puede permanecer líquida o desarrollar poca resistencia cuando se encuentre a una profundidad más llana en el pozo.

Todos estos parámetros o datos deben ser tomados en cuenta para realizar el diseño y selección de una lechada de manera eficiente.

#### ***1.2.10 Diagrama de flujo*** <sup>[12]</sup>

El Diagrama de Flujo es una representación gráfica de la secuencia de pasos que se realizan para obtener un cierto resultado. Este puede ser un producto, un servicio, o bien una combinación de ambos.

##### ***1.2.10.1 Características principales*** <sup>[12]</sup>

Entre las características principales tenemos:

**Capacidad de Comunicación:** Permite la puesta en común de conocimientos individuales sobre un proceso, y facilita la mejor comprensión global del mismo.

**Claridad:** Proporciona información sobre los procesos de forma clara, ordenada y concisa.

##### ***1.2.10.2 Proceso*** <sup>[12]</sup>

Se presenta un diagrama de flujo (figura 20) diseñado para presentar el proceso de creación de los diagramas de flujo en sí.

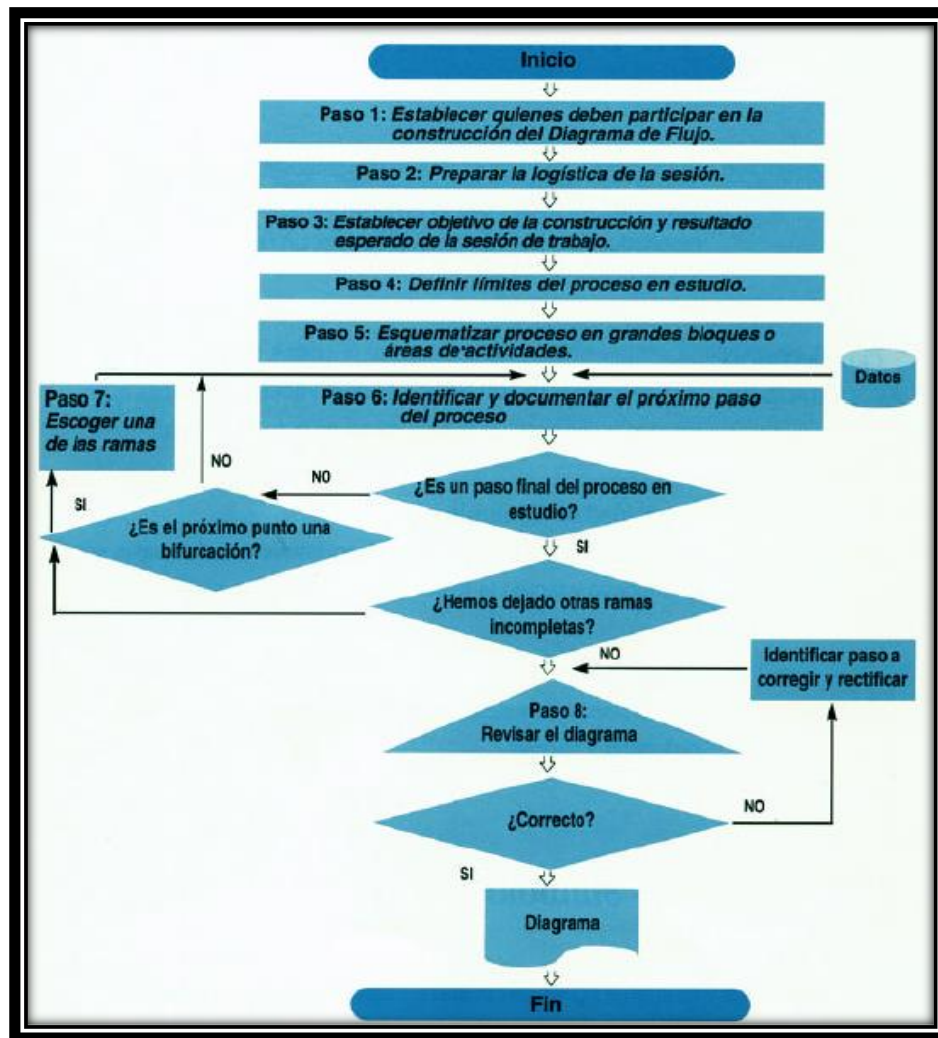


Figura 20 Diagrama para Diseñar diagramas <sup>[12]</sup>

### 1.2.10.3 Símbolos <sup>[13]</sup>

Definición Imagen o figura con la que se representa un concepto.

#### 1.2.10.3.1 Simbología <sup>[13]</sup>

Para la construcción de los Diagramas de Flujo se utilizan diferentes tipos de símbolos que son agrupados en la ISO 5807-1985 en la norma en los siguientes grupos:

#### Símbolos de Datos:

- Datos: Este símbolo representa datos, el medio no está especificado.



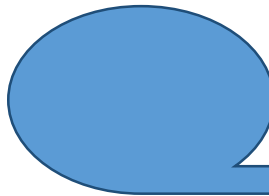
- Almacenamiento de datos: Este símbolo representa los datos almacenados en una forma adecuada para su procesamiento, el medio no está especificado.



- Almacenamiento interno: Este símbolo representa datos, el medio es el almacenamiento interno.



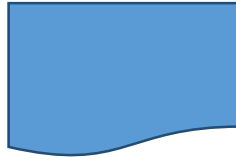
- Almacenamiento de acceso secuencial: Este símbolo representa datos a los que solo se puede acceder de forma secuencial, el medio es, por ejemplo, cinta magnética, cartucho de cinta, casete de cinta.



- Almacenamiento de acceso directo: Este símbolo representa datos directamente accesibles, el medio es, por ejemplo, disco magnético, tambor, disco flexible, memoria digital.



- Documento: Este símbolo representa datos legibles por humanos, el medio es, por ejemplo, salida impresa, un documento OCR o MICR, microfilm, rollo de cuenta, formularios de ingreso de datos.



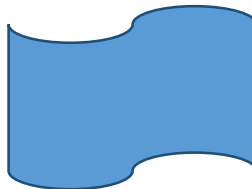
- Entrada manual: Este símbolo representa datos, el medio es de cualquier tipo donde la información se ingresa manualmente en el momento del procesamiento, por ejemplo, teclado en línea, configuración de interruptores, botones, lápiz de luz, varita de código de barras.



- Tarjeta: Este símbolo representa datos, el medio es tarjetas, por ejemplo, tarjetas perforadas, tarjetas magnéticas, tarjetas de detección de marca, tarjetas de código auxiliar, tarjetas de escaneo de marca.



- Cinta perforada: Este símbolo representa datos, el medio es la cinta de papel.



- Pantalla: Este símbolo representa datos, el medio es de cualquier tipo donde la información se muestra para uso humano, por ejemplo, pantallas de video, indicadores en línea.



### **Símbolos de Procesos:**

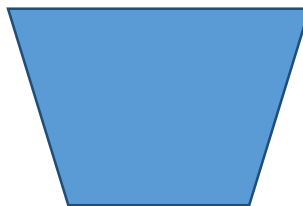
- **Proceso:** Este símbolo representa cualquier tipo de función de procesamiento, por ejemplo, ejecutar una operación definida o un grupo de operaciones que resulta en un cambio en el valor, la forma o la ubicación de la información, o en la determinación de cuál de las varias direcciones de flujo se debe seguir.



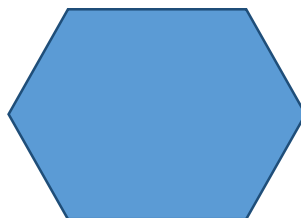
- **Proceso predefinido:** este símbolo representa un proceso con nombre que consiste en una o más operaciones o pasos de programa que se especifican en otra parte, por ejemplo, una subrutina, un módulo.



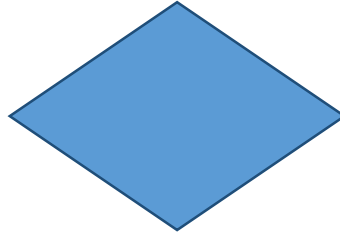
- **Operación manual:** este símbolo representa cualquier proceso realizado por un ser humano.



- **Preparación:** Este símbolo representa la modificación de una instrucción o grupo de instrucciones para afectar alguna actividad posterior, por ejemplo, configurar un interruptor, modificar un registro de índice o inicializar una rutina.



- Decisión: Este símbolo representa una función de decisión o tipo de conmutación que tiene una sola entrada pero donde puede haber varias salidas alternativas, una y solo una de las cuales puede activarse luego de la evaluación de las condiciones definidas dentro del símbolo. Los resultados apropiados de la evaluación pueden escribirse adyacentes a las líneas que representan las rutas.



**Símbolos de ruta:**

- Terminador: Este símbolo indica el inicio y el final de la ruta del diagrama.



- Conector: Este símbolo representa el enlace de una actividad con otra dentro del mismo procedimiento.



## **CAPITULO III**

### **MARCO METODOLOGICO**

#### **1.1 Diseño de la Investigación**

Según Palella, S (2012). El diseño de la investigación se refiere a la estrategia que adopta el investigador para responder al problema, dificultad o inconveniente planteado en el estudio. (p.86).

También, Palella señala que el diseño de investigación no experimental es al que se realiza sin manipular en forma deliberada ninguna variable. El investigador no sustituye intencionalmente las variables independientes. Las variables independientes ya han ocurrido y no pueden ser manipuladas, lo que impide influir sobre ella para modificarlas.

En tal sentido esta investigación es no experimental ya que para responder al problema planteado no se requiere de manipulación de variables causales.

#### **1.2 Tipo de investigación**

De acuerdo con Palella, S (2012). El tipo de investigación se refiere a la clase de estudio que se va a realizar. Orientada sobre la finalidad general del estudio y sobre la manera de recoger las informaciones o datos necesarios.

De la misma forma Palella describe el tipo de investigación proyectiva como aquella que intenta proponer soluciones a una determinada situación. Implica explorar, definir, explicar y proponer alternativas de cambio, y no necesariamente ejecutar la propuesta.

Lo mencionado se aplica a toda investigación que conlleva a diseños o creaciones dirigida a cubrir una necesidad y basadas en conocimientos anteriores. El investigador puede llegar a está mediante diferentes vías, las cuales involucran procesos, enfoques, métodos y técnicas propias, con esta línea podemos concluir que esta investigación es del tipo proyectiva.

### 1.3 Modalidad de la investigación

Palella, S. (2012) define modalidad como el modelo de investigación que se adopte para ejecutarla. De la misma forma establece que la modalidad de proyecto factible es aquella que consiste en elaborar una propuesta viable destinada a atender necesidades específicas, determinadas a partir de una base diagnóstica, es decir la solucionar problemas o necesidad de organizaciones o grupos sociales; pueden referir a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos.

En relación a este autor esta investigación es de modalidad proyecto factible debido a que se establecerá una propuesta que contendrá la metodología integral y su descripción.

### 1.4 Metodología

Para el cumplimiento de los objetivos planteados en la investigación se procederá mediante a la siguiente metodología:

1 REVISIÓN BIBLIOGRAFICA
--------------------------

Realización de una revisión bibliográfica acerca de los procesos de cementación de pozos petroleros; y la creación de metodologías mediante el uso de flujogramas de decisiones, aplicados a la planificación de proyectos.

2 EVALUACIÓN DE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES
--

Evaluación de herramientas computacionales comerciales para la planificación y evaluación de proyectos de cementación de pozos petroleros.

- Obtención de los programas de compañías de servicios de cementación
- Estudio de los componentes y funciones de cada uno de los programas.
- Diagnóstico de los datos de entradas de los programas.
- Comprensión de los procesos ejecutados por los programas.
- Evaluación de las respuestas que imprimen los programas.

3 DESARROLLO DE DIAGRAMAS DE FLUJO
------------------------------------

Desarrollo diagramas de flujos de los procesos que describen la metodología de planificación, revisión y evaluación de proyectos de cementación de pozos petroleros.

#### 4 ELABORACIÓN DE HOJAS DE RESULTADOS

Elaboración de formatos de recolección de los resultados obtenidos mediante el uso de la metodología.

#### 5 PRUEBAS DE LA METODOLOGÍA

Ejecución de pruebas de la metodología creada, con el uso de data real de cementación de pozos petroleros.

- Obtención de la data real de proyectos de cementación de pozos petroleros.
- Ejecución de pruebas siguiendo los pasos de los diagramas de flujo.
- Ejecución de la Matriz de evaluación por profesionales del área de cementación.

#### 6 PRUEBAS DE COMPATIBILIDAD CON SIMULADORES

Ejecución de pruebas de compatibilidad de los resultados de la metodología en programas computacionales comerciales.

- Cotejo entre los requerimientos de los programas y los resultados de la metodología diseñada.
- Evaluación de las posibilidades de entrada y de resultados de la metodología en el programa mediante una matriz de evaluación.

##### ***1.4.1 Revisión bibliográfica***

El proceso de revisión bibliográfica se realiza con el fin de recabar, buscar, reunir, investigar e indagar, toda información disponible en con el tema puntual de los procesos de cementación de pozos petroleros y así definir las bases teóricas necesarias para la realización de esta investigación. En tal sentido se recabará información a través de la revisión de diferentes tipos de textos como lo son Trabajos Especiales de Grado, libros, artículos, normas y manuales referentes a la temática desarrollada en esta investigación. De la misma manera se profundizará la revisión en textos que se focalizan en: metodologías para creación de procesos, las normas para generar flujogramas y artículos relacionados con las mejoras operacionales de los procesos de cementación de pozos petroleros.

### ***1.4.2 Revisión de herramientas computacionales***

Durante al proceso de la revisión de las herramientas (*software*) computacionales se harán varios subprocesos los cuales son fundamentales para poder la ejecución de esta investigación.

#### ***1.4.2.1 Obtención de los programas de compañías de servicios de cementación***

En esta actividad se buscará la ayuda y permisos requeridos entre las compañías de servicio de cementación petrolera la utilización de sus herramientas computacionales propias.

#### ***1.4.2.2 Estudio de los componentes y funciones de cada uno de los programas***

El estudio de los componentes y las funciones de los programas computacionales consiste en interactuar con su interface gráfica para entender cada una de las operaciones que puede ejecutar los usuarios, sus módulos y sus dinámicas de simulación.

#### ***1.4.2.3 Diagnóstico de los datos de entradas de los programas***

Este diagnóstico tiene como fin identificar los datos requeridos en la entrada de los procesos que puede ejecutar cada programa computacional evaluado.

#### ***1.4.2.4 Comprensión de los procesos ejecutados por los programas***

Estudiar cada proceso que ejecute los programas computacionales y así entender mejor las limitantes de los datos de entradas y su transformación asociada a dicho proceso.

#### ***1.4.2.5 Evaluación de las respuestas que imprimen los programas***

Esta actividad consiste en identificar y comprender los datos de salida que expulsan los procesos internos de los programas computacionales comerciales estudiados.

### ***1.4.3 Desarrollo de Diagramas de flujo***

Para el diseño del diagrama de flujo se seguirá los siguientes pasos:

#### *1.4.3.1 Pasos para construcción del diagrama de flujo.*

1. Establecer los actores que interactúan en el diagrama.
2. Definir los límites del flujograma.
3. Identificación de las fases del Flujograma a desarrollar.
4. Identificar y documentar los posibles Procesos se desarrollan dentro del esquema, los actores que los efectúan y su encadenamiento lógico.
5. Identificar y documentas las Decisiones que generen bifurcaciones entre los procesos.
6. Identificar los Documentos y Datos que se generen o se necesiten dentro de flujograma.
7. Comprobar que no se han omitido pasos, pequeños bucles, etc. y/o que el Diagrama tiene una secuencia lógica.

#### *1.4.4 Elaboración de hojas de resultados*

Para plasmar los datos de salidas de los procesos se diseñarán formatos de hojas de resultados los cuales eran diseñados de acuerdo a las necesidades, estas hojas serán creadas con la ayuda de programas de diseños del paquete de programas de Office.

Se enfocará el diseño de estas hojas en la practicidad y estética, la cual debe poseer todos los datos relevantes en los procesos y manteniendo el enfoque menor cantidad de volumen, mostrando todos los datos requeridos para los siguientes procesos

#### *1.4.5 Pruebas de la metodología*

La prueba de la metodología consta de la ejecución de los procesos del flujograma con data real y tendrá una secuencia de acción mediante las siguientes acciones.

##### *1.4.5.1 Obtención de la data real de proyectos de cementación de pozos petroleros*

Mediante el contacto con las compañías de cementación y los trabajos de grados se aglomerará la mayor cantidad de información de proyectos de cementación de pozos petroleros, la cual servirá como data de entrada para alimentar la metodología.

#### 1.4.4.2 Ejecución de pruebas siguiendo los pasos de los diagramas de flujo

Con la data reunida ejecutarán los procesos diseñados y alimentarán con diversas variaciones con el fin de probar la eficiencia de la metodología.

#### 1.4.4.3 Ejecución de la Matriz de evaluación por profesionales del área de cementación.

La ejecución de la matriz de evolución consistirá en la revisión del diagrama de flujo por expertos del área de cementación, los cuales a través de esta matriz (Figura 21) podrán calificar la eficacia de dicho diagrama en relación a la descripción del proceso de cementación de pozos petroleros.

**MATRIZ DE EVALUACIÓN MET-CEM DIAGRAMA**

A continuación, usted encontrará una serie de criterios relacionados con el tema, califique cada uno de ellos de acuerdo a la siguiente escala de estimación:

1. Muy en desacuerdo
2. En desacuerdo
3. Ni en desacuerdo, ni de acuerdo.
4. De acuerdo
5. Muy de acuerdo

1. La estructura metodológica permite identificar claramente cada acción	1	2	3	4	5
2. La cantidad de fases (pre Job, Job, post Job) involucradas en la metodología son suficientemente representativas	1	2	3	4	5
3. Las fases involucradas abarcan todos los aspectos relacionados con el trabajo a realizar en el proyecto para la cementación de pozos petroleros	1	2	3	4	5
4. Los actores identificados en la metodología abarcan todas las actividades relacionadas con ésta.	1	2	3	4	5
5. El uso de esta metodología hará más eficaz el proceso de diseño y ejecución de un trabajo de cementación de pozos petroleros	1	2	3	4	5
6. Mediante el uso de esta técnica será posible mitigar el riesgo de fallas en los trabajos de cementación de pozos petroleros	1	2	3	4	5
7. La cantidad de documentos que involucra la metodología son suficientes para la ejecución de un proyecto de cementación de pozos petroleros	1	2	3	4	5
8. los procesos involucrados en la metodología son suficientes para la ejecución de un proyecto de cementación de pozos petroleros	1	2	3	4	5
9. Los procesos involucrados que contempla la metodología son suficientemente explícitos como para ser entendidos sin dificultad por cualquier persona dedicada al estudio del área de cementación (Estudiantes de ingeniería, ingeniero, científico, proyectista, entre otros)	1	2	3	4	5
10. La desconsideración del sistema de seguridad de esta metodología no es relevante para el desarrollo y ejecución de la misma	1	2	3	4	5

Si lo desea puede añadir algún punto u observación importante y que no fue tomado en consideración al momento de diseñar esta metodología:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Figura 21 Matriz de evaluación de Diagrama de Flujo. Fuente propia**

**1.4.5 Pruebas de compatibilidad con simuladores**

La compatibilidad entre las hojas de datos y la metodología con los programas computarizados de cementación de pozos petroleros desarrollados por las compañías de cementación de pozos es fundamental y se evaluara mediante las siguientes actividades.

**1.4.5.1 Cotejo entre los requerimientos de los programas y los resultados de la metodología diseñada**

Se evaluará si todos los datos necesarios de solicita el programa computacional están agrupados en los datos de la hoja de resultados que arroja la metodología.

**1.4.5.2 Evaluación de las posibilidades de entrada y de resultados de la metodología en el programa mediante una matriz de evolución.**

Se evaluará que tantas carencias y excesos hay entre los requerimientos de los programas computaciones de las compañías de servicios petroleros y los datos de la hoja de resultados que arroja la metodología mediante una matriz (Figura 22) de evaluación.

MATRIZ DE EVALUCION DE MET-CET COMPATIBILIDAD DE HOJAS A Y B					
A continuación, usted encontrará una serie de criterios relacionados con el tema, califique cada uno de ellos de acuerdo a la siguiente escala de estimación:					
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Muy en desacuerdo</li> <li>2. En desacuerdo</li> <li>3. Ni en desacuerdo, ni de acuerdo.</li> <li>4. De acuerdo</li> <li>5. Muy de acuerdo</li> </ol>					
HOJA A					
1. Los datos de la HOJA A son suficientes para realizar simulaciones con los Programas computacionales	1	2	3	4	5
2. Es armónico el orden en el que se presentan los datos para para ingresarlos en los programas computacionales	1	2	3	4	5
3. Los requerimientos de la hoja son entendible claramente para su llenado	1	2	3	4	5
HOJA B					
4. Los datos de la HOJA B se consideran resultados eficaces para realizar el proyecto de cementación.	1	2	3	4	5
5. Los requerimientos de la hoja son entendible claramente para su llenado	1	2	3	4	5
6. El orden del documento a la hora examinar y comprender los resultados es netamente funcional.	1	2	3	4	5

**Figura 22 Matriz de evaluación de compatibilidad de hojas A y B Fuente propia.**

## **CAPITULO IV**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

A continuación, en este capítulo se presentan un conjunto de resultados que serán discutidos y analizados en consecuencia a la aplicación de la metodología presentada en el capítulo anterior la cual permite el alcance de los objetivos que esta investigación se ha planteado.

#### **1.1 Revisión bibliográfica**

En esta fase se realizó la búsqueda e investigación de toda la información disponible de los procesos de cementación de pozos petroleros y se definieron bases necesarias para identificación de estos. En tal sentido se obtuvo información a través de la revisión de diferentes tipos de textos como lo son Trabajos Especiales de Grado, libros, artículos, normas y manuales referentes a esta investigación. De la misma manera también se profundizó la revisión en textos que se focalizan en metodologías para creación de procesos y las normas para generar flujogramas.

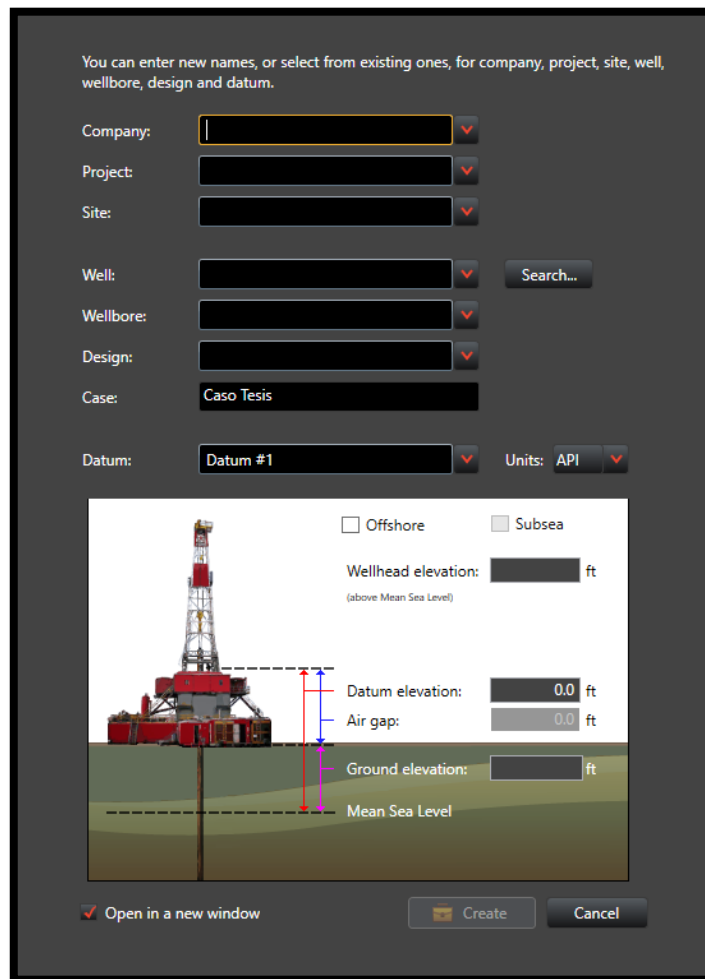
#### **1.2 Evaluación de Herramientas computacionales**

En esta fase se obtuvieron 2 resultados satisfactorios, el primero relacionado con la obtención del acceso a los programas computacionales y el segundo referido a operatividad de dichos programas.

De acuerdo al primer resultado, a través de convenios entre la Universidad Central de Venezuela y la compañía Halliburton fueron colocados programas de simulación en la escuela de ingeniería de petróleo esto permitió que se pudiese interactuar con la herramienta WellPlan<sup>®</sup> v5000.15.1, lo que contribuyó al desarrollo de algunos objetivos de esta investigación. De la misma manera, mediante la solicitud a la compañía de servicio Schlumberger se pudo realizar una visita a su base de operaciones con sede en Maturín y poder interactuar con su programa computacional Cementics<sup>®</sup> v1.8, guiado con personal experto en el área de cementación.

Finalmente se realizó un estudio del manual de operación del programa WellPlan® v5000.15.1 que se encuentra integrado en el programa, por medio de este fueron identificadas las funciones que ejecutan el módulo de interés tal como se muestra en las siguientes figuras.

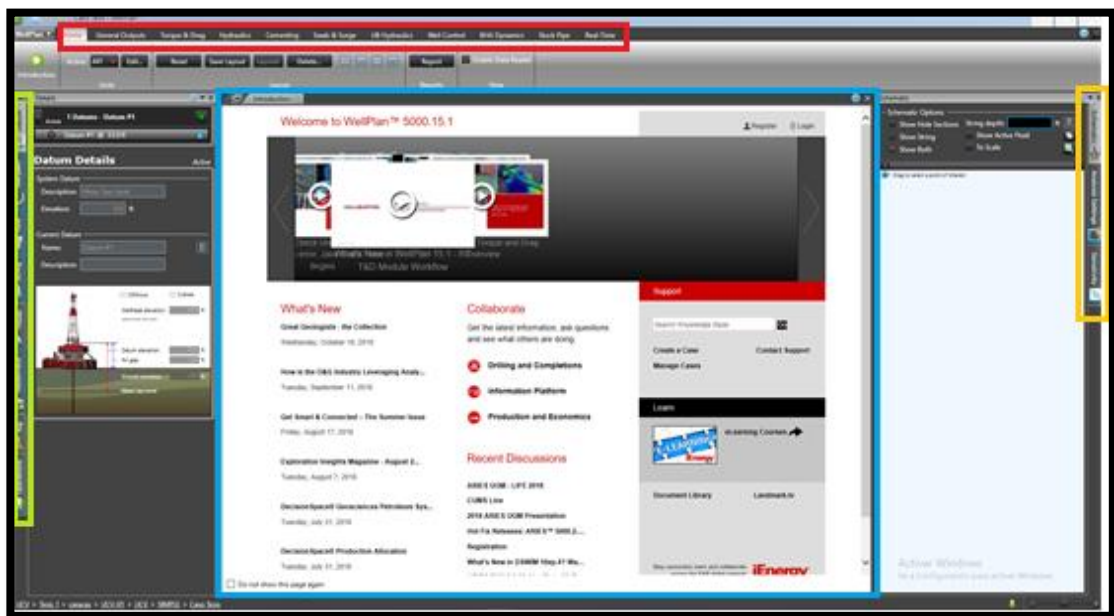
La figura 23 nos muestra el primer cuadro emergente del simulados, el cual nos solicita la carga de los datos del cliente, proyecto, tipo de trabajo (on-shore u off-shore) y especificaciones topográficas del taladro.



**Figura 23 WellPlan datos de inicio. Fuente propia**

La figura 24 nos presenta la interface del simulador WellPlan en el cual se distinguen en la parte superior los diversos módulos desplegables tipo pestañas con los

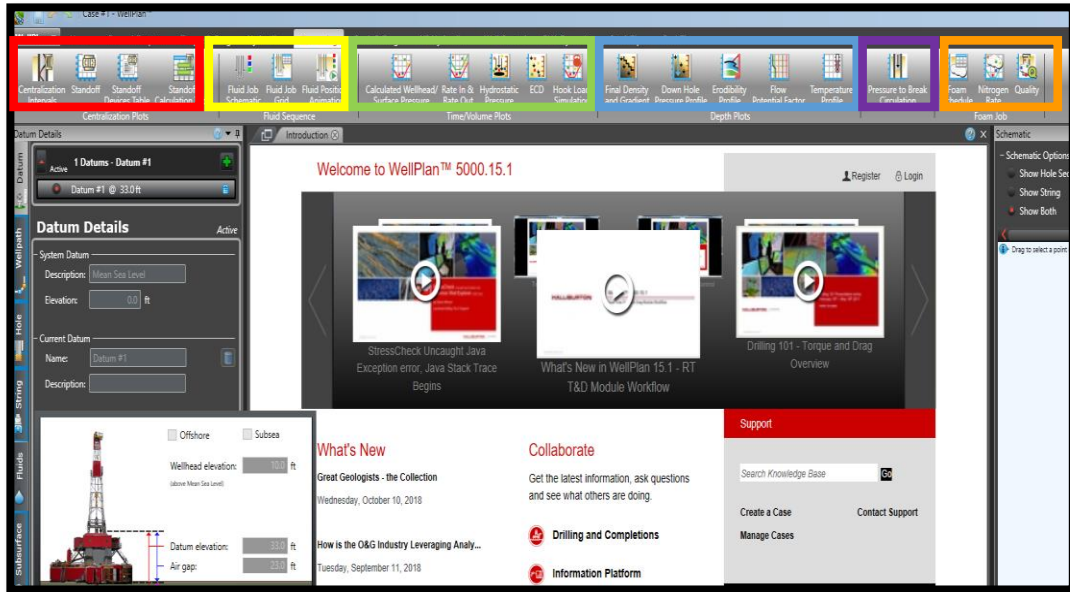
cuales trabaja (recuadro rojo). A su vez en la parte lateral izquierda se observan las 8 pestañas de carga de información principal para las ejecuciones de las diversas simulaciones que se pueden realizar (recuadro verde). También se observa la ventana central, la cual es encargada de mostrar las salidas de los cálculos, gráficas y opciones que el usuario solicita (recuadro azul). Y finalmente en el lateral derecho tenemos las pestañas desplegables de para carga de información secundaria o diseños y cálculos opcionales, esta última varía dependiendo del módulo con el que se trabaje (recuadro amarillo).



**Figura 24 WellPlan Interface principal Fuente propia**

Finalmente en la figura 25 se explora las opciones que procesa el módulo de cementación del simulador WellPan v5000.15, el cual se despliega haciendo click en la pestaña *Cement*, este nos muestra 21 procesos agrupados en 6 casillas: el grupo de acción de centralización (recuadro rojo), el grupo de secuencia de fluidos (recuadro amarillo), el grupo de graficas tiempo/volumen (recuadro azul), el grupo de graficas de profundidad (recuadro ), el proceso para cálculo de presión para romper la circulación

(recuadro morado) y finalmente el grupo para trabajos de cementos espumados (recuadro naranja)



**Figura 25 Wellplan interface para trabajos de cementación. Fuente propia**

### **1.3 Desarrollo de Diagramas de Flujo**

Al ser comprendido el proceso de planificación evaluación de proyectos de trabajos de cementación, se estableció una modalidad metodológica de proyecto factible lo que conlleva a establecer una propuesta que permita generar el diagrama de flujo que esta investigación requiere. Por tal motivo la propuesta es presentada de forma detallada en el capítulo 6 del presenta trabajo.

Por otra parte, al analizar el diagrama de flujo generado resultó estar compuesto 3 fases: la Fase Pre Job la cual ocurre antes de la finalización de la perforación del hoyo a cementar, la Fase Job que finaliza en el fraguado del cemento y por último la Fase Post Job que da cierre al proyecto de cementación del pozo. Consecuentemente durante estas 3 fases interactúan diferentes actores responsables del trabajo, que a pesar de que se relacionan a través del proyecto integrado sus funciones con independientes, estos son: Compañía operadora/Cliente, Compañía de servicio/Ingeniero de Cementación,

Almacén/Base de Operaciones, Cuadrilla de cementación, Operaciones de Taladro, Laboratorio y Programa Computacional.

En este orden de ideas, se presenta la tabla 3 que contiene el informe de los elementos del diagrama de flujo el cual se presentara en la *propuesta* más adelante.

**Tabla 3. Informe de diagrama de flujo. Fuente propia**

<b>Informe de diagrama de flujo</b>			
	<b>Nombre de patrón</b>	<b>Texto mostrado</b>	<b>Función</b>
	Base de datos	Guardar en Base de Datos	Compañía de Servicio /Ingeniero de Cementación
	Base de datos	Guardar en Base de Datos	Laboratorio
	Base de datos	Guardar en Base de Datos	Programa Computacional
	Base de datos	Guardar en Base de Datos	Compañía de Servicio /Ingeniero de Cementación
	Base de datos	Guardar en Base de Datos	Compañía de Servicio /Ingeniero de Cementación
<b>Recuento</b>	5		
	Datos	Programa de Perforación	Compañía operadora/Cliente
	Datos	Datos	Compañía operadora/Cliente
<b>Recuento</b>	2		
	Decisión	¿Se Tienen los Insumos Necesarios?	Almacén/ Base de Operaciones
	Decisión	¿Se Ganó la Licitación?	Compañía de Servicio /Ingeniero de Cementación
	Decisión	¿Los Datos están Completos?	Compañía de Servicio /Ingeniero de Cementación
	Decisión	¿Cumplen los Requerimientos Solicitados?	Programa Computacional
	Decisión	¿Cumplen los Requerimientos Solicitados?	Laboratorio
	Decisión	¿Es Aprobado el Proyecto?	Compañía operadora/Cliente
	Decisión	¿Se trabaja con Datos Reales?	Compañía operadora/Cliente
	Decisión	¿Se Requiere Evaluación con Registros?	Compañía operadora/Cliente
	Decisión	¿Se Puede Reponer Inventario para el Trabajo?	Almacén/ Base de Operaciones
	Decisión	¿La Licitación se Declara Desierta?	Compañía operadora/Cliente
<b>Recuento</b>	10		
	Documento	Consultar Normas ISO-Cement	Laboratorio
	Documento	Propuesta de Proyecto de Cementación	Compañía de Servicio /Ingeniero de Cementación
	Documento	HOJA DE DATOS PARA LA SIMULACION (HOJA A)	Compañía de Servicio /Ingeniero de Cementación
	Documento	HOJA DE RESULTADOS DE LA SIMULACION (HOJA B)	Compañía de Servicio /Ingeniero de Cementación
	Documento	Post Job	Compañía de Servicio /Ingeniero de Cementación
	Documento	Reporte de Operaciones	Cuadrilla de Cementación

	Documento	Reporte de Laboratorio	Laboratorio
<b>Recuento</b>	7		
	Inicio o finalización	INICIO	Compañía operadora/Cliente
	Inicio o finalización	FIN	Compañía operadora/Cliente
<b>Recuento</b>	2		
	Proceso	Solicitud de Trabajo de Cementación	Compañía operadora/Cliente
	Proceso	Análisis de Requerimientos del Trabajo de Cementación	Compañía de Servicio /Ingeniero de Cementación
	Proceso	Análisis de Inventarios vs Requerimientos	Almacén/ Base de Operaciones
	Proceso	Solicitud de Requerimientos al Almacén	Compañía de Servicio /Ingeniero de Cementación
	Proceso	Solicitud Insumos al Departamento de Compras	Almacén/ Base de Operaciones
	Proceso	Oferta de Licitación	Compañía de Servicio /Ingeniero de Cementación
	Proceso	Análisis y Evaluación de los Datos	Compañía de Servicio /Ingeniero de Cementación
	Proceso	Solicitar Datos	Compañía de Servicio /Ingeniero de Cementación
	Proceso	Diseño de Centralización, Lechadas y Pre-flujos	Compañía de Servicio /Ingeniero de Cementación
	Proceso	Calculo de Volúmenes	Programa Computacional
	Proceso	Diseño de Propuesta de Proyecto	Compañía de Servicio /Ingeniero de Cementación
	Proceso	Diseño de Centralización	Programa Computacional
	Proceso	Análisis de Requerimientos de Lechada y Pre-flujos	Laboratorio
	Proceso	Efectuar Pruebas de Laboratorio	Laboratorio
	Proceso	Análisis de Resultados	Laboratorio
	Proceso	Efectuar Simulaciones Computacionales	Programa Computacional
	Proceso	Enviar Resultados y Solicitar Rediseño	Laboratorio
	Proceso	Enviar Resultados y Solicitar Rediseño	Programa Computacional
	Proceso	Evaluación de Resultados y Rediseño	Compañía de Servicio /Ingeniero de Cementación
	Proceso	Revisión y Evaluación del Proyecto	Compañía operadora/Cliente
	Proceso	Solicitud de Rediseño	Compañía operadora/Cliente
	Proceso	Solicitar Datos Reales del Hoyo	Compañía operadora/Cliente
	Proceso	Recolección de Datos del Hoyo	Operación de Taladro
	Proceso	Envío de Datos Reales del Hoyo	Operación de Taladro
	Proceso	Envío del Diseño de la Sarta de Revestimiento del Proyecto	Compañía operadora/Cliente
	Proceso	Armado y Posicionamiento en el Hoyo de la Sarta de Revestimiento	Operación de Taladro
	Proceso	Solicitud de Envío de Cuadrilla	Operación de Taladro
	Proceso	Inicio de Fase Operacional del Proyecto Cementación	Compañía de Servicio /Ingeniero de Cementación
	Proceso	Preparación de Equipos, Herramientas e Insumos	Almacén/ Base de Operaciones
	Proceso	Pre-mezclado de Aditivos, Cementos y Pre-Flujos	Almacén/ Base de Operaciones

	Proceso	Orden de Salida de La Cuadrilla de Cementación	Compañía de Servicio /Ingeniero de Cementación
	Proceso	Salida de Equipos, Personal e Insumos de la Base de Operaciones	Almacén/ Base de Operaciones
	Proceso	Llegada y Recepción del Pozo	Cuadrilla de Cementación
	Proceso	Instalación de Equipos y Herramientas	Cuadrilla de Cementación
	Proceso	Mezcla y Bombeo de la Lechada y Pre-flujos	Cuadrilla de Cementación
	Proceso	Movimientos del Revestidor y Fin de Bombeo de la Lechada.	Cuadrilla de Cementación
	Proceso	Desinstalación y Limpieza de Equipos y Herramientas	Cuadrilla de Cementación
	Proceso	Fin de Tiempo de Fraguado	Cuadrilla de Cementación
	Proceso	Entrega y Salida del Pozo	Cuadrilla de Cementación
	Proceso	Envío de Notificación de Recepción de Pozo	Operación de Taladro
	Proceso	Llegada a la Base de Operaciones	Cuadrilla de Cementación
	Proceso	Resguardo de Herramientas, Equipos e Insumos Sobrantes	Almacén/ Base de Operaciones
	Proceso	Aviso de llegada a Base de la Cuadrilla de Cementación	Almacén/ Base de Operaciones
	Proceso	Cierre de Fase Operacional del Proyecto de Cementación	Compañía de Servicio /Ingeniero de Cementación
	Proceso	Envío de Notificación de Entrega de Pozo	Operación de Taladro
	Proceso	Notificación de Inicio de Trabajo de Cementación en el Pozo	Compañía operadora/Cliente
	Proceso	Notificación de Fin de Trabajo de Cementación en el Pozo	Compañía operadora/Cliente
	Proceso	Actualización de Inventario	Almacén/ Base de Operaciones
	Proceso	Reporte Final Post Job	Compañía de Servicio /Ingeniero de Cementación
	Proceso	Recepción y Análisis Reporte Post Job	Compañía operadora/Cliente
	Proceso	Solicitar Trabajo de Evaluación con Registros Especiales	Compañía operadora/Cliente
	Proceso	Evaluación Final del Proyecto de Cementación	Compañía operadora/Cliente
	Proceso	Autorización de Envío de Cuadrilla	Compañía operadora/Cliente
	Proceso	Enviar Notificación de Inicio de Trabajo de Cementación	Compañía de Servicio /Ingeniero de Cementación
	Proceso	Notificación de llegada de cuadrilla	Compañía operadora/Cliente
	Proceso	Autorización de Mezclado y Bombeo de Lechada	Compañía de Servicio /Ingeniero de Cementación
	Proceso	Compras convoca la licitación del trabajo	Compañía operadora/Cliente
	Proceso	Acondicionamiento y Limpieza del Hoyo	Operación de Taladro
	Proceso	Comisión de licitación evalúa las ofertas	Compañía operadora/Cliente
	Proceso	Charla de seguridad y prueba líneas de bombeo	Cuadrilla de Cementación
	<b>Recuento</b>	60	
	<b>Total</b>	<b>86</b>	

En este cuadro puede apreciarse que el Diagrama posee un total de 86 elementos, los cuales se agrupan en: 5 elementos tipo Base de Datos, 2 elementos tipo

Datos, 10 elementos tipo Decisión, 7 elementos tipo Documento, 60 elementos tipo Procesos, un inicio y un fin

### 1.4 Elaboración de hojas de resultados

Luego de desarrollarse la metodología objetivo de este trabajo, se elaboraron en base a los resultados arrojados por la misma los siguientes formatos:

#### Hoja de datos de entrada para programas computacionales “HOJA A”

El presente formato presenta en la figura 26 agrupa los elementos necesarios para efectuar la carga de datos mínima requerida por los programas computacionales estudiados, el orden de los elementos fue diseñado para poder satisfacer las peticiones de llenado de ambos software y a su vez también agrupar la mayor cantidad de elementos que se encuentran en una propuesta de proyecto de cementación, tomando en cuenta que cada cliente tiene necesidades y requerimientos diferentes a la hora de diseñar una propuesta física (documento). El formato en tamaño real se puede detallar en el Apéndice A.

HOJA A MET-CEM EIPUCV									
Hoja de Datos de Entrada Para Programas Computacionales									
Cliente:	País:	Campo:	Pozo:						
Responsable:	Estado:	Taladro:							
Correo:	Teléfono:								
Tipo de pozo:	Fluido del Pozo:	Tipo de Trabajo:			Retorno a:				
On-Shore	Petróleo	Superficial	Dos Etapas	Piso taladro					
Off-Shore	Gas	Intermedio	Tres Etapas	Lecho Marino					
Sub-Marino	Agua	Producción	Liner						
Marino	Otro	Submarino	Tie-Back						
Consideraciones Especiales del Pozo									
Medidas de profundidades									
Altura de Taladro Al Nivel Del Mar:	Ft			Información de Revestimiento Anterior					
Altura del Suelo Al Nivel del Mar:	Ft			Liner			No Aplica		
Andaje del Liner:	Ft			Revestidor					
Cabezal submarino:	Ft			Diámetro			Peso		
Collar de Éstapa:	Ft			OD [in.]			Grado		
Cuello Flotador	Ft			Topo [Ft]			Base [Ft]		
Zapata:	Ft								
Información del Próximo Revestimiento									
Revestidor	Liner	Diámetro		Peso		Tipo de			
Long. de Tubería	Ft	OD [in.]		[Lbm/Ft]		Rosca		Topo [Ft]	
Bolsillo	Ft							Base [Ft]	
Zapata									
Collar de Éstapa									
Cuello Flotador									
Descripción de la Formación									
Profundidad [FT]	Nombre de la Formación	Presión de Fractura [Psi]	Presión de Poro [Psi]	Litología de la Formación	Fluido de la Formación	Rápida Si o NO			
Datos de Fractura									
MD [FT]	Fractura [psi]	Fractura [psi/ft]	Fractura [log]	Poros [psi]	Poros [psi/ft]	Poros [log]			
Información del Fluido de Perforación									
Tipo de Fluido									
Base Agua	Polimérico	Otro:	p	Log M. REOLOGICO					
Base Aceite	[Salmuera]		PV	cp					
			Ty	lb/100 n K					
Sistema de lechada									
Tipo de Lechada	Rendimiento [Rt/sus]	Requerimiento [gal/sus]	Máximo Fluido Libre [ml/250ml]	Resistencia a la compresión [psi]	Topo de la lechada	Tiempo de fraguado [Hr]			
Llenado 1									
Llenado 2									
Cola									
Número de taponos Inferiores	Lavador		Espaciador						
Superiores	Tipo: Volumen: bbl		Tipo: Volumen: bbl						
Movimiento del Revestidor: Reciprocarse <input type="checkbox"/> Rotar <input type="checkbox"/> Ejevo <input type="checkbox"/> %									
Información del hoyo									
Topo [Ft]	Base [Ft]	Caliper	TVD [Ft]	Angulo de desviación [°]	Rango de desviación [°/100 Ft]	Acimut [°]	Rango Acimut [°/100 Ft]		
		Volumen [bbl]							
Secuencia de Fluidos									
Fluido	Volumen [bbl]	wt log [Rt]	Densidad [log]	Viscosidad [cP]	ty[10 <sup>3</sup> 100*2]	Tasa [bbl/min]			
Tamaño de mecha	in.		BHST		Secuencia de lodo [bbl/bbl/min]				
Temp. Superficie	°F		BHCT						
Especificaciones de Centralizadores									
Tipo de centralizadores: Flexibles <input type="checkbox"/> Rígidos <input type="checkbox"/> Sólidos <input type="checkbox"/> Sin Especificar <input type="checkbox"/>									
Modelo:									
Notas:									

**Figura 26 Hoja de datos de entrada para el simulador “Hoja A” fuente propia  
Hoja de datos de Salida para programas computacionales “HOJA B”**

Este formato expuesto en las figuras 27 y 28, recopila las respuestas a las simulaciones efectuadas por los programas computacionales, consecutivamente su orden de elementos fue diseñado para arrojar los resultados según el orden que mayormente son expuestos los elementos en los proyectos de cementación, Cabe destacar que todo cliente tiene preferencias diferentes a la hora de solicitar la propuesta física (Documento) del proyecto de cementación, pero el formato agrupa los elementos necesarios para la propuesta de proyecto.

The image shows a two-page document titled "MET-CEM ESPICV 'HOJA B'" and "Hoja de Datos de Salida Para Programas Computacionales".

**Page 1 (Left):**

- Client Information:** Client, Country, Well, State, Driller, Responsible, Phone, Email.
- Well Information:** Configuration (Casing, Liner), Stages (Simple, On Shore, Off shore), Type.
- Well Elements Table:**

Elemento	Prof. (P)	Diametro OD (in.)	Peso (Lbm/ft)
Rev. Friso			
tuberia 1			
tuberia 2			
tuberia 3			
Cuello flotador			
Zapata			
Port. total			
- Well Diagram:** Size of plug, Nominal diameter of hole, Base in the annulus, Equivalent diameter of hole, Total volume of hole.
- Centralization Table:**

N° de Centralizador	N° de juntas	Prof. De Centralizador (P)	STANDOFF PROMEDIO		Codigo de Centralizador	Modelo de Centralizador
			Posicion del Centralizador en la Junta (P)	%		

**Page 2 (Right):**

- A large grid for data entry, with a header row and approximately 20 rows.
- A large empty rectangular box at the bottom, labeled "StandOff (%) vs Prof (P)".

**Figura 27 Hoja de datos de salida para programas computacionales “Hoja B”  
páginas 1 y 2. Fuente propia.**

**Figura 28 Hoja de datos de salida para programas computacionales “Hoja B” páginas 3 y 4. Fuente propia**

El formato de la hoja B se exhibe en el Apéndice B.

### **1.5 Prueba de la metodología**

La prueba de la metodología se centró en la simulación de un trabajo de cementación por parte del investigador, y en una evaluación de expertos de los procesos descritos en la *propuesta*.

Se presenta los siguientes datos reales proporcionados por las compañías de servicio los cuales por política empresarial se reservan el derecho a publicación, es decir la información cobra carácter confidencial, en tal sentido ocultara la información de identificación del cliente y así no afectar dinámica de evaluación, estos datos son expuestos en las figuras 29 y 30.

**HOJA 1 MET-CEM EIPUCV**  
**Hoja de Datos de Entrada Para Programas Computacionales**

Cliente:	XXXXXX	Campo:	XXXXXX	Pozo:	XXXX
País:	XXXXXX	Estado:	XXXXXX	Taladro:	XXXXXX
Responsable	Crisostomo Melgarejo		Teléfono:	+584243497729	
Correo	crisostomomelgarejo@gmail				
Tipo de pozo	Fluido del Pozo	Tipo de Trabajo:		Retorno a:	
On-Shore	x Petróleo	x Superficial		Dos Etapas	Piso taladro
Off-Shore	Gas	Intermedio	x	Tres Etapas	Lecho Marino
Sub-Marino	Agua	Producción		Liner	
Marino	Otro	Submarino		Tie-Back	

Consideraciones Especiales del Pozo					

Medidas de profundidades			Información de Revestimiento Anterior			
Altura de Taladro Al Nivel Del Mar:	33	Ft	Liner		No Aplica	
Altura del Suelo Al Nivel del Mar:	10	Ft	Revestidor	X		
Anclaje del Liner:		Ft	Diámetro OD [In.]	Peso [Lbm/Ft]	Grado	Tope [Ft]
Cabezal submarino:		Ft	20	94	j-55	0
Collar de Etapa:		Ft				998
Cuello Flotador	5923	Ft				
Zapata:	6003	Ft				

Información del Próximo Revestimiento						
Revestidor	Liner		Diámetro OD [In.]	Peso [Lbm/Ft]	Grado	Tipo de Rosca
Long. de Tubería	6003	Ft	13 3/8	68	N-80	BTC
Bolsillo	1	Ft	13 3/8	72	N-80	BTC
Zapata			13 3/8	72	N-80	BTC
Collar de Etapa						
Cuello Flotador			13 3/8	68	N8-80	BTC
						5958
						6002
						6003

Descripción de la Formación						
Profundidad [FT]	Nombre de la Formación	Presión de Fractura [Psi]	Presión de Poro [Psi]	Litología de la Formación	Fluido de la Formación	Rápida Si o NO

Datos de Fractura						
MD [FT]	Fractura [psi]	Fractura [psi/ft]	Fractura [lpg]	Poros [psi]	Poros [psi/ft]	Poros [lpg]
6005	5584,65	0,93	17,9	2852	0,43	8,28

**Figura 29 Hoja A con los datos reales propocinados por las compañías de servicio página 1. Fuente propia**

Información del Fluido de Perforación							
Tipo de Fluido				$\rho$	9,6	Lpg M. REOLOGICO BINGHAM	
Base Agua	X	Polimérico	Otro:	PV	25	cp n	
Base Aceite		Salmuera		Ty	22	Lbf/100 ft K Lbf-sec <sup>n</sup> /FT <sup>n2</sup>	
Sistema de lechada							
Tipo de Lechada	Rendimiento [ft/sxs]	Requerimiento [gal/sxs]	Máximo Fluido Libre (mL/250mL)	Resistencia a la compresión (psi)	Tope de la lechada	Tiempo de fraguado (Hr)	
Llenado 1	1,72	8,95	0		998	7:00	
Llenado 2							
Cola	1,18	5,259	0		4500	5,24	
Número de taponos		Lavador		Espaciador			
Inferiores		Tipo:		Tipo: Agua			
Superiores	1	Volumen: bbl		Volumen: 50 bbl			
Movimiento del Revestidor:				Reciprocador	x	Rotar	x
				Exeso	0	%	
Información del hoyo							
Tope [Ft]	Base [Ft]	Caliper Volumen [bbl]	TVD [Ft]	Angulo de desviación [°]	Rango de desviación [°/100 ft]	Azimut [°]	Rango Azimut [°/100 ft]
0	6004			3	0,05	15	0,25
Secuencia de Fluidos							
Fluido	Volumen [bbl]	alt log [ft]	Densidad [lpg]	Viscosidad [cP]	ty[lbf100ft <sup>n2</sup> ]	Fasa [bbl/min]	
Agua	50	275,5	8,32	1		5	
L. llenado	317,6	3502	13,6	29,854	18,5	5	
L. cola	147,9	1500	15,6	38,233	21,58	5	
lodo	883,2		9,6	25	20	5	
Tamaño de mecha 16 1/2 in.		BHST 180 °F	Secuencia de lodo [bbl;tasa]				
Temp. Superficie 60 °F		BHCT 130 °F	30@5 ,700@8, 120@6, 40@4, 23@2				
Especificaciones de Centralizadores							
Tipo de centralizadores	Flexibles	x	Rigidos	Solidos	Sin Especificar		
Modelo: MEGOAFLEK 13 3/8							
Notas:							

2/2

Figura 30 Hoja A con los datos reales propocinados por las compañías de servicio página 2. Fuente propia

Los resultados arrojados por la simulacion son presentados acontinuacion en el formato de hoja B plasmada de la figura 31 hasta la 34.

**MET-CEM EIPUCV "HOJA B"**  
**Hoja de Datos de Salida Para Programas Computacionales**

Cliete:	XXXXXX	Campo:	XXXXX	Pozo:	XXXXX
País:	XXXXXX	Estado:	XXXXX	Taladro:	XXXXX
Responsable	Crisostomo Melgarejo		Teléfono:	+584243497729	
Correo	crisostomomelgarejo@gmail.com				

**Información del Pozo**

<p align="center">Diagrama general del pozo</p>	Configuración		Etapas		Tipo	
	Casing	x	Simple	x	On Shore	x
	Liner		Dos		Off shore	
			Tres			
Elemento	Prof. [Ft]	Diámetro OD [In.]	Peso [Lbm/Ft]			
Rev. Previo	998	20	94			
tubería 1	4000	13 3/8	68			
tubería 2	6003	13 3/8	72			
tubería 3						
Cuello flotador	5923					
Zapata	6003	BHST	180	°F		
Porf. total	6004	BHCT	130	°F		
Tamaño de mecha			17 1/2	in		
Diámetro nominal del hoyo			16 1/2	in		
Exeso en el anular			0	%		
Diámetro equivalente del hoyo			16 1/2	in		
Volumen total del Hoyo			1324	bbl		

Datos suministrados por el Cliente

**Centralización**

N° de Centralizador	N° de juntas	Prof. DE Centralizador desde el fondo [Ft]	Posicion del Centralizador en la Junta [Ft];[Fraccion]		Codigo de Centralizador	Modelo de Centralizador
1	2,29	91,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
2	3	211,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
3	3	331,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
4	3	451,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
5	3	571,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
6	3	691,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
7	3	811,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
8	3	931,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
9	3	1051,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
10	3	1171,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
11	3	1291,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
12	3	1411,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
13	3	1531,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"

**Figura 31 Resultados de la simulación en formato hoja B página 1.**

Fuente propia

14	3	1651,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
15	3	1771,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
16	3	1891,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
17	3	2011,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
18	3	2131,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
19	3	2251,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
20	3	2371,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
21	3	2491,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
22	3	2611,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
23	3	2731,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
24	3	2851,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
25	3	2971,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
26	3	3091,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
27	3	3211,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
28	3	3331,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
29	3	3451,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
30	3	3571,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
31	3	3691,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
32	3	3811,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
33	3	3931,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
34	3	4051,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
35	3	4171,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
36	3	4291,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
37	3	4411,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
38	3	4531,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
39	3	4651,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
40	3	4771,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
41	3	4891,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
42	3	5011,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"
43	1	5031,7	20	0,50		Megafek 13 3/8"

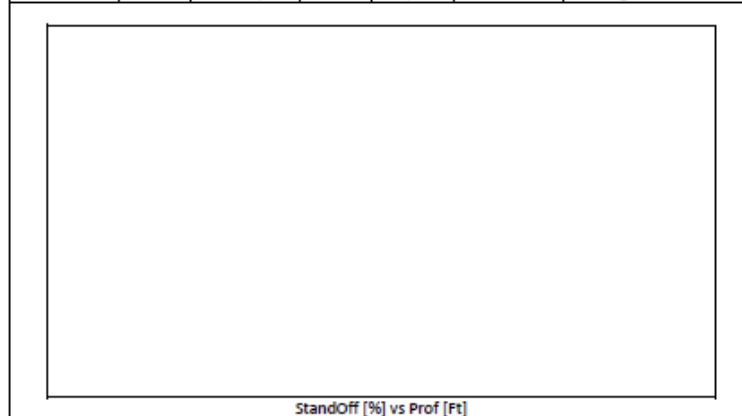


Figura 32 Resultados de la simulación en formato hoja B página 2.

Fuente propia

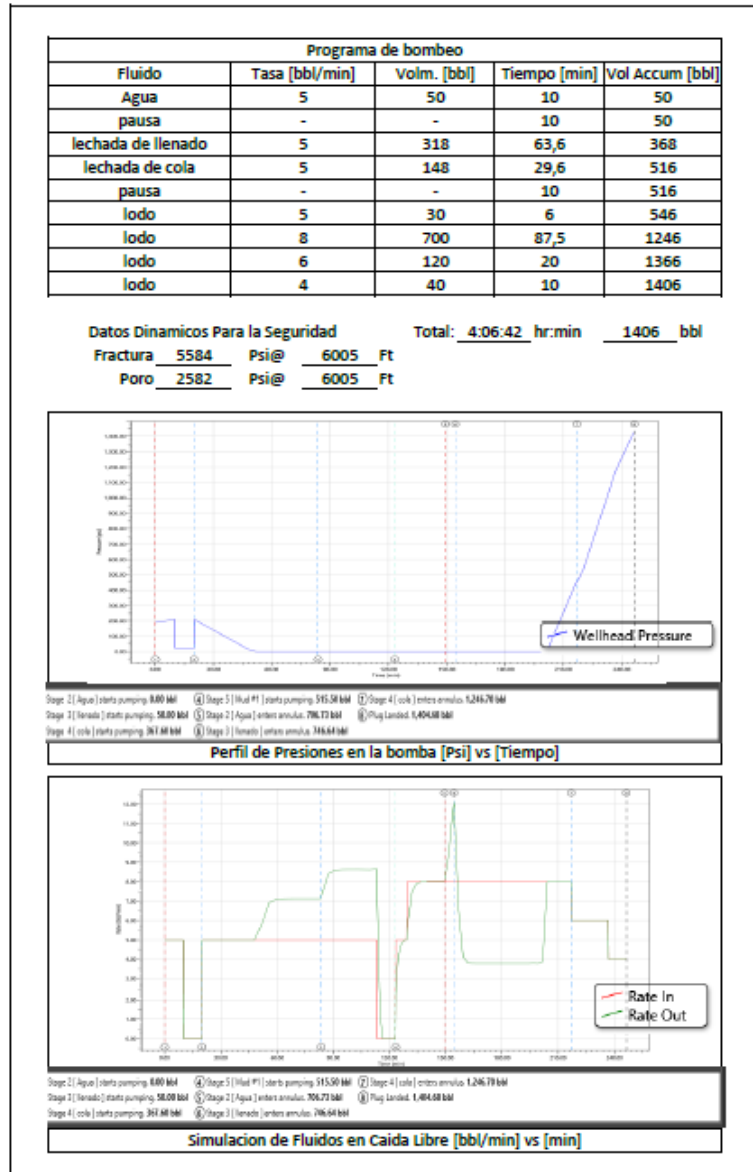


Figura 33 Resultados de la simulación en formato hoja B página 3.

Fuente propia



Se realizó una consulta que conllevó a la evaluación de la metodología por expertos en el área de cementación, a través de la matriz de evaluación expuesta en el capítulo anterior la cual arrojó los siguientes resultados:

1. Evaluación de Lic. Franca Gambino, Licenciatura en química con post-grado de geofísica, 12 Años de experiencia en PDVSA Intevep en cementación de pozos petroleros.

**MATRIZ DE EVALUACIÓN MET-CEM DIAGRAMA**

A continuación, usted encontrará una serie de criterios relacionados con el tema, califique cada uno de ellos de acuerdo a la siguiente escala de estimación:

1. Muy en desacuerdo
2. En desacuerdo
3. Ni en desacuerdo, ni de acuerdo.
4. De acuerdo
5. Muy de acuerdo

	1	2	3	4	5
1. La estructura metodológica permite identificar claramente cada acción					●
2. La cantidad de fases (pre Job, Job, post Job) involucradas en la metodología son suficientemente representativas	1	2	3	4	5
3. Las fases involucradas abarcan todos los aspectos relacionados con el trabajo a realizar en el proyecto para la cementación de pozos petroleros	1	2	3	4	5
4. Los actores identificados en la metodología abarcan todas las actividades relacionadas con ésta.	1	2	3	4	5
5. El uso de esta metodología hará más eficaz el proceso de diseño y ejecución de un trabajo de cementación de pozos petroleros	1	2	3	4	5
6. Mediante el uso de esta técnica será posible mitigar el riesgo de fallas en los trabajos de cementación de pozos petroleros	1	2	3	4	5
7. La cantidad de documentos que involucra la metodología son suficientes para la ejecución de un proyecto de cementación de pozos petroleros	1	2	3	4	5
8. los procesos involucrados en la metodología son suficientes para la ejecución de un proyecto de cementación de pozos petroleros	1	2	3	4	5
9. Los procesos involucrados que contempla la metodología son suficientemente explícitos como para ser entendidos sin dificultad por cualquier persona dedicada al estudio del área de cementación (Estudiantes de ingeniería, ingeniero, científico, proyectista, entre otros)	1	2	3	4	5
10. La desconsideración del sistema de seguridad de esta metodología no es relevante para el desarrollo y ejecución de la misma	1	2	3	4	5

Si lo desea puede añadir algún punto u observación importante y que no fue tomado en consideración al momento de diseñar esta metodología: □

---



---



---



---

**Figura 35 Matriz de evaluación de experto 1. Fuente propia**

2. Evaluación de Ing. Juan Gonzales, ingeniero de petróleo, 12 años de experiencia en la industria actualmente desempeña el cargo de *Geomarket product service manager* de la compañía Schlumberger Venezuela.

**MATRIZ DE EVALUACIÓN MET-CEM DIAGRAMA**

A continuación, usted encontrará una serie de criterios relacionados con el tema, califique cada uno de ellos de acuerdo a la siguiente escala de estimación:

1. Muy en desacuerdo
2. En desacuerdo
3. Ni en desacuerdo, ni de acuerdo.
4. De acuerdo
5. Muy de acuerdo

	1	2	3	4	5
1. La estructura metodológica permite identificar claramente cada acción					●
2. La cantidad de fases (Pre-Job, Job, Post-Job) involucradas en la metodología son suficientemente representativas	1	2	3	4	5
3. Las fases involucradas abarcan todos los aspectos relacionados con el trabajo a realizar en el proyecto para la cementación de pozos petroleros				●	
4. Los actores identificados en la metodología abarcan todas las actividades relacionadas con ésta.	1	2	3	4	5
5. El uso de esta metodología hará más eficaz el proceso de diseño y ejecución de un trabajo de cementación de pozos petroleros				●	
6. Mediante el uso de esta técnica será posible mitigar el riesgo de fallas en los trabajos de cementación de pozos petroleros	1	2	3	4	5
7. La cantidad de documentos que involucra la metodología son suficientes para la ejecución de un proyecto de cementación de pozos petroleros				●	
8. los procesos involucrados en la metodología son suficientes para la ejecución de un proyecto de cementación de pozos petroleros	1	2	3	4	5
9. Los procesos involucrados que contempla la metodología son suficientemente explícitos como para ser entendidos sin dificultad por cualquier persona dedicada al estudio del área de cementación (Estudiantes de ingeniería, ingeniero, científico, proyectista, entre otros)				●	
10. La desconsideración del sistema de seguridad de esta metodología no es relevante para el desarrollo y ejecución de la misma	1	2	3	4	5
				●	

Si lo desea puede añadir algún punto u observación importante y que no fue tomado en consideración al momento de diseñar esta metodología:

Sin comentarios que agregar

---



---



---



---

**Figura 36 Matriz de evaluación de experto 2. Fuente propia**

3. Evaluación de Ing. Adriana Zambrano, ingeniero en petróleo, 23 años de experiencia actualmente Asesor mayor de planificación estratégica de la compañía PDVSA

MATRIZ DE EVALUACIÓN MET-CEM DIAGRAMA

A continuación, usted encontrará una serie de criterios relacionados con el tema, califique cada uno de ellos de acuerdo a la siguiente escala de estimación:

1. Muy en desacuerdo
2. En desacuerdo
3. Ni en desacuerdo, ni de acuerdo.
4. De acuerdo
5. Muy de acuerdo

	1	2	3	4	5
1. La estructura metodológica permite identificar claramente cada acción					●
2. La cantidad de fases (pre Job, Job, post Job) involucradas en la metodología son suficientemente representativas	1	2	3	4	5
3. Las fases involucradas abarcan todos los aspectos relacionados con el trabajo a realizar en el proyecto para la cementación de pozos petroleros	1	2	3	4	5
4. Los actores identificados en la metodología abarcan todas las actividades relacionadas con ésta.	1	2	3	4	5
5. El uso de esta metodología hará más eficaz el proceso de diseño y ejecución de un trabajo de cementación de pozos petroleros	1	2	3	4	5
6. Mediante el uso de esta técnica será posible mitigar el riesgo de fallas en los trabajos de cementación de pozos petroleros	1	2	3	4	5
7. La cantidad de documentos que involucra la metodología son suficientes para la ejecución de un proyecto de cementación de pozos petroleros	1	2	3	4	5
8. los procesos involucrados en la metodología son suficientes para la ejecución de un proyecto de cementación de pozos petroleros	1	2	3	4	5
9. Los procesos involucrados que contempla la metodología son suficientemente explícitos como para ser entendidos sin dificultad por cualquier persona dedicada al estudio del área de cementación (Estudiantes de ingeniería, ingeniero, científico, proyectista, entre otros)	1	2	3	4	5
10. La desconsideración del sistema de seguridad de esta metodología no es relevante para el desarrollo y ejecución de la misma	1	2	3	4	5

Si lo desea puede añadir algún punto u observación importante y que no fue tomado en consideración al momento de diseñar esta metodología:

---



---



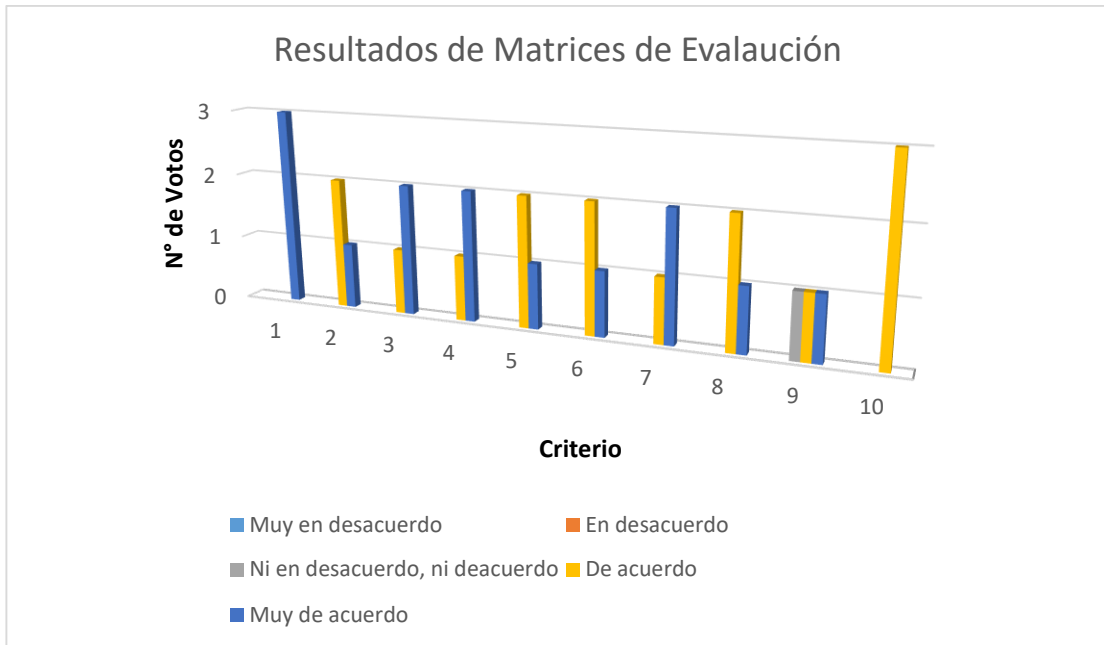
---



---

**Figura 37 Matriz de evaluación de experto 3. Fuente propia.**

De las figuras 35, 36 y 37, amparándose en los criterios de la matriz evaluadora se presentan la siguiente grafica que presenta el análisis de la prueba de la metodología.



**Figura 38 Grafico de resultados de las matrices evaluación de la Metodología.  
Fuente Propia**

Podemos concluir por medio del análisis de los criterios que la metodología con base en los resultados de las matrices de evaluación agrupados en la Figura 38 que:

- Posee una estructura clara.
- Las fases seleccionadas son suficientemente representativas y abarcan toda la dinámica de los procesos de cementación.
- Los actores seleccionados abarcan todos los procesos de un proyecto de cementación
- El uso de esta metodología hará más eficiente el diseño y ejecución de un trabajo de cementación primaria de pozos y reducirá el riesgo de fallas en dichos trabajos
- La cantidad de documentos y de procesos descritos son suficientes para la ejecución de un trabajo de cementación de pozos petroleros.
- Los procesos son explícitos para entender su naturaleza por individuos con conocimientos básicos que involucren el área de cementación.

- La desconsideración de los sistemas y procesos exhaustivos de seguridad no es limitante para el desarrollo de la misma.

### 1.6 Prueba de compatibilidad con simuladores

En las siguientes figuras se presentan los resultados de la evaluación de compatibilidad entre los datos solicitados por el software WellPlan® y la hoja A que contiene los datos de entrada que se esperan ingresar. Sucesivamente, se realiza una evaluación similar con la hoja B.

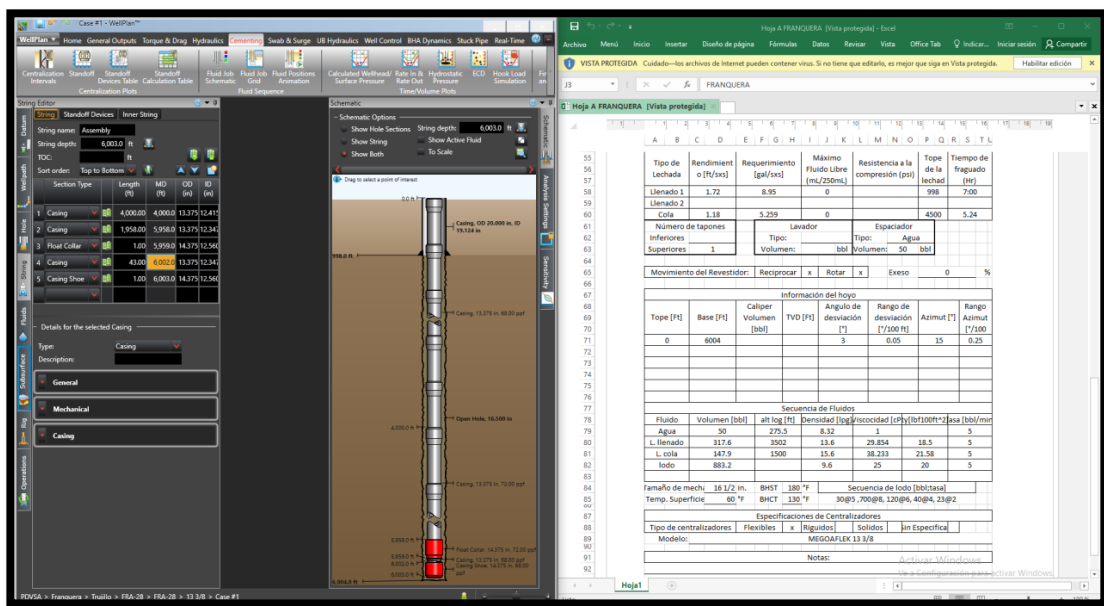
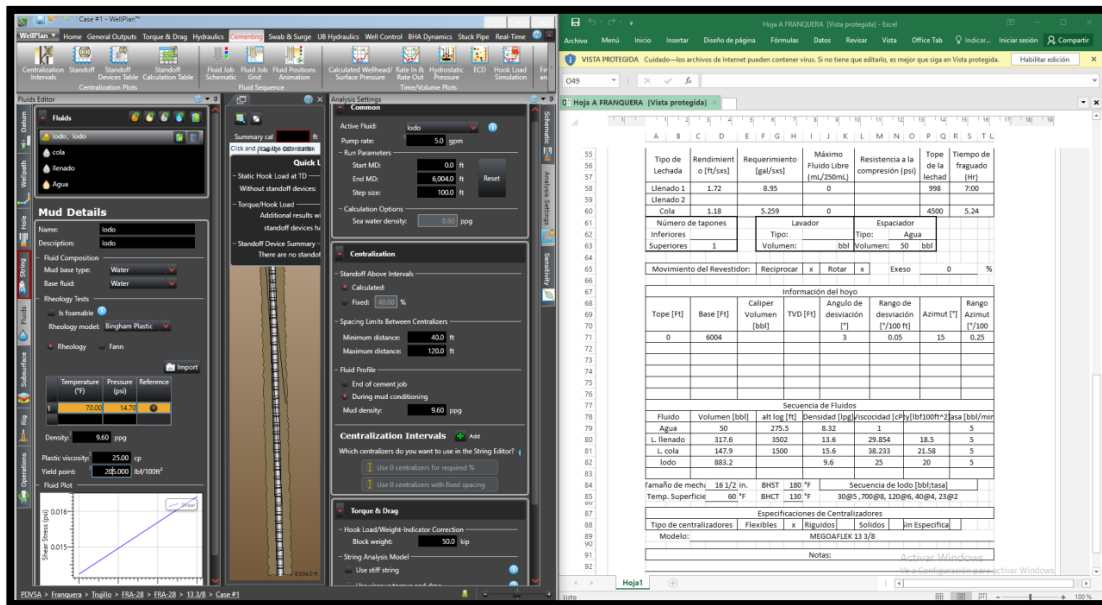


Figura 39 Interacción del simulador en la carga de datos. Fuente propia



**Figura 40 Interacción del simulador en la carga de datos. Fuente propia.**

Mediante la matriz expuesta en la figura 41 se expresan resultados de 3 interacciones de 3 grupos de datos distintos, se tomo en consideracion de criterios de acuerdo a la compatibilidad entre las hojas A y B, y el software WellPlan a interes de la investigacion en una unica hoja.

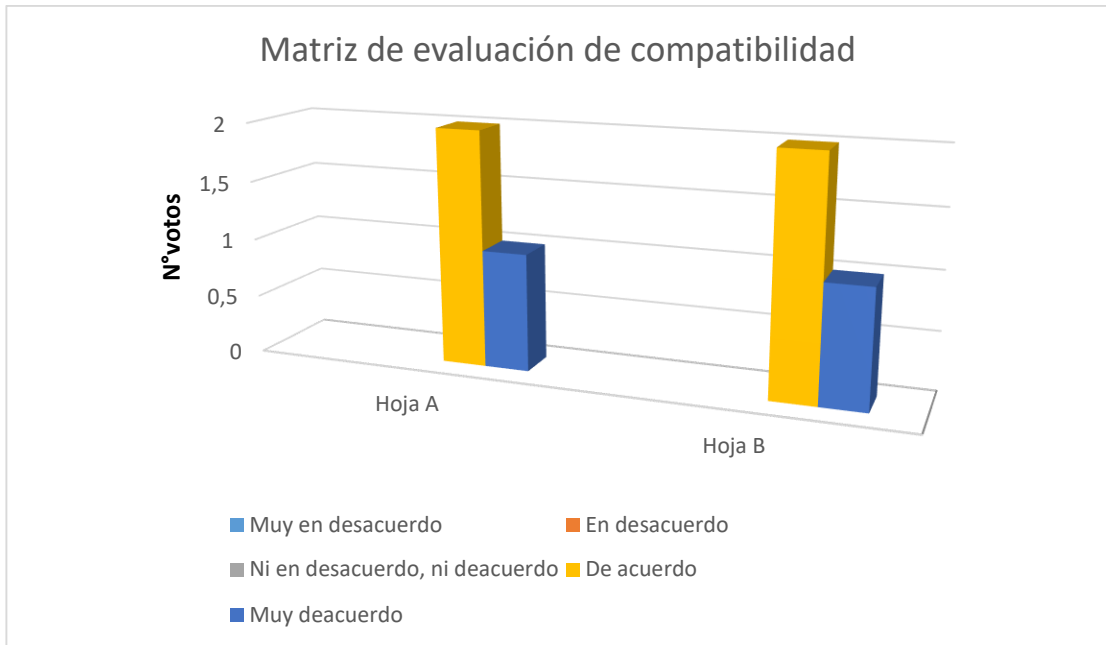
**MATRIZ DE EVALUACION DE MET-CET COMPATIBILIDAD DE HOJAS A Y B**

A continuación, usted encontrará una serie de criterios relacionados con el tema, califique cada uno de ellos de acuerdo a la siguiente escala de estimación:

1. Muy en desacuerdo
2. En desacuerdo
3. Ni en desacuerdo, ni de acuerdo.
4. De acuerdo
5. Muy de acuerdo

HOJA A					
1. Los datos de la HOJA A son suficientes para realizar simulaciones con los Programas computacionales	1	2	3	4	5
2. Es armónico el orden en el que se presentan los datos para para ingresarlos en los programas computacionales	1	2	3	4	5
3. Los requerimientos de la hoja son entendible claramente para su llenado	1	2	3	4	5
HOJA B					
4. Los datos de la HOJA B se consideran resultados eficaces para realizar el proyecto de cementación.	1	2	3	4	5
5. Los requerimientos de la hoja son entendible claramente para su llenado	1	2	3	4	5
6. El orden del documento a la hora examinar y comprender los resultados es netamente funcional.	1	2	3	4	5

**Figura 41 Matriz de evaluación de compatibilidad. Fuente propia**



**Figura 42 Grafico de resultados de la matriz evaluación de compatibilidad.  
Fuente propia**

Finalmente, en la figura 42 se muestra la frecuencia absoluta de la escala de estimación la cual indica que se está de acuerdo con los criterios planteados para la hoja A y B.

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **Conclusiones**

1. El programa computacional Wellplan<sup>®</sup> aportado por la compañía Halliburton a la Universidad Central de Venezuela es una herramienta integral para establecer la planificación de la construcción de un pozo petrolero en todas sus etapas, por lo tanto, es funcional para la planificación y evaluación de un proceso de cementación. De la misma manera, el programa Cementics<sup>®</sup> de la compañía Schlumberger resulto eficaz para el desarrollo de esta metodología.
2. El diagrama de flujo resulto ser la mejor herramienta para el desarrollo de la metodología integral, ya que a través de la misma se pudo abarcar todos los procesos respectivos a un proyecto de cementación primaria de pozos petroleros.
3. Los formatos para la incorporación de datos y recolección de resultados de los programas computacionales fueron elaborados en base a las interacciones satisfactorias de los programas comerciales e investigaciones enfocadas a proyectos de cementación primaria de pozos petroleros. Por otra parte, estos formatos son funcionales para la elaboración de una propuesta de proyecto.
4. En base a la evaluación objetiva de profesionales expertos en proyectos de servicios de cementación, en metodologías de procesos de cementación primaria y catedráticos de ingeniería de perforación, a través de una matriz de criterios, la metodología resultó ser eficiente en cuanto a la descripción de los procesos para la cementación primaria y eficaz con respecto a la planificación, ejecución y evaluación de proyectos de cementación de pozos petroleros avalando lo integral de la herramienta.
5. Existe compatibilidad entre el formato contentivo de los datos a ingresar en los programas computacionales y el programa comercial WellPlan<sup>®</sup>, al igual que el formato de resultados.

## **Recomendaciones**

1. Automatizar esta herramienta metodológica mediante un programa comunicacional el cual, conduzca efectivamente a través de los diversos procesos que contiene y así verse integrada la planificación y diseño del trabajo en una sola plataforma.
2. Incentivar la creación de más herramientas de este tipo para diversos trabajos que existan dentro de los procesos de la industria petrolera, y así contar con una herramienta de optimización de procesos.
3. Realizar metodologías de esta misma naturaleza que abarquen trabajos de cementación secundaria tanto remediales como por trabajos específicos de producción y así enriquecer más el área de estudio de la cementación de pozos
4. Realizar una herramienta metodología similar que abarque en mayor grado el área de procesos de seguridad de trabajos de cementación, donde cobran mayor importancia los altos riesgos operacionales o en localidades especiales como lo son los trabajos Off-shore, perforaciones de áreas templadas, entre otras.
5. Se propone la descripción mediante una herramienta metodológica del proceso de evaluación del trabajo de cementación puesto a esta tiene una dinámica de trabajo y actores diferentes y así aglomerar el ultimo ramal del área de cementación de pozos petroleros.
6. Hacer una corrida de la metodología con todos los actores involucrados para realizar un trabajo de cementación primaria y así evaluar con experiencia real la factibilidad de la herramienta metodológica.

## **CAPITULO VI**

### **LA PROPUESTA**

#### **Situación a Centralizar**

Un diagrama de flujo representa la esquematización gráfica de procesos a seguir para alcanzar la solución de un problema. Estos diagramas requieren una correcta construcción, ya que a partir de ellos se genera la dinámica de cualquier proceso.

De la misma manera, los diagramas facilitan la forma de representar visualmente el flujo de datos por medio de un sistema de tratamiento de información para el análisis de procesos que conllevan a alcanzar un objetivo.

En este orden de ideas, el diseño de la herramienta metodológica integral objeto de esta investigación requiere de un instrumento que esquematice los procesos de planificación y evaluación de proyectos de cementación de pozos petroleros. En tal sentido, y de acuerdo a la modalidad de proyectos factibles se propone la *Generación de un diagrama de flujo para la descripción de una metodología integral para la cementación de pozos petroleros.*

#### **Objetivos de la propuesta**

##### ***Objetivo general***

Generar diagrama de Flujo para la descripción de una metodología integral para la cementación de pozos petroleros

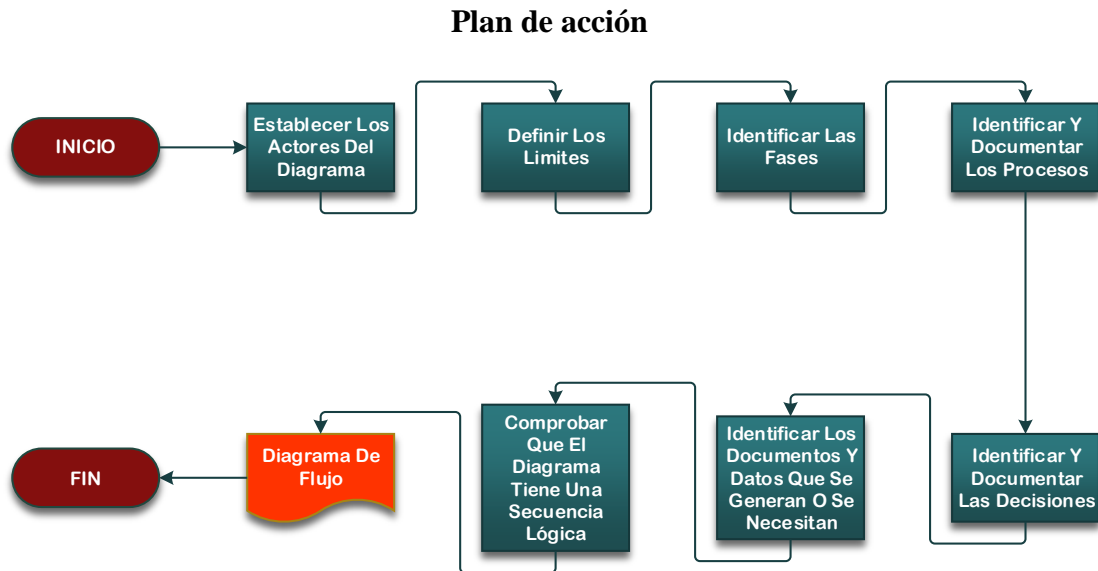
##### ***Objetivos específicos***

- Diagnosticar las facilidades y limitaciones para la creación del diagrama de flujo.
- Establecer un plan de acción para la elaboración del diagrama de flujo que describe la metodología.
- Ejecutar las actividades programadas en el plan de acción establecido.

### Matriz FODA

Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"><li>• Se cuenta con un programa de diseño de diagrama de flujos.</li><li>• Conocimiento de los procesos para la planificación y evaluación de proyectos.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Darle respuesta a la necesidad, por parte de la Escuela de Ingeniería de Petróleo de la UCV, de una herramienta esquematizada que permita seguir una metodología para el proceso de cementación de pozos petroleros.</li><li>• La posibilidad de simular los procesos para la validación del diagrama de flujo.</li></ul>
Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Limitaciones de la metodología en la descripción de algunos procesos.</li><li>• El proceso a esquematizar es extenso.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• La posibilidad de no poder efectuar la validación por falta de actualización de las licencias del software.</li></ul>

---



### Resultados

El diagrama de Flujo para la metodología integral de cementación primaria Met-Cem consta de 3 fases, en las cuales interactúan 7 actores englobados en 2 grupos operativos:

- El grupo operador (Color Marrón) que lo integran la Compañía operadora/Cliente y las operaciones de taladro.
- El grupo de servicio (Color Azul) el cual está conformado por: compañía de servicio / Ingeniero de cementación, almacén / base de operaciones, cuadrilla de cementación, laboratorio y programa computacional

A continuación se presentan en las figuras 39, 40 y 41 las en 3 fases del diagrama de Flujo:

#### ***Fase Pre-Job***

La fase inicial del proceso (figura 43), consta de 42 elementos los cuales son descritos en la tabla 4. Finaliza con la aprobación del proyecto por parte de la compañía operador, quien se caracteriza por ser la parte de diseño del proyecto.

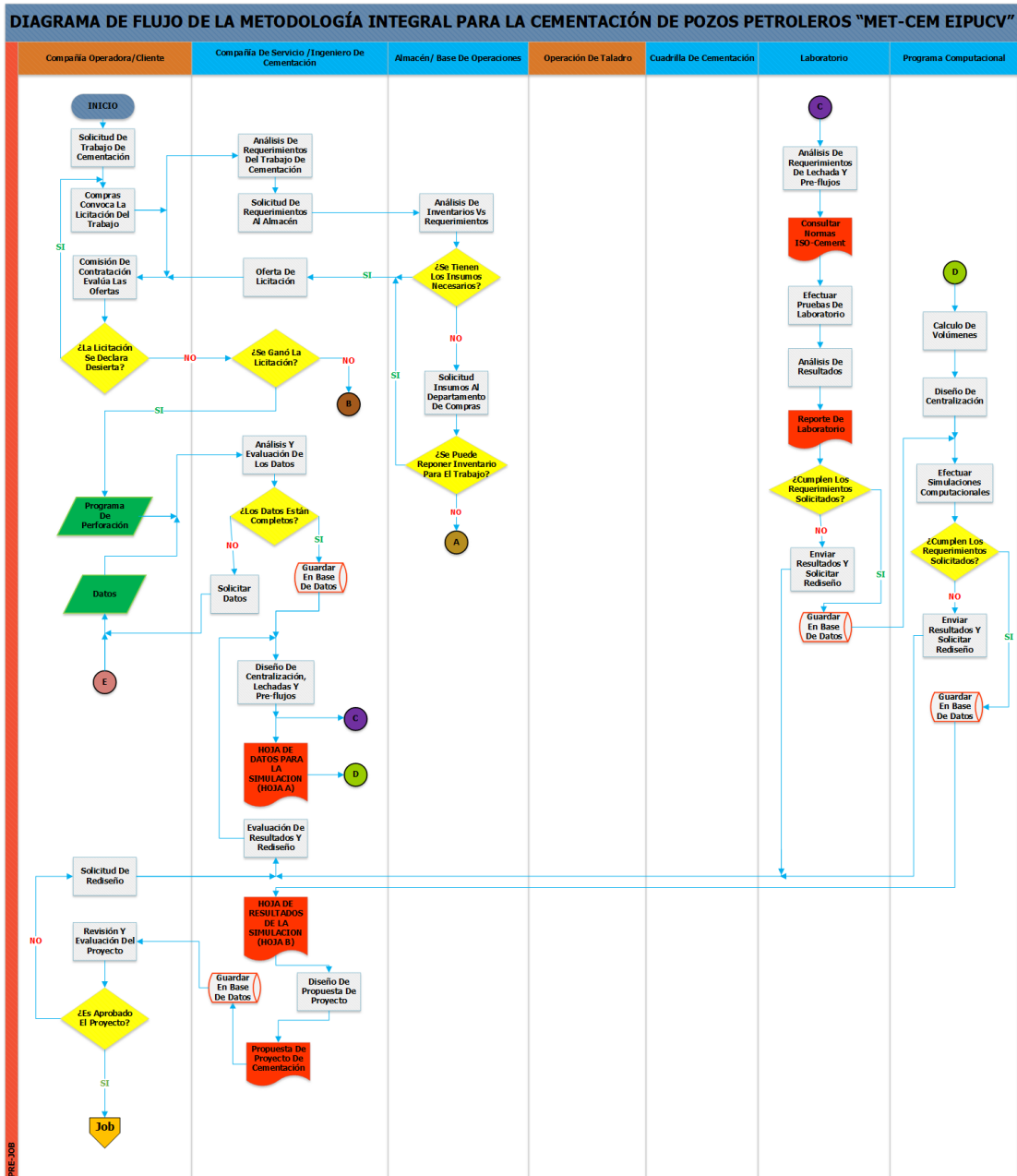
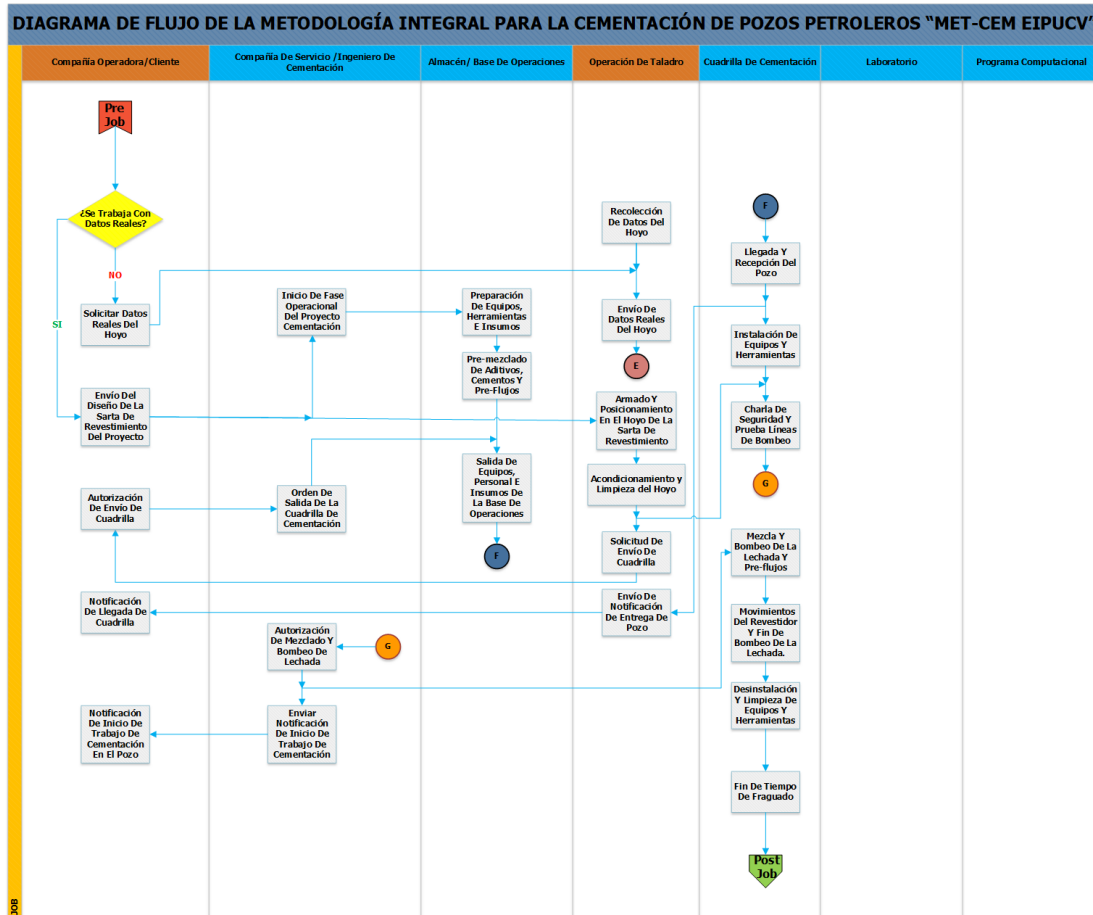


Figura 43 Diagrama de flujo Met-Cem Fase Pre-Job. Fuente propia

**Fase Job:**

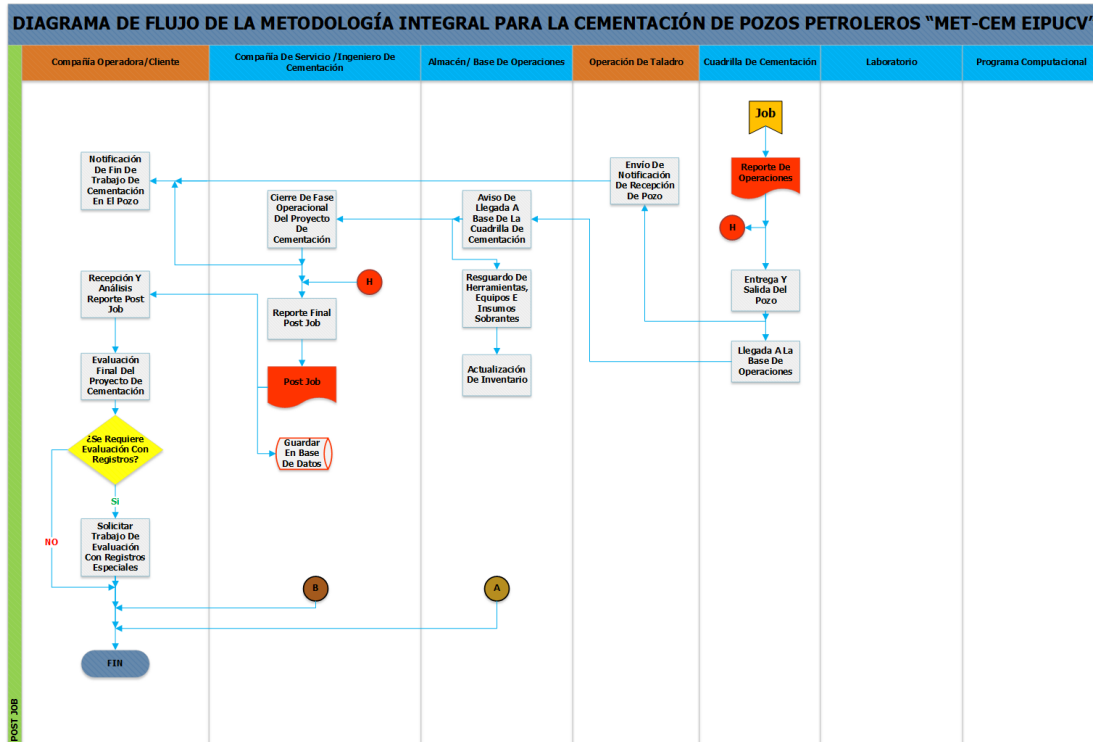
La fase intermedia del proceso (figura 44), Consta de 26 elementos los cuales son descritos en la tabla 4. Finaliza al fraguarse el cemento en el pozo, este se caracteriza por ser la parte de ejecución del proyecto.



**Figura 44 Diagrama de flujo Met-Cem Fase Job. Fuente propia**

**Fase Post-Job:**

La fase final del proceso (figura 45), consta de 16 elementos los cuales son descritos en la tabla 4, esta es la fase final del proyecto de cementación.



**Figura 45 Diagrama de flujo Met-Cem Fase Post-Job. Fuente propia**







En los Apéndices C y D se anexan 2 presentaciones del diagrama de flujo en tamaño ampliado para una mejor interacción visual, una versión en horizontal y otra en vertical.








## Elementos

Finalmente se presenta la Tabla 4 la cual describe todos los elementos presentes en el diagrama en forma de lista y separados por la fase a la cual pertenecen.






**Tabla 4. Descripción de los elementos del Diagrama de flujo. Fuente propia**

FASE PRE-JOB	
<p>1.</p> <p><b>Solicitud De Trabajo De Cementación</b></p>	<p>Elemento: Solicitud de trabajo de cementación.            Tipo: Proceso.            Ejecutor: Compañía operadora/Cliente.            Disparador: Inicio.            Entrada: No aplica.            Acción: Gerencia del campo solicita un trabajo de cementación.            Salida: Envío de la solicitud.</p>
<p>2.</p> <p><b>Compras Convoca La Licitación Del Trabajo</b></p>	<p>Elemento: Compras convoca licitación del trabajo.            Tipo: Proceso.            Ejecutor: Compañía operadora/Cliente.            Disparador: Fin de proceso anterior o la comisión de licitación declara desierta la licitación del trabajo.            Entrada: Solicitud del cliente o NO de decisión siguiente.            Acción: Identificar los posibles proveedores y los convoca a licitar, luego pasa la información a la comisión de licitación formada.            Salida: Petición de ofertas de licitación del trabajo solicitud de informe de posibles licitantes a la comisión de contratación.</p>
<p>3.</p> <p><b>Análisis De Requerimientos Del Trabajo De Cementación</b></p>	<p>Elemento: Análisis de requerimiento del trabajo de cementación.            Tipo: Proceso.            Ejecutor: Compañía de servicio/Ingeniero de cementación.            Disparador: Fin de proceso anterior.            Entrada: Solicitud del cliente.            Acción: Identificar los requerimientos del trabajo solicitado.            Salida: Requerimientos del trabajo solicitado.</p>
<p>4.</p> <p><b>Solicitud De Requerimientos Al Almacén</b></p>	<p>Elemento: Solicitud de Requerimientos al Almacén.            Tipo: Proceso.            Ejecutor: Compañía de servicio/Ingeniero de cementación.            Disparador: Fin de proceso anterior.            Entrada: Requerimientos del trabajo solicitado.            Acción: Creación de solicitud de requerimientos a almacén.            Salida: Envío de solicitud.</p>
<p>5.</p> <p><b>Análisis De Inventarios Vs Requerimientos</b></p>	<p>Elemento: Análisis de inventarios vs. requerimientos.            Tipo: Proceso.            Ejecutor: Almacén/Base de operaciones.            Disparador: Fin de proceso anterior.            Entrada: Solicitud de requerimientos.            Acción: Verificación si los requerimientos existen en inventario.            Salida: Resultados de análisis.</p>





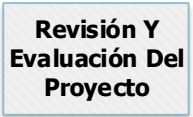

<p>6.</p> 	<p>Elemento: ¿Se Tiene los insumos necesarios?  Tipo: Decisión.  Ejecutor: Almacén/Base de Operaciones.  Disparador: Fin de proceso anterior.  Entrada: Resultados de análisis anterior.  Acción: Elegir.  Salida: SI o NO.</p>
<p>7.</p> 	<p>Elemento: Solicitud de Insumos al departamento de compras.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Almacén/Base de operaciones.  Disparador: NO de la decisión anterior.  Entrada: Lista de insumos faltantes para el trabajo solicitado.  Acción: Crear solicitud de compras de los insumos faltantes.  Salida: Enviar solicitud de compras.</p>
<p>8.</p> 	<p>Elemento: ¿Se Puede reponer el inventario para el Trabajo?  Tipo: Decisión.  Ejecutor: Almacén/Base de operaciones.  Disparador: Fin de proceso anterior.  Entrada: Respuesta de solicitud de parte del departamento de compras.  Acción: Elegir.  Salida: SI o NO.</p>
<p>9.</p> 	<p>Elemento: Oferta de licitación.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Ingeniero de cementación.  Disparador: SI de la decisión anterior.  Entrada: Inventario de insumos disponibles u órdenes de compras + lista de precios.  Acción: Crear solicitud de para la participación de la licitación.  Salida: Envío de oferta de licitación.</p>
<p>10.</p> 	<p>Elemento: Comisión de contratación evalúa las ofertas.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Compañía operadora/Cliente.  Disparador: Envío de ofertas y la recepción del listado de compras.  Entrada: Ofertas de posibles proveedores y listado de compras.  Acción: la comisión evaluara la factibilidad de las ofertas presentadas para definir el ejecutor del trabajo, de no recibir ofertas la declara desierta.  Salida: Resultados de la evaluación.</p>
<p>11.</p> 	<p>Elemento: ¿La Solicitud se declara desierta?  Tipo: Decisión.  Ejecutor: Compañía operadora/Cliente.  Disparador: Fin de proceso anterior.  Entrada Resultados de la evaluación.  Acción: Elegir.  Salida: SI o NO.</p>

<p>12.</p> 	<p>Elemento: ¿Se gana la licitación?  Tipo: Decisión.  Ejecutor: Compañía de servicio/Ingeniero de cementación.  Disparador: NO de decisión anterior.  Entrada: Resultados de la evaluación de la comisión de licitación.  Acción: Elegir.  Salida: SI o NO.</p>
<p>13.</p> 	<p>Elemento: Programa de Perforación.  Tipo: Datos.  Ejecutor: Compañía operadora/Cliente.  Disparador: SI de la decisión anterior.  Entrada: Aprobación de licitación.  Acción: Envío del plan de perforación.  Salida: Envío de datos proyectados para el trabajo.</p>
<p>14.</p> 	<p>Elemento: Análisis y Evaluación de los Datos.  Tipo: Proceso.  Ejecutor Compañía de servicio/Ingeniero de cementación.  Disparador: Recepción de datos.  Entrada: Datos de hoyo.  Acción: Análisis entre los datos requeridos y los datos suministrados.  Salida: Resultados del análisis.</p>
<p>15.</p> 	<p>Elemento: ¿Los datos están completos?  Tipo: Decisión.  Ejecutor: Compañía de servicio/Ingeniero de cementación.  Disparador: Fin de proceso anterior.  Entrada: Resultados de análisis.  Acción: Decidir.  Salida: SI o NO</p>
<p>16.</p> 	<p>Elemento: Solicitar Datos.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Compañía de servicio/Ingeniero de cementación.  Disparador: NO de la decisión anterior.  Entrada: Listado de datos faltantes según análisis anterior.  Acción: creación de solicitud de datos.  Salida: Envío de solicitud.</p>
<p>17.</p> 	<p>Elemento: Datos.  Tipo: Datos.  Ejecutor: Compañía operadora/Cliente.  Disparador: Fin de proceso solicitud de datos o fin proceso. Envío de datos reales del hoyo.  Entrada: Datos faltantes o datos reales del hoyo.  Acción: Envío de datos.  Salida: Envío de datos faltantes o datos reales del hoyo.</p>
<p>18.</p> 	<p>Elemento: Guardar en base de datos.  Tipo: Base de datos.  Ejecutor: Compañía de servicio/Ingeniero de cementación.  Disparador: SI de la decisión anterior.  Entrada: Datos procesados y requerimientos.  Acción: Almacenar/Actualizar datos en base de datos.  Salida: Datos procesados y requerimientos.</p>

<p>19.</p> <p><b>Diseño De Centralización, Lechadas Y Pre-flujos</b></p>	<p>Elemento: Diseño de centralización, lechada y pre-flujos.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Compañía de servicio / ingeniero de cementación.  Disparador: Requerimientos datos procesados o datos para rediseño.  Entrada: Datos procesados originales o de rediseño.  Acción: procesar los requerimientos y cotejarlos con los datos procesados para la petición de pruebas de laboratorio y cálculos en programas computacionales.  Salida: Envío de requerimientos para la lechada y pre-flujos a laboratorio, y recopilación de datos para HOJA A.</p>
<p>20.</p> <p><b>Análisis De Requerimientos De Lechada Y Pre-flujos</b></p>	<p>Elemento: Análisis de Requerimientos de lechada y pre-flujos.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Laboratorio.  Disparador: Envío de requerimientos para la lechada y pre-flujos.  Entrada: Requerimientos de la lechada y pre-flujos.  Acción: Análisis de los requerimientos para preparación de la lechada y la selección de los reflujos, y la identificación de las pruebas a efectuar.  Salida: selección de los pre-flujos y concentración de la lechada, y la identificación de pruebas a realizar.</p>
<p>21.</p> <p><b>Consultar Normas ISO-Cement</b></p>	<p>Elemento: Consultar Normas ISO-cementación.  Tipo: Documento.  Ejecutor: Laboratorio.  Disparador: Fin de proceso anterior.  Entrada: Especificaciones de lechada y pre-flujos a evaluar.  Acción: Revisar las normativas técnicas pertinentes para efectuar las pruebas de laboratorio.  Salida: Instrucciones de las pruebas pertinentes.</p>
<p>22.</p> <p><b>Efectuar Pruebas De Laboratorio</b></p>	<p>Elemento: Efectuar pruebas de laboratorio.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Laboratorio.  Disparador: Documento anterior.  Entrada: Instrucciones de las pruebas.  Acción: mezclado de la lechada, toma de muestras de pre-flujos seleccionados, y efectuar las pruebas según las instrucciones de las normas con los respectivos cálculos.  Salida: Resultados de las pruebas a la lechadas y los pre-flujos.</p>
<p>23.</p> <p><b>Análisis De Resultados</b></p>	<p>Elemento: Análisis de resultados.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Laboratorio.  Disparador: Fin de Proceso anterior.  Entrada: Resultados de las pruebas de laboratorio.  Acción: Analizar si los resultados son satisfactorios y cumplen con los requerimientos pedidos.  Salida: Resultados de análisis de pruebas de laboratorio.</p>
<p>24.</p> <p><b>Reporte De Laboratorio</b></p>	<p>Elemento: Reporte de laboratorio.  Tipo: Documento.  Ejecutor: Laboratorio.  Disparador: Fin de proceso anterior.  Entrada: Análisis de las pruebas de laboratorio.  Acción: Llenar el formato de reporte de laboratorio.  Salida: Reporte con todos los datos a evaluar.</p>

<p>25.</p> 	<p>Elemento: ¿Cumplen los requerimientos solicitados?  Tipo: Decisión.  Ejecutor: Laboratorio.  Disparador: Fin de proceso anterior.  Entrada: Resultados de análisis de prueba de laboratorio  Acción: Decidir.  Salida: SI o NO.</p>
<p>26.</p> 	<p>Elemento: Enviar resultados y solicitar rediseño.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Laboratorio.  Disparador: NO de la decisión anterior.  Entrada: Resultados de análisis de pruebas de laboratorio. Acción:  Enviar los resultados de laboratorio con observaciones pertinentes para el rediseño.  Salida: Solicitud de rediseño y resultados procesados por el laboratorio.</p>
<p>27.</p> 	<p>Elemento: Evaluación de resultados y rediseño.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Compañía de servicio/Ingeniero de cementación.  Disparador: Solicitud de rediseño.  Entrada: Solicitud de rediseño, modificaciones del cliente y datos provenientes de laboratorio y del simulador que no se adecuen a los requerimientos.  Acción: Modificar en base a los requerimientos y los datos que amparen una solicitud de rediseño para generar un nuevo diseño de la lechada, pre-flujos y centralización.  Salida: Nuevas especificaciones y requerimientos para lechada, pre-flujos y centralización.</p>
<p>28.</p> 	<p>Elemento: Guardar en Base de Datos.  Tipo: Base de datos.  Ejecutor: Laboratorio.  Disparador: SI de la Decisión anterior.  Entrada: Datos de propiedades de la lechada y pre-flujos provenientes de las pruebas de laboratorio.  Acción: Almacenar/Actualizar datos en base de datos.  Salida: Datos de propiedades de la lechada y pre-flujos provenientes de las pruebas de laboratorio.</p>
<p>29.</p> 	<p>Elemento: HOJA DE DATOS PARA LA SIMULACIÓN (HOJA A).  Tipo: Documento.  Ejecutor: Compañía de servicio/Ingeniero de cementación.  Disparador: Fin de proceso anterior.  Entrada: Datos de la base de datos.  Acción: Llenado del documento HOJA A.  Salida: HOJA A llena con la información necesaria para la simulación computacional.</p>

<p>30.</p> <p><b>Calculo De Volúmenes</b></p>	<p>Elemento: Calculo de volúmenes.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Programa computacional.  Disparador: HOJA 1 llena.  Entrada: Datos de HOJA A.  Acción: Calculo de volumen de lechada y pre-flujos a bombear.  Salida: Volumen de lechada y pre-flujos a bombear.</p>
<p>31.</p> <p><b>Diseño De Centralización</b></p>	<p>Elemento: Diseño de centralización.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Programa computacional.  Disparador: Fin de proceso anterior.  Entrada: Datos de HOJA A.  Acción: Diseño de propuesta para la colocación de los centralizadores en la sarta de revestimiento.  Salida: Propuesta de diseño de centralización.</p>
<p>32.</p> <p><b>Efectuar Simulaciones Computacionales</b></p>	<p>Elemento: Efectuar Simulaciones Computacionales.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Programa computacional.  Disparador: Fin del proceso anterior y llamado de base de datos.  Entrada: Datos de Hoja A, volúmenes de lechada y pre-flujos, diseño de centralización y datos de base datos.  Acción: Simulación computacional del proceso de cementación y análisis evaluativo en base a los requerimientos.  Salida: Resultados de simulación computacional.</p>
<p>33.</p> <p><b>¿Cumplen Los Requerimientos Solicitados?</b></p>	<p>Elemento: ¿Cumplen los Requerimientos Solicitados?  Tipo: Decisión.  Ejecutor: Programa Computacional.  Disparador: Fin del proceso anterior.  Entrada: Resultados de la simulación computacional.  Acción: Decidir.  Salida: SI o NO.</p>
<p>34.</p> <p><b>Enviar Resultados Y Solicitar Rediseño</b></p>	<p>Elemento: Enviar Resultados y Solicitar Rediseño.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Programa computacional.  Disparador: No de Decisión anterior.  Entrada: Resultados de análisis de simulación computacional.  Acción: Enviar los resultados de la simulación con observaciones pertinentes para el rediseño.  Salida: Solicitud de rediseño y resultados procesados por el programa computacional.</p>
<p>35.</p> <p><b>Guardar En Base De Datos</b></p>	<p>Elemento: Guardar en Base de Datos.  Tipo: Base de datos.  Ejecutor: Programas computacionales.  Disparador: SI de Decisión anterior.  Entrada: Datos del Resultados de la Simulación de computacional.  Acción: Almacenar/Actualizar datos en Base de datos.  Salida: Datos del resultado de la simulación computacional.</p>

<p>36.</p> 	<p>Elemento: HOJA DE RESULTADOS DE LA SIMULACION (HOJA B).  Tipo: Documento.  Ejecutor: Compañía de servicio/Ingeniero de Cementación.  Disparador: Almacenamiento de Datos de Simulador en Base de datos.  Entrada: Resultados de simulación.  Acción: Llenado de la HOJA B.  Salida: HOJA B llena con todos los datos necesarios para el diseño de proyecto.</p>
<p>37.</p> 	<p>Elemento: Diseño de propuesta de proyecto.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Compañía de servicio/Ingeniero de cementación.  Disparador: HOJA 2 llena.  Entrada: Exigencias para el formato a gusto del cliente.  Acción: Diseño del formato de proyecto de cementación.  Salida: Formato propuesta de proyecto.</p>
<p>38.</p> 	<p>Elemento: Propuesta de proyecto de cementación.  Tipo: Documento.  Ejecutor: Compañía de servicio/Ingeniero de cementación.  Disparador: Fin de Proceso anterior.  Entrada: Formato de propuesta de proyecto y HOJA 2.  Acción: Llenado de formato de propuesta de cementación.  Salida: Propuesta de cementación.</p>
<p>39.</p> 	<p>Elemento: Guardar en base de datos.  Tipo: Base de datos.  Ejecutor: Compañía de servicio/Ingeniero de Cementación.  Disparador: Fin de llenado de proyecto de cementación.  Entrada: Proyecto de Cementación.  Acción: Almacenar/Actualizar datos en la base de datos y envío a Cliente.  Salida: Envío de proyecto de cementación.</p>
<p>40.</p> 	<p>Elemento: Revisión y evaluación del proyecto.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Compañía operadora/Cliente.  Disparador: Envío de propuesta de proyecto.  Entrada: Propuesta de proyecto.  Acción: Evaluación de la propuesta de proyecto.  Salida: Resultados de la evaluación de la propuesta de proyecto.</p>
<p>41.</p> 	<p>Elemento: ¿Es aprobado el proyecto?  Tipo: Decisión.  Ejecutor: Compañía operadora/Cliente.  Disparador: Fin de Proceso anterior.  Entrada: Resultados de la evaluación de la propuesta de proyecto.  Acción: Decidir.  Salida: SI o NO.</p>
<p>42.</p>	<p>Elemento: Solicitud de rediseño.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Compañía operadora/Cliente.  Disparador: NO de la Decisión anterior.  Entrada: Resultados de la evaluación de los resultados.</p>

<p><b>Solicitud De Rediseño</b></p>	<p>Acción: Solicitud de Rediseño de la propuesta de proyecto basándose en la evaluación anterior. Salida: Envío de la solicitud de rediseño.</p>
<p><b>FASE JOB</b></p>	
<p>43. <b>¿Se Trabaja Con Datos Reales?</b></p>	<p>Elemento: ¿Se trabaja con datos reales? Tipo: Decisión. Ejecutor: Compañía operadora/Cliente. Disparador: SI de la Decisión anterior. Entrada: Proyecto aprobado. Acción: Decidir. Salida: SI o NO.</p>
<p>44. <b>Solicitar Datos Reales Del Hoyo</b></p>	<p>Elemento: Solicitar datos reales del hoyo. Tipo: Proceso. Ejecutor: Compañía operadora/Cliente. Disparador: NO de la Decisión anterior. Entrada: Lista de datos de perforación. Acción: Solicitar él envió de datos reales de hoyo a ingeniero de cementación. Salida: Enviar solicitud.</p>
<p>45. <b>Recolección De Datos Del Hoyo</b></p>	<p>Elemento: Recolección de datos del hoyo. Tipo: Proceso. Ejecutor: Operación de taladro. Disparador: Fin de perforación de hoyo. Entrada: Hoyo perforado y herramientas de toma de datos. Acción: Recolección de datos de hoyo. Salida: Datos de hoyo perforado.</p>
<p>46. <b>Envío De Datos Reales Del Hoyo</b></p>	<p>Elemento: Envío de datos reales del hoyo. Tipo: Proceso. Ejecutor: Operación de taladro. Disparador: Datos de hoyo y solicitud datos reales de hoyo. Entrada: Datos reales del hoyo tomados de los registros. Acción: Envío de datos reales del hoyo a ingeniero de cementación. Salida: Datos reales del hoyo.</p>
<p>47. <b>Envío Del Diseño De La Sarta De Revestimiento Del Proyecto</b></p>	<p>Elemento: Envío del Diseño de la Sarta de Revestimiento del Proyecto. Tipo: Proceso. Ejecutor: Compañía operadora/Cliente. Disparador: SI de Decisión anterior. Entrada: Propuesta de proyecto de cementación aprobada con datos reales de hoyo. Acción: Envío del diseño de la sarta de revestimiento a operaciones de taladró con copia al ingeniero de cementación. Salida: Diseño de la sarta de revestimiento.</p>
<p>48. <b>Armado Y Posicionamiento En El Hoyo De La Sarta De Revestimiento</b></p>	<p>Elemento: Armado y posicionamiento en el hoyo de la sarta de revestimiento. Tipo: Proceso. Ejecutor: Operación de taladro. Disparador: Fin de proceso anterior. Entrada: Diseño de la sarta de revestimiento y propuesta de centralización. Acción: Armado y bajada de sarta de revestimiento.</p>




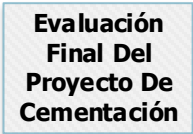


	Salida: Sarta de revestimiento en el Hoyo.
49. <b>Acondicionamiento y Limpieza del Hoyo</b>	Elemento: Acondicionamiento y limpieza del hoyo. Tipo: Proceso. Ejecutor: Operación de taladro. Disparador: Fin de proceso anterior. Entrada: Sarta del revestimiento en el hoyo y bomba de taladro con lodo. Acción: Hacer circular a través de la sarta de revestimiento lodo de perforación para enfriar el hoyo y subir los ripios del fondo del hoyo. Salida: Hoyo limpio y listo para la cementación.
50. <b>Solicitud De Envío De Cuadrilla</b>	Elemento: Solicitud de envío de cuadrilla. Tipo: Proceso. Ejecutor: Operación de taladro. Disparador: Fin de Proceso anterior. Entrada: Sarta en el hoyo. Acción: Notificación de fin de bajada de sarta de revestimiento y solicitud de llegada de cuadrilla. Salida: Solicitud de envío de cuadrilla.
51. <b>Inicio De Fase Operacional Del Proyecto Cementación</b>	Elemento: Inicio de fase operacional del proyecto de cementación. Tipo: Proceso. Ejecutor: Compañía de servicio/Ingeniero de cementación. Disparador: Fin de proceso anterior. Entrada: Envío de diseño de sarta de cementación. Acción: Iniciar preparativos para el trabajo de cementación. Salida: Envío de solicitud de preparativos para la salida de los insumos y la cuadrilla.
52. <b>Preparación De Equipos, Herramientas E Insumos</b>	Elemento: Preparación de equipos, herramientas e insumos. Tipo: Proceso. Ejecutor: Almacén/Base de operaciones. Disparador: Fin de Proceso anterior. Entrada: Solicitud de preparativos para la salida de los insumos y la cuadrilla. Acción: Preparar la cuadrilla, los equipos y solicitar la cantidad de insumos. Salida: Solicitud de cantidades de insumos.
53. <b>Pre-mezclado De Aditivos, Cementos Y Pre-Flujos</b>	Elemento: Pre-mezclado de aditivos, cementos y pre-flujos. Tipo: Proceso. Ejecutor: Almacén/Base de operaciones. Disparador: Fin de proceso anterior. Entrada: Solicitud de cantidades de insumos. Acción: Mezclar los aditivos y el cemento y preparar los pre-flujos. Salida: cemento premezclado con aditivos y pre-flujos listos para cargar.
54. <b>Autorización De Envío De Cuadrilla</b>	Elemento: Autorización de envío de cuadrilla. Tipo: Proceso. Ejecutor: Compañía operadora/Cliente. Disparador: Fin de proceso anterior. Entrada: solicitud de envío de cuadrilla. Acción: Autorizar el envío de cuadrilla. Salida: Autorización de Envío de Cuadrilla.



<p>55.</p> <p><b>Orden De Salida De La Cuadrilla De Cementación</b></p>	<p>Elemento: Orden de salida de cuadrilla de cementación.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Compañía de servicio/Ingeniero de cementación.  Disparador: Fin de Proceso anterior.  Entrada: Autorización de envío de cuadrilla.  Acción: Hacer orden de salida de la cuadrilla.  Salida: Orden de salida de cuadrilla de cementación.</p>
<p>56.</p> <p><b>Salida De Equipos, Personal E Insumos De La Base De Operaciones</b></p>	<p>Elemento: Salida de equipos, personal e insumos de la base de operaciones.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Almacén/Base de operaciones.  Disparador: Orden de salida y pre-mezclado de insumos.  Entrada: Orden de salida, equipos y cuadrillas.  Acción: Carga de equipos, personal e insumos en camiones y salida e Base de Operaciones.  Salida: Salida de insumos y personal al pozo.</p>
<p>57.</p> <p><b>Llegada Y Recepción Del Pozo</b></p>	<p>Elemento: Llegada y recepción del pozo.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Cuadrilla de cementación.  Disparador: Fin de proceso anterior.  Entrada: Llegada al taladro.  Acción: Posicionarse en el taladro y recibir las responsabilidades del pozo.  Salida: Taladro bajo control de la cuadrilla de cementación.</p>
<p>58.</p> <p><b>Instalación De Equipos Y Herramientas</b></p>	<p>Elemento: Instalación de equipos y herramientas.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Cuadrilla de cementación.  Disparador: Fin de proceso anterior.  Entrada: Recepción de taladro, herramientas, equipo y personal.  Acción: Armado y posicionamiento de equipos y herramientas para comenzar el trabajo de cementación.  Salida: Equipos y herramientas listos para comenzar trabajo.</p>
<p>59.</p> <p><b>Envío De Notificación De Entrega De Pozo</b></p>	<p>Elemento: Envío de notificación de entrega de pozo.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Operación de Taladro.  Disparador: Recepción de pozo de parte de la cuadrilla de cementación.  Entrada: Acta de entrega de taladro.  Acción: Enviar notificación de la entrega de responsabilidades de Pozo a cuadrilla de cementación.  Salida: Notificación de entrega de pozo a compañía operadora.</p>
<p>60.</p> <p><b>Notificación De Llegada De Cuadrilla</b></p>	<p>Elemento: Notificación de llegada de cuadrilla.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Compañía operadora/Cliente.  Disparador: Fin de proceso anterior.  Entrada: Envío de notificación de entrega de pozo de parte de Operaciones de Taladro.  Acción: Procesamiento de notificación de entrega de pozo de parte de Operaciones de Taladro.  Salida: Recepción de notificación de entrega de pozo de parte de Operaciones de Taladro.</p>

<p>61.</p> <p><b>Charla De Seguridad Y Prueba Líneas De Bombeo</b></p>	<p>Elemento: Instalación de equipos y herramientas.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Cuadrilla de cementación.  Disparador: Fin de proceso anterior.  Entrada: Herramientas, equipos y personal de taladro.  Acción: Se le indica al personal de taladro los peligros de la prueba a realizar para luego efectuar dicha prueba con altas presiones a las líneas de bombeo.  Salida: Líneas de bombeo listas para el trabajo.</p>
<p>62.</p> <p><b>Autorización De Mezclado Y Bombeo De Lechada</b></p>	<p>Elemento: Autorización de mezclado y bombeo de la lechada.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Compañía de servicio/Ingeniero de cementación.  Disparador: Fin de proceso anterior.  Entrada: Notificación de equipos y herramientas listas para el trabajo.  Acción: Generar autorización de mezclado y bombeo de la lechada.  Salida: Autorización de proceder el trabajo.</p>
<p>63.</p> <p><b>Enviar Notificación De Inicio De Trabajo De Cementación</b></p>	<p>Elemento: Enviar notificación de inicio de trabajo de cementación.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Compañía de servicio/Ingeniero de cementación.  Disparador: Fin de proceso anterior.  Entrada: Autorización de mezclado y bombero de la lechada a la cuadrilla de cementación.  Acción: Generar notificación al cliente que el trabajo comenzó.  Salida: Envío de notificación al cliente que el trabajo comenzó.</p>
<p>64.</p> <p><b>Notificación De Inicio De Trabajo De Cementación En El Pozo</b></p>	<p>Elemento: Notificación de inicio de trabajo de cementación en el pozo.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Compañía operadora/Cliente.  Disparador: Fin de proceso anterior.  Entrada: Envío de notificación de inicio del trabajo de cementación.  Acción: Procesamiento de notificación de inicio del trabajo de cementación.  Salida: Notificación de inicio de trabajo de cementación.</p>
<p>65.</p> <p><b>Mezcla Y Bombeo De La Lechada Y Pre-flujos</b></p>	<p>Elemento: Mezcla y bombeo de la lechada y pre-flujos.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Cuadrilla de cementación.  Disparador: Fin de proceso anterior.  Entrada: Insumos, personal, herramientas, equipos instalados y programa de cementación.  Acción: Mezclar la lechada, tomar muestra para verificación de tiempo de fraguado, y se comienzan a bombear los pre-flujos y la lechada según programa de cementación propuesto en el proyecto.  Salida: Comienzo de bombeo de lechada al pozo a cementar e inicio del tiempo de fraguado.</p>
<p>66.</p> <p><b>Movimientos Del Revestidor Y Fin De Bombeo De La Lechada.</b></p>	<p>Elemento: Movimientos del revestimiento y fin bombeo de la lechada.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Cuadrilla de cementación.  Disparador: Fin de proceso anterior.  Entrada: Revestidor con lechada alrededor, taladro y personal.  Acción: Se procede a reciprocar las y rotar el revestidor mientras se continúa bombeando para luego apagar las bombas.  Salida: Revestidor con lechada alrededor esperado el fraguado del cemento.</p>

<p>67.</p> <p><b>Desinstalación Y Limpieza De Equipos Y Herramientas</b></p>	<p>Elemento: Desinstalación y limpieza de equipos y herramientas.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Cuadrilla de cementación.  Disparador: Fin de proceso anterior.  Entrada: Herramientas, equipos instalados y Personal de la cuadrilla de Cementación.  Acción: Desinstalación y limpieza de equipos y herramientas, conteo de insumos sobrantes.  Salida: Herramientas y equipos desinstalados, limpios y montados en el camión.</p>
<p>68.</p> <p><b>Fin De Tiempo De Fraguado</b></p>	<p>Elemento: Fin de Tiempo de Fraguado.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Cuadrilla de cementación.  Disparador: Muestra de lechada se endurece.  Entrada: Muestra de lechada tomada al momento de mezcla, cuadrilla de cementación y tiempo.  Acción: Se verifica el tiempo estimado de fraguado con la muestra de lechada tomada en superficie.  Salida: Notifica que el cemento ya está fraguado.</p>
<b>FASE POST-JOB</b>	
<p>69.</p> <p><b>Reporte De Operaciones</b></p>	<p>Elemento: Reporte de operaciones.  Tipo: Documento.  Ejecutor: Cuadrilla de cementación.  Disparador: Fin de proceso anterior.  Entrada: Datos de historial de eventos del trabajo de cementación.  Acción: llenado y en envió de reporte de operaciones.  Salida: Envío de Reporte de Operaciones.</p>
<p>70.</p> <p><b>Entrega Y Salida Del Pozo</b></p>	<p>Elemento: Entrega y salida del pozo.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Cuadrilla de Cementación.  Disparador: Fin de proceso anterior.  Entrada: Fin de operaciones.  Acción: Entrega de las responsabilidades del taladro.  Salida: Salida de pozo hacia la base de operaciones.</p>
<p>71.</p> <p><b>Llegada A La Base De Operaciones</b></p>	<p>Elemento: Llegada a base de operaciones.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Cuadrilla de cementación.  Disparador: Salida del pozo.  Entrada: Camión de cementación, personal y base de operaciones.  Acción: Arribo de equipos, herramientas, equipos e insumos sobrantes.  Salida: Entrada de Cuadrilla de cementación a la base de operaciones.</p>
<p>72.</p> <p><b>Aviso De Llegada A Base De La Cuadrilla De Cementación</b></p>	<p>Elemento: Aviso de llegada a base de la cuadrilla de cementación.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Almacén/Base de operaciones.  Disparador: Fin de proceso anterior.  Entrada: Cuadrilla dentro de la base.  Acción: Notificar del arribo de la cuadrilla con loe equipos, herramientas e insumos.  Salida: Envío de notificación al ingeniero de cementación.</p>

<p>73.</p> <p><b>Resguardo De Herramientas, Equipos E Insumos Sobrantes</b></p>	<p>Elemento: Resguardo de herramientas, equipos e insumos sobrantes.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Almacén /Base de operaciones.  Disparador: Fin de proceso anterior.  Entrada: Camiones de cementación cargados.  Acción: Descarga de equipos, herramientas e insumos del camión, para su posterior conteo y guardado en el Almacén.  Salida: Recepción y almacenaje de herramientas, equipos e insumos sobrantes del trabajo.</p>
<p>74.</p> <p><b>Actualización De Inventario</b></p>	<p>Elemento: Actualización de inventario.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Almacén/Base de operaciones.  Disparador: Fin de proceso anterior.  Entrada: Conteo de herramientas, equipos e insumos.  Acción: Actualizar la cantidad de insumos del inventario.  Salida: Inventario actualizado.</p>
<p>75.</p> <p><b>Envío De Notificación De Recepción De Pozo</b></p>	<p>Elemento: Envío de notificación de recepción de Pozo.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Operación de taladro.  Disparador: Fin de proceso anterior.  Entrada: Recepción del taladro y salida de la cuadrilla de Cementación.  Acción: Envío de notificación de recepción de pozo a la compañía operadora.  Salida: Notificado de fin de trabajo de cementación.</p>
<p>76.</p> <p><b>Notificación De Fin De Trabajo De Cementación En El Pozo</b></p>	<p>Elemento: Notificación de fin de trabajo de cementación en el pozo  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Compañía operadora/Cliente.  Disparador: Notificación de recepción del pozo por los perforadores del taladro.  Entrada: Notificación de entrega de pozo y aviso de cierre de fase operacional del proceso.  Acción: Recepción de las notificaciones del pozo y de ingenieros de la finalización del trabajo.  Salida: Notificado de fin de trabajo de cementación.</p>
<p>77.</p> <p><b>Cierre De Fase Operacional Del Proyecto De Cementación</b></p>	<p>Elemento: Cierre de fase operacional del proyecto de cementación.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Compañía de servicio/Ingeniero de cementación.  Disparador: Fin de proceso anterior.  Entrada: Cierre fase operacional del trabajo de cementación.  Acción: Preparativos iniciales la fase final del proyecto de cementación.  Salida: Inicio de fase final de proyecto de cementación.</p>
<p>78.</p> <p><b>Reporte Final Post Job</b></p>	<p>Elemento: Reporte final Post Job.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Compañía de servicio/Ingeniero de cementación.  Disparador: Inicio de la fase final del proyecto de cementación.  Entrada: Datos del reporte operacional.  Acción: recolección, análisis de datos y diseño del documento Post Job.  Salida: Datos y análisis para el llenado del documento Post Job, y diseño del documento de acuerdo a gustos del cliente.</p>

<p>79.</p>  <p><b>Post Job</b></p>	<p>Elemento: Post Job.  Tipo: Documento  Ejecutor: Compañía de servicio/Ingeniero de Cementación.  Disparador: Fin de proceso anterior.  Entrada: Datos del reporte final Post Job.  Acción: Llenado del documento Post Job para su posterior envío a Cliente.  Salida: Envío de documento Post Job al cliente y a base de datos.</p>
<p>80.</p>  <p><b>Guardar En Base De Datos</b></p>	<p>Elemento: Guardar en base de datos.  Tipo: Base de datos.  Ejecutor: Compañía de servicio/Ingeniero de Cementación.  Disparador: Finalización del documento Post Job.  Entrada: Documento Post Job.  Acción: Almacenar/Actualizar datos en base de datos.  Salida: Documento Post Job.</p>
<p>81.</p>  <p><b>Recepción Y Análisis Reporte Post Job</b></p>	<p>Elemento: Recepción y análisis reporte Post Job.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Compañía operadora/Cliente.  Disparador: Envío de documento Post Job.  Entrada: Documento Post Job.  Acción: Análisis de los resultados y datos expuestos en el documento Post Job.  Salida: Resultados del análisis del documento Post Job.</p>
<p>82.</p>  <p><b>Evaluación Final Del Proyecto De Cementación</b></p>	<p>Elemento: Evaluación del final del proyecto de cementación.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Compañía operadora/Cliente.  Disparador: Fin de proceso anterior.  Entrada: Objetivos del proyecto de cementación y el reporte Post Job.  Acción: Evaluación si se cumplieron los objetivos del proyecto de cementación cumplidos todas las pautas y programaciones.  Salida: Valorización de la efectividad el proyecto de cementación y compañía de servicio, observaciones y recomendaciones.</p>
<p>83.</p>  <p><b>¿Se Requiere Evaluación Con Registros?</b></p>	<p>Elemento: ¿Se Requiere evaluación con registros?  Tipo: Decisión.  Ejecutor: Compañía operadora/Cliente.  Disparador: Fin del proceso anterior.  Entrada: Valorización de la efectividad el proyecto de cementación, observaciones y recomendaciones.  Acción: Decidir.  Salida: SI o NO.</p>
<p>84.</p>  <p><b>Solicitar Trabajo De Evaluación Con Registros Especiales</b></p>	<p>Elemento: Solicitar trabajo de valuación con registros especiales.  Tipo: Proceso.  Ejecutor: Compañía operadora/Cliente.  Disparador: SI de Decisión anterior.  Entrada: Necesidad de trabajo de evaluación con registros especiales.  Acción: Pedir un trabajo de corrida y evaluación de registros especiales para la cementación a compañía de servicio de registros eléctricos.  Salida: FIN del trabajo de cementación y solicitud de la evaluación del trabajo.</p>

 <p><b>INICIO</b></p>	Elemento: INICIO. Tipo: Terminador. Ejecutor: Compañía operadora/Cliente.
 <p><b>FIN</b></p>	Elemento: FIN. Tipo: Terminador. Ejecutor: Compañía operadora/Cliente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] E. Fernandez, «Monografias.com,» 21 Abril 2006. [En línea]. Available: <http://www.monografias.com/trabajos34/planificacion/planificacion.shtml#ixzz5G4z5WaPS>. [Último acceso: 02 octubre 2018].
- [2] C. George, «Ten Steps To Improve Your Next Cement Job,» *PETROLEUM ENGINEER International*, pp. 25-28, 1992.
- [3] R. STILLERY y J. GRIFFTH, «IADC/SPE 23898 Cementing as a Total Service,» SPE, New Orleans, 1992.
- [4] E. B. Nelson, «Well Cementing Fundamentals,» *Oilfield Review*, vol. 24, n° 2, pp. 63-65, 2012.
- [5] F. Arévalo, D. Barzallo y R. Guerrero, Metodología en Operaciones de Cementación Primaria y Forzada Utilizando Nuevas Tecnologías, Quito, 2010.
- [6] L. SARDI, Evaluación de un polimero como agente controlador de migración de gas en lechadas de cemento, Caracas: Trabajo Especial de Grado UCV, 2015.
- [7] R. Rodriguez, Propuesta técnica de cementación para la construcción de un pozo exploratorio en aguas ultra-profundas en el golfo de México, Caracas: Trabajo Especial de Grado UCV, 2012.
- [8] P. Díaz y A. Méndez, «Tema X: Cementación,» de *Fundamentos teóricos prácticos de perforación de Pozos: Problemas de Hoyo, Perforación Direccional, Revestimiento, Cementación y Nuevas Tecnologías*, Caracas, Trabajo Especial de Grado UCV, 2007, pp. 435-609.
- [9] American Petroleum Institute, Recommended Practice For Testing Well, Washington D.C : API Publishing Services, 1997.

- [10] Petroblogger.com, «Petroblogger.com,» 2009 diciembre 2009. [En línea]. Available: <http://www.ingenieriadepetroleo.com/hidraulica-de-la-cementacion/>. [Último acceso: 2 octubre 2018].
- [11] M. Correa y A. Marcano, «Scribd,» 03 Diciembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.scribd.com/document/333099429/Cementacion-Intermedia-en-Bare-Melones>. [Último acceso: 02 Octubre 2018].
- [12] Fundacion Iberoamericana para la Gestion de la Calidad, «SCRIBD,» 21 Septiembre 2008. [En línea]. Available: <https://www.scribd.com/document/6142832/Diagrama-de-Flujo>. [Último acceso: 1 Octubre 2018].
- [13] Internatinal Organization Standardization, ISO 5807:1985 Information processing, 1985.
- [14] A. T. Bourgoyne y M. E. Chenevert, Applied Drilling Engineering, Richarson, TX USA: SPE TEXTBOOK Vol 2, 1986.
- [15] S. Palella, Metodologia de la investigacion cuantitativa, Caracas: FEDUPEL, 2012.
- [16] D. DE SANTA, G. SUAREZ, A. LAGRECA y F. ROVIRA, «Evaluacion de la metodologia integral de perforacion en la seccion 12 1/4" de pozos exploratorios en el bloque alóctono del norte de Monagas.,» *VISION TECNOLOGICA*, vol. 10, n° 2, pp. 99-108, 2003.
- [17] R. BOLIVAR, M. CENTENO, V. CICCOLA y W. RODRIGUEZ, «Fuentes de Fallas en la Tecnologia de Cementación de Pozos,» *VISION TECNOLOGICA*, vol. 10, n° 2, pp. 169-190, 2003.

**APENDICE A. HOJA DE DATOS DE ENTRADA PARA PROGRAMAS  
COMPUTACIONALES**





**APENDICE B. HOJA DE DATOS DE SALIDA PARA PROGRAMAS  
COMPUTACIONALES**









**APENDICE C. DIAGRAMA DE FLUJO “MET-CEM” VERSION VERTICAL**



**APENDICE D. DIAGRAMA DE FLUJO “MET-CEM” VERSION HORIZONTAL**

