



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN PETRÓLEO**

**“DISEÑO TEÓRICO DE UN TAPÓN DE CEMENTO PARA  
POZOS SOMEROS EN UN AMBIENTE SALINO”**

**TESINA**

**AUTOR**

**LIMONES ZAMORA DARWIN JAVIER**

**TUTOR**

**ING. ROMEL ANGEL ERAZO BONE**

**LA LIBERTAD – ECUADOR**

**2020**

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN PETRÓLEO**

**“DISEÑO TEÓRICO DE UN TAPÓN DE CEMENTO PARA  
POZOS SOMEROS EN UN AMBIENTE SALINO”**

**TESINA**

**AUTOR**

**LIMONES ZAMORA DARWIN JAVIER**

**TUTOR**

**ING. ROMEL ANGEL ERAZO BONE**

**LA LIBERTAD – ECUADOR**

**2020**



La Libertad, 23 de octubre del 2020

CARTA DE ORIGINALIDAD  
ING. JUAN GARCÉS VARGAS, Mg.  
DECANO DE LA CARRERA DE PETRÓLEO.  
UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA.

Cumpliendo con los requisitos exigidos, emito a usted la tesina titulada, **DISEÑO TEÓRICO DE UN TAPÓN DE CEMENTO PARA POZOS SOMEROS EN UN AMBIENTE SALINO**, para que se considere en la sustentación señalando lo siguiente.

- 1.- la investigación es original.
- 2.- no existen compromisos ni obligaciones financieras con organismos estatales ni privados que puedan afectar el contenido, resultados o conclusiones de la presente investigación.
- 3.- constatamos que la persona designada como autor es el responsable de generar la versión final de la investigación.
- 4.- el tutor certifica la originalidad de la investigación y el desarrollo de la misma cumpliendo con los principios éticos.

*Darwin Limones Z*

---

Limones Zamora Darwin Javier  
Autor  
C.I: 2400188039

*R. E. A.*

---

Ing. Erazo Bone Romel Ángel  
Tutor  
C.I: 0802990838

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLA .....	x
RESUMEN .....	xi
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I .....	3
1.1. PROBLEMA.....	3
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	3
1.3. OBJETIVOS .....	5
CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. CEMENTACIONES .....	6
2.2. TIPOS DE CEMENTACIONES .....	6
2.2.1. CEMENTACIÓN PRIMARIA .....	6
2.2.1.1. CEMENTACIÓN POR ETAPAS.....	8
2.2.2. CEMENTACIÓN SECUNDARIA O FORZADA .....	9
2.2.3. TAPONES DE CEMENTO .....	11
2.3. CALIDAD DEL CEMENTO.....	12
2.3.1. CEMENTO PORTLAND .....	12
2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS.....	13
2.4.1. TIPOS DE CEMENTO .....	14
2.5. HIDRATACIÓN DEL CEMENTO.....	16
2.5.1. EFECTOS DE LA HIDRATACIÓN DEL CEMENTO.....	17
2.5.1.1. EFECTO DE LA TEMPERATURA .....	17
2.5.1.2. FRAGUADO RELÁMPAGO.....	18
2.5.1.3. FRAGUADO FALSO.....	18
2.5.1.4. ALTERACION DEL CEMENTO .....	18
2.6. CEMENTOS ESPECIALES.....	18
2.6.1. PROPIEDADES DE LOS CEMENTOS .....	22
2.6.1.1. RENDIMIENTO.....	23
2.6.1.2. DENSIDAD DE LA LECHADA .....	23
2.6.1.3. AGUA DE MEZCLA .....	24
2.6.1.4. TIEMPO DE FRAGUADO (CAPACIDAD DE BOMBEO).....	25
2.6.1.5. FUERZA DE COMPRESIÓN .....	25

2.6.1.6.	PERDIDA DE AGUA .....	26
2.7.	REOLOGÍA .....	27
2.8.	ADITIVOS DEL CEMENTO.....	27
2.8.1.	ACELERADORES .....	28
2.8.2.	RETARDADORES.....	28
2.8.3.	REDUCCIÓN DE DENSIDAD.....	29
2.8.4.	INCREMENTO DE DENSIDAD (DENSIFICANTES) .....	29
2.8.5.	ADITIVO PARA EL CONTROL DEL FILTRADO. ....	29
2.8.6.	DISPERSANTES (REDUCCIÓN DE FRICCIÓN) .....	30
2.8.7.	TAPONAMIENTO DE UN POZO .....	30
2.9.	RAZONES POR LA QUE SE REALIZA ESTE TIPO DE INTERVENCIÓN. 31	
2.9.1.	RENTABILIDAD .....	31
2.9.2.	DESCONTROL DE POZOS .....	31
2.9.3.	POZOS VIEJOS.....	32
2.9.4.	DIAGNÓSTICO PARA TAPONAR UN POZO DE PETRÓLEO .....	33
CAPÍTULO III.....		35
MÉTODO DE TAPONAMIENTO DE UN POZO .....		35
3.1.	TAPÓN EQUILIBRADO .....	35
3.2.	CUCHARA VERTEDORA (DUMP BAILER) .....	37
3.3.	MÉTODO DE DOS TAPONES CON TUBERÍA DE ALUMINIO .....	39
3.4.	TAPÓN MECÁNICO .....	40
3.5.	HERRAMIENTA, EQUIPOS Y MATERIALES.....	42
3.5.1.	HERRAMIENTA DE DESVIACIÓN .....	42
3.5.2.	CENTRALIZADOR DE LA TUBERÍA DE PERFORACIÓN .....	42
3.5.3.	PÍLDORA VISCOSA .....	43
3.5.4.	CIRCULACIÓN INVERSA.....	43
3.5.5.	BOLAS Y DARDOS PARA TUBERÍA DE PERFORACIÓN .....	44
3.6.	EQUIPOS Y MATERIALES.....	44
3.7.	PRUEBAS DE TAPONAMIENTO.....	50
3.7.1.	VERIFICACIÓN DEL TOC (TOP OF CEMENT).....	51
3.7.2.	PRUEBAS DE INTREGRIDAD DEL TAPÓN DE CEMENTO .....	51
3.7.3.	PRUEBAS DE SONDEO .....	52

3.8.	MEDIDAS DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN AMBIENTAL.....	53
3.9.	ABANDONO DE POZO .....	53
3.9.1.	ABANDONO TEMPORAL .....	54
3.9.2.	ABANDONO PERMANENTE.....	55
3.9.3.	DETALLE PARA EL ABANDONO DE UN POZO.....	55
CAPÍTULO IV.....		57
DISEÑO DE LAS OPERACIONES DE TAPONAMIENTO.....		57
4.1.	TAPONAMIENTO DEFINITIVO .....	57
4.2.	POR MEDIO DE LA TUBERIA DE PRODUCCIÓN.....	59
4.3.	TUBERIAS DE REBESTIMIENTO CON CORTE.....	62
4.4.1.	AISLAMIENTO DEL AGUJERO DESCUBIERTO .....	64
4.5.	TAPONANDO EL ESPACIO ANULAR.....	66
4.6.	REQUERIMIENTO DEL TAPON SUPERFICIAL .....	67
4.7.	TAPONAMIENTO TEMPORAL .....	67
4.8.	PASOS PARA TAPONAR UN POZO .....	68
4.9.	REMOCIÓN DEL EQUIPO DEL FONDO DEL POZO .....	68
4.9.1.	LIMPIEZA DEL POZO .....	69
4.9.2.	FORMAS DE DESPLAZAMIENTOS.....	70
4.9.2.1.	ESPACIADORES Y LAVADORES QUÍMICOS .....	72
4.10.	RECUPERACIÓN Y CORTE DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO	72
4.11.	REGISTROS DE EVALUACIÓN DE LA CEMENTACIÓN PARA DETERMINAR EL PUNTO DE CORTE DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO	74
4.12.	NORMATIVA .....	74
4.12.1.	REGLAMENTO DE OPERACIONES HIDROCARBURIFERAS, ART 46.	74
4.13.	CONDICIONES FINALES DE ABANDONO .....	77
4.14.	CONDICIONES FINALES PARA POZOS TERRESTRES .....	79
4.15.	DOCUMENTACIÓN QUE DEBE INTEGRAR EL RESPONSABLE DEL TAPONAMIENTO AL TERMINAR EL TAPONAMIENTO DE UN POZO.....	79
4.16.	CORRECCIÓN DE ABANDONOS DEFECTUOSOS .....	79
4.17.	DETALLE DE ABANDONO DE POZO.....	80
4.18.	COSTOS DE ABANDONO .....	81
4.19.	DETERMINACIÓN DE LA CUOTA DE ABANDONO.....	82

4.20.	CASO DE ESTUDIO.....	83
4.20.1.	DISEÑO TEÓRICO DEL TAPÓN DE CEMENTO .....	87
	CONCLUSIONES .....	96
	RECOMENDACIONES .....	97
	BIBLIOGRAFÍA .....	98

## ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1: CEMENTACIÓN PRIMARIA.....	7
Figura 2: BALANCEO DE TAPÓN.....	36
Figura 3: EQUILIBRADO-IZQUIERDA/CIRCULACIÓN INVERSA- DERECHA.....	37
Figura 4: MÉTODO DE CUCHARA VERTEDORA.....	38
Figura 5: MÉTODO DE DOS TAPONES.....	40
Figura 6: TAPÓN MECÁNICO TIPO COPA.....	41
Figura 7: HERRAMIENTA DE DESVIACIÓN.....	42
Figura 8: INESTABILIDAD DE INTERFACE.....	43
Figura 9: CIRCULACION INVERSA.....	44
Figura 10: MÉTODO DEL TAPÓN DE CIRCULACIÓN.....	57
Figura 11: TAPONAMIENTO DE ZONAS.....	58
Figura 12: TAPÓN MECÁNICO PERMANENTE.....	58
Figura 13: TAPONAMIENTO DE INTERVALOS DISPARADOS.....	59
Figura 14: TAPONAMIENTO DE CEMENTACIÓN FORZADA.....	60
Figura 15: USO DE TAPONES PARA TUBERIA DE PERFORACIÓN.....	61
Figura 16: TAPÓN POR CIRCULACIÓN.....	62
Figura 17: CEMENTACIÓN FORZADA.....	63
Figura 18: USO TAPÓN PERMANENTE.....	63
Figura 19: AISLAMIENTO ZONAS.....	64
Figura 20: TAPONAMIENTO EN ZONAS DE AGUJERO DESCUBIERTO...	65
Figura 21: RETENEDOR DE CEMENTO.....	65
Figura 22: TAPÓN MECÁNICO PERMANENTE.....	66
Figura 23: TAPÓN MECANICO RECUPERABLE.....	67
Figura 24:TAPÓN DE CEMENTO.....	68
Figura 25: MAPA DE UBICACIÓN.....	84
Figura 26: ESTADO FINAL DE TAPONAMIENTO DE UN POZO.....	85
Figura 27: A) TAPÓN DESEADO B) LUEGO DEL DESPLAZAMIENTO.....	94
Figura 28: A) ANTES DEL DISEÑO B) POZO TAPONADO.....	95



## ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1: CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS.....	16
Tabla 2: COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS CEMENTOS API.....	16
Tabla 3: CARACTERÍSTICAS DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO.....	17



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA EN PETRÓLEO

**“DISEÑO TEÓRICO DE UN TAPÓN DE CEMENTO PARA POZOS SOMEROS EN UN AMBIENTE SALINO.”**

**Autor:** Limones Zamora Darwin Javier.

**Tutor:** Ing. Erazo Bone Romel, Mg.

**RESUMEN**

El proyecto descrito a continuación se detalla en el estudio de factibilidad mediante una propuesta de diseño de un tapón de cemento para pozos someros que se encuentran dentro de ambientes que mantienen un alto porcentaje de salinidad ante un minucioso análisis de sus historial y sistema de trabajo. Se estudia el caso del pozo SRY0042, tomando en cuenta su historial de producción, dentro de ello se tiene como detalle lo efectivo que es la lechada de cemento para taponamiento, que permita un excelente control, ya sea por invasión de fluidos contenidos en la formación, un desequilibrio de presión, como también el deterioro ocasionado por estar ubicado dentro de un ambiente salino es de mucha importancia y se logra mediante el diseño correcto que garantice este propósito.

El capítulo I, se plantea la problemática, la justificación y se define los objetivos de la investigación.

El capítulo II, dentro de este se define conceptos relacionado a cementación, conceptos de taponamiento y diferentes métodos de taponamiento que pueden usarse durante este proceso, los cuales permitan un método efectivo a desarrollar.

El capítulo III, se detalla el mecanismo de taponamiento efectivo que se realiza, los parámetros y características de mayor importancia de este método, herramientas a usarse las pruebas de taponamiento y las medidas de seguridad y protección ambiental.

El capítulo IV, en este consta el diseño de operación para el taponamiento, los requerimientos necesarios, el tipo de cemento y aditivos a usar, con ello el proceso y cálculo para diseñar el tapón de cemento para el cierre definitivo del pozo y como tal las condiciones finales de abandono ligado al reglamento de operaciones hidrocarburíferas.

Se mantiene, que al tener la información necesaria de las condiciones de pozos, se puede llevar a cabo un excelente taponamiento de pozo garantizando su factibilidad.

**Palabras clave:** Procedimiento/Cementación/Taponamiento.

## INTRODUCCIÓN

Al analizar un proceso de diseño de tapón de cemento, es probable que las ideas sean referentes al requerimiento de abandono del pozo, prevenir comunicación entre zonas o migración de fluidos, este tipo de intervenciones es usado cada vez con más frecuencia a medida que los yacimientos mantienen un largo periodo de producción, llegando así al límite donde se considera económicamente rentable.

Los taponos de cemento significan una herramienta de rehabilitación de pozos, que cobra principal importancia en objetivos que son totalmente diferentes a los de una cementación primaria, cuando digo que los taponos de cementación toman una importancia en los trabajos de rehabilitación, es que muchas veces los taponos de cemento son empleados para abandonar pozos que se consideran pocos productivos. (Filizzola Arzuaga, 2013).

La remediación de las operaciones defectuosas de taponamiento y abandono es costosa, por lo que al equivocarse en operaciones de taponamiento y abandono pueden afectar de gran manera al medio ambiente y a la empresa a cargo de la mencionada operación, ya que la contaminación al medio ambiente ocasiona un elevado costo en reparación de daños, por lo que se debe volver a intervenir el pozo correctamente.

Para llevar a cabo este tipo de intervención se debe tener información necesaria de las características del pozo, además de las normas necesarias para poder realizar las operaciones de taponamiento, no solamente los taponos son útiles para abandonar

pozos, también llegan a ser de gran utilidad para desviar la perforación, cuando se ha dejado una herramienta en el fondo del hoyo.

Al analizar este procedimiento se debe tener en cuenta que un tapón de cemento es una operación común de campo, que requiere un volumen relativamente bajo de lechada, colocando este en pozos que mantienen distintos propósitos, tales como; para desviar el pozo, para iniciar una perforación direccional, para abandonar una zona o abandonar el pozo, para intervenir un problema por pérdida de circulación durante la fase de perforación, como también para proporcionar una forma de anclaje en el caso de pruebas a hoyo abierto. (Aza Freire, 2013 - 2014).

## **CAPÍTULO I**

### **1.1. PROBLEMA**

En un pozo de petróleo perforado, uno de los principales inconvenientes es la migración de fluidos, por lo que se necesita proteger, asegurar, aislar estas zonas que en una determinada instancia ayuda a evitar contaminación, por lo que un tapón de cemento actúa como un sello en contra del flujo vertical, teniendo de referencia el diseño teórico de un tapón de cemento para un pozo somero que se encuentra ubicado en una zona urbana y establecido dentro de un ambiente con alto porcentaje de salinidad.

Un tapón de cemento, también conocido como la técnica balanceada de colocación de un volumen relativamente pequeño de cemento que se da por medio de una tubería de perforación o producción, como también el uso de herramientas especiales para la colocación de estos tapones en una zona determinada.

### **1.2. JUSTIFICACIÓN**

Un tapón de cemento es utilizado para evitar la migración de fluidos, minimizar la contaminación con los fluidos que se encuentren en la formación, asegurando así una forma de sello.

Para obtener una excelente factibilidad del diseño del tapón de cemento se requiere un apropiado planeamiento del trabajo, vinculado con las condiciones del pozo y conocimiento básico de los mecanismos involucrados.

El mantener el aislamiento vertical de una zona determinada teniendo en cuenta inconvenientes como la migración de fluidos, en este trabajo, se desarrolla para pozos someros que se encuentran ubicados en zonas urbanas y dentro de un ambiente de alta salinidad, por lo que se plantea el diseño teórico de un tapón de cemento que permita un excelente control, ya sea por invasión de fluidos contenidos en la formación, un desequilibrio de presión, como también el deterioro ocasionado por estar ubicado dentro de un ambiente salino es de mucha importancia y se logra mediante el diseño correcto que garantice este propósito.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un tapón de cemento basado en un modelo teórico para un pozo somero establecido en un ambiente de alta salinidad.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar el diseño teórico para el tapón de cemento.
- Estudiar la eficiencia de un tapón de cemento para un pozo somero en un ambiente salino.
- Describir las condiciones necesarias para el diseño correcto del tapón de cemento.
- Analizar la factibilidad de un tapón de cemento en un pozo somero establecido en un ambiente de alta salinidad.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. CEMENTACIONES**

El volumen de cemento que se bombea es predeterminado para alcanzar zonas como las que se encuentran alrededor del fondo de la zapata, espacio anular, formación permeable, agujero descubierto, entre otras. Luego se deja fraguar y endurecer, formando una barrera permanente e impermeable al movimiento de los fluidos detrás del revestidor. (Vite Rodríguez, 2019)

#### **2.2. TIPOS DE CEMENTACIONES**

De acuerdo a las operaciones que se esté realizando tenemos la siguiente clasificación.

- Cementación primaria
- Cementación secundaria o forzada
- Tapón de cemento

##### **2.2.1. CEMENTACIÓN PRIMARIA**

El cemento se endurece (fragua) y forma un sello hidráulico en el agujero evitando la migración de fluidos de la formación en el espacio anular hacia la superficie. La cementación primaria es, por consiguiente, una de las etapas más críticas durante la perforación y terminación de un pozo. Este procedimiento debe ser cuidadosamente



planificado y ejecutado, debido a que hay una sola oportunidad para realizar esta operación exitosamente. (Salcedo Bolaños, 2012)

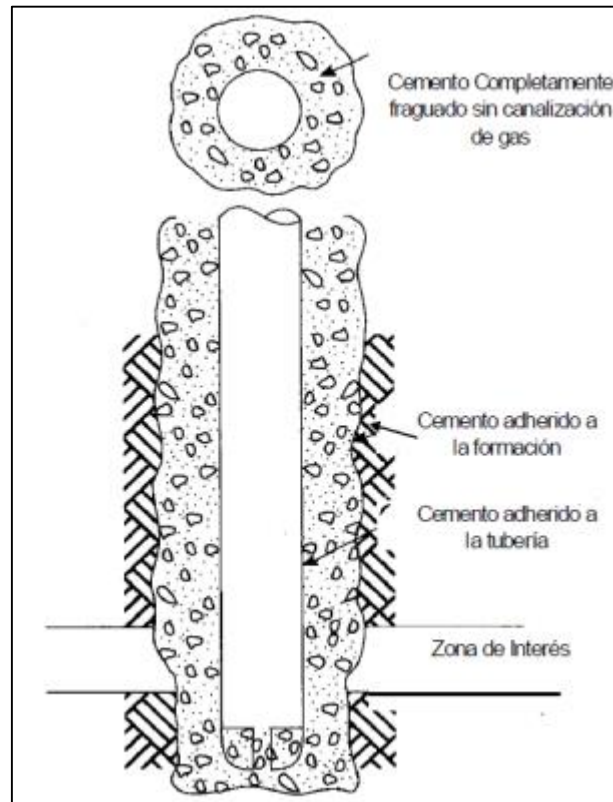


Figura 1: CEMENTACIÓN PRIMARIA

Fuente: (Salcedo Bolaños, 2012)

**Aislamiento de zona:** Un aislamiento zonal, consiste en sellar una zona con respecto a otras, esto permite que el desplazamiento de líquidos y/o gases entre las zonas de la formación por medio del espacio anular.

**Apoyo de la tubería de revestimiento:** El proceso de cementación y la capa que forma el cemento, proporciona un soporte axial a la tubería de revestimiento de la superficie, como también para cualquier otra tubería que sea instalada con posterioridad, como por ejemplo un liner.

**Protección de la tubería de revestimiento:** El cemento mantiene una resistencia considerable contra formaciones que conllevan en si una gran cantidad de sales y fluidos altamente corrosivos como el H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub>.

**Apoyo en el agujero:** Al realizar un proceso de cementación, este permite el soporte para el agujero en formaciones inconsistentes, sensibles al agua o no consolidadas.

#### **2.2.1.1. CEMENTACIÓN POR ETAPAS**

La cementación que se da por etapas se desarrolla en pozos donde se desea cubrir con cemento una gran longitud del espacio anular o donde se tienen zonas de interés con separaciones muy marcadas o con problemas de pérdidas en zonas débiles donde no se puede soportar una columna pesada.

La finalidad de la cementación por etapas, es:

- Colocar grandes columnas de cemento.
- Aminorar la presión sobre el pozo descubierto al reducir la columna.
- Dividir columnas de gran diámetro para mejorar la cementación.
- Colocar cemento sólo en un lugar deseado, sin hacer una columna continua de cemento.
- Cementar encima de zonas de pérdida de circulación.

### **2.2.2. CEMENTACIÓN SECUNDARIA O FORZADA**

El desarrollo de la operación de cementación primaria ha sido usado para sellar y soportar las tuberías de revestimiento de un pozo, suele suceder que en ciertos procedimientos los resultados no son siempre exitosos y durante la vida de muchos pozos se han requerido de ciertos trabajos de corrección.

La técnica, comúnmente llamada cementación secundaria o forzada, es más difícil y más amplia en su aplicación que la cementación primaria. Las operaciones de la cementación secundaria o forzada pueden ser desarrolladas durante la perforación o la terminación de un pozo o para su reparación o intervención posterior.

Este procedimiento es necesario por muchas razones, pero probablemente el uso más importante es en la producción de hidrocarburos de aquellas formaciones que producen otros fluidos no deseados. El elemento clave de una cementación forzada es la colocación del cemento en el punto deseado.

La cementación secundaria o forzada es el proceso de forzar la lechada de cemento bajo presión a través de las perforaciones en la tubería de revestimiento y las cavidades detrás del mismo con el propósito de construir nodos de buena calidad que permitan aislar o eliminar la producción de fluidos indeseables y eliminar comunicaciones por problemas en la cementación primaria.

Cuando la lechada es forzada a entrar en una formación permeable, las partículas de los sólidos se colocan en la pared de la formación y la fase acuosa (filtrado del cemento) entra a la matriz de la formación. Un apropiado diseño del trabajo de una

cementación forzada da como resultado un filtrado de cemento que llena las aberturas entre la formación y la tubería de revestimiento, el filtrado forma una capa impermeable sólida.

En algunos casos donde la lechada es colocada en intervalos fracturados, los sólidos del cemento deberán desarrollar un filtrado o puente en la fractura. La cementación secundaria o forzada tiene muchas aplicaciones durante las fases de perforación y terminación, las más comunes son:

- Reparar un trabajo de cementación primaria que tiene canalización o tiene una altura insuficiente en el espacio anular.
- Eliminar la intrusión de agua arriba y abajo del intervalo productor
- Reducir la relación gas-aceite al aislar las zonas de gas de intervalos de aceite adyacentes.
- Reparar fugas de la tubería de revestimiento por corrosión o tubería ranurada.
- Abandono de zonas improductivas o agotadas.
- Sellar zonas de pérdida de circulación.
- Proteger las zonas productoras de la migración de fluidos.

En las cementaciones secundarias o forzadas el cemento se prepara con aditivos de control de pérdida de agua y se inyecta a bajo gasto por debajo de la presión de

fracturamiento de la formación, dando tiempos estáticos para hacer que la lechada expuesta a la zona permeable en los disparos se deshidrate y forme una capa de cemento en cada tiempo estático y así obturar todos los disparos con capas de cemento superpuestas hasta tener una pequeña protuberancia en el agujero.

### **2.2.3. TAPONES DE CEMENTO**

Después de un periodo de vida productiva de un pozo de petróleo, gas o agua, puede llegar a ser necesario un tapón de cemento. El tapón de cemento está formado por un cierto volumen de lechada de cemento, colocado en el agujero o en el interior de la tubería de revestimiento, es la operación que consiste en colocar una columna de cemento en el pozo abierto o revestido.

Algunas aplicaciones de los tapones de cemento son:

- Desviar el agujero del pozo por encima de un pescado o realizar una perforación direccional.
- Taponar una zona o un pozo agotado (abandono).
- Resolver un problema de pérdida de circulación durante la fase de perforación.
- Probar el anclaje.

### **2.3. CALIDAD DEL CEMENTO**

Una mezcla de cemento está formada por caliza, sílice, arcilla molida y calcinada, al mantener contacto con agua, esta mezcla forma un cuerpo sólido.

#### **2.3.1. CEMENTO PORTLAND**

Este fue la primera mezcla de cemento usado en un pozo petrolero, llamado cemento Portland, el cual fue desarrollado por Joseph Aspdin en 1824, formado por la mezcla de calizas y arcillas.

El cemento Portland es un ejemplo de un cemento hidráulico, fragua y desarrolla resistencias a la compresión como resultado de la hidratación, la cual involucra reacciones químicas entre el agua y los componentes presentes en el cemento. Portland es la mezcla de cemento más importante en cuanto a términos de calidad, desarrollo de resistencia a la compresión, tensión y a los sulfatos, por lo cual es el material idóneo para las operaciones de cementación de pozos petroleros. El cemento fraguado tiene baja permeabilidad y es insoluble en agua, de tal forma que expuesto a esta no se destruyen sus propiedades. Tales propiedades son esenciales para que un cemento obtenga y mantenga el aislamiento entre las zonas del subsuelo.

Los principales compuestos del cemento y sus funciones son:

- a) Silicato tricálcico ( $3\text{CaOSiO}_2$ ) habitualmente conocido como  $\text{C}_3\text{S}$ .

Es el componente más abundante en la mayoría de los cementos y, además, el factor principal para producir la consistencia temprana o inmediata. Generalmente, los cementos de alta consistencia inmediata contienen mayor concentración este compuesto, más que el Portland común y los retardados.

b) Silicato dicálcico ( $2\text{CaOSiO}_2$ ) habitualmente conocido como  $\text{C}_2\text{S}$ .

Compuesto de hidratación lenta que proporciona la ganancia gradual de resistencia. Ocurre en un periodo largo.

c) Aluminato tricálcico ( $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$ ) habitualmente conocido como  $\text{C}_3\text{A}$ .

Tiene influencia en el tiempo de espesamiento de la lechada. Es responsable de la susceptibilidad al ataque químico de los sulfatos sobre los cementos. Esta susceptibilidad se clasifica en moderada y alta resistencia al ataque químico, cuando contienen este compuesto en 8 y 3% respectivamente.

d) Alúmino ferrito tetracálcico ( $4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) habitualmente conocido como  $\text{C}_4\text{AF}$ .

Este compuesto es de bajo calor de hidratación y no influye en el fraguado inicial.

## **2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS**

La mezcla de cemento está formada por características físicas y químicas, esto en base al uso que se desea realizar, teniendo en cuenta parámetros como, presiones, profundidad y temperaturas.

### **2.4.1. TIPOS DE CEMENTO**

Clase A.

Empleado a una profundidad máxima de 6000 ft a una temperatura de 170°F, este tipo de cemento es denominado tipo I, producto obtenido del Clinker y yeso, tiene moderada resistencia a los sulfatos y mantiene una alta adherencia en las lechadas.

Clase B.

Empleado a una profundidad máxima de 6000 ft a una temperatura de 170°F, este tipo de cemento es denominado tipo II, su bajo contenido de  $C_3A$  permite ser moderada a alta resistencia al sulfato.

Clase C.

Empleado a una profundidad máxima de 6000 ft a una temperatura de 170°F, este tipo de cemento es denominado tipo III, fabricado dentro de los tres grados de resistencia a los sulfatos (baja, moderada, alta), este tipo de cemento presenta un alto contenido de  $C_3S$  y  $C_3A$ , por lo que requiere más agua de mezcla obteniendo una lechada de baja densidad.

Clase D.

Empleado a una profundidad de 6000 ft hasta 10000 ft, a una temperatura de 230°F, este tipo de cemento es denominado tipo IV y presión moderada, desarrollado en dos rangos de resistencia a los sulfatos.



Clase E.

Empleado a una profundidad de 10000 ft hasta 14000 ft, a una temperatura de 290°F y alta presión, este tipo de cemento es denominado tipo V, fabricada de moderado a alta resistencia a los sulfatos.

Clase F.

Empleado a una profundidad de 10000 ft hasta 14000 ft, a una temperatura de 290°F y alta presión, este tipo de cemento es denominado tipo V, fabricada de moderado a alta resistencia a los sulfatos, presentan una significativa reducción de  $C_3S$  y  $C_3A$  y aumento de tamaño de sus partículas lo que causa un efecto retardante en el fraguado.

Clase G y H.

Conocidos como cementos petroleros, son cementos básicos para emplearse desde la superficie hasta 8,000 ft. Pueden modificarse con aceleradores o retardadores, para usarlos en un amplio rango de condiciones de presión y temperatura. Se fabrica en moderada y alta resistencia a los sulfatos

La principal diferencia radica en su área superficial, los cementos clase H son más gruesos que los cementos clase G. los cementos clase G y H son los más usados hoy en día, fueron desarrollados en respuesta a las mejoras de la tecnología de aceleramiento y retardamiento.

CLASES API	Agua de mezcla	Lechada, ppg.	Profundidad (ft)	BHST °F
A (PORTLAND)	5.2	15.6	0 – 6000	80 – 170
B (PORTLAND)	5.2	15.6	0 – 6000	80 – 170
C (ALT TEMP)	6.3	14.8	0 – 6000	80 – 170
D (RETARDADA)	4.3	16.4	6000 – 10000	170 – 230
E (RETARDADA)	4.3	16.4	6000 – 10000	170 – 230
F (RETARDADA)	4.3	16.4	10000 – 16000	230 – 320
G (CALIFORNIA B)	5.0	15.8	0 – 8000	80 – 200
H (“GULF COAST”)	4.3	16.4	0 – 8000	80 – 200

Tabla 1: CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS

Fuente: (Correa Salgado, 2012)

CEMENTO	COMPONENTE				MOLIENDA
	SC <sub>3</sub>	SC <sub>2</sub>	AC <sub>3</sub>	AFC <sub>4</sub>	
A	53	24	8	8	1500 – 1900
B	47	32	5	12	1500 – 1900
C	58	16	8	8	2000 – 2800
D	26	54	2	12	1200 – 1600
E	26	54	2	12	1200 – 1600
F	26	54	2	12	1200 – 1600
G	50	30	5	12	1400 – 1700
H	50	30	5	12	1400 – 1700

Tabla 2: COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS CEMENTOS API

Fuente: (Correa Salgado, 2012)

## 2.5. HIDRATACIÓN DEL CEMENTO

Es un proceso exotérmico y cada uno de los componentes tiene un color característico de hidratación que contribuye al total de calor de hidratación liberado.

Generalmente la cantidad de calor de hidratación depende de las cantidades relativas de cada uno de los componentes que conforman el cemento. Un cemento con alta proporción de fase de aluminato y ferrita genera una gran cantidad de calor de hidratación. El calor de hidratación que se produce en un cemento normal es del orden de 85 a 100 cal/g.

<b>COMPONENTE</b>	<b>VELOCIDAD DE REACCION</b>	<b>CALOR LIBERADO</b>	<b>CONTRIBUCION A LA RESISTENCIA</b>
C <sub>3</sub> S	MODERADA	MODERADA	ALTA
C <sub>2</sub> S	LENTA	BAJA	INCIAL BAJA, LUEGO ALTA
C <sub>3</sub> A + C <sub>3</sub> H <sub>2</sub>	RAPIDA	MUY ALTA	BAJA
C <sub>3</sub> AF + C <sub>3</sub> H <sub>2</sub>	MODERADA	MODERADA	BAJA

Tabla 3: CARACTERÍSTICAS DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO

Fuente: (Correa Salgado, 2012)

### **2.5.1. EFECTOS DE LA HIDRATACIÓN DEL CEMENTO**

Cuando el agua reacciona con el cemento, esta mezcla experimenta una disminución en el volumen neto, esto debido a que la densidad de los materiales hidratados es mayor que la de los reactantes.

#### **2.5.1.1. EFECTO DE LA TEMPERATURA**

La velocidad de hidratación del cemento, naturaleza y morfología depende considerablemente de este parámetro.

### **2.5.1.2. FRAGUADO RELÁMPAGO**

Cuando el compuesto solo es Clinker y este es mezclado con el agua, el  $C_3S$ , tiene una reacción rápida, la temperatura aumenta y un endurecimiento irreversible, es denominado fraguado relámpago.

### **2.5.1.3. FRAGUADO FALSO**

Este tipo de proceso solo es irreversible con una fuerte agitación, sin embargo, dicha agitación no puede ser realizada durante la mayoría de las operaciones de cementaciones, particularmente, si la lechada de cemento es mezclada continuamente. La adición de un dispersante se puede utilizar para reducir el impacto reológico del fraguado falso.

### **2.5.1.4. ALTERACION DEL CEMENTO**

Las propiedades del cemento pueden ser afectadas por factores como:

- Incremento del tiempo de fraguado.
- Disminución del calor de hidratación.
- Disminución de la resistencia a la compresión.
- Incremento de la viscosidad de la lechada.

## **2.6. CEMENTOS ESPECIALES**

**CEMENTOS ULTRA FINOS:** Las partículas de estos cementos son mucho más pequeñas que las del cemento Portland, el tamaño promedio de sus partículas es de

2  $\mu\text{m}$  en comparación con los cementos convencionales cuyas partículas poseen un tamaño comprendido entre 50 y 100  $\mu\text{m}$ . La principal aplicación de estos cementos es como un cemento de peso liviano (densidad baja) con un desarrollo de resistencia temprano, son usados para reparar fracturas en el cemento, reparar fisuras en el revestimiento, cerrar flujos de agua u otros problemas similares, debido a que son capaces de penetrar aberturas pequeñas gracias al mínimo tamaño de sus partículas.

**CEMENTOS EPOX:** Son materiales comúnmente usados cuando el cemento está expuesto a fluidos corrosivos. Generalmente son usados en pozos inyectores donde se utilizan fluidos con bajo pH y además son productos puros y muy consistentes.

**ESCORIA:** La composición de este material es principalmente silicato monocálcico ( $\text{SiO}_2\text{CaO}$ ), silicato dicálcico ( $2\text{CaOSiO}_2$ ) y aluminosilicato dicálcico ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ). Este compuesto es altamente tolerante a la contaminación con fluidos de perforación.

**PUZOLANAS:** Son materiales silicios y aluminosos que poseen poco o ningún valor cementante, pero que, al reaccionar con el hidróxido de calcio a temperaturas moderadas, forman compuestos con propiedades de cemento.

**CEMENTOS DIESEL (CEMENTO BASE DIESEL):** Este tipo de cemento resulta de mezclar un cemento API clase A, B, G o H, con diésel o keroseno y surfactante. Los cementos diésel tienen un tiempo de bombeabilidad ilimitado y no fraguan a menos que se ubiquen en zonas con presencia de agua.

**CEMENTOS RESINOSOS O PLÁSTICOS:** Son materiales especialmente usados para colocar tapones selectivos en pozos abiertos, cementaciones a presión y para cementar zonas que se van a abandonar en un pozo. Por lo general son mezclas de resinas líquidas, un catalizador en polvo y un cemento API clase A, B, G o H.

**CEMENTOS DE YESO:** Estos cementos son usados para trabajos de recementación. La propiedad del cemento de yeso es la capacidad de fraguar rápidamente, obteniéndose una alta resistencia y una buena expansión (aproximadamente 0.3 %). Se mezclan con los cementos API clase A, G o H, en concentraciones de 8 a 10 por ciento para producir propiedades tixotrópicas.

**CEMENTOS LÁTEX.:** Los cementos látex son una mezcla de cemento API clase A, G o H, con látex, ya sea líquido o en polvo. Estos látex son identificados como acetato de polivinilo o emulsiones de butadieno-estireno. Con estos cementos látex se mejora la solidez y el control de la pérdida de filtrado de la lechada en el agujero.

**CEMENTOS PARA AMBIENTES FRIOS:** Para condiciones de muy bajas temperaturas (glaciares, bloques de hielo, entre otros) es conveniente el uso de ese tipo de cementos, con propiedades de fraguado rápido y bajo calor de hidratación, este para evitar el derretir la zona fría o congelada.

**CEMENTOS ESPUMOSOS:** El cemento espumoso es un sistema en el cual el N<sub>2</sub> (reductor de densidad) se incorpora directamente dentro de la lechada para obtener un cemento ligero y además le proporciona propiedades tixotrópicas a la lechada. La generación de cemento espumoso en el campo, requiere del uso de lechadas

normales, una fuente de gas (compresor) y la adición de un surfactante para estabilizar la espuma. La disponibilidad de este tipo de cemento, ofrece un control instantáneo de la densidad de la lechada durante la operación.

**CEMENTOS TIXOTRÓPICOS:** El cemento tixotrópico se comporta como fluido cuando se expone a altos valores de cedencia, pero forma una estructura rígida de gel después de que el bombeo es suspendido. Sirve para meterlo en una fractura, en una zona altamente permeable.

**CEMENTO ANTIÁCIDO:** El cemento antiácido es una masa de cuarzo pulverizado y silicato de sosa, resistente a los ácidos, es un polvo a base de resinas sintéticas dotado de las mismas propiedades.

**CEMENTOS EXPANSIVOS:** El cemento expansivo es aquel, que al adicionarle sulfato de calcio y otras sustancias, aumenta ligeramente de volumen al fraguar.

Para ciertas condiciones del fondo del pozo es deseable tener un cemento que se pueda extender en sus propiedades, como protección contra condiciones problemáticas. Para tales casos, en la industria petrolera se han evaluado varios componentes que extienden las propiedades ligeramente cuando se aplican a los cementos. Actualmente se manejan 3 tipos comerciales de cementos expansivos, los cuales son:

- Tipo K: contiene como componente el sulfato aluminato de calcio que se mezcla con un cemento Portland. Cuando se prepara la lechada de cemento tipo K, la reacción creada por hidratación provoca una expansión de 0.05 a

0.20% aproximadamente.

- Tipo S: Sugerido por la Portland Cement Association, consiste de un cemento con alto contenido de aluminato tricálcico, similar al cemento API clase A, con aproximadamente 10 a 15% de yeso.
- Tipo M: Se obtiene con la adición de pequeñas cantidades de cemento refractario, al cemento Portland, para producir fuerzas expansivas.

**CEMENTOS COMPRESIBLES:** Las lechadas de cemento compresible fueron diseñadas en un esfuerzo para mantener la presión de poro del cemento arriba de la presión de formación del gas.

**CEMENTOS FIBROSOS:** Esta clase de cementos contienen fibras sintéticas que incrementan su durabilidad y resistencia a los esfuerzos mecánicos y de tensión.

### **2.6.1. PROPIEDADES DE LOS CEMENTOS**

Los cementos especiales están diseñados para utilizarse en la cementación de pozos en muy diversas condiciones distintas de presión, temperatura, formaciones y fluidos con distintas propiedades. Para poder usar las lechadas en estas distintas condiciones se emplean numerosos aditivos de cemento.

Estas características incluyen:

- Rendimiento
- Densidad de la lechada



- Agua de mezcla
- Tiempo de fraguado (capacidad de bombeo)
- Fuerza de compresión
- Perdida de agua

#### **2.6.1.1. RENDIMIENTO**

El rendimiento del cemento en pies cúbicos por saco, es el volumen que será ocupado por el cemento, el agua de mezcla y los aditivos una vez que la lechada este mezclada. Esto varía dependiendo de la clase del cemento.

#### **2.6.1.2. DENSIDAD DE LA LECHADA**

Una mezcla estándar que comprenda 5 galones de agua y 94 libras (1 saco) de cemento, crea una lechada con una densidad de 15.8 lb/gal (1.89 gr/cm<sup>3</sup>). La densidad de la lechada es ajustada variando, ya sea la proporción del agua de mezcla o el uso de aditivos. La mayoría de las densidades de lechada se encuentran en un rango de 11 a 18.5 lb/gal (1.32 a 2.21 gr/cm<sup>3</sup>).

Los aditivos para ajustar la densidad incluyen:

##### a) Materiales reductores de densidad

- Bentonita (SG 2.65), reduce una lechada de 15.8 ppg a 12.6 ppg con 12% de bentonita.
- Diatomeas

- Gilsonita (SG 1.07)
- Puzol (SG 2.5), es una mezcla 50:50 con 2% de bentonita, crea una lechada de 13.3 ppg.

b) Materiales que incrementan la densidad

- Baritina (SG 4.25)
- Ilmenita (SG 4.6)
- Hermatites (SG 5.02)

### **2.6.1.3. AGUA DE MEZCLA**

El agua de mezcla es la cantidad de agua, dada 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. La cantidad de agua de mezcla depende de la cantidad de cemento que se requiere bombear y de un monto mínimo de aguas libres en caso de permitir que se quede/asiente.

Reducir la proporción de agua de mezcla tiene el siguiente efecto:

- Causa un incremento en la densidad, fuerza de compresión y viscosidad de la lechada.
- La lechada se hace más difícil de bombear.

- Se construye menos volumen de lechada por saco de cemento utilizado.

#### **2.6.1.4. TIEMPO DE FRAGUADO (CAPACIDAD DE BOMBEO)**

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

#### **2.6.1.5. FUERZA DE COMPRESIÓN**

La resistencia a la compresión del cemento fraguado 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 choques generados por las operaciones de perforación y disparos, y resistir una presión hidráulica sin fracturarse.

El periodo de “Esperar por cemento” (WOC), permite a la fuerza del cemento a desarrollarse por completo. El periodo de tiempo depende de la temperatura, presión, proporción de agua de mezcla y del tiempo transcurrido desde el mezclado, en el agujero descubierto. Aceleradores (es decir  $\text{CaCl}_2$ ) puede reducir el tiempo de WOC hasta menos 3 horas.

#### **2.6.1.6. PERDIDA DE AGUA**

El proceso de asentamiento del cemento es el resultado de una reacción química que resulta en deshidratación. De modo que es importante que cualquier pérdida de agua sea controlada hasta que el cemento sea colocado para asegurar que se pueda seguir bombeando. La cantidad aceptable de pérdida de agua dependerá del tipo de trabajo que se esté realizando.

- Trabajo de cementación forzada

Esto requerirá una pérdida de agua controlada (usualmente 50-200 ml) para así permitir a la lechada de cementación ser bombeada a las formaciones antes de que se cree un enjarre significativo e impermeable.

- Cementación primaria

La pérdida de agua es menos crítica y estará usualmente en el orden de los 25-400 ml.

- Trabajo con “liner”

Pérdida de fluidos o filtración alrededor de los 50 ml.

- Hueco horizontal

Pérdida de fluidos o filtración menor a 50 ml.

## **2.7. REOLOGÍA**

La reología define las propiedades de flujo de la lechada. Estas características se controlan con el fin de facilitar la mezcla y la capacidad de bombeo, y obtener las características deseadas del gasto del fluido. Las propiedades del fluido que definen la reología son:

- Viscosidad plástica (PV) expresada en centipoise (cP), es la pendiente de la línea de esfuerzo de corte / velocidad de corte por encima del punto de cedencia.
- Punto de cedencia (Ty) expresado en libras de fuerza / 100 pies cuadrados, esta mide la resistencia del fluido a fluir. Cuantos más sólidos tenga una lechada, mayor será la viscosidad plástica. Cuanto mejor sea la dispersión entre las partículas hidratadas de cemento, menor será el punto de cedencia.

## **2.8. ADITIVOS DEL CEMENTO**

Los aditivos tienen como función adaptar los diferentes cementos petroleros a las condiciones específicas necesarias, estos pueden ser sólidos o líquidos (solución acuosa). La mayoría de las lechadas de cemento contienen algunos aditivos para mejorar las propiedades individuales, dependiendo del trabajo. Los aditivos podrían ser requeridos para:

- Variar la densidad de la lechada
- Cambiar la fuerza de compresión

- Acelerar o retardar el tiempo de asentamiento
- Controlar la filtración y pérdida de fluido
- Reducir la densidad de la lechada

### **2.8.1. ACELERADORES**

Los aceleradores reducen el tiempo de WOC (tiempo para alcanzar 500 psi de fuerza de compresión). Se usa en pozos poco profundos (someros) con bajas temperaturas.

Los aditivos más comunes son:

- Cloruro de calcio 1.5-2.0%
- Cloruro de sodio 2.0-2.5%
- Agua de mar

Estos actúan con retardadores en concentraciones más altas.

### **2.8.2. RETARDADORES**

Se utilizan en secciones más profundas en donde las altas temperaturas promueven un asentamiento más rápido. Si la temperatura estática en el fondo del pozo (BHST) es mayor de alrededor de 260 °F, estos hacen que el tiempo de fraguado y el desarrollo de resistencia a la compresión del cemento sean más lentos. Los retardadores más usados son:

- Calcio lingosulfanato 0.1-1.5%
- Solución salina saturada

### **2.8.3. REDUCCIÓN DE DENSIDAD**

Se utiliza para reducir la carga hidrostática de la lechada en donde exista una preocupación por extender la longitud de una fractura. También reduce la fuerza de compresión e incrementa el tiempo de fraguado. Esto permite mayor uso de agua de mezcla ya que crea un mayor volumen de la lechada, también son llamados “prolongadores”.

### **2.8.4. INCREMENTO DE DENSIDAD (DENSIFICANTES)**

Son aditivos que aumentan la densidad del cemento o que aumentan la cantidad de cemento por unidad de volumen del material fraguado, con el fin de aumentar la presión hidrostática, los más usados son:

- Barita
- Hermatita
- Ilmenita

### **2.8.5. ADITIVO PARA EL CONTROL DEL FILTRADO.**

Son aditivos que controlan la pérdida de la fase acuosa del sistema cementante frente a una formación permeable, previenen la deshidratación prematura de la lechada. Los más usados son:

- Polímeros orgánicos
- Reductores de fricción

Los anti espumantes ayudan a reducir el entrapamiento de aire durante la preparación de la lechada, los más usados son:

- Éteres de poliglicoles
- Siliconas

#### **2.8.6. DISPERSANTES (REDUCCIÓN DE FRICCIÓN)**

Estos se agregan al cemento para mejorar las propiedades de flujo, es decir, reducen la viscosidad de la lechada de cemento. Entre estos se encuentran:

- Polinaftaleno sulfonado
- Polimelamina sulfonado
- Lignosulfonatos
- Ácidos hidrocarboxílicos
- Polímeros celulósicos

#### **2.8.7. TAPONAMIENTO DE UN POZO**

Un tapón de cemento es una técnica denominada como un volumen relativamente pequeño, por medio de la tubería de perforación, de producción o con el uso de herramientas especiales, la finalidad es proveer un sello contra el flujo vertical de



los fluidos, con la finalidad de abandonar intervalos depresionados, proteger el pozo, establecer un sello. (Halliburton.).

## **2.9. RAZONES POR LA QUE SE REALIZA ESTE TIPO DE INTERVENCIÓN.**

De acuerdo al desarrollo de taponamiento de pozos (Gutiérrez Velásquez, 2019) detalla las razones por las que se realiza este tipo de intervención:

### **2.9.1. RENTABILIDAD**

Uno de los factores es la rentabilidad, y esto sucede cuando el factor de recuperación de petróleo comparado con el precio no es justificativo, conllevando a cerrar o tapar definitiva o temporalmente el pozo. Aquellos pozos que son taponados de manera temporal y que aún pueden producir, pueden ser abiertos en dos circunstancias.

- Cuando el precio aumente, y su producción sea beneficiosa.
- Cuando por medio de la tecnología sea más rentable reiniciar su producción.

### **2.9.2. DESCONTROL DE POZOS**

En los pozos petroleros, durante su vida productiva o no productiva, existe la posibilidad de que se origine un brote, si este inconveniente es detectado con tiempo, aplicando las medidas necesarias, se evita el daño industrial, ecológico o incluso al personal que este laborando en dicho pozo, de lo contrario se incrementa los tiempos y costos de la intervención.

En ciertos casos un descontrol de pozo puede causar daños de gran magnitud, como causar la pérdida total del equipo, del mismo pozo, daños al personal y ambiental.

Para poder contrarrestar el brote se puede utilizar un tapón de cemento para taponar el flujo en el agujero. Sin embargo, esto generalmente implica el abandono del pozo y de la sarta de perforación. Los taponos de cemento se colocan bombeando una cantidad de cemento de fraguado rápido (con acelerador) dentro del anular utilizando la sarta de perforación.

El cemento fraguado reduce la posibilidad de corte de gas. Si se requiere colocar un tapón de cemento por encima del fondo del pozo con lodo en la parte inferior, se debe considerar colocar un bache viscoso por debajo de la zona a taponar.

Esta precaución se debe considerar en pozos largos o desviados o cuando el cemento es sustancialmente de mayor peso que el lodo en el pozo.

Colocar un tapón de cemento ofrece pocas posibilidades de recuperar la sarta de perforación. También es muy probable que la sarta se quede taponada después de bombear el cemento, eliminando la posibilidad de un segundo intento si el primero falla. Los taponos de cemento se deben considerar como última opción.

### **2.9.3. POZOS VIEJOS**

Luego de la vida productiva de un pozo y pasar por numerosas etapas. El descubrimiento del yacimiento de petróleo o de gas, luego de meses de años de exploración y perforación, así como el logro de la primera producción representa una meta importante. El éxito en las operaciones de recuperación mejorada puede

hacer que esta etapa de la producción tenga una buena recompensa desde los puntos de vista financiero y técnico. La etapa de un pozo de petróleo y que difícil de aceptar es la de terminación de la producción, y el abandono de los pozos y de las instalaciones de producción.

De tal forma siempre quedará sin producir un cierto volumen de hidrocarburos porque el costo de llevarlo a la superficie es mayor al precio que se obtendrá en el mercado, los volúmenes de petróleo y gas remanentes en el yacimiento nunca podrán ser recuperados porque hasta las tecnologías como la inyección de fluidos, que se utilizan para impulsar los hidrocarburos hacia el pozo una vez que los mecanismos naturales del yacimiento ya no son los suficientemente altos para impulsarlos, con el tiempo se volverá más difícil, ineficaz y costoso seguir produciendo estos yacimientos.

#### **2.9.4. DIAGNÓSTICO PARA TAPONAR UN POZO DE PETRÓLEO**

Durante las actividades que se realiza para poder producir un pozo de petróleo, resultan pozos secos, invadidos de agua salada, o de interés no comercial, así mismo en eventos asociados a las actividades físicas de las formaciones que se atraviesan durante la perforación ocurren accidentes mecánicos, todo lo anterior lleva a la decisión de efectuar el taponamiento del pozo que se interviene. De igual manera los pozos que alcanzan su límite técnico-económico, y los que representan alto riesgo en la seguridad de la comunidad aledaña al mismo, requerirán de su taponamiento. (Schlumberger, 2008).

Las bases de las operaciones de taponamiento y abandono varían poco, independientemente si el pozo se encuentra en tierra firme o en un área marina.

Se remueven los componentes de la terminación del pozo, se colocan tapones y se inyecta cemento en forma forzada en los espacios anulares, a profundidades específicas y en las zonas productivas para que actúen como barreras permanentes para la presión proveniente de arriba y abajo, además de proteger la formación contra la cual se coloca el cemento.

De un modo similar, tanto en áreas terrestres como en áreas marinas, la decisión de taponar y abandonar un pozo se basa invariablemente en la economía. Cuando la tasa de producción cae por debajo del límite económico (el punto en el que los niveles de producción arrojan una ganancia inferior o equivalente a los costos operativos), es aconsejable abandonar el pozo.

En ciertos casos pueden existir volúmenes de hidrocarburos remanentes considerables, pero puede que el costo de resolución de un problema de pozo supere las ganancias proyectadas de la producción potencial del pozo reacondicionado. Por otra parte, algunos pozos se pueden taponar permanentemente después de una terminación por debajo de cierta profundidad.

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO DE TAPONAMIENTO DE UN POZO**

Existen varias técnicas para taponar un pozo, entre estas se encuentran:

- Tapón equilibrado
- Cuchara vertedora
- Dos tapones con tubería de aluminio
- Tapón mecánico

#### **3.1. TAPÓN EQUILIBRADO**

Esta técnica de colocación de tapones, es el método de tapón más utilizado y equilibrado. En primer lugar, se corre una tubería o tubería de perforación en el pozo con difusor hasta la profundidad donde se quiere colocar la parte inferior del tapón. Antes y después de la lechada se bombea un espaciador o lavador (agua, diésel, lavador químico y espaciador densificado), para evitar que el lodo contamine el cemento y balancear el tapón. La lechada se puede mezclar por baches para lograr una densidad uniforme y controlar la reología.

Los volúmenes de espaciador y lavador son tales que sus alturas en el anular y la tubería son las mismas. Se controla el desplazamiento con lodo de control hasta la profundidad de la cima calculada del tapón. (Fig. Balanceo de tapón).

Una vez que el tapón ha sido balanceado, se levanta la tubería a una velocidad lenta, entre 3 y 5 minutos por lingada (tres tubos acoplados) a cierta altura por encima del tapón y se circula en inverso desalojando el sobrante de la lechada, si esto se programa de esta manera. Si no fuera así, entonces se levanta lentamente a la velocidad antes indicada, hasta alejarse lo necesario de la cima del frente lavador y se cierra el pozo el tiempo estimado para desarrollar su esfuerzo comprensivo, al término de este, se procede a sacar toda la tubería utilizada y se introduce la barrena seleccionada para determinar la cima del tapón. De esta manera se evita el movimiento de fluidos que pudieran producir la contaminación del cemento con el fluido de control del pozo. (Fig. Equilibrado-Izquierda / Circulación inversa-derecha).

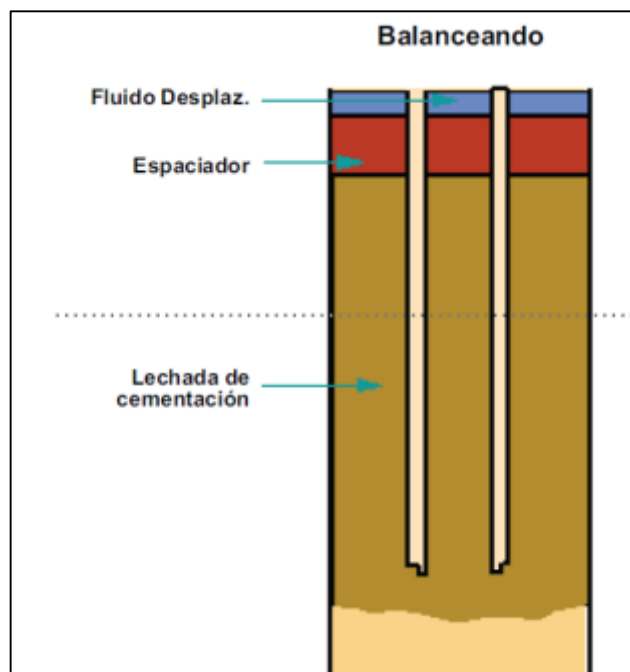


Figura 2: BALANCEO DE TAPÓN

Fuente: (Medrano Crespo, 2017)

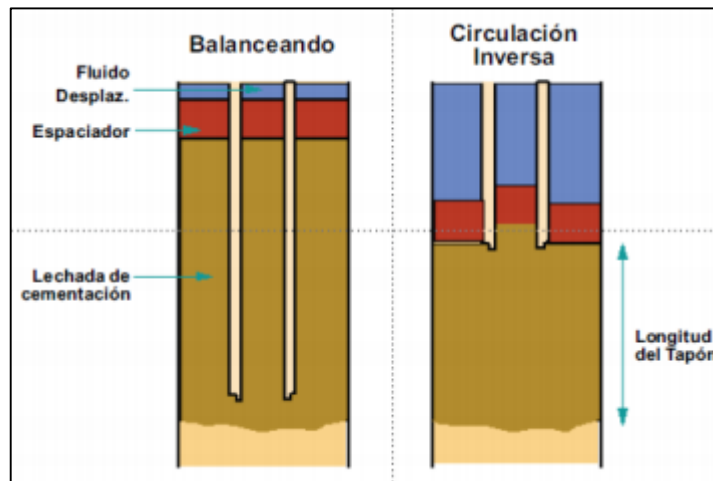


Figura 3: EQUILIBRADO-IZQUIERDA/CIRCULACIÓN INVERSA-  
DERECHA

Fuente: (Medrano Crespo, 2017)

### 3.2. CUCHARA VERTEDORA (DUMP BAILER)

Este tipo de herramienta es utilizada para la colocación de pequeñas cantidades de cemento encima de tapones puente o retenedores de cemento para proporcionar sellos a las presiones más fuertes y durables. En este tipo de proceso se realiza de tal manera que al inyectar el cemento se corre con cable una cuchara vertedora que contiene la cantidad exacta de la lechada, al tocar un tapón mecánico permanente el cemento se libera y se vierte al subir la cuchara. La “botella” se abre eléctricamente al tocar el tapón puente permanente ubicado por debajo de la profundidad de colocación del tapón al levantar la botella. El tapón puente es colocado usando una herramienta de colocación de tapones mecánicos (MPBT, Mechanical Plug Back Tool) colocada con cable. El MPBT y la botella se corren a través de la tubería de producción y el tapón se coloca en la tubería de revestimiento.

Para obtener los cálculos de la altura del tapón que soportar la presión diferencial que se requiere debido a los diferentes tamaños de tubería de revestimiento se usan tablas con un factor de seguridad. Estas tablas son limitadas ya que no se consideran la presión ni la temperatura o los efectos del fluido, además también se desconocen las condiciones de contaminación y el estado de las paredes del pozo, por lo tanto, es difícil determinar una altura óptima del tapón para la presión diferencial deseada. Las ventajas de este sistema es que la profundidad del tapón es controlable fácilmente y además es un método relativamente económico. La principal desventaja que presenta es que la cantidad de cemento disponible está limitada al volumen de la botella y se deben hacer múltiples viajes. Además, no es recomendable para desviar en agujeros amplios, entubados o descubiertos si se duda que alcance las condiciones para poder seguir perforando. (Fig. Método de cuchara vertedora).

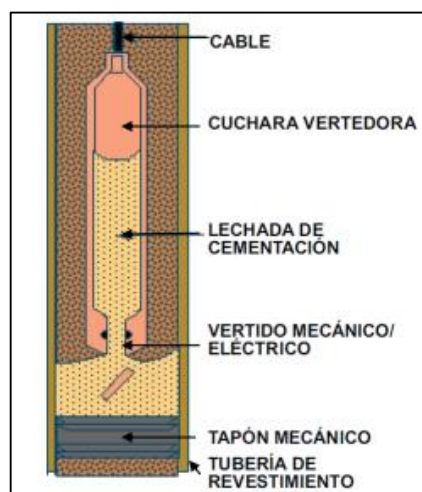


Figura 4: MÉTODO DE CUCHARA VERTEDORA

Fuente: (Medrano Crespo, 2017)



### **3.3. MÉTODO DE DOS TAPONES CON TUBERÍA DE ALUMINIO**

En este tipo de proceso se utiliza una herramienta especial para colocar el tapón de cemento a una profundidad definida con un máximo de exactitud y un mínimo de contaminación de la lechada. Esta herramienta consiste en un ensamble de fondo instalado en la parte inferior de la tubería de perforación, una tubería de aluminio, un tapón de barrido y otro de desplazamiento.

El tapón de barrido es bombeado por delante de la lechada para limpiar la tubería y aislar el cemento del lodo. El perno de seguridad, que conecta al tapón limpiador al tapón que contiene la lechada de cemento, se rompe con un incremento de la presión de circulación y este es bombeado a través de la tubería de aluminio. El tapón de desplazamiento se bombea detrás de la lechada para aislar el fluido de desplazamiento.

Cuando el tapón llega a su asiento se observa un incremento de presión en la superficie. Se levanta la tubería de trabajo hasta que la punta de la tubería de aluminio alcanza la cima programada del tapón. Esto permite que la camisa se deslice y descubra el agujero para una circulación inversa. Si durante la operación la tubería de aluminio se atrapa en el cemento, ésta se puede liberar con un incremento en la tensión aplicada en la tubería. (Fig. Método de dos tapones).

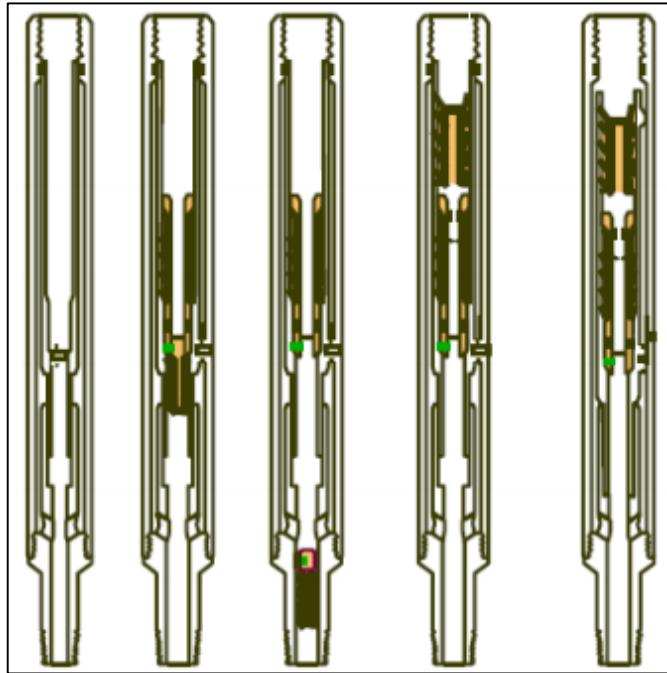


Figura 5: MÉTODO DE DOS TAPONES

Fuente: (Medrano Crespo, 2017)

### 3.4. TAPÓN MECÁNICO

Este tipo de proceso es una herramienta de fondo del pozo que se coloca para aislar la parte inferior de este. Los tapones mecánicos pueden ser permanentes o recuperables y permiten que la parte inferior del pozo se mantenga permanentemente estancada a la producción o sea aislada temporalmente de un tratamiento efectuado en una zona superior. El tapón mecánico recuperable es un tipo de herramienta de aislamiento del pozo que puede ser liberada y recuperada del pozo después de utilizarse, tal como puede requerirse después del tratamiento de una zona aislada. Un tapón mecánico recuperable se utiliza con frecuencia en combinación con un empacador para permitir el emplazamiento preciso y la

inyección de fluidos de estimulación o de tratamiento. Los tapones mecánicos tipo copa por lo general se utilizan en zonas con poca profundidad y una presión moderada, son más simples y más económicos que los modelos tipo empacador. No obstante, las copas están en contacto continuo con la tubería de revestimiento cuando se insertan, lo que provoca un desgaste y aumenta los efectos de suaveo y pistoneo. (Fig. Tapón mecánico tipo copa). Estos tapones se pueden colocar en la tubería y se liberan y recuperan mediante una camisa de recuperación, una vez liberados, se asientan automáticamente mediante la aplicación de presión desde arriba.

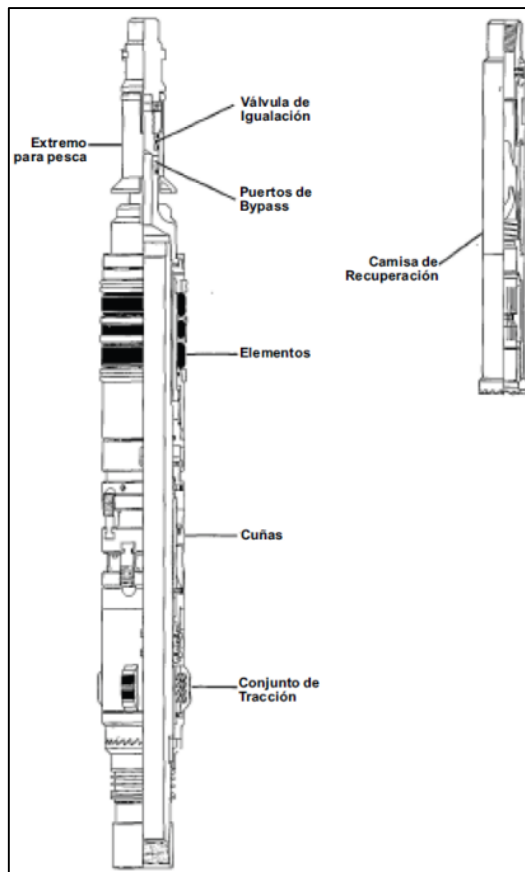


Figura 6: TAPÓN MECÁNICO TIPO COPA

Fuente: (Medrano Crespo, 2017)

### 3.5. HERRAMIENTA, EQUIPOS Y MATERIALES.

#### 3.5.1. HERRAMIENTA DE DESVIACIÓN

Esta herramienta se conecta al extremo de la tubería de perforación o en la tubería con la cual se coloca el tapón de cemento, la mencionada herramienta se encuentra equipada con jets orientados de manera que los fluidos bombeados a través de ella asciendan hacia el interior de la tubería. Si el jet se dirige hacia abajo, se puede producir una contaminación de cemento o puede romperse la píldora viscosa de gelatina colocada como base debajo del tapón de cementación.

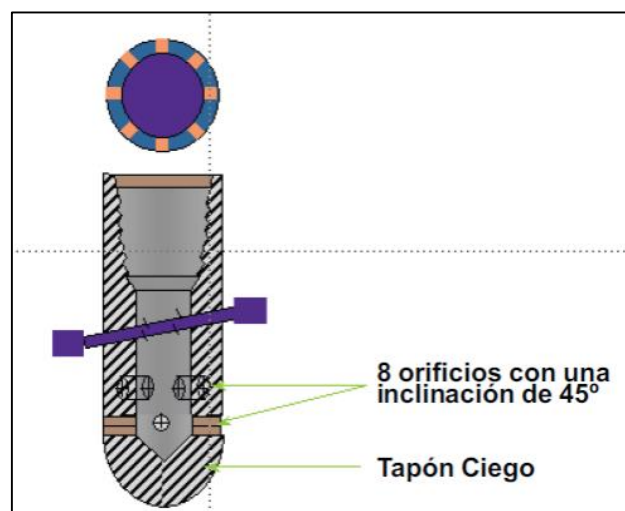


Figura 7: HERRAMIENTA DE DESVIACIÓN

Fuente: (Medrano Crespo, 2017)

#### 3.5.2. CENTRALIZADOR DE LA TUBERÍA DE PERFORACIÓN

El uso de este tipo de herramienta permite centralizar la tubería de perforación y la herramienta de desviación ayuda a lograr una colocación exacta del tapón.

### 3.5.3. PÍLDORA VISCOSA

Antes del proceso de cementación, se puede colocar debajo de la parte inferior del tapón de cementación un bache viscoso, dando lugar a una base para las lechadas más pesadas en lodos más ligeros evitando que se hunda el cemento.

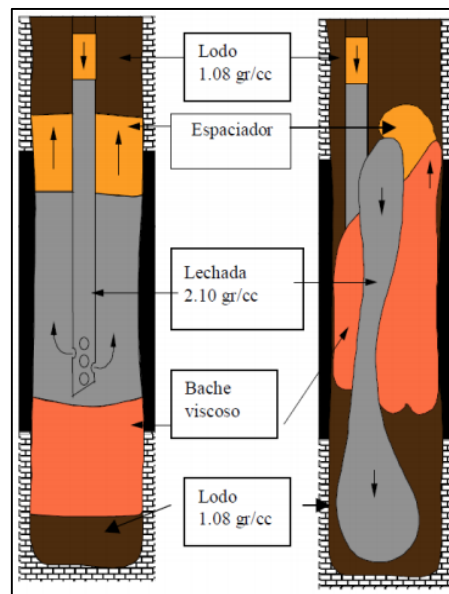


Figura 8: INESTABILIDAD DE INTERFAZ

Fuente: (Medrano Crespo, 2017)

### 3.5.4. CIRCULACIÓN INVERSA.

Dentro de las intervenciones de taponamiento en agujero abierto, incluso cuando se conoce el tamaño del agujero, para conseguir que el tope del cemento superior sea correcto (TOC), es más probable que se coloque una cantidad adicional de cemento.

Es preferible utilizar este sistema de circulación inversa en lugar de la circulación convencional, ya que es un método más rápido y seguro. La circulación convencional tarda más tiempo y la lechada tiende a fraguarse, además, si no sale

el 100% de la lechada, la tubería de perforación puede obstruirse, un factor importante que hay que tener en cuenta son los límites de seguridad de la presión de fractura.

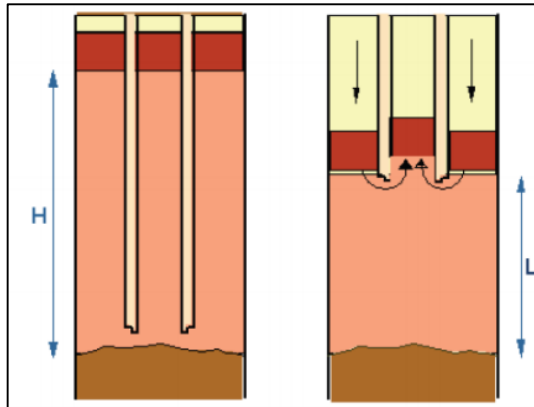


Figura 9: CIRCULACION INVERSA

Fuente: (Medrano Crespo, 2017)

### 3.5.5. BOLAS Y DARDOS PARA TUBERÍA DE PERFORACIÓN

Los dardos (con aletas de caucho), también conocidos como esponjas o bolas de caucho de perforación, pueden bombearse antes de la lechada de cementación para limpiar el diámetro

interno de la tubería de perforación, e indicar la localización de los tapones.

### 3.6. EQUIPOS Y MATERIALES

Para la intervención del proceso de taponamiento, se pueden emplear los siguientes equipos y materiales. Se debe tener en cuenta que la cantidad, capacidades y características de los equipos deben ser definidas para cada caso particular del pozo

que será taponado, así mismo, para los materiales también deben ser definidas sus condiciones, características, propiedades y volúmenes requeridos.

- Equipos
  - Barco comentador
  - Chalán abastecedor

Denominada así a embarcación no tripulada, con una cubierta plana, sin propulsión propia, utilizada para transportar estructuras marinas y otros tipos de cargamento.

- Conjunto de preventores

Equipo de seguridad superficial para contener presiones manifestadas por los fluidos del pozo durante las operaciones de perforación, terminación y mantenimiento.

- Conexiones superficiales.

Unión roscada que conecta dos componentes tubulares.

- Contenedores metálicos (recuperar residuos del pozo).

Contenedor donde se recupera o almacena los residuos que se extraen del pozo.

- Detectores de gas sulfhídrico.

Sensores que son susceptibles a la presencia del gas sulfhídrico.

- Equipo de corte con oxi-acetileno.

El oxi-acetileno es utilizado para cortar placas de acero en línea recta y diversas formas (redondeadas, ángulos, cuadrados), biselado de extremo de tuberías.

- Equipo de corte mecánico (corta-tubo).

Herramienta que permite cortar y remover la tubería que se atrapa en el pozo, o para cortar y recuperar una sección de tubería no cementada.

- Equipo de mantenimiento y terminación.

Infraestructura diseñada para terminar o dar mantenimiento a pozos petroleros.

- Equipo de medición.

Equipo utilizado para realizar todo tipo de mediciones en el pozo.

- Equipo de perforación.

Es la maquinaria utilizada para perforar un pozo. Los componentes principales del equipo de perforación son los tanques de lodo, las bombas de lodo, torre de perforación, malacate, mesa rotaria, sarta de perforación, equipo de generación de potencia y el equipo auxiliar.

- Grúa.

Equipo para levantar y bajar cargas verticalmente y mover horizontalmente mientras se mantienen suspendidas, y tener la capacidad que se requiera.

- Mezcladores de cemento.



Equipo utilizado para preparar lechada de cemento

- Pescantes de tuberías interiores y exteriores.

Dispositivos mecánicos especiales utilizados para asistir en la recuperación de los equipos perdidos en el fondo del pozo.

- Recirculadores de cemento

Este tipo de sistema comúnmente utilizado para la mezcla de cemento que produce una lechada de cemento de propiedades constantes y homogéneas debido al proceso de mezclar el cemento mojado con recirculación.

- ROV (Vehículo de Operación Remota)

Vehículo sumergible no tripulado controlado desde la superficie. Pueden funcionar a profundidades de 1,500 hasta 10,000 ft (457 a 3,048 m).

- Silos de cemento

Los silos deben tener la capacidad suficiente para almacenar el cemento necesario, además, estos silos también sirven para mezclar y manipular aditivos a granel en seco.

- Tubería flexible

Es una sección larga y continua de tubería enrollada en un tambor, la tubería se endereza para ser bajada en un pozo y luego se rebobina para enrollarla nuevamente en el tambor de transporte y almacenamiento.

- Unidad de línea de acero.

Unidad que contiene un cable no eléctrico delgado utilizado para la colocación selectiva y la recuperación de los componentes de terminación del pozo, tal como tapones, medidores y válvulas situadas en los mandriles de cavidad lateral.

- Unidad de registros eléctricos.

Utilizada para la evaluación de la cementación (CBL).

- Unidades cementadoras

Son sistemas de mezclado que ayudan a resolver los problemas de proporción entre la mezcla de cemento y el agua de mezcla: la proporción correcta le dará a la lechada la densidad esperada y otras propiedades del diseño. Las cementadoras tienen ciertas características comunes en su sistema de mezclado.

- Materiales

- Cemento

Mezcla compleja de caliza (u otros materiales con alto contenido de carbonato de calcio), sílice, fierro y arcilla molidos y calcinados, que al entrar en contacto con el agua forma un cuerpo sólido.

- Aditivos para el cemento.

Son químicos y materiales agregados a la lechada de cemento para modificar las características de la lechada o del cemento fraguado. Estos pueden clasificarse en

aceleradores, retardadores, control de pérdida del fluido, dispersantes, densificantes y aditivos especiales.

➤ Fluidos de perforación, terminación y mantenimiento.

Los fluidos de perforación son una serie de fluidos líquidos y gaseosos y mezclas de fluidos y sólidos utilizados en las operaciones de perforación de pozos, estos pueden ser a base agua, base aceite y gaseosos (neumático).

Los fluidos de terminación son aquellos líquidos libres de sólidos utilizados para “terminar” un pozo de petróleo o gas, estos fluidos se colocan en el pozo para facilitar las operaciones finales antes del comienzo de la producción, los fluidos de terminación de pozos habitualmente son salmueras (cloruros, bromuros y formiatos).

Los fluidos de mantenimiento son fluidos diseñados y preparados para resolver una condición específica de un pozo o yacimiento. Estos se utilizan para estimulaciones y aislamiento o control de gas o agua del yacimiento.

➤ Tapones puente.

Herramienta que permite efectuar el aislamiento de intervalos abiertos.

➤ Retenedor de cemento.

Herramienta mecánica que se ancla en el interior de la tubería de revestimiento, con el objeto de realizar cementaciones forzadas y aislar intervalos.

➤ Pistolas.

Son herramientas que se utilizan para hacer perforaciones en la tubería de revestimiento para comunicar ésta con la formación, o bien perforaciones en la tubería de producción para establecer circulación, entre otras.

➤ Cortadores térmicos y químicos.

El cortador térmico es básicamente una carga moldeada y revestida de forma circular, que al detonar produce un corte limitado en la tubería.

El cortador químico es una herramienta que se introduce con un cable conductor para cortar tuberías en un punto predeterminado cuando se atasca la sarta de la tubería.

### **3.7. PRUEBAS DE TAPONAMIENTO**

Al realizar la comprobación de la eficiencia de los tapones de cemento colocados en un taponamiento se debe llevar a cabo mediante la aplicación de peso (carga), presión o ambos en la parte superior de los tapones, retenedores de cemento o tapones mecánicos.

Todas las válvulas del cabezal y el árbol tienen que ser revisadas para asegurar su operatividad. Se instala entonces una unidad de cable de acero para revisar si existen obstrucciones en el pozo, para verificar las profundidades medidas y para medir el diámetro interno de la tubería.

### **3.7.1. VERIFICACIÓN DEL TOC (TOP OF CEMENT).**

Las intervenciones de taponamiento se llevan a cabo con volúmenes de cemento calculados para poder identificar su cima del tapón (TOC). Los dos métodos utilizados para verificar la colocación correcta del tapón son:

- Utilizar tubería previamente medida (como referencia) y marcar con ella la cima del tapón.
- Utilizar herramientas y el uso de línea de acero para tocar el tapón y determinar la cima, observando la marca en la línea de acero.

### **3.7.2. PRUEBAS DE INTREGRIDAD DEL TAPÓN DE CEMENTO**

Se realiza pruebas para verificar la integridad de cada tapón, manteniendo ventajas y desventajas:

- La presión es ejercida parcialmente solo por las secciones transversales de la tubería. Esto concentra la carga en el área donde la tubería está en contacto con el cemento.
- Cuando se usa el peso de la tubería para la prueba, se deben tomar en consideración los factores de flotación y de fricción contra los revestimientos.

El uso de una bomba para realizar pruebas de integridad de los taponamientos también tiene sus ventajas y desventajas:

- La presión se ejerce uniformemente en toda el área del tapón.
- Las mediciones de presión en las bombas son confiables.
- Se puede instalar un registrador de presión para llevar un control o historial de presiones.
- La presión que genera la bomba, es adicional a la presión hidrostática.
- No se pueden poner a prueba porciones aisladas del tapón.

### **3.7.3. PRUEBAS DE SONDEO**

Este método conocido como swab o de limpieza se utiliza también para verificar la integridad de los taponos de cemento. Se monitorea el nivel de fluidos por un tiempo considerable para asegurarse de que llegue a estabilizarse. Si el nivel de fluidos no cambia, se puede decir que el tapón pasó la prueba de integridad. Para este método se deben revisar ciertas particularidades del mismo:

- Se puede utilizar también tubería flexible inyectando nitrógeno en el pozo y tiene exactamente el mismo efecto que el método de sondeo.
- Este método requiere más tiempo para efectuarse, que otros métodos.
- El tapón podría verse debilitado o dañado cuando se pone a prueba por presión diferencial, resultando en una posible falla futura cuando los fluidos sean reintroducidos por encima del tapón.

### **3.8. MEDIDAS DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN AMBIENTAL**

En el proceso de taponamiento de pozos debe evitarse contaminar el área circundante, en caso de alguna afectación, contaminación ambiental o daños a terceros, a causa del desarrollo de este tipo de actividades, debe restaurarse y reparar los daños.

### **3.9. ABANDONO DE POZO**

Dentro del tiempo de producción de un pozo petrolero, éste llega a una etapa en la que su producción es muy reducida o nula, dejando de ser rentable, por lo que es necesario el desalojo de este. Esta etapa es comúnmente llamada abandono. Es clave anticipar la operación de abandono (dos años antes de que cese la producción), para que un proyecto de abandono sea eficiente, para que sea seguro y respetuoso de las regulaciones ambientales existentes.

El abandono de pozo es la actividad final en la operación de un pozo cuando se cierra permanentemente o temporalmente bajo condiciones de seguridad y preservación del medio ambiente. El desarrollo del abandono depende de la ubicación del pozo y del estado mecánico.

Existen varias causas por las que se abandona un pozo o activo, como que este represente un peligro inminente para una comunidad, al medio ambiente o al personal o equipo que lo opere, fallas técnicas u operativas que compliquen o eviten continuar explotarlo, entre otras. Pero la consideración de mayor importancia es la reducción en la producción, repercutiendo en la baja o nula rentabilidad de éstos.

El abandono de pozos se clasifica en dos tipos: abandono temporal, abandono permanente.

El taponamiento y abandono de pozos es una de las etapas primarias en el programa de abandono de una instalación. Un procedimiento efectivo de taponamiento y abandono es crítico para el sello apropiado de un pozo para asegurarlo en caso de una futura fuga a la superficie.

Para poder llevar a cabo esta etapa final en la vida de cualquier proyecto petrolero, son necesarios, recursos tecnológicos, como maquinaria, cementos, herramientas y dispositivos para el cierre de pozos, recursos Humanos, estratégicos, técnicos, y operativos para la planeación, inspección y ejecución de abandono, son necesarios los recursos financieros para poder costear los anteriores. Y aunque no son necesarios técnicamente, son imprescindibles los lineamientos y estatutos legales que deben seguirse para notificar y garantizar el bienestar del personal, de comunidades de la región y del medio ambiente.

### **3.9.1. ABANDONO TEMPORAL**

El abandono temporal tiene lugar, cuando por cuestiones técnicas, económicas o de seguridad, se decide interrumpir la producción de un pozo, colocando tapones mecánicos y otros dispositivos que se plantean remover en un futuro, ya sea con fines de reanudar la producción u otros distintos. Este tipo de intervención se realiza en el caso de una etapa posterior de trabajo, o se planea. Por lo que deben entregarse pozos taponados de manera adecuada, para ser puestos en marcha eventualmente sin grandes retrasos ni complicaciones, dichos tapones deben ser colocados con



características particulares (un tapón de 50 metros de sal, a partir del último disparo hacia arriba, tapones de 50 metros de cemento después y antes de las zapatas, tapones mecánicos removibles, etc.). Se debe aislar el pozo (cercarlo), asegurar el equipo superficial (de no ser retirado) debe ser señalado de manera visible su estado de taponamiento y características de este.

### **3.9.2. ABANDONO PERMANENTE**

En este tipo de intervención, tiene como objetivo aislar el pozo permanentemente bajo condiciones de seguridad y protección ambiental, prevé el aislamiento con tapones de cemento de las zonas productivas (iniciando del agujero descubierto), de la zapata del casing y de los colgadores de liner, en este tipo de abandono, el equipo responsable tiene el deber de entregar pozos correctamente cerrados (dependiendo de la profundidad del pozo, se instalan 2 o más tapones de cemento, uno de 50 metros a nivel del suelo hacia abajo, y uno en la última zapata, de ser muy profundo el pozo, se añaden tapones intermedios), señalados y protegidos según su ubicación y características del pozo. Deberá retirarse el equipo superficial, procurar dejar los taponamientos lo más cercanos a nivel del suelo. El pozo cerrado deberá ser visiblemente señalado y cercado para evitar actividades riesgosas, como la construcción o la perforación.

### **3.9.3. DETALLE PARA EL ABANDONO DE UN POZO**

Dentro del programa de abandono de un pozo petrolero, el primer paso a realizar, consiste en planear en detener las actividades de producción, en este caso, se diseña un plan de cierre que permita las operaciones de taponamiento y abandono sin

riesgo a contaminar, este tipo de intervención se debe realizar correctamente, de tal forma poder obtener un correcto sellado y así prevenir filtrados.

Al plantear el abandono de un pozo, lo primero es revisar el diseño del pozo, así como el historial de la vida productiva del pozo, las intervenciones, la condición actual del volumen de hidrocarburos, se analizan los aspectos correspondientes a la seguridad, salud y protección ambiental, de acuerdo con las normas existentes.

Se diseña un programa de abandono basado en las condiciones actuales de la reserva del pozo, garantizando que en el futuro no existan filtraciones y asegurando la protección de los recursos naturales en la superficie.

La preparación del abandono de un pozo de petróleo, en todo caso, empieza con la limpieza del pozo y la cementación, una vez que se dispara la tubería por encima del empacador de producción, se procede a circular cemento por la tubería de producción hacia la tubería de revestimiento.

En un nivel superficial de la zapata de revestimiento, se efectúan disparos que atraviesan los diferentes revestimientos y se hace circular cemento en todos los espacios anulares abiertos a fin de obtener una barrera de cemento pared con pared. Por último, se dispara la tubería de producción a una profundidad menor y se coloca un tapón de cemento de superficie. Una vez que se han colocado y probado todos los taponos de cemento, se retiran el cabezal del pozo y la sección de tubería de revestimiento.

## CAPÍTULO IV

### DISEÑO DE LAS OPERACIONES DE TAPONAMIENTO

#### 4.1. TAPONAMIENTO DEFINITIVO

Cualquier método de los señalados a continuación debe ser aplicado utilizando la sarta de trabajo.

Método de tapón por circulación. - Se debe colocar un tapón de cemento frente a todos los intervalos disparados, cubriendo cuando menos 50 metros arriba y 50 metros abajo del intervalo disparado, o hasta la profundidad interior, la que sea menor.

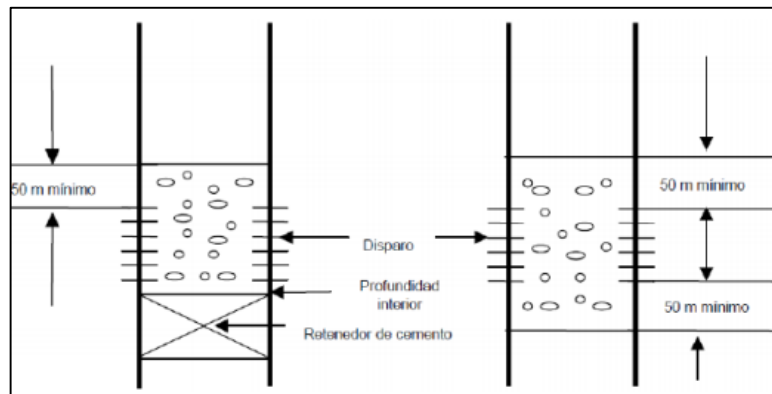


Figura 10: MÉTODO DEL TAPÓN DE CIRCULACIÓN

Fuente: (Medrano Crespo, 2017)

Método de cementación forzada. – Al realizar una cementación forzada, se debe aplicar un retenedor de cemento, una herramienta cementadora recuperable, a través de un empacador de producción, o cerrando el preventor contra la sarta de trabajo e inyectando el cemento al intervalo seleccionado.

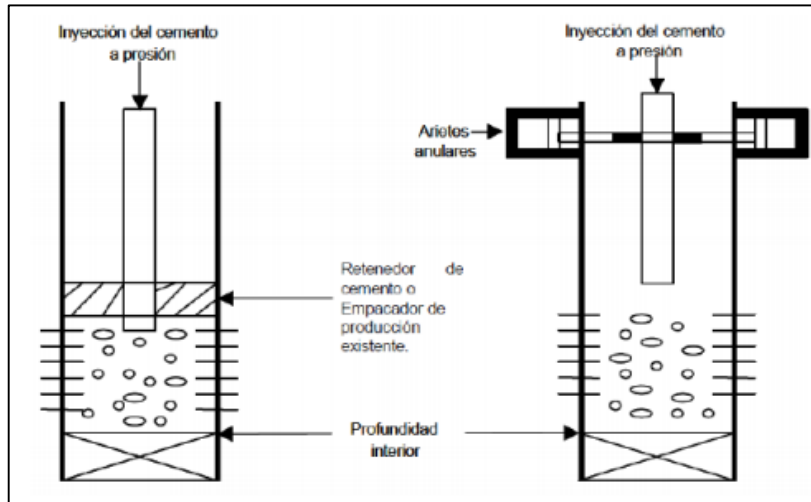


Figura 11: TAPONAMIENTO DE ZONAS

Fuente: (Medrano Crespo, 2017)

Método con un tapón mecánico permanente. - Se debe anclar el tapón 45 metros arriba de la cima del intervalo disparado y posteriormente colocar sobre el mismo un tapón de cemento por circulación (TxC) de 50 metros de longitud.

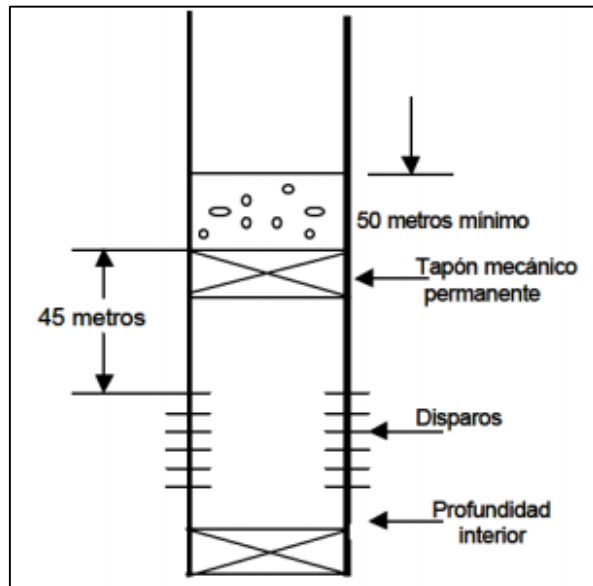


Figura 12: TAPÓN MECÁNICO PERMANENTE

Fuente: (Medrano Crespo, 2017)

#### 4.2. POR MEDIO DE LA TUBERÍA DE PRODUCCIÓN

Para realizar la intervención de taponamiento permanentemente en intervalos disparados, a través de la tubería de producción, se debe utilizar cualquiera de los siguientes métodos:

- Método con un tapón introducido a través de la tubería de producción.

Se debe introducir con línea de acero el tapón y anclarlo en la tubería de revestimiento por encima del intervalo disparado, siempre que el intervalo disparado este aislado del agujero inferior. El tapón anclado se debe cubrir con cemento.

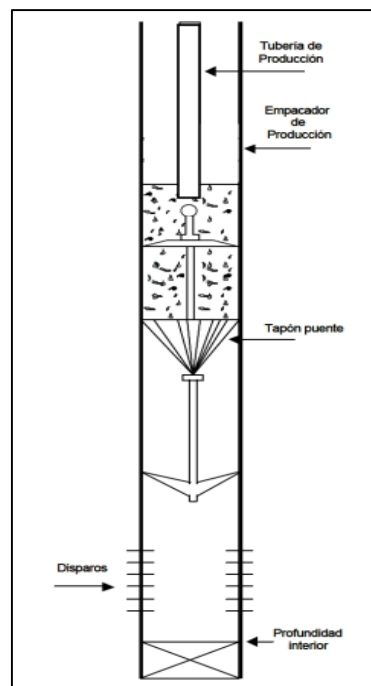


Figura 13: TAPONAMIENTO DE INTERVALOS DISPARADOS

Fuente: (Medrano Crespo, 2017)

- Método de cementación forzada.

La cementación forzada es la operación donde se inyecta cemento a presión hacia el espacio anular a través de los disparos previamente realizados en la tubería de revestimiento, esta acción se usa como medida correctiva de la cementación primaria cuando esta no fue exitosa o en diversas reparaciones. (Hernández & Albarrán, 2012)

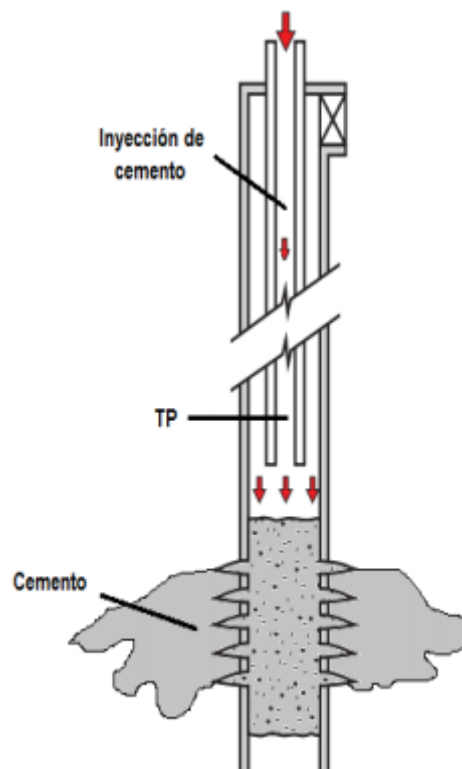


Figura 14: TAPONAMIENTO DE CEMENTACIÓN FORZADA

Fuente: (Hernández & Albarrán, 2012)

- Método con tapones dentro de la tubería de producción.

Cuando hay varios intervalos disparados pero aislados por empacadores de producción, el taponamiento se puede llevar a cabo anclando un tapón, con línea de

acero, en un niple de asiento o un tapón mecánico en la tubería de producción entre las dos zonas por aislar. El intervalo superior se debe cementar a presión, a través de un disparo en la tubería de producción e inyectando al cemento al intervalo seleccionado.

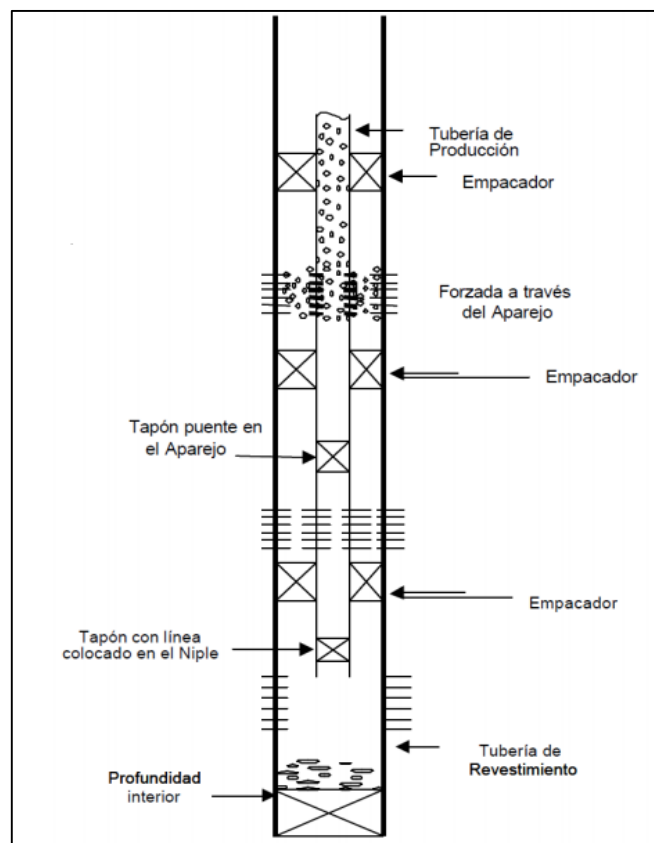


Figura 15: USO DE TAPONES PARA TUBERIA DE PERFORACIÓN

Fuente: (Hernández & Albarrán, 2012)

➤ Método de tapón por circulación

De no ser posible inyectar cemento dentro de los intervalos disparados en la tubería de revestimiento, se debe disparar la tubería de producción y colocar un tapón de

cemento en el espacio anular entre la tubería de producción y la tubería de revestimiento.

#### 4.3. TUBERIAS DE REBESTIMIENTO CON CORTE

Cuando la tubería de revestimiento es cortada y se recupera parte de la misma es dejado un traslape dentro de la siguiente tubería de revestimiento de mayor diámetro, el taponamiento se debe llevar a cabo por uno de los siguientes métodos:

- a) Método de tapón por circulación. - se debe colocar un tapón de cemento que cubra como mínimo, 50 metros arriba y 50 metros abajo del corte de la tubería de revestimiento.

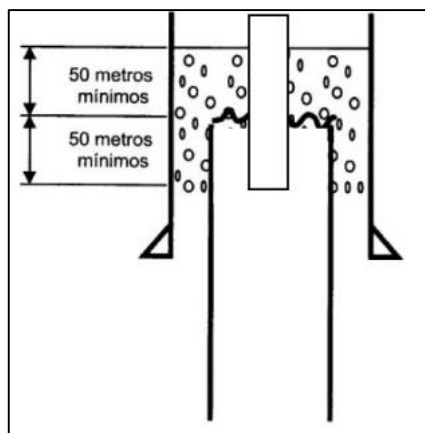


Figura 16: TAPÓN POR CIRCULACIÓN

Fuente: (Medrano Crespo, 2017)

- b) Método de cementación forzada. - Se debe anclar un retenedor para el cemento, 15 metros arriba de la tubería de revestimiento cortada, y a través del retenedor bombear un volumen de lechada de cemento, calculando que se extienda aproximadamente 45 metros debajo del corte de la tubería de revestimiento y colocar un tapón por circulación de cemento de 50 metros



arriba del retenedor.

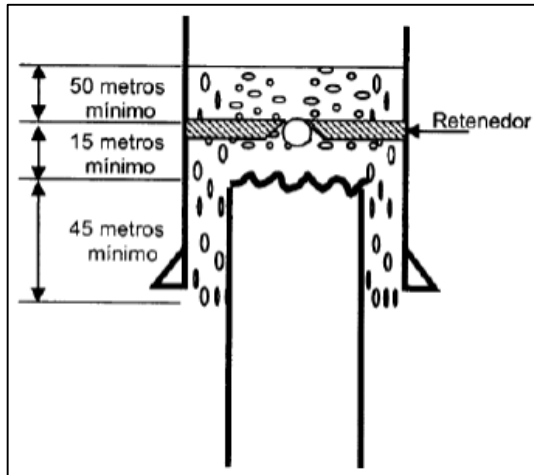


Figura 17: CEMENTACIÓN FORZADA

Fuente: (Medrano Crespo, 2017)

- c) Método con un tapón permanente. - se debe anclar un tapón permanente a una distancia máxima de 15 metros arriba del corte de la tubería de revestimiento, y colocar un tapón de circulación de cemento de 50 metros, arriba del tapón permanente.

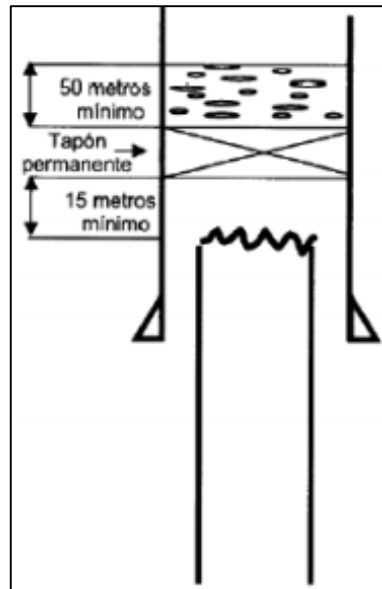


Figura 18: USO TAPÓN PERMANENTE

Fuente: (Medrano Crespo, 2017)

#### 4.4. AISLAMIENTO DE ZONAS PRODUCTORAS EN AGUJERO DESCUBIERTO

En las partes no ademadas, se deben colocar tapones de cemento que cubran como mínimo 50 metros abajo y 50 metros arriba de cualquier intervalo que contenga aceite, gas o agua con objeto de aislarlos y evitar su migración hacia otros estratos.

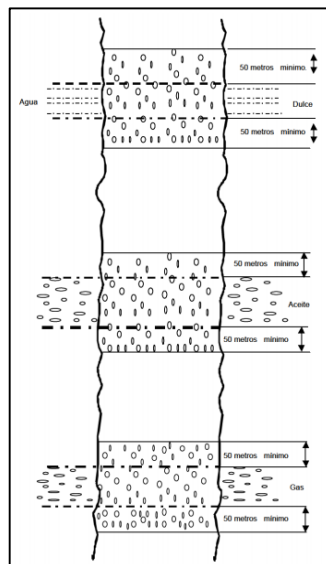


Figura 19: AISLAMIENTO ZONAS

Fuente: (Rodríguez, Cabrera, & Condo, 2014)

##### 4.4.1. AISLAMIENTO DEL AGUJERO DESCUBIERTO

Cuando hay agujero descubierto debajo de la tubería de revestimiento, el taponamiento se debe de efectuar por medio de los siguientes métodos:

- a) Método de tapón por circulación. - se debe colocar un tapón de cemento con un mínimo de 50 metros arriba hasta 50 metros debajo de la zapata de la

última tubería de revestimiento.

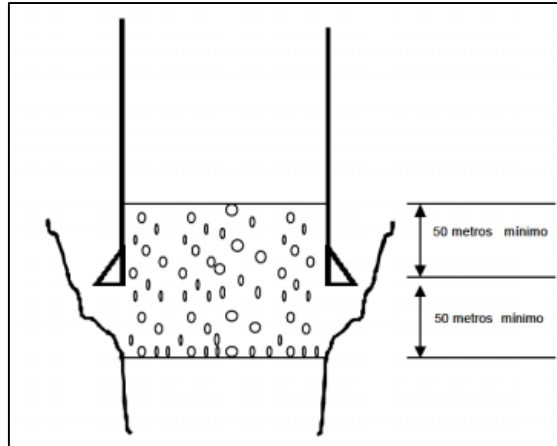


Figura 20: TAPONAMIENTO EN ZONAS DE AGUJERO DESCUBIERTO

Fuente: (Rodríguez, Cabrera, & Condo, 2014)

- b) Método de cementación forzada. - Se debe anclar un retenedor de cemento 30 metros arriba de la zapata de la última tubería de revestimiento y bombear contra la formación de un volumen de cemento de 50 metros debajo de la zapata. Colocar sobre el retenedor un tapón de cemento de 50 metros.

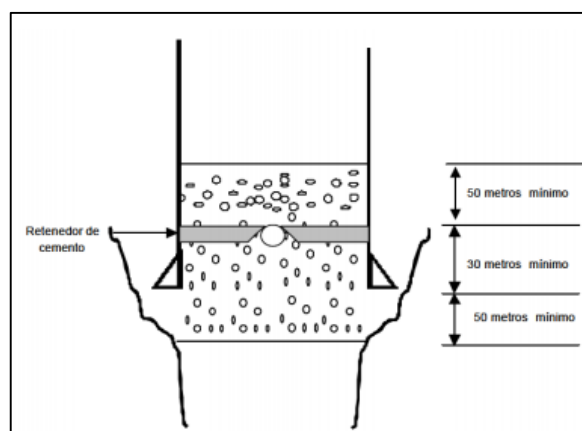


Figura 21: RETENEDOR DE CEMENTO

Fuente: (Rodríguez, Cabrera, & Condo, 2014)

c) Método con tapón mecánico permanente. - Se asienta mecánicamente con la tubería o eléctricamente mediante cable. Su propósito es aislar un intervalo inferior, sin embargo, en un determinado momento podría ser perforado para realizar reacondicionamiento en zonas inferiores. Si existe o se anticipa pérdida de circulación, anclar un tapón mecánico permanente 45 metros arriba de la zapata y después cubrirlo con un tapón de 50 metros de cemento. Este tapón se debe probar antes de colocar tapones adicionales.

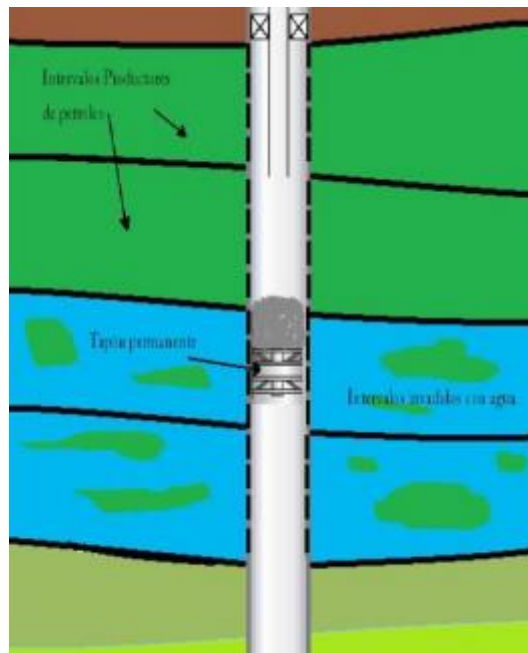


Figura 22: TAPÓN MECÁNICO PERMANENTE

Fuente: (Rodríguez, Cabrera, & Condo, 2014)

#### 4.5. TAPONANDO EL ESPACIO ANULAR

Cuando al perforar un pozo, el espacio anular no se debe dejar abierto o comunicado al agujero descubierto. Si existe esta condición, el espacio anular se debe taponar con cemento.

#### 4.6. REQUERIMIENTO DEL TAPON SUPERFICIAL

Se debe colocar en el interior de la tubería de revestimiento de menor diámetro un tapón de cemento de 50 metros, con cima de 50 metros debajo de la superficie.

#### 4.7. TAPONAMIENTO TEMPORAL

Se coloca donde se requiera un tapón provisional para contener tanto el flujo como la presión sea de una zona inferior o superior al intervalo del trabajo. El pozo que se suspenda o que abandone temporalmente se debe cementar como se recomienda para el taponamiento definitivo, con excepción del tapón superficial. Se debe anclar superficialmente un tapón mecánico recuperable, en el interior de la tubería de revestimiento de menor diámetro o un tapón de cemento de 50 metros con cima de 50 metros debajo de la superficie. Se debe dejar identificable, localizable y protegida la infraestructura de cabezales y árboles en condiciones de reintervención.

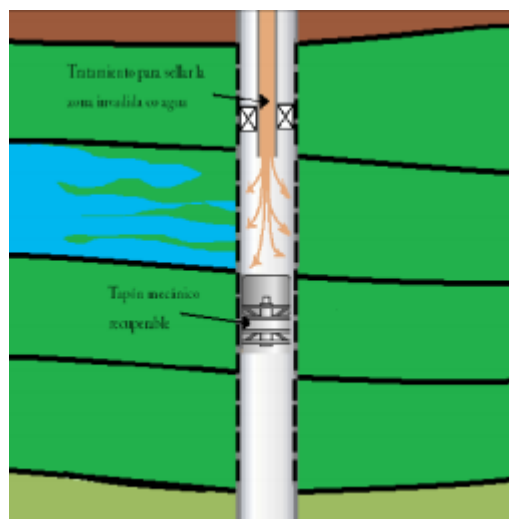


Figura 23: TAPÓN MECANICO RECUPERABLE

Fuente: (Rodríguez, Cabrera, & Condo, 2014)

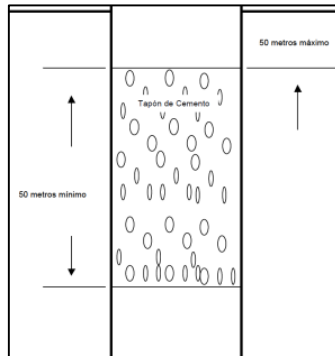


Figura 24:TAPÓN DE CEMENTO

Fuente: (Medrano Crespo, 2017)

#### 4.8. PASOS PARA TAPONAR UN POZO

- Retirar el cabezal
- Retirar la tubería de revestimiento cortada.
- Evaluar las condiciones del pozo.
- Acondicionar el pozo.
- Se debe circular lodo en el pozo para lograr un estado de equilibrio.
- Colocar tapón de cemento.
- Cerrar el pozo.
- Limpiar el sitio en superficie.

#### 4.9.REMOCIÓN DEL EQUIPO DEL FONDO DEL POZO

Para el inicio de este tipo de intervenciones, en referencia al taponamiento y abandono de un pozo, se trata de la remoción del equipo que se encuentra en el

fondo. Esto se lleva a cabo con el equipo que se tenga, como el pescado o línea de acero, la que debe tener la capacidad de levantar dicho equipo del fondo del pozo, en este tipo de trabajos, se requiere la remoción de empacadores, tubería de producción, mandriles, bombas, etc. Dependiendo del tiempo de existencia del pozo y sus condiciones, no siempre es posible retirar todo el equipo, también, si las medidas de seguridad y normas regulatorias lo permiten, todo el equipo que no pueda ser retirado por cualquier razón podrá abandonarse en el pozo.

#### **4.9.1. LIMPIEZA DEL POZO**

Luego de realizar la respectiva remoción del equipo que se encuentra en el fondo del pozo, se debe llevar a cabo la limpieza del pozo, retirando recortes, basura y cualquier material que cubra los agujeros que no han sido sellados correctamente. El fluido que se circula para la limpieza debe tener la densidad apropiada para controlar las presiones dentro del pozo y debe tener las características físicas para remover adecuadamente todo el material que no dañe a la formación.

Para realizar este tipo de intervención se debe desplazar un fluido de control. El desplazamiento del fluido de control tiene la finalidad de efectuar la remoción del enjarre adherido a las paredes de las tuberías, así como la eliminación de sólidos en suspensión presentes en el interior del pozo, sean esta barita, recortes o cualquier contaminante o sedimento que se deba remover.

Para esto se deben usar fluidos con características físico-químicas que permitan la desintegración de los contaminantes y asegurar su total dispersión y posterior acarreo hacia la superficie del pozo.

Los factores que intervienen en el desplazamiento son:

- a) Condiciones de temperatura y presión del pozo.
- b) Diseño de tuberías.
- c) Disponer del equipo necesario para efectuar las operaciones diseñadas en superficie.
- d) El tipo de fluido que se tenga en el pozo.
- e) La efectividad del programa de desplazamiento.

#### **4.9.2. FORMAS DE DESPLAZAMIENTOS**

Se maneja dos tipos de formas para efectuar el desplazamiento del fluido de control, ya sea por agua dulce, salmuera libre de sólidos o la combinación de ambos:

- Circulación inversa.
- Circulación directa.

La selección del procedimiento más adecuado depende de las condiciones operativas que se tengan en el pozo, así como las condiciones de calidad de las tuberías de producción y/o revestimiento que se tengan, de los resultados obtenidos de los registros de cementación en las zonas o intervalos de interés y el tipo de fluido que se tenga en el pozo.

- Circulación inversa.



Este tipo de circulación es usado cuando la información de los registros de cementación y la calidad de las tuberías de revestimiento indican que soportara una diferencia de presión calculada. Este procedimiento permite un mejor espaciamiento entre el agua dulce y los fluidos por desalojarse, así como será mayor el volumen de agua en el espacio anular entre la tubería de revestimiento y la tubería de producción y menor el fluido que va entrando en la tubería de producción, así mismo pueden usarse regímenes de bombeo más elevados con flujos turbulentos. Estos regímenes de bombeo son los más adecuados para este tipo de operaciones de limpieza de pozos al ser desplazado el fluido de control, lo cual permitirá desplazamientos más efectivos y libres de contaminantes.

➤ Circulación directa.

Este tipo de circulación se utiliza cuando los registros de cementación muestran zonas no muy aceptables para ser sometidas a una diferencial de presión calculada del fluido de control a desplazarse con respecto al agua dulce, en el cual no se obtiene un desplazamiento muy efectivo debido a que los volúmenes de agua dulce a manejar son menores al circularse desde la tubería de producción hacia el espacio anular entre la tubería de revestimiento y la tubería de producción.

Los regímenes de bombeo serán menores al incrementarse el valor de las pérdidas de presión por fricción, y por consiguiente el empuje del agua sobre el fluido de control en áreas más grandes creará deficiencias para un desplazamiento efectivo y en algunos casos no se dará el régimen turbulento necesario para garantizar que el pozo esté totalmente limpio de contaminantes.

#### **4.9.2.1. ESPACIADORES Y LAVADORES QUÍMICOS**

Todos los procesos para efectuar desplazamientos de fluidos de control ya sea base agua o aceite utilizan espaciadores y lavadores químicos con la finalidad de evitar incompatibilidad de fluidos, problemas de contaminación, limpieza del pozo de manera efectiva y para la separación de fases del sistema.

Los baches espaciadores que sean programados deberán ser compatibles con el fluido que sale y el que le procede, pudiendo o no ser más viscosos que los fluidos por separar. Estos baches deberán extenderse por lo menos 100 metros de la parte más amplia de los espacios anulares para que tengan mayor eficiencia, por lo que el diseño de los baches para tuberías de revestimiento muy grandes deberá ser ajustado en sus volúmenes para garantizar su eficiencia.

Para fluidos base agua, normalmente su principal contacto se inicia con un bache de agua dulce o alcalinizada con sosa caustica. Existen diversos productos de compañías de servicios los cuales pueden ser utilizados como espaciadores, píldoras o baches viscosos, y limpiadores químicos, todos ellos utilizan productos como viscosificantes naturales y sintéticos, soluciones alcalinas, surfactantes o solventes, para una remoción activa de contaminantes orgánicos.

#### **4.10. RECUPERACIÓN Y CORTE DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO**

##### **a) CORTADOR MECÁNICO**

Habitualmente, durante el proceso de abandono, se requieren tres o más viajes de la columna de perforación para remover cada tubería de revestimiento. El primer viaje se efectúa para recuperar la tubería de revestimiento y los sellos del colgador del cabezal del pozo. Durante el segundo viaje, se corta la tubería de revestimiento y se requiere un tercer viaje para extraer la tubería de revestimiento y su colgador del pozo.

#### b) CORTADOR TÉRMICO (TIPO JET)

Es básicamente una carga moldeada y revestida de forma circular, que al detonar produce un corte limitado en la tubería.

#### c) CORTADOR DE TUBERÍA QUÍMICO

A diferencia del cortador térmico, éste deja un corte limpio sin protuberancias dentro y fuera del tubo. Algunas consideraciones que se deben tomaren cuenta al operar un cortador químico son:

- 1) La herramienta debe permanecer inmóvil durante el corte, para lo cual cuenta con un dispositivo de anclaje.
- 2) El rango de corte en tuberías mínimo es de 0.742 pulgadas.
- 3) Es necesario contar con fluido dentro de la tubería para efectuar el corte.
- 4) En lodos densos se tienden a tapan los agujeros de la herramienta y pueden operar deficientemente.

#### **4.11. REGISTROS DE EVALUACIÓN DE LA CEMENTACIÓN PARA DETERMINAR EL PUNTO DE CORTE DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO**

La evaluación de la cementación se realiza con el registro Sónico de cementación (CBL), la herramienta consta de una sección acústica y una sección electrónica.

La sección acústica contiene un transmisor y un receptor. La onda sonora emitida por el transmisor viaja a través de la tubería de revestimiento y es detectada por el receptor, la sección electrónica mide la amplitud de la porción deseada de la señal del receptor y la transmite a la superficie para ser registrada.

La amplitud de la onda es función del espesor y de la resistencia de la tubería, de la adherencia y espesor del cemento. En tuberías no cementadas la amplitud es máxima, en tuberías cementadas (completamente circundadas por una capa de cemento), la amplitud es mínima.

#### **4.12. NORMATIVA**

Dentro de las operaciones petroleras, existen regulaciones de medidas de prevención y mitigación. Detallando lo siguiente.

##### **4.12.1. REGLAMENTO DE OPERACIONES HIDROCARBURIFERAS, ART 46.**

Procedimiento para taponamiento y abandono definitivo de pozos. - Si como resultado de la perforación o pruebas de producción se determina que el

comportamiento del pozo de petróleo o Gas Natural no es comercial, que no se pudiere terminar un pozo por problemas o fallas operacionales o por no ser productivo (seco), y si los mismos no van a ser utilizados en el futuro como pozos de reentrada, re-inyectores o inyectores, se debe proceder al taponamiento y abandono definitivo del pozo. Previo al taponamiento y abandono definitivo de pozos, los Sujetos de Control deberán solicitar, en el formulario correspondiente, la autorización de la Secretaría de Hidrocarburos, con el siguiente procedimiento y requisitos:

1. Adjuntar el estudio técnico respectivo que justifique el abandono del pozo. En pozos con historial de producción deberá incluir la información técnica individualizada para cada yacimiento, especialmente indicando las reservas probadas remanentes referidas a la fecha del abandono. Colocar tapones de cemento que garanticen el aislamiento de las formaciones cañoneadas y expuestas a la invasión de fluidos.
2. Si el pozo a abandonarse tiene problemas del revestimiento y/o algún tipo de pescado que cubra parcialmente los intervalos perforados de un yacimiento en particular, se deberá colocar un tapón de cemento sobre los intervalos perforados.
3. Para abandonar un pozo reinjector de aguas de desecho o inyector para mantenimiento de presión, se deberán colocar tapones de cemento que cubran los intervalos de las formaciones receptoras. Las operadoras están obligadas a presentar las respectivas solicitudes de abandono para aquellos pozos inyectores que dejen de cumplir esta función.

4. En todos los casos, se colocará en la boca del pozo un tapón de cemento de acuerdo a las necesidades técnicas del Sujeto de Control, sobre los acuíferos de las formaciones Tiyuyacu y Ortegua, para garantizar el aislamiento de flujos de agua hacia la superficie.

5. En superficie se colocará una plancha de hormigón que cubra el respectivo contrapozo o sellar a aquellos pozos ubicados en una plataforma común. En el contrapozo o sellar correspondiente se colocará una placa visible donde se indique el nombre del pozo y la fecha de abandono del mismo.

Si el pozo a abandonarse está ubicado en una plataforma individual se deberá colocar un marco de seguridad de protección y una placa donde conste: el nombre del campo, el nombre del pozo, las coordenadas geográficas y la fecha de abandono del mismo.

6. En caso de existir en el pozo un pescado, como una herramienta con fuentes radioactivas, se colocará un tapón de cemento de aproximadamente 500 pies y una placa de color rojo, que incluya la información del pozo y la profundidad a la que quedó la herramienta radioactiva.

7. Establecido el abandono definitivo y en caso de que el Sujeto de Control requiera la reactivación del pozo y su posterior completación, deberá presentar a la Secretaría de Hidrocarburos con copia a la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero los justificativos técnicos para la aprobación.

8. Presentar el informe del trabajo ejecutado en el formulario correspondiente, adjuntando el diagrama final del pozo a la Secretaría de Hidrocarburos con copia a la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero.

#### **4.13. CONDICIONES FINALES DE ABANDONO**

En ciertos casos que son debidamente justificados, una actuación mínima de protección superficial puede servir como medida temporal del cierre del pozo. En la mayoría de los casos, es necesario cumplir con todos los pasos requeridos para un adecuado abandono del pozo.

El taponamiento adecuado de un pozo implica que esté limpio en su totalidad, de forma que aisle el acceso de probables fluidos presentes y se consiga la obturación superficial de la cima del pozo. Las operaciones a llevar a cabo en los procesos de taponamiento y abandono de pozos son básicamente la extracción de los elementos introducidos en el terreno (tuberías, bombas, etc.) y el relleno del espacio abierto con materiales que no tengan interacción con el medio e impidan la modificación de éste por factores externos.

Los factores que se deben tener en cuenta para el abandono son:

- Estabilidad y condición física de la estructura.
- Uso final del terreno.
- Comunidades y poblaciones afectadas por el abandono.
- Mantenimiento.
- Presupuesto.

Las operaciones incluyen:

- Limpieza para remover residuos, cimientos y estructuras enterradas.
- Abandono completo de acuerdo al propósito final y uso de la tierra.
- Remoción o abandono in-situ de estructuras, plataformas y cimientos destinados para disponer.

En el momento que se decide el abandonar un pozo, éste debe ser dejado en condiciones tales que se protejan tanto el medio ambiente de fondo de pozo como el ambiente en la superficie. En todo el mundo, a veces sucede que numerosos organismos reguladores con responsabilidades superpuestas definen los procedimientos y las condiciones del abandono permanente de un pozo.

El objetivo de todas las operaciones de taponamiento y abandono es lograr lo siguiente:

- a) Aislar y proteger todas las zonas de agua dulce y casi dulce.
- b) Aislar y proteger todas las zonas comerciales futuras.
- c) Prevenir a perpetuidad las pérdidas desde o hacia el interior del pozo.
- d) Remover el equipo de superficie y cortar la tubería hasta un nivel estipulado por debajo de la superficie.



#### **4.14. CONDICIONES FINALES PARA POZOS TERRESTRES**

Terminado el taponamiento del pozo se debe construir una mejora en la parte superior de la tubería superficial, convenientemente anclada, en la que deberá inscribirse la siguiente información:

- Denominación del pozo (de acuerdo al permiso de perforación del pozo).
- Fecha de taponamiento.
- Nombre del permisionario.

#### **4.15. DOCUMENTACIÓN QUE DEBE INTEGRAR EL RESPONSABLE DEL TAPONAMIENTO AL TERMINAR EL TAPONAMIENTO DE UN POZO**

- a) Estado mecánico inicial para realizar el diseño del taponamiento del pozo.
- b) Estado mecánico final del pozo.
- c) Registros de las actividades principales del taponamiento (colocación de tapones, pruebas de los mismos con peso y/o presión, cantidad y clase del cemento, cortes efectuados).
- d) Informe final de actividades.

#### **4.16. CORRECCIÓN DE ABANDONOS DEFECTUOSOS**

En algunos casos los procedimientos iniciales de abandono del pozo no consiguen sellar el yacimiento por completo o de forma permanente y, en consecuencia, es

necesario realizar operaciones correctivas adicionales. Esto es especialmente problemático en pozos de gas porque el gas puede pasar con facilidad a través de escapes de escala microscópica. Incluso los cementos primarios de alta calidad, en ocasiones, no logran sellar los microanillos en las interfaces tubería-cemento o cemento-formación. La corrección es esencial para la protección de los recursos naturales.

#### **4.17. DETALLE DE ABANDONO DE POZO**

Una vez que el pozo ha sido taponado y abandonado, las tuberías, instalaciones y otras estructuras presentes en el campo deben desmantelarse y trasladarse. La superficie debe retornarse a su condición original. La disponibilidad limitada de los equipos de levantamiento de cargas pesadas requiere una cuidadosa planificación anticipada para su remoción. Las formaciones permeables del subsuelo se aíslan de forma permanente entre sí y la superficie. La “vida de un pozo” conceptual se extiende claramente más allá de la fase de producción.

Lo ideal es que los procedimientos modernos de abandono de pozos consigan aislar para siempre las formaciones del subsuelo. Los productores de petróleo y gas reconocen la importancia del abandono permanente verdadero, el cual comienza desde el diseño del pozo, continua durante la cementación primaria y termina con los procedimientos adecuados de abandono. La creación de un presupuesto común para cada una de estas operaciones desde el comienzo del proyecto ayuda a asegurar que se lleven a cabo en forma adecuada. El abandono de campos, que por lo general implica más de un pozo, exige una estrecha coordinación de muchas operaciones

diferentes para asegurar el aislamiento del subsuelo en todos los pozos, la remoción del equipo e instalaciones de superficie y el restablecimiento de la superficie a su estado primitivo.

Gracias a las nuevas tecnologías de cementación primaria y correctiva, operaciones de disparos y evaluación de la cementación, además de la intervención con tubería flexible y con línea de acero (slickline), las compañías están preparadas para emprender los diversos proyectos de abandono de pozos y campos que se presenten en el futuro. (Morocho, 2014)

#### **4.18. COSTOS DE ABANDONO**

El abandono de pozos se está haciendo cada vez más frecuente a medida que los yacimientos van envejeciendo y alcanzando sus límites productivos y económicos.

Los costos de abandono son aquellos costos asociados con el abandono de un pozo o de una instalación de producción, estos costos se especifican en la Autorización Para Gastos (AFE por sus siglas en inglés), y en general, cubren el colmatado de pozos, el retiro del equipo del pozo, los tanques de producción e instalaciones asociadas y el saneamiento de la superficie.

La Autorización Para Gastos (AFE) es un documento presupuestario que detalla los gastos estimados de la perforación de un pozo a una profundidad específica, el punto de revestimiento u objetivo geográfico y si se completa o se abandona el pozo.

Para cubrir los costos de abandono se realiza una estimación que incluye los costos de taponamiento y abandono de pozos, desmonte de utilidades y recuperación ambiental de aéreas y pozos. Su amortización se imputa a los costos de producción, para lo cual se utiliza el método de unidades técnicas de producción, sobre la base de las reservas probadas desarrolladas remanente.

#### **4.19. DETERMINACIÓN DE LA CUOTA DE ABANDONO**

Se establece un cálculo para determinar la cuota de abandono, que se determine mediante el siguiente calculo:

$$A_{ij} = a * q_{ij}$$
$$a = \frac{\max(GA - S, 0)}{1PD}$$

donde:

- A = Cuota de abandono al mes.
- a = Tasa de abandono.
- q = Hidrocarburos netos del mes, en Barriles de crudo equivalente.
- i = 1..., 12 meses.
- j = año.
- 1PD = Reserva 1P desarrollada en Barriles de crudo equivalente (se actualiza con cada publicación de las reservas certificadas).
- GA = Gastos estimados de abandono, en Dólares (se actualiza del informe de reservas).

- S = Saldo de la cuenta de abandono al mes anterior al mes de actualización, en Dólares.

Para el primer año de Periodo de Desarrollo, la tasa de abandono considerará la información vigente de reservas probadas desarrolladas y los gastos estimados de abandono y desmantelamiento de la infraestructura que se transfiera al contratista. La actualización de la tasa de abandono se realizará el mes inmediato posterior a que la información de las reservas probadas desarrolladas se encuentre disponible. En ese momento, los gastos estimados de abandono se actualizarán con base en la infraestructura existente.

#### **4.20. CASO DE ESTUDIO**

Luego de haber mencionado en capítulos anteriores, sobre la operación de taponamiento y abandono de pozo, es de gran importancia, ya que esta intervención es la operación final, dentro de la vida productiva de un pozo, en tanto, se detalla un caso posible, para mostrar proceso y operaciones para taponar un pozo. (Rodríguez P. O., 2014).



Figura 25: MAPA DE UBICACIÓN

Fuente: (Rodríguez P. O., 2014)

El pozo SRY0042, a lo largo de su vida productiva, presentó una declinación de producción muy importante, tanto así, que se establece un programa de abandono.

A continuación, se detalla el proceso a seguir, primero se debe extraer el tapón del colgador de la tubería de producción, esto se debe cuando el pozo se encuentra suspendido temporalmente.

Se debe limpiar la tubería de producción y el espacio anular, este fluido limpiador contiene surfactantes y ácidos que permiten remover el lodo, petróleo y parafina, la limpieza es muy importante, ya que, al taponar el pozo, este proceso de sellado puede ser desplazado si el lodo u otro material se encuentra contaminado con hidrocarburo. Un método muy efectivo para la limpieza de tubería de producción y colector de sedimentos, es el chorro de fluido a alta presión.

Para mejorar la resistencia del sellado, en el fondo del pozo, se puede colocar un bache de tubería flexible, con el fin de que sirva de base para el tapón de cemento.

Luego de ubicar el tapón de cemento en el fondo, para obtener un excelente diseño y a largo plazo evitar migración de fluidos, por encima del tapón base, se puede colocar otro tapón, este ubicado por encima del intervalo de disparo, es de gran importancia disparar la tubería de producción y revestimiento, de tal forma que se coloque un tapón de cemento de pared a pared, como último procedimiento se bombea el tapón de cemento de superficie.

Al terminar el taponamiento del pozo, es necesario el relleno del contrapozo con arena, hasta la restauración final de la localización, este tipo de intervenciones pueden tomar aproximadamente 5 días de operación.



Figura 26: ESTADO FINAL DE TAPONAMIENTO DE UN POZO

Fuente: (Rodríguez P. O., 2014)

#### CONSIDERACIONES.

En una intervención de pozo, en el caso de operación de taponamiento, el beneficio general es el ahorro de tiempo, el tiempo de fraguado constituyen un gran obstáculo,

el diseño de la lechada, usualmente se modifica a menudo para de tal forma reducir el tiempo de bombeo y fraguado.

En la actualidad, existe una gran familia de cementos, que se componen de aditivos para permitir el control de pérdidas de fluidos, de tal forma que estos aditivos reducen de manera sinérgica las concentraciones de aditivos sin modificar las cantidades de lechada.

Otra nueva tecnología a tener muy en cuenta, es la resistencia de agrietamiento bajo condiciones cambiantes del yacimiento, dando así lugar a un tapón de cemento de mayor durabilidad.

Otra ventaja de este sistema de lechada es que se puede diseñar para que se expanda, con lo cual se elimina cualquier posible contracción de volumen que pudiera dar lugar a la pérdida del aislamiento. La expansión y la flexibilidad aseguran una adherencia excelente con el revestimiento y evitan el desarrollo de un microanillo entre el revestimiento y el tapón de cemento, con lo que el pozo permanece apropiadamente abandonado con el paso del tiempo.

Otra mejora adicional es el desarrollo más rápido de la resistencia a la compresión por la optimización de la distribución del tamaño de las partículas que ofrece este sistema en comparación con lechadas convencionales, causando un menor tiempo de espera en el fraguado del cemento para someter los tapones a pruebas de presión.



#### **4.20.1. DISEÑO TEÓRICO DEL TAPÓN DE CEMENTO**

A lo largo de la vida productiva del pozo SRY0042, presentó disminución de producción notablemente, por lo que, se plantea un plan de abandono, detallando la aplicación de diseño teórico de taponamiento con cemento en el pozo antes mencionado.

Cabe destacar, que el pozo SRY0042, se encuentra establecido aledaño a zonas urbanas y también dentro de un ambiente que mantiene alto porcentaje de salinidad, por lo que se tomara en cuenta lo efectiva que debe ser la lechada de cemento para el taponamiento.

#### **PLAN DE ABANDONO**

La vida productiva de un pozo de petróleo, llega a un punto donde es necesario aislar zonas debido a su agotamiento, con el fin de evitar migración de fluidos o gas.

Se propone, la inyección de tapones de cemento a diversas profundidades, esto, con el fin de evitar la comunicación zonal o como se mencionó anteriormente, la migración de fluido o gas.

La técnica de colocación de los tapones, se realizará por medio del método de tapón balanceado o equilibrado.

Se destaca, que es la técnica de colocación de tapones más utilizada, este tipo de intervención, conlleva a correr una tubería o la tubería de perforación en el pozo, hasta la profundidad donde se requiere colocar la parte inferior del tapón.

Antes y después de inyectar la lechada, se bombea un espaciador, de tal forma que se evite contaminar el cemento, este volumen de espaciador debe inyectarse de tal manera que alcance la misma altura por el espacio anular y en la tubería. Luego se inyecta el fluido de desplazamiento hasta la altura donde se colocará el tapón dentro de la tubería, como recomendación, se debe disminuir este volumen de fluido de desplazamiento en 1 ó 2 bbl, esto con el fin de evitar el reflujó de lodo.

Cuando el tapón se encuentre balanceado, la tubería debe ser retirada lentamente, hasta donde se debe llegar a la parte superior del tapón, en el caso de que se maneje exceso de cemento, este debe ser circulado fuera del agujero.

Los aditivos a tener en cuenta son:

Acelerador: Son productos químicos de compuestos naturales y sintéticos (inorgánicos), que se emplean en cementaciones, ya que reduce el tiempo de fraguado de los sistemas de cemento. Incrementa la velocidad de desarrollo de resistencia compresiva de los cementos, operan a temperatura muy bajas, a tiempos bombeables muy cortos. Tenemos cloruro de calcio, cloruro de sodio, sulfato de calcio.

Anticorrosivo: un material anticorrosivo es un material que sirve para proteger una superficie, típicamente de un metal o una aleación, que entra en contacto con el fluido, de un proceso de degradación llamado corrosión.

Los parámetros de diseño, que se mantiene en cuenta, son los siguientes.

- Volumen de cemento.
- Propiedad del cemento.

Se debe tener en cuenta, que la lechada que se usa para la cementación primaria, no son las mismas, para el desarrollo de tapones, en la mayoría de casos, es necesario que la lechada sea sometida a pruebas de laboratorio.

En este caso, se toma considera la densidad de la lechada oscila entre 15,6 lpg y 17,5 lpg, de tal manera que garantiza mayor resistencia.

- Tapón de cemento.

Como objetivo, al momento de taponar, lo que se debe tener en cuenta, la lechada de buena calidad, no contaminada, desarrollar excelentes propiedades al fraguar.

- Herramienta de desviación.

Está herramienta, se coloca en la tubería con la cual se colocará el tapón de cemento, esta herramienta consta con jets orientados de manera que el fluido bombeado ascienda hacia el interior del anular.

- Centralizador de la tubería de perforación.

El uso de esta herramienta es de gran importancia, de tal forma que ayuda a lograr una colocación exacta del tapón de cementación.

- Píldora viscosa.

Antes de cementar, se puede colocar debajo de la parte inferior del tapón, esta píldora que sirve como una base para las lechadas más pesadas en lodos más ligeros, evitando que el cemento se hunda.

- Circulación inversa.

En los trabajos de taponamiento, usando el método de circulación inversa, cuando la tubería se corre en el agujero hasta el lugar donde va la parte superior del cemento y el exceso de lechada se reserva, se mantiene el uso de este sistema, ya que, a diferencia del sistema convencional, el tiempo de fraguado es más rápido y de tal forma que se reduce la posibilidad de que la tubería se obstruya. También se debe tener en cuenta, son los límites de seguridad de la presión de fractura, debido a que el sistema de circulación inversa tiende a aplicar una mayor presión directamente sobre la formación.

- Herramienta de colocación de tapones.

Este tipo de herramienta está formada por un sub de llegada situado en el extremo de la tubería y un sub localizador, colocado a una distancia por encima del sub de llegada.

La profundidad del sub localizador, depende de la longitud del tapón de cemento, antes y después de inyectar la lechada de cementación, se lanzan dardos con un disco de ruptura, cuando estos dardos tienen contacto con el sub localizador, estos discos de rupturas estallan, de tal forma indican el desplazamiento de la lechada.

➤ Bolas y dardos.

Estos componentes permiten limpiar residuos que se encuentren dentro de la tubería y también ayudan con las localizaciones de los tapones, son bombeados antes de la lechada de cementación.

Luego de haber detallado los parámetros a tener en cuenta para el taponamiento con cemento, se detalla el siguiente procedimiento.

1. Se corre la tubería en el pozo con un sub de desviación hasta la parte inferior donde se situará el tapón de cemento., de tal manera que es necesario circular para acondicionar el lodo, el pozo y garantizar que la temperatura de fondo no cause problemas al momento de la intervención.
2. Es necesario realizar una prueba de presión de la línea de tratamiento.
3. Se bombea el espaciador antes de inyectar la lechada de cementación, de tal forma, que el espacio por donde ingresara la lechada, se encuentre libre de contaminantes.
4. Se mezcla y luego se bombea la lechada de cemento.

5.- Se debe bombear el espaciador detrás de la lechada de cementación, el volumen de estos componentes debe calcularse para que el tapón este equilibrado.

6.- Se debe desplazar la cantidad calculada de fluido de desplazamiento.

7.- Por motivos de seguridad, se debe disminuir el volumen de desplazamiento entre ½ bbl y 1 bbl.

8.- Abrir las líneas de retorno del tanque de desplazamiento de la unidad, de tal forma que el tapón se equilibre por sí solo, bien sea por el flujo de retorno o por vacío.

9.- Se sube la tubería, hasta el tope superior del cemento, para demostrar si se produce algún reflujo.

10.- Se debe efectuar el sistema de circulación inversa, tener en cuenta el retorno de espaciador o cemento.

11.- Se saca la tubería del pozo y se espera a que el cemento fragüe.

Como dato general, se adjunta las siguientes ecuaciones, para calcular:

➤ Volumen de lechada.

Cálculos de volumen de cemento ( $V_{cmt}$ ).

$$V_{CMT} = L * C_H * Fe$$

Dónde:

$L$ = longitud de la columna de cemento en (pies).

$C_H$ = capacidad del agujero abierto, tablas estándares en (pies cúbicos/pie).

$F_e$ = factor de exceso en 20%.

Con los datos mencionados, y la ecuación para el cálculo del volumen de lechada, se obtiene el volumen necesario, altura del cemento y del pre flujo, y el volumen de desplazamiento necesario para equilibrar el tapón.

➤ Longitud del tapón equilibrado.

$$L_{CMT} = \frac{V_{CMT}}{C_{AN} + C_{TBG}}$$

Dónde:

$C_{AN}$ = capacidad del espacio anular entre tubería y el agujero en (pies cúbicos/pie).

$C_{TBG}$ = capacidad de la tubería en (pies cúbicos/pie).

➤ Volumen del espacio detrás del cemento.

$$V_{SP2} = \frac{V_{SP1} * C_{TBG}}{C_{AN}}$$

Dónde:

$V_{SP1}$ = cantidad de barriles de agua.

$C_{AN}$ = capacidad del espacio anular entre tubería y el agujero en (pies cúbicos/pie).

$C_{TBG}$ = capacidad de la tubería en (pies cúbicos/pie).

- Longitud del espaciador detrás del cemento.

$$L_{SP2} = \frac{V_{SP2}}{C_{TBG}}$$

- Volumen de desplazamiento ( $V_D$ ).

$$V_D = C_{TBG} * [D - (L_{CMT} + L_{SP2})]$$

D= profundidad (parte inferior del tapón en (pies).

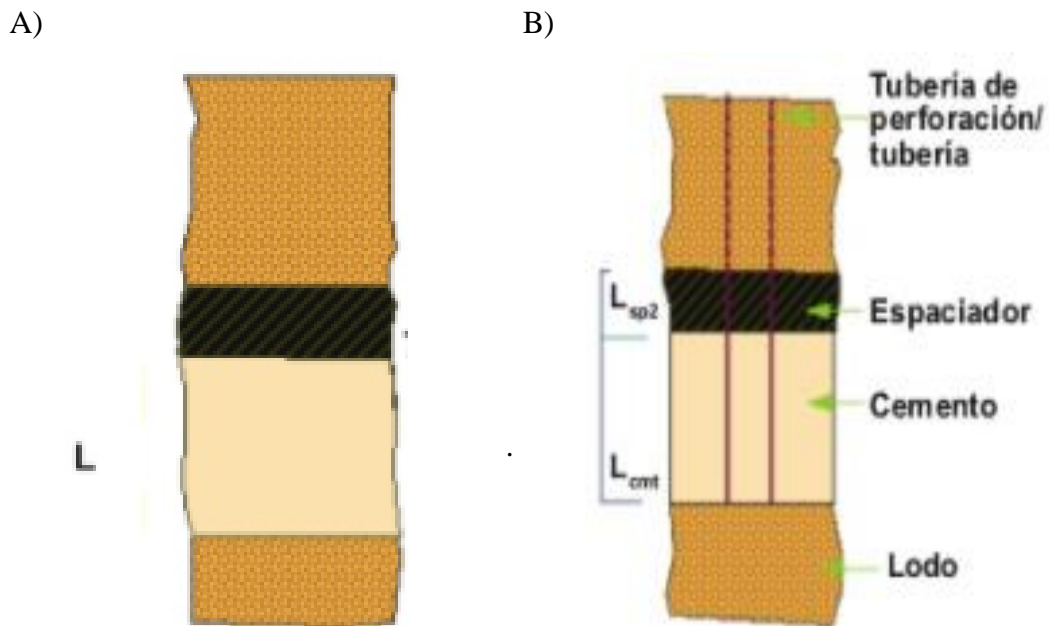


Figura 27: A) TAPÓN DESEADO B) LUEGO DEL DESPLAZAMIENTO

Fuente: (JET 14 - Introducción a la cemetación, 2014)



A)



B)

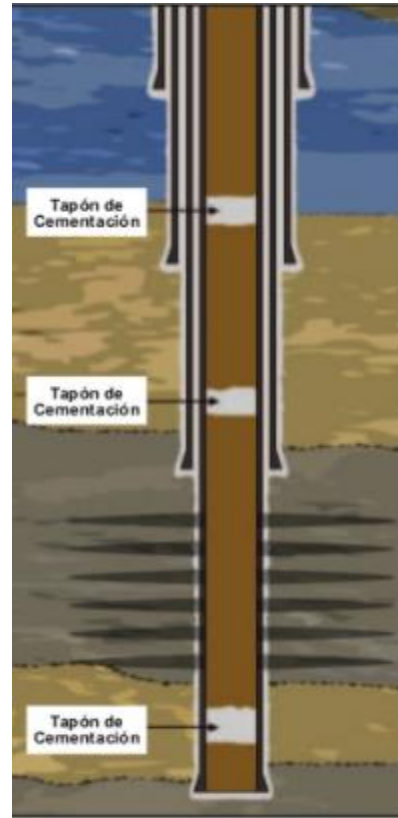


Figura 28: A) ANTES DEL DISEÑO B) POZO TAPONADO  
Fuente: (JET 14 - Introducción a la cementación, 2014)

Luego, del planteamiento del diseño para el taponamiento con cemento para el pozo, seleccionado como caso de estudio SRY0042, en las figuras 27 y 28 permiten ilustrarnos el antes y después del taponamiento.

## **CONCLUSIONES**

Después de haber realizado un seguimiento minucioso sobre la información que se puede obtener para este tipo de intervenciones, esta información puede garantizar un correcto diseño de tapones de cemento.

Luego de obtener la información necesaria y correcta, sobre los componentes necesarios para el diseño del tapón de cemento, se detalla las propiedades necesarias para obtener su mayor eficiencia dentro de un ambiente de alta salinidad.

Un correcto diseño depende de las condiciones del pozo, esto implica que el diseño de la lechada de cemento debe estar ligado a propiedades que incluyen, volumen de cemento, tiempo de fraguado, control de filtrado, tiempo bombeable, etc.

Luego de plantear el correcto diseño de un tapón de cemento establecido en un ambiente de alto porcentaje de salinidad, es importante que la información prescrita sobre los componentes que forman el tapón garantice su factibilidad.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda considerar el diseño teórico de un tapón de cemento, para evitar la migración de fluidos, minimizar la contaminación con los fluidos que se encuentren en la formación, asegurando así una forma de sello.

Es recomendable mantener la información precisa, sobre los componentes que conforman el tapón de cemento y la resistencia que mantienen en ambientes de alta salinidad.

Es necesario que el diseño de la lechada de cemento para el tapón, cumpla con todos los parámetros necesarios, para así de esa manera obtener un buen sello en la zona determinada, de tal forma que a largo plazo no exista problema de filtrado.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Aza Freire, J. &. (2013 - 2014). *Análisis técnico de la cementación del revestidor superficial de pozos petroleros del centro oriente*. Ecuador.
- Correa Salgado, E. A. (2012). *Estudio de pozos candidatos para realizar cementación forzada en los pozos del campo Shushufindi de EP Petroecuador*. Ecuador.
- Filizzola Arzuaga, R. (2013). *Analisis probalístico de los tiempos de operacion de los equipos de workover y varillero del campo casabe*. Colombia.
- Guevara Diaz, V. D. (2018 ). *Evaluación comparativa de las características fisico-mecánicas de las diferentes marcas de cemento portland*.
- Halliburton. (s.f.). *Plug & Abandonment of Oil & Gas Wells. Guidelines techniques*.
- Hernández, L., & Albarrán, D. (2012). *Cementación de pozos petroleros en aguas profunda*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- JET 14 - Introducción a la cementación. (2014). *Tapones de Cementación*.
- Medrano Crespo, F. (2017). *Cementos petroleros*. Escuela Militar de Ingeniería.
- Morocho, A. &. (2014). *Analisis e identificación de riesgos de operabilidad en procesos criticos de servicios petroleros*. Ecuador.
- Perez Carreño, A. C. (2016). *Diseño optimo de una lechada expansiva evaluando diferentes aditivos a fin de prevenir la formación de micro-anillos*. Colombia.
- Rodríguez, J., Cabrera, E., & Condo, L. (2014). *Factores que inciden en la alta producción de agua en campos del oriente ecuatoriano y posibles soluciones*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

- Rodríguez, P. O. (2014). *Estudio Técnico – Económico de los Sistemas*. Ecuador.
- Salcedo Bolaños, V. A. (2012). *Estudio de las propiedades mecánicas de los cementos usados para la cementación de zonas productivas en pozos operado por PETROAMAZONAS (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2012)*. Quito.
- Sánchez Álvarez, N. (2019). *Estimación de atributos de confiabilidad de los componentes usados para la intervención de pozos de petróleo y gas durante la etapa de abandono*. Brasil.
- Schlumberger. (2008). *Aseguramiento del aislamiento zonal más allá de la vida*.
- Vite Rodríguez, H. M. (2019). *Cementación primaria con lechadas de cemento de baja densidad en formaciones de baja presión*. . Perú.