

**MANEJO Y CONTROL DE CONTAMINANTES EN FLUIDOS DE
PERFORACION BASE AGUA PARA LA EMPRESA NOV**

LUIS ALBERTO BERMEO CHAVARRO

Cod: 2003201804

JORGE LUIS GARCIA CARDOSO

Cod: 2006262626

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA DE PETROLEOS

NEIVA

2014

**MANEJO Y CONTROL DE CONTAMINANTES EN FLUIDOS DE
PERFORACION BASE AGUA PARA LA EMPRESA NOV**

LUIS ALBERTO BERMEO CHAVARRO

Cod: 2006262626

JORGE LUIS GARCIA CARDOSO

Cod: 2003201804

Trabajo de grado, para optar el título de ingeniero de petróleos

**Director, Constanza Vargas, ingeniera de petróleos y directora
del laboratorio de lodos universidad Surcolombiana**

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA DE PETROLEOS

NEIVA

2014

Lista de Figuras

Figura 2.1 Esfuerzo de gel.....	17
Figura 2.2 Perdida inicial de fluido.....	20
Figura 3.1 Adsorción de calcio por las arcillas.....	36
Figura 3.2 Reducción del agua de hidratación para la arcilla de sodio durante el intercambio de bases con el calcio.....	36
Figura 3.3 Efecto de la concentración de sólidos sobre la viscosidad con adiciones de calcio.....	37
Figura 3.4 Bomba centrífuga para retirar los líquidos de un desecho fangoso.....	43
Figura 3.5 Secado de los lodos de perforación.....	45
Figura 3.6 Unidad de Watering.....	48
Figura 4.1 Balanza de Lodos.....	63
Figura 4.2 Viscosímetro Rotacional Fann 35.....	64
Figura 4.3 Filtro prensa API.....	66
Figura 4.4 Comportamiento de la viscosidad Plástica para los tres fluidos contaminados.....	72
Figura 4.5 Comportamiento del Punto Cedente para los tres fluidos contaminados.....	73
Figura 4.6 Comportamiento de la Viscosidad Aparente para los tres fluidos contaminados.....	74
Figura 4.7 Comportamiento de la Resistencia de Gel para el fluido contaminado con CAL.....	76
Figura 4.8 Comportamiento de la Resistencia de Gel para el fluido contaminado con YESO.....	76
Figura 4.9 Comportamiento de la Resistencia de Gel para el fluido contaminado con CEMENTO.....	77
Figura 4.10 Comportamiento del Filtrado para los tres fluidos contaminados.....	78

Figura 4.11 Comportamiento de la Viscosidad Plástica para los tres fluidos contaminados y tratados.....	83
Figura 4.12 Comportamiento del Punto Cedente para los tres fluidos contaminados y tratados.....	85
Figura 4.13 Comportamiento de la Viscosidad Aparente para los tres fluidos contaminados y tratados.....	86
Figura 4.14 Comportamiento de la Resistencia de Gel para el fluido contaminado con CAL.....	87
Figura 4.15 Comportamiento de la Resistencia de Gel para el fluido contaminado con YESO.....	88
Figura 4.16 Comportamiento de la Resistencia de Gel para el fluido contaminado con CEMENTO.....	88
Figura 4.17 Comportamiento del Filtrado para los tres fluidos contaminados y tratados.....	90

Lista de Tablas

	Pag.
Tabla 1. Floculación y Relleno.....	53
Tabla 2. Degradación Biológica.....	54
Tabla 3. Sistema Estabilización.....	55
Tabla 4. Relleno Agrícola.....	57
Tabla 5. Inyección Anular.....	58
Tabla 6. Lavado de Ripios.....	59
Tabla 7. Zona privada de descarte.....	60
Tabla 8. Formulación del fluido.....	67
Tabla 9. Cantidad de contaminante utilizado.....	68
Tabla 10. Resultado de las pruebas antes y después de contaminar con CAL.....	69
Tabla11. Resultado de las pruebas antes y después de contaminar con YESO.....	70
Tabla12. Resultado de las pruebas antes y después de contaminar con CEMENTO.....	71
Tabla13. Resultado de las pruebas del fluido contaminado con 10 PPB de CEMENTO y tratado con Bicarbonato de Sodio.....	80
Tabla14. Resultado de las pruebas del fluido contaminado con 3PPB CAL y tratado con Bicarbonato de Sodio.....	81
Tabla15. Resultado de las pruebas del fluido contaminado con 10 PPB de YESO y tratado con Soda ASH.....	82

Tabla de Contenido

1. Introducción	
2. FLUIDOS DE PERFORACIÓN	
2.1. Propiedades de los fluidos de perforación	13
2.1.1. Densidad del Lodo	13
2.1.2. Reología	14
2.1.2.1. Viscosidad plástica	15
2.1.2.2. Viscosidad aparente	16
2.1.2.3. Resistencia o esfuerzo de gel	17
2.1.2.4. Punto cedente	18
2.1.3. Perdida de filtrado	19
2.1.4. Contenido de sólidos	22
2.2. Principales químicos y aditivos de los fluidos de perforación	22
2.2.1. Emulsificantes	23
2.2.2. Reductores de filtrado	23
2.2.3. Floculantes	23
2.2.4. Agentes espumantes	23
2.2.5. Materiales para perdida de circulación	24
2.2.6. Lubricantes	24
2.2.7. Agentes liberadores de tubería	24
2.2.8. Inhibidores para controlar lutitas	24
2.2.9. Inhibidores de corrosión	25
2.2.10. Viscosificantes	25
2.2.11. Dispersantes y Desfloculantes	25
2.2.12. Antiespumantes	26
3 CONTAMINANTES DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN	27
3.1 Principales contaminantes en los fluidos de perforación	27
3.1.1 Contaminación Con Yeso ó Anhidrita	28
3.1.1.1 Tratamiento De La Contaminación Con Yeso o Anhidrita	30

3.1.2	Contaminación Con Cemento.....	32
3.1.3	Contaminación Con Agua Salada.....	32
3.1.4	Contaminación Con Gas Carbónico.....	33
3.1.5	Contaminación Con Carbonato y Bicarbonato.....	34
3.1.6	Contaminación Con Sulfuro De Hidrogeno (H ₂ S).....	34
3.2	Control de los contaminantes en los fluidos de perforación.....	35
3.2.1	Fluidos de Perforación Tratados con Calcio.....	35
3.2.2	Sistema De Lignosulfonato/Yeso.....	38
3.2.3	Sistema De Lignosulfonato/Cal.....	39
3.2.4	Conversión del lodo.....	40
3.2.5	Aumento del peso del lodo.....	40
3.2.6	Reducción del peso del lodo.....	42
3.3	Métodos de Tratamientos de los Fluidos de Perforación.....	42
3.3.1	Métodos de Pre-Tratamiento.....	43
3.3.2	Tratamiento y Disposición de los fluidos de perforación.....	49
3.3.2.1	Efecto de los Contaminantes.....	50
3.3.2.2	Tratamiento Biológico (In situ).....	51
3.3.2.3	Floculación y Relleno.....	53
3.3.2.4	Degradación Biológica (biodegradación).....	53
3.3.2.5	Estabilización.....	55
3.3.2.6	Relleno Agrícola.....	56
3.3.2.7	Inyección Anular.....	57
3.3.2.8	Lavado de Ripios.....	59
3.3.2.9	Zona Privada de Descarte.....	60
4	METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	61
4.1	Pruebas de laboratorio para fluidos base agua.....	61
4.1.1	Determinación de la densidad.....	62
4.1.2	Determinación de las propiedades reológicas.....	63
4.1.3	Determinación de la perdida Filtrado API.....	64

4.1.4	Determinación del PH.....	66
4.2	Discusión de resultados.....	67
4.2.1	Formulación del fluido.....	67
4.2.2	Resultados y análisis de las pruebas realizadas.....	68
4.2.3	Resultado y análisis de los tratamientos realizados al fluido contaminado.....	79
5	CONCLUSIONES.....	91
6	RECOMENDACIONES.....	93
7	BIBLIOGRAFIA.....	94
ANEXOS	96

nota de aceptación:

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Neiva, Junio de 2014

RESUMEN

El fluido de perforación es la base fundamental en una operación de perforación teniendo en cuenta que su costo es una fracción del costo total de la perforación pero que tiene un gran impacto en el costo total del proyecto.

El fluido no debe ser corrosivo y susceptible a los contaminantes presentes en la formación para poder mantener de manera óptima las propiedades reológicas como son: viscosidad, densidad o peso del lodo, lubricidad entre otras.

Es muy importante mantener en óptimas condiciones las propiedades del lodo para que este cumpla con sus principales funciones.

Los problemas en los lodos empiezan a aparecer en medida que se va avanzando en la perforación los recortes o derrumbes de la formación empiezan a afectar las propiedades del lodo con distintos contaminantes como son el yeso, el cemento, la sal entre otros es por eso de gran importancia hacer un buen diseño del lodo y aún más importante hacer un buen tratamiento. El manejo del sistema de lodos está a cargo del ingeniero de lodos este debe velar por un buen funcionamiento del fluido de perforación que sus propiedades estén estables que si algún parámetro varia este sea controlado, otro aspecto importante en la perforación es el impacto ambiental que tiene un proyecto de perforación y que cada día tiene más peso e importancia en las operaciones de perforación y aún más en Colombia que tiene un marco legal ambiental fuerte en este sentido es debido a lo anterior que las operaciones de perforación tienen que tener un buen plan para el manejo de residuos de perforación es el caso de los sólidos de perforación y la fase líquida y de muchas más importancia el manejo ambiental que se le da al proyecto cuando el fluido de perforación es base aceite. Por eso al diseñar un lodo el factor más importantes es mantener las propiedades del lodo y cumplir con las regulaciones ambientales.

Introducción

El lodo de perforación es un fluido que debe poseer características físicas y químicas que dependen principalmente de las propiedades fisicoquímicas de las diferentes formaciones a atravesar, el buen diseño del lodo nos ayudará a reducir el tiempo de perforación al maximizar la duración del lodo y en consecuencia a reducir costos, el cual es uno de los factores más importantes. Es por eso que garantizar la calidad y extender la vida útil del lodo es de suma importancia, debido a que toda la operación depende de este. Por eso se debe realizar los análisis para determinar las concentraciones de contaminantes que el lodo puede soportar sin que este pierda sus principales propiedades operativas como son capacidad de arrastre de sólidos, viscosidad entre otros. También se determina en este análisis la máxima concentración de contaminante que puede soportar el fluido y que sea posible devolverle al lodo con tratamientos sus características originales o acercarse lo más posible a sus propiedades originales. También se determinó un punto el cual no es posible devolver las propiedades originales al lodo o en su lugar no sería económico hacerlo ya que una mejor opción y más económica sería reemplazar el lodo completamente.

Debido a todo esto los fluidos de perforación constituyen un factor especial dentro de los elementos y materiales necesarios para perforar un pozo. Es por eso que su diseño y composición se establecen de acuerdo a las características fisicoquímicas de las distintas capas a atravesar.

Las cualidades del fluido seleccionado, densidad, viscosidad, ph, filtrado, composición química, deben contribuir a cumplir con las distintas funciones del mismo, como son: enfriar, limpiar y lubricar la broca, transportar los recortes que genere la acción de la broca, mantener en suspensión los recortes y sólidos evitando su asentamiento en el fondo del pozo. Cuando por algún motivo se interrumpa la circulación de la inyección, mantener la estabilidad de la pared del pozo, evitar la entrada de fluidos de la formación al pozo, situación que

podría dar como consecuencia en un pozo una surgencia descontrolada o llamado también blowout, controlar la filtración de agua a la formación mediante un buen revoque, evitar o controlar contaminaciones no deseadas por contacto con distintas formaciones y fluidos.

Entonces podríamos decir que el fluido de perforación representa un bajo costo en la perforación de un pozo pero juega un papel importante en el costo total del pozo.

2 FLUIDOS DE PERFORACIÓN

El fluido de perforación o lodo como comúnmente se le llama, puede ser cualquier sustancia o mezcla de sustancias con características físicas y químicas apropiadas, como por ejemplo: aire o gas, agua, petróleo o combinaciones de agua y aceite con determinado porcentaje de sólidos.

El fluido no debe ser tóxico, corrosivo, ni inflamable, pero sí inerte a las contaminaciones de sales solubles o minerales y estable a las altas temperaturas. Además, debe mantener sus propiedades según las exigencias de las operaciones, debe ser inmune al desarrollo de bacterias.

2.1 Propiedades de los fluidos de perforación

Durante la perforación de un pozo de petróleo, las propiedades físicas y químicas del fluido deben ser controladas para que esté dentro de los rangos operacionales determinados para cada zona, ya que de esto depende el éxito de la perforación; algunos factores para determinar las propiedades del fluido de perforación son:

- 1) Tipos de formaciones a ser perforadas.
- 2) Rangos de temperaturas, esfuerzos, permeabilidad y presión de formación.
- 3) Procedimiento de evaluación de formación.
- 4) Calidad de agua disponible.
- 5) Consideraciones ecológicas y ambientales.

2.1.1 Densidad del Lodo

El fluido de perforación es un líquido o gas que circula a través de la sarta de perforación hasta la broca y regresa a la superficie por el espacio anular. Este fluido está compuesto por una serie de aditivos para alcanzar las propiedades operacionales deseadas.

La densidad o peso del lodo, es una de las propiedades más importantes, ya que es la encargada de mantener la presión hidrostática mayor a la presión de formación, con el fin de evitar que los fluidos de la formación ingresen al pozo, excepto cuando se perfora en bajo balance (underbalanced) y permita un margen de seguridad de 200 psi.

Sin embargo si la densidad es excesiva, aumentaría la columna hidrostática ocasionando pega diferencial, daño de la formación ocurrido por la invasión de fluidos o fractura hidráulica provocando pérdidas de fluido.

2.1.2 Reología

Es un término que denota el estudio de la deformación de materiales, incluyendo el flujo. En terminología de campo petrolero los términos “propiedades de flujo y la viscosidad”, son las expresiones generalmente usadas para describir las cualidades de un lodo de perforación en movimiento.

Cualitativamente la viscosidad se define como “la resistencia interna de un fluido al flujo”.

La viscosidad de los fluidos de perforación puede expresarse como una medida relativa o absoluta. Las mediciones relativas son la viscosidad de embudo y la viscosidad aparente. Las mediciones absolutas son los valores cuantitativos de las características no newtonianas llamadas la Viscosidad Plástica, el Punto de Cedencia (Yield Point) y los esfuerzos de gel.

La viscosidad de los fluidos de perforación, es una función de muchos factores, algunos de los cuales son:

1. Viscosidad de la fase líquida o continua.
2. Volumen de sólidos en el lodo.
3. Volumen de fluido disperso.
4. Número de partículas por unidad de volumen.
5. Forma y tamaño de las partículas sólidas.

6. Atracción o repulsión entre las partículas sólidas y entre sólidos y la fase líquida.

Cada pozo es único, por lo tanto es importante que estas propiedades sean controladas respecto a los requisitos para un pozo en particular y del fluido que se está usando. Las propiedades reológicas de un fluido pueden afectar negativamente un aspecto, al mismo tiempo que producen un impacto positivo importante sobre otro. Por lo tanto se debe lograr un equilibrio para maximizar la limpieza del pozo, minimizar las presiones de bombeo y evitar los influjos de fluidos o de la formación, además de impedir la pérdida de circulación hacia la formación que se está perforando.

2.1.2.1 Viscosidad Plástica

Es la viscosidad que resulta de la fricción mecánica entre:

1. Los sólidos contenidos en el lodo.
2. Los sólidos y el líquido que lo rodea.
3. El esfuerzo cortante del propio líquido.

Esta viscosidad depende de la concentración, tamaño y forma de los sólidos presentes en el fluido, y se controla con equipos mecánicos de Control de Sólidos. Este control es indispensable para mejorar el comportamiento reológico y sobre todo para obtener altas tasas de penetración (ROP). Una baja viscosidad plástica aunada a un alto punto cedente permite una limpieza efectiva del hoyo con alta tasa de penetración.

Para determinar la viscosidad plástica se utiliza la siguiente ecuación:

$$Vp \text{ cps} = \theta 600 - \theta 300$$

Donde

$\theta 600$ = lectura del dial a 600rpm

$\theta 300$ = lectura del dial a 300rpm

La viscosidad plástica es afectada principalmente por:

- La concentración de sólidos.
- El tamaño y la forma de los sólidos.
- La viscosidad de la fase líquida.
- La presencia de algunos polímeros de cadena larga (POLY-PLUS®, hidroxietilcelulosa (HEC), POLYPAC®, Carboximetilcelulosa (CMC)).
- Las relaciones aceite-agua (A/A) o Sintético-Agua (S/A) en los fluidos de emulsión inversa.

Un aumento de la viscosidad plástica puede significar un aumento en el porcentaje en volumen de sólidos, una reducción del tamaño de las partículas de los sólidos, un cambio de la forma de las partículas o una combinación de estos efectos. Cualquier aumento del área superficial total de los sólidos expuestos se reflejará en un aumento de la viscosidad plástica.

2.1.2.2 Viscosidad Aparente

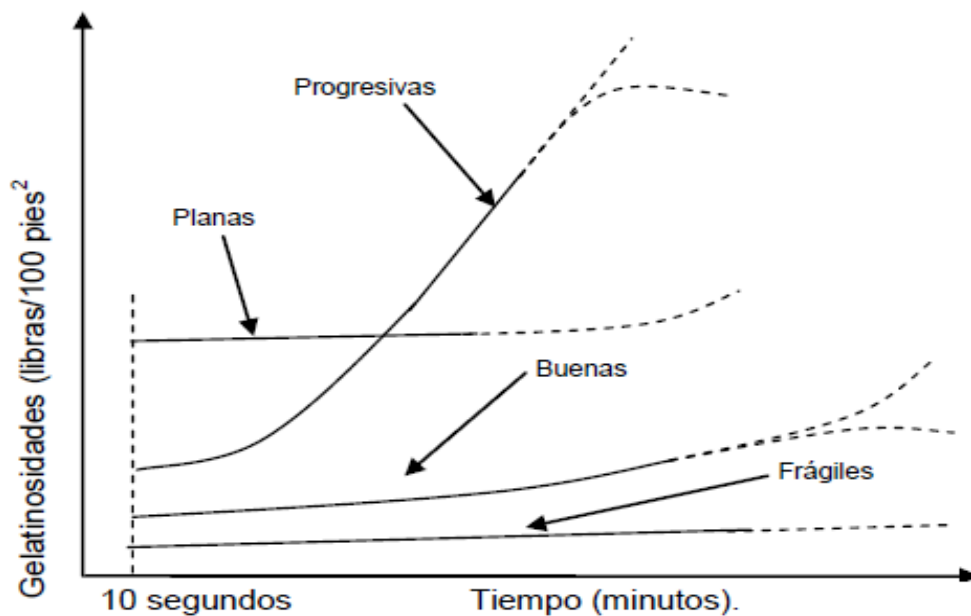
La Viscosidad Aparente se define como la medición en centipoises que un fluido newtoniano debe tener en un viscosímetro rotacional, a una velocidad de corte previamente establecida, y que denota los efectos simultáneos de todas las propiedades de flujo. Se obtiene dividiendo la lectura obtenida a 600 rpm entre 2.

$$Va = \frac{\theta_{600}}{2}$$

2.1.2.3 Resistencia ó Esfuerzo de Gel

Esta resistencia o fuerza de gel es una medida de la atracción física y electroquímica bajo condiciones estáticas. Está relacionada con la capacidad de suspensión del fluido y se controla, en la misma forma, como se controla el punto cedente, puesto que la origina el mismo tipo de sólido (reactivo). Las mediciones comunes de esta propiedad se toman a los diez segundos y a los diez minutos, pero pueden ser medidas para cualquier espacio de tiempo deseado. Esta fuerza debe ser lo suficientemente baja para: Permitir el asentamiento de los sólidos en los tanques de superficie, principalmente en la trampa de arena, permitir buen rendimiento de las bombas y una adecuada velocidad de circulación, minimizar el efecto de succión cuando se saca la tubería, permitir el desprendimiento del gas incorporado al fluido, para facilitar el funcionamiento del desgasificador.

Figura 2.1 Esfuerzos de Gel



Fuente: manual de fluidos de perforación MI

Los esfuerzos de gel excesivos pueden causar complicaciones, tales como las siguientes:

1. Entrampamiento del aire o gas en el fluido.
2. Presiones excesivas cuando se interrumpe la circulación después de un viaje.
3. Reducción de la eficacia del equipo de remoción de sólidos.
4. Pistoneo excesivo al sacar la tubería del pozo.
5. Aumento brusco excesivo de la presión durante la introducción de la tubería en el pozo.
6. Incapacidad para bajar las herramientas de registro hasta el fondo.

2.1.2.4 Punto Cedente

Es una medida de la fuerza de atracción entre las partículas, bajo condiciones dinámicas o de flujo. Es la fuerza que ayuda a mantener el fluido una vez que entra en movimiento. El punto cedente está relacionado con la capacidad de limpieza del fluido en condiciones dinámicas, y generalmente sufre incremento por la acción de los contaminantes solubles como el carbonato, calcio, y por los sólidos reactivos de formación. Un fluido floculado exhibe altos valores de punto cedente y se controla de acuerdo al causante que lo origina; se usan adelgazantes químicos cuando es causada por excesos de sólidos arcillosos, y agua, cuando el fluido se deshidrata por altas temperaturas.

La alta viscosidad que resulta de un alto punto cedente o de altas fuerzas de atracción puede ser causada por:

1. La introducción de contaminantes solubles como sales, cemento, anhídrita o yeso, resultando en arcillas de floculación y sólidos reactivos.
2. Descomposición de las partículas de arcilla por la acción trituradora de la broca y tubería de perforación, creando nuevas fuerzas residuales (valencias de enlace roto) en los bordes rotos de las partículas. Estas fuerzas tienden a juntar las partículas en una forma desorganizada o formando flóculos.

3. La introducción de sólidos inertes dentro del sistema aumenta el punto cedente. Esto hace que las partículas se acerquen más entre sí. Como el espacio entre las partículas disminuye, la atracción entre las partículas aumenta.
4. Las lutitas o arcillas hidratables perforadas introducen nuevos sólidos activos dentro del sistema, aumentando las fuerzas de atracción al reducir el espacio entre las partículas y aumentar el número total de cargas.
5. El subtratamiento o sobre tratamiento con productos químicos cargados electroquímicamente aumenta las fuerzas de atracción.
6. El uso de biopolímeros ramificados (DUO-VIS®, la familia FLO-VIS®, XCD®, Xanvis).
7. Sobretratamiento con arcilla organofílica o modificadores reológicos en sistemas de emulsión inversa (HRPTM, VERSAMOD™).

El punto cedente o (YIEL POINT) se determina con la siguiente ecuación:

$$YP = \theta 300 - Vp$$

2.1.3 Pérdida de Filtrado

Existen dos tipos de filtración, dinámica y estática. En la filtración dinámica, el flujo tiende a erosionar el revoque conforme se deposita; mientras en el caso estático, el revoque continúa haciéndose más grueso con el tiempo. No hay manera de medir la filtración dinámica, así que las medidas que hace el

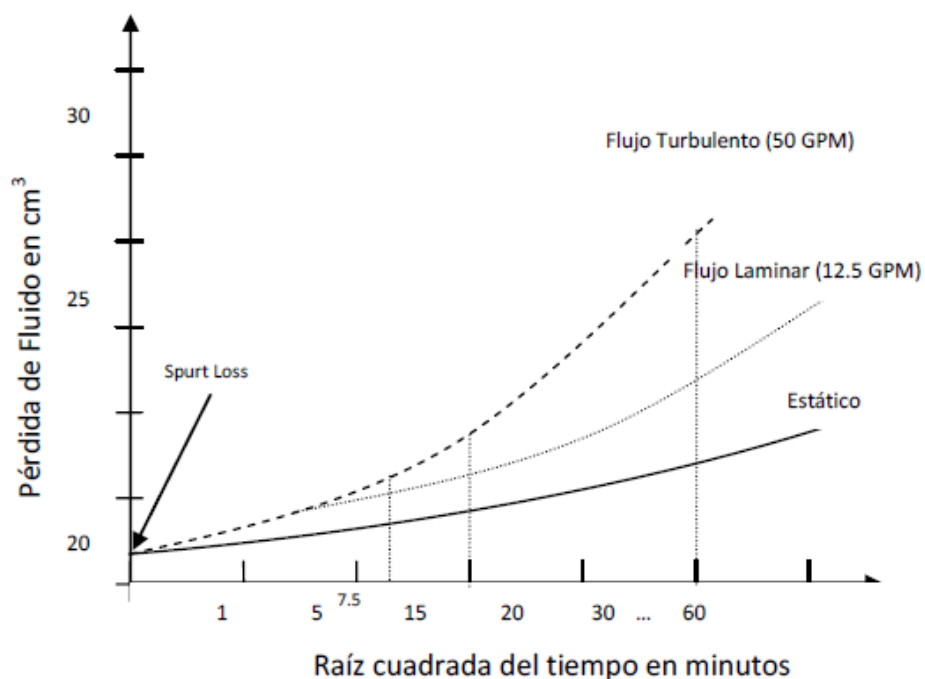
Ingeniero de fluidos están limitadas a pruebas hechas bajo condiciones estáticas.

Para que ocurra la filtración, la permeabilidad de la formación tiene que ser tal que permita el paso del fluido entre las aperturas del poro, conforme el fluido se pierde, se forma una acumulación de sólidos del fluido en la cara de la pared

(Revoque de Pared). Los sólidos que forman el revoque son sólidos congénitos encontrados en la formación durante la perforación y diferentes tipos de sólidos agregados al lodo en la superficie.

Para obtener el mejor revoque posible, se debe poner especial atención no sólo a los materiales base utilizados sino también a la distribución del tamaño de partículas sólidas.

Figura 2.2 Perdida inicial de fluido



Determinación de la pérdida inicial de fluido (Spurt Loss) por extrapolación

Los siguientes problemas ocurren debido al control inadecuado de la filtración:

- Puntos apretados (de diámetro reducido) en el agujero que causan fricción excesiva.
- Incrementos en la presión de surgencia (succión) al mover la sarta en un agujero de diámetro reducido.
- Pegaduras por presión diferencial de la sarta de perforación debido a un área de contacto de la sarta de perforación recostada contra la

formación, aumentada por un revoque grueso y por la rápida acumulación de fuerza de pegadura en revoque de la zona de alta permeabilidad.

- Problemas de cementación primaria debido a un mal desplazamiento de lodo deshidratado y revoques de filtración excesivamente gruesos.
- Problemas para la evaluación de formación por invasión excesiva de filtrado y revoques de filtración demasiado grueso.
- Daño excesivo de formación por el filtrado de lodo.

La relación entre pérdida de fluido (filtración) y el tiempo se expresa como sigue:

$$Q = C * \bar{t} + \text{spurt loss (perdida inicial de fluido)}$$

El flujo de filtrado del lodo a través del revoque se describe por la Ley de Darcy, donde la velocidad de filtración está dado por:

$$\frac{dQ}{dT} = \frac{k * A * \Delta P}{\mu * Lt}$$

El volumen de sólidos depositados como revoque después de perder el volumen, Q, de filtrado está dada por:

$$Vs = \frac{fs}{1 - fs} * Q$$

El volumen de revoque de porosidad, fi, es simple $Vs/(1 - \Phi)$. Debido a esto el revoque de fluido puede expresarse como:

$$Lt = \frac{Vs}{1 - \Phi * A} = \frac{Q}{1 - fs * 1 - \Phi * A}$$

Sustituyendo esta expresión por Lt, queda:

$$\frac{dQ}{dT} = \frac{k * A^2 * \Delta P * 1 - fs * (1 - \Phi)}{\mu * fs * Q}$$

Asumiendo que la permeabilidad y porosidad del revoque permanece constante con el tiempo, la integración de esta ecuación queda:

$$\frac{Q^2}{2} = k * \Delta P * (1 - \Phi) * \frac{(1 - fs)}{fs} * \frac{A^2 * t}{\mu}$$

Resolviendo para el volumen de filtrado Q, después del tiempo, t, dando:

$$Q = \sqrt{k * \Delta P * (1 - \Phi) * \frac{(1 - fs)}{fs} * \frac{t}{\mu}}$$

La formación de un revoque delgado y apretado protegerá contra la invasión de filtrados del fluido de perforación hacia las formaciones pero debemos controlar la filtración en los fluidos de perforación mediante la adición de arcilla bentonítica, polímeros, lignitos, resinas, etc.

2.1.4 Contenido de Sólidos

Es una medición del % volumen de partículas que se retienen en una malla 200. Esta determinación se hace a una muestra de fluido tomada de la línea de flote y solo indica que cantidad de partículas de arena que se están circulando hasta la superficie.

Si las partículas de tamaño de arena son recicladas en el tanque de succión, el primer paso que debe tomarse es verificar si no están rotas las mallas de las zarandas. Se debe verificar si los valores de Yield Point y los Geles son altos, y si es así, se deben reducir para facilitar el asentamiento y prevenir la canalización en las piscinas de asentamiento.

2.2 Principales químicos y aditivos de los fluidos de perforación

El fluido de perforación es una mezcla de sustancias con características físicas y químicas donde presentan como liquido base el agua, aceite (petróleo crudo o uno de sus derivados), o una mezcla estable de ellos. Para obtener las propiedades que necesita un fluido de perforación al atravesar las diferentes litologías, se utilizan diferentes materiales llamados aditivos y entre los principales tenemos:

2.2.1 Emulsificantes

Los emulsificantes permiten que los fluidos inmiscibles formen una mezcla llamada emulsión. Actúan reduciendo la tensión de la superficie del agua para facilitar una mezcla completa. Las mezclas de agua y aceite se utilizan con frecuencia como lubricantes porque tienen bajo costo, son fáciles de desechar y tienen propiedades ignífugas. Estos incluyen ácidos grasos y materiales a base de aminas para fluidos base aceite y detergentes, jabones, ácidos orgánicos y surfactantes a base de agua para fluidos base agua. Estos productos pueden ser aniónicos (negativamente cargados), no iónicos (neutrales), o catiónicos (positivamente cargados).

2.2.2 Reductores de filtrado

Son aditivos utilizados para controlar la pérdida relativa de fluido a través de las formaciones permeables, cuando el fluido de perforación está sometido a una presión diferencial, pérdida de viscosidad o deficiencia en la torta. Las resinas, resinas modificadas, celulosa, polianiónica, poliacrilatos, Carboxi Metil Celulosa (CMC) y almidones con algunos de los controladores de filtrado.

2.2.3 Floculantes

Estos son algunas veces usados para incrementar la viscosidad o para mejorar la limpieza del hueco aumentando el esfuerzo del gel, “las salmueras, cal hidratada, yeso, bicarbonato de sodio, soda ash y tetrafosfatos de sodio pueden ser usados para causar partículas coloidales en suspensión, para agrupar dentro de racimos, causando sólidos libres de asentamiento”.

2.2.4 Agentes Espumantes

Estos son químicos usados con frecuencia y actúan como surfactantes (agentes activos de superficie) para generar espuma en presencia de agua. Estos agentes espumantes permiten al aire o gas incorporarse al fluido.

2.2.5 Materiales para pérdida de circulación

Son aditivos utilizados para disminuir la porosidad y la permeabilidad de la formación, además modificar la composición de las arcillas presentes en la arena. Los materiales para pérdida de circulación utilizados comúnmente son fibrosos (corteza de cedro, tallos de caña triturados, fibra mineral y cabello), escamosos (escamas de mica y láminas de plástico o celofán) o granulares (caliza o mármol triturados y dimensionados, madera, cáscaras de nuez, Fórmica, mazorcas de maíz y cáscaras de algodón). Sin conocimientos especializados se han comparados los materiales para pérdida de circulación con el sellador "Fix-a-Flat" para la reparación de neumáticos de automóviles.

2.2.6 Lubricantes

Se elaboran para presiones extremas y son diseñados para reducir el torque e incrementar la potencia sobre la broca por la reducción del coeficiente de fricción. Ciertos aceites, polvo de grafito y jabones son usados para este propósito.

2.2.7 Agentes liberadores de tubería

Consisten principalmente en detergentes, jabones, aceites, surfactantes y otros químicos; estos agentes intentan ser expuestos en un área con tendencias de pegadura de tubería para reducir fricción, incrementando la lubricidad e inhibiendo el hinchamiento de la formación.

2.2.8 Inhibidores para controlar lutitas

Los inhibidores de lutitas mejoran la eficiencia de la remoción de sólidos y estabiliza las arcillas en operaciones de acidificación, compresión, modificación de pozos e inyección de agua. El inhibidor de lutitas se adsorbe sobre los recortes (cuttings) y sobre la pared del pozo. Como resultado, los mayores recortes flotan hacia la superficie y pueden ser luego removidos del sistema.

Puesto que los inhibidores también se adsorben sobre la superficie del pozo, se mejora la estabilidad de las formaciones de sal y arcillas.

El yeso, silicato de sodio, lignosulfonatos de calcio, tales como la cal y la sal, son usados para el control de hidratación o desintegración de ciertas lutitas.

2.2.9 Inhibidores de Corrosión

Cualquier agente que al ser agregado a un sistema, previene una reacción química o corrosión causada por, sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono, oxígeno, agua salada. Los inhibidores comunes agregados a los fluidos de perforación son las aminas formadoras de película, los secuestrantes de oxígeno, los inhibidores pasivantes y los productos químicos amortiguadores de PH.

2.2.10 Viscosificantes

Las PHPA se usan por sí mismas o en conjunto con bentonita, como extendedores, incrementando la viscosidad del fluido de perforación, mejorando entonces la remoción de los recortes (cuttings) y el control de la densidad de los lodos y lubricando el trépano. Adicionalmente, durante las paradas y debido a la naturaleza tixotrópica de los sistemas de lodos, los recortes (cuttings) serán mantenidos en suspensión, evitando mayores problemas asociados con el asentamiento de las partículas sólidas. La Bentonita, Xanthan Gum, Bentonitas modificadas, Atapulgita, Sepiolota, Polímeros extendedores son algunos de los aditivos utilizados.

2.2.11 Dispersantes y Desfloculantes

Controla la reología de fluidos de perforación a base de agua y muy efectivo a bajas concentraciones. Los lodos en los cuales se puede aplicar incluyen, bajos sólidos, semi-dispersos, inhibidos con cloruro de potasio, cal, yeso o para suplementar al lignosulfonato, lignito o bien en pozos profundos de alta temperatura o como píldoras de lavado de cemento. Algunos dispersantes y desfloculantes son: lignosulfonato de cromo, lignosulfonato libre de cromo,

Lignito, Lignito de cromo, Lignito caustizado, Lignito caustizado potásico, Poliacrilatos.

2.2.12 Antiespumante

Es un aditivo que se emplea para evitar la formación de espuma al agitar un líquido, ya que el fluido de perforación ha disminuido su tensión superficial en formaciones porosas de baja presión

3 CONTAMINANTES DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN

Un contaminante es cualquier tipo de material (sólido, líquido o gas) que tiene un efecto perjudicial sobre las características físicas o químicas de un fluido de perforación.

Los sólidos reactivos de baja densidad son contaminantes comunes en todos los fluidos de perforación. Estos sólidos se componen de sólidos perforados que se han incorporado dentro del sistema o que resultan del tratamiento excesivo con arcillas comerciales.

3.1 Principales contaminantes en los fluidos de perforación

En los sistemas base agua se presentan comúnmente los siguientes contaminantes químicos:

1. Anhidrita (CaSO_4) o yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).
2. Cemento (silicato complejo de $\text{Ca}(\text{OH})_2$).
3. Sal (sal de roca, agua de preparación, agua salada, magnesio, calcio y cloruro de sodio, y agua irreductible).
4. Gases ácidos, incluyendo el dióxido de carbono (CO_2) y el sulfuro de hidrógeno (H_2S).

Con excepción de los gases ácidos, estos contaminantes químicos están directamente relacionados a las reacciones de intercambio de iones con las arcillas. Por lo tanto, la concentración de sólidos de tipo arcilloso en un lodo base agua está directamente relacionada con la severidad con la cual el contaminante químico afecta las propiedades del lodo. La Capacidad de Azul de Metileno (MBT) constituye una buena indicación de la concentración de sólidos de tipo arcilloso. Los lodos con niveles de MBT inferiores a 15 lb/bbl son menos afectados por la contaminación química.

Una reacción de intercambio de iones puede ocurrir cuando la bentonita sódica está expuesta a los ambientes químicos que contienen altas concentraciones de otros iones metálicos, floculando inicialmente, y luego posiblemente convirtiendo químicamente la bentonita en una arcilla de rendimiento más bajo.

Esto afecta la cantidad de agua adsorbida y el tamaño, la forma y la asociación de las partículas, produciendo la inestabilidad de la reología y del control de filtrado.

La severidad de estos contaminantes impuso la necesidad de desarrollar sistemas de lodo capaces de tolerarlos. Estos sistemas incluyen lodos de lignosulfonato, lodos de polímeros con bajo contenido de coloides, lodos de calcio, lodos yeso y lodos salados.

Muchos de estos sistemas son pre-tratados deliberadamente con lignosulfonato, sal (cloruro de sodio) y materiales cálcicos como la cal o el yeso. Por lo tanto, cuando se encuentran concentraciones adicionales de estos contaminantes, éstas no tienen casi ningún efecto sobre los sistemas.

Como los cambios de las propiedades físicas del lodo, tales como el aumento de la reología y del filtrado debido a la floculación, son similares con cualquier contaminante químico que esté presente, dichos cambios de las propiedades físicas sólo indican que existe algún contaminante, por lo cual será necesario realizar un análisis de los cambios de las propiedades químicas para identificar al contaminante.

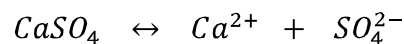
3.1.1 Contaminación Con Yeso ó Anhidrita

El ion calcio, el cual se puede derivar del yeso o durante la perforación en anhidrita, es un contaminante en la mayoría de los lodos base agua. La anhidrita y el yeso son sulfatos de calcio y tienen composiciones químicas prácticamente idénticas. El yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), con su agua fijada, es más soluble que la anhidrita (CaSO_4).

La severidad de este contaminante depende principalmente de la cantidad perforada. Si se encuentra solamente una pequeña cantidad, éste puede ser tolerado mediante la precipitación del ion calcio. Si se encuentran grandes cantidades, el sistema de lodo debería ser convertido en un sistema a base de calcio. Los sistemas a base de cal y de yeso pueden tolerar la contaminación de anhidrita o yeso sin afectar negativamente las propiedades del lodo.

El efecto inicial de la contaminación de calcio sobre un sistema de lodo a base de bentonita es la alta viscosidad, altos esfuerzos de gel y un mayor filtrado. La medida en que estas propiedades son afectadas depende de la concentración del contaminante, la concentración de sólidos reactivos y la concentración de defloculantes químicos en el lodo de perforación.

Como se muestra a continuación, al solubilizarse en agua, el sulfato de calcio se ioniza en iones calcio y sulfato.



La solubilidad de $CaSO_4$ es controlada por el pH, la salinidad y la temperatura. El aumento del pH y de la temperatura reduce la solubilidad del yeso, mientras que el aumento de los cloruros del lodo aumenta la solubilidad. La solubilidad del sulfato de calcio es reversible y alcanzará algún grado de equilibrio con el ambiente químico.

Factores De Detección

La primera indicación de contaminación de anhidrita o yeso es el aumento de las propiedades físicas, incluyendo la viscosidad Marsh, el punto cedente y los esfuerzos de gel.

Las principales indicaciones son:

1. Aumento de la cantidad de calcio en el filtrado. Es posible que este aumento inicialmente no resulte evidente si hay algún excedente de iones carbonato, bicarbonato o fosfato en el lodo, o si se está aumentando el pH del sistema de lodo. Sin embargo, una vez que el yeso solubilizado haya agotado estos elementos químicos, el pH disminuirá porque el pH del yeso (6 a 6,5) es muy bajo. Esta reducción del pH resultará en un aumento importante de la cantidad de calcio en el filtrado, visto que la solubilidad del calcio varía en relación inversamente proporcional al pH.
2. La reducción del pH y de la alcalinidad y el aumento de la cantidad de calcio en el filtrado constituyen los indicadores más confiables.

3. Debido a la solubilidad relativamente limitada de la anhidrita y del yeso, los recortes pueden contener trazas del mineral. Esto es demostrado frecuentemente en los recortes por la presencia de bolitas blandas de material soluble en ácido.
4. La prueba cualitativa para el ion sulfato debería indicar un aumento; sin embargo, esta prueba también detecta el ion sulfonato. La prueba carece de sentido si se usa lignosulfonato como des-floculante principal, a menos que se efectúe una comparación con el lodo no contaminado.

3.1.1.1 Tratamiento De La Contaminación Con Yeso o Anhidrita

1. Aumentar la concentración de des-floculante en el sistema. El lignosulfonato y el lignito son desfloculantes eficaces en presencia de calcio. Este tratamiento puede ser suficiente, según la cantidad perforada de anhidrita o yeso. El lignito causa la quelación del ion calcio, eliminándolo de esa manera, si hay demasiado calcio, será necesario usar carbonato de sodio (Na_2CO_3) para precipitarlo.
2. El pH debe ser mantenido dentro del rango de 9,5 a 10,5 con soda cáustica (NaOH) o potasa cáustica (KOH). Este rango de pH limita la solubilidad del yeso y aumenta el rendimiento del lignosulfonato.
3. Cualquiera de los siguientes productos químicos puede precipitar un aumento de la cantidad de calcio en el filtrado; la precipitación del calcio con una fuente de iones carbonato es sumamente eficaz.

Debido al bajo pH de la anhidrita/yeso (6 a 6,5), el carbonato de sodio constituye el carbonato preferido porque tiene un pH más alto (11 a 11,4) que el bicarbonato de sodio (8 a 8,5). Cuando se mezcla carbonato de sodio en agua, el pH aumenta debido a la formación de un ion hidroxilo, de la manera siguiente:



Si los iones calcio están presentes, éstos se precipitarán como CaCO_3 insoluble (caliza). La reacción entre el carbonato de sodio y el yeso es la siguiente:



Una reacción similar ocurre cuando se usa bicarbonato de sodio como precipitante. Los productos secundarios de la reacción son compuestos químicos tales como el bicarbonato de calcio ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$), un material altamente soluble (según el pH). Con la cantidad adicional de soda cáustica para mantener el pH encima de 9,7, el ion bicarbonato se convierte en carbonato. Luego reacciona con el calcio del filtrado para precipitar CaCO_3 . Sin embargo, el periodo intermedio durante el cual el ion bicarbonato está presente puede crear problemas que pueden ser casi tan graves como la contaminación propiamente dicha. Por lo tanto se prefiere usar carbonato de sodio en vez de bicarbonato de sodio.

Los fosfatos también tienen la capacidad de volver complejo el calcio del filtrado. Esta reacción produce un fosfato de calcio insoluble. Los materiales comunes de este tipo que están disponibles incluyen:

Pirofosfato Ácido de Sodio (SAPP) $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ (pH 4,8) Tetrafosfato de Sodio (STP o PHOS) $\text{Na}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$ (pH 8,0)

Los fosfatos están limitados por su estabilidad térmica relativamente baja (aproximadamente 200°F). Cuando se excede esta temperatura, los fosfatos se convierten en ortofosfatos. Como estos no son eficaces como desfloclantes, pero aún son capaces de eliminar el calcio. Sin embargo, el carbonato de sodio constituye el producto preferido para tratar el calcio de la anhidrita o del yeso a temperaturas mayores de 200°F.

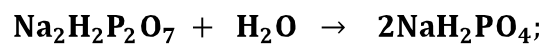
Una de las maneras en que se puede reducir el calcio es añadiendo carbonato de sodio. La siguiente ecuación ilustra la manera en que se puede eliminar el sulfato de calcio (o yeso) usando tratamientos de carbonato de sodio para formar carbonato de calcio. La flecha descendente supone la precipitación de

un sólido insoluble, mientras que una flecha ascendente supondría la generación de un gas.



Para tratar esta contaminación también se puede usar Pirofosfato Ácido de Sodio (SAPP), el cual se debe usar con cuidado porque el SAPP reduce el pH y no es estable a grandes temperaturas como diluyente de lodo.

La reacción de SAPP con el yeso es la siguiente:



3.1.2 Contaminación Con Cemento

El cemento contiene cal, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, el cual es una fuente de calcio y un floculante que puede ser eliminado añadiendo bicarbonato de sodio (NaHCO_3).

La reacción es la siguiente:



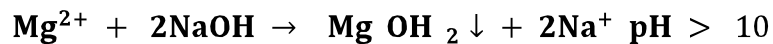
Esta reacción forma hidróxido de sodio y producirá altos valores de pH, incluso después de eliminar el calcio del cemento. Cuando se tiene una contaminación grave del cemento, se debe usar un ácido combinado con bicarbonato de sodio para mantener un valor de pH aceptable. Los ácidos comunes usados con el bicarbonato de sodio son el ácido cítrico, ácido acético, SAPP y ácidos orgánicos tales como el lignito o el lignosulfonato.

3.1.3 Contaminación Con Agua Salada

Un flujo de agua salada puede ser mucho más perjudicial para las propiedades de flujo que la perforación dentro de sal de roca, porque las sales ya están solubilizadas y reaccionan más rápidamente con las arcillas. Cuando se produce algún flujo de agua salada, la densidad del lodo debe ser aumentada para controlar el flujo y así poder tener el tiempo suficiente de acondicionar las propiedades del lodo.

Los iones magnesio y los iones calcio están presentes en el agua salada, los cuales son perjudiciales para los lodos base agua. Como el hidróxido de magnesio ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) y el hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) son relativamente insolubles a un pH alto, se debe usar la soda cáustica para eliminar el magnesio y suprimir la solubilidad del calcio.

Las reacciones son las siguientes:



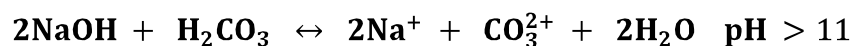
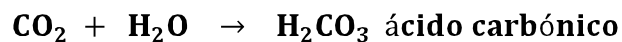
La soda cáustica se usa para reducir el magnesio y calcio en el agua salada, precipitando primero el magnesio como $\text{Mg}(\text{OH})_2$ y luego aumentando el pH para suprimir la solubilidad del calcio y precipitar la cal.

En el agua salada, el tratamiento preferido para la eliminación del magnesio es la soda cáustica, mientras que el tratamiento preferido para la eliminación del calcio es el carbonato de sodio.

3.1.4 Contaminación Con Gas Carbónico

El dióxido de carbono (CO_2) es un gas ácido que existe en muchas formaciones y constituye un contaminante común del lodo. El CO_2 en solución acuosa formará ácido carbónico (H_2CO_3), el cual se convertirá en grupos de bicarbonato (HCO_3^-) a valores de pH medios, y luego en grupos de carbonatos (CO_3^{2-}) a valores de pH más altos.

Las pequeñas afluencias serán tratadas con soda cáustica:



Las grandes afluencias deberían ser tratadas con cal. Se advierte que el precipitado de carbonato de calcio puede causar la formación de incrustaciones sobre la superficie de la columna de perforación y es difícil de eliminar del fluido

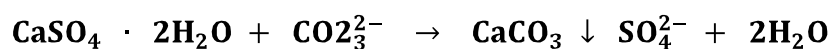
con el equipo de control de sólidos, debido al tamaño ultra pequeño de las partículas.

3.1.5 Contaminación Con Carbonato y Bicarbonato

La contaminación con bicarbonato (HCO_3^-) y carbonato (CO_3^{2-}) puede ocurrir mediante la conversión del gas (CO_2), o resultar de la degradación térmica de los aditivos orgánicos tales como el lignito y el lignosulfonato, así como de la biodegradación del almidón y otros aditivos.

Estos iones pueden ser eliminados con el calcio, sin embargo, como el bicarbonato de calcio $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ es soluble, todos los bicarbonatos deben ser convertidos en carbonatos (por encima de un pH de aproximadamente 11) antes de que puedan precipitarse totalmente como carbonato de calcio. La eliminación de los bicarbonatos y carbonatos puede ser lograda con cualquier fuente de calcio soluble, bajo condiciones de pH constante (si el pH es lo suficientemente alto) o aumentando el pH con soda cáustica en la presencia de calcio.

Se prefiere usar la cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) para convertir HCO_3^- en CO_3^{2-} , y luego precipitar los carbonatos como CaCO_3 , especialmente si el pH del sistema no será aumentado a > 11 . Cuando se debe mantener un valor de pH constante, se requiere usar una combinación de tratamientos de yeso y de cal.



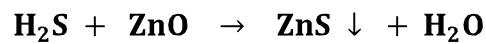
3.1.6 Contaminación con sulfuro de hidrogeno (H_2S)

El sulfuro de hidrógeno es un gas ácido venenoso y peligroso que se encuentra en muchas formaciones y muchos fluidos producidos. Este gas puede insensibilizar rápidamente los sentidos y puede ser letal, incluso a bajas concentraciones. El H_2S se caracteriza por su típico olor a "huevo podrido".

Por razones de seguridad, este gas debería ser neutralizado inmediatamente con soda cáustica o cal para aumentar el pH > 11,5 para formar sulfuro (S^{2-}), y luego precipitarlo con una fuente de zinc.

La conversión del sulfuro de hidrógeno en sulfuro aumentando el pH no constituye una reacción permanente. Si el pH disminuye hasta niveles ácidos, el sulfuro se convertirá de nuevo en la forma venenosa de sulfuro de hidrógeno. Por este motivo, el H_2S siempre debe ser precipitado con una fuente de zinc, tal como el óxido de zinc.

Eliminación mediante la precipitación con tratamientos de óxido de zinc (ZnO):



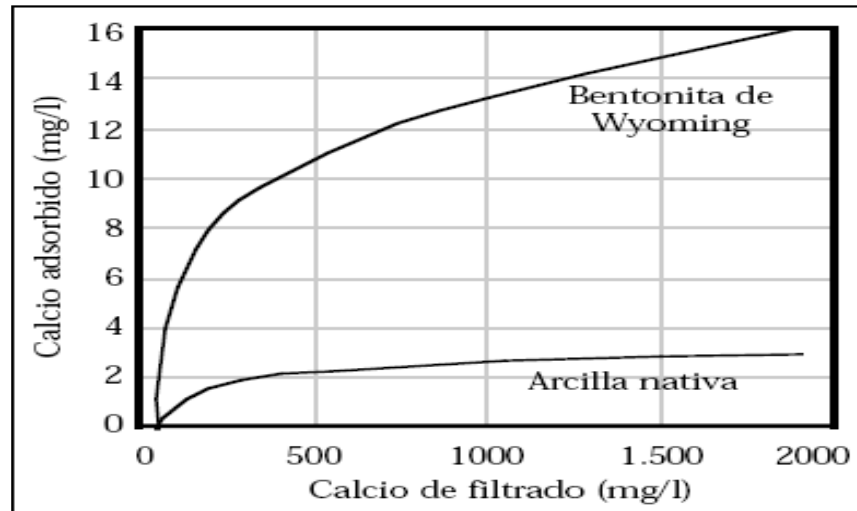
3.2 Control de los contaminantes en los fluidos de perforación

El control y tratamiento de los fluidos de perforación a base agua depende de los materiales que se encuentran o agreguen intencionalmente durante las operaciones de perforación. Casi todo material podrá ser considerado contaminante en uno u otros casos.

3.2.1 Fluidos de perforación tratados con calcio

Cuando se agrega calcio a una lechada de arcilla-agua, se produce un intercambio de bases ya que el catión calcio (Ca^{2+}), el cual tiene una energía de enlace más alta, reemplaza el catión sodio (Na^+) en las arcillas, convirtiéndolas en arcillas a base de calcio. La Figura indica la cantidad de calcio adsorbida por la bentonita de Wyoming y las arcillas nativas.

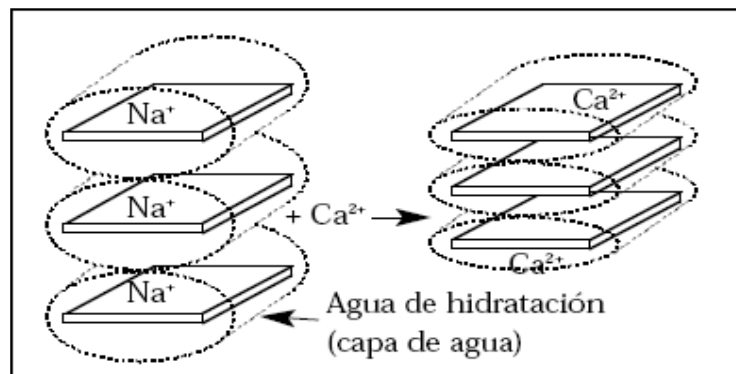
Figura 3.1 Adsorción de calcio por las arcillas



Fuente: Manual de fluidos de perforación MI

Este intercambio de bases causa la deshidratación parcial de las partículas de arcilla hidratadas, reduciendo el tamaño de la capa de agua alrededor de las partículas de arcilla (ver la Figura 3.2).

Figura 3.2 Reducción del agua de hidratación para la arcilla de sodio durante el intercambio de bases con el calcio.



Fuente: Manual de fluidos de perforación MI

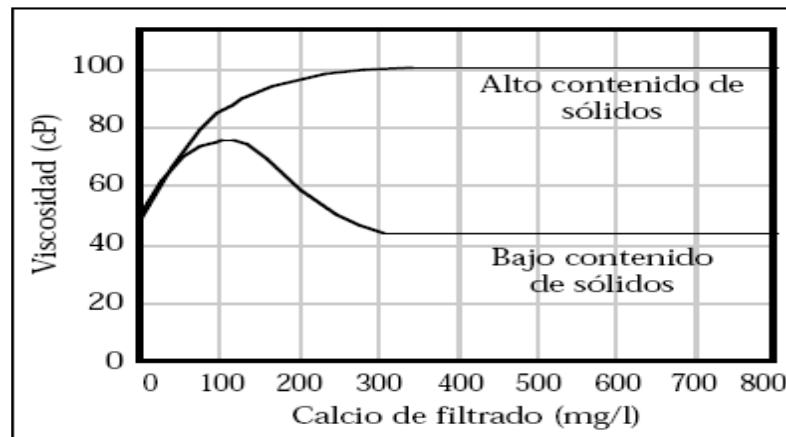
La reducción del tamaño de la capa de agua permite que las partículas de arcilla hagan contacto unas con otras, resultando en la floculación. La floculación causa un aumento del punto cedente y de los esfuerzos de gel; si

no se usa ningún des-floculante, el tamaño de los flóculos de arcilla aumentará con el tiempo y éstos pueden precipitarse, resultando en una reducción gradual de la viscosidad plástica.

Si se usa un des-floculante, las arcillas aún tendrán una capa de agua reducida, pero los flóculos de arcilla se dispersarán; este fenómeno se produce cuando ocurre la contaminación de calcio durante la perforación y es posteriormente tratada, o cuando se convierte un fluido (“se cambia el tipo de fluido”) en un fluido de perforación a base de calcio, tal como un sistema de lignosulfonato.

La concentración de sólidos reactivos en el fluido de perforación determina el aumento de viscosidad (pico de viscosidad) que ocurre cuando se agrega calcio al sistema (ver la Figura 3.3).

Figura 3.3 Efecto de la concentración de sólidos sobre la viscosidad con adiciones de calcio.



Fuente: Manual de fluidos de perforación MI

Por lo tanto, antes de realizar la conversión a un sistema a base de calcio, o antes de perforar dentro de formaciones que contienen calcio (como la anhidrita), el contenido de sólidos reactivos del fluido de perforación debería ser reducido por dilución, mientras que se mantiene la viscosidad mediante

adiciones de polímeros. Los sistemas de calcio proporcionan calcio soluble y de reserva en un fluido de perforación. El calcio soluble desempeña varias funciones como la inhibición del pozo al minimizar la hidratación de los sólidos perforados y las lutitas expuestas mediante el intercambio de bases en las arcillas a base de calcio; hace que un fluido de perforación sea compatible con las formaciones que tienen altas concentraciones de calcio, como la anhidrita, además precipita los iones carbonato (CO_3^{2-}) que resultan de la contaminación de dióxido de carbono (CO_2). La solubilidad del calcio varía en relación inversamente proporcional al pH del fluido de perforación, es prácticamente insoluble a un pH mayor que 12,5, pero es muy soluble a un pH bajo. El calcio como la cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ayuda a amortiguar el pH cuando se encuentran gases ácidos como el CO_2 o el sulfuro de hidrógeno (H_2S).

La solubilidad del calcio también está directamente relacionada con la salinidad o la concentración de cloruros (Cl^-).

3.2.2 Sistema De Lignosulfonato/Yeso

Este sistema está diseñado para perforar la anhidrita (CaSO_4) y/o proporcionar inhibición durante la perforación de lutitas sensibles al agua, mediante el uso de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) como fuente de calcio. Para mantener una cantidad suficiente de calcio soluble, el pH del sistema de lignosulfonato/yeso debería ser mantenido bajo (9 a 10,5). La concentración normal de calcio soluble en este sistema está comprendida en el rango de 600 a 1.200 mg/l. Como la solubilidad del calcio es afectada por el pH y la salinidad, el nivel efectivo dependerá de estas propiedades.

Cuando se convierte un sistema existente no tratado o ligeramente tratado a un sistema de lignosulfonato/yeso, se debe reducir el MBT y el contenido de sólidos de baja gravedad específica para minimizar el “pico de viscosidad producido por el cambio del tipo de lodo”.

3.2.3 Sistema De Lignosulfonato/Cal

En general, los sistemas de lignosulfonato/cal son usados para reducir los efectos de los gases ácidos como CO₂ o H₂S y/o reducir la hidratación de las arcillas de la formación. Los sistemas de Spersene/cal usan la cal (Ca (OH)₂) como fuente de calcio.

Como la cal tiene un pH alto (12,4), el pH del sistema será alto. El pH del sistema depende de la concentración de cal y soda cáustica (NaOH). Los lodos de calcio mantienen una concentración de exceso de cal que no está en solución, ya que la solubilidad de la cal varía en relación inversamente proporcional al pH, por lo tanto, este exceso (reserva) de cal sólo entra en solución cuando el pH del sistema es reducido por las reacciones con los contaminantes acídicos incorporados dentro del sistema durante las operaciones de perforación, esto hace que el exceso de cal tenga un efecto amortiguador sobre el pH, lo cual aumenta la estabilidad del sistema.

Los lodos de calcio se dividen en categorías de contenido bajo, medio y alto de cal, según la cantidad de exceso de cal que contienen. Este nivel de exceso de cal se selecciona en base a la severidad anticipada de la contaminación y según las prácticas locales, estos sistemas son más estables si se mantiene el Pf (alcalinidad del filtrado) más o menos igual al contenido de exceso de cal (lb/bbl).

En general los lodos de calcio no son usados cuando las densidades del lodo son inferiores a 10 lb/gal, porque es difícil mantener propiedades reológicas que sean suficientes para limpiar el pozo. Las temperaturas superiores a 300°F (149°C) pueden causar la gelificación o cementación grave de los fluidos de perforación de contenido medio o alto de cal, esta gelificación o cementación grave es causada por la alta alcalinidad, altas concentraciones de sólidos reactivos y altas temperaturas, estos factores se combinan para formar un cemento de alúmino-silicato.

Cuando se convierte un sistema existente no tratado o ligeramente tratado a un sistema de lignosulfonato/cal, se debe reducir el MBT y el contenido de sólidos

de baja gravedad específica para minimizar el “pico de viscosidad producido por el cambio del tipo de lodo”. Luego, un tratamiento de 1 a 10 lb/bbl de cal, 2 a 12 lb/bbl de lignosulfonato y 2 lb/bbl de soda cáustica debería ser añadido simultáneamente durante una o dos circulaciones.

Además de los procedimientos de mantenimiento descritos anteriormente, el “exceso de cal” debería ser calculado cada vez que sea necesario para monitorear la concentración del exceso de cal en el sistema. Las ecuaciones de balance de masas no pueden monitorear con precisión el exceso de cal, ya que la cal es eliminada del sistema en las arcillas perforadas, como resultado del intercambio de bases. La ecuación para el exceso de cal es la siguiente:

$$\text{Exceso de cal } \frac{\text{lb}}{\text{bbl}} = 0,26 (P_m - P_f F_w)$$

3.2.4 Conversión del lodo

Los agentes químicos añadidos al lodo producen un aumento en la viscosidad seguido por un decrecimiento de la misma, el termino conversión se refiere a esta secuencia de eventos que sufre el lodo de diluido a espeso y diluido.

Los lodos de cal, yeso, cloruro de calcio, los de agua salada, saturados y los de cloruro de potasio sufren una conversión. En la conversión de lodos de agua dulce la viscosidad aumenta a medida que se agrega yeso, cal y otros productos químicos pero alcanza un cierto punto en el que la viscosidad decrece a medida que se agregan otros agentes químicos.

Parámetro para la conversión del lodo:

- Debe añadirse agua al lodo para reducir el porcentaje de sólidos

3.2.5 Aumento del peso del lodo

Aumentar el peso del lodo no es un procedimiento complicado, lo importante es tener claro el tipo de material densificante y el peso que se quiere obtener; el

material densificante se debe agregar a un régimen que mantenga el peso del lodo constante, una buena medición del peso del lodo en el tanque de succión nos dirá si el material densificante se está agregando muy rápido, muy lento o de forma adecuada.

Aumento del peso del lodo y volumen con las arcillas

$$\text{Lb de arcilla añadida por bbl de lodo} = \frac{20.8(W_2 - W_1)}{(20.8 - W_2)} \times 42$$

Donde:

W1= peso inicial del lodo en lb/gal

W2= peso final del lodo en lb/gal

20.8= peso de la arcilla en lb/gal

42= galones por barril

Al añadir la arcilla al sistema del lodo el volumen lodo aumentara

$$\text{Aumento de volumen, bbl} = \frac{\text{lb de arcilla añadida por bbl}}{20.8 \times 42 \text{ lb por bbl}}$$

Aumento del peso y volumen con barita

$$\text{Lb de arcilla añadida por bbl de lodo} = \frac{35.46(W_2 - W)}{(35.46 - W_2)} \times 42$$

W1= peso inicial del lodo en lb/gal

W2= peso final del lodo en lb/gal

35.46= peso de la barita en lb/gal

42= galones por barril

Al añadir la arcilla al sistema del lodo el volumen lodo aumentara

$$\text{Aumento de volumen, bbl} = \frac{\text{lb de barita añadida por bb de lodo}}{35.46 \times 42 \text{ lb por bbl}}$$

3.2.6 Reducción del peso del lodo

En ocasiones se hace necesario reducir el peso del lodo por ejemplo se llega a una zona de alta presión motivo por el cual se aumenta el peso del lodo y se controla la formación una vez colocada la tubería de revestimiento esta controla la presión y que se haya superado la zona de alta presión un fluido pesado no se hace necesario razón por la cual se disminuye el peso del lodo.

En los lodos base agua generalmente se hace agregando agua a continuación una ecuación para calcular el volumen de agua necesario para reducir el peso.

Determina el volumen de cierto fluido para disminuir el peso del lodo.

$$X = \frac{V(W1 - W2)}{(W2 - 8.34)}$$

X= bbl de agua requerido

V= volumen de lodo original en bbl

W1= peso inicial del lodo lb/gal

W2= peso del lodo deseado lb/gal

3.3 Métodos de Tratamientos de los Fluidos de Perforación

Una vez terminados los trabajos de perforación en la localización, se debe de dar disposición ambientalmente segura para los fluidos de perforación, existen diferentes métodos para tratar los fluidos de perforación, y así disminuir el daño al medio ambiente. Muchas de estas técnicas reducen el impacto neutralizando o eliminando los productos que dañan el medio ambiente, mientras que otras dan la posibilidad de utilizar el fluido en nuevos pozos.

3.3.1 Métodos de Pre-Tratamiento.

Los métodos de pre-tratamiento son las medidas de preparación que se toman antes de las disposiciones y almacenamiento de desechos. Estas opciones tienen como objetivo:

- Reducir el peligro del desecho.
- Minimizar el volumen del desecho.
- Cambiar su estado de tal manera que se adecuado para una opción de disposición en particular.

Cuando se realiza la planificación de pozos se deben tener en consideración las siguientes opciones:

- **Centrífugas**

Las centrífugas trabajan aplicando una fuerza gravitatoria incrementada sobre las partículas de diferente masa y pueden remover sólidos de hasta 2 micrones. Una centrífuga no puede diferenciar entre sólidos perforados y barita, en consecuencia removerá sólidos perforados de 15 micrones tanto como partículas de barita de 10 micrones. Cambiando el caudal de alimentación, la velocidad del tazón, la velocidad del transportador en forma de tornillo sin fin (tiempo de retención) de la centrífuga, se puede cambiar el valor de d50 del fluido procesado para cumplir con los requerimientos. La centrífuga decantadora es la que se usa casi que exclusivamente y existen dos tipos básicos.



CENTRÍFUGAS LGS Y HGS.

Figura 3.4 Bomba centrífuga para retira los líquidos de de un desecho fangoso

- **Hidrociclones**

Hidrociclones y centrífugas trabajan para remover partículas sólidas del sistema de lodo utilizando la fuerza centrífuga. Los dos hidrociclones más comunes son el desarenador que puede remover las partículas más grandes (partículas tamaño “arena” mayores de 40 micrones) y el deslimador (usado para remover partículas tamaño “limo”, mayores de 20 micrones). Con el uso de mallas 200 mesh (74 micrones) en las zarandas, no es necesario utilizar el desarenador.

La tasa de separación de los sólidos de la fase líquida se incrementa con el diámetro y la densidad de las partículas además se reduce con el incremento en la viscosidad del fluido. El uso de fluidos que adelgazan con una alta velocidad de corte como el creado por los hidrociclones, es muy importante para un buen control de sólidos porque las partículas se separarán más rápidamente.

El número de conos disponible debería ser suficiente para procesar entre un 125 y un 150% del caudal máximo de flujo anticipado. Las bombas centrífugas deben ser correctamente dimensionadas de acuerdo a la densidad del fluido y al caudal para proveer la suficiente potencia y mantener la presión requerida.

- **Limpiadores de lodo**

Un limpiador de lodo es un hidrociclón que procesa la descarga de sólidos sobre una zaranda de malla fina. Este es generalmente utilizado únicamente con fluidos de emulsión inversa o con fluidos densos, para obtener un ahorro al reducir las pérdidas de barita y fluido. Un limpiador de lodo es ideal para equipos de perforación que tienen un pobre sistema de zarandas o que tienen problemas de taponamiento en las mallas. La desventaja del limpiador es que

devuelve las partículas más finas al sistema, haciéndose a menudo antieconómico.

- **Compactado/Triturado.**

Son procesos eficaces de reducción de volúmenes. Los materiales triturados generalmente son enviados a operaciones de re-circulamiento, mientras que los productos compactados se trasladan a áreas de relleno aprobadas.

- **Desaguado**

El proceso de desaguado es simplemente la separación del componente agua del sumidero. El componente sólido resultante aun requiere una opción de eliminación adecuada y posiblemente un mayor tratamiento. Los líquidos recuperados pueden eliminarse en pozos profundos, ser reciclado o descargados. El desaguado es el proceso más adecuado para minimizar el volumen del seminífero y hacerlo más fácil de manipular. Los métodos para desaguar sumideros incluyen la filtración mecánica, centrifugas y pozos decantadores utilizando la floculación y coagulación. Se están desarrollando técnicas más innovadoras para este proceso.

- **Secado.**

Es un proceso similar el desaguado en el componente de líquido libre de desecho se evapora. Con frecuencia se utilizan lozas de concreto para el secado y bajo un control adecuado se pueden tratar significativos volúmenes de lodos. Las lozas de secado deben encontrarse debidamente diseñados de manera que puedan contener que los líquidos se escurran.



Figura 3.5 Secado de los lodos de perforación

La contención es de particular importancia cuando las operaciones puedan verse afectadas por una inundación repentina o una fuerte lluvia tropical. Aun cuando el secado sea un método económico para el desagado en dicha área, se deben considerar el hecho de cubrir las lozas de secado como una alternativa a la construcción de una extensa contención.

- **Neutralización.**

Los desechos líquidos que contienen sólidos y son altamente ácidos (PH menor de 5.5) o altamente alcalinos (PH mayor de 9.0) deben neutralizarse antes de su eliminación o como una opción de tratamiento para disminuir la naturaleza corrosiva del desecho. Estos desechos pueden ser diversos ácidos, bases, aguas de lagunas, fangos, lodos y cáusticos. La neutralización o fijación incluyen la formación de sales insolubles que no son lixiviales del material base en el que se encuentran contenidos. Los materiales sólidos pueden ser adecuados para el relleno y los líquidos para la inyección de pozos profundos.

- **Unidad de watering**

La deshidratación del lodo es el proceso de remoción de los sólidos coloidales en exceso presentes en los lodos de perforación base agua, mediante la adición de productos químicos para coagular y flocular los sólidos presentes.

Sin la aplicación de un proceso químico o deshidratación de lodo, la separación mecánica de líquidos y sólidos mediante la utilización de una centrífuga está limitada a 2 o 3 micrones. Por eso la deshidratación del lodo vence esta limitación mediante la “Floculación” del lodo por el pre-tratamiento químico para incrementar el tamaño de partícula efectivo” de los sólidos suspendidos.

La Coagulación es la adición de productos químicos al agua, los cuales causan que las partículas coloidales se agrupen en otras más grandes cuando entren en contacto. Esta mezcla es utilizada durante la coagulación para proveer una rápida e uniforme dispersión de los químicos y también incrementar el acople entre partícula y partícula. Normalmente el proceso completo ocurre en menos de un segundo.

La Floculación generalmente es seguida por la coagulación y puede describirse como un puente físico-químico o aglomeración de las partículas coaguladas; el proceso de floculación involucra una mezcla de partículas hasta que los flóculos son formados.

La Separación de los líquidos y sólidos del sistema de lodo ocurre fácilmente mediante la eliminación de grandes sólidos floculados en forma de lodo húmedo. Los sólidos provenientes de la deshidratación de lodo es descargado dentro de los contenedores y el agua recuperada es retornada para almacenarla en forma directa para el sistema activo de lodo. El agua obtenida de esta deshidratación puede ser reciclada en forma de dilución en el proceso o retornada al sistema activo de lodo o transferida a los tanques de agua de perforación para su uso como dilución.

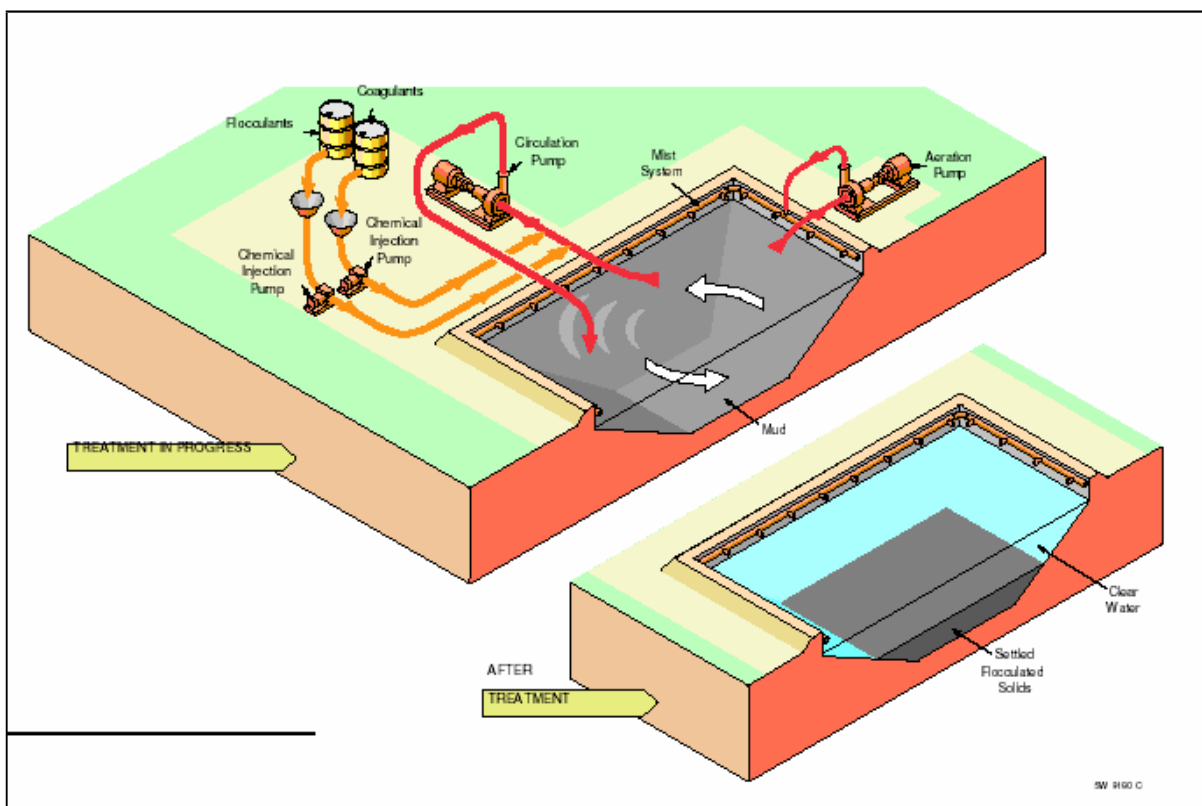
Instalación típica del sistema de Deshidratación de lodo

Básicamente todas las unidades tienen tres componentes principales los cuales suministran resultados similares.

Los tres componentes del sistema de Deshidratación de Lodo son:

1. El Sistema de mezclado
2. El Sistema de Bombeo
3. El Equipo de Separación

Figura 3.6 Unidad de Watering



BENEFICIOS

- ❖ Reducción de costos de limpieza de locación.
- ❖ Reducción o eliminación de costos por transporte de desechos.
- ❖ Reducción o eliminación de piscinas de reserva para lodo.
- ❖ Reutilización de una fase líquida con contenido de productos activos del lodo.
- ❖ Reducción de costos de perforación.

3.3.2 Tratamiento y Disposición de los fluidos de perforación

El descarte de fluidos de perforación y los ripsos de perforación es uno de los problemas más importantes que enfrenta hoy la industria petrolera actual especialmente en zonas donde el tipo de formación perforada requiere un fluido a base de hidrocarburos. Por lo tanto el diseño de un programa de perforación debe considerar el potencial de impacto ecológico ocasionados por estos desperdicios sobre el medio ambiente.

El tipo de fluido seleccionado, los equipos de control de sólidos y un método de descarte adecuado son muy importantes para evitar o minimizar los daños al medio ambiente. En la actualidad existen gran variedad de sistemas y productos de fluidos nuevos diseñados para satisfacer los requisitos de rendimiento y eficiencia mientras ofrecen una mejor aceptabilidad y menor impacto al medio ambiente.

La complejidad de los requerimientos ecológicos relacionados con la perforación ha cambiado dramáticamente en la última década. Aun que el problema del medio ambiente requiere ahora una nueva filosofía y plantea un reto adicional.

Ya no es suficiente perforar con seguridad, rápidamente y económicamente; el obstáculo de todo esto es como hacer todo esto de manera segura para el medio ambiente.

La clave para reducir el impacto en áreas ecológicamente sensibles es de determinar cómo tratar de la mejor manera las cuestiones combinadas de: rendimiento del fluido, productos del lodo, el control de sólidos, tecnologías de descarte, los costos y los importantes las preocupaciones respecto al medio ambiente el objetivo de es hacer una buena combinación de estas preocupaciones desde la perspectiva de la industria es la finalización exitosa del proyecto de perforación de manera responsable que minimizara el impacto sobre el medio ambiente a un costo mínimo.

3.3.2.1 Efecto de los Contaminantes

Antes de evaluar un sistema de descarte de desperdicios de perforación es básico un entendimiento de los potenciales impactos de las descargas de los lodos y ripios y tener muy en cuenta cuales son los principales contaminantes que emiten los desechos de ripios y el lodo de perforación.

- **Metales Pesados**

Los metales pesados tanto de los productos como de las formaciones, tienen la tendencia de reaccionar con los sólidos y arcillas de perforación y no son muy móviles en el medio ambiente. No se biodegradan y pueden causar problemas por muchos años, es decir los metales pesados pueden bioacumularse y se pueden pasar en la cadena alimenticia causando problemas de salud, tales como defectos genéticos.

- **Cloruros**

Los compuestos de sales pueden inhibir el crecimiento de plantas en su capacidad de absorber agua. Concentraciones más elevadas en agua dulce también pueden ser tóxicas para peces, plantas y otros organismos acuáticos.

- **Hidrocarburos**

Los desperdicios orgánicos, en altas concentraciones, son sumamente dañinos para el medio ambiente. Estos tipos de desperdicios orgánicos en este caso industriales tales como hidrocarburos de petróleos u otros productos especiales afectan a los ríos y arroyos aumentando la carga de demanda de oxígeno y llevando consigo enfermedades.

La fuente principal de hidrocarburos en la operación de perforación es el uso de fluidos base aceite. A causa de la toxicidad inherente de los lodos base aceite y de los problemas causados por su descarte, sus ventajas para satisfacer los requisitos de rendimiento frecuentemente son sobre pasadas por los costos de limpieza.

- **Ácidos**

Los ácidos o las bases pueden cambiar el PH matando las plantas y animales de las zonas cercanas donde se está perforando. El PH de los desperdicios de perforación inapropiadamente tratados y eliminados, ya sean líquidos o sólidos pueden interrumpir inmediatamente el ecosistema del lugar de influencia de la perforación.

- **Sólidos Suspendidos Totales**

Los sólidos en suspensión totales pueden dañar las aguas superficiales cercanas no solo estáticamente también mediante la reducción de cantidad de luz disponible necesaria para el crecimiento de plantas. Esta carga adicional también afecta la fauna mediante la toxicidad mecánica, es decir la fatiga o el cubrimiento de o recubrimiento de los órganos respiratorios. El aumento de sólidos en suspensión contienen fracciones orgánicas, que a medida que se degradan empobrecen de oxígeno las aguas circundantes.

3.3.2.2 Tratamiento Biológico (In situ)

El tratamiento biológico de sólidos en el lugar utiliza amplios sistemas de aeración para la reducción y remoción de contaminantes orgánicos degradables biológicamente. Estos incluyen la degradación biológica de

hidrocarburos mediante el mezclado constante, el arado rotatorio, y la rotación de sólidos contaminados para promover mayor aeración. Esta técnica se usa en los pozos que hayan sido perforados con lodos base de petróleo.

Aproximadamente el 90% del material orgánico se remueve y convierte en dióxido de carbono y agua o en nuevos sólidos biológicos. Idealmente, se continuara la extensa aeración para oxidizar la masa de lodo a dioxidante de carbono y agua de tal manera que no haya una acumulación de lodo neta.

Sin embargo la experiencia ha demostrado que aproximadamente el 25% de los sólidos biológicos producidos son inertes a la oxidación biológica y por lo tanto se acumulan en el sistema. Se recolecta el exceso de lodo este es desaguado y luego de la prueba de clasificación de desechos, con frecuencia es adecuado para rellenos industrial.

El tipo de tratamiento biológico en el lugar se basa en el tipo de desecho y es específico a la zona. Los tratamientos biológicos deben ser monitoreados de cerca con el fin de mantener la eficiencia.

Ventajas

- Evita la necesidad de extraer el suelo
- Evita la liberación de gases dañinos al aire
- Se generan muy pocos residuos
- No requiere tanto equipamiento ni trabajo
- Suele resultar más económica

Limitaciones

- Solo se usa en descontaminación de hidrocarburos biodegradables
- Es efectiva solo en condiciones relativamente superficiales
- Presenta factores intrínsecos que la hacen inviable
-

3.3.2.3 Floculación y Relleno

Es uno de los métodos más comunes y antiguos para el descarte de desechos de perforación. El proceso de floculación incluye el proceso de métodos químicos y mecánicos para separar la parte sólida y recuperar la parte líquida. Una vez que la fase líquida es removida la fase sólida es mezclada con la tierra y la fosa rellena con esta mezcla.

Tabla 1 Floculación y Relleno

FLOCULACIÓN Y RELLENO			
SECUENCIA Y TRATAMIENTO	CRITERIOS ECONÓMICOS	CRITERIOS OPERACIONALES	CRITERIOS AMBIENTALES
	VENTAJAS		
1. Rapios+lidos	bajo costo de tratamiento por barril	Proceso simple con un uso mínimo de equipos	Dilución de metales pesados y sales
2. floculación	sin costo por transporte del desecho costo		Biodegradación natural de hidrocarburos
	DESVENTAJAS		
3. mezcla con tierra	Costos de permisos y terreno	Puede ser aplicado solamente a desechos de baja toxicidad	Masas de aguas no profundas pueden ser contaminadas
4. cierre de fosa	Costo de potencial de riesgo futuro debido al potencial de contaminación cuerpos aguas superficiales	Puede ser necesario el transporte a una zona de relleno	Lluvias pueden causar la contaminación de aguas superficiales

Fuente: Marco legal y ambiental para deposición de residuos insitu, SWACO

3.3.2.4 Degradación Biológica (biodegradación)

Es usada para remover hidrocarburos de desechos de perforación. Este proceso utiliza bacterias para degradar los hidrocarburos de los desechos. Cuando los porcentajes de aceite y grasa han sido reducidos a los niveles deseados, los sólidos son removidos y solidificados con un agente de cementación para prevenir la migración de sales y metales pesados.

El proceso de biodegradación es un proceso lento el cual puede tomar varios meses para lograr un contenido de hidrocarburo aceptable, estas bacterias pierden efectividad en presencia de sales y metales pesados por lo tanto este proceso no puede ser aplicado en altas concentraciones de estos metales.

Tabla 2 Degradación Biológica

DEGRADACIÓN BIOLÓGICA (BIODEGRADACIÓN)			
SECUENCIA TRATAMIENTO	CRITERIOS ECONÓMICOS	CRITERIOS OPERACIONALES	CRITERIOS AMBIENTALES
	VENTAJAS		
1 Desecho con aceite	Eliminación del costo de transporte del desecho	Operación simple	Remoción efectiva de hidrocarburos
2 Agrega agua	Bajo costo de equipo y mano de obra comparado con otros métodos		
3 Agregan bacterias	Eliminación de riesgos futuros por contaminación de hidrocarburos		
	DESVENTAJAS		
4 Remediación	Metales pesados y cloruros no son removidos	Largo plazo de procesamiento Limitado a sistemas base aceite	La contaminación del aire es posible con el sistema de aireación
5 Relleno		Bacterias no sobreviven a altas concentraciones de sal Acción bacteriana es sensible a la temperatura	No son tratadas las sales y los metales pesados

Fuente: Marco legal y ambiental para deposición de residuos insitu, SWACO

3.3.2.5 Estabilización

El proceso de estabilización es similar al método de floculación y relleno. El contenido de la fosa, sólidos y líquidos, es mezclado con un agente de estabilización y dejado secar o curar. Los agentes de estabilización incluyen: ceniza de carbón, cal viva y cemento portland. Los sólidos estabilizados son enterrados o usados en varias aplicaciones: construcción de locaciones, rellenos de carreteras, y construcción de bloques muros y paredes.

Tabla 3. Sistema Estabilización

ESTABILIZACIÓN			
SECUENCIA TRATAMIENTO	CRITERIOS ECONÓMICOS	CRITERIOS OPERACIONALES	CRITERIOS AMBIENTALES
	VENTAJAS		
1 Desecho	Eliminación de costo de transporte	Proceso simple, adaptable a la mayoría de locaciones	Estabilización de Todos los contaminantes presentes; cloruros, metales pesados y hidrocarburos
2 Estabilizante	Bajo costo de equipo y mano de obra	Eliminación de transporte de desechos	Material estabilizado pasa todas las pruebas de lixiviación
3 Mezcla			
4 Curado	Reutilización del producto final	Altas velocidades de procesamiento	Velocidad de lixiviación para permitir que el ambiente pueda degradar contaminantes sin riesgo
	DESVENTAJAS		
5 Material reutilizable	Potencial de riesgo debido a almacén de contaminante	Varias personas requeridas para operar equipo Espacio necesario para el proceso	Aumento de volumen de desecho

Fuente: Marco legal y ambiental para deposición de residuos insitu, SWACO

3.3.2.6 Relleno Agrícola

Relleno agrícola es un proceso dinámico el cual envuelve la aplicación controlados de desechos no tóxicos directamente a la superficie del suelo, acompañado por el manejo y monitoreo continuo, para alterar el estado químico y biológico del desecho.

El sitio, tierra, clima y actividad biológica interactúan como un sistema para degradar e inmovilizar los ingredientes del desecho. El resultado es un área recomendada para el soporte y crecimiento de vegetación.

Fluidos (lodos ripios) recomendados para rellenos agrícola

- ❖ Fluidos de superficie
- ❖ Fluidos base agua no densificados
- ❖ Fluidos poliméricos de bajo peso
- ❖ Fluido ligeramente disperso bajo o no contenido (cromo, yeso o cal)
- ❖ Fluidos-ripios de bajos-moderados niveles de cloruro

Fluidos (lodos-ripios) no recomendados para relleno agrícola

- ❖ Fluidos base aceite
- ❖ Fluidos base agua de alta densidad, altamente tratados
- ❖ Fluidos de muy alto cloruro(casi saturación)

Tabla 4. Relleno Agrícola

RELLENO AGRICOLA			
SECUENCIA TRATAMIENTO	CRITERIOS ECONÓMICOS	CRITERIOS OPERACIONALES	CRITERIOS AMBIENTALES
	VENTAJAS		
1 Desecho	Bajo costo por barril	Proceso simple con un uso mínimo de equipo	Dilución de metales pesados Y sales
2 Aplicación al suelo			Biodegradación natural de hidrocarburos
3 Labrado	DESVENTAJAS		
4 Degradación química y física	Potencial de costo de riesgo futuro debido a contaminación de aguas	Requiere gran cantidad de terreno Requiere mucho tiempo para degradar contaminantes	Las regulaciones pueden limitar el uso del método
5 Material reutilizable y soporte de vegetación	Requiere costos de permisos y terrenos	El transporte de desechos a otra zona puede ser requerido	Lluvias pueden causar problemas de contaminación

Fuente: Marco legal y ambiental para deposición de residuos insitu, SWACO

3.3.2.7 Inyección Anular

El descarte por medio de inyección anular incluye el bombeo de desperdicios de perforación, mezclado como una lechada, en pozos de inyección o el espacio anular. Las mesas de agua y zonas productoras son protegidas por el cemento y tubería.

Proceso de la Inyección Anular

- Los ripios provenientes del equipo de control de sólidos son descargados y transportados a la unidad de inyección.

- Los ripsos son mezclados con agua y re-circulados en dos tanques cónicos.
- Una bomba centrífuga modificada re-circula la lechada usando impeles reducidos, la alta energía de mezcla desintegra los ripsos en partículas pequeñas (menor de 40 micrones) y permite que estas partículas se hidraten, creando una lechada homogénea.
- En un tanque se obtienen las propiedades óptimas de la lechada y estas dependerán de la formación (densidad, viscosidad)

Tabla 5. Inyección Anular

Inyección Anular			
SECUENCIA TRATAMIENTO	CRITERIOS ECONÓMICOS	CRITERIOS OPERACIONALES	CRITERIOS AMBIENTALES
1 sólidos y líquidos	VENTAJAS		
2 trituración	Eliminación de transporte de desecho a otra locación	Ripios pueden ser inyectados con pre tratamiento	El desecho es inyectado a una zona que no tiene uso
3 preparación de lechada	Limitación de la posibilidad de contaminación con agua	Costos de equipos y mano de obra bajos Tecnología simple	Mínimo impacto ambiental
4 inyección anular	DESVENTAJAS		
5 impacto ambiental mínimo	Errores en aplicación de este proceso puede resultar el altos costos de limpieza	Limitaciones en diseño de revestidor Regulado estrictamente por los gobiernos limitaciones del tipo de formación	El gradiente de fractura pueden ser excedidos si la presión de inyección es muy alta, creando un potencial de contaminación de aguas

Fuente: Marco legal y ambiental para deposición de residuos insitu, SWACO

3.3.2.8 Lavado de Ripios

El proceso consiste de un solvente o solución de lavado y un mezclador. La solución de lavado es reutilizada hasta saturarse y desechada. Este método también es usado para el lavado de tierras con hidrocarburos, cloruros y metales pesados para reducir o eliminar la concentración de estos contaminantes.

Tabla 6. Lavado de Ripios

LAVADO DE RIPIOS			
SECUENCIA TRATAMIENTO	CRITERIOS ECONÓMICOS	CRITERIOS OPERACIONALES	CRITERIOS AMBIENTALES
1 desecho	VENTAJAS		
2 lavado con solvente		Permite el reciclaje del fluido hasta alcanzar la saturación	Cumple con regulaciones locales para desechos de ripios
3 reducción de contenido de aceite			El aceite removido de los ripios es regresado al sistema activo para su captación
	DESVENTAJAS		
4 descarte al ambiente	Alto costo de equipo	Requiere por lo menos un operador todo el tiempo	No remueve el aceite y los contaminantes totalmente
5 relleno agrícola u otro método	Alto costo del proceso		El solvente saturado tiene que ser descartado de acuerdo a regulaciones

Fuente: Marco legal y ambiental para deposición de residuos insitu, SWACO

3.3.2.9 Zona Privada de Descarte

Este método consiste en el transporte de todo el desecho a una zona asegurada, asignada por el gobierno u estado, donde el desecho es procesado para remover la parte líquida y la parte sólida es enterrada. Estas zonas privadas son construidas con el propósito de reducir o eliminar la migración de contaminantes a las mesas de agua y reducir el impacto ambiental.

Su uso está siendo limitado por problemas futuros de limpieza.

Tabla 7. Zona privada de descarte

Zona privada de descarte			
SECUENCIA TRATAMIENTO	CRITERIOS ECONÓMICOS	CRITERIOS OPERACIONALES	CRITERIOS AMBIENTALES
1 desecho 2 separación de fase líquida y sólida 3 mezcla con otros desechos	VENTAJAS		
		Recolección y transporte de desecho son los únicos requisitos en la locación de desechos	Desecho puede ser removido totalmente de la locación eliminando riesgo futuro Es bueno en zonas ambientales sensitivas Potencial de migración de contaminantes a fuentes de agua es menor
	DESVENTAJAS		
	Alto costo por barril Alto costo de transporte Alto costo de riesgo futuro si la zona tiene que ser limpiada	Número limitado de zonas privadas Sistema de colección y detección de migración de contaminantes son necesarios	No control sobre que otro desecho es enterrado No incluye tratamiento de contaminantes solo es un método de almacenamiento

Fuente: Marco legal y ambiental para deposición de residuos insitu, SWACO

4. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Para el desarrollo de este trabajo en primer lugar se decidió utilizar como contaminantes cemento, yeso y cal; debido a que estos contaminantes son los que se encuentran con mayor frecuencia durante las perforaciones. El objetivo de este trabajo fue, analizar el comportamiento de un fluido de perforación en presencia de los distintos contaminantes mencionados y determinar la cantidad de tratamiento a utilizar.

El cemento usado fue cemento portlan, el cual es utilizado en las cementaciones de los pozos y es uno de los principales contaminantes de los fluidos de perforación.

El yeso y la cal si fueron tomadas de laboratorio con una composición muy similar a las encontradas en las distintas formaciones.

El fluido de perforación que se utilizo fue base agua, el cual tiene un peso de 8,7 lb/gal diseñado para perforar las primeras secciones hasta unos 500 ft de profundidad.

Todos los fluidos de perforación elaborados para el desarrollo de este trabajo tuvieron un peso de 8,7 lb/gal y fueron contaminados con cemento, yeso y cal en cantidades de 2, 3, 5, y 10 ppb.

Todos los fluidos de perforación elaborados para el desarrollo de este trabajo tuvieron un peso de 8,7 lb/gal estos fueron tratados con bicarbonato de sodio para la contaminación con cemento, soda ash para la contaminación con yeso y bicarbonato de sodio para la contaminación con cal en cantidades de 2, 4, 6 y 8 ppb.

4.1 Pruebas de laboratorio para fluidos base agua

Las propiedades de los fluidos de perforación determinadas por los métodos de pruebas rutinarios pueden ser usadas como una guía tanto cualitativa como cuantitativa para controlar su comportamiento. Estas propiedades físicas y

químicas deben ser controladas apropiadamente para que rindan durante la perforación y las actividades de reparación. En el laboratorio se desarrolla una serie de pruebas donde se analiza la geología del lodo, sus propiedades de viscosidad, filtrado y análisis de cloruros, calcio, Pf y Mf, concentraciones de sales, entre otros.

Estas pruebas se realizan a los fluidos de perforación con la finalidad de verificar que este lodo se encuentra bien formulado y no presente problemas al momento de ser usado en la perforación.

4.1.1 Determinación de la densidad

El equipo más frecuentemente usado para efectuar la medida de la densidad de un fluido de perforación es la balanza de lodo, este equipo permite realizar mediciones con una precisión de +/- 0,1 lb/gal.

La densidad o también llamada “peso del lodo” se determina utilizando una balanza de lodo, la cual consiste en una taza (con tapa), montada en el extremo de un brazo graduado. Una cuchilla del brazo reposa sobre una base de apoyo, una pesa corrediza sobre el brazo se acerca a la cuchilla o se aleja, hasta balancear la tasa llena de lodo. La densidad del lodo se lee directamente en libras por galón (ppg), libras por pie cubico (pcf), peso específico (SG), o kilogramo por metro cubico (kg/m^3).

Figura 4.1 BALANZA DE LODOS



4.1.2 Determinación de las propiedades reológicas

La viscosidad plástica, viscosidad aparente, punto cedente, y resistencia de gel de los fluidos de perforación se determinaron con un viscosímetro rotatorio cilíndrico, conocido como viscosímetro Fann.

Este viscosímetro rotatorio posee un espacio anular entre dos cilindros concéntricos, lo que permite determinar las propiedades reológicas del fluido. Este viscosímetro posee 6 velocidades variables las cuales son controladas por el usuario, las velocidades son: 600, 300, 200, 100,6 y 3 rpm.

El funcionamiento de este viscosímetro es el siguiente: en el espacio anular entre los dos cilindros concéntricos queda una delgada capa de fluido, el cilindro externo gira a la velocidad indicada por el dispositivo de velocidades, este movimiento produce una torsión sobre el cilindro interno, esta torsión es registrada y en un dial que posee el viscosímetro se efectúa la lectura para la velocidad que en ese momento está operando el viscosímetro.

El procedimiento para tomar las lecturas en un viscosímetro de seis velocidades es el siguiente:

Viscosímetro de Lectura Directa / Procedimiento			
Lectura@	Posición		Ilustración
	Perilla	Interruptor	
600 RPM	BAJA	ALTA	
300 RPM	BAJA	BAJA	
200 RPM	ALTA	ALTA	
100 RPM	ALTA	BAJA	
6 RPM	MEDIA	ALTA	
3 RPM	MEDIA	BAJA	

Figura 4.2 Viscosímetro Rotacional Fann 35



4.1.3 Determinación de la pérdida de Filtrado API

La prueba para determinar la pérdida de filtrado estático de los distintos lodos formulados se realizó en la filtro prensa API, a una temperatura de 35 °C y 100 psi de presión.

Cuando circula a través de una formación permeable, el lodo de perforación perderá parte de su fase líquida hacia el interior de esa formación. Los sólidos del lodo se depositarán, sobre las paredes del pozo, en un espesor que idealmente, es de 1/32 de pulgada aproximadamente. El líquido que se pierde por filtración hacia la formación es el filtrado y la velocidad relativa a la cual ocurre este fenómeno se conoce como la pérdida de fluido o filtrado

Este instrumento consta de una celda de lodo, un regulador de presión y un medidor montado encima de la caja de transporte o en la parte superior de la unidad de laboratorio móvil. Se usa un adaptador de acoplamiento para conectar la celda al regulador, simplemente introduciendo el empalme macho de la celda dentro del empalme hembra del filtro prensa y dando un cuarto de vuelta en sentido horario. Algunas celdas no tienen este dispositivo de cierre y son simplemente introducidas dentro del acoplamiento apropiado. La celda se cierra en la parte inferior con una tapa provista de una tela metálica (o rejilla), colocando la tapa firmemente contra el papel filtro y girando hacia la derecha hasta que quede apretada a mano, esto empuja la hoja de papel filtro contra la junta tórica que fue previamente introducida en la base de la celda. La presión es proporcionada por un pequeño cartucho de gas carbónico. Se proporciona una válvula de purga para aliviar la presión antes de desacoplar la celda. No se debe usar N₂O, óxido nitroso.

Figura 4.3 Filtro prensa API



4.1.4 Determinación del PH

La mayoría de los lodos en uso tienen un PH de entre 7,5 y 11,5, es decir que son siempre alcalinos (PH = 7 es el punto neutro), denominándose de bajo PH a las que tienen valores entre 7,5 y 9,5 y de alto PH de 9,5 a 11,5. El control del PH es importante ya que a través de él pueden detectarse contaminaciones del lodo.

Utilizamos el método potenciométrico, usando el medidor electrónico de pH con electrodo de vidrio. El método de tira de plástico se usa frecuentemente para medir el pH en el campo, pero no constituye el método preferido. Este método sólo es fiable para los lodos base agua que tienen una composición muy simple. Los sólidos del lodo, las sales, los productos químicos disueltos y los fluidos de color oscuro causan errores en los valores indicados por las tiras de plástico indicadoras de pH.

4.2 DISCUSION DE RESULTADOS

4.2.1 Formulaci3n del fluido

A continuaci3n se presenta la formulaci3n del lodo. Los c3lculos de formulaci3n de este fluido se presentan en el anexo

Tabla 8. Formulaci3n del fluido

ADITIVO	Gravedad Esp.	MASA (gr)	VOLUMEN (cc)
Hidrogel	2,3	10	4,35
Starpac	0,8	2	2,50
Carbonato de Calcio	2,7	15	5,56
Goma Xantica	0,7	1	1,43
Agua	1	337	337,00
TOTAL		365	350,83

La masa que se utilizo como contaminante para este fluido, est3 basada en los programas de lodo de algunos pozos que presentaron contaminaci3n con cemento, yeso o cal, en donde la contaminaci3n no excedi3 las 10 PPB pero si afecto en gran medida las propiedades del fluido de perforaci3n.

De acuerdo a la tabla 9:

- Cantidad de contaminante utilizado para el fluido base agua

Tabla 9. Cantidad de contaminante utilizado

Masa de Contaminante (gramos)
2
3
5
10

Se utilizaron tres tipos de contaminantes cemento, cal y yeso; en cuatro cantidades diferentes 2, 3, 5 y 10 gr/cm³, ya que estos contaminantes son sólidos reactivos de baja densidad y son los más comunes en todos los fluidos de perforación, estos sólidos se componen de sólidos perforados que han sido incorporados en el sistema, además, son contaminantes químicos que están directamente relacionados a las reacciones de intercambio de iones con las arcillas.

4.2.2 Resultado y análisis de las pruebas realizadas

Las tablas con los resultados obtenidos se presentan a continuación:

❖ Fluido contaminado con CAL

Tabla10. Resultado de las pruebas antes y después de contaminar con CAL

PROPIEDADES	ORIGINAL	CONTAMINACION CON CAL (PPB)				
		2	3	5	7	10
Densidad (lpg)	8,6	8,7	8,71	8,75	8,8	8,85
L 600 rpm	102	144	160	170	166	164
L 300 rpm	76	105	116	124	124	122
L 200 rpm	63	84	86	84	92	88
L 100 rpm	47	58	62	66	64	62
L 6 rpm	17	19	20	20	20	21
L 3 rpm	14	16	17	18	18	20
Gel 10"(lb/100 ft ²)	15	17	27	36	42	46
Gel 10´(lb/100 ft ²)	40	44	58	62	64	72
Gel 30´(lb/100 ft ²)	42	47	60	64	64	74
Va (cp)	51	72	80	85	83	82
Vp (cp)	26	39	44	46	42	42
YP (lb/100 ft ²)	50	66	72	78	82	80
Filtrado API	6,8	12,2	38	54	62,5	72
ppm Ca ++	40	320	400	500	520	640
Pm	0,6	6,2	7,3	13,1	17,5	20,3
Pf	0,15	1,95	2	2,4	2,55	2,7
Mf	0,45	2,35	2,55	3,05	3,15	3,25
PH	9,34	12,3	12,35	12,4	12,43	12,45

❖ Fluido contaminado con YESO

Tabla11. Resultado de las pruebas antes y después de contaminar con YESO

PROPIEDADES	ORIGINAL	CONTAMINACION CON YESO (PPB)			
		2	3	5	10
Densidad (lpg)	8,6	8,72	8,75	8,81	8,89
L 600 rpm	102	108	116	122	128
L 300 rpm	76	80	86	90	94
L 200 rpm	63	64	69	68	66
L 100 rpm	47	49	50	52	50
L 6 rpm	17	17	20	22	22
L 3 rpm	14	17	19	20	20
Gel 10"(lb/100 ft ²)	15	18	20	21	21
Gel 10´(lb/100 ft ²)	40	42	44	46	50
Gel 30´(lb/100 ft ²)	42	44	46	50	54
Va (cp)	51	54	58	61	64
VP (cp)	26	28	30	32	34
YP (lb/100 ft ²)	50	52	56	58	60
Filtrado API	6,8	7,2	7,8	8,2	9,2
ppm Ca ++	40	1160	1600	1880	2080
Pm	0,6	0	0	0	0
Pf	0,15	0	0	0	0
mf	0,45	0	0	0	0
PH	9,34	7,76	7,69	7,65	7,62

❖ Fluido contaminado con CEMENTO

Tabla 12. Resultado de las pruebas antes y después de contaminar con CEMENTO

PROPIEDADES	ORIGINAL	CONTAMINACION CON CEMENTO (PPB)			
		2	3	5	10
Densidad (lpg)	8,6	8,6	8,71	8,72	8,75
L 600 rpm	102	124	144	160	170
L 300 rpm	76	92	110	124	128
L 200 rpm	63	72	78	84	96
L 100 rpm	47	54	60	69	76
L 6 rpm	17	19	22	22	24
L 3 rpm	14	16	18	19	20
Gel 10''(lb/100 ft ²)	15	17	18	20	34
Gel 10'(lb/100 ft ²)	40	43	48	52	58
Gel 30'(lb/100 ft ²)	42	45	50	54	60
Va (cp)	51	62	72	80	85
VP (cp)	26	32	34	36	42
YP (lb/100 ft ²)	50	60	76	88	86
Filtrado API	6,8	6,9	7	7,2	7,8
ppm Ca ++	40	140	200	280	320
Pm	0,6	3,6	4,4	6,2	9,2
Pf	0,15	0,8	1	1,3	0,8
Mf	0,45	1,5	2,1	2,5	1,6
PH	9,34	11,77	11,82	11,84	11,9

➤ **Viscosidad Plástica.**

A continuación se presenta el comportamiento de la viscosidad plástica en relación con los tres tipos de contaminantes utilizados. Este comportamiento se ilustra en la figura 4.4

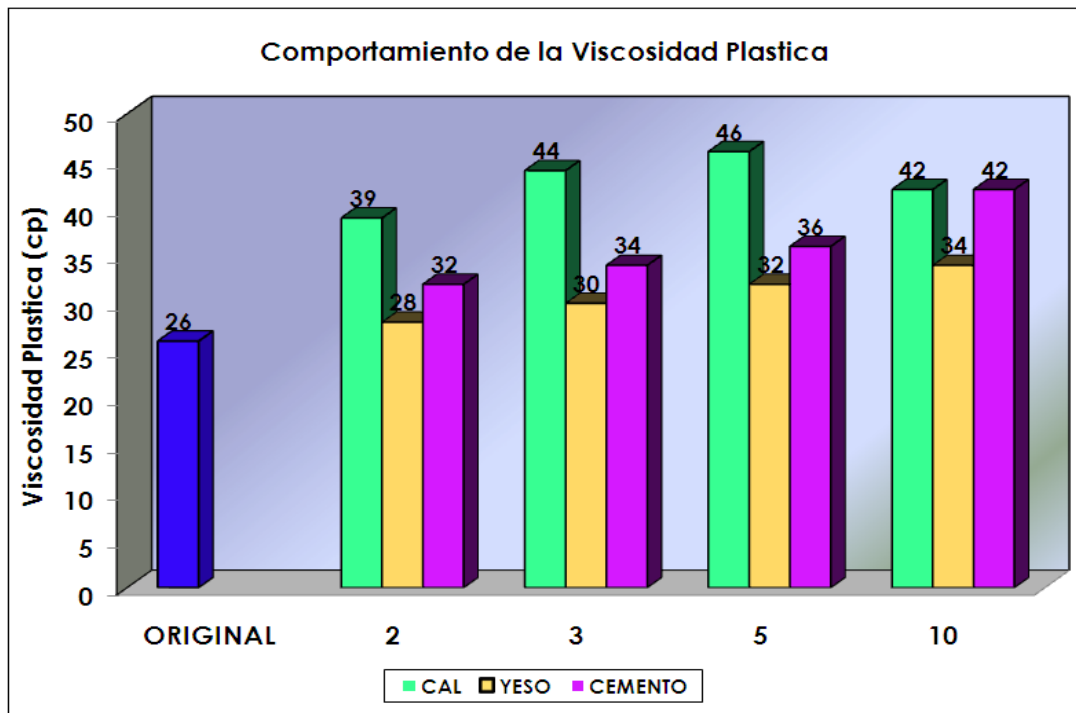


Figura 4.4 Comportamiento de la viscosidad Plástica.

Este lodo por tener una densidad de 8,7 lb/gal no posee sólidos de alta gravedad específica (Barita), solo posee sólidos de baja gravedad específica ($2,6 \text{ gr/cm}^3$); por este motivo las viscosidades plásticas tanto en el lodo original o base como en los contaminados, no son muy elevadas.

Podemos apreciar que el lodo contaminado con cal, alcanza los valores más elevados de la viscosidad plástica 46 cp, a una contaminación de 5 ppb, esto es debido al tamaño de las partículas, ya que uno de los factores que afecta la viscosidad plástica es el tamaño de las partículas solidas, el motivo de este incremento es que las partículas solidas de la cal, son mucho más pequeñas en comparación con las del cemento y el yeso, dando como resultado una mayor área superficial expuesta en comparación con los sólidos del lodo sin contaminar.

En cuanto a la contaminación con yeso y cemento podemos observar que la viscosidad plástica va aumentando muy poco y solo alcanza los 36 cp, demostrando que el fluido soporta la contaminación hasta de 5ppb de yeso y

cemento, hecho que no ocurre con la cal, en donde el lodo presenta un estado floculado difícil de manejar, observándose que a medida que la contaminación es mayor el efecto es mucho más marcado.

➤ **Punto Cedente.**

A continuación se presenta el comportamiento del punto cedente en relación con los tres tipos de contaminantes utilizados. Este comportamiento se ilustra en la figura 4.5

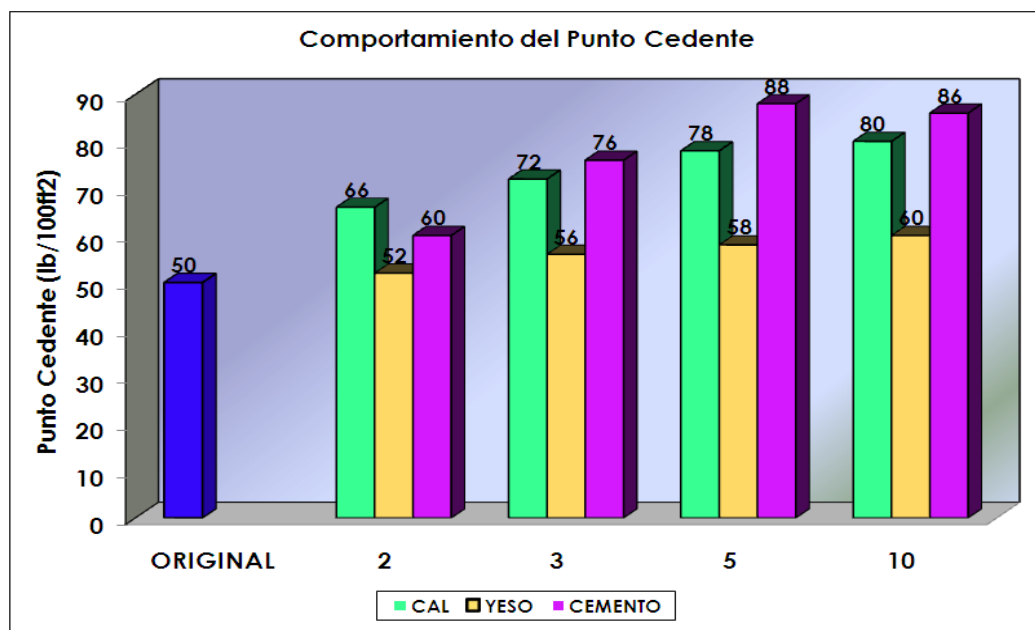


Figura 4.5 Comportamiento del Punto Cedente.

El valor de punto cedente que presenta el fluido original es un poco elevado y es debido a la gran cantidad de sólidos presentes en el mismo. El punto cedente está relacionado con la limpieza del hoyo, es decir con la capacidad que tiene el fluido de perforación para transportar los cortes hasta la superficie. Se puede observar que el punto cedente es afectado con los tres contaminantes utilizados, pero solo el cemento y la cal son los que producen los mayores incrementos del punto cedente en las cuatro concentraciones utilizadas.

Uno de los factores que más afecta el punto cedente es la cantidad de sólidos, observando el fluido contaminado con yeso podemos apreciar que el punto cedente incrementa solo un poco en comparación con el fluido original, debido a que contiene menos partículas solidas que el cemento y la cal, eso lo podemos apreciar también con su formula molecular ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

El comportamiento presentado en la contaminación con cemento y cal, es más pronunciado que el de la contaminación con yeso; esto es debido a las fuerzas de atracción entre las partículas. Esta fuerza de atracción es una consecuencia de las cargas eléctricas sobre la superficie de las partículas dispersa en la fase fluida. A medida que se incrementa el porcentaje de contaminación con este tipo de contaminantes, el valor del punto cedente aumenta considerablemente causando problemas en la limpieza del pozo.

➤ **Viscosidad Aparente.**

A continuación se presenta el comportamiento de la viscosidad aparente en relación con los tres tipos de contaminantes utilizados. Este comportamiento se ilustra en la figura 4.6

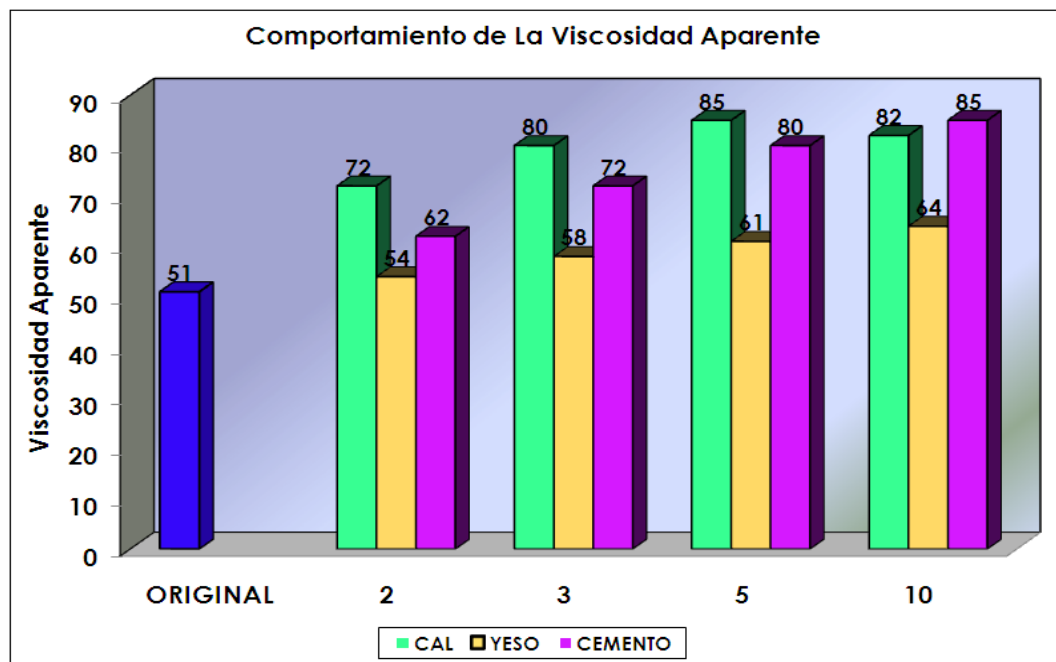


Figura 4.6 Comportamiento de la Viscosidad Aparente.

Al analizar el comportamiento de la viscosidad aparente, se debe observar el del punto cedente, debido a que existe una relación directa con esta propiedad. Efectivamente el comportamiento de esta propiedad es similar al comportamiento del punto cedente en relación a los tres tipos de contaminantes utilizados ya que se obtuvieron valores muy parecidos en estas dos propiedades.

El alto valor de la viscosidad aparente, tanto en el lodo original como en los contaminados, se debe a la alta concentración de sólidos. Debido a que la viscosidad de un fluido de perforación está en función de la temperatura, la presión en menor medida, de los sólidos presentes en el lodo y de la fase líquida, por tanto al estar los fluidos a la misma temperatura y presión la viscosidad está afectada principalmente por el contenido de sólidos presentes.

Por lo tanto la contaminación con cal y cemento provocaron un gran incremento de la viscosidad del fluido haciéndolo muy difícil de manejar.

➤ Resistencia de Gel.

A continuación se presenta el comportamiento de la resistencia de gel para cada tipo de contaminante.

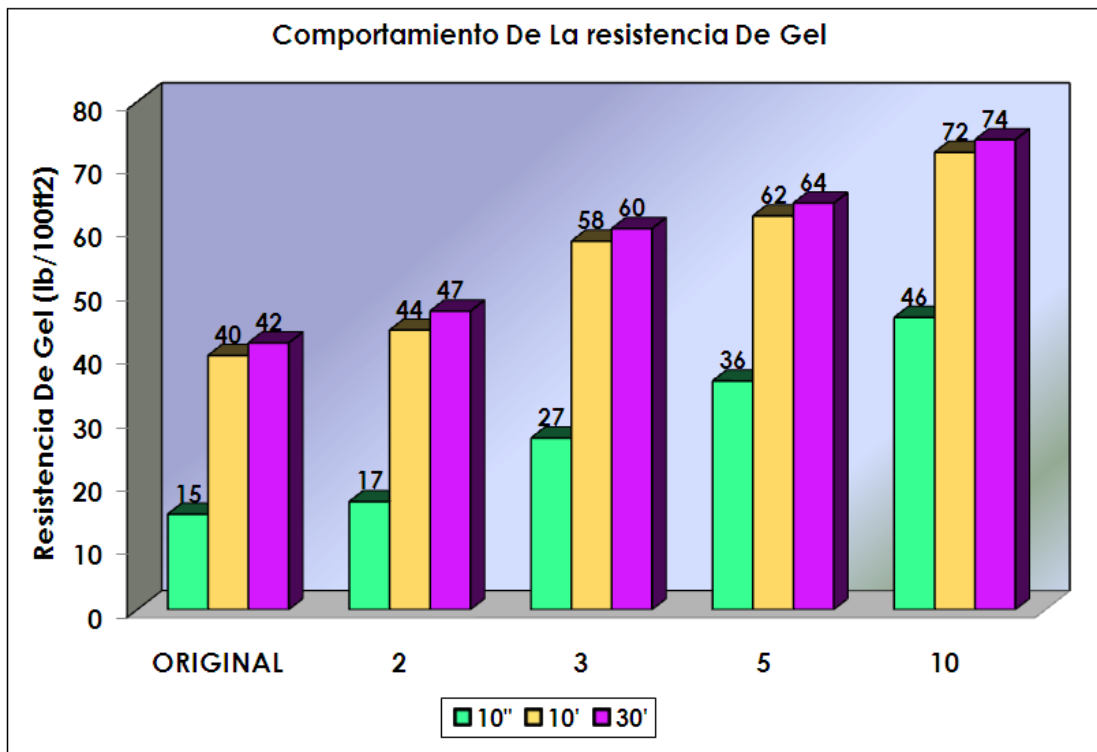


Figura 4.7 Comportamiento de la Resistencia de Gel para el fluido contaminado con CAL.

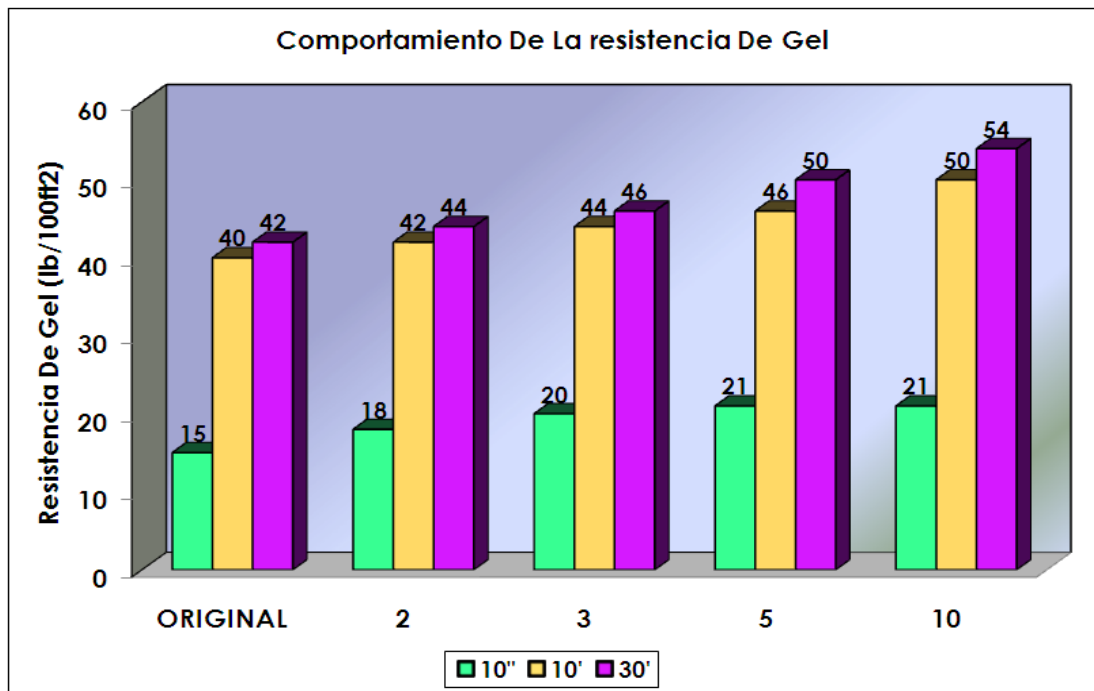


Figura 4.8 Comportamiento de la Resistencia de Gel para el fluido contaminado con YESO.

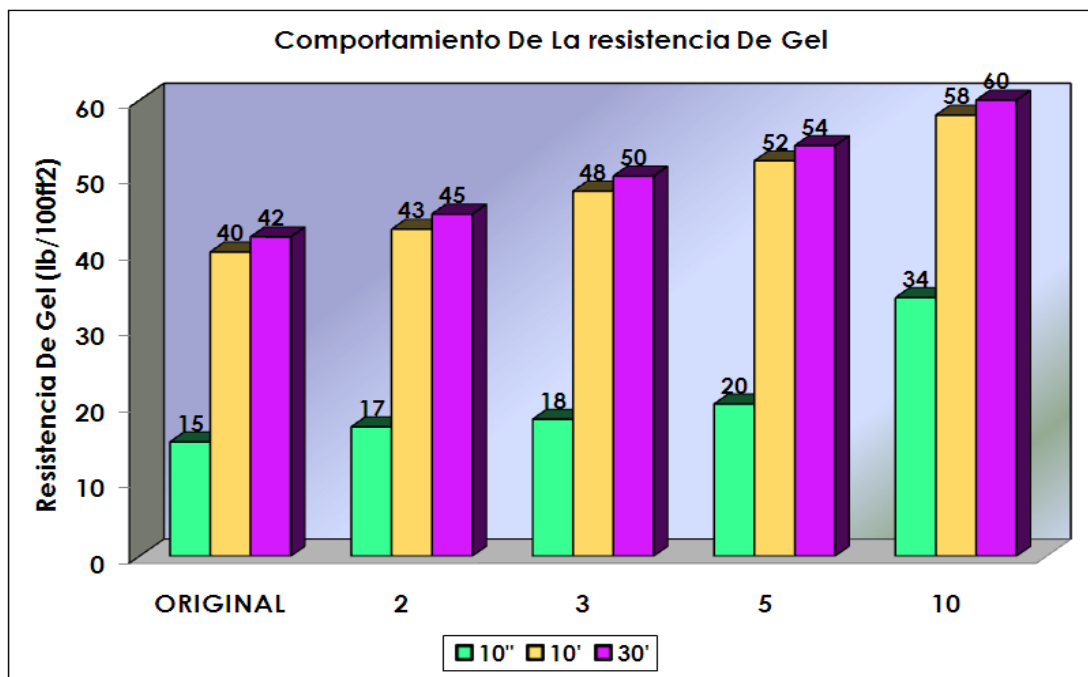


Figura 4.9 Comportamiento de la Resistencia de Gel para el fluido contaminado con CEMENTO.

Como se puede observar en las figuras 4.7, 4.8 y 4.9 a medida que se incrementa el porcentaje de contaminación los valores de gel aumentan, esto se debe a que al existir una mayor concentración de sólidos estos tengan una mayor interacción, o roce entre ellos que puede generar una pequeña carga que logre agrupar las partículas y crear una estructura de gel más estable.

En las mismas figuras mencionadas anteriormente se observa un amplio margen entre la lectura inicial de gel y la lectura a los 10 minutos, este tipo de gel se conoce como gel progresivo e indica acumulación de sólidos.

En cuanto a la figura 4.7, los valores de gel son mucho mayores que en relación al lodo base, y a medida que el porcentaje de contaminación aumenta los valores se incrementan de manera desproporcionada, esto se debe a las características de la muestra, ya que las cargas eléctricas asociadas con las partículas generan que las mismas se agrupen y formen una estructura de gel muy estable.

En la contaminación con CAL, se observa que tanto la lectura inicial como la lectura a los 10 minutos y a los 30 minutos sus valores son cercanos y elevados, y este tipo de gel es conocido como gel instantáneo, lo que indica que existe una floculación del lodo.

La magnitud del valor del gel, como el tipo de gel es importante para lograr una efectiva suspensión de cortes y material Densificantes, pero este valor no debe llegar a un valor muy elevado porque produciría presiones excesivas cuando se interrumpe la circulación después de un viaje, reducción de la eficacia del equipo de remoción de sólidos, pistoneo excesivo al sacar la tubería del pozo o incapacidad para bajar las herramientas de registro hasta el fondo.

➤ **Perdida de Filtrado.**

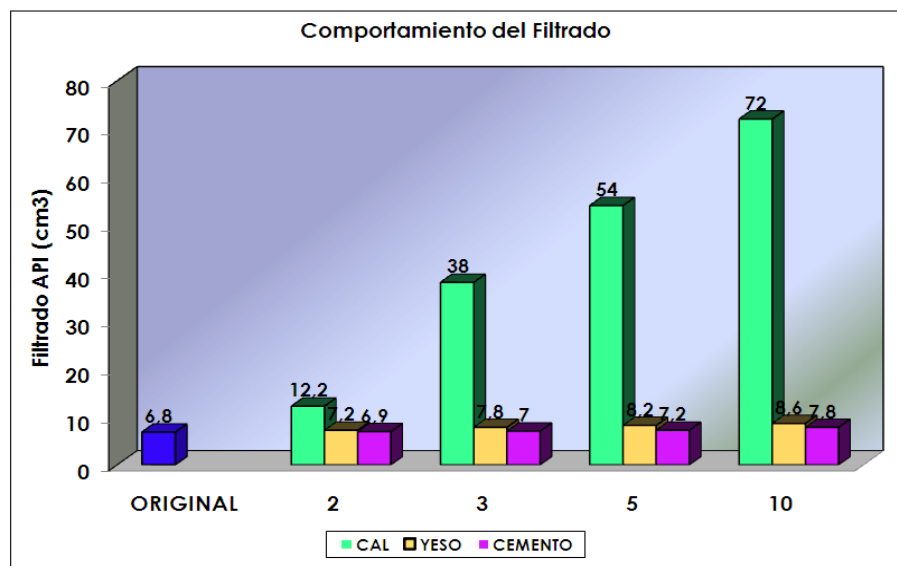


Figura 4.10 Comportamiento del Filtrado.

Las pérdidas de filtrado que se obtuvieron en las tres contaminaciones fueron mayores que la del lodo original y esto se debe al alto contenido de sólidos presentes en el fluido, siendo las partículas solidas, además de la presión,

temperatura y tiempo, los factores que afectan la pérdida de filtrado. Debido a la gran cantidad de sólidos, se generaron revoques gruesos y permeables.

Se puede observar que a medida que se incrementa el porcentaje de contaminación el filtrado aumenta, esto es debido a los sólidos presentes en el fluido, pero en la contaminación con cal, podemos apreciar que el filtrado es excesivo, esto es causado por la forma, tamaño y cantidad de sólidos los cuales formaron un revoque grueso y muy permeable, debido a esto puede causar grandes problemas como, mayor suaveo y pistoneo debido a la reducción del espacio anular, pega por presión diferencial debido a la mayor superficie de contacto y al desarrollo rápido de las fuerzas de adhesión causado por la tasa de filtración más alta, dificultades con la cementación primaria, debido al desplazamiento inadecuado del revoque, mayor dificultad para bajar el revestidor, además de daño a la formación causado por la invasión del filtrado y sólidos.

4.2.3 Resultado y análisis de los tratamientos realizados al fluido contaminado.

Tabla 13. Fluido contaminado con 3PPB CAL y tratado con Bicarbonato de Sodio

PROPIEDADES	contaminado	Tratamiento con Bicarbonato de Sodio (PPB)			
	3PPB	2	4	6	8
Densidad (lpg)	8,71	8,7	8,71	8,71	8,71
L 600 rpm	160	144	132	106	124
L 300 rpm	116	105	96	78	94
L 200 rpm	86	88	84	66	74
L 100 rpm	62	68	64	49	50
L 6 rpm	20	24	22	20	22
L 3 rpm	17	20	19	19	19
Gel 10"(lb/100 ft ²)	27	26	22	19	26
Gel 10´(lb/100 ft ²)	58	52	46	44	52
Gel 30´(lb/100 ft ²)	60	54	48	46	54
Va (cp)	80	72	66	53	62
VP (cp)	44	39	36	28	30
YP (lb/100 ft ²)	72	66	60	50	64
Filtrado API	38	8	6,2	5,4	5,8
ppm Ca ++	400	360	280	120	80
Pm	7,3	2,29	1,9	0,9	0
Pf	2	1,9	1,4	0,7	0,8
Mf	2,55	2,3	1,8	0,9	1,4
PH	9,8	9,7	9,7	9,5	7,6

Tabla 14. Fluido contaminado con 10 PPB de YESO y tratado con Soda ASH

PROPIEDADES	contaminado	Tratamiento con Soda ASH (PPB)			
	10 PPB	2	4	6	8
Densidad (ppg)	8,89	8,9	8,9	8,9	8,9
L 600 rpm	128	122	116	112	106
L 300 rpm	94	90	86	84	79
L 200 rpm	66	65	63	64	62
L 100 rpm	50	52	49	48	48
L 6 rpm	22	25	24	22	21
L 3 rpm	20	22	22	20	20
Gel 10"(lb/100 ft ²)	21	21	22	20	21
Gel 10´(lb/100 ft ²)	50	48	46	44	42
Gel 30´(lb/100 ft ²)	54	50	48	46	44
Va (cp)	64	61	58	56	53
VP (cp)	34	32	30	28	27
YP (lb/100 ft ²)	60	58	56	56	52
Filtrado API	9,2	8,6	7,2	6,2	4,4
ppm Ca ++	2080	1660	1120	560	120
Pm	0	0	0	0,3	0,4
Pf	0	0	0	0,1	0,15
Mf	0	0	0	0,2	0,3
PH	7,62	9,2	9,36	9,4	9,9

Tabla 15. Fluido contaminado con 10 PPB de CEMENTO y tratado con Bicarbonato de Sodio

	contaminado	Tratamiento con Bicarbonato de Sodio (PPB)			
PROPIEDADES					
	10 PPB	2	4	6	8
Densidad (ppg)	8,75	8,7	8,71	8,71	8,71
L 600 rpm	170	150	142	114	105
L 300 rpm	128	112	106	88	80
L 200 rpm	96	90	84	68	68
L 100 rpm	76	68	64	52	50
L 6 rpm	24	24	22	20	22
L 3 rpm	20	20	19	19	19
Gel 10''(lb/100 ft^2)	34	26	24	22	20
Gel 10´(lb/100 ft^2)	58	52	48	44	42
Gel 30´(lb/100 ft^2)	60	54	50	46	44
Va (cp)	85	75	71	57	52,5
VP (cp)	42	38	36	26	25
YP (lb/100 ft^2)	86	74	70	62	55
Filtrado API	7,8	6,2	5,8	4,8	4,4
ppm Ca ++	320	240	160	120	80
Pm	9,2	7,8	6,4	5,4	4,2
Pf	0,8	0,6	0,5	0,4	0,4
Mf	1,6	1,2	0,7	0,5	0,6
PH	11.9	9,7	9,7	9,5	7,6

➤ **Viscosidad Plástica.**

A continuación se presenta el comportamiento de la viscosidad plástica en relación con los tres tipos de contaminantes utilizados. Este comportamiento se ilustra en la figura 4.11

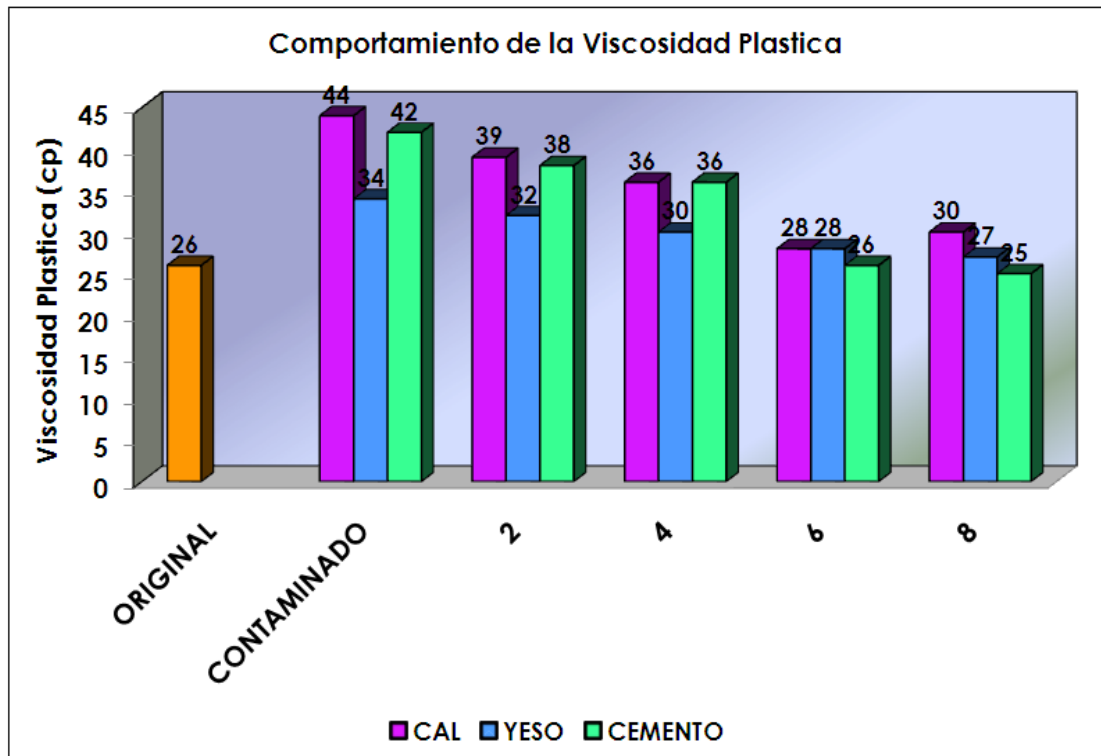


Figura 4.11 Comportamiento de la Viscosidad Plástica.

Para realizar el tratamiento del fluido con los distintos contaminantes, se escogió la concentración más representativa, donde las propiedades del fluido se afectaron más y se pudo apreciar el efecto que tienen los contaminantes en el fluido de perforación.

Para tratar el fluido contaminado con 3PPB de CAL, en donde el filtrado fue excesivo, se le adiciono 1PPB de bentonita y 0,5 PPB de STARPAC (controlador de filtrado). Para que el tratamiento con bicarbonato de sodio y SAPP (pirofosfato acido de sodio), obtuviera mejores resultados precipitando el ion calcio y bajando el PH para disminuir su solubilidad.

En la figura 4.11 se observa la disminución de la viscosidad plástica del fluido contaminado con CAL, debido a la precipitación del ion calcio, solo al final podemos apreciar como la viscosidad plástica tiene un leve incremento indicando un posible exceso en el tratamiento, en donde se puede incurrir en el error y pasar de contaminación con cal a contaminación con bicarbonato.

Para tratar el fluido contaminado con 10 PPB de YESO, en donde la viscosidad plástica alcanzo un valor de 34 cp, se utilizo soda ASH para atacar la contaminación. Podemos apreciar en la figura 4.11 que disminuyo la viscosidad plástica hasta 27 cp, alcanzando un valor cercano al fluido sin contaminar, esto significa que para una contaminación de 10 PPB es recomendable tratar con 8 PPB de soda ASH, pero cabe destacar que la viscosidad plástica también depende de otros factores como: cantidad de sólidos, tamaño y forma de los sólidos, viscosidad de la fase fluida y la presencia de polímeros.

Para tratar el fluido contaminado con 10 PPB de CEMENTO, en donde la viscosidad plástica alcanzo un valor de 42 cp, se utilizo bicarbonato de sodio y soda caustica para atacar la contaminación y controlar el PH. Podemos apreciar en la figura 4,11 que disminuyo la viscosidad hasta 25 cp, alcanzando un valor cercano al fluido sin contaminar, esto significa que es recomendable tratar con 6 PPB de bicarbonato de sodio y 0,1 PPB de soda caustica para disminuir el PH.

➤ **Punto Cedente.**

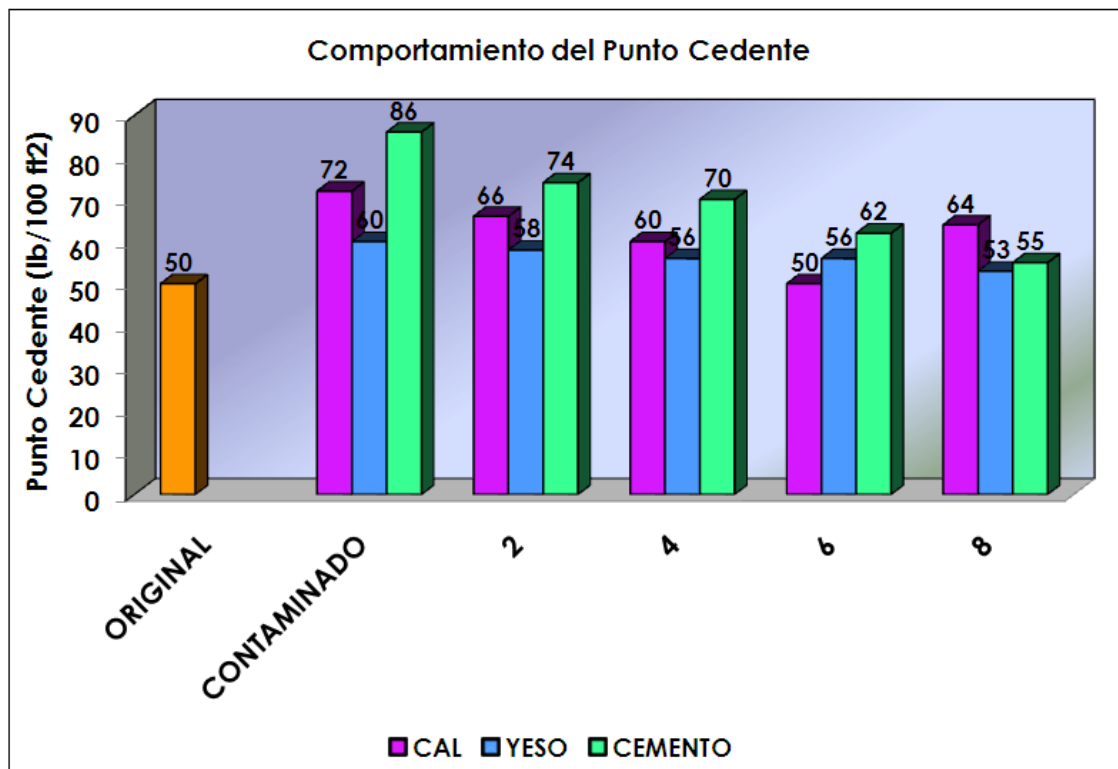


Figura 4.12 Comportamiento del Punto Cedente.

Podemos observar que en las cuatro cantidades utilizadas de tratamiento para los tres contaminantes, el punto cedente disminuyó un poco, esto se debe al tratamiento utilizado para atacar la contaminación por el ion calcio, los cationes que causan la fuerza de atracción han sido eliminados en forma de precipitado insoluble, lo cual redujo la fuerza de atracción y también el punto cedente.

En la grafica 4.12 podemos apreciar que el tratamiento utilizado para la contaminación con cal, solo funciona hasta 6 PPB de Bicarbonato de sodio, ya que para el tratamiento con 8 PPB el punto cedente tiene un leve incremento indicando un posible exceso en el tratamiento, en donde se puede incurrir en el error y pasar de contaminación con cal a contaminación con bicarbonato, pero esto solo se puede afirmar observando las otras propiedades.

➤ **Viscosidad Aparente**

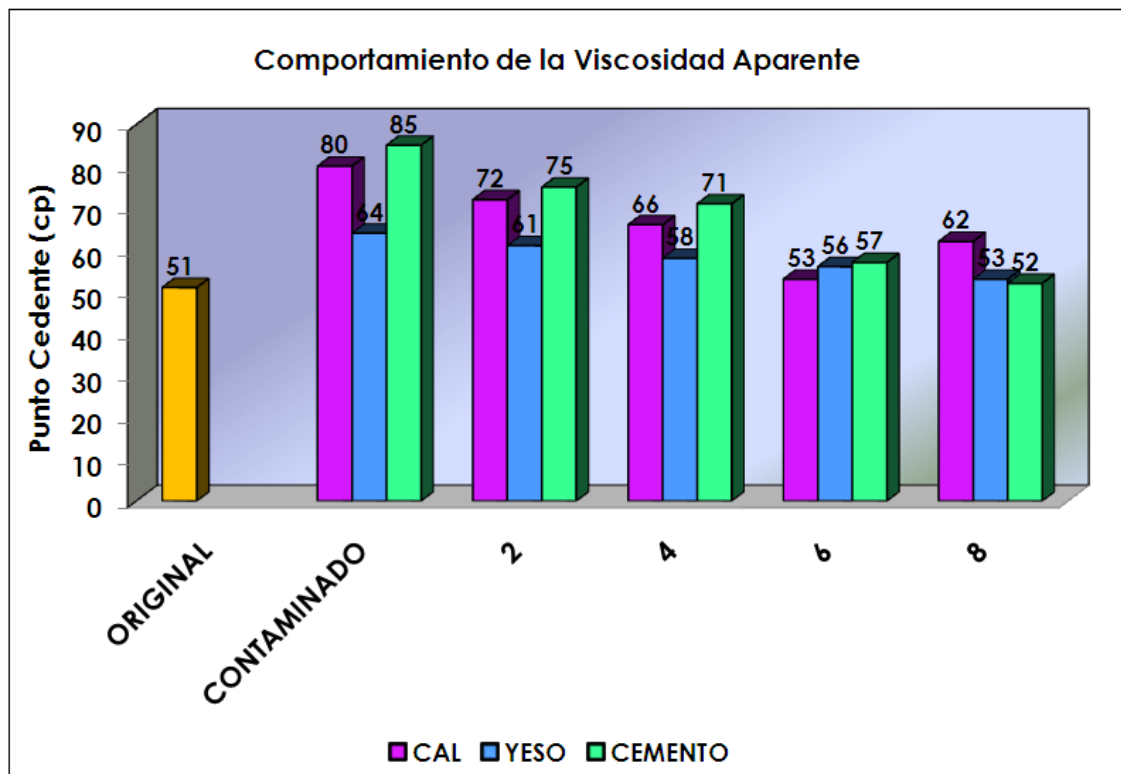


Figura 4.13 Comportamiento de la Viscosidad Aparente

Al analizar el comportamiento de la viscosidad aparente, se debe observar el del punto cedente, debido a que existe una relación directa con esta propiedad. Efectivamente el comportamiento de esta propiedad es similar al comportamiento del punto cedente en relación a los tres tipos de contaminantes y tratamientos utilizados ya que se obtuvieron valores muy parecidos en estas dos propiedades.

Como se puede apreciar en la grafica 4.13 la viscosidad aparente disminuyo un poco, esto se debe al tratamiento utilizado para atacar la contaminación por el ion calcio, debido a que la viscosidad de un fluido está en función de la temperatura, la presión y el contenido de sólidos presentes en el fluido de perforación, por lo tanto al estar los fluidos a la misma temperatura y presión, la viscosidad está afectada principalmente por el contenido de sólidos presentes, y puesto que estos sólidos han sido eliminados en forma de un precipitado insoluble, lo cual redujo la fuerza de atracción y también la viscosidad aparente.

En la grafica 4.13 podemos observar que el tratamiento utilizado para la contaminación con cal, solo funciono hasta 6 PPB de Bicarbonato de sodio, ya que para el tratamiento con 8 PPB la viscosidad aparente tiene un leve incremento indicando un posible exceso en el tratamiento, en donde se puede incurrir en el error de pasar de una contaminación con cal a una contaminación con bicarbonato y esto ya lo estamos comprobando debido a que ya son tres las propiedades afectadas en el mismo valor de tratamiento.

➤ **Resistencia de Gel**

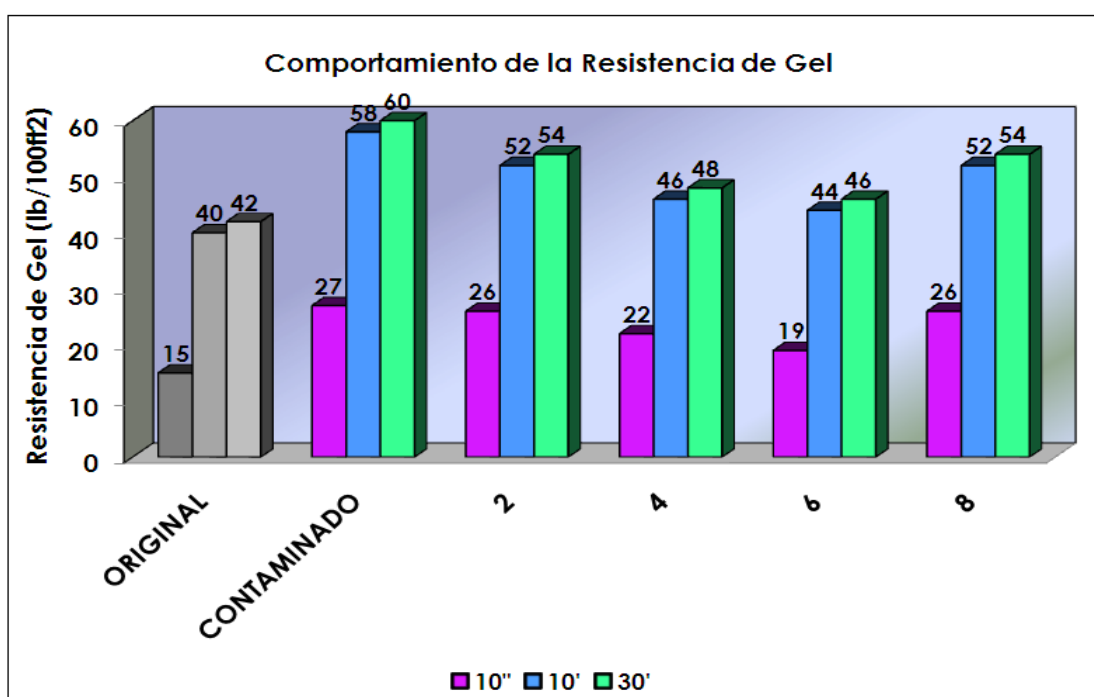


Figura 4.14 Comportamiento de la Resistencia de Gel para él fluido contaminado con CAL y tratado con Bicarbonato de sodio.

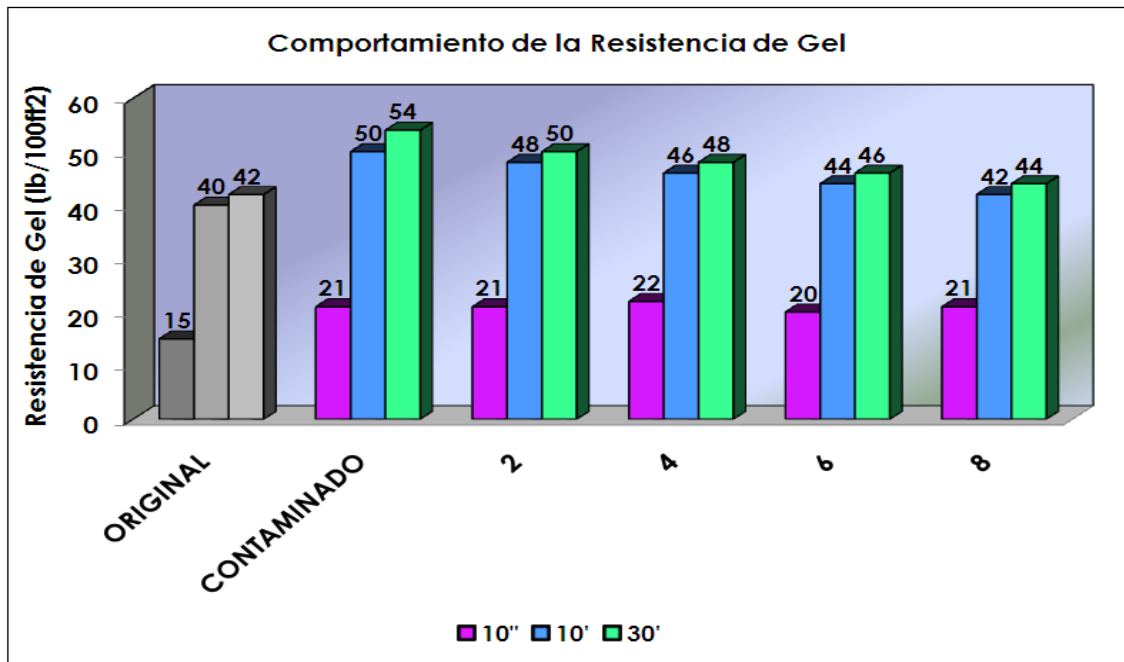


Figura 4.15 Comportamiento de la Resistencia de Gel para el fluido contaminado con YESO y tratado con Soda ASH.

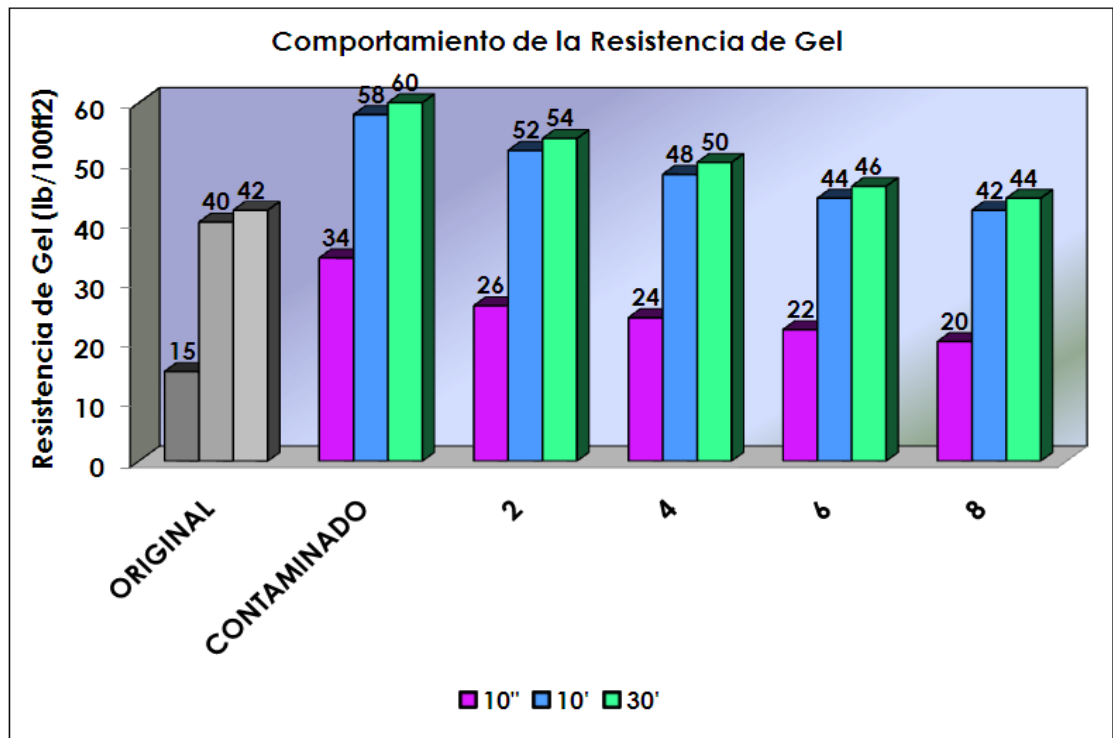


Figura 4.16 Comportamiento de la Resistencia de Gel para el fluido contaminado con CEMENTO y tratado con Bicarbonato de sodio.

Como se puede observar en las figuras 4.14, 4.15 y 4.16 a medida que se incrementa el porcentaje de tratamiento los valores de gel disminuyen, esto se

debe a la precipitación el ion calcio por tal razón disminuye la concentración de sólidos en el fluido de perforación evitando que haya un roce entre ellos que pueda generar una pequeña carga que logre agrupar las partículas y crear una estructura de gel más estable.

Como se observo en las figuras 4.7, 4.8 y 4.9 que existía un amplio margen entre la lectura inicial de gel y la lectura a los 10 minutos donde se determino que teníamos un gel progresivo, ahora podemos apreciar en las figuras 4.14, 4.15 y 4.16 que los valores están cerca del fluido sin contaminar pero se sigue manteniendo un gel progresivo.

En el tratamiento para la contaminación con CAL, se observa que los valores disminuyen solo hasta 6 PPB ya que para el tratamiento con 8 PPB el esfuerzo de gel tiene un leve incremento indicando un posible exceso en el tratamiento, en donde se puede incurrir en el error y pasar de una contaminación con cal a una contaminación con bicarbonato, esto ya lo podemos afirmar debido a que todas las propiedades del fluido con la contaminación con cal solo disminuyeron hasta la adición de 6 PPB de bicarbonato.

La magnitud del valor del gel, como el tipo de gel es importante para lograr una efectiva suspensión de cortes y material Densificantes, pero este valor no debe llegar a un valor muy elevado porque produciría presiones excesivas cuando se interrumpe la circulación después de un viaje, reducción de la eficacia del equipo de remoción de sólidos, pistoneo excesivo al sacar la tubería del pozo o incapacidad para bajar las herramientas de registro hasta el fondo.

➤ **Filtrado**

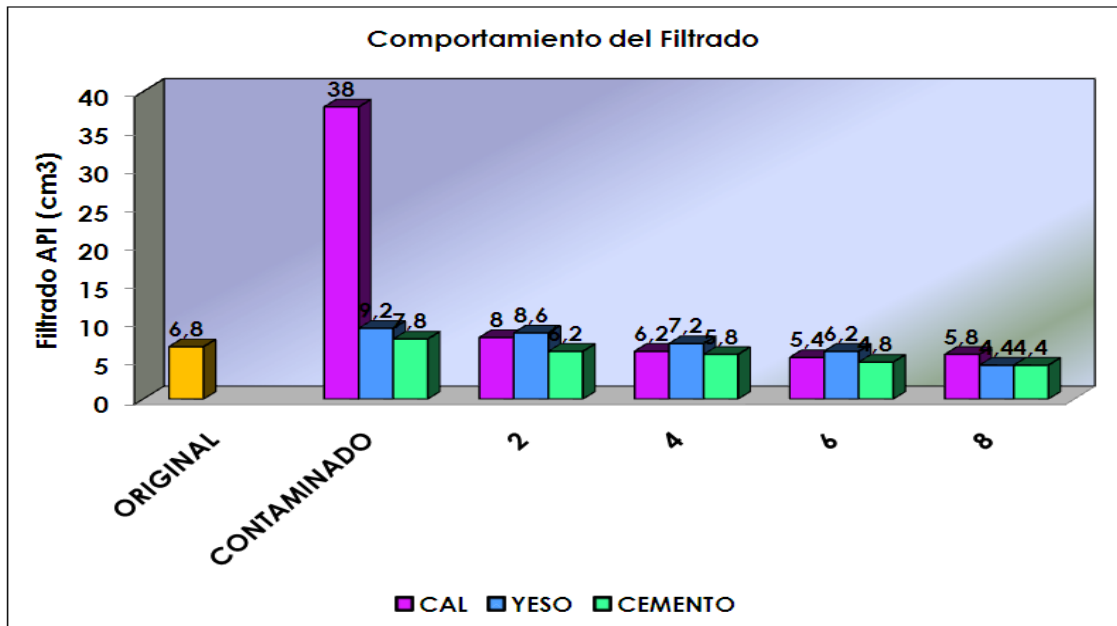


Figura 4.17 Comportamiento del Filtrado.

Las pérdidas de filtrado que se obtuvieron en el tratamiento para los tres fluidos contaminados disminuyeron hasta alcanzar un valor más bajo que el lodo original y esto se debe a la disminución de sólidos presentes en el fluido por la precipitación insoluble del ion calcio, siendo las partículas solidas, además de la presión, temperatura y tiempo, los factores que afectan la perdida de filtrado. Debido a la disminución de sólidos, se generaron revoques delgados y poco permeables.

En la contaminación con CAL donde se vio afectado en mayor medida la perdida de filtrado utilizamos 0.5 PPB de STARPAC (controlador de filtrado) adicional al tratamiento debido al elevado valor de esta propiedad, al disminuir la perdida de filtrado evitamos problemas como, mayor suaveo y pistoneo debido a la reducción del espacio anular, pega por presión diferencial debido a la mayor superficie de contacto y al desarrollo rápido de las fuerzas de adhesión causado por la tasa de filtración más alta, dificultades con la cementación primaria, debido al desplazamiento inadecuado del revoque, mayor dificultad para bajar el revestidor, además de daño a la formación causado por la invasión del filtrado y sólidos.

5 CONCLUSIONES

- De los tres contaminantes utilizados el yeso fue el que menos afecto las propiedades del fluido de perforación pero fue el que más aumento las ppm de Ca⁺⁺.
- El tratamiento utilizado para la contaminación con yeso controlo las propiedades reológicas del fluido precipitando el ion Ca⁺⁺ como carbonato de calcio insoluble.
- La contaminación con cal nos muestra un fluido muy viscoso debido a la forma, tamaño y cantidad de sólidos, los cuales formaron un revoque grueso muy permeable, esto puede causar grandes problemas como, mayor suaveo y pistoneo debido a la reducción del espacio anular, pega por presión diferencial debido a la mayor superficie de contacto.
- El tratamiento que mejor dio resultado para la contaminación con cal fue el SAPP + Bicarbonato de sodio + STARPAC + Bentonita puesto que al tratar esta contaminación solo con Bicarbonato no se obtuvo buenos resultados debido a su elevado filtrado y PH.
- El tratamiento utilizado para la contaminación con CAL solo funciono hasta 6 PPB de Bicarbonato de sodio, ya que para el tratamiento con 8 PPB la Viscosidad plástica, el punto cedente y los geles mostraron un leve incremento indicando un posible exceso en el tratamiento, en donde se paso de contaminación con cal a contaminación con bicarbonato.
- En términos generales podemos determinar la importancia que tiene controlar los contaminantes en los fluidos de perforación ya que un buen lodo nos permitirá concluir con el proyecto, hay que tener en cuenta que el costo de fluido es relativamente bajo pero representa un gran impacto en el costo total del proyecto.

- Se logró caracterizar las propiedades fisicoquímicas de los lodos base agua con sus respectivos contaminantes.
- Identificamos cuales son las propiedades de los lodos que más se afectan en los diferentes tipos de contaminantes.
- Lo vamos dar un buen manejo y un control a los distintos contaminantes de los fluidos de perforación.
- Observamos efectos de saturación de contaminantes en los fluidos de perforación

6 RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer un estudio socioeconómico y técnico para evaluar los parámetros que permitan hacer una mejor elección del tipo de tratamiento a utilizar.
- Hacer un estudio del impacto ambiental que tienen los diferentes medios de tratamientos para residuos de perforación.
- Identificar los parámetros para deposición y vertimiento de fluidos de perforación en el marco legal ambiental colombiano.
- Se recomienda que cuando un lodo alcance la máxima saturación de contaminantes y el parámetro económico lo permita reemplazar o cambiar el fluido de perforación.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. "Tecnología aplicada de lodos", IMCO Service a Halliburton Company, Capitulo 2 pag 1,2; Capitulo 5 pag 1; Capitulo 6 pag 1-6; Capitulo 3 pag 1; Capitulo 21 pag 10.
2. Prieto, O. Alí, "Tecnología aplicada a los fluidos de perforación", Maracaibo, 1993, Págs. 1,2,3,5,6,12,13,26,27,80,81,88,90,98.
3. Gray, R., George, Darley. "Composition and properties of drilling and completion fluids", Gulf Publishing Company, 5 Edition, 1998, Cap. 6, 8.
4. "Control de sólidos", SWACO, México, 2010.
5. Instituto Americano Del Petróleo, Dallas, Texas. Manual de fluidos de perforación. "Procedimiento estándar para las pruebas de fluidos de perforación base agua RP13B1".
6. Thorbjorn, Nyland., "The effectiveness and the economics of various additives for controlling drilling mud fluids loss in the absence and presence of various contaminants", The University of Tulsa, 1979, pag 43.
7. Martínez G., Rafael., "Tecnología de perforación, fluidos de perforación", Capitulo 11, Págs. 27, 28, 29, 30.
8. Lummus, James., "Drilling fluids optimization a practical field approach", Penn Well Publishing Company, 1986, Tulsa, pag 54, 55.
9. Dresher, H. "Basic principles of colloid science", The Royal Society of Chemistry, 1998, Capitulo 13, pag 185-190.
10. Dean, E. Gaddy. "Modern technologies in solids control", Oil and Gas Journal, Agosto, 2000, pag 31-35.

- 11.** Robinson, Leonel. "How to optimize solids control economics, efficiency", Petroleum Engineer International, Septiembre, 1994, pag 17-24.
- 12.** "Manual de ingeniería de fluidos de perforación", MI, Texas, USA, 2001.
- 13.** "Guía de tecnología de lodos", HALIBURTON (IMCO), 2002.
- 14.** "Aponte A., Borrel, M., "Practicas y bases para la optimización en control de sólidosde perforación", Informe Técnico, Los Teques, 2002.
- 15.** MANUAL SWACO Marco legal y ambiental para deposición de residuos insitu, 1993
- 16.** Kennet W., Whitten. "Química General", Tercera edición, McGraw-Hill, 1992, pags24, 28.

ANEXO

Formulación del fluido

ADITIVO	Gravedad Esp.	MASA (gr)	VOLUMEN (cc)
Hidrogel	2,3	10	4,35
Starpac	0,8	2	2,50
Carbonato de Calcio	2,7	15	5,56
Goma Xantica	0,7	1	1,43
Agua	1	337	337,00
TOTAL		365	350,83

Densidad del lodo (ρ):

$$\rho = 8,7 \text{ Lb/gal}$$

Se procede a calcular la masa de agua y de densificante.

La masa total del sistema se calcula a partir de la densidad del mismo por tanto:

$$\rho = (m/V) * 8,33$$

Despejando la masa:

$$(8,7(350))/8,33 = m$$

$$m = 365.5 \text{ gr}$$

Se plantea el siguiente sistema de ecuaciones para determinar la masa de agua y de densificante:

$$m(\text{agua}) + m(\text{densificante}) = 365.5 \text{ gr}$$

$$(m(\text{agua}))/1 + (m(\text{densificante}))/2,3 = 350 \text{ cc}$$

Resolviendo el sistema:

$$m(\text{agua}) = 337 \text{ gr}$$

$$m(\text{densificante}) = 10 \text{ gr}$$