

**VALORACIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN EN
LA INDUSTRIA PETROLERA**



JHON JAIRO ARÉVALO PEÑA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
Especialista en Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales

Director:
Ing. Edna Liney Montañez Hurtado

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRAL DE LOS RECURSOS
NATURALES
BOGOTÁ D.C.,
2018**

VALORACIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN EN LA INDUSTRIA PETROLERA

VALUATION OF ALTERNATIVES FOR THE TREATMENT OF DRILLING FLUIDS IN THE OIL INDUSTRY

Jhon Jairo Arévalo Peña*

RESUMEN

La industria petrolera se ha convertido en una preocupación ambiental, al punto que se hace necesario buscar nuevas alternativas y tecnologías que permitan prevenir la contaminación y minimizar el impacto ambiental derivado de esta actividad. Una de las fuentes de contaminación corresponde a los fluidos de perforación y los cortes asociados a dicha actividad, lo que conlleva a vertimientos o efluentes con altas concentraciones de contaminantes al agua y al suelo. Investigaciones realizadas establecen que la composición química de los residuos de perforación presenta cantidades considerables de contaminantes tóxicos, como aluminio, antimonio, arsénico, bario, cadmio, cromo, cobre, plomo, magnesio, mercurio, níquel, zinc, benceno, naftalina, fenantreno y otros hidrocarburos, así como niveles tóxicos de sodio y cloruros

Este artículo propone una investigación sobre las tecnologías de tratamiento de fluidos de perforación en términos de su aplicabilidad en la industria petrolera. Durante el desarrollo del mismo, se hará una descripción de los objetivos del estudio, posteriormente, se pone en contexto al lector mediante la descripción y caracterización de las aguas residuales en la industria petrolera y las condiciones físicas y químicas de los fluidos de perforación. Se exponen, además, las tecnologías de tratamiento avanzadas en donde se describe la fundamentación de cada método y sus impactos ambientales asociados.

Se realiza la descripción de estudios de caso de la industria petrolera en Colombia y cómo ha sido la adopción de alternativas de tratamiento para el manejo y disposición de fluidos de perforación en el país.

Finalmente, se incluyen las conclusiones de la aplicabilidad y análisis de los métodos de tratamiento de estos residuos y la valoración de los métodos más utilizados en la industria petrolera respecto al impacto ambiental que representa cada uno de ellos.

Palabras clave: fluidos de perforación, perforación, lodos base agua, lodos base aceite, aditivos químicos, extracción de hidrocarburos, offshore, inhibición, lutitas.

ABSTRACT

The oil industry has become an environmental concern, to the point that it is necessary to look for new alternatives and technologies to prevent pollution and minimize the environmental impact derived from this activity. One of the sources of contamination corresponds to drilling fluids and cuts associated with this activity, which leads to discharge or effluents with high concentrations of pollutants to water and soil. Studies have established that the chemical composition of drilling wastes usually contains considerable amounts of a wide range of toxic contaminants, such as aluminum, antimony, arsenic, barium, cadmium, chromium, copper, lead, magnesium, mercury,

* Ingeniero Ambiental y Sanitario, candidato a Especialista en Planeación Ambiental y Manejo Integral de Recursos Naturales Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C., Colombia. Correo electrónico: u2700861@unimilitar.edu.co

nickel, zinc, benzene, naphthalene, phenanthrene and other hydrocarbons, as well as toxic levels of sodium and chlorides

This article proposes an investigation about drilling fluid treatment technologies in terms of their applicability in the oil industry. During the development of the same, a description of the objectives of the study will be made, afterwards, the reader is put in context making a characteristic description of the wastewater in the oil industry and the physical and chemical conditions of the drilling fluids. In addition, the advanced treatment technologies are described, where the basis of each method and its associated environmental impacts are described.

A description is made of case studies of the oil industry in Colombia and how it has been the adoption of treatment alternatives for the handling and disposal of drilling fluids in the country.

Finally, the conclusions of the applicability and analysis of the treatment methods for this waste and the evaluation of the most used methods in the oil industry are taken into account, taking into account the environmental impact that each of them represents.

Keywords: drilling fluids, drilling, water-base muds, oil-base muds, chemical additives, hydrocarbon extraction, offshore, inhibition, shales.

INTRODUCCIÓN

A partir de la década de los 70's, la ingeniería de perforación, así como muchas otras actividades industriales, estuvieron bajo la lupa de organizaciones ambientales y entes reguladores gubernamentales con respecto a la manipulación de productos químicos y disposición de residuos de campos petrolíferos. Los fluidos de perforación estaban especialmente bajo la mira por sus materiales con contenidos peligrosos y tóxicos. Aunque la mayoría de los materiales de fluidos de perforación son relativamente benignos, algunos fueron considerados ambientalmente inaceptables y, por lo tanto, sujetos a controles y prohibiciones.

En general, los residuos de perforación que no son peligrosos se denominan hoy en día "residuos no peligrosos" de yacimientos petrolíferos. No obstante, algunos productos químicos utilizados en los fluidos de perforación pueden ser peligrosos, como los son la soda cáustica, el diésel, los bactericidas, algunos materiales catiónicos, aceites y alcoholes.[1]

En la actualidad, los avances de los fluidos de perforación y las técnicas para el manejo de recortes han venido mejorando para lograr una mayor eficiencia en las operaciones, y al mismo tiempo la remoción de contaminantes en el ambiente contenidos en los desechos de perforación. No obstante, la realidad de la

industria química y petrolera es otra, y desafortunadamente el control no se hace a partir de desarrollar productos y tecnologías de manejo de desechos que mejoren la perforación y la producción mientras protegen el medio ambiente y el bienestar de las personas, sino por el contrario, se adoptan altos costos en tratamientos de baja eficiencia para el manejo de fluidos y lodos de perforación.

El grado de impacto ambiental que una descarga o vertimiento puede tener sobre el ambiente depende de las cargas contaminantes contenidas en los residuos y del ambiente donde son descargados. Un claro ejemplo, son los altos niveles de cloruro de sodio contenidos en los fluidos de perforación, los cuales conllevan un impacto de grado menor si son descargados al mar en su condición natural. Por su parte, si esta misma descarga se realiza sobre un cuerpo de agua dulce o en un suelo agrícola, tendrá un impacto mucho más significativo, porque la fauna y la flora se ven alteradas por la presencia de altas concentraciones de sales en su hábitat.

El manejo y disposición de los fluidos y lodos de perforación desencadenan una problemática ambiental, a lo cual, surge la pregunta de cuáles son las tecnologías disponibles y más avanzadas para el manejo, tratamiento y disposición final de los fluidos de perforación en la industria petrolera.

En este artículo se presenta una revisión bibliográfica de las tecnologías de tratamiento más avanzadas para el manejo y disposición de fluidos de perforación, encaminada a describir el estado del conocimiento de esta temática y enfocado al contexto nacional colombiano y las técnicas de tratamiento de fluidos de perforación más implementadas. En este sentido, se describe además la caracterización de las aguas residuales en la industria petrolera, las condiciones físicas y químicas de los fluidos de perforación, las tecnologías de tratamiento avanzadas en donde se prioriza la fundamentación de cada método y sus impactos ambientales asociados.

En ese sentido, este artículo representa una base importante hacia el reconocimiento y valoración de nuevas alternativas de tratamiento de fluidos de perforación, de alta eficiencia en la industria petrolera.

Finalmente, se incluyen las conclusiones de la aplicabilidad y análisis de los métodos de tratamiento de estos residuos, la valoración de los métodos más utilizados en la industria petrolera y el impacto ambiental que representa cada uno de ellos.

1. METODOLOGÍA

Este artículo es una revisión sistemática que incluye una investigación sobre las tecnologías de tratamiento de fluidos de perforación y su aplicabilidad en la industria petrolera en Colombia, con el fin de conocer las afectaciones e implicaciones ambientales que deriva la utilización de fluidos de perforación.

La descripción de estudios de caso de la industria petrolera en Colombia, tales como estudios de impacto ambiental y planes de manejo ambiental de proyectos de exploración y explotación de hidrocarburos, permite conocer a nivel nacional cuáles son las alternativas de tratamiento para el manejo y disposición de fluidos de perforación más implementadas en el contexto local, y el estado actual de las alternativas de tratamiento más utilizadas por la industria petrolera en Colombia.

El desarrollo metodológico de este artículo incluye las siguientes etapas:

1.1 Revisión e identificación de información primaria

La revisión sistemática del estado del arte del impacto ambiental asociado a las alternativas de tratamiento de fluidos de perforación es un compromiso que se viene adelantando en la industria petrolera mundial con el fin de conocer las afectaciones ambientales que implica el manejo y disposición de fluidos y lodos de perforación en proyectos de hidrocarburos en mar (offshore) y en tierra (Onshore).

Con el fin de realizar la investigación de este artículo se usó la palabra clave fluidos de perforación (drilling fluids). Esta búsqueda se realizó en la base de datos de la Universidad Militar a través de una revisión de más de 50 artículos, libros y revistas a nivel mundial y nacional que permitieron realizar una clasificación de ellos de acuerdo con el impacto ambiental sobre los recursos agua y suelo. Como resultado de esta revisión, se tuvieron en cuenta los métodos de eliminación sugeridos por la literatura analizada, entre los que se encuentran: [2]

- ✓ Descarga directa de fluidos
- ✓ Encapsulado
- ✓ Inyección en formaciones seguras
- ✓ Remoción a sitios de eliminación fuera de la ubicación
- ✓ Separación de sólidos y fluidos
- ✓ Incineración
- ✓ Procesamiento de microorganismos
- ✓ Destilación, líquido extracción y fijación química
- ✓ Control de sólidos

1.2 Clasificación de la información

La preselección de la literatura revisada respecto a las referencias consultadas, se realizó después de leer los resúmenes de cada una de ellas, que contenían información relevante relacionada con los últimos métodos y técnicas de tratamiento para los fluidos de perforación y asociados a los efectos ambientales que traen consigo cada uno de ellos. Como complemento y enriquecimiento al estado del arte de este

artículo, se incluye la revisión de estudios de impacto ambiental del sector de hidrocarburos del ámbito nacional los cuales permiten brindar información que permiten dar a conocer la situación actual en el contexto regional y local.

1.3 Análisis de la información

El análisis de la información consultada se realizó mediante el criterio de selección de los artículos que hacen referencia a los métodos de tratamiento de fluidos de perforación en proyectos de hidrocarburos (Onshore) y (Offshore) asociándolos a su vez con los efectos ambientales que conllevan cada una de las alternativas aplicadas en los estudios de caso consultados.

2. GENERALIDADES

2.1 Fluidos de Perforación

Un fluido o lodo de perforación, es cualquier fluido que se utiliza en una operación de perforación en la que ese fluido circula o es bombeado desde la superficie, por la sarta de perforación, a través de la broca y de vuelta a la superficie a través del anillo. Los fluidos de perforación satisfacen muchas necesidades en su capacidad para hacer lo siguiente: [3]

- ✓ Suspender los recortes (sólidos perforados), retirándolos del fondo del orificio del pozo, para ser llevados a superficie.
- ✓ Controlar la presión de la formación y mantiene la estabilidad del pozo.
- ✓ Sellar las formaciones permeables.
- ✓ Enfriar, lubricar y soportar el conjunto de perforación.
- ✓ Transmitir energía hidráulica a las herramientas y equipos.
- ✓ Minimizar el daño del yacimiento.
- ✓ Permitir una adecuada evaluación de la formación.
- ✓ Controlar la corrosión
- ✓ Facilitar la cementación y el completamiento.
- ✓ Minimizar el impacto en el medio ambiente.
- ✓ Inhibir la formación de hidratos de gas.

La función más importante que realiza un fluido de perforación es minimizar la concentración de recortes alrededor de la

broca y en todo el pozo. Al hacerlo, el fluido en sí asume esta carga de cortes, y si los recortes no se eliminan del fluido, pierde muy rápidamente su capacidad de limpiar el agujero y crea gruesas tortas de filtro. Para permitir el reciclaje y la reutilización in situ del fluido de perforación, los recortes deben eliminarse de forma continua y eficiente.

Los lodos se han clasificado en tres categorías de acuerdo con el fluido base utilizado en su preparación. Estos son: aire, agua y aceite. La mayoría de las operaciones de perforación del mundo utilizan lodos a base de agua. Alrededor del 5-10% de los pozos perforados usan lodos de petróleo y un porcentaje menor de fluido base aire. [4]

Una nueva generación de lodos se encuentra en evolución y están compuestos por fluidos a base de sintéticos. Este tipo de lodos químicos incluyen ésteres, éteres, polialfaolefinas, glicoles, glicerinas y glucósidos. Lo que se busca con este tipo de lodos es garantizar la eficiencia en remoción de contaminantes en comparación con los lodos de petróleo pero con el manejo y características de eliminación de lodos de agua, y específicamente en cuanto a su biodegradabilidad relativa y características de bioacumulación. [4]

2.2 Aditivos

Estudios de laboratorio, han desarrollado un sistema de fluido de perforación amigable con el medio ambiente. La fórmula desarrollada corresponde a 4% de bentonita + 0.3% IND-30 + 1.5% NAT-20 + 3% FXJS + 2% NFT-25. La adopción de este tipo de aditivos en los fluidos de perforación permite que el sistema desarrolle una buena resistencia a la temperatura (hasta 150 °C) y una excelente resistencia a la contaminación (30% de tolerancia a la sal saturada y 8% de tolerancia a la bentonita). También puede proteger eficazmente el yacimiento y lograr más del 81.5% de recuperación de permeabilidad. Este sistema de fluido de perforación fue probado en 15 pozos del campo petrolero de Tarim, el campo petrolero de Karamay y el campo petrolero de Jiangsu y obtuvo resultados satisfactorios en protección ambiental y protección de yacimientos. Con el lodo resultante de este

tratamiento, se incrementan los contenidos de materia orgánica, nitrógeno activo, fósforo activo y potasio activo en el suelo aledaño al pozo perforado. [5]

2.3 Interacción Roca – Fluido

Para entender la necesidad de aplicar aditivos o fluidos durante el proceso de perforación petrolera es importante conocer la interacción que existe entre la roca y un fluido, cuyo proceso es complejo por la diversidad de minerales arcillosos presentes en este proceso, los diferentes mecanismos que interactúan entre sí, y donde existen flujos másicos, térmicos y eléctricos en ambas direcciones generados por potenciales de naturalezas similares. [6]

La viscosidad del medio y la concentración iónica son las propiedades de mayor importancia y que permiten que se minimice el efecto de la interacción entre las arcillas de las formaciones geológicas y el fluido de perforación.

La utilización de aditivos es una técnica que favorece el bloqueo mecánico y más aún con fluidos de perforación con densidades cercanas a la presión de formación, los cuales, son factores que permiten la minimización de los efectos negativos de la interacción roca – fluido.

3. PROBLEMAS Y EFECTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA DISPOSICIÓN DE FLUIDOS Y LODOS DE PERFORACIÓN

Los residuos de la perforación de pozos consisten en cortes de rocas trituradas y restos de lodo de perforación. La función del fluido o lodo de perforación es lubricar y enfriar la broca, estabilizar el pozo, controlar la presión y traer los cortes de perforación a la plataforma de superficie. [7]

3.1 Composición

Los principales componentes de los lodos de perforación son líquidos (agua, aceite u otro fluido orgánico) y un material de ponderación (típicamente barita, BaSO₄). Varios aditivos químicos se utilizan para mejorar el rendimiento técnico del lodo, entre los que se encuentran aditivos viscosos como los

poliacrilatos, y otros polímeros orgánicos, emulsionantes como el sulfonato de alquilacrilato y óxido de polietileno, agentes de control y desfloculantes. [8]

Principalmente los polímeros orgánicos son usados para controlar la reología y la pérdida de filtrado en los fluidos de perforación acuosos. Algunos estudios realizados con han analizado el comportamiento reológico de la goma de tamarindo y celulosa polianiónica en suspensiones de agua de bentonita. El fluido de perforación desarrollado obtuvo mejores propiedades reológicas, alta eficiencia en el control de pérdida de fluido. Adicionalmente con la utilización de este tipo de polímeros se ha logrado probar que en el proceso de filtrado del fluido de perforación se presenta un daño de formación mínimo en núcleos de piedra arenisca. [9]

Estos aditivos varían según las operaciones y el desarrollo de la perforación. Se conocen tres tipos principales de lodo de perforación basado en el tipo de líquido base (aceite o agua), lodos a base de agua (WBM) que contienen generalmente agua de mar como base líquida, y lodos a base de aceite (OBM) compuestos principalmente por aceite diésel o aceite mineral poco aromático como líquido base y sintético. [8]

Estudios realizados, han dado como resultado que los fluidos de perforación base aceite son utilizados principalmente en pozos profundos con altas presiones y temperaturas. Sin embargo, estos fluidos representan costos elevados entre el 20 al 25% del costo total del pozo), de lo que se concluye que se debe llegar a lograr un equilibrio entre las operaciones de perforación, costos y protección del medio ambiente.

Diferentes investigaciones apuntan a que la principal restricción cuando se utilizan fluidos de base aceite (basado en gasoil) es su efecto ambiental. Algunos autores como (Luzardo et al, 1990) señalan que esto llega a ser cierto especialmente durante la perforación en localizaciones sensibles ecológicamente. Este aceite presenta un alto contenido de aromáticos (>22%), lo que impacta directamente la fauna acuática,

retarda la regeneración de la capa vegetal y crea efectos contaminantes severos al ambiente que necesitan de tratamientos costosos para reducir el impacto generado por los desechos sólidos y líquidos. [10]

El fluido base aceite más utilizado es el diesel o aceites minerales de origen hidrocarburo, pero con cargas contaminantes considerables para el medio ambiente. Es así, como en los años 90 como un esfuerzo para reducir el impacto sobre áreas sensibles en mar y en tierra, se dio inicio a la utilización de los fluidos base sintéticos en reemplazo de los sistemas tradicionales base diésel y base aceite mineral.

Los primeros sintéticos utilizados estaban compuestos principalmente de ésters, éters y Polialfaolefina (PAO), lo que los catalogaba como una posible sustitución de los sistemas base diésel y aceite mineral con una gran aceptación desde el punto de vista ambiental.[11]

Entre las principales características de estos fluidos a base de aceite se encuentran: [12]

Diesel

- Baja viscosidad
- Menor costo
- Fácil su mantenimiento
- Tóxico
- Buena biodegradación

Parafina mineral (alcano)

- Menor toxicidad
- Mayor costo
- Mayor viscosidad

Aceites vegetales modificados (Ester)

- Alta viscosidad
- Buena biodegradación
- Baja toxicidad
- Alto costo
- Estabilidad a baja temperatura
- El mantenimiento no es fácil

Olefinas lineales, iso, mezclas

- Viscosidad moderada
- Buena biodegradacion
- Baja toxicidad

- Costo moderado
- Más fácil de mantener

3.2 Manejo de residuos de perforación Offshore

Los cortes de perforación son un residuo inevitable producto de la actividad de perforación en la extracción de gas y petróleo. Son básicamente una mezcla de partículas de roca y fluidos residuales de perforación que están separados durante el proceso mediante equipos encargados del control de sólidos que ascienden a la plataforma en superficie. [13]

A nivel mundial, la descarga directa de cortes de perforación es cada vez más una actividad regulada, principalmente en operaciones en alta mar donde el impacto ambiental a los ecosistemas es significativo. Lo anterior supone, que grandes volúmenes de cortes de perforación deben ser contenidos y transportados para su eliminación segura.[13]

A nivel local, en la industria petrolera colombiana la técnica más usada es la extracción de lodos de perforación a superficie para posteriormente enviarlos a tratamientos in situ principalmente. Cuando los cortes de perforación tienen que ser almacenados y transportados desde la plataforma de perforación, ese proceso se convierte en una parte crítica de las operaciones de perforación. Si los cortes no pueden ser contenidos, la perforación tiene que suspenderse.

Es así como las actividades de contención convencionales mediante la utilización de equipos mecánicos y piscinas en tierra para almacenamientos de cortes en la plataforma de perforación a menudo causan preocupaciones operacionales y de seguridad. Estos se constituyen en problemas operacionales y de logística para lograr mantener en funcionamiento los equipos y maquinaria para tal fin. Las preocupaciones ambientales y de seguridad industrial surgen por el riesgo de lesiones al personal operativo, así como un potencial derrame de estos residuos industriales.

4. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN

Las técnicas de tratamiento de fluidos de perforación son utilizadas en la industria petrolera con el fin de modificar las propiedades de los residuos, de tal manera que cumplan con características físicas y químicas para que posteriormente se realice la disposición final en algún lugar. Es así, como en la actualidad los residuos provenientes de fluidos de perforación pueden ser dispuestos previo tratamiento a través de confinamiento en tierra, descarga directa, aplicación en tierra e inyección. Este residuo es colocado en tierra (on shore) o en mar (offshore).[3]

El objetivo de las técnicas de tratamiento consiste en eliminar el aceite contenido en los residuos de perforación, lo que permite la reducción en la movilidad de contaminantes, o de otra manera modificando las propiedades de estos residuos.

Para minimizar el impacto y la contaminación ambiental a causa de los lodos a base de petróleo, se han desarrollado diferentes alternativas para reducir el contenido de aceite de acuerdo con estándares regionales y/o nacionales. Algunas de las tecnologías desarrolladas consisten principalmente en deshidratación, destilación, extracción por solvente, reinyección de cortes, fijación, y biorremediación. [14]

Las técnicas y métodos de tratamiento implementados en el manejo y disposición de fluidos de perforación han evolucionado conforme las restricciones ambientales y normatividad regulatoria respecto a la disposición de estos fluidos.

Nesbitt y Sanders, relacionan que hacia el año de 1981 se tenían los siguientes métodos de disposición de fluidos de perforación:[2]

- ✓ Descarga directa de fluidos.
- ✓ Encapsulación de pozo y sólidos.
- ✓ Reinyección en formaciones seguras.
- ✓ Remoción a sitios de disposición designados.

- ✓ Separación de líquidos limpios de sólidos limpios con reúso de líquidos.
- ✓ Incineración.
- ✓ Procesamiento por microorganismos.
- ✓ Destilación, extracción líquida y tratamiento químico.
- ✓ Control de sólidos.

Otros tratamientos como por ejemplo la deshidratación, que consiste en la separación mecánica y química de líquido y sólidos del fluido de perforación. Por su parte, la desorción térmica, es la separación de calor del aceite de los lodos de perforación. La estabilización es una técnica mediante la cual se realiza el encapsulamiento de contaminantes en el corte tratado para evitar procesos de lixiviación.

Además de los tratamientos regulares, existen como tratamientos alternativos, como:

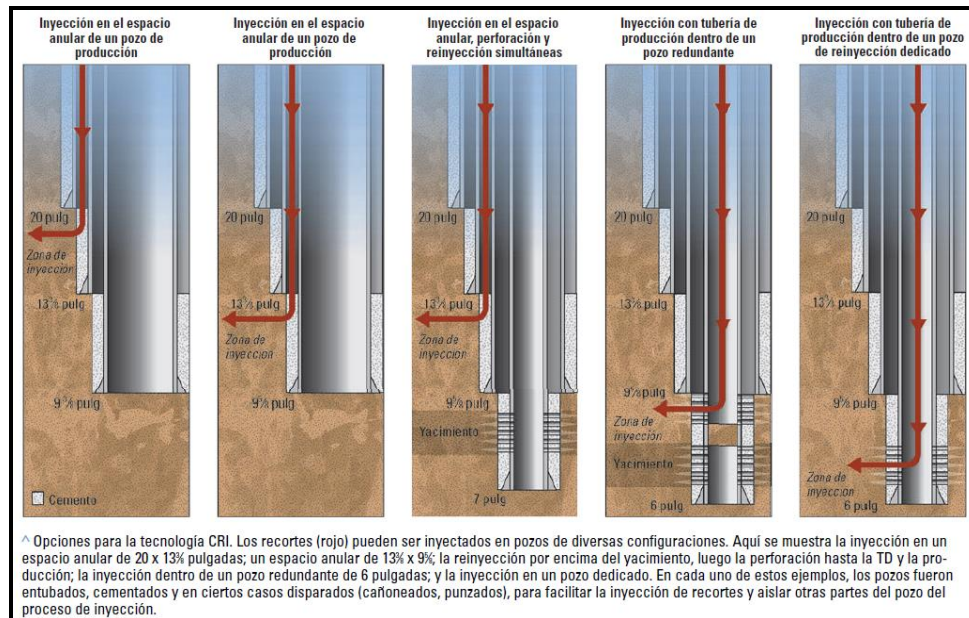
- Material de construcción: Este es un tratamiento alternativo que se ha estudiado en Taiwán y Brasil, pero que requiere de más estudios, debido a que las variaciones en los cortes de perforación dependen de la geología o profundidad de perforación y hacen que la fuerza de los ladrillos cambie.
- Uso de oxidación con ozono para mejorar el tratamiento del agua de perforación, ya que ayuda a reducir biológicamente el carbono total orgánico (TOC) en más de un 46% después de un pretratamiento por coagulación, lo que mejora la biodegradabilidad de las aguas residuales.

4.1 Reinyección en formaciones

En proyectos Offshore, la reinyección suele utilizarse como una técnica en la que los cortes de perforación son mezclados con agua de mar, para posteriormente ser procesados mediante trituración u otra acción mecánica para formar una mezcla (lechada) viscosa estable. Esta mezcla es bombeada a través de un pozo de eliminación de residuos o espacio anular existente entre las sartas de revestimiento en un pozo activo, que posteriormente es enviada e introducida bajo presión esta mezcla en las formaciones. Es así como se produce una fractura hidráulica en la formación, que contiene efectivamente la lechada o mezcla. Finalmente, el proceso de inyección, culmina cuando se realiza el

sellamiento del pozo o el espacio anular con cemento o concreto.[15]

Figura 1. Inyección de recortes de perforación en el subsuelo



Fuente: Tomado de: Tecnología de avanzada en el manejo de residuos de perforación, 2007 pag 63.

4.2 Tecnologías de tratamiento inocuo

Esta tecnología desarrolla agentes de tratamiento inofensivos en los fluidos de perforación y se componen principalmente de un gel disyuntor, acelerantes, dispersantes y adsorbentes, que desempeñan las siguientes funciones: [16]

- ✓ El gel (electrolitos inorgánicos altos) actúa como rompedor, cuyo efecto consiste en destruir la estabilidad de los fluidos de perforación de residuos coloidales mediante neutralización eléctrica.
- ✓ El adsorbente compuesto por saponina y materiales porosos, como la ceniza volante, cumple la función de absorber metales pesados y materias orgánicas parciales de los fluidos de perforación.
- ✓ El dispersante consiste en un agente tensioactivo de polietileno de polipropileno cuya función es reducir la tensión interfacial del agua de aceite, para destruir la capa o película que se forma de petróleo-agua.

- ✓ El agente acelerador (silicato de aluminio) cumple la función de formar materiales de silicato cálcico al reaccionar con la arcilla en el fluido de perforación y los aditivos del fluido de perforación de calcio. El hidrocarburo y la materia orgánica pueden ser sellados con materiales de silicato de calcio y los fluidos de perforación presentan resistencia después del tratamiento inofensivo.

Desde el año 2003, la tecnología de tratar el fluido de perforación a base de aceite residual ha sido probada en 32 pozos en el campo petrolífero de Daqing en China. Con su aplicación, se ha encontrado que el porcentaje de recuperación de petróleo es de hasta el 85.6%, y tanto el porcentaje de agua como el de arena son menores de 0.1%. Los subproductos y residuos obtenidos con esta aplicación son más limpios y el tratamiento presenta alta eficiencia y lo más importante, que con su aplicación se promueve la protección del medio ambiente. [17]

Esta tecnología de tratamiento se ha utilizado también desde el año 2006 para eliminar el fluido de perforación mezclado con aceite de desecho en un experimento con una muestra de 60.000 m³ en el campo petrolífero de Liaohe (China). Como resultado de esta aplicación, el Centro de Monitoreo Ambiental de la provincia de Liaoning concluyó que el fluido de perforación mezclado con aceite residual depositado en el sitio fue reutilizado.

Este proceso es denominado tecnología de tratamiento sin riesgo y cumple específicamente tres funciones. En primer lugar, actúa como un rompevirutas, es decir, rompe la estabilidad del fluido de desecho, y adsorbe los metales pesados del fluido inestable. Finalmente, el coagulante puede endurecer o sellar las sustancias peligrosas, como el aceite y la materia orgánica, en un producto de matriz sólida inerte.

Desde el año 2001, la implementación de fluidos de perforación no acuosos, a base de aceite y/o a base de sintéticos, tuvo un incremento promedio del 2% por año, lo que hace suponer que se mantenga esta tendencia. Para la industria petrolera, la utilización de fluidos de perforación no acuosos facilita la perforación en algunas formaciones geológicas, por su calidad inhibidora y lubricante de estos fluidos.[15]

4.3 Tratamiento de fluidos de perforación de aguas residuales por electrocoagulación

La electrocoagulación es una técnica utilizada en el tratamiento de una variedad de aguas residuales industriales. La técnica consiste en la eliminación de la materia orgánica contenida en los fluidos de perforación de aguas residuales con una corriente continua mediante una celda electrolítica, proceso llamado electrodisolución de ánodos solubles con el fin de formar grupos de hidróxidos metálicos dentro del efluente a tratar.

Estudios realizados han permitido demostrar que la mayoría de los reactores de electrocoagulación son células electroquímicas que están compuestas por electrodos que entran en contacto con los contaminantes del agua residual y a su vez

con los aditivos o coagulantes aplicados in situ. El ánodo más usado corresponde al Aluminio, el cual, pasa a través de la disolución anódica y cumple la función de generar el floculo (floc) que posteriormente es tratado. La electrocoagulación es un proceso que involucra la generación de coagulantes de un electrodo por la acción de la corriente eléctrica aplicado a estos electrodos. Los iones son atraídos por partículas coloidales, neutralizando su carga y permitiendo su coagulación. El gas de hidrógeno liberado del cátodo interactúa con las partículas que causan la floculación, lo que permite que el material no deseado se convierta en floc y pueda ser eliminado. Entre los metales más probados como electrodos, se destacan el aluminio, hierro, inoxidable acero y platino. [18]

De manera general, esta técnica implica la generación in situ de coagulantes a través de oxidación electrolítica de un ánodo (hierro y aluminio) sobre la aplicación de una corriente continua. Los iones metálicos que se generan se hidrolizan en el electrocoagulador a valores de pH en el rango de 7-9 para producir diversos metales complejos de hidróxido y M(OH)₃ neutro. Estos productos son necesarios para la eliminación de contaminantes solubles o coloidales en virtud de diversos mecanismos, incluido el intercambio de iones en los sitios activos de la superficie del floc. Al final del proceso, los floculos se eliminan por sedimentación o por floculación mediante gas hidrógeno liberado del cátodo.

4.4 Tratamiento de fluidos de perforación mediante Nanotecnología

En la última década la nanotecnología se ha convertido en una tecnología que está a la vanguardia en la industria mundial. Básicamente, los productos derivados por nanotecnología están compuestos por nanopartículas.

Investigaciones han demostrado el uso de nanopartículas como un aditivo de fluido de perforación para mejorar la estabilidad del pozo. El nanomaterial actúa cerrando el movimiento del agua entre la formación y el pozo. En las formaciones de lutitas por su

condición de permeabilidad extremadamente baja no se puede usar el método convencional de fluidos de perforación para reducir la pérdida de fluidos (o fugas) ya que es posible que no se forme una torta filtrante. Sin embargo, mediante la aplicación de nanotecnología, se diseña una nanopartícula que se agregará al fluido de perforación para taponar los poros de tamaño nanométrico de la lutita y evitar la pérdida de agua. [19]

El diseño específico de las nanopartículas se realiza con el fin de conectar físicamente los poros de lutitas del tamaño de nanómetros, y reducir así la transmisión de presión en la lutita. Las nanopartículas de sílice pueden diseñarse para cumplir con todas las especificaciones, y el tamaño de la partícula puede variar entre 5 y 100 nanómetros (nm).

Esta tecnología pone al descubierto que el tratamiento superficial de la partícula de nanosilicia tiene una gran eficiencia durante la perforación con el fluido. Se encuentra además, que las nanopartículas de tamaño apropiado con tratamientos superficiales compatibles con los iones presentes en los fluidos de perforación y formación son necesarios para una eficaz obturación. [19]

5. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Uno de los aspectos que genera más controversia cuando se habla de manejo y disposición de fluidos de perforación hace referencia a los residuos resultantes y al sitio final dónde serán dispuestos.

De la revisión del estado del arte del presente artículo se considera que en la actualidad la tecnología ha avanzado en el desarrollo de nuevos métodos de tratamiento

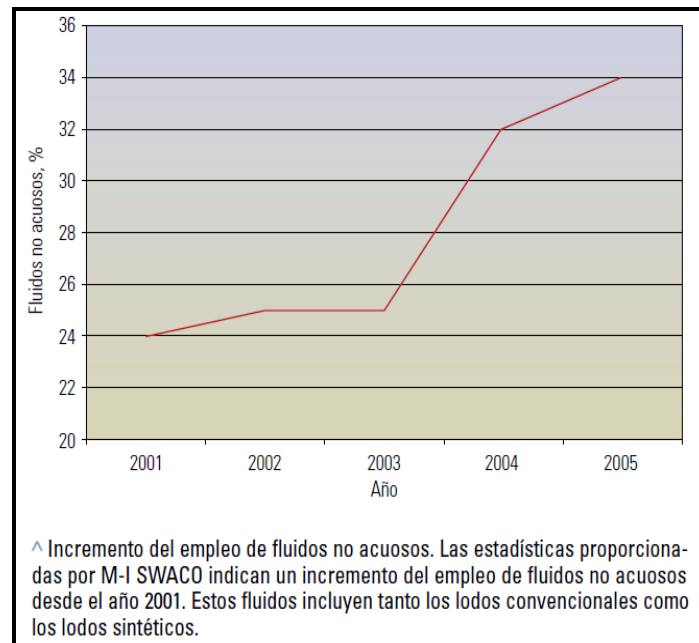
para este tipo de residuos, lo que conlleva a que las nuevas técnicas en tratamiento de fluidos sean más amigables con el medio ambiente, lo que garantiza una alta eficiencia en la eliminación de contaminantes tóxicos en agua y suelo.

Ahora bien, es claro que a nivel mundial se siguen implementando fluidos base aceite y base agua durante las actividades de perforación de pozos petroleros y gasíferos; no obstante, en el contexto nacional se ha visto en los Estudios de Impacto Ambiental de proyectos de exploración y explotación de hidrocarburos que la tendencia de utilizar fluidos de perforación base agua es mayor a la de fluidos base aceite.

Los fluidos de perforación a base de aceite permiten que los recortes de rocas transportados sean cubiertos o revestidos con una capa residual del aceite utilizado. En el caso de lodos a base de agua, los recortes de lutitas y areniscas con alto contenido de hidrocarburo son transportados a la superficie para su tratamiento y disposición adecuada.

Sin embargo, en algunos países como Noruega que cuenta con legislaciones ambientales más estrictas, se descarta la opción de verter en el mar los recortes impregnados con petróleo, así como los residuos de perforación asociados por su alto impacto ambiental, y sumado a ello, por los altos costos que implican las técnicas de eliminación de estos residuos. De lo anterior, se considera que la utilización de fluidos base aceite es atractiva para la industria petrolera por su alta eficiencia durante la fase de perforación, pero de mayor impacto al ambiente que los fluidos acuosos.

Figura 2. Empleo de fluidos no acuosos en proyectos de perforación



Fuente: Tomado de: Tecnología de avanzada en el manejo de residuos de perforación, 2007 pag 67.

En el año de 1999 el Ministerio del Medio Ambiente de Colombia, emitió la guía denominada “Guía Para Perforación De Pozos De Petróleo y Gas”[20] con los lineamientos para la gestión ambiental de los lodos de perforación. En la figura 1 se ilustran los lineamientos que propone la guía donde se describe únicamente con respecto a los lodos base agua, debido a que son los lodos más utilizados en la industria Petrolera en Colombia. En la gráfica se detalla, además, que, el lodo de mayor problemática corresponde al lodo base agua salada, cuyo tratamiento y disposición se realiza de manera general a todo el lodo.

La adopción de esta guía propuesta por la máxima autoridad ambiental a nivel nacional, se centra en fijar las pautas y mecanismos para el manejo de los lodos y los cortes de perforación (ripios), los cuales representan un impacto ambiental.

La guía, refiere básicamente cuatro (4) sistemas de lodos de perforación que son los más utilizados en las actividades de perforación petrolera en Colombia, como son:

- ✓ Lodo base agua, el cual incluye diferentes alternativas de manejo ambiental en función de la sensibilidad ambiental del área donde se realiza la perforación y de la importancia ecológica del área de influencia.
- ✓ Lodo base aceite principalmente diésel, considerado el de mayor impacto ambiental por su composición química, por lo cual se recomienda minimizar su utilización.
- ✓ Lodo base KCl (Cloruro de Potasio), el cual requiere de tratamiento para reducir la salinidad, así como la aplicación de solventes, lo que genera mayor costo de operación.
- ✓ Sistema de espuma, compuestos principalmente por detergentes químicos o polímeros, elaborados mediante la inyección de agua y agentes espumantes dentro de una corriente de aire o gas, generando una espuma estable y viscosa o mediante la inyección de una base gel.

Por tanto, se considera que el manejo de los fluidos y residuos de perforación debe realizarse en concordancia con las propiedades del lodo y de las facilidades de tratamiento disponibles la actividad de perforación. Lo anterior, aunado a que los residuos y productos finales obtenidos por el tratamiento de lodos de perforación, deben cumplir los parámetros establecidos por la normatividad ambiental vigente.

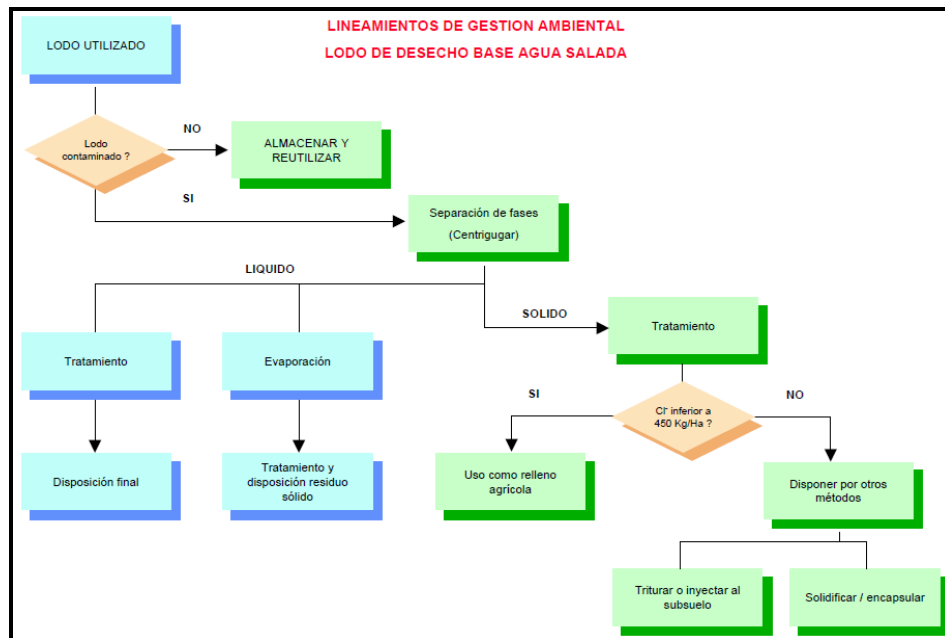
Finalmente, se analiza de manera general que la guía propuesta por el Ministerio del Medio Ambiente debe ser actualizada con el fin de establecer igualmente los parámetros generales y específicos para el tratamiento y disposición de los aditivos de los cuales se componen los diferentes fluidos de perforación utilizados.

Como resultado del análisis de esta guía para el manejo de lodos de perforación en Colombia, se considera que los criterios definidos en el documento del Ministerio proponen el siguiente manejo:

Manejo de cortes de perforación:

- ✓ Inyección por el anular, que es utilizada cuando son finalizados los trabajos de perforación. Desde el punto de vista ambiental, no es una alternativa recomendada para la disposición final de los cortes de perforación.
- ✓ Inyección en pozos no productores o abandonados, muy utilizada en la perforación petrolera en Colombia.

Figura 3. Lineamientos de gestión ambiental para lodos de desecho base agua salada



Fuente: Ministerio del Medio Ambiente. Guía de Manejo Ambiental para Proyectos de Perforación de Pozos de Petróleo y Gas. Bogotá. 1999. p.138

- ✓ Como relleno de las piscinas de lodos. Esta técnica podría decirse que es la más utilizada en Colombia y son mayormente conocidas por las piscinas de cortes de perforación que son clausuradas. Sin embargo, es la técnica menos recomendada, por cuanto no se garantiza que los cortes confinados en tierra

cumplan los parámetros de calidad definidos en la normatividad local e internacional.

- ✓ Solidificación
- ✓ Biodegradación

Manejo de lodos

- ✓ Máxima reutilización del material en la perforación
- ✓ Descarga sobre piscinas de lodos cuando no sea posible la reutilización
- ✓ Tratamiento y vertimiento al ambiente

Como puede observarse, en el contexto nacional es imprescindible la modificación de los lineamientos propuestos en la guía ambiental y necesaria la adopción de alternativas de tratamiento de avanzada que garanticen no solo la inactivación de los lodos resultantes sino también el tratamiento y disposición de los aditivos de los cuales se componen los diferentes fluidos de perforación utilizados.

En la actualidad mundial son diversas las tecnologías que están disponibles para tratar fluidos de perforación base agua o aceite.

Desde el análisis ambiental, de las alternativas de tratamiento descritas en el presente documento se resalta lo siguiente:

- El tratamiento biológico depende principalmente del factor clima y en países del trópico como Colombia es una opción viable a utilizar ya que las altas temperaturas favorecen el bioproceso. Situación diferente ocurre, si este tipo de tratamiento se implementa en países de regiones árticas, por cuanto el proceso es inviable por las características y condiciones climáticas de la zona que no favorecen la actividad biológica en la degradación de contaminantes.
- Otros tratamientos como los biorreactores biológicos que, aunque son sensibles a las altas temperaturas, en escalas más pequeñas pueden ser más fácilmente operativos y eficientes.

6. CONCLUSIONES

De la literatura analizada, se concluye que los tratamientos utilizados para el manejo de los lodos de perforación no han cambiado notoriamente en los últimos años, porque solamente se han enfocado en el manejo de los lodos de perforación como un todo sin realizar un tratamiento específico a las sustancias químicas peligrosas presentes en ellos.

En el contexto local, Colombia no ha avanzado mucho en este tema, apenas se cuenta con una guía ambiental expedida por el Ministerio del Medio Ambiente ya que no se encuentra una normatividad desarrollada ni tampoco se han dado especificaciones acerca del tratamiento que se debe realizar a los fluidos y lodos de perforación. Es así como en la industria petrolera en Colombia los tratamientos usados solo estabilizan los elementos tóxicos mas no los remueven.

A nivel mundial, en los proyectos de hidrocarburos costa afuera (offshore) es preocupante la entrada de contaminantes al mar por las altas concentraciones de contaminantes de las descargas de los residuos de perforación. Se hace muy difícil estudiar los efectos de las descargas en poblaciones hidrobiológicas y en comunidades bentónicas y no se puede ocultar la posibilidad de efectos acumulativos en las poblaciones por las descargas producidas.

Una de las alternativas analizadas y que respondería a la problemática ambiental del uso de fluidos de perforación, es la sustitución de fluidos base aceite (diésel) por fluidos compuestos por aceite vegetal, por lo que este tipo de fluido además de ser biodegradable aeróbica y anaeróticamente y no ser tóxico en columnas de agua ni en sedimentos, representa la misma efectividad operativa en pozos marinos que los fluidos de perforación formulados a base de aceite mineral (diésel).

El tratamiento de fluidos de perforación mediante electrocoagulación es otro de los métodos efectivos en comparación con los métodos convencionales como la coagulación química o tratamiento biológico; esta última, se ve limitada en la capacidad de tratar altos volúmenes de aguas residuales con altos niveles de toxicidad, compuestos xenobióticos y pH, mientras que con la electrocoagulación se pueden tratar aguas residuales de tipo industrial, doméstica y agrícola. Con la electrocoagulación, se obtienen altas eficiencias en la eliminación de color, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Su alta eficiencia en remoción de estos parámetros lo posiciona por encima de alternativas convencionales de tratamiento

como son tratamiento por luz ultravioleta (UV) y ozono.

Los fluidos de perforación basados en emulsiones se constituyen como una alternativa en las operaciones de perforación modernas. El lodo de emulsión de aceite en agua (O / W) es ampliamente utilizado para depósitos de petróleo y gas a baja presión. Por otro lado, el lodo de emulsión invertida de agua en aceite (W / O) puede ser útil en la perforación, terminación y trabajo de pozos subterráneos. La estabilización de los sistemas de emulsión se logra con la ayuda de surfactantes adecuados. Los polímeros y los agentes pueden ser utilizados para controlar las propiedades reológicas y de filtración de los sistemas de fluido de perforación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Caenn, H. C. H. Darley, and G. R. Gray, *Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids*. 2011.
- [2] L. Nesbitt and J. Sanders, "Drilling Fluid Disposal," *J. Pet. Technol.*, 1981.
- [3] S. S. C. ASME, *Drilling fluids processing handbook*. 2005.
- [4] R. Caenn and G. V. Chillingar, "Drilling fluids: State of the art," *J. Pet. Sci. Eng.*, 1996.
- [5] X. Shuixiang *et al.*, "An environment friendly drilling fluid system," *Pet. Explor. Dev.*, 2011.
- [6] E. A. G. Armas, A. D. M. Cremé-espinoza, and S. L. G. Agüero-gutierrez, "Valoraciones sobre fundamentos de la interacción roca – fluido en la perforación de pozos de petróleo," vol. 44, pp. 68–80, 2013.
- [7] T. Bakke, J. Klungsøyr, and S. Sanni, "Environmental impacts of produced water and drilling waste discharges from the Norwegian offshore petroleum industry," *Mar. Environ. Res.*, 2013.
- [8] J. M. Davies and P. F. Kingston, *Sources of environmental disturbance associated with offshore oil and gas development*. London, 1992.
- [9] V. Mahto and V. P. Sharma, "Rheological study of a water based oil well drilling fluid," *J. Pet. Sci. Eng.*, 2004.
- [10] J. Correía, G. Godoy, M. García, and R. Vega, "Formulation of diesel base drilling fluid of low anviromental impact," *Boletín Geol.*, 2015.
- [11] R. D. V. Mejia, *Revista tecnológica*. 2017.
- [12] R. Caenn, H. C. H. Darley†, and G. R. Gray†, "Introduction to Drilling Fluids," in *Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids*, 2017.
- [13] J. T. Eia, E. Hernandez, and M.-I. Swaco, "Environmental advances in drilling fluids and waste operations applying novel technology for fluid recovery and recycling," *SPE Russ. Oil Gas Tech. Conf. Exhib. 2006*, 2006.
- [14] P. K. Jha, V. Mahto, and V. K. Saxena, "Emulison based drilling fluids: An overview," *Int. J. ChemTech Res.*, 2014.
- [15] T. Geehan, A. Gilmour, and Q. Guo, "Tecnología de avanzada en el manejo de residuos de perforación," *Oilf. Rev.*, 2007.
- [16] S. X. Xie *et al.*, "Treatment Technology for Waste Drilling Fluids in Environmental Sensitivity Areas," *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, vol. 37, no. 8, pp. 817–824, 2015.
- [17] Z. Zhu, J. Li, S. Xie, and G. Yuan, "Research and application on resource utilization technology of oily waste drilling fluid," *Pet. Sci. Technol.*, vol. 29, no. 14, pp. 1470–1481, 2011.
- [18] A. E. M. H. Elnenay, E. Nassef, G. F. Malash, and M. H. A. Magid, "Treatment of drilling fluids wastewater by electrocoagulation," *Egypt. J. Pet.*, vol. 26, no. 1, pp. 203–208, 2017.
- [19] K. P. Hoelscher, G. De Stefano, M. Riley, and S. Young, "Application of

Nanotechnology in Drilling Fluids,” in *SPE International Oilfield Nanotechnology Conference and Exhibition*, 2012.

- [20] Ministerio del Medio Ambiente, *Guía de Manejo Ambiental para Proyectos de Perforación de Pozos de Petróleo y Gas*. Bogotá, 1999.