



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

CARRERA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS

**OBTENCIÓN DE UN LUBRICANTE PARA FLUIDOS DE
PERFORACIÓN DE POZOS PETROLEROS, A PARTIR DE
ACEITE VEGETAL**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO DE PETRÓLEOS**

LUIS JOSUÉ BENÍTEZ PÉREZ

DIRECTOR: ING. FAUSTO RENÉ RAMOS AGUIRRE

Quito, marzo 2017

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2017
Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0603620220
APELLIDO Y NOMBRES:	Benítez Pérez Luis Josué
DIRECCIÓN:	Miguel Donoso y Cipriano Delgado
EMAIL:	josue_benitez@hotmail.es
TELÉFONO FIJO:	3803549
TELÉFONO MOVIL:	0984593923

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Obtención de un lubricante para fluidos de perforación de pozos petroleros, a partir de aceite vegetal
AUTOR O AUTORES:	Benítez Pérez Luis Josué
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	10/03/2017
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Ing. Fausto René Ramos Aguirre
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero de Petróleos
RESUMEN:	El presente trabajo de titulación se desarrolló con el objetivo de obtener un aceite lubricante de procedencia vegetal en base a materia prima nacional, para emplearlo en los fluidos de perforación y lograr disminuir la fricción y arrastre existente entre la sarta de perforación y las paredes del hueco durante la perforación de pozos petroleros. El aceite obtenido fue

oleína de palma pura sin aditivos al cual se le realizó pruebas de comparación con un aceite comercial proporcionado por la empresa Chuanqing Drilling Engineering Company Limited (CCDC) denominado "CCDC DFL-1" el mismo que lo emplean en sus operaciones de perforación. Se ejecutó ensayos de índice de viscosidad, índice de saponificación, reología, filtrado y coeficiente de lubricidad. Estas pruebas se llevaron a cabo en los laboratorios de la Universidad Tecnológica Equinoccial que mantiene un convenio con la empresa CCDC en el campus occidental, bajo normativa. Se concluyó que pese haber sido un aceite vegetal en estado puro, cumplió con su finalidad de lubricar, disminuyendo en más del 26% el coeficiente de lubricidad, sin modificar significativamente las propiedades originales del lodo de perforación formulado, pero debe continuarse la investigación con la incorporación de aditivos al aceite desarrollado, los cuales mejoren su desempeño durante la perforación de pozos petroleros.

PALABRAS CLAVES:

Oleína, Fluido de perforación, Lubricidad

ABSTRACT:

The present titration work was developed with the objective of obtaining a lubricating oil of vegetable origin based on national raw material, to be used in the drilling fluids and to reduce friction and entrainment between the drill string and the walls of the hole During the drilling of oil wells. The oil obtained

<p>KEYWORDS</p>	<p>was pure palm olein without additives which was compared with a commercial oil provided by the Chuanqing Drilling Engineering Company Limited (CCDC) called "CCDC DFL-1" which used it in its operations drilling. Tests were performed on viscosity index, saponification index, rheology, filtration and coefficient of lubricity. These tests were carried out in laboratories of the Universidad Tecnológica Equinoccial, which maintains an agreement with the company CCDC on the western campus, under regulations. It was concluded that despite being a pure vegetable oil, it fulfilled its purpose of lubricating, reducing the lubricity coefficient by more than 26%, without significantly changing the original properties of the formulated drilling mud, but research with the incorporation of additives to the developed oil, which improves their performance during the drilling of oil wells.</p>
	<p>Olein, Drilling Fluid, Lubricity</p>

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f: _____



BENÍTEZ PÉREZ LUIS JOSUÉ

C.I. 0603620220


DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **BENÍTEZ PÉREZ LUIS JOSUÉ**, CI 0603620220 autor del proyecto titulado: **Obtención de un lubricante para fluidos de perforación de pozos petroleros, a partir de aceite vegetal** previo a la obtención del título de **INGENIERO DE PETRÓLEOS** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 10 de marzo del 2017

f. _____



BENÍTEZ PÉREZ LUIS JOSUÉ

C.I. 0603620220



CNPC Chuanqing Drilling Engineering Company Limited
川庆钻探厄瓜多尔分公司 (CCDC Ecuador Branch)

CERTIFICADO

Chuanqing Drilling Engineering Company Limited (CCDC), certifica que el señor **Benítez Pérez Luis Josué** con cédula de identidad No. 0603620220 realizó su tesis para la obtención del Título de Ingeniero en Petróleos; siendo el tema de tesis **“OBTENCIÓN DE UN LUBRICANTE PARA FLUIDOS DE PERFORACIÓN DE POZOS PETROLEROS, A PARTIR DE ACEITE VEGETAL”** desde el 15 de agosto del 2016 al 09 de febrero del 2017.

El portador del presente documento certificado; puede hacer uso como ha bien tuviere.

Sin otro particular, nos suscribimos,

Atentamente,

Chuanqing Drilling Engineering Company Limited (CCDC)

Henry Romero

Ingeniero de Laboratorio CCDC

Quito, Febrero del 2017

DECLARACIÓN

Yo, **BENÍTEZ PÉREZ LUIS JOSUÉ**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



Luis Josué Benítez Pérez

C.I. 0603620220

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título "**Obtención de un lubricante para fluidos de perforación de pozos petroleros, a partir de aceite vegetal**", que, para aspirar al título de **INGENIERO DE PETRÓLEOS** fue desarrollado por **BENÍTEZ PÉREZ LUIS JOSUÉ**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.



Ing. Fausto René Ramos Aguirre

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 1705134102

DEDICATORIA

La presente tesis se la dedico:

A mi Dios, quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin desfallecer en el intento.

A mi familia, quienes por ellos soy lo que soy, por haberme apoyado económica y moralmente en mi vida diaria y estudiantil.

A mi madre Ospina, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi padre Fernando, por el ejemplo de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundido siempre para no rendirme en el logro de mis metas, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mis hermanas Mary y Gaby, quienes a pesar de la distancia me han apoyado de manera significativa con su infinito amor a la consecución de mis metas.

“Cualquier cosa que la mente del hombre puede concebir y creer, puede ser conseguida.” Napoleón Hill.

AGRADECIMIENTO

Yo agradezco primeramente a mis padres y hermanas, quienes se han esforzado para que ahora esté culminando esta etapa en mi vida y conjuntamente con mi esfuerzo ahora puedo ser un excelente profesional.

Mi agradecimiento sincero al Ingeniero Fausto Ramos, Ingeniero Henry Romero e Ingeniero Rubén Amagua por todo el apoyo brindado en el desarrollo del presente trabajo de titulación y por haber compartido desinteresadamente sus conocimientos.

A la Universidad Tecnológica Equinoccial y todo su cuerpo docente y administrativo por permitirme culminar mi carrera en tan prestigiosa institución.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 OBJETIVOS	8
1.1.1 OBJETIVO GENERAL	8
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
2. METODOLOGÍA	9
2.1 SELECCIÓN DEL ACEITE VEGETAL	9
2.2 OBTENCIÓN DE OLEÍNA DE PALMA	9
2.3 ÍNDICE DE VISCOSIDAD	10
2.4 ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN	11
2.5 FORMULACIÓN DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN	11
2.6 PRUEBAS REOLÓGICAS	12
2.6.1 VISCOSIDAD PLÁSTICA	12
2.6.2 PUNTO CEDENTE	12
2.7 FILTRADO	12
2.8 PRUEBA DE LUBRICIDAD	12
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
3.1 ACEITE VEGETAL SELECCIONADO	14
3.2 OLEÍNA DE PALMA OBTENIDA	15
3.3 PRUEBAS DEL ÍNDICE DE VISCOSIDAD E ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN	15
3.4 PRUEBAS DE REOLOGÍA, FILTRADO Y COEFICIENTE DE LUBRICIDAD	16
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20
4.1 CONCLUSIONES	20
4.2 RECOMENDACIONES	21
5. BIBLIOGRAFÍA	22
6. ANEXOS	25

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Aditivos y funciones para la formulación de fluidos de perforación base agua	4
Tabla 2. Clasificación taxonómica de la palma africana	7
Tabla 3. Propiedades físico-químicas del aceite de palma	7
Tabla 4. Componentes y valores para la formulación del fluido de perforación base agua	11
Tabla 5. Resultados del índice de viscosidad	15
Tabla 6. Resultados del índice de saponificación	16
Tabla 7. Resultados de la prueba reológica	16
Tabla 8. Resultados de la prueba de filtrado	17
Tabla 9. Resultados de la prueba de lubricidad	18

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Producción, Consumo y Excedentes de aceite de palma 1993-2015 (En TM)	14
Figura 2. Comportamiento reológico de los fluidos de perforación formulados	17

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO 1. BAÑO TERMOSTÁTICO KOEHLER	25
ANEXO 2. VISCOSÍMETRO DE VIDRIO KOEHLER	25
ANEXO 3. VISCOSÍMETRO DE INDICACIÓN DIRECTA OFITE	
MODELO 800	26
ANEXO 4. FILTRO PRENSA API OFITE	26
ANEXO 5. EQUIPO DE PRUEBA DE LUBRICIDAD / EP OFITE	27

RESUMEN

El presente trabajo de titulación se desarrolló con el objetivo de obtener un aceite lubricante de procedencia vegetal en base a materia prima nacional, para emplearlo en los fluidos de perforación y lograr disminuir la fricción y arrastre existente entre la sarta de perforación y las paredes del hueco durante la perforación de pozos petroleros. El aceite obtenido fue oleína de palma pura sin aditivos al cual se le realizó pruebas de comparación con un aceite comercial proporcionado por la empresa Chuanqing Drilling Engineering Company Limited (CCDC) denominado "CCDC DFL-1" el mismo que lo emplean en sus operaciones de perforación. Se ejecutó ensayos de índice de viscosidad, índice de saponificación, reología, filtrado y coeficiente de lubricidad. Estas pruebas se llevaron a cabo en los laboratorios de la Universidad Tecnológica Equinoccial que mantiene un convenio con la empresa CCDC en el campus occidental, bajo normativa. Se concluyó que pese haber sido un aceite vegetal en estado puro, cumplió con su finalidad de lubricar, disminuyendo en más del 26% el coeficiente de lubricidad, sin modificar significativamente las propiedades originales del lodo de perforación formulado, pero debe continuarse la investigación con la incorporación de aditivos al aceite desarrollado, los cuales mejoren su desempeño durante la perforación de pozos petroleros.

Palabras claves: OLEÍNA, FLUIDO DE PERFORACIÓN, LUBRICIDAD.

ABSTRACT

The present titration work was developed with the objective of obtaining a lubricating oil of vegetable origin based on national raw material, to be used in the drilling fluids and to reduce friction and entrainment between the drill string and the walls of the hole During the drilling of oil wells. The oil obtained was pure palm olein without additives which was compared with a commercial oil provided by the Chuanqing Drilling Engineering Company Limited (CCDC) called "CCDC DFL-1" which used it in its operations drilling. Tests were performed on viscosity index, saponification index, rheology, filtration and coefficient of lubricity. These tests were carried out in laboratories of the Universidad Tecnológica Equinoccial, which maintains an agreement with the company CCDC on the western campus, under regulations. It was concluded that despite being a pure vegetable oil, it fulfilled its purpose of lubricating, reducing the lubricity coefficient by more than 26%, without significantly changing the original properties of the formulated drilling mud, but research with the Incorporation of additives to the developed oil, which improves their performance during the drilling of oil wells.

Key words: OLEINE, DRILLING FLUID, LUBRICITY.

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El fluido de perforación en la industria petrolera se lo define como una mezcla de sólidos y líquidos que deben cumplir con funciones específicas que faciliten el avance de la perforación, minimizando problemas de estabilidad del hoyo y problemas operacionales (PDVSA, 2002). Según Martínez (2012) entre las funciones básicas que deben cumplir los fluidos de perforación se encuentran: transportar los ripios de perforación del fondo del hoyo a la superficie, enfriar y lubricar la sarta de perforación, estabilizar las paredes del hoyo, mantener en suspensión los ripios, evitar daños a las formaciones productoras, prevenir daños a la formación, proporcionar el medio para la toma de registros eléctricos, transmitir potencia hidráulica a la broca y minimizar el impacto sobre el medio ambiente.

Durante la perforación de pozos petroleros existe un alto índice de fricción entre la sarta y el revestimiento o las paredes del hueco, lo cual deriva en un mayor desgaste de la tubería el mismo que se traduce en grandes pérdidas económicas tanto por el cambio de tubería como por el tiempo de para. Esto lleva a formular un fluido de perforación con la incorporación de un aceite lubricante para disminuir la fricción existente.

Los fluidos de perforación también denominados lodos de perforación, son mezclas constituidas por dos componentes: un componente líquido y otro sólido. El líquido es la fase continua y la sólida, la fase dispersa (PDVSA, 2005).

Existen tres tipos de fluidos de perforación: fluidos de perforación base agua (WBM), fluidos base Aceite (OBM) y fluidos de base sintética (SBM). Los fluidos base aceite están prohibidos de utilizar por reglamentación ambiental, los fluidos base sintética no poseen la capacidad refrigerante que presentan los fluidos base agua, así también ahorra tiempo y costos (Martínez, 2005).

Los fluidos de perforación base agua son aquellos cuya fase líquida o continua es agua. Estos sistemas son muy versátiles y se utilizan por lo general para perforar formaciones no reactivas, productoras o no productoras de hidrocarburos (PDVSA, 2002).

Según PDVSA (2005) para la formulación de fluidos de perforación base agua se emplean los siguientes aditivos.

Tabla 1. Aditivos y funciones para la formulación de fluidos de perforación base agua

Aditivo	Función
Agua	Fluido base
Polímeros, bentonita y atapulgita	Viscosificante
Bentonita, CMC, almidón	Agente de control de filtrado
Lignosulfonato, taninos, fosfatos	Reductores de viscosidad
Carbonato de calcio, barita	Densificante
Productos especiales	Bactericidas, fluidos para despegar tubería, lubricantes

(PDVSA, 2005)

Por lo mencionado anteriormente, se empleará un fluido de perforación base agua para el desarrollo del presente trabajo, el cual se llevará a cabo en los laboratorios de la Universidad Tecnológica Equinoccial que mantiene un convenio con la empresa Chuanqing Drilling Engineering Company Limited (CCDC) en el campus occidental.

Los lubricantes son productos diseñados para reducir el coeficiente de fricción de los fluidos de perforación disminuyendo el torque y el arrastre (Martínez, 2012).

Según Repsol YPF (2004) las principales funciones de un lubricante son las siguientes: disminuir la fricción, disipar el calor, controlar el desgaste, proteger contra la herrumbre y proteger contra la corrosión.

Existen cuatro tipos de aceites lubricantes que son: de base mineral, de origen vegetal y animal, compuestos y de base sintética; a los cuales se les puede añadir diferentes aditivos de acuerdo a las necesidades requeridas (Ramos, 2008).

Los aditivos para aceites lubricantes son compuestos químicos que son agregados a las bases lubricantes para mejorar o crear nuevas características al lubricante.

Según Ramos (2008) los aditivos persiguen los siguientes objetivos: limitar el deterioro del lubricante a causa de fenómenos químicos ocasionados por razón de su entorno, proteger a la superficie lubricada de la agresión de ciertos contaminantes, mejorar las propiedades físico-químicas del lubricante o proporcionarle de nuevas.

Actualmente existe gran cantidad de aditivos los cuales afectan las propiedades tanto físicas como químicas de los aceites lubricantes para mejorar su rendimiento. Repsol (2008) menciona los siguientes: emulsificadores / demulsificadores, modificadores de fricción, desactivadores

de metales, depresores de punto de fluidez, modificadores de viscosidad, antiespumante, dispersantes, detergentes, antioxidantes y antiherrumbre.

Las manifestaciones de fricción entre el hueco y la sarta de perforación son tan antiguas como la perforación rotatoria misma. Se han utilizado muchos y diferentes productos para minimizar este problema, y entre ellos se puede mencionar bentonita, grafito, asfalto, y mica. La lubricidad de los diferentes lodos ha sido bastante imprecisa a través de los años (Halliburton, s.f).

El efecto de un tratamiento era determinado por el cambio de torque y arrastre que se observaba en la superficie luego de que el tratamiento fuera aplicado.

Hasta hace poco no había un mecanismo de medida directa de la lubricidad de diferentes fluidos de perforación. En los últimos años de la década de los cincuenta se desarrolló la primera generación de lubricantes para incrementar la vida útil de las brocas y de sus rodamientos, lo mismo que para reducir la fricción que se creaba en los pozos cada vez más profundos (Halliburton, s.f).

La lubricación de las superficies metálicas se logra mediante una película resistente a altas presiones y temperaturas, que se deposita sobre las superficies. El primer lubricante utilizado era diésel. El performance del diésel para reducir el torque y arrastre es aceptable pero debido a su naturaleza tóxica su uso se halla cada vez más restringido. Como consecuencia nació la necesidad de desarrollar productos más seguros desde el punto de vista de la protección del medio ambiente (Halliburton, s.f).

Posterior a este producto lubricante en los años 90 se desarrollan aceites sintéticos más amigables con el medio ambiente que hasta hoy en día en la industria petrolera se sigue empleando (Pozo & Bolivar, 2015). Pero empresas como CCDC fabrican y utilizan ya lubricantes para fluidos de perforación cuya composición principal es aceite vegetal (CCDC, 2015).

En la actualidad, la industria química-petrolera se enfoca en el desarrollo de productos lubricantes para fluidos de perforación de procedencia orgánica fácilmente biodegradables, amigables con el entorno natural y cumpliendo las normativas ambientales (Amoco oil & Petroleum, 2016).

Hoy por hoy existe variedad de opciones, en lo referente a materia prima para la industria aceitera, la cual se ha desarrollado en varios países del mundo, especializándose en la obtención del aceite derivado de la materia prima que presenta las mejores ofertas, bien sea por que se adapta a sus condiciones geográficas y se produce en la localidad; o por presentar el mejor precio. Entre la materia prima vegetal utilizada para la producción del aceite sobresale la palma africana, la soya, el ajonjolí, el algodón, el maíz, la canola, el girasol, el coco y las olivas, entre otros (Sánchez, 2012).

En el Ecuador la industria aceitera se basa exclusivamente en dos tipos de oleaginosas, como son la palma africana y la soya. A pesar de ello, con el objetivo de ofrecer distintos tipos de aceites el país importa 120.000 toneladas de aceite de oliva, aceite de canola, aceite de girasol al año para la industria aceitera del país (Pilco, 2015).

“La necesidad interna industrial de aceite de palma está satisfecha con la producción local de palma africana que ocupa una superficie de más de 200.000 Ha; no así la demanda de aceite de soya, siendo necesario recurrir a la importación de hasta un 95% para suplir este requerimiento” (Pilco, 2015, pág. 2).

Es decir, la producción de soya en el país es marginal, pues sus volúmenes no logran satisfacer las necesidades industriales para la producción de aceite de soya, por lo que se consolida como un producto de importación (Sánchez, 2012).

En la actualidad, el cultivo de palma africana es uno de los principales en el país debido a los múltiples usos de esta planta y así también a su empleo como biocombustible. Se cultiva principalmente en la provincias de Esmeraldas, Los Ríos, Pichincha, Santo Domingo y la provincias Orientales de Sucumbíos y Orellana (AGRYTEC, 2011).

El aceite de palma africana es una oleaginosa perenne que ingresó a Ecuador, a la provincia de Esmeraldas, cantón La Concordia en la década de los cincuenta, por Roscoe Scott; en ese entonces eran congruentemente pequeñas las plantaciones. En el año de 1967 empieza a entrar en apogeo con más de 1.000 Ha cultivadas (AGRYTEC, 2011).

El origen del aceite de palma es vegetal, el cual procede del mesocarpio del fruto de la palma africana. Dicho aceite, conforme con la temperatura ambiente, se encuentra en forma líquida o semisólida (Indupalma, 2012).

Además presenta un fuerte color rojo anaranjado de olor agradable, muy estable a la oxidación y no posee propiedades secantes (Bailey, 1984). A continuación se detalla su taxonomía (ver tabla 1).

Tabla 2. Clasificación taxonómica de la palma africana

Taxonomía	Descripción
Nombre Común	Palma africana de aceite.
Origen	África central y oriental, Bosques pluviales de Guinea, Golfo de Guinea
Clase	Monocotiledónea
Familia	Palmaceae
Género	Elaeis
Especie	Elaeis Guineensis Jacq

(Cuero, 2010)

Dentro de los cultivos de semillas oleaginosas, la palma africana es la que produce mayor cantidad de aceite por hectárea. Donde la mitad del fruto es aceite, éste logra alcanzar de 3 000 Kg hasta 5 000 Kg de aceite de pulpa por hectárea y más de 600 Kg a 1 000 Kg de aceite de palmiste (Oleofinos, 2010).

El aceite de palma es el más barato que existe en la actualidad con un costo aproximado de \$ 702.00 por tonelada métrica (Lozano, 2017).

En la siguiente tabla se presentan las propiedades físico-químicas del aceite de palma:

Tabla 3. Propiedades físico-químicas del aceite de palma

CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS	MIN	MAX
Índice de Saponificación	195	205
Viscosidad absoluta a 40°C (cP)		37.8
Viscosidad absoluta a 70°C (cP)		13.6
Punto de chispa (°C)		280

(Indupalma, 2012)

Los tipos de palma africana de aceite más relevantes se establecen de acuerdo al grosor del cuesco o endocarpio del fruto, característica íntimamente relacionada con la producción de aceite. Los tipos según el grosor del fruto son tres: dura, pisífera y tenera (Guoron, 2011).

En la fabricación de aceites y grasas comestibles se emplea el aceite de palma refinado. Del aceite se consigue dos porciones: estearina y oleína, debido a su proporción de ácidos grasos, las mismas que en el medio industrial poseen una amplia gama de utilidades (Acepalma, 2009). Siendo la estearina la fracción sólida y la oleína la fracción líquida del aceite de palma.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Obtener un aceite lubricante de origen vegetal para fluidos de perforación de pozos petroleros base agua, que permita sustituir los productos importados que actualmente se formulan en los campos petroleros ecuatorianos, mediante diferentes pruebas de laboratorio.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar el aceite vegetal adecuado en base a la disponibilidad de la materia prima de procedencia nacional.
- Analizar las características del índice de viscosidad e índice de saponificación del aceite vegetal obtenido y de un aceite lubricante comercial para fluidos de perforación de pozos petroleros.
- Evaluar las propiedades reológicas, filtrado y de coeficiente de lubricidad del fluido de perforación sin lubricante, con el aceite vegetal obtenido y el aceite lubricante comercial.

2. METODOLOGÍA

2. METODOLOGÍA

El presente trabajo se desarrolló en los Laboratorios de Fluidos de Perforación en la carrera de Ingeniería de Petróleos de la Universidad Tecnológica Equinoccial, en colaboración con la empresa Chuanqing Drilling Engineering Company Limited (CCDC).

El estudio comprendió la obtención de un lubricante de origen vegetal, su caracterización, la formulación en lodos de perforación y evaluación del comportamiento simulado en equipos de laboratorio.

Se desarrolló según los siguientes parámetros:

2.1 SELECCIÓN DEL ACEITE VEGETAL

Para la selección del aceite vegetal se realizó investigación bibliográfica y con los datos adquiridos se procedió a la comparación de la disponibilidad de las materias primas nacionales y costos de los distintos aceites, para su utilización en los fluidos de perforación.

2.2 OBTENCIÓN DE OLEÍNA DE PALMA

El proceso consistió en una secuencia de operaciones para poder obtener el aceite crudo de palma contenido en el mesocarpio del fruto, posterior a esto se logró su fraccionamiento y extracción de la parte líquida denominada oleína de palma, para ello se siguió el proceso establecido por Amagua (2016) que fue el siguiente:

Extracción de aceite de palma africana

1. Se lavó los frutos de palma africana
2. Se colocó los frutos en un vaso de precipitación con agua
3. Se calentó hasta 95°C
4. Se peló toda la pulpa hasta dejar la semilla lo más limpia de pulpa posible
5. Se molió a tamaño grueso la pulpa obtenida
6. Se colocó el molido en un vaso de precipitación con la menor cantidad de agua posible
7. Se calentó el molido hasta 80°C, con agitación
8. Se filtró a través de un tejido fino
9. Se separó el aceite del agua

Desgomación del aceite

1. Se pesó 150 g de aceite crudo
2. Se agregó el 0.1% de ácido fosfórico en relación al peso del aceite, solución 1:1
3. Se calentó a 80 – 90°C, agitando continuamente
4. Se agitó manteniendo la temperatura, por alrededor de 5 minutos
5. Se trasvasó al embudo de separación
6. Se lavó con agua caliente a temperatura >85°C
7. Se esperó por tres minutos mientras decantó el agua
8. Se repitió desde el paso 6, por 2 o 3 ocasiones
9. Con anaranjado de metilo se comprobó la no presencia del ácido
10. Se decantó y guardó la muestra

Blanqueo del aceite

1. Se calentó el aceite de 80 a 85°C en el kitazato
2. Se agregó el 2% de tierra decolorante en relación con el peso del aceite
3. Se agitó y elevó la temperatura con vacío hasta 110 – 120 °C
4. Se enfrió hasta 85°C
5. Se filtró la miscela y se guardó el aceite

Fraccionamiento (Winterización) del aceite

1. Se colocó en un vaso de precipitación el aceite de palma
2. Se calentó hasta 75°C, con agitación continua
3. Se cubrió el vaso de precipitación con tejidos de algodón, lana, cobijas, etc.
4. Se colocó el vaso de precipitación en un lugar donde no existió movimiento ni mucha variación de temperatura
5. A los 14 días se observó y determinó el punto de fusión de las fracciones formadas
6. Se extrajo la oleína de palma

2.3 ÍNDICE DE VISCOSIDAD

Para la determinación del índice de viscosidad se comparó el aceite con otros dos referenciales. Estos aceites se denominan: aceite H cuyo índice de viscosidad se fija en 100 y aceite L con un índice de viscosidad 0 (Uba, 2016).

La obtención del índice de viscosidad se logró de acuerdo al procedimiento establecido en la norma ASTM D-2270 (1998) empleando un baño termostático KOEHLER (ver anexo 1) y un viscosímetro de vidrio KOEHLER (ver anexo 2).

2.4 ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN

Para la determinación del índice de saponificación del aceite desarrollado y el aceite comercial, se siguió el procedimiento estipulado en la normativa INEN 40 (1973).

El índice de saponificación se calculó con la ecuación 1.

$$i = \frac{56.1(V_1 - V_2)N}{m} \quad [1]$$

Donde:

- i = índice de saponificación del producto, en mg/g
- V_2 = volumen de solución de ácido clorhídrico o sulfúrico empleado en la titulación de la muestra, en ml
- V_1 = volumen de solución de ácido clorhídrico o sulfúrico empleado en la titulación del ensayo en blanco, en ml
- N = normalización de la solución de ácido clorhídrico o sulfúrico
- m = masa de la muestra analizada, en g

2.5 FORMULACIÓN DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN

Para la formulación del fluido de perforación se siguió el procedimiento que se realiza en los laboratorios de la empresa CCDC con el fin de determinar características de los aditivos, se aplicó cada uno de los componentes en su valor establecido como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 4. Componentes y valores para la formulación del fluido de perforación base agua

Componente	Valor
Agua	330 ml
SMP1 (controlador de filtrado)	2 g
PACK LV (controlador de filtrado)	2 g
XCHV (viscosificante)	0.5 g
Carbonato de calcio 325 (densificante)	100 g
Lubricante	10.5 ml

Nota: El volumen del lubricante es del 3% del volumen de la fase continua

La presente formulación está basada en la experiencia obtenida en campo por la empresa CCDC.

2.6 PRUEBAS REOLÓGICAS

Se realizó las pruebas empleando el viscosímetro de indicación directa OFITE modelo 800 (ver anexo 3), que es un instrumento de tipo rotativo accionado por un motor electrónico (Rosero, 2013), para determinar viscosidades plásticas y puntos cedentes del fluido de perforación puro y en formulación con oleína de palma y aceite comercial. Se siguió el procedimiento establecido en la norma API Recommended 13B – 1 (2003).

2.6.1 VISCOSIDAD PLÁSTICA

La viscosidad plástica se la calculó con la ecuación 2.

$$\text{Viscosidad plástica en cP} = \text{lectura de 600 rpm} - \text{lectura de 300 rpm} \quad [2]$$

2.6.2 PUNTO CEDENTE

El punto cedente se calculó con la ecuación 3.

$$\text{Punto cedente en } \frac{\text{lb}}{100 \text{ pies}^2} = \text{lectura de 300 rpm} - \text{viscosidad plástica} \quad [3]$$

2.7 FILTRADO

La prueba de filtrado se lo realizó con un equipo denominado Filtro Prensa API OFITE (ver anexo 4) el cual cumple con las especificaciones de la norma API Recommended 13B – 1 (2003); y para su determinación se siguió el procedimiento estipulado en la norma mencionada.

2.8 PRUEBA DE LUBRICIDAD

Para el cálculo del coeficiente de lubricidad se empleó un equipo de prueba de lubricidad / EP OFITE (ver anexo 5) y su determinación se lo llevó a cabo siguiendo el procedimiento establecido en la norma API Recommended 13B – 1 (2003).

El cálculo del coeficiente de lubricidad se determinó con las ecuaciones 4 y 5.

$$\text{Coeficiente de lubricidad} = \frac{T_{\text{fluido}}}{100} \times F \quad [4]$$

$$F = \frac{34}{T_{\text{agua}}} \quad [5]$$

Donde,

F = factor de corrección

T fluido = lectura del torque para el fluido de prueba

T agua = lectura del torque para el agua destilada

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las pruebas que se realizaron para el desarrollo del presente trabajo de titulación se detallan a continuación:

3.1 ACEITE VEGETAL SELECCIONADO

Luego de la investigación realizada a la producción de las diferentes materias primas para la obtención de aceites de procedencia vegetal y su costo, se determinó que la palma africana es la de mayor producción en el Ecuador ocupando una superficie de más de 200.000 Ha, y en los últimos años la producción de su aceite posee una tendencia creciente, como lo indica el siguiente gráfico:

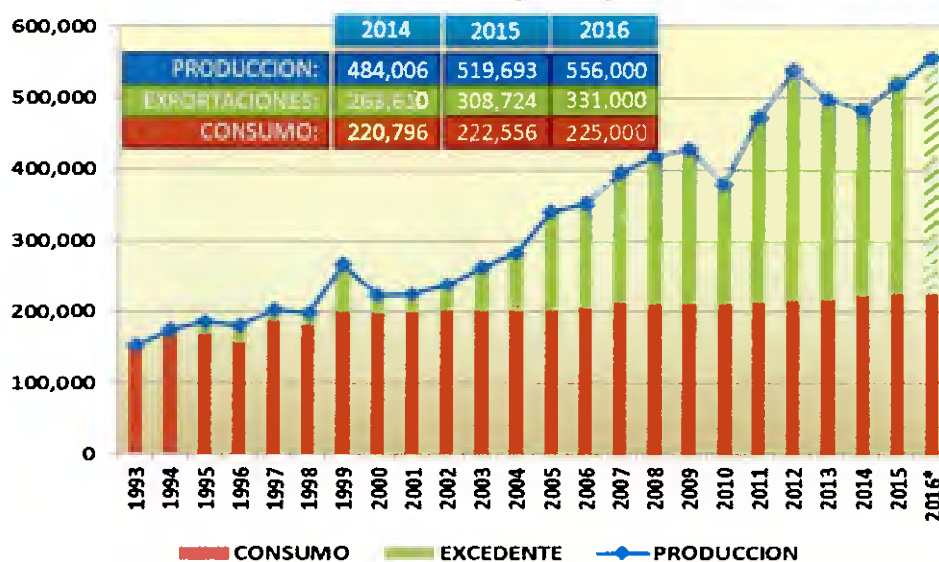


Figura 1. Producción, Consumo y Excedentes de aceite de palma 1993-2015 (En TM)

(Fedapal, 2016)

Además de ello, es el aceite más barato que existe con un costo aproximado de \$ 702.00 por tonelada métrica (Lozano, 2017).

Por lo cual, para el desarrollo del presente trabajo de titulación se seleccionó el aceite de palma africana siendo el de mayor producción y menor costo en el Ecuador y se eligió la oleína de palma que a temperatura ambiente se presenta en estado líquido.

Así también se eligió el aceite lubricante comercial de la empresa Chuanqing Drilling Engineering Company Limited (CCDC) denominado "CCDC DFL-1" (su composición principal es aceite vegetal), para la comparación de las diferentes pruebas.

3.2 OLEÍNA DE PALMA OBTENIDA

Se empleó el fruto de palma africana de tipo tenera, se logró la extracción del aceite de palma crudo, se lo desgomó, blanqueó y finalmente se obtuvo oleína de palma pura mediante el proceso de fraccionamiento (winterización), para su aplicación en el fluido de perforación como lubricante.

La oleína de palma que se extrajo presentó un color rojo anaranjado, un olor al fruto de la palma africana y un estado líquido a temperatura ambiente.

3.3 PRUEBAS DEL ÍNDICE DE VISCOSIDAD E ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN

Los resultados de las pruebas ejecutadas con ambos aceites en estado puro, se colectaron y ubicaron en las tablas 5 - 6 para su posterior comparación y análisis.

Tabla 5. Resultados del índice de viscosidad

Aceite	Norma aplicada	Índice de viscosidad
Aceite de oleína de palma	ASTM D-2270	208
Aceite lubricante comercial	ASTM D-2270	202

En el mercado existe una gama de productos lubricantes para las diferentes industrias, un parámetro de calidad en lubricantes es su índice de viscosidad; el producto; Automotive Hydraulic oil SAE 20W de la empresa AM Múltiple (2015) presenta un índice de viscosidad de 185, este lubricante es de alta calidad, diseñado para usarse en sistemas hidráulicos de máquinas agrícolas, y en equipos de construcción y minería. Debido a su elevado índice de viscosidad este producto presenta una alta estabilidad térmica, lo que le permite conservar su capacidad lubricante al trabajar a elevadas temperaturas.

Dado los resultados de los índices de viscosidad, para el aceite desarrollado de 208 y el comercial de 202, se determinó que ambos aceites poseen una alta estabilidad térmica, debido a sus elevados índices de viscosidad, es decir presentan variaciones pequeñas en sus viscosidades a temperaturas de operación manteniendo sus capacidades lubricantes.

Los aceites lubricantes al presentar esta característica (altos índices de viscosidad), aseguran un óptimo rendimiento del fluido de perforación en lo referente a la conservación de la película lubricante formada (en las superficies metálicas) al exponerse a las condiciones térmicas de trabajo.

Tabla 6. Resultados del índice de saponificación

Aceite	Norma aplicada	Índice de saponificación
Aceite de oleína de palma	INEN 040	195
Aceite lubricante comercial	INEN 040	170

Según la empresa Jabones de Casa (2016) los valores de índices de saponificación para aceites vegetales varían entre 90 y 270 con el empleo de hidróxido de potasio como medio alcalino. Mientras más elevado sea este valor, mayor será la cantidad de solución alcalina que se requiere para la formación de jabón.

Obtenidos los resultados del índice de saponificación de 195 para la oleína de palma y de 170 para el lubricante comercial, se determinó que el primer lubricante requiere una mayor cantidad de hidróxido de potasio o hidróxido de sodio que el segundo, para la formación de jabón.

La importancia de este parámetro radica en evitar la formación de jabón, que en presencia de agua, aire y agitación produce espuma, esta espuma al encontrarse en el fluido de perforación conlleva algunos problemas, como: cavitación de la bomba, pérdida de la señal de la herramienta MWD (Measurement While Drilling), disminución de la densidad y pérdida de la capacidad de limpieza de cortes.

3.4 PRUEBAS DE REOLOGÍA, FILTRADO Y COEFICIENTE DE LUBRICIDAD

Los resultados obtenidos en estas pruebas del fluido de perforación sin lubricante y en formulación con los aceites, se recopilaron en las tablas 7-8-9 para su posterior comparación y análisis.

Tabla 7. Resultados de la prueba reológica

Fluido de perforación	Norma aplicada	Viscosidad plástica (cP)	Punto cedente (lb/100pies²)
Sin lubricante	API 13B – 1	5	12
Con aceite de oleína de palma	API 13B – 1	8	8
Con aceite lubricante comercial	API 13B – 1	9	6

La viscosidad plástica del fluido de perforación con oleína subió en tres unidades, mientras que con el lubricante B se incrementó en cuatro unidades, con respecto al fluido sin lubricante.

Por otro lado, el valor del punto cedente con la implementación del aceite obtenido disminuyó en cuatro unidades y en seis unidades con el aceite comercial, ambos con respecto al fluido de perforación sin lubricante.

Con los datos reológicos obtenidos de la tasa de corte y el esfuerzo de corte para cada fluido, se generó la gráfica que se presenta a continuación:

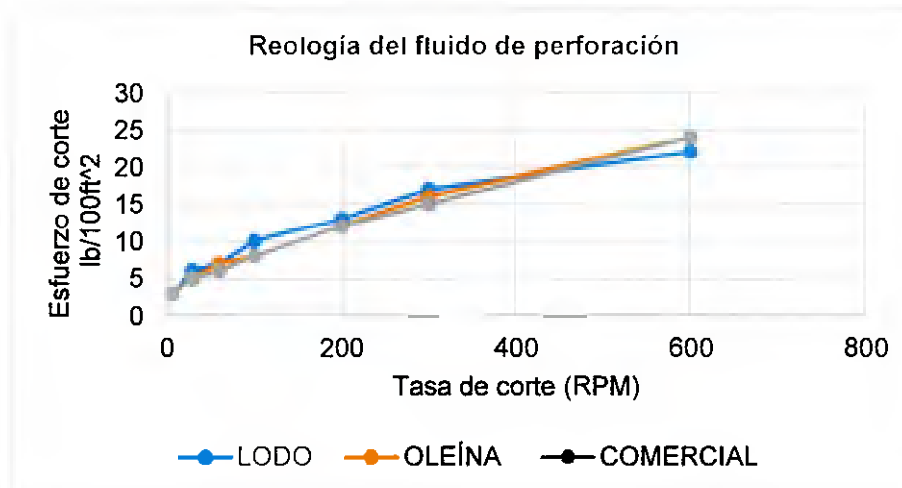


Figura 2. Comportamiento reológico de los fluidos de perforación formulados

Al observar el gráfico se confirmó que el comportamiento reológico de un fluido de perforación es el de un fluido newtoniano de tipo tixotrópico, donde se determinó que al incorporar al lodo los aceites presentaron una ligera modificación en su comportamiento reológico, con respecto al fluido sin lubricantes que se lo constató con los valores de la viscosidad plástica y punto cedente, pero no se la considera significativa.

Tabla 8. Resultados de la prueba de filtrado

Fluido de perforación	Norma aplicada	Volumen de filtrado (ml)
Sin lubricante	API 13B – 1	32
Con aceite de oleína de palma	API 13B – 1	35
Con aceite lubricante comercial	API 13B – 1	14

La prueba de filtrado "indica la cantidad relativa de líquido que se filtra a través del revoque hacia las formaciones permeables, cuando el fluido es sometido a una presión diferencial" (PDVSA, 2002). Se debe evitar pérdidas del fluido de perforación por filtrado puesto que representaría costos por reposición del fluido y podría ocasionar daños a la formación.

El valor del filtrado del fluido de perforación fue de 32 ml, con el empleo del aceite obtenido, su valor incrementó 3 puntos, mientras que con el uso del aceite lubricante, el filtrado se redujo a 14 ml.

Por lo que se determinó que usando el aceite comercial, el filtrado disminuyó de manera significativa en un 56% aproximadamente, mientras que con el uso de oleína de palma se incrementó en alrededor del 9%, este incremento se lo considera como no significativo. Lo que se busca al emplear un aceite lubricante principalmente es que no afecte de manera significativa a parámetros que no sean afines a su objetivo para poder emplearlos como tal.

Tabla 9. Resultados de la prueba de lubricidad

Fluido de perforación	Norma aplicada	Coefficiente de lubricidad
Sin lubricante	API 13B – 1	0.163
Con aceite de oleína de palma	API 13B – 1	0.121
Con aceite lubricante comercial	API 13B – 1	0.055

La prueba de lubricidad mide el coeficiente de fricción entre el anillo de prueba y el bloque, que es la relación existente entre la lectura del torque y la fuerza aplicada. Esta prueba simula la rotación de la tubería de perforación contra las superficies del pozo. Los resultados son expresados como un valor único llamado coeficiente de lubricidad (Rosero, 2013). El coeficiente de lubricidad es una medida más precisa al considerar la varianza (Factor de Corrección) que la máquina registra cuando se calibra contra el agua desionizada (OFITE, 2015).

Según García (2008) para lodos de perforación en la industria petrolera los siguientes coeficientes de lubricidad son reconocidos como aceptables:

- ✓ Para lodo base agua, un coeficiente < 0.2
- ✓ Para lodo base aceite, un coeficiente < 0.1
- ✓ Para lodos base éster, un coeficiente < 0.1

En la tabla se observó que el coeficiente de lubricidad del lodo sin lubricante es de 0.163 lo cual ratifica que se trata de un lodo base agua puesto que es menor a 0.2. Luego con el empleo de los aceites este disminuyó en las siguientes proporciones. El valor de coeficiente de lubricidad para la oleína de palma disminuyó en más del 26%, mientras que con el aceite comercial, se redujo en más del 66%.

Con estos resultados se determinó que ambos productos, tanto el aceite lubricante como el aceite desarrollado, cumplen con su finalidad que es la de lubricar, con lo cual ayudaría a reducir el desgaste de la superficies metálicas de la sarta de perforación mediante la disminución de la fricción entre dicha sarta y las paredes del pozo.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Se seleccionó la palma africana, siendo esta la materia prima de mayor producción en el Ecuador para la obtención de aceite, ocupando una superficie de más de 200.000 Ha y se eligió la oleína de palma pues a temperatura ambiente se presenta en estado líquido.
- El índice de viscosidad que presentó el aceite obtenido fue de 208 similar al del aceite comercial cuyo valor fue de 202, por lo cual con éstas características ambos aceites, poseen la capacidad de conservar la película lubricante formada en las superficies metálicas al trabajar a altas temperaturas.
- El índice de saponificación que presentó la oleína de palma fue de 195 y del aceite comercial fue de 170, por lo cual el aceite obtenido necesitaría una mayor cantidad de hidróxido de potasio o hidróxido de sodio que el comercial, para la formación de jabón, lo cual produciría espuma que conllevaría a una cavitación de la bomba, pérdida de la señal de la herramienta MWD, disminución de la densidad y pérdida de capacidad de limpieza de los cortes.
- Se concluyó que el comportamiento reológico del fluido de perforación con los aceites presentó ligeras variaciones con respecto al del fluido sin lubricantes, por lo que no modificó significativamente a sus propiedades reológicas originales.
- En la prueba de filtrado con el empleo del aceite comercial, éste disminuyó de manera significativa en un 56% aproximadamente, mientras que con la utilización del aceite obtenido se incrementó en alrededor del 9%, considerándose este valor como no significativo, para poder aplicarlo en un fluido de perforación.
- En la prueba de lubricidad el coeficiente para la oleína de palma disminuyó en más del 26%, mientras que con el aceite comercial, se redujo en más del 66%, con respecto al fluido sin lubricantes, por lo tanto ambos aceites cumplieron con su finalidad de lubricar, debido a la disminución de la fricción entre las superficies metálicas.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda obtener una oleína lo más pura posible, debido a que la existencia de estearina podría ocasionar la cristalización de pequeñas partículas del aceite y provocar la formación de sólidos a temperatura ambiente, las cuales afectarían las propiedades presentadas de la oleína de palma.
- El aceite comercial de la empresa CCDC contiene aditivos que mejoran sus propiedades lubricantes, mientras que el aceite desarrollado en el presente trabajo de titulación es puro, por ello se recomienda realizarse ensayos con aditivos que mejoren sus propiedades hasta llegar a las características del lubricante comercial.
- Se recomienda realizar pruebas con otros aceites vegetales cuya producción sea de procedencia nacional para sustituir los productos lubricantes importados para fluidos de perforación y que cumplan con normativas ambientales.

5. BIBLIOGRAFÍA

5. BIBLIOGRAFÍA

- Acepalma. (2009). *Productos y Servicios: Aceites y Derivados*. Obtenido de acepalma.com: <http://www.acepalma.com/Productos.php>
- AGRYTEC. (2011). *Artículos técnicos: Palma africana en el Ecuador*. Obtenido de Agrytec.com: http://agrytec.com/agricola/index.php?option=com_content&id=3468:palma-africana-en-el-ecuador&Itemid=43
- AM Múltiple. (2015). *Productos: Aceites*. Obtenido de ammultiple.com: <http://ammultiple.wixsite.com/ammultiple/grasas-c4m6>
- Amagua, R. (13 de mayo de 2016). Proceso de Extracción de la Oleína a Partir del Fruto de Palma Africana . (L. J. Benítez Pérez, Entrevistador)
- Amoco oil & Petroleum. (2016). *Producimos: Aditivos para petróleo*. Obtenido de Spanish Website AMOCO®: <http://www.amocoargentina.com/p/aditivos-petroleo.html>
- API Recommended 13B-1. (2003).
- Bailey, A. E. (1984). *Aceites y grasas industriales*. Barcelona - Bogotá - Buenos Aires - Caracas - México: Reverté, S.A. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=xFjGDCmLuKQC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- CCDC. (5 de Octubre de 2015). Hoja de Datos de Seguridad de Materiales. *CCDC DFL-1*. Chengdu, Sichuan, P. R. China.
- Cuero, J. (2010). *Diseños de un sistema contable de control de los costos de producción de palma africana para mejorar la rentabilidad de la finca "San Pedro"-Puerto Quito 2010*. Santo Domingo. Obtenido de https://app.ute.edu.ec/sict/Biblioteca/visor/abrir_pedido_digital.aspx?mat_bib_reg=042119035158139011054069175065161132251236093174&mat_bib_dig_cod=107163218125254205216196054116130153004044136173&lectura=107163218125254205216196054116130153004044136173&i
- Fedapal. (2016). *Estadísticas Nacional: Producción, Consumo y Excedentes de Palma Africana*. Obtenido de fedapal.com: <http://fedapal.com/web/index.php/joomla/estadisticas-nacionales>

- García, A. P. (2008). *Formulación de un Fluido para Perforar la Zona de 8 1/2 de los Pozos del Campo Velásquez*. Bucaramanga. Obtenido de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2008/125933.pdf>
- Guoron, A. (25 de Noviembre de 2011). *Cultivo de Palma Africana*. Obtenido de [blogspot.com: http://cultivodepalmaafricana.blogspot.com/2011/11/tipos-de-palma-africana-de-aceite.html](http://cultivodepalmaafricana.blogspot.com/2011/11/tipos-de-palma-africana-de-aceite.html)
- Halliburton. (s.f). *Manual de Educación Continua Entrenamiento de Fluidos para Representantes de Servicio de Campo*. Houston: Learning Center.
- Indupalma. (2012). *Productos: Aceite de palma*. Obtenido de [indupalma.com: http://www.indupalma.com/aceite-de-palma](http://www.indupalma.com/aceite-de-palma)
- INEN. (Agosto de 1973). *Grasas y Aceites Comestibles. Determinación del Índice de Saponificación, 40*. Quito, Ecuador.
- Jabones de Casa. (2016). *Mi Rincón: Información y Tablas útiles*. Obtenido de [jabonesdecasa.com: http://www.jabonesdecasa.com/p/haz-tu-jabon.html](http://www.jabonesdecasa.com/p/haz-tu-jabon.html)
- Lozano, P. (5 de Febrero de 2017). *El Mundo: Bienestar*. Obtenido de [ELMUNDO.es: http://www.elmundo.es/vida-sana/bienestar/2017/02/05/58945db2e5fdea49478b4685.html](http://www.elmundo.es/vida-sana/bienestar/2017/02/05/58945db2e5fdea49478b4685.html)
- Martínez. (2005). *Metodología para la evaluación de procesos de tratamiento y opciones de disposición de desechos de perforación generados costa afuera*. Bucaramanga. Obtenido de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/1027/2/118024.pdf>
- Martínez, R. (2012). *Análisis de un fluido de perforación base amina, PHPA y GLICOL para determinar la efectividad de la trietanolamina como controlador de PH*. Quito. Obtenido de http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/6041/1/48394_1.pdf
- OFITE. (2015). *EP (Extreme Pressure) and Lubricity Tester*. Obtenido de [Instruction Manual: http://www.ofite.com/doc/112-00_instructions.pdf](http://www.ofite.com/doc/112-00_instructions.pdf)
- Oleofinos. (2010). *Inicio: La palma africana*. Obtenido de [palma.aceitescomestibles.com: http://palma.aceitescomestibles.com/index.php?option=com_content&view=article&id=5&Itemid=1](http://palma.aceitescomestibles.com/index.php?option=com_content&view=article&id=5&Itemid=1)
- PDVSA. (2002). *Fluidos de Perforación (Vol. I)*. Caracas.
- PDVSA. (Febrero de 2005). *Fluidos de Perforación. Fluidos*.

- Pilco, G. (2015). *Optimización del proceso de extracción de Unguragua (oenocarpus bataua) en función del rendimiento*. Ambato. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/9366/1/AL%20558.pdf>
- Pozo, & Bolivar. (2015). *Estudio para mejorar el proceso de tratamiento de aguas y manejo de sólidos de los fluidos de perforación en pozos del oriente ecuatoriano*. Quito, Ecuador. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10268/3/CD-6132.pdf>
- Ramos, F. (Enero de 2008). *Los Lubricantes en la Industria del Automovil*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Repsol. (2008). *Aceites Grasas Principios. Lubricantes*.
- Repsol YPF. (Septiembre de 2004). *Servicio Técnico Lubricantes. Lubricación sistemas de engranajes*.
- Rosero, V. (2013). *Estudio para determinar la concentración efectiva del surfactante para minimizar el embolamiento de la sarta de perforación y broca en el campo Shushufindi*. Quito, Ecuador.
- Sánchez, E. (2012). *Análisis de rentabilidad de un cultivo de palma aceitera híbrida (oxg) en la provincia de Orellana*. Quito. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/5560/T-PUCE-5791.pdf?sequence=1>
- Uba. (2016). *Materias: Lubricantes*. Obtenido de uba.ar: <http://materias.fi.uba.ar/7201/LUBRICANTES-I.pdf>

6. ANEXOS

6. ANEXOS

ANEXO 1

BAÑO TERMOSTÁTICO KOEHLER



ANEXO 2

VISCOSÍMETRO DE VIDRIO KOEHLER



ANEXO 3

VISCOSÍMETRO DE INDICACIÓN DIRECTA OFITE MODELO 800



ANEXO 4

FILTRO PRENSA API OFITE



ANEXO 5

EQUIPO DE PRUEBA DE LUBRICIDAD / EP OFITE

