

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL USO DEL BIODIESEL COMO FASE CONTINUA EN LADOS DE PERFORACIÓN DE EMULSIÓN INVERSA

Fabio Ernesto Benavides Ayala¹, Jimmy Quintero Gómez¹, Emiliano Ariza León²

RESUMEN

En la perforación de pozos tienen mucha importancia los lodos de perforación de emulsión inversa, debido al sustancial incremento de la tasa de perforación y a la estabilidad de la formación que éstos proporcionan, pero con el agravante económico y ambiental que estos conllevan. Este trabajo de investigación, tiene como propósito fundamental investigar tecnologías alternativas como el Biodiesel que proporcionen más eficiencia, menos costos y por supuesto menor impacto ambiental.

Este trabajo se fundamenta en la investigación y elaboración de un paralelo de ventajas y desventajas que se tiene utilizando biodiesel como fase continua en los lodos de perforación, con respecto a los fluidos tradicionales que usan base diesel. Dentro de las pruebas se incluyeron ensayos de filtración a alta presión y alta temperatura (HPHT), pruebas de reología, densidad, filtrado API y pruebas químicas para lodos base aceite.

La generación de un lodo base biodiesel traerá consigo varios aportes a la industria, entre ellos la obtención de un propio lodo de perforación no tóxico y biodegradable aplicable para ecosistemas altamente sensibles como pantanos, selvas y costa afuera, procurando un avance tecnológico en lodos de perforación en Colombia y generando oportunidades de negocio al orientar este fluido con miras de un producto que genere dividendos adicionales por su comercialización.

Palabras claves: Estudio de factibilidad, Fluidos de perforación, Biodiesel, Emulsión Inversa.

ABSTRACT

In well drilling, have a lot of importance the inverse emulsion drilling fluids, due to the increase of the drilling rate and the stability of the formation, but with the inconvenient of the economical cost and the environmental treatment. This investigation work has as fundamental goal to research in alternative technologies such as biodiesel that provide more efficiency, less costs and a lower environmental impact.

This work is based in the research and elaboration of a parallel between drilling fluids that use diesel as continuous phase and those that use biodiesel, mainly showing advantage and disadvantages. Among the test that were conducted are: high pressure, high temperature filtration (HPHT), reology, density, API filtration and chemical test for oil based drilling fluids.

The formulation of a biodiesel based drilling fluid will bring several contributions to the industry, including the obtention of an own drilling fluid non toxic and biodegradable which can be use in sensitive ecosystems like wetlands, forest and in offshore drilling, trying an technological advance in drilling fluids in Colombia and generating business opportunities because of its marketing.

Key words: Study of Factibility, drilling fluids, Biodiesel, Inverse Emulsion.

¹ Ingeniero de Petróleos. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.

² M.Sc. en Ingeniería de Hidrocarburos. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. E-Mail: earizal@uis.edu.co.

INTRODUCCIÓN

Una de las principales causas de contaminación en la perforación de pozos es el uso de lodos de emulsión inversa, pero también este tipo de lodo es beneficioso para la eficiencia de la perforación; se utilizan en casos donde se requiera de una alta estabilidad del fluido para inhibición de arcillas, en pozos de alta temperatura, huecos profundos, para evitar pegas y desestabilización del hueco y en corazonamiento de zonas productoras; además son altamente tolerantes a los contaminantes debido a la baja interacción entre el aceite y la formación. Estos lodos ofrecen máxima lubricidad reduciendo torque y arrastre, protección excepcional contra la corrosión, al mismo tiempo que sus productos son estables térmicamente y resistentes a las bacterias.

Generalmente el aceite que se utiliza es el diesel o aceites minerales de origen hidrocarburo, pero son contaminantes al medio ambiente. En las últimas décadas se ha enfocado la investigación con aceites vegetales que son biodegradables y reducen la contaminación al medio ambiente. En la escuela de Ingeniería de Petróleos se han desarrollado investigaciones sobre el uso de esos aceites: En 2002 se realizaron investigaciones con aceite de palma [1] y en 2008 con glicerina [2] dando propiedades reológicas muy altas.

Teniendo en cuenta el incremento de la producción de biodiesel en Colombia y los bajos índices de contaminación que este producto de origen vegetal maneja, es posible que su uso como fase continua genere más beneficios que los obtenidos con lodos de emulsión inversa usados actualmente sin que esto implique un aumento de los costos de la operación. Con las experiencias de las anteriores investigaciones se decidió estudiar la factibilidad del uso del biodiesel como fluido base, a través de la realización de una serie de pruebas para evaluar si el comportamiento de sus propiedades está dentro de las especificaciones que debe cumplir un fluido de perforación.

Esta investigación presenta una nueva opción para la industria petrolera y la importancia de aplicar las tecnologías alternativas, utilizando productos naturales y biodegradables.

FLUIDOS DE PERFORACIÓN

El fluido de perforación posee características fisicoquímicas apropiadas y puede tener como fase continua aire, gas, agua, petróleo o una combinación de agua y aceite. Los fluidos de perforación cumplen

varias funciones dentro del proceso de perforación para garantizar la seguridad, rapidez y efectividad en esta operación.

FUNCIONES DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN

Las funciones del fluido de perforación describen las tareas que éste es capaz de desempeñar, aunque algunas no sean esenciales en cada pozo.

Las funciones del fluido de perforación más comunes son nombradas a continuación:

- Controlar las presiones de la formación.
- Suspender y descargar los recortes de roca perforados.
- Mantener la estabilidad del hueco.
- Minimizar los daños a la formación.
- Enfriar y lubricar la broca y la sarta de perforación.
- Ayudar a sostener el peso de la tubería, mediante el empuje ascendente.
- Asegurar la evaluación adecuada de la formación.
- Controlar la corrosión.
- Facilitar la cementación y el completamiento.
- Minimizar el impacto sobre el medio ambiente

TIPOS DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN

Básicamente existen tres tipos de fluidos de perforación: Lodos base agua, base aceite y neumáticos; esta investigación se enfoca en lodos base aceite.

LODOS BASE ACEITE

Los lodos base aceite forman parte de la gran gama de fluidos de perforación que deben cumplir ciertas particularidades para trabajar en lugares y condiciones especiales, surgieron para suprimir las deficiencias presentadas por los lodos base agua. Problemas como hidratación de arcillas, contaminaciones frecuentes, manejos de presiones y temperaturas, y muchos otros, contribuyeron para que la industria de la perforación los implementara.

Un lodo base aceite no es más que una mezcla de sustancias con determinadas propiedades que se agregan a una emulsión en donde la fase dispersa corresponde al agua y la fase continua al aceite (petróleo crudo o diesel)

a este tipo de lodo se le denomina de emulsión inversa. El aceite agregado debe poseer un peso específico entre 28° y 36° API; tener un punto de anilina elevado de 135 °F o más, con el propósito de prevenir el deterioro prematuro de equipos con empaques o partes de goma [3]; un alto punto de inflamación (mayor a 180 °F) y bajo punto de congelación, lo que reduce el riesgo de accidentes, además que permite su utilización en ambientes de extremo frío y calor.

Emulsion La emulsión es una dispersión de dos líquidos inmiscibles entre sí, como por ejemplo, agua y aceite en presencia de un emulsificante. La emulsión puede ser normal si el aceite está disperso en el agua, o inversa si el agua es la fase dispersa y el aceite es la fase continua. En la Figura 1 se puede apreciar las gotas de aceite en agua.

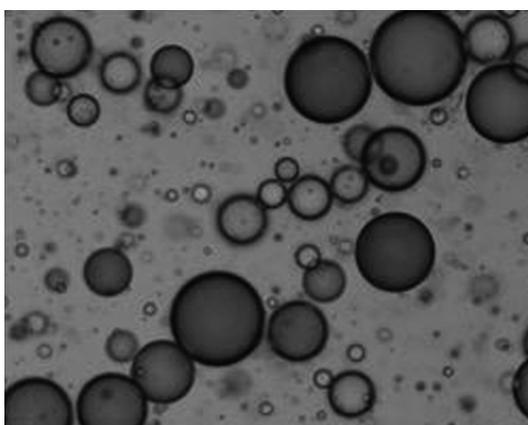


Figura 1. Emulsión de aceite en agua Fuente:http://miscelaneadejac.blogspot.com/2008_11_01_archive.html

Para probar la estabilidad de la emulsión se puede utilizar dos métodos: el probador de emulsiones y la filtro prensa de alta presión y temperatura (HPHT).

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LODOS BASE ACEITE

En la tabla 1 se presentan las principales ventajas y desventajas del uso de lodos base aceite.

Tabla 1. Ventajas y desventajas del uso de lodos base aceite

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> Buenas propiedades reológicas a temperaturas superiores a 500°F. 	<ul style="list-style-type: none"> Alto costo inicial. Requiere control para evitar problemas de contaminación ambiental.

- Son más inhibidos que los lodos base agua inhibida.
- Disminuyen los problemas de corrosión.
- Características de lubricación superiores.
- Permite densidades bajas del lodo.
- Reduce la efectividad en la lectura de algunas herramientas de registros.
- El tratamiento para remediar las pérdidas de circulación es más difícil.
- Dificulta la detección de patadas de gas debido a la solubilidad de este en el aceite.

Fuente: Bourgoyne J.r Adam et al. *Applied Drilling Engineering, chapter 2, SPE 1986.*

LODOS DE EMULSIÓN INVERSA

Comercialmente existen muchos lodos de emulsión inversa, cuyo nombre generalmente corresponde al emulsificante principal.

Los lodos de emulsión inversa (Base aceite) se clasifican en 4 categorías [4].

100% Aceite. Los sistemas 100% base aceite o con un contenido de agua mínimo son generalmente usados para las operaciones de extracción de núcleos donde se desea evitar la invasión del fluido de perforación que contiene agua emulsionada o cambios de la humectabilidad causados por altas concentraciones de emulsificantes y agentes humectantes. También son utilizados para perforar en condiciones de altas presiones y altas temperaturas (hasta 500 °F).

Filtrado relajado. Son lodos los cuales tiene bajas concentraciones de emulsificantes y de agentes controladores de filtrado. El aumento de filtrado promueve unas tasas de perforación más altas que los sistemas de emulsión apretadas. El volumen de filtrado en el lodo HT-HP es de 15-20 cc, y son estables a temperaturas menores de 325 °F (163 °C).

De alto contenido de agua. Llamados también sistemas de 50/50 (relación agua-aceite) o de alto contenido de agua. Estos fluidos fueron desarrollados para cumplir ciertas reglamentaciones ambientales con respecto a la cantidad de aceite adherido a los cortes de perforación que se descargan a fuentes de agua como el mar. Este sistema es aplicable a temperaturas menores a 250 °F.

Emulsión firme. Estos sistemas usan una alta concentración de emulsificantes y de agentes controladores de filtrado para asegurar una máxima

estabilidad de la emulsión y una mínima pérdida de filtrado. El volumen de filtrado en la prueba HT-HP es normalmente menor de 15cc, y debe contener sólo aceite. Ofrecen estabilidad de la emulsión a altas temperaturas y tolerancia a los contaminantes. Se aplica principalmente en formaciones con alta temperatura (hasta 500 °F).

PREPARACIÓN DE LODOS DE EMULSIÓN INVERSA

Es indispensable seguir rigurosamente el procedimiento en la mezcla de sus componentes para conseguir una preparación del lodo de emulsión inversa muy eficiente.

Este procedimiento es descrito a continuación [5] :

Paso 1. Agregar a la cantidad de aceite (según relación agua/aceite) el controlador de filtrado, agitar durante mínimo 15min.

Paso2. En un recipiente separado agregar la sal (CaCl_2) al agua y agitar durante 15 min.

Paso3. Agregar el agente emulsificante principal, al aceite (paso 1), y agitar durante mínimo 15 min.

Paso4. Agregar la salmuera a la muestra anterior, agitar durante mínimo 15 min.

Paso5. Agregar a la muestra anterior el emulsificante secundario y agitar durante mínimo 15 min.

Paso6. Agregar a la mezcla anterior la Cal y agitar durante mínimo 15 min.

Paso7. Agregar el material pesante y agitar durante mínimo 15 min.

BIODIESEL

El Biodiesel es un aceite que se obtiene a partir de una gran variedad de materias primas agrícolas (aceites vegetales y/o grasas animales) y metanol [6].

La obtención de Biodiesel es sencilla y no requiere de una infraestructura avanzada, se parte de un aceite vegetal que se somete a un proceso de transesterificación en la cual reaccionan el aceite o las grasas con un alcohol monohídrico (metanol) en presencia de un catalizador, al finalizar este proceso se puede obtener el Biodiesel que sustituirá al Diesel convencional, fomentando un desarrollo sostenible, debido a que es renovable y amigable con el medio ambiente.

CARACTERÍSTICAS DEL BIODIESEL

El biodiesel es un combustible ecológico de origen renovable, biodegradable y amigable con el medio ambiente, disminuye en un 90% la cantidad de hidrocarburos totales no quemados y entre el 75% - 90% en los hidrocarburos aromáticos, con un contenido de 11% de oxígeno en peso y un 0% de azufre [7].

PRINCIPALES DIFERENCIAS ENTRE EL DIESEL Y EL BIODIESEL

De la comparación entre el Biodiesel y el Diesel se puede sacar las siguientes conclusiones [8]:

- La densidad y la viscosidad cinemática aumentan notablemente respecto al Diesel.
- El punto de fusión es más favorable para el diesel frente al biodiesel. Esto es sobre todo importante en las regiones frías.
- El índice cetano, que tiene que ver con el funcionamiento de los motores es superior en el metil éster respecto del diesel. Esta diferencia se hace más notable en aquellos metilésteres con mayor cantidad de ácidos grasos saturados y se constituyen en buenos aditivos para mejorar el índice de cetano.
- La destilación en general no está tomada en cuenta en las normas de especificación, porque el Metiléster (en realidad una mezcla de metil ésteres) tiene un rango muy estrecho.
- El Punto de inflamación es muy superior al del diesel, por lo que le garantiza mayor seguridad en la manipulación y almacenamiento.
- No contiene azufre.
- El poder calorífico no se modifica notablemente, aunque es menor en el Biodiesel.

PROPUESTA PARA USO DEL BIODIESEL COMO FASE CONTINUA DE LOS LODOS BASE ACEITE

Esta investigación de la utilización del biodiesel, surge como la continuación de investigaciones realizadas previamente con la finalidad de encontrar un sustituto a la fase continua que sea amigable para el medio ambiente, entre estos posibles sustitos han sido analizados en investigaciones anteriores en la Escuela

de Ingeniería de Petróleos en la Universidad Industrial de Santander productos vegetales tales como el aceite de palma y la glicerina. A nivel internacional se conocen estudios con diversos aceites vegetales como la soya el ajonjolí y otros más, cuya finalidad tiene el mismo objeto de esta investigación.

CARACTERIZACIÓN DEL BIODIESEL Y DIESEL

Dentro del presente trabajo de investigación fueron caracterizados los aceites biodiesel (de palma) y diesel y los resultados se presentan en la Tabla 2.

Estas pruebas fueron realizadas en el laboratorio de fluidos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos de la Universidad Industrial de Santander y es importante resaltar que se hizo repetitividad por cada propiedad y se tomó el valor medio.

Tabla 2. Caracterización del Biodiesel y Diesel.

PROPIEDAD	BIODIESEL	DIESEL
Temperatura Ambiente	82.5 °F	82.5
Gravedad °API	31.8 °API	34.3 °API
Densidad	0.867 g/cc	0.853 g/cc
Punto de Relampagueo	344 °F	184°F
Punto de Fuego	378 °F	192 °F
Punto de Anilina	>200°F	154.6 °F

Las propiedades del biodiesel cumplen con las exigencias de los aceites para ser utilizado en fluidos de perforación.

También se evaluó el comportamiento de la viscosidad del diesel y biodiesel con la temperatura utilizando el viscosímetro Saybolt que se basa en el principio de flujo por gravedad de un volumen determinado de líquido que pasa a través de un orificio calibrado. Se hizo repetitividad y se tomó el promedio; los resultados se muestran en la Tabla 3 y figura 2.

A pesar de que las viscosidades del biodiesel son relativamente superiores a las del diesel, son bajas y brindan una buena opción para ser utilizado como base en lodos de emulsión inversa.

Tabla 3. Viscosidad del Biodiesel y Diesel a diferentes temperaturas con el valor medio

T (°F)	μ Biodiesel (cP)	μ Diesel (cP)	Variación %
80	4,83	4,33	11.5
110	3,23	2,54	27.2
150	2,23	1,19	87.4
190	1,17	0,73	60.3
210	0,91	0,47	93.6

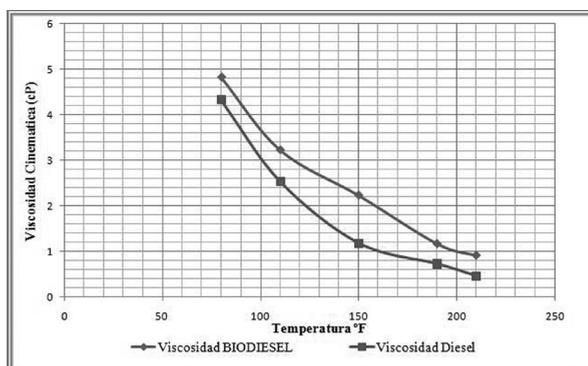


Figura 2. Variación de la viscosidad del Biodiesel y el Diesel a diferentes temperaturas

PRUEBAS DE COMPATIBILIDAD

Los aditivos para lodos de perforación de emulsión inversa fueron colocados individualmente en contacto con el BIODIESEL, para observar su grado de compatibilidad; esta prueba se realizó durante dos meses realizando observaciones periódicas; el resultado se puede apreciar en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados de compatibilidad

Muestra	Biodiesel
Biodiesel + Viscosificante	Compatible
Biodiesel + Controlador de Filtrado	Compatible
Biodiesel + Emulsificante Primario	Compatible
Biodiesel + Emulsificante Secundario	Compatible
Biodiesel + Cal	Compatible
Biodiesel + CaCl ₂	Compatible

Se dice que la muestra es incompatible si se nota alguna reacción adversa entre las dos sustancias como formación y precipitación de sólidos de tamaño considerable, formaciones de gas, cambios en la viscosidad o fluidez de la muestra.

En este caso no se observó ninguna alteración entre el aditivo y el biodiesel, siendo compatible con cada uno de ellos.

PRUEBAS DE LABORATORIO

En la Tablas 5 y 6 se presentan los resultados de las pruebas realizadas a lodos base aceite biodiesel y base aceite diesel respectivamente, preparados con diferentes relación agua aceite

Tabla 5. Resultado de pruebas con Biodiesel

Variables	Unidades	100% Aceite	Firme 80/20	Firme 60/40	Relajado 80/20	Relajado 60/40	% Agua 50/50	% Agua 40/60
Ø600	lb/100 ft ²	14	32.5	160	42	183	230	>300
Ø300	lb/100 ft ²	7	18	124	26	151	180	>300
Ø200	lb/100 ft ²	5	13	84	19	135	158	276
Ø100	lb/100 ft ²	2.5	8	42	14	116	128	230
Ø6	lb/100 ft ²	1	3	24	7	55	60	121
Ø3	lb/100 ft ²	1	2.5	16	4	28	41	75
Resistencia Gel 10 ³ /10 ⁷		1/1	2/2.5	12/16	3/4	22/24	37/41	65/70
VP	cP	7	14.5	36	16	32	50	---
VA	cP	7	16.25	80	21	91.5	115	---
YP	lb/100 ft ²	0	3.5	88	10	119	130	---
YS	lb/100 ft ²	1	2	8	1	1	22	29
HPHT 300 °F y 500 psi	MI	2	2	2.6	2	2	6	4
Peso Lodo	Lpg	7.5	6.1	7.2	7.5	7.65	7.45	7.9
Cl	mg/L	6000	6000	5000	4000	5000	4000	3000
% Agua	%(vol)	0	20	36	15	38	48	58
% Aceite	%(vol)	88	52	50	63	44	40	24
% Sólidos	%(vol)	12	28	14	22	18	12	18
	x/32"	4/32	No se Forma	<1/32	2/32	1/32	1/32	<1/32
Cake		Consist.	No se Forma	Inconsist.	Inconsist.	Inconsist.	Inconsist.	Inconsist.
		Plástica	No se Forma	Quebradiza	Quebradiza	Quebradiza	Quebradiza	Plástica

Tabla 6. Resultado de pruebas con Diesel

Variables	Unidades	100% Aceite	Firme 80/20	Firme 60/40	Relajado 80/20	Relajado 60/40	% Agua 50/50	% Agua 40/60
∅600	lb/100 ft ²	15	33	86	37	150	150	260
∅300	lb/100 ft ²	9.5	19	61	21.5	101	104	191
∅200	lb/100 ft ²	6.5	13	50	16	77	91.5	165
∅100	lb/100 ft ²	4	8	38	11	54	69	130
∅6	lb/100 ft ²	1.5	3	18	5	14	33	69
∅3	lb/100 ft ²	1	2	16	3	10	29	65
Resistencia Gel 10"/10'		1/1	2/2	14/17	3/3	8/10	24/28	56/59
VP	cP	5.5	14	25	15.5	49	46	69
VA	cP	7.5	16.5	43	18.5	75	75	130
YP	lb/100 ft ²	4	5	36	6	52	58	122
YS	lb/100 ft ²	0.5	1	14	1	6	25	61
HPHT 300 °F y 500 psi	MI	1	1	1.2	4	2	2	2.4
Peso Lodo	Lpg	7.35	<6	7.5	6.2	7.3	7.45	7.6
Cl	mg/L	3000	4000	4000	4000	3000	3000	3000
% Agua	%(vol)	0	15	18	15	36	42	54
% Aceite	%(vol)	85	53	44	51	35	30	22
% Sólidos	%(vol)	15	32	38	34	29	28	24
			Película de Torta	Película de Torta	Inconsist.	Película de Torta	Inconsist.	Inconsist.
Cake		---	---	Plástica	---	Quebradiza	Quebradiza	Quebradiza
	x/32"	---	---	<1/32	---	2/32	<1/32	<1/32

En las Figuras 3, 4, 5 y 6 se presentan la viscosidad efectiva Vs la velocidad de corte y se observa un comportamiento similar y en algunos casos la viscosidad

es menor en lodos base biodiesel que base diesel, con lo cual se confirma la factibilidad del biodiesel como base de lodos base aceite.

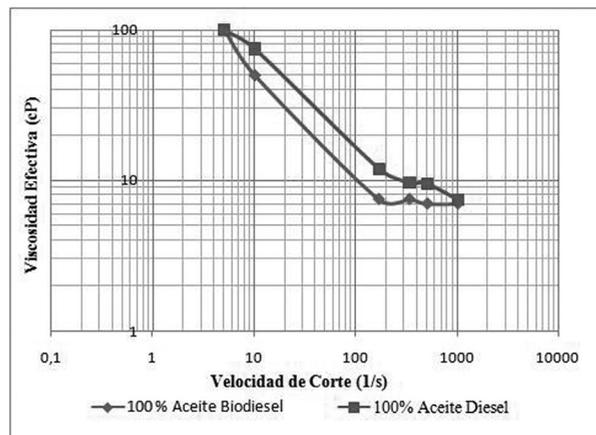


Figura 3. Viscosidad efectiva vs. Velocidad de Corte 100 % Aceite

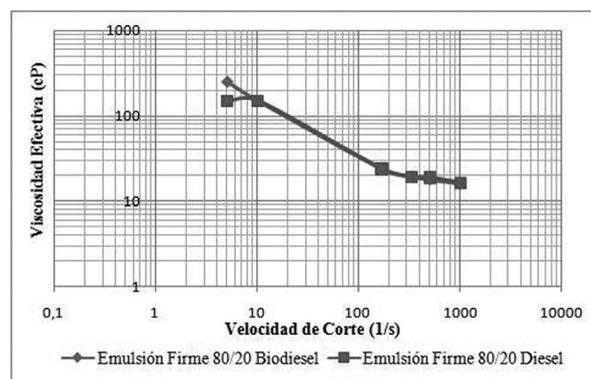


Figura 4. Viscosidad efectiva vs. Velocidad de Corte Emulsion Firme 80/20

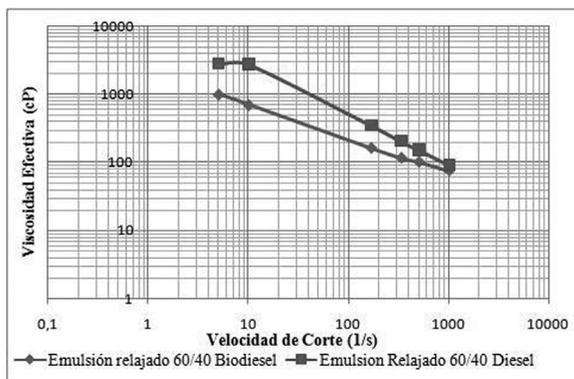


Figura 5. Viscosidad efectiva vs. Velocidad de Corte Emulsión filtrado Relajado 60/40

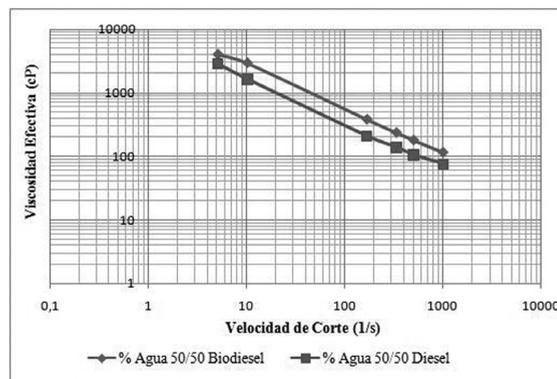


Figura 6. Viscosidad efectiva vs. Velocidad de Corte 50/50

CONCLUSIONES

- Desde el punto de vista técnico es factible emplear el Biodiesel como fase continua en lodos de emulsión inversa.
- El Biodiesel es compatible con todos los aditivos empleados en lodos de este tipo, porque ninguno presentó precipitaciones.
- La viscosidad de los lodos formulados aumentó cuando se incrementó la cantidad de agua; este aspecto genera un comportamiento pseudoplástico ideal en los lodos con mayor cantidad de agua.
- El lodo de perforación base Biodiesel es viable desde el punto de vista ambiental, lo que genera para la industria una alternativa para su uso Costa afuera y en operaciones en tierra en zonas ambientalmente sensibles.

RECOMENDACIONES

- Ampliar los estudios con la utilización de formulaciones estándar base aceite en la industria, con la disponibilidad de los aditivos necesarios para dichas formulaciones para una correcta comparación de los resultados de las propiedades de dichos lodos.
- Emplear pruebas de envejecimiento, pruebas reológicas a altas T y P, estabilidad eléctrica, pruebas de pH para lodos base aceite, pruebas de compatibilidad a altas temperaturas para estudiar más a fondo las ventajas y desventajas de los lodos base Biodiesel.
- Debido al carácter biodegradable del Biodiesel se recomienda hacer un estudio de almacenamiento del lodo para determinar los efectos que sufriría este con el paso del tiempo.

- Evitar mezclar de cualquier forma el Biodiesel con cobre o plomo, pues este presenta una reacción química con estos elementos que pueden modificar drásticamente los resultados.

REFERENCIAS

1. COSTA Sergio, RUEDA, Germán .E ARIZA Emiliano. Estudio de factibilidad del uso de aceite crudo de palma africana en lodos de perforación de emulsión inversa. UIS, 2002.
2. BERNA Tatiana; MELGAREJO Ibis; ARIZA Emiliano. Estudio de factibilidad del uso de la glicerina como fase continua en fluidos de perforación de emulsión inversa
3. RODRIGUEZ Eliserio. Guía del laboratorio de Lodos y Cementos. UIS, 2007.
4. HALLIBURTON BAROID, Manual de fluidos de Baroid, 2005
5. ARIZA León Emiliano. Guías de Procedimiento de preparación lodos base aceite, 2007.
6. ALVAREZ M. Carlos. Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico. UNAM, Julio-Agosto, 2009.
7. LONDOÑO A. Jairo. Aceites vegetales sostenibles –AVES. www.fedepalma.org
8. CIRIA J. Ignacio. Propiedades y Características de combustibles diesel y biodiesel. www.wearcheckiberica.es/documentación/.../combustibles.pdf

Recepción: 12 de noviembre de 2010

Aceptación: 15 de junio de 2011