



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN FLUIDO DE
PERFORACIÓN A BASE DE ACEITE RECUPERADO DE
MOTOR**

REALIZADO POR:

**MILAGROS DEL CARMEN CARABALLO FLORES
ANDERSON JOSÉ HERNÁNDEZ**

Trabajo especial de grado presentado como requisito parcial para optar al título

de:

INGENIERO DE PETRÓLEO

MATURÍN, OCTUBRE DE 2013



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN FLUIDO DE
PERFORACIÓN A BASE DE ACEITE RECUPERADO DE
MOTOR**

REALIZADO POR:

MILAGROS DEL CARMEN CARABALLO FLORES

C.I.: 17.487.748

ANDERSON JOSÉ HERNÁNDEZ

C.I.: 18.865.994

REVISADO POR:

ING. MARÍA GARCÍA

Asesor Académico

MATURÍN, OCTUBRE DE 2013



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN FLUIDO DE
PERFORACIÓN A BASE DE ACEITE RECUPERADO DE
MOTOR

APROBADO POR:

ING. MARÍA GARCÍA
Asesor Académico

ING. JESÚS OTAOLA
Jurado Principal

ING. MSc. DEASY OSUNA
Jurado Principal

MATURÍN, OCTUBRE DE 2013

DEDICATORIA

Principalmente a DIOS y a la Virgen, que siempre estuvieron allí iluminando mi camino en todo momento y permitirme alcanzar tan anhelada meta. Gracias papá DIOS.

A mis padres, Emelina y Bonifacio, por ser ellos mi ejemplo de dedicación, constancia y perseverancia y darme su apoyo y fortaleza para seguir adelante. Los amo.

A esa personita tan especial Luis Alberto; amigo, novio, esposo quien permaneció a mi lado en todos y cada uno de esos momentos que lo necesite. Gracias mi rey por tu ayuda y apoyo incondicional que siempre me haz brindado. Te amo.

A mis hermanos, por su cariño, apoyo, comprensión y por tener fe en mí. Los quiero mucho.

A mi familia, por los consejos y la confianza que me han brindado, por estar siempre para mí.

A mis amigos, por su sincera amistad y a todas aquellas personas que me dieron aliento y creyeron en mí.

MILAGROS CARABALLO.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este logro en primer lugar, a la mujer más importante de mi vida. Una mujer maravillosa que me permitió venir a este mundo a luchar por mis sueños, quien se ha sacrificado por darme lo mejor y quien me ha formado como ser humano, además de acompañarme durante mi formación profesional. Un ser sin igual, a quien admiro infinitamente por su fuerza y coraje ante las adversidades. **TERESA HERNÁNDEZ**, madre bella, este logro más que mío es tuyo porque bien te lo mereces. **TE AMO.**

A mi segunda madre **CARMEN AURORA ROJAS**, mi abuela adorada, sin ti esto tampoco hubiese sido posible. Te doy gracias por contribuir en mi crecimiento y por ser el pilar de nuestra familia. Te adoro mi vieja hermosa.

Dedicado también a mis hermanas **CARLA Y CARLENYS** y a mis sobrinos: **ARIANNA, DANIELA, JOSÉ Y CARLOS**. Mil gracias por todo su apoyo incondicional, por sus sabios consejos y a mis sobrinos, ustedes son el nuevo relevo y siempre contarán con el apoyo de su tío Anderson. De igual manera dedico esta meta alcanzada a mis casi hermanas, **KATHERINE Y DAYANA**. Primas las quiero muchísimo y lo saben, gracias por su apoyo. A todo el resto de mi familia, esto también es para ustedes. Por su apoyo infinito, por ser parte de mi vida.

A mi abuelo **CRISTOBAL HERNÁNDEZ**. Lamentablemente Dios te llevó a su lado y tuve poco tiempo para disfrutar de tu compañía y sabiduría, pero sé que en el cielo estás orgulloso de mí. **TE QUIERO ABUELO.**

ANDERSON HERNÁNDEZ

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar le doy gracias a DIOS por haberme dado todo, por permitirme crecer en lo personal y profesional, sin él nada sería posible.

A mis padres, por educarme, guiar mis pasos, por confiar en mí y estar en todo momento. Gracias por brindarme la oportunidad de estudiar, sin su apoyo este logro no sería alcanzado.

A mi esposo, por su amor y esmerado apoyo en la realización de este trabajo de investigación.

A toda mi familia que de una u otra forma me ayudaron en el desarrollo de esta carrera.

A nuestra asesora, profesora María García, por brindarnos todo el apoyo para desarrollar la investigación. Al TSU. Darwin Abzueta por ayudarme a formar parte de este trabajo, GRACIAS!

A la empresa El Samán Tecnología Integral de Petróleo, en especial al Ing. Germán Aguilera, por toda la colaboración prestada en la realización de las pruebas de laboratorio.

A todos mis amigos de la universidad con los cuales compartí en toda mi carrera universitaria, por su ayuda y preocupación. A mi amigo y compañero de tesis Anderson, por su paciencia hacia mí, constancia y apoyo.

MILAGROS CARABALLO.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a **DIOS** por brindarme la oportunidad de vivir día tras día y estar conmigo siempre. Por darme la mano para levantarme y así poder seguir adelante por el camino correcto en la búsqueda de mis sueños. **GRACIAS PAPA DIOS.**

Te agradezco infinitamente **MAMÁ**. Sé que estás orgullosa de poder lograr esto conmigo, a pesar de todos los obstáculos presentes en el camino lo supimos confrontar y hoy por hoy la recompensa está en nuestras manos. Mil gracias por creer en mí, tu más que nadie en este mundo se merece este triunfo, **TE AMO CON EL ALMA**. Agradezco también a mi abuela y mi familia por todo su apoyo. Me siento honrado de tenerlos. **GRACIAS A TODOS.**

A mis amigos: **LINDA, EZERMARYS, ANDREA, MAU, YAIXI, DANIEL BERMÚDEZ, LUIS CARLOS, LUIS CABRERA, CARLOS GUZMÁN, ANDERSON** y a mi amiga y compañera de tesis **MILAGROS**. Muchachos **MIL GRACIAS POR SER MI FAMILIA DURANTE MI VIDA UNIVERSITARIA**. Les agradezco cada momento, cada experiencia vivida, cada tendida de la mano cuando lo necesité. Es un honor tenernos como amigos. **LOS QUIERO MUCHÍSIMO**. De igual manera, a mis amigos e ingenieros: **LUIS ROJAS Y RAFAEL BRITO**. Mil gracias por la colaboración. Hermanos, **SE LES APRECIA**.

A mi tutora, la Ing. **MARÍA GARCÍA** y al TSU **DARWIN ABZUETA**. Así mismo, a mi **UNIVERSIDAD DE ORIENTE** y a todo el personal que en ella labora. Así mismo al ing. **GERMÁN AGUILERA** y a la Lic. **LILIANA PADRÓN** de la empresa “EL SAMÁN”.

ANDERSON HERNÁNDEZ

ÍNDICE

RESOLUCIÓN	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE	viii
RESUMEN	xiii
CAPÍTULO I	2
EL PROBLEMA Y SUS GENERALIDADES	2
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.2.1 Objetivo General.....	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
2.2 BASES TEÓRICAS.....	6
2.2.1 Fluidos de perforación.....	6
2.2.2 Composición de los fluidos de perforación.....	7
2.2.2.1 Fase líquida.....	8
2.2.2.2 Fase sólida.....	8
2.2.4 Clasificación de los fluidos de perforación.....	11
2.2.4.1 Fluido de perforación a base de agua.....	11
2.2.4.2 Fluido de perforación a base aire / gas.....	12
2.2.4.3 Fluidos de perforación base aceite.....	13
2.2.5 Aditivos químicos del fluido de perforación.....	18
2.2.6 Aceite lubricante.....	20
2.2.8 Aceite sintético.....	21
2.2.9 Aceites usados.....	22
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	24
CAPÍTULO III	26
MARCO METODOLÓGICO	26
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	26
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	27
3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	27
3.4.1 Caracterización del aceite de motor residual mediante pruebas físicas después de diversos procesos de limpieza.....	27

3.4.2 Determinación de las propiedades físicas del fluido de perforación formulado, con el aceite recuperado de motor y la adición de productos naturales.....	31
3.4.3 Análisis estadístico de las propiedades físicas de un fluido formulado con el aceite de motor procesado	35
3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	37
3.6 RECURSOS	37
3.6.1 Recursos humanos	37
3.6.2 Recursos materiales	38
3.6.3 Recursos económicos	38
CAPÍTULO IV	39
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	39
4.1 CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE MOTOR RESIDUAL MEDIANTE PRUEBAS FÍSICAS DESPUÉS DE DIVERSOS PROCESOS DE LIMPIEZA	39
4.2 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN, FORMULADO CON EL ACEITE RECUPERADO Y LA ADICIÓN DE PRODUCTOS NATURALES	41
Los resultados obtenidos para cada una de la propiedades que se presentan a continuación, están contenidos en el apéndice D.....	45
4.3.1 Densidad del fluido	45
4.3.3 Estabilidad eléctrica	45
4.3.4 Viscosidad plástica	46
4.3.5 Punto cedente.....	47
4.3.6 Fuerza de gel.....	48
4.3.7 Filtrado AP-AT.....	49
4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE UN FLUIDO FORMULADO A BASE DEL ACEITE DE MOTOR PROCESADO ..	50
CAPÍTULO V.....	54
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	54
5.1 CONCLUSIONES	54
5.2 RECOMENDACIONES	55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
APÉNDICES.....	58
HOJAS METADATOS.....	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Fases del fluido de perforación.....	7
Figura 2.2 Clasificación de los fluidos de perforación	11
Figura 2.3 Composición de los aceite lubricantes.....	21
Figura 2.4 Proceso químico de transesterificación.	24



LISTA DE GRÁFICAS

Gráfico 4.1 Viscosidad plástica del fluido evaluado.....	46
Gráfico 4.2 Punto cedente del fluido evaluado.	47
Gráfico 4.4 Fuerza de gel del fluido evaluado.	48
Gráfico 4.5 Filtrado AP-AT del fluido evaluado.	49



LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Comparación entre fluidos base aceite y base agua.....	13
Tabla 2.1 Comparación entre fluidos base aceite y base agua (continuación).....	14
Tabla 3.1 Formulación utilizada para la elaboración del fluido de perforación en estudio	33
Tabla 4.1 Propiedades del aceite recuperado de motor y las posibles muestras a utilizar para la formulación de un fluido de perforación base aceite	39
Tabla 4.5 Resultados obtenidos con la formulación del fluido de perforación 50% aceite de motor recuperado – 50% biodiesel.....	44
Tabla 4.6 Resultados promedios obtenidos para cada fluido antes de envejecer (A.E) y después de envejecer (D.E).	44
Tabla 4.7 Resultados obtenidos del análisis estadístico.....	50





**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN FLUIDO DE
PERFORACIÓN A BASE DE ACEITE RECUPERADO DE MOTOR**

Autores:

Milagros del C. Caraballo Flores

C.I.: 17.487.748

Anderson J. Hernández

CI: 18.865.994

Mayo, 2013

Asesores:

Ing. María García.

RESUMEN

La industria petrolera tiene la necesidad del uso de fluidos base aceite por las altas profundidades en donde se encuentran las arenas objetivos implicando esto altas presiones y elevadas temperaturas. Se utilizan también en ambientes corrosivos y para la perforación de formaciones solubles en agua e hidratables o de pozos desviados, entre otros. En éste trabajo de investigación, se consideró el aceite residual de motor como la posible base de un fluido de perforación con adición de productos naturales. Al aceite de motor se le realizó el proceso de extracción por solventes a fin de determinar la muestra de aceite más apta la elaboración del fluido de perforación. Además, se estudiaron diversos productos naturales, resultando el biodiesel como el más favorable para tal objetivo, debido a que las propiedades evaluadas de este producto fueron las que más se adaptaron a la formulación del fluido de perforación. A través de las normas API N°13B-1, fueron realizadas las pruebas para determinar las propiedades físicas necesarias y así evaluar el comportamiento del fluido de perforación en estudio, tanto antes como después del envejecimiento dinámico. Se hizo un análisis de varianza con la finalidad de apreciar el comportamiento del fluido formulado con aceite recuperado de motor, haciendo una comparación con el fluido patrón (fluido formulado con aceite mineral como fase continua), cuyos resultados indicaron que fluido evaluado actuaba muy similar al fluido patrón, porque no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las propiedades en estudio, excepto en el nivel de filtrado.

INTRODUCCIÓN

Los fluidos de perforación son aquellos que circulan a través del hoyo durante la perforación de un pozo, los cuales poseen características físicas y químicas apropiadas, que por circulación remueve el ripio de formación del hoyo en perforación o del pozo en operaciones de reacondicionamiento. Básicamente éstos se preparan a base de agua, aceite (derivados del petróleo) o emulsiones.

Los fluidos de perforación base aceite han evolucionado considerablemente para cumplir con condiciones de perforación más exigentes como las encontradas en pozos profundos de AT-AP (alta temperaturas y alta presiones), pozos de largo alcance, y nuevas regulaciones ambientales.

El aceite de motor usado procedente del cárter de un vehículo es un fluido con alto contenido de metales pesados producto del desgaste del motor, que requiere de un adecuado tratamiento y una correcta gestión. Mediante el uso de algunos procesos de limpieza pueden regenerarse y de ésta manera pueden ser usados nuevamente. Uno de esos usos puede ser como la base de los fluidos de perforación.

Preocupados por el destino final que generalmente tienen los aceites residuales automotrices, surgió la idea de plantear una investigación que permitió evaluar el comportamiento de un fluido de perforación elaborado a base del aceite recuperado de motor, todo esto enmarcado en algunos procesos de limpieza, con la adición de productos naturales, los cuales contribuyeron a mejorar las propiedades de los aceites automotrices ya utilizados y por consiguiente del fluido de perforación formulado.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA Y SUS GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según el CIED-PDVSA (2002), la industria petrolera tiene la necesidad del uso de fluidos a base de aceite para disminuir las pegas por presión diferencial, perforación de formaciones solubles en agua e hidratables, perforación de pozos desviados, por las altas profundidades en donde se encuentran las arenas objetivos implicando esto altas presiones y elevadas temperaturas, por las zonas inestables que se pueden encontrar en la formación durante el proceso de perforación de pozos, en ambientes corrosivos, entre otros (p.12).

De acuerdo a lo planteado por Benavente, G. (1999), Los tratamientos realizados a los aceites de motor usados, permiten mediante un grado de limpieza aumentar el porcentaje de la base del lubricante en el aceite original, de manera que resulten aptas para su formulación y utilización, es decir, ser aprovechables para la formulación de los fluidos base aceite (p.45).

Ésta investigación fue la continuación del estudio realizado por Guevara, A. y Rojas, R. (2012), con el cual demostraron que las propiedades reológicas del fluido de perforación usando aceite de motor pueden mejorarse y así hacer uso nuevamente de éste. Sin embargo, los resultados no fueron los esperados por los investigadores mencionados, haciendo referencia a que los valores obtenidos de la formulación con el aceite de motor usado como base como el de viscosidad plástica, gravedad específica y densidad fueron considerados elevados (130 cP, 0,89 de gravedad específica y 0,88 g/mL respectivamente), comparados con los fluidos de perforación a base de aceite mineral.

Por lo antes mencionado, se propuso una investigación que permitió evaluar el comportamiento del fluido de perforación a base de aceite recuperado de motor con la adición de productos naturales, cuyas sustancias mejoraron las propiedades del aceite de motor usado y por consiguiente del fluido de perforación formulado.

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo General

Evaluar el comportamiento de un fluido de perforación a base de aceite recuperado de motor.

1.2.2 Objetivos Específicos

- ❖ Caracterizar el aceite de motor residual mediante pruebas físicas después de diversos procesos de limpieza.
- ❖ Determinar las propiedades físicas del fluido de perforación formulado con el aceite recuperado de motor y con la adición de productos naturales.
- ❖ Analizar estadísticamente las propiedades físicas de un fluido formulado a base del aceite de motor procesado.

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La necesidad de fluidos de perforación que mantengan sus propiedades reológicas y de filtrado a altas temperaturas (mayores de 300 °F) es un hecho que continua afectando la optimización de la perforación de pozos petroleros.

Según Cequea, C. (2008) asegura que: “Los fluidos utilizados para la perforación de pozos en la República Bolivariana de Venezuela durante muchos años han sido fabricados con aditivos importados de alta calidad y rendimiento que proporcionan las características requeridas que garantizan el éxito del proceso. Sin embargo, debido a la alta contaminación que estos generan en el ambiente se está en la búsqueda de nuevas alternativas de aditivos y componentes que permitan la formulación de éstos fluidos con el menor impacto posible sobre el ambiente. Son muchos los beneficios que se obtendrían si la formulación de fluidos a base de aceite se puede realizar con aceites sintéticos recuperados de motores y con sustancias naturales que permitan un mejoramiento en las características del mismo” (p.1).

Por otro lado, se estaría promoviendo el desarrollo de la industria química del país, aunado a un mayor uso en la industria petrolera. El aumento en el costo del petróleo está viabilizando muchos proyectos energéticos entre estos obtener energía de los aceites usados del sector automotriz, ya que son una mezcla de hidrocarburos logrados por destilación de crudos de petróleo o por síntesis a partir de productos petroquímicos, que se encuentran degradados y contaminados por lodos, metales y agua.

Garavito, N. (1998) asegura que los tratamientos realizados a los aceites usados, permiten mediante un grado de limpieza aumentar el porcentaje de la base lubricante presente en el aceite original. El aceite de motor usado puede ser utilizado para la combustión en hornos, calderas, fundiciones, secadores, calefacción, procesos de fabricación de plastificantes y si se libera de todas las impurezas en motores de combustión interna y como base de los fluidos de perforación (p.59).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Cequea, C. (2008). En el trabajo realizado para la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, titulado “**Evaluación de la aplicabilidad de productos químicos nacionales en sustitución de importados en fluidos de perforación base agua y base aceite de servicios Halliburton**” realizaron un estudio cuyo objetivo fue la búsqueda de productos químicos nacionales que sirvan de sustitutos a los productos importados utilizados en las formulaciones de fluidos de perforación base agua y base aceite de Servicios Halliburton, promovió la realización de ensayos de laboratorio que permitieron evaluar la aplicabilidad técnica y económica de once productos de origen nacional. Se varió la concentración de estos productos con la visión de obtener la concentración óptima que genera un comportamiento físico químico similar al obtenido con sus equivalentes importados. En el fluido lignosulfonato se sustituyó el dispersante convencionalmente utilizado por el dispersante MQ 817, determinándose que 1lb/bl provee un comportamiento similar al obtenido con 1lb/bl del dispersante importado, además de disminuir los costos por barril en 1,82%. En el sistema lignosulfonato también se sustituyó el antiespumante convencional por dos antiespumantes nacionales (Defoam 50 y Defoam 50T); utilizando la concentración mínima recomendada en sus hojas técnicas eliminan el mismo volumen de espuma que con el antiespumante importado.

Guevara, A. y Rojas, R. (2012). En el trabajo realizado para la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, titulado “**Formulación de un fluido de perforación a base de aceite recuperado de motor**” se consideró aceite recuperado de motor en función de reciclarlo. Se seleccionó una muestra de aceite mineral luego de haber

sido extraído los sólidos y metales mediante el método de extracción por solventes y otras dos (2) muestras resultantes del residuo luego de la destilación realizada al aceite posterior a la limpieza. Se prepararon los fluidos, en base a las concentraciones establecidas por un fluido patrón (aceite vassa), posteriormente le fueron aplicados las pruebas experimentales antes y después del envejecimiento dinámico bajo la norma API 13B – 2, “Procedimiento Estándar para la Prueba de Campo de los Fluidos de Perforación Base Aceite”, concluyendo que la muestra de aceite recuperado sin destilar (ARSD) fue la que obtuvo resultados más cercanos a los del fluido patrón. Finalmente se efectuó una comparación estadística de las propiedades físicas obtenidas de los fluidos evaluados (ARD100, ARD80 y ARSD) y el fluido patrón, resultando que existen diferencias estadísticamente significativas entre los fluidos antes mencionados, con un nivel de confianza de 95%.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Fluidos de perforación

Es una mezcla que puede estar constituida por gases, líquidos y sólidos distribuidos en una fase líquida o gaseosa, con características físicas y químicas apropiadas adaptándose a diversas condiciones.

Según Cequea, C. (2008) asegura que “Un fluido de perforación se puede describir por sus propiedades y la de los materiales que se han utilizado en su formulación, para así cumplir con los requerimientos durante las labores de perforación de pozos. Ellos son circulados a través del hoyo y cumplen con los requisitos mínimos de eficacia”. (p.7).

2.2.2 Composición de los fluidos de perforación

Existen numerosos tipos de fluidos de perforación y cada uno de ellos está diseñado para ser aplicado a diferentes tipos de perforación. El amplio rango de variedades o tipos de fluidos dificulta cualquier discusión de orden general sobre su composición.

Cequea, C. (2008) dice que “La composición del fluido dependerá de las exigencias de cada operación de perforación en particular. Sin embargo, en términos generales, los fluidos de perforación se componen en dos fases: líquida y sólida”. (p.7).

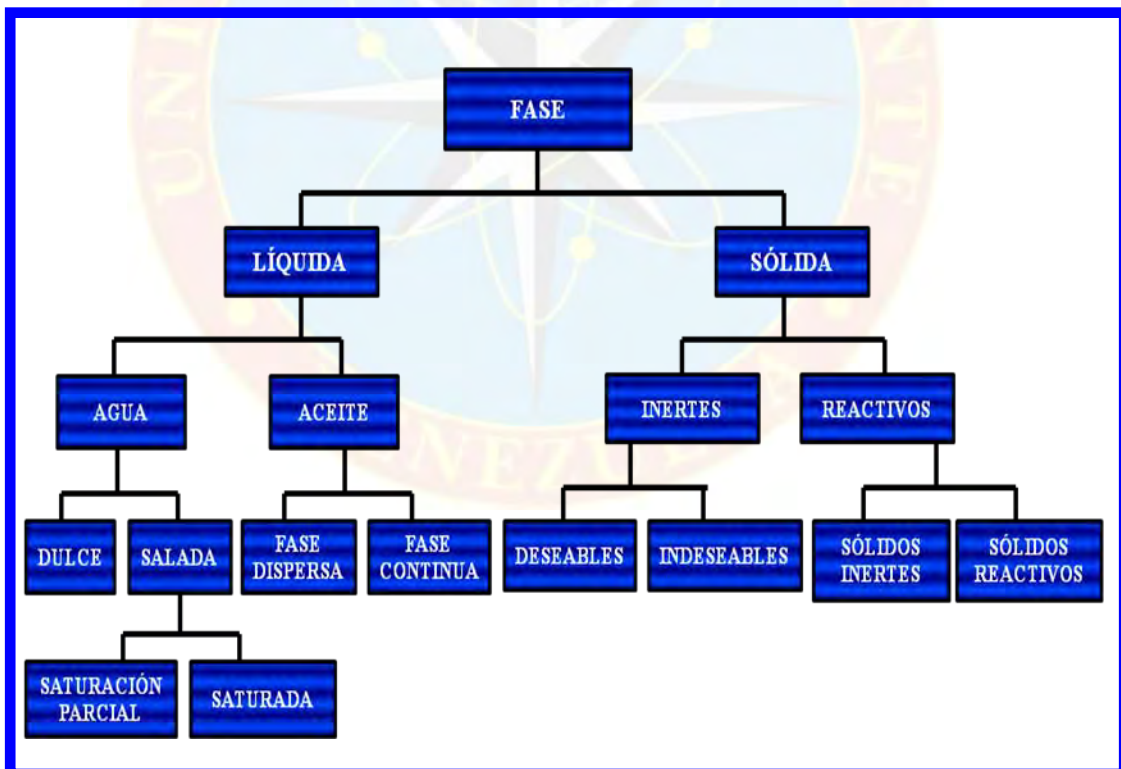


Figura 2.1 Fases del fluido de perforación

Fuente: Cequea, C. (2008)

2.2.2.1 Fase líquida

Esta fase está compuesta por agua y/o aceite, donde el agua puede ser dulce ó agua salada.

- **Agua dulce:** es un fluido newtoniano ideal para perforar zonas de bajas presiones, es económica, abundante, no requiere de tratamiento químico, provee el mejor líquido en el uso de los métodos de evaluación de formaciones y resulta mejor dispersante químico para controlar sólidos por dilución.
- **Agua salada:** son aconsejables cuando se está perforando secciones salinas o cuando se requiere mantener el ensanchamiento del hoyo al mínimo, también, se usan para operaciones de completación y reacondicionamiento de los pozos.
- **Aceite:** el aceite puede coexistir en un sistema de perforación según lo que se requiera durante el momento de la perforación, es decir puede estar como fase continua o como fase dispersa.

Fase continua: el aceite se puede usar como fase continua para la mejora de la estabilidad del hoyo, mantener las arcillas inhibidas, además minimiza el atascamiento de tuberías y se utiliza para zonas de alta temperatura.

Fase dispersa: en esta fase, el aceite sirve para mejorar la lubricidad del fluido, disminuir el filtrado API y minimizar los problemas de torque y arrastre.

2.2.2.2 Fase sólida

- **Sólidos Inertes:** dentro de estos tipos de sólidos existen los deseables y los indeseables.

Deseables: sólidos no reactivos de alta gravedad específica que sirven para darle peso al fluido. Muchos de estos sólidos son los que conforman los aditivos de los fluidos de perforación. Dentro de estos están: Sulfato de bario, Oxido de hierro, Sulfuro de plomo, Carbonato de calcio. Aunque también existen aditivos deseables que son reactivos para incrementar o disminuir una propiedad específica.

Indeseables: sólidos perforados como arena, caliza, sílice y dolomita. Este tipo de sólido deber ser removido del fluido tan pronto y eficientemente como sea posible.

- **Sólidos reactivos:** Según Cequea, C. (2008) son sólidos arcillosos que poseen cargas eléctricas. Se pueden agregar al fluido o ser incorporados por la formación. Entre los agregados al fluido, están los comerciales (Bentonita) y entre los incorporados por la formación, están las arcillas de formación (p.8).

2.2.3 Funciones de los fluidos de perforación

Según Correia, J y Godoy, G. (2011) aseguran que las principales funciones de los fluidos de perforación son:

- **Retirar los recortes del pozo:** la densidad y la viscosidad son dos propiedades del fluido que tiene influencia en la extracción de ripio. Sin embargo, el factor más importante es la velocidad de circulación o velocidad anular, que depende del caudal circulante o régimen de bombeo y de la capacidad anular en el hoyo, todo esto con la finalidad de limpiar el anular del pozo. Si el pozo no es limpiado en forma apropiada se acumulará recortes en el espacio anular ocasionando aumento de torsión, pega de tubería, reducción de la tasa de penetración y posible pérdida de circulación.

- **Controlar las presiones de la formación:** la presión hidrostática ejercida por la columna del fluido debe contrarrestar la presión de las formaciones para evitar arremetidas o reventones.
- **Suspender y descargar los recortes:** la propiedad tixotrópica del fluido permite mantener en suspensión las partículas sólidas cuando se interrumpe la circulación para luego ser conducidas a la superficie cuando se reinicia la circulación. Bajo condiciones estáticas, la resistencia o fuerza de gel en fluidos pesados, debe evitar la precipitación del material densificante.
- **Obturar las formaciones permeables:** por medio de los sólidos presentes en el fluido como fase dispersa, los cuales taponarán los canales de flujo para crear un revoque.
- **Mantener la estabilidad del hoyo:** el fluido debe tener propiedades químicas y físicas que permita mantener la estabilidad del hoyo, evitando derrumbes o socavamientos en zonas de alta inestabilidad, como lutitas y arcillas.
- **Enfriar, lubricar y soportar la sarta:** la fricción originada por el contacto de estos equipos con las formaciones genera calor. Este calor es removido parcialmente por el fluido circulante y expulsado cuando el fluido alcanza la superficie. En cierto grado, el fluido actúa como lubricante.
- **Controlar la corrosión:** deben existir agentes dentro del sistema de fluido de perforación que sean capaces de contrarrestar el efecto de gases corrosivos que puedan afectar las operaciones de perforación.
- **Transmitir la energía hidráulica a las herramientas y a la mecha:** el fluido es el medio por el cual se transmite, a través de la mecha, la potencia hidráulica al fondo del hoyo desde la superficie (p.8).

2.2.4 Clasificación de los fluidos de perforación

Básicamente los fluidos de perforación se formulan a base de agua, de aceite (derivados del petróleo) o emulsiones. En su composición interactúan tres partes principales: la parte líquida; la parte sólida, compuesta por material soluble que le imprime las características tixotrópicas y por material insoluble de alta densidad que le imparte peso; y materias químicas adicionales, que se añaden directamente o en soluciones, para controlar las características deseadas.

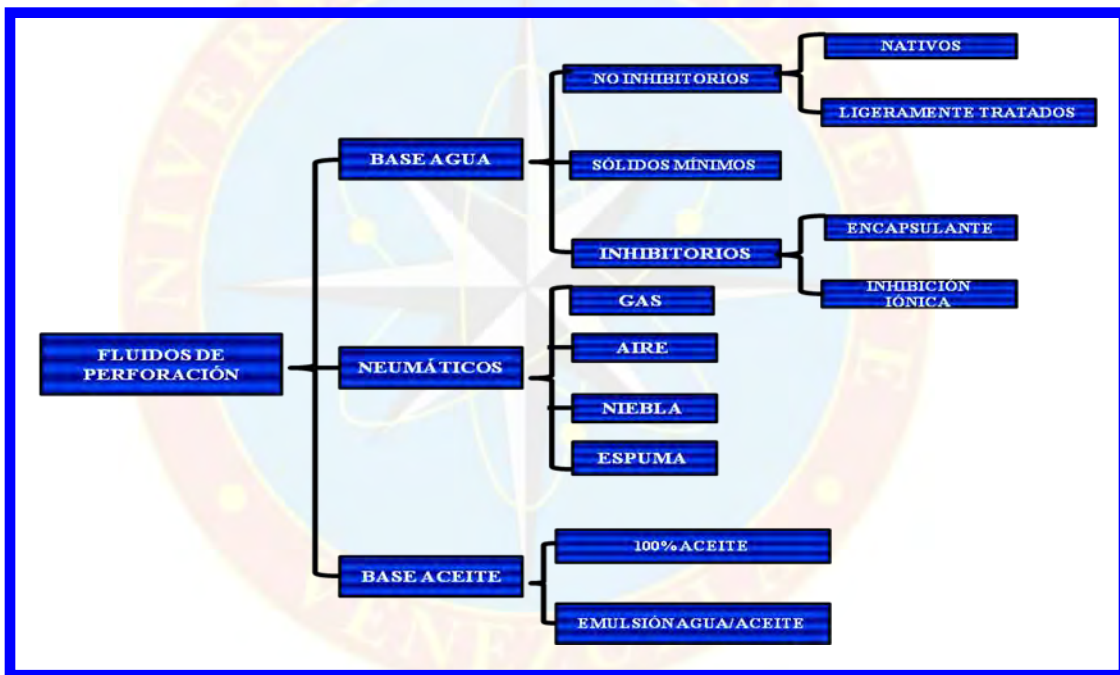


Figura 2.2 Clasificación de los fluidos de perforación
Fuente: Correia y Godoy, 2011

2.2.4.1 Fluido de perforación a base de agua

El agua es uno de los mejores líquidos básicos para perforar, por su abundancia y bajo costo. Sin embargo, el agua debe ser de buena calidad ya que las sales

disueltas que pueda tener, como calcio, magnesio, cloruros, tienden a disminuir las buenas propiedades requeridas. Por esto es aconsejable disponer de análisis químicos de las aguas que se escojan para preparar el fluido de perforación.

El fluido de perforación más común está compuesto de agua y sustancia coloidal. Durante la perforación puede darse la oportunidad de que el contenido coloidal de ciertos estratos sirva para hacer el fluido pero hay estratos tan carentes de material coloidal que su contribución es nula. Por tanto es preferible utilizar bentonita preparada con fines comerciales como la mejor fuente del componente coloidal del fluido.

La bentonita es un material de origen volcánico, compuesto de sílice y alúmina pulverizada y debidamente acondicionada, se hincha al mojarse y su volumen se multiplica. El fluido bentonítico resultante es muy favorable para la formación del revoque sobre la pared del hoyo. Sin embargo, a este tipo de fluido hay que agregarle un material pesado, como la baritina (preparada del sulfato de bario), para que la presión que ejerza contra los estratos domine las presiones subterráneas que se estiman encontrar durante la perforación.

2.2.4.2 Fluido de perforación a base aire / gas

Utilizado para perforar formaciones duras y secas o para combatir pérdidas de circulación. Rara vez se utiliza costa afuera, con la excepción de pozos de bajo balance o en perforación con tubería flexible o de producción.

2.2.4.3 Fluidos de perforación base aceite

Son fluidos que se caracterizan por presentar como fase continua el aceite, sintético o mineral. Se usan para perforar zonas altamente inestables, ambientes difíciles con alta presión y alta temperatura. Su contenido de agua es de 1%.

La siguiente tabla muestra las ventajas y desventajas que ofrecen los fluidos base aceite con relación a los fluidos base agua.

Tabla 2.1 Comparación entre fluidos base aceite y base agua

Parámetros de comparación	Fluidos base aceite	Fluidos base agua
Costo de preparación	Mayor	Menor
Costo de mantenimiento	Menor	Mayor
Problemas de torque y arrastre	Menor	Mayor
Contaminación ambiental	Mayor	Menor
Efectos de los contaminantes	Menor	Mayor
Toma de núcleo	Mayor % de recuperación	Menor % de recuperación
Situación de peligro	Mayor	Menor
Viscosidad plástica	Mayor	Menor
Punto cedente	Menor	Mayor
Formaciones reactivas	Mayor estabilidad	Menor estabilidad
Perforación bajo balance	Se puede perforar con una densidad menor	Hay que perforar con la densidad requerida
Problemas de corrosión	Menor	Mayor
Asentamiento de barita	Mayor	Menor
Fuerza gel	Menor	Mayor

Tabla 2.1 Comparación entre fluidos base aceite y base agua (continuación)

Interpretación de registros	Más difícil	Más fácil
Succión y suabeo	Mayor	Menor
Tasa de penetración	Menor	Mayor
Probabilidades de pérdida de circulación	Mayor	Menor
Atascamiento de tubería	Menor	Mayor
embolamiento de la mecha	Menor	Mayor

Fuente: Correia y Godoy, 2011.

2.2.4.3.1 Clasificación de los fluidos de perforación base aceite:

Según Guevara, A y Rojas, R. (2012) :

- **100% aceite:** la fase líquida consiste en 95-100% aceite y el agua emulsificada es menor al 5%. Usado normalmente para la perforación de formaciones productoras y toma de núcleos. En Venezuela, desde hace aproximadamente 10 años se ha venido utilizando para la perforación de estratos lutíticos.
- **Emulsión inversa:** se denomina de esta manera debido a que se emulsiona agua en aceite. Su uso principal es como estabilizador de lutitas en ambientes severos. Utiliza la técnica de Control de Actividad del Agua mediante el fenómeno denominado Osmosis (p.14).

2.2.4.3.2 Ventajas y desventajas del uso de los fluidos de perforación base aceite

Ventajas:

- **Estabilización de lutitas:** los fluidos base aceite tienen la habilidad de estabilizar lutitas problemáticas, debido a que se previene que las lutitas se mojen con agua y se dispersen en el fluido o se derrumben dentro del hueco. Se puede perforar un hueco de diámetro casi exacto y reducir los problemas del hueco.
- **Protección de arenas productoras:**
 - Arenas Arcillosas: el aceite no hincha las arcillas de la formación, y por lo tanto no reduce la permeabilidad.
 - Arenas Limpias: el fluido base aceite previene el bloqueo de agua causado por el filtrado de agua de los fluidos base agua.
- **Perforación de huecos profundos de alta temperatura:** el fluido base aceite tiene una resistencia natural a la gelificación a alta temperatura. Si se trata adecuadamente con emulsionante, viscosificante, agente de suspensión y un estabilizador, se puede mantener un sistema de fluido que no sea afectado por las altas temperaturas que se encuentran en pozos profundos.
- **Prevención de pegas de tuberías:** el bajo filtrado del aceite, revoque de poco espesor y el excelente coeficiente de lubricidad del fluido base aceite, ayudan a la prevención y corrección del pegado diferencial en formaciones altamente permeables y en huecos muy desviados. También el uso de este tipo de fluido de perforación, reducirá el torque de la tubería de perforación y el arrastre.
- **Protección a la corrosión:** la fase externa de un fluido base aceite permite máxima protección de la tubería de perforación en presencia de contaminantes

tales como oxígeno, sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono, fluidos de formación y ácidos orgánicos. Muchos de los productos del fluido base aceite contienen derivados de amonio que forman una película protectora sobre toda la superficie del sistema de circulación. Se recomiendan fluidos base aceite preparados adecuadamente para usarlos como fluidos de empaque (anular de la tubería/revestidor) y de empaquetamiento (revestidor exterior). La fase externa no conductora provee una protección máxima de todos los agentes corrosivos. Los fluidos base acuosa son mucho menos confiables para la protección del revestidor exterior, debido a que las aguas de formación corrosivas se mezclarían con el fluido de empaque del revestimiento. También el uso de un fluido base aceite como un fluido de empaque del revestimiento aumenta la recuperación del revestidor.

Desventajas:

Guevara, A y Rojas, R. (2012) afirman las siguientes desventajas:

- **Alto costo inicial por barril:** el costo por barril es considerablemente mayor que en la mayoría de los fluidos base agua, a cualquier densidad dada; ya que los precios del agua son muy bajos comparados con los precios de cualquier tipo de aceite utilizado en la perforación de pozos; además de que la disponibilidad del agua es mucho mayor.
- **Reducción en habilidad de detección de arremetidas:** la entrada de gases al fluido durante la perforación es difícil de detectar debido a que los mismos se solubilizan en fluidos base aceite; y si dicha entrada se lleva cabo bajo condiciones de presión considerables; con el ascenso saldrían de la solución por la disminución de la presión. Dependiendo de la profundidad a la que ocurra tal acontecimiento se podrá ó no detectar a tiempo una arremetida, y tomar las precauciones necesarias en dicho caso.

- **Pérdidas de circulación excesivamente costosas:** el alto costo por barril en fluidos base aceite, hace no práctico el uso de fluidos de este tipo en zonas propensas a sufrir pérdidas de circulación, debido a la gran cantidad de fluido que se va hacia a la formación y que resulta irrecuperable, aumentando los costos de la perforación.
- **Mayores restricciones ambientales:** mientras más alto sea el contenido de aromáticos en el aceite utilizado como base en los fluidos de perforación, mayores serán los efectos negativos que estos tendrán sobre el ambiente; incluyendo flora y fauna; así como también afecta al personal del taladro. La mayoría de las áreas en que los fluidos base aceite son utilizados tienen restricciones ambientales, éstas pueden hacer necesarias modificaciones en el taladro para contener derrames, y limpiar los fluidos ya utilizados sin desecharlos al medio ambiente.
- **Efectos negativos sobre empaaduras y gomas:** el material con el cual están fabricadas las gomas de los equipos, es sensible al contenido de aromáticos; y dependiendo de este, las mismas podrían sufrir hinchamiento o estiramiento, requiriendo un cambio para evitar problemas operacionales de mayor magnitud.
- **Peligro de incendio:** se deben tomar precauciones adicionales para prevenir incendios, ya que los puntos de inflamación y combustión del aceite así lo sugieren; dichas temperaturas podrían alcanzarse durante las operaciones, quemando el aceite y generando un posible incendio (p.19).

2.2.4.3.3 Aplicaciones de los fluidos base aceite

De acuerdo a lo planteado por Guevara, A y Rojas, R. (2012) :

- Perforación de pozos desviados.
- Disminuir las posibilidades de pegas por presión diferencial.

- Toma de núcleos.
- Perforación de formaciones solubles en agua e hidratable.
- Perforación en ambientes corrosivos.
- Perforación de formaciones de altas temperaturas.
- Perforación de formaciones que contienen sal o anhidrita.
- En casos especiales: perforación bajo balance.
- Perforar lutitas problemáticas utilizando el concepto de actividad balanceada.
- Prevenir pérdidas de circulación en formaciones con bajo gradiente de presión.
- Los fluidos base aceite permiten perforar bajo balance, es decir, se puede perforar con un peso menor al requerido con los fluidos base acuosa. La diferencia de peso puede variar de 0,2 a 0,4 lb/gal.
- Perforar zonas productoras ya que no causan problemas de hinchamiento de las arcillas de formación y en consecuencia no disminuyen la permeabilidad.
- Perforar hoyos direccionales.
- Prevenir atascamiento de la tubería en zonas permeables y hoyos desviados, ya que los fluidos base aceite poseen un alto coeficiente de lubricidad que ayuda a minimizar los problemas de torque y arrastre (p.22).

2.2.5 Aditivos químicos del fluido de perforación

Según Cequea, C. (2008) expresan que los aditivos químicos son todos los agentes de distinta naturaleza que al ser agregado en una concentración definida a un sistema de fluido de perforación controlan el comportamiento real del mismo.

- **Agentes densificantes:** son materiales que cuando son disueltos o suspendidos en un fluido de perforación incrementan la densidad del fluido. Estos se utilizan para controlar la presión de formación y el derrumbe en áreas que han sido tectónicamente activas.
- **Agentes viscosificantes:** son agregados a los fluidos para mejorar la habilidad de los mismos, remover los recortes del hoyo y suspender el material densificante durante las maniobras de la perforación del hoyo.
- **Agentes para control de filtrado:** estos son agentes que reducen el volumen de filtrado que el fluido pierde hacia la formación, debido al efecto de la presión diferencial y a la permeabilidad de las formaciones.
- **Agentes lubricantes:** son materiales que se usan con el propósito de reducir los arrastres de torque en las operaciones de perforación, además se incorporan al revoque o cubren las superficies metálicas con una película protectora, esta modificación reduce de una manera efectiva la fricción entre la sarta y la pared del hoyo. Su función es la de reducir la fricción. Está constituido por materiales como: aceites minerales o vegetales, surfactantes, grafito, asfalto, polímeros, alcoholes, entre otros.
- **Agentes surfactantes:** son materiales que van a modificar la tensión interfacial entre sólidos/agua, aceite/agua, agua/aire, etc.
- **Agentes floculantes:** estos materiales encapsulan los sólidos del sistema haciendo más efectiva su remoción. Mediante el descarte de sólidos se puede mejorar y controlar las propiedades reológicas de los fluidos, es por ello que se debe tener un buen control de ellos.
- **Agentes estabilizadores de lutita:** son agentes especiales que se utilizan para estabilizar formaciones de lutitas sensibles al agua mediante la inhibición de las

características de hidratación y la dispersión de los minerales arcillosos del sistema.

- **Agentes para control de pérdida de circulación:** son materiales utilizados para minimizar o anular las pérdidas de fluido que pueden producirse en una operación de perforación o reacondicionamiento (p.16).

2.2.6 Aceite lubricante

Benavente, G.(1999), expresa: un aceite lubricante es un líquido usado para disminuir la fricción entre dos superficies, éstos son usados en el interior de los motores donde las condiciones de operación hacen que después de cierto período de uso se degraden en compuestos cuyas características no permiten su utilización como lubricantes.

Los aceites lubricantes tienen entre sus funciones: no permitir la formación de residuos gomosos, no permitir la formación de fluidos, mantener limpias las piezas del motor, formar una película continua y resistente y permitir la evacuación de calor (p.18).

2.2.7 Base lubricante

Ruíz, E. (1991) asegura que los aceites lubricantes están constituidos por una base lubricante la cual provee las características lubricantes primarias.

La base lubricante puede ser base mineral (proveniente del petróleo crudo), base sintético o aceite base vegetal según la aplicación que se le va a dar al aceite (p.57).



Figura 2.3 Composición de los aceite lubricantes.
Fuente: Ruíz, 1991.

2.2.8 Aceite sintético

Según Ruíz, E. (1991), las bases lubricantes sintéticas son fabricadas por procesos especiales (distintos a la refinación) para realizar funciones específicas, lo cual les otorga una mayor uniformidad en sus propiedades. Estos aceites son la solución para trabajos en condiciones extremas (temperaturas muy altas o muy bajas).

Las principales ventajas del uso de bases sintéticas comparadas con las bases minerales son: amplio rango de temperaturas de operación, mayor resistencia a la oxidación, ahorro de energía, mantenimiento con menor frecuencia, menor uso de aditivos y más fácil degradación.

Los aceites sintéticos suministran aproximadamente cuatro veces el tiempo de operación del mejor aceite mineral, mientras que su costo es aproximadamente cinco veces mayor, su uso se basa más en la idea de preservar la maquinaria que en ahorrar dinero (p.59).

2.2.9 Aceites usados

Guevara, A y Rojas, R. (2005) afirman que un aceite usado es cualquier aceite que haya sido refinado del petróleo crudo o cualquier aceite sintético que haya sido usado y como resultado de tal uso, esté contaminado con impurezas físicas o químicas. Durante el uso normal del aceite, pueden mezclarse con éste, impurezas tales como tierra, partículas de metal, agua, y productos químicos que afecten a la larga el rendimiento de dicho aceite(p.27).

Según Guevara, A y Rojas, R. (2005) definen el aceite usado como:

- **Origen:** el primer criterio que define un aceite usado es su origen. El aceite usado debe haber sido refinado a partir de petróleo crudo o haber sido fabricado con materiales sintéticos. Los aceites de origen vegetal o animal están excluidos de la definición de aceite usado.
- **Uso:** los aceites utilizados como lubricantes, líquidos hidráulicos, fluidos para la transferencia de calor, medios de flotación y en otros propósitos similares se consideran como aceites usados. El aceite que no ha sido usado, como por ejemplo los depósitos en el fondo de tanques de almacenamiento de combustible virgen o el combustible virgen recuperado en un derrame, no satisfacen la definición de “aceite usado” porque estos aceites nunca han sido utilizados.
- **Contaminantes:** está basado en si el aceite está o no contaminado con impurezas físicas o químicas. En otras palabras, el aceite usado debe ser contaminado como resultado de su uso, incluye residuos y contaminantes generadas por el manejo, almacenamiento y procesamiento del aceite usado. Los contaminantes físicos incluyen partículas de metal, serrín o suciedad. Los contaminantes químicos incluyen solventes, halógenos, o agua salada (p.28).

Los aceites lubricantes sufren una descomposición luego de cumplir con su ciclo de operación y por esto es necesario reemplazarlos.

Según Benavente, G. (1999), después del uso de un aceite queda hollín en el interior, éste es una parte de hidrocarburo parcialmente quemado que existe como partícula individual en el aceite, los tamaños de estas partículas varían de 0,5 a 1,0 micras y generalmente se encuentran muy dispersas por lo cual es muy difícil filtrarlas (p.61).

Durante la combustión en el interior de los motores algunos materiales en el combustible, como el sulfuro, pueden convertirse en ácidos fuertes, éstos se condensan en las paredes del cilindro llegando al aceite, el cual transporta los ácidos a las paredes de los cilindros y desgastan estas piezas metálicas.

Ruíz, E. (1991), dice que la descomposición de los aceites de motor se debe especialmente a una reacción de oxidación. La oxidación de los hidrocarburos en fase líquida algunas veces es una reacción de radicales en cadena (p.45).

2.2.10 Biodiesel de soya

El biodiesel es un combustible derivado de aceites vegetales o grasas animales y que puede ser utilizado como sustituto o complemento del diesel de petróleo. La obtención de este combustible se hace a través de un proceso químico llamado transesterificación. En este proceso los aceites orgánicos son combinados con un alcohol y alterados químicamente para formar éster etílico o metílico, el cual toma el nombre de biodiesel.

El proceso de transesterificación consiste en combinar, el aceite con un alcohol ligero, normalmente metanol, y dejar como residuo de valor añadido propanotriol (glicerina) que puede ser aprovechada por la industria cosmética, entre otras.

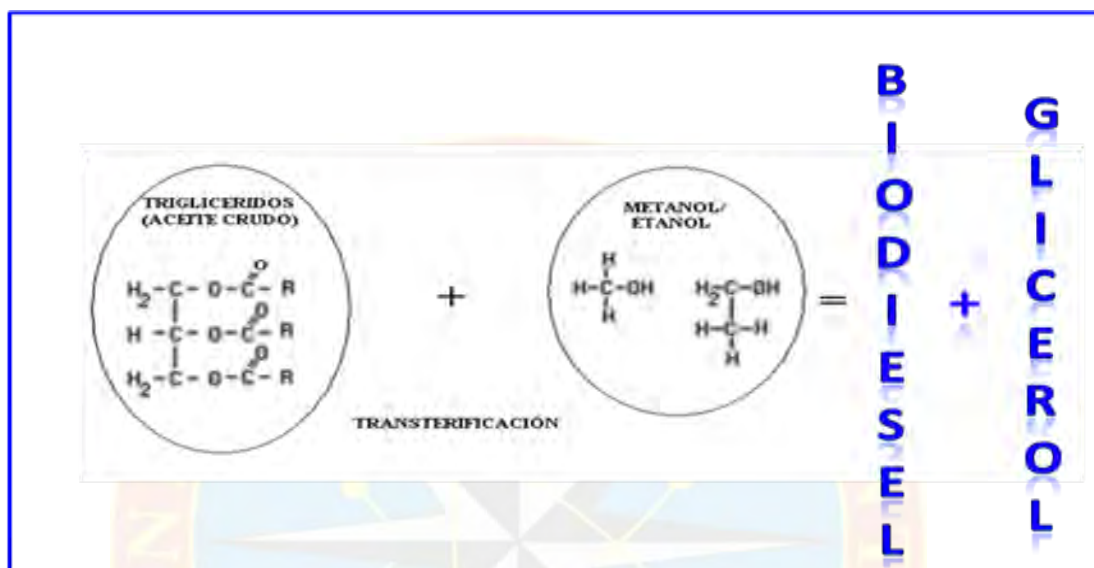


Figura 2.4 Proceso químico de transesterificación.

Fuente: <http://www.biodisol.com/tags/ester-metílico-de-aceite-de-soya/>

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Aceite mineral Vassa: según Correia, J y Godoy, G. (2011), son los productos desaromatizados de la familia de VASSA-LP (Venezolana de aceites y solventes, S.A), los cuales son aceites minerales hidrotratados, no tóxicos y biodegradables utilizados para la formulación de fluidos de perforación, terminación y rehabilitación de pozos de petróleo (p.19).

De acuerdo a lo planteado en CIED- PDVSA. (2002):

Aditivo: cualquier material que se añade a un lodo para lograr un propósito determinado (p.239).

Corrosión: reacción química adversa sobre un metal o la destrucción progresiva del mismo por el aire, la humedad o sustancias químicas, generalmente se forma un óxido (p.251).

Destilación: proceso que consiste en vaporizar primero un líquido y luego condensar ese vapor en otro líquido (el destilado), dejando en la solución original sustancias no volátiles en una muestra de fluido, para determinar el aceite, el agua y los sólidos totales que contiene dicho fluido en porcentaje por volumen (p.254).

Floculación: asociación de partículas sin gran cohesión, en grupos ligeramente ligados; asociación no paralela de plaquetas de arcilla. En suspensiones concentradas, tal como es el caso de los fluidos, la floculación da por resultado la gelificación o gelación (p.258).

Punto de inflamación: es la temperatura mínima necesaria para que un material inflamable desprenda vapores que, mezclados con el aire, se inflamen en presencia de una fuente ígnea, y continúe ardiendo una vez retirada la fuente de activación (p. 271).

Reología: ciencia de la fluidez de la materia que describe el comportamiento de los fluidos de perforación (p.277).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Arias, F. (2006), asevera “la investigación explicativa se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante establecimiento de relaciones causa-efecto, y sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo”. (p. 26). Debido a esto, la investigación que se desarrolló fue de tipo explicativa, se evaluó el comportamiento de un fluido de perforación a base de aceite de motor recuperado, adecuando al aceite mediante procesos de limpieza y adicionando productos naturales a través de pruebas físicas realizadas en laboratorio, tales como: pruebas reológicas, filtrado alta presión-alta temperatura y envejecimiento dinámico con la finalidad de evaluar si el fluido elaborado cumplía con las especificaciones respecto a sus propiedades físicas.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Según Arias F. (2006), define la investigación experimental de la siguiente manera: “la investigación experimental se caracteriza fundamentalmente por la manipulación y control de las variables que ejerce el investigador durante el experimento. Sin embargo, debido a que los sujetos no son asignados al azar, carece de seguridad en cuanto a la homogeneidad o equivalencia de los grupos, lo que afecta la posibilidad de afirmar que los resultados sean producto de la variable independiente o tratamiento”. (p. 35).

El diseño de investigación que se utilizó fue de tipo experimental, debido a que se manipularon las variables independientes (muestras de aceite de motor residual como base del fluido de perforación + el producto natural) y luego se analizaron las

consecuencias que genera sobre las variables dependientes (las propiedades físicas del fluido de perforación).

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

Arias, F. (2006), asevera “la población es el conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda delimitada por el problema del estudio”.(p.81).

Considerando esto, la población en esta investigación estuvo constituida por cinco muestras de aceite sintético usado de motor.

De acuerdo con Arias , F. (2006) “la muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible” (p.83).

La muestra de la investigación estuvo representada por las formulaciones realizadas con el aceite recuperado de motor como fase continua y mezclado con productos naturales.

3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

Con la finalidad de cumplir con los objetivos planteados en esta investigación, se definieron etapas, en las que se procedió a ejecutar una serie de actividades que permitieron el desarrollo del mismo.

3.4.1 Caracterización del aceite de motor residual mediante pruebas físicas después de diversos procesos de limpieza

En ésta primera etapa, se procedió a limpiar con la mayor eficacia posible el aceite usado de motor, siendo ésta la primera muestra en estudio (**A**). Guevara, A y

Rojas, R. (2012), aseguran que “para iniciar su limpieza fue aplicado inicialmente uno de los procesos más económicos y más eficientes en la recuperación de aceites usados como lo es la extracción por solventes”.(p.91). Éste proceso produce un fluido orgánico útil en lugar de un fluido tóxico. El procedimiento fue el siguiente:

Fue mezclado el aceite usado y el solvente (alcohol isopropílico), utilizando una relación de 1:1, es decir, 50 % de aceite usado de motor y 50% de alcohol para asegurar una completa miscibilidad de la base lubricante en el solvente. El solvente debió retener los aditivos y las impurezas orgánicas que normalmente se encuentran en los aceites usados.

La mezcla anterior fue colocada en la centrífuga durante 10 minutos con una velocidad de 500 rpm. Posterior a los 10 minutos de agitación en la centrífuga fue agregada en un embudo de decantación. La mezcla se dejó en reposo por 24 horas, para que las impurezas flocularan. Luego, se separó el aceite del alcohol debido a que ocurre una interfase. De ésta manera se obtuvo la segunda muestra, es decir el aceite de motor usado decantado con alcohol evaporado **(B)**. Seguidamente, fue aplicado el mismo procedimiento de mezcla, solo que en éste caso se le adicionó n-heptano, utilizando una relación de 1: 2: 2, es decir, 50% aceite 25% de alcohol y 25% n-heptano.

Siguiendo el proceso de lavado, la mezcla se llevó al horno por 20 minutos a 60° C para evaporar el exceso de solventes (alcohol isopropílico y n- heptano). El resultado fue denominado muestra tres, es decir, aceite de motor usado decantado y mezclado con n-heptano **(C)**.

Posteriormente, el aceite residuo del proceso anterior se hizo pasar por un empaque diseñado con algunos materiales como: algodón, malla, sílica-gel, azúcar, concha de maní, entre otros. Se agregaron 10 mL de n-heptano para humedecer los

materiales. Luego, el aceite fue añadido al empaque, seguido de 100 mL adicionales de n-heptano, debido a que los residuos quedaron retenidos en los materiales que constituían el empaque, obteniéndose así la muestra cuatro o aceite de motor decantado y filtrado por el empaque **(D)**.

Finalmente, se adquirió la muestra cinco o aceite de motor usado decantado, filtrado por el empaque y destilado **(E)**, efectuando el proceso de destilación atmosférica, con la finalidad de separar el aceite que fue procesado en el empaque, de n- heptano y así usarlo como la base del fluido de perforación a elaborar.

Luego de la limpieza del aceite, se le determinaron algunas propiedades físicas. Estas son:

- a) **Densidad:** se hizo uso de la norma ASTM D-369 (Método estándar para la determinación de la gravedad específica mediante el picnómetro Gay Lussac). Fue pesado el picnómetro vacío. Se llenó el picnómetro completamente con la muestra hasta la marca de referencia, se le colocó la tapa capilar y se pesó de nuevo. Por diferencia de masas y con el volumen del picnómetro determinamos la densidad a temperatura ambiente.
- b) **Gravedad específica:** una vez obtenida la densidad del aceite con la norma ASTM D-369 y obtenida la densidad del agua como fluido patrón, fue determinada la gravedad específica con la relación entre la densidad del aceite usado, dividido entre la densidad del fluido patrón (agua).

Cabe destacar que la esta propiedad está basada en la prueba de calidad de la empresa Scomi, cuyo rango debe oscilar entre 0,80-0,83 para poder ser la base de un fluido de perforación.

$$\rho = \frac{m_{\text{ll}} - m_{\text{v}}}{V_{\text{p}}} \quad (3.1)$$

Donde:

ρ : densidad de la muestra, g/mL

m_{ll} : masa del picnómetro lleno, g.

m_{v} : masa del picnómetro vacío, g.

v_{p} : volumen del picnómetro, mL

- c) **Viscosidad:** la viscosidad se determinó mediante la norma ASTM D-445 (Prueba estándar para la viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos – Cálculo de la viscosidad dinámica).

El tubo fue cargado directamente, agregándole unos 20 ml de muestra a través del extremo del tubo por donde estaba el bulbo mayor. Se hizo subir la muestra por el extremo en donde se hallaba el capilar y el bulbo con las marcas de regulación, con la ayuda de una bomba de succión. El líquido se dejó subir por encima de la marca de regulación superior (encima del bulbo) y se le retiró la bomba dejándolo bajar. Fue tomado el tiempo que tardó su menisco en pasar de la marca de regulación superior a la inferior a través del bulbo.

La viscosidad cinemática fue calculada a partir de los tiempos de flujo obtenidos, mediante la expresión:

$$\vartheta = c \times t \quad (3.2)$$

Donde:

ν : viscosidad cinemática, cSt.

C : constante del capilar a la temperatura de prueba, cSt /s. Se puede obtener de la Tabla B.1 y B.2. (Ver apéndice B).

t : tiempo de flujo, s.

3.4.2 Determinación de las propiedades físicas del fluido de perforación formulado, con el aceite recuperado de motor y la adición de productos naturales

Como las formulaciones de los fluidos de perforación dependen de ciertos parámetros a considerar como por ejemplo las presiones y temperaturas de la formación, tipo de formación, entre otros, se decidió elaborar un sistema de fluido con una densidad que permita el uso del mismo en una perforación del hoyo correspondiente a profundidades mayores de 4300 pies, presiones cercanas a 2250 lpc y temperaturas menores a 250°F.

Inicialmente, se procedió a evaluar las gravedades específicas y densidades de algunas sustancias naturales. Luego, fueron determinadas las propiedades físicas de las muestras de fluido formulado con estas sustancias naturales y mezcladas con el aceite recuperado de motor, verificando así cuál de ellas era la más eficaz para la mencionada formulación del fluido de perforación base aceite.

Para llevar a cabo esta fase se empleó el método del picnómetro, aplicado durante el proceso de limpieza del aceite de motor (norma ASTM D-369).

Cabe destacar que a la muestra de metanol se le aplicó una prueba de solubilidad (ver apéndice C.6) con el fin de determinar qué cantidad era aceptada por el aceite recuperado de motor y de esta manera realizar la formulación respectiva.

Se hizo una formulación para el fluido patrón y otra para el fluido en estudio, considerando una densidad de 12 lpg para cada una de ellas respectivamente, de tal manera que se pudiera comparar los resultados obtenidos del fluido vassa y el fluido en estudio.

Una vez obtenida la muestra de aceite de motor recuperado y de la sustancia natural a usar, se procedió a realizar tres repeticiones para cada propiedad con las cuales fueron evaluadas la reología y el filtrado AP-AT (Ver apéndice D).

Es importante resaltar que no se variaron las concentraciones para la obtención de las propiedades a estudiar.

Además, fue realizada una prueba de envejecimiento dinámico con el propósito de evaluar y comparar el comportamiento antes y después del mismo, es decir, estudiar el fluido a condiciones ambientales y simulando las condiciones de la formación (Temperatura y Presión)

En la tabla 3.1, se muestra la formulación usada para la elaboración del fluido de perforación base aceite.

Tabla 3.1 Formulación utilizada para la elaboración del fluido de perforación en estudio

Aditivos	Unidad	concentración utilizada	Tiempo de agitación(min)
Aceite	mL	264	20
Arcilla Organofílica	g	3	
Humectante	mL	1	5
Cal hidratada	g	4	5
Emulsificante	mL	10	5
Activador polar	g	7	30
Barita	g	247	15
Controlador de filtrado	g	10	15

Fuente: Guevara y Rojas, 2012.

Los resultados de las pruebas fueron determinados haciendo uso de las normas API 13B – 1, publicación titulada: “Procedimiento Estándar para la Prueba de Campo de los Fluidos de Perforación Base Aceite” ver apéndice .

Con esta norma, las propiedades que se evaluaron tanto para antes como después del envejecimiento dinámico fueron:

- a. **Densidad:** es una medida del peso de un volumen dado de fluido expresada generalmente en campo en lb/gal. Es medida a través de la balanza de fluido que consta de una copa de volumen constante y una regla calibrada para medir directamente la densidad del fluido.
- b. **Propiedades reológicas:** es el estudio de la materia bajo una fuerza aplicada o cómo los fluidos de perforación se mueven bajo una presión aplicada. En el estudio de los fluidos de perforación, la reología está estrechamente relacionada a la hidráulica anular y de la mecha de perforación para determinar la limpieza

efectiva del hoyo y la eficiencia de la mecha. El flujo de los fluidos de perforación se describe mediante los Modelos Reológicos. Estas son:

- ✓ **Viscosidad plástica:** es la resistencia al flujo causado por la fricción mecánica entre las partículas suspendidas y por la viscosidad de la fase líquida continua. En términos prácticos depende de: tamaño, forma y cantidad de partículas.
 - ✓ **Punto cedente:** mide la interrelación de fuerzas positivas y negativas (electrostáticas) dentro del fluido. Está influenciado por la concentración, cargas eléctricas y tratamiento químico de los sólidos.
 - ✓ **Tixotropía:** se miden fuerzas de gelatinización a 10 segundos y 10 minutos. Bajo condiciones de alta temperatura es recomendable la medición del gel de 30 min. La diferencia de la magnitud de la gelatinización cuando el fluido queda estático. Se expresa en lb/100 pies². El mismo viscosímetro rotacional de velocidad variable utilizado para determinar la viscosidad plástica y el punto cedente se utiliza para la medición de los esfuerzos de geles.
- c. Retorta:** una retorta es usada para determinar la cantidad de sólidos y líquidos presentes en el fluido de perforación. Una cantidad conocida de fluido es calentada hasta la evaporación total de la fase líquida y procesado a través de un condensador, el porcentaje de líquidos es recuperado y medido en un cilindro graduado y sustraído del 100% para obtener el porcentaje de sólidos por volumen contenido en el fluido.
- d. Filtrado alta presión /alta temperatura (AP-AT):** el instrumento para medir la filtración es el filtro prensa AP- AT. La cantidad de fluido (en milímetros) recolectado (multiplicado por dos) durante 30 minutos, aplicando una diferencia de presión de 500 lb./pulgs², a alta temperatura (300°F), se reporta como filtrado AP-AT.

- e. **Estabilidad eléctrica:** la estabilidad eléctrica se le mide a un fluido de perforación base aceite o sintético. La estabilidad eléctrica de un fluido base aceite es indicativa de que tan bien emulsionada se encuentra el agua en el aceite. Unidad: voltios (V).

Una vez realizadas las repeticiones de las propiedades físicas para el fluido patrón y el fluido en estudio, se procedió a realizar el envejecimiento dinámico el cual consistió en someter la misma formulación del fluido a una temperatura de 250 °F y presión de 100 lpc durante 16 horas. Se colocó la muestra en la celda de envejecimiento, la cual se tapó, quedando herméticamente cerrada.

Posteriormente se conectó la celda a la bombona de presión y se dejó pasar 200 lpc al abrir la válvula, luego de la transferencia de presión se volvió a cerrar la válvula de la celda para ser introducida al horno de envejecimiento. Una vez transcurrida las 16 horas se agitó nuevamente el fluido para realizar las pruebas pertinentes y hacer la comparación con el fluido antes del envejecimiento.

Finalmente, se hizo una comparación entre los resultados del fluido formulado con vassa y el fluido formulado con el aceite recuperado de motor y mezclado con la sustancia natural seleccionada.

3.4.3 Análisis estadístico de las propiedades físicas de un fluido formulado con el aceite de motor procesado

Es un procedimiento de comparación múltiple para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. Éste procedimiento se genera a través de programas de análisis estadístico (Statgraphic Plus 5.1), con los cuales se calculan

las medias y permiten determinar si son estadísticamente distintas con respecto a un patrón original.

El p-valor del test F es un valor numérico que indica si existe o no diferencia significativa entre los grupos. Éste valor debe ser superior o igual a 0,05 para que no exista diferencia estadísticamente significativa, de lo contrario si existirá diferencia significativa con un nivel de confianza para ambos.

Por otro lado, el contraste de múltiple de rango permite realizar comparación entre las medias para determinar las que son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra la diferencia estimada entre cada par de medias.

Se identifica un grupo homogéneo o no, según sea la alineación del signo X en la columna. Dentro de cada columna, los niveles que tienen signo X forman un grupo de medias entre las cuales puede haber o no, diferencias estadísticamente significativas. Si los grupos difieren en las columnas, entonces existirán diferencias significativas.

El método actualmente utilizado para discernir entre las medias es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD). Con este método, hay un 5,0% de riesgo de considerar cada par de medias como significativamente diferentes cuando la diferencia real es igual a 0.

Para la utilización del programa Statgraphic plus se ingresaron los datos de las repeticiones realizadas para cada una de las propiedades después del envejecimiento dinámico. Estos datos se encuentran en el apéndice D

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Arias, F. (2006), “Las técnicas son el procedimiento o forma particular de obtener datos o información”.(p.67).

Arias, F. (2006), “Asimismo, apunta que los instrumentos de recolección de datos son “cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información”. (p 69).

Revisión bibliográfica: estuvo basada en la búsqueda de información en libros de diferentes autores, trabajos previos, manuales, informes, conexiones a internet y publicaciones pertinentes al tema, entre otros.

Entrevistas no estructuradas: se contó la asesoría de ingenieros y personal debidamente calificado y asociados al tema a desarrollar, con la finalidad de adquirir información relacionada al mismo, ayudando así a la ejecución del estudio realizado.

Observación indirecta: es la observación a través de las diversas pruebas ejecutadas, la cual consistió en visualizar o captar mediante la vista el comportamiento de las muestras, realizando un registro de imágenes.

3.6 RECURSOS

3.6.1 Recursos humanos

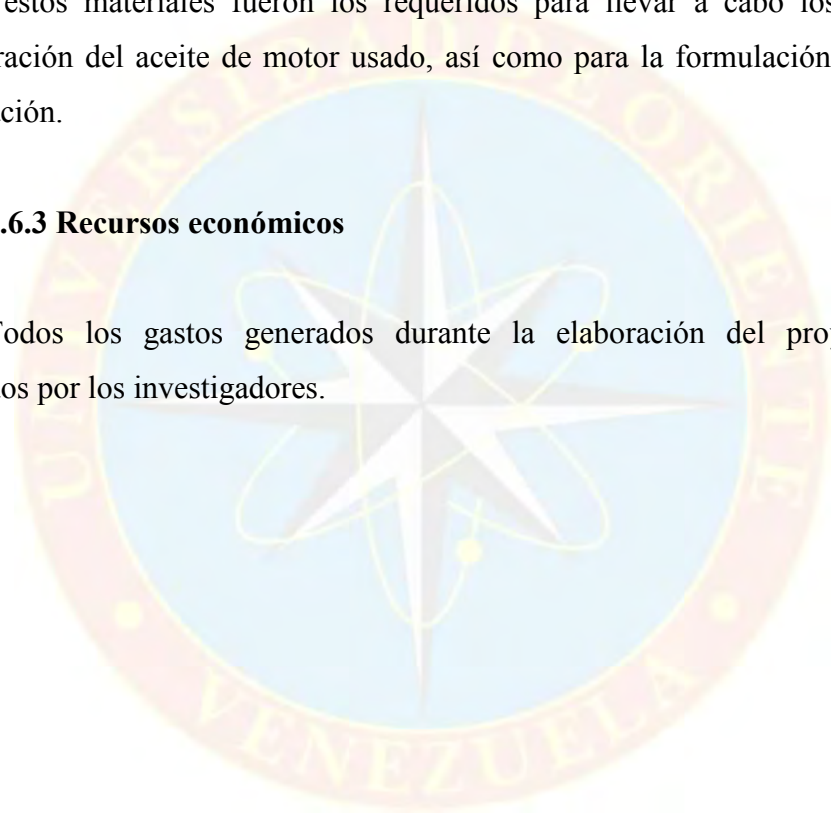
Los integrantes responsables del desarrollo de este trabajo de investigación, además de la asesoría metodológica a cargo de profesores de la Escuela de Ingeniería de Petróleo de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas y de profesionales especializados en el área que laboran en la empresa “Samán, tecnología integral en petróleo C.A”.

3.6.2 Recursos materiales

Para el desarrollo de esta investigación fue necesario el uso de materiales y equipos de oficina, tales como: computadoras, impresoras, fotocopadoras y papelería en general. También se utilizaron equipos de laboratorio como son: viscosímetro, centrífuga, picnómetros, buretas, retorta, filtro, prensa AP- AT y aditivos necesarios. Todos estos materiales fueron los requeridos para llevar a cabo los procesos de recuperación del aceite de motor usado, así como para la formulación del fluido de perforación.

3.6.3 Recursos económicos

Todos los gastos generados durante la elaboración del proyecto, fueron asumidos por los investigadores.



CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE MOTOR RESIDUAL MEDIANTE PRUEBAS FÍSICAS DESPUÉS DE DIVERSOS PROCESOS DE LIMPIEZA

Se realizó una comparación entre las muestras del aceite de motor usado original (**MA**), con la muestra de aceite usado de motor que fue mezclada con alcohol y luego de pasar por el proceso de centrifugación, fue decantada (**MB**), aceite usado de motor decantado, con alcohol evaporado y mezclado con n-heptano (**MC**), aceite de motor usado decantado, mezclado con n-heptano y filtrado a través del empaque elaborado (**MD**) y aceite de motor usado decantado mezclado con n-heptano, filtrado y destilado (**ME**) para posteriormente poder efectuar el análisis respectivo.

Tabla 4.1 Propiedades del aceite recuperado de motor y las posibles muestras a utilizar para la formulación de un fluido de perforación base aceite

PROPIEDADES	MA	MB	MC	MD	ME
Densidad, g/mL	0,8803	0,8724	0,8132	0,7909	0,8133
Gravedad específica, Adim	0,8821	0,8830	0,8141	0,7901	0,8241
Viscosidad cinemática, cSt	351,2913	313,0445	61,6706	8,7839	7,0537
Viscosidad dinámica, P	306,7214	272,9408	50,9425	6,9226	5,7337

En la tabla 4.1 se muestran los resultados obtenidos de las diferentes propiedades de todas las muestras de aceite estudiadas a una temperatura de prueba de 25°C. Se observa que según las especificaciones establecidas para una prueba de calidad de la empresa Scomi, donde el rango de gravedad específica es de 0,80 a 0,83 para fluidos formulados con vassa (ver apéndice C.4), la **MA** posee una gravedad

específica por encima de ese rango, lo que indica que no puede usarse para la base del fluido de perforación. Sin embargo, las otras muestras (**MB**, **MC**, **MD**, **ME**), arrojaron menores resultados, debido a que pasaron por el proceso de extracción por solventes y por lo tanto la cantidad de impurezas fue disminuyendo a medida que se fue llevando a cabo cada etapa del proceso mencionado.

De igual manera, los resultados para las propiedades de densidad, viscosidad cinemática y viscosidad dinámica de **MA** fueron también los más altos, con respecto a las otras muestras en estudio, debido a que ésta (**MA**), era un aceite sin limpieza y contenía metales y residuos dejados por el motor de los vehículos, los cuales aumentaban dichas propiedades. Las otras muestras (**MB**, **MC**, **MD** y **ME**), fueron disminuyendo por la adición del alcohol isopropílico, el cual retuvo los aditivos y las impurezas orgánicas que normalmente se encuentran en los aceites usados y de n-heptano, así como también por el filtrado del aceite de motor ya recuperado y de la destilación atmosférica como fase final del proceso de extracción por solventes, quedando éstas libres de impurezas, pero con la presencia de alcohol y n-heptano.

Se había considerado que las muestras más favorables para la formulación del fluido de perforación eran la **MC**, **MD** y **ME**, debido a que los resultados de las mismas de acuerdo a la densidad y gravedad específica eran bajos (ver tabla 4.2). Se efectuaron las formulaciones con estas tres muestras y luego, se le determinó la viscosidad plástica a cada una de ellas a una temperatura de 150 °F, para asegurar los mejores resultados al formular el fluido de perforación que se compararía con el fluido patrón y se observó que la mejor muestra para tal fin era la **MC** porque las viscosidades plásticas de la **MD** y **ME** estaban fuera del rango establecido para fluidos base aceite siguiendo las consideraciones establecidas por la empresa Scomi, donde indican que la viscosidad plástica de un fluido de campo debe encontrarse en

un rango de 12-24 cP y la viscosidad plástica de éste no debe superar el doble del fluido patrón o de campo.

Los resultados obtenidos de las viscosidades plásticas para cada muestra de aceite se observan en la tabla 4.2

Tabla 4.2 Resultados de las viscosidades plásticas para cada formulación realizada con las muestras de aceite

Propiedades	MA	MB	MC	MD	ME
VP, cP	-	-	23	68	75

4.2 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN, FORMULADO CON EL ACEITE RECUPERADO Y LA ADICIÓN DE PRODUCTOS NATURALES

Los resultados obtenidos de las sustancias naturales estudiadas se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 4.3 Propiedades de las diferentes sustancias naturales evaluadas para la formulación de un fluido de perforación base aceite

Propiedades	Valeriana Farmacéutica	Guayacol	Biodiesel de Soya	Valeriana + Metanol (15%+85%)	Metanol puro
Densidad, g/ml	0,9942	0,8914	0,8270	0,8140	0,7896
G. E, Adim.	0,9980	0,8952	0,8310	0,8180	0,7923
Punto de flama, °C	86	107	130	47	12

Al evaluar los resultados obtenidos de las gravedades específicas, densidades y puntos de flama de algunas sustancias naturales, se aprecia que la muestra de Valeriana farmacéutica al igual que la de guayacol arrojó valores elevados,

considerando el criterio de que la gravedad específica de estas debía estar en un rango de 0,80-0,83 según la norma de calidad de la vassa, para que pueda ser utilizado como base del fluido de perforación. De igual manera, sus densidades fueron altas. Respecto a los puntos de flama de estas sustancias, obtenidos de una hoja técnica de productos para la formulación de fluidos base aceite, se aprecia que ambas muestras superan al punto de flama del Vassa (81°C), lo que indica que las dos muestras en ese sentido serían satisfactorias, debido a que tienen mayor capacidad que el vassa de soportar mayor temperatura. Sin embargo, la gravedad específica y densidad juegan un papel fundamental y por lo tanto, ninguna de estas dos sustancias cumple con los parámetros requeridos, quedando así descartadas para la formulación del fluido de perforación base aceite porque al formular el fluido y adicionarle los aditivos correspondientes, la densidad y gravedad específica se incrementarían.

La muestra de biodiesel arrojó resultados aceptables para la formulación del fluido. Su densidad fue baja, considerándose beneficiosa para lograr el objetivo. El punto de flama del biodiesel es el más alto dentro de las sustancias naturales evaluadas, cuyo valor se encuentra muy por encima de la base del fluido patrón (Vassa) y por lo tanto un fluido formulado con biodiesel soportaría mayor temperatura que un fluido formulado con vassa.

Por otro lado, se mezcló 15% de valeriana y 85% de metanol, para determinar su factibilidad de aplicación y los resultados obtenidos fueron satisfactorios, debido a que la gravedad específica estaba dentro del rango mencionado. Se decidió evaluar una muestra de metanol, la cual arrojó resultados más bajos de las propiedades, debido a que el valor de gravedad específica resultó mucho más bajo evaluando individualmente al metanol que el de la mezcla anterior. Se consideró que la muestra de metanol era la más beneficiosa para la formulación del fluido de perforación en

estudio, a pesar que el punto de flama estaba muy por debajo del punto flama del vassa.

Los resultados de la prueba de solubilidad indicaron que la cantidad de metanol aceptada por la muestra de aceite era de 0,3 mL de metanol por cada 100 mL de aceite.

Una vez realizada la formulación del fluido de perforación con el aceite recuperado de motor y el metanol, se determinaron las propiedades físicas del fluido base aceite y se puede apreciar en la tabla 4.3 que el valor de viscosidad plástica era muy elevado (54 cP), considerando que la viscosidad plástica del fluido patrón está en un rango de 15-25 cP. La mezcla de valeriana y metanol también quedó descartada por la presencia de metanol, motivado a que no resultaba.

En la tabla 4.4 se muestran los resultados obtenidos de las viscosidades plásticas para cada formulación del aceite mezclado con las sustancias naturales a una temperatura de prueba de 150°F:

Tabla 4.4 Resultados de las viscosidades plásticas para cada formulación

Propiedades	Valeriana Farmacéutica	Guayacol	Biodiesel	Valeriana + Metanol (15%+85%)	Metanol
VP, cP	-	-	15	56	54

La formulación con aceite recuperado de motor y biodiesel, mezclados en una proporción de 1:1, es decir, 50% del aceite recuperado y 50% de biodiesel, arrojó un resultado satisfactorio (15 cP).

A la formulación con aceite recuperado y biodiesel se le determinaron las propiedades reológicas y los resultados son presentados en la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 4.5 Resultados obtenidos con la formulación del fluido de perforación 50% aceite de motor recuperado – 50% biodiesel

Propiedades	Resultados obtenidos
Densidad, Lb/gal	12
Viscosidad plástica, cP	15
Punto cedente, Lb/100pie ²	6
Geles, 10 seg, Lb/100pie ²	3
Geles, 10 min, Lb/100pie ²	4

A continuación se muestran las medias de los resultados obtenidos para el fluido vassa y el fluido en estudio:

Tabla 4.6 Resultados promedios obtenidos para cada fluido antes de envejecer (A.E) y después de envejecer (D.E).

PROPIEDADES	Fluido con vassa		Fluido en estudio	
	A.E	D.E	A.E	D.E
Densidad (lb/gal)	12	12	12	12
VP (cP)	14	17	15	19
PC (Lb/100pie ²)	5	5	6	7
Geles @ 10 s, Lb/100pie ²	3	3	3	3
Geles @ 10 min, Lb/100pie ²	4	4	4	5
% sólidos	12	25	23	32
% líquidos (agua-aceite)	(2-86)	(1-74)	(2-75)	(1-67)
Estabilidad eléctrica (V)	1024	>2000	1029	>2000
filtrado AP-AT (cc/30 min)	8	10	4	0

Los resultados obtenidos para cada una de las propiedades que se presentan a continuación, están contenidos en el apéndice D.

4.3.1 Densidad del fluido

Considerando que la densidad es la medida del peso de un volumen dado de fluido expresada generalmente en campo en lb/gal y tomando en cuenta las especificaciones para fluidos vassa, en la tabla anterior se observa que el fluido a base de aceite recuperado de motor y mezclado con biodiesel, arrojó un valor igual al del fluido patrón, tanto antes como después del envejecimiento.

4.3.2 Porcentaje de sólidos y líquidos

Haciendo referencia al porcentaje de sólidos y líquidos, el porcentaje de agua fue similar en ambos fluidos antes de envejecerlos (2%), así como también después del envejecimiento (1%), respectivamente.

Se observa también que aumentó el porcentaje de sólidos después del envejecimiento para los dos fluidos, con lo que se deduce que hubo degradación térmica de los aditivos, posiblemente del humectante, siendo éste una sustancia que cuando se agrega a un líquido, aumenta la diseminación de un líquido sobre la superficie de un sólido o facilita la penetración del líquido en un material.

4.3.3 Estabilidad eléctrica

De acuerdo a lo planteado en el CIED-PDVSA. (2002), los valores de la estabilidad eléctrica obtenidos tanto para el fluido patrón como para el fluido en

estudio se consideran aceptables, considerando que los valores para un fluido base aceite (≥ 12 lpg), se encuentra en un rango de voltaje de 500 y 2000 voltios (p.49).

Antes del envejecimiento, la estabilidad eléctrica del fluido patrón y del fluido evaluado se encontraban por encima de los 1000 voltios (1024v y 1029 v respectivamente). Sin embargo, después del envejecimiento superó los 2000 voltios, es decir se incrementó

4.3.4 Viscosidad plástica

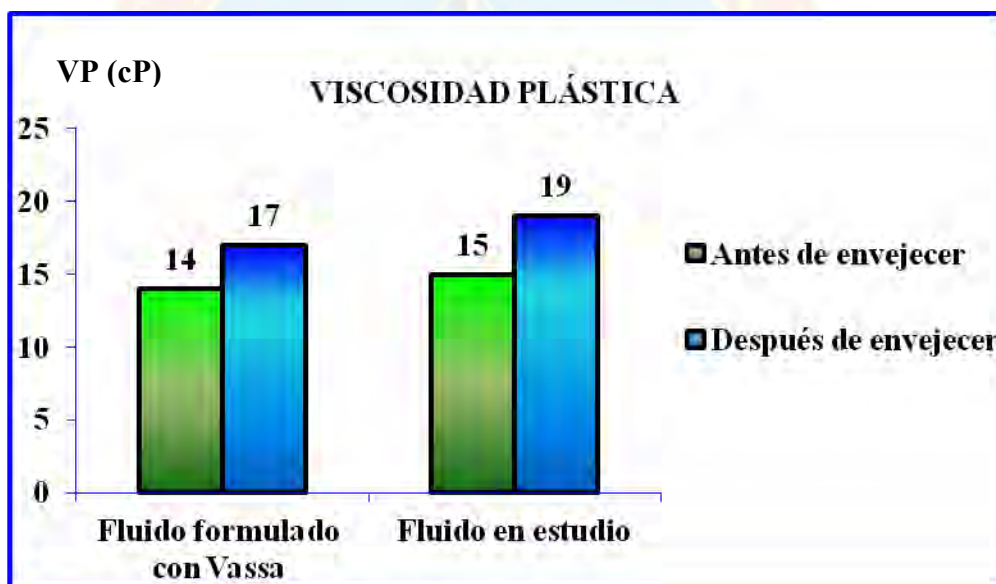


Gráfico 4.1 Viscosidad plástica de los fluidos evaluados.

Según Prieto, O. (2007), asegura que la resistencia del fluido a fluir causada principalmente por la fricción mecánica entre las partículas suspendidas y por la viscosidad de la fase fluida es denominada viscosidad plástica (p.68).

La viscosidad plástica del fluido estudiado antes de envejecer resultó satisfactoria, con un valor de 15 cP, debido a que al compararla con el resultado

obtenido del fluido base, existe una gran analogía entre ambos. De la misma manera, después del envejecimiento el comportamiento de la viscosidad del fluido en estudio fue similar al fluido formulado con Vassa, con una variación entre 3 y 4 cP.

Se observa entonces que el comportamiento de la viscosidad plástica del fluido formulado a base de aceite recuperado de motor y biodiesel, es semejante a la del fluido formulado con aceite mineral (vassa).

4.3.5 Punto cedente

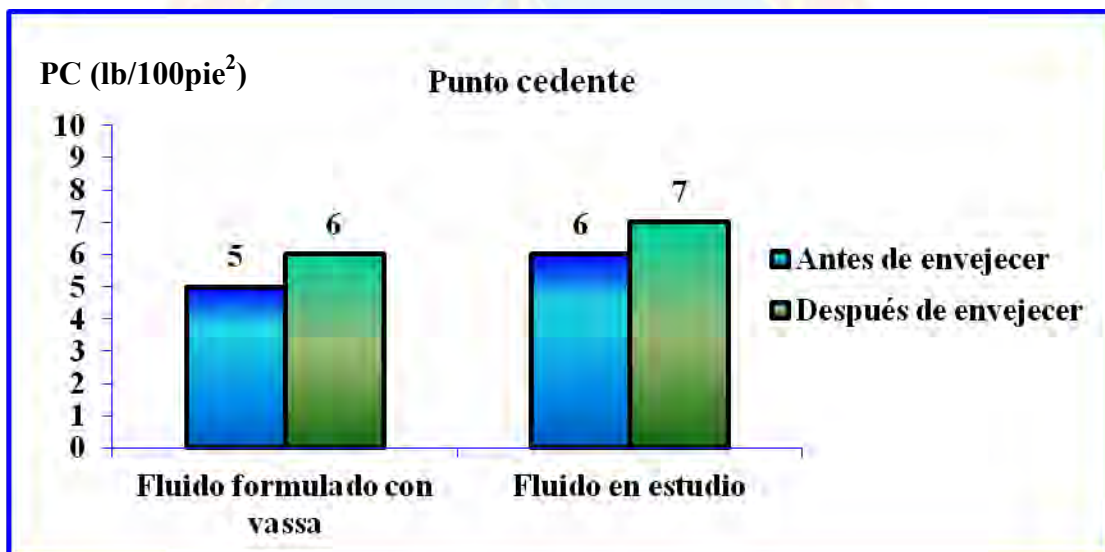


Gráfico 4.2 Punto cedente de los fluidos evaluados.

Se aprecia en el gráfico 4.2 que el fluido formulado con aceite recuperado de motor y biodiesel antes del proceso de envejecimiento dinámico arrojó valores aceptables para el punto cedente, debido a que el comportamiento del fluido evaluado es parecido al del fluido patrón

Después del envejecimiento dinámico hubo un mínimo aumento en el punto cedente tanto del fluido base o patrón como del fluido evaluado. Este comportamiento

se le atribuye al incremento en el porcentaje de sólidos después del envejecimiento dinámico y al efecto de la arcilla organofílica, la cual incrementa el punto de cedencia en los sistemas base aceite.

4.3.6 Fuerza de gel

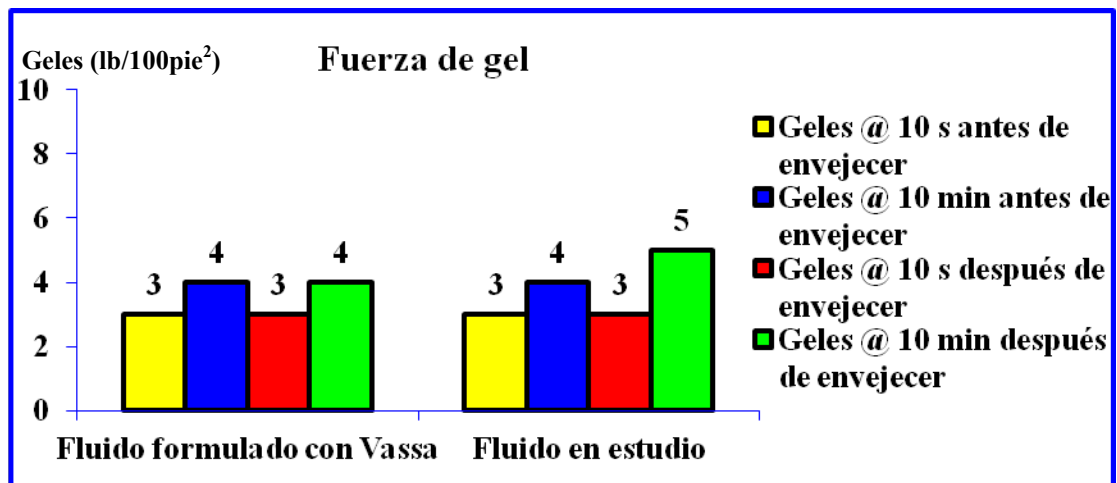


Gráfico 4.4 Fuerza de gel de los fluidos evaluados.

Prieto, O. (2007), los esfuerzos de geles son función de las fuerzas electrostáticas entre partículas y permiten medir las fuerzas de gelatinización a tiempos de 10 segundos y 10 minutos. La resistencia de gel formada depende de la cantidad y del tipo de sólidos en suspensión, del tiempo, de la temperatura y del tratamiento químico. (p57)

En el gráfico 4.4 se aprecia que hubo una variación de las fuerzas de gelatinización para tiempos de diez segundos y diez minutos del fluido base y del fluido evaluado tanto antes como después del envejecimiento, es decir, que el fluido en estudio posee la capacidad de mantener los sólidos en suspensión, mientras se efectúa el proceso de perforación. Esto se debe a que a mayor tiempo de contacto entre los aditivos y el fluido que se obtenga, mayor fuerza de gel debe existir para que

el fluido mantenga a los sólidos suspendidos. Ésto se puede atribuir a que el aceite utilizado como fase continua para este fluido contiene mayor cantidad de componentes pesados en comparación con el fluido formulado con el aceite mineral (vassa).

4.3.7 Filtrado AP-AT

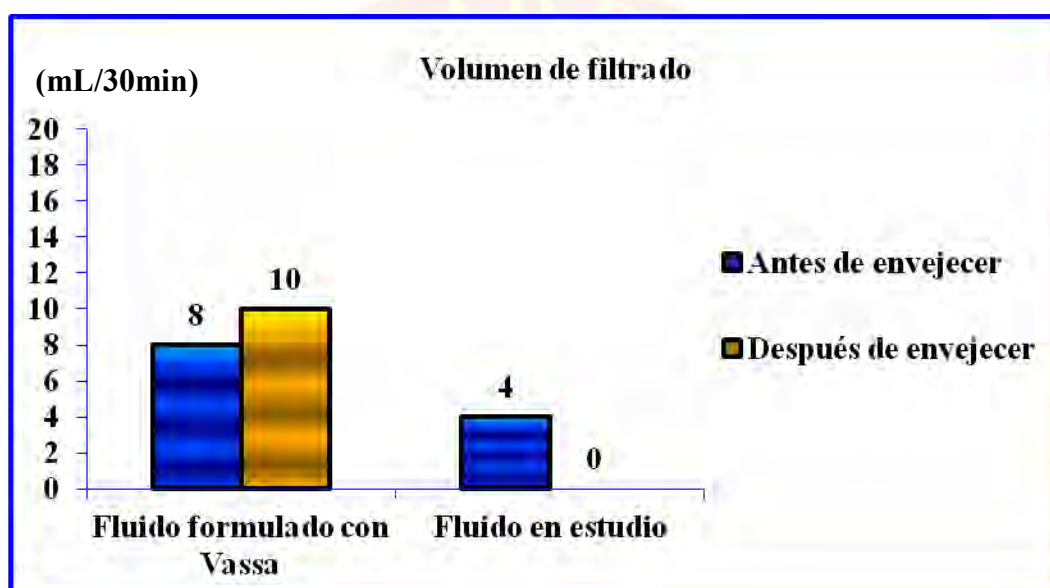


Gráfico 4.5 Volumen del filtrado AP-AT de los fluidos evaluados.

El gráfico 4.5 muestra el comportamiento del fluido en estudio, comparado con el fluido patrón. En este se aprecia que los resultados obtenidos fueron admisibles para la formulación realizada (4 mL/30min) antes del envejecimiento y cero (0) luego del envejecimiento, debido a que el fluido formulado con aceite de motor posee la característica de formar un revoque impermeable que impidió la filtración. Al ser sometido al proceso de envejecimiento dinámico, el fluido ganó más consistencia, formando así una capa de mayor impermeabilidad que evita la invasión del fluido a la formación.

Cabe destacar que los resultados obtenidos para el fluido patrón muestran un caso contrario al fluido formulado con aceite recuperado de motor y biodiesel, porque las propiedades del vassa hacen que con el aumento de presión y temperatura el fluido se haga más ligero y se filtre mayor cantidad del mismo.

4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE UN FLUIDO FORMULADO A BASE DEL ACEITE DE MOTOR PROCESADO

La tabla 4.7 muestra los resultados obtenidos del análisis estadístico, usando el programa Statgraphic plus versión 5.1.

Tabla 4.7 Resultados obtenidos del análisis estadístico.

Propiedad	Muestras		P- valor	Observación
Densidad	Aceite recuperado + Biodiesel	Vassa	0,5371	No existen diferencias significativas
Viscosidad plástica	Aceite recuperado + Biodiesel	Vassa	0,0705	No existen diferencias significativas
Punto cedente	Aceite recuperado + Biodiesel	Vassa	0,0705	No existe diferencias significativas
Geles @ 10 segundos	Aceite recuperado + Biodiesel	Vassa	0,3739	No existen diferencias significativas
Geles @ 10 minutos	Aceite recuperado + Biodiesel	Vassa	0,2746	No existen diferencias significativas
Filtrado AP-AT	Aceite recuperado + Biodiesel	Vassa	0,0000	Existen diferencias significativas

La tabla 4.7 muestra los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado. El F-ratio de la estimación entre y dentro de los grupos para la densidad de los fluidos (Vassa y aceite recuperado de motor con biodiesel), fue igual a 0,45. Además, el p-valor del test F es superior o igual a 0,05 (0,5371), por lo tanto no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las variables o muestras y con una certificación de confiabilidad del 95,0 entre el grupo.

En cuanto al contraste de múltiple de rango de la densidad de los fluidos, se pudo apreciar (ver apéndice B.3), que tampoco existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias, puesto que el grupo mostró homogeneidad, es decir, estadísticamente son iguales, generando así una sola columna del grupo de medias.

El análisis estadístico sobre la viscosidad plástica del fluido evaluado indicó que las medias de las muestras después del envejecimiento no presentan diferencias significativas estadísticamente, debido a que el p-valor resultó ser de 0,0705, es decir, mucho mayor o igual a 0,05 y con un cociente de estimación entre los grupos y dentro de los grupos (f-ratio) de 6,00. (ver apéndice B.4)

Según el contraste de rango de ésta propiedad mostrado en el apéndice B.4, se observa que no existen diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza 95,0%, debido a que se identifica un solo grupo homogéneo según la alineación de X en la columna.

En cuanto al punto cedente, se puede decir que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las 6 variables después del envejecimiento a un 95,0%, puesto que el P-valor del test F es superior o igual a 0,05 (0,0705). Así se puede apreciar en la tabla ANOVA de varianza y contraste de rango

(ver apéndice B.5). En este caso, el coeficiente de estimación entre los grupos y dentro de los grupos fue igual a 6,00.

El contraste de rango permitió identificar homogeneidad de grupos, entre cuyas medias estadísticamente no existen diferencias que sean significativas.

La tabla de varianza para la propiedad de fuerza de gel a diez segundos después de envejecer tanto al fluido patrón como al estudiado, resultó estadísticamente sin diferencias significativas entre las medias de las variables con una confiabilidad del 95,0%, esto basado en el valor del P-valor que para esta propiedad resultó ser de 0,3739 y un F-ratio de 1,00.

El contraste de rango también certifica la no existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las variables, ya que observamos en la tabla (ver apéndice B.6), que existe un grupo homogéneo de las variables y por lo tanto no existen diferencias significativas entre sus medias.

El P-valor para geles a diez minutos fue de 0,2746 (ver apéndice B.7), valor que es mayor o igual a 0,05 siendo éste, el límite para saber si las medias son estadísticamente diferentes unas de otras. Por tal motivo se deduce que no ha diferencias significativas estadísticamente entre las medias de las muestras de fluidos después del envejecimiento ya que el P-valor obtenido supera al límite. El F-ratio resultó igual a 1,60.

Además, el contraste de rango también refleja que existe un solo grupo y que hay homogeneidad entre las medias de las variables del mismo, es decir, que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ellas.

El análisis indica que el filtrado alta presión-alta temperatura existen diferencias significativas entre las medias de las muestras estudiadas, debido a que el coeficiente de estimación entre y dentro de los grupos resultante fue de 392,00 y con un P-valor de 0,0000 (ver apéndice B.8), siendo éste valor menor a 0,05. El contraste de rango confirma que existen diferencias significativas debido a que se diferencian dos grupos de variables.

En síntesis, se que aprecia los resultados de los P-valores para todas las propiedades (excepto el volumen de filtrado AP-AT), se encuentran por encima de 0,05. Éste hecho demuestra que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las propiedades en estudio, lo que indica que el fluido de perforación formulado con 50% de aceite recuperado y 50% de biodiesel se comporta estadísticamente igual que el fluido de perforación con vassa, de acuerdo a las propiedades físicas con un nivel de confiabilidad de 95,0%.

Cabe destacar que a pesar de que hubo diferencias estadísticamente significativas en la prueba de volumen de filtrado, se concluye que resulta beneficioso debido a que el fluido formulado con la mezcla de aceite y biodiesel después del envejecimiento tiene la capacidad de ser más impermeable, por las propiedades del aceite de motor recuperado y por lo tanto, no permitirá filtración a la formación.

CAPÍTULO V

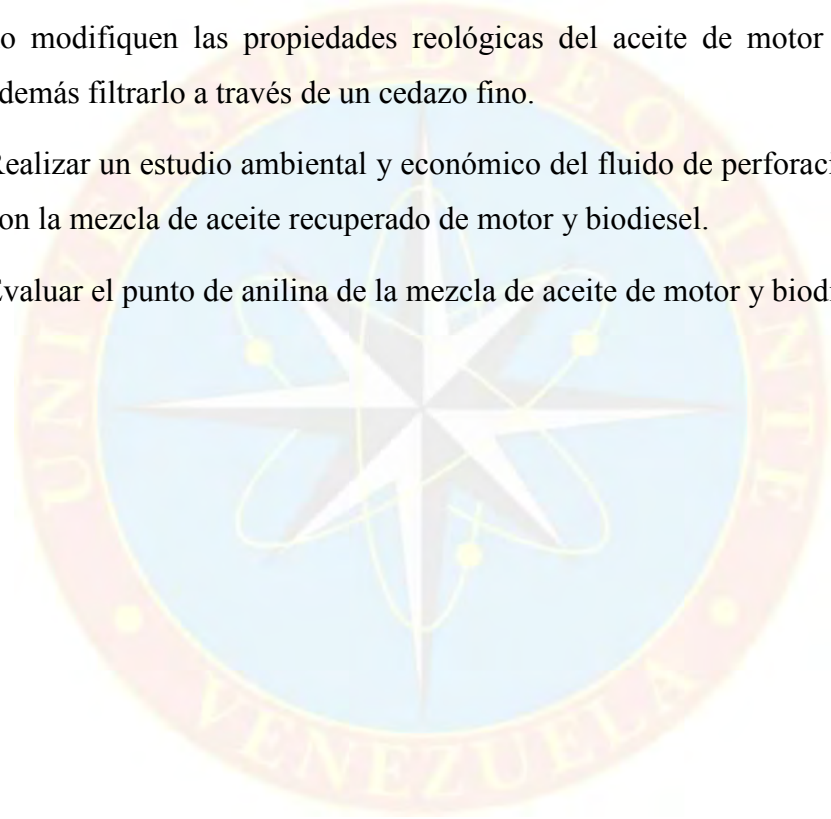
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- ❖ De todas las muestras de aceite estudiadas, la más favorable para la formulación del fluido de perforación fue la de aceite usado de motor , decantado y mezclado con n- heptano.
- ❖ Del estudio de las sustancias naturales, el biodiesel procesado fue el más satisfactorio para la formulación del fluido de perforación en evaluación.
- ❖ Después del envejecimiento hubo una degradación en los aditivos (humectante), lo que generó un incremento en algunas de las propiedades físicas del fluido formulado con aceite recuperado de motor y biodiesel.
- ❖ El comportamiento del fluido formulado con aceite recuperado de motor y biodiesel de soya fue similar que el fluido formulado con aceite mineral para antes y después del envejecimiento, a excepción del volumen de filtrado.
- ❖ Según el análisis estadístico realizado, las propiedades evaluadas (densidad, viscosidad plástica, punto cedente y geles), del fluido de perforación en estudio no mostraron diferencias estadísticamente significativas respecto al fluido patrón, a excepción del volumen de filtrado con un nivel de confianza del 95,0.

5.2 RECOMENDACIONES

- ❖ Estudiar la variación de la proporción de mezcla de aceite recuperado de motor y biodiesel para la formulación de un fluido de perforación.
- ❖ Elaborar para el proceso de limpieza del aceite, un empaque con materiales que arrojen la menor cantidad de sólidos posibles, de tal manera que estos residuos no modifiquen las propiedades reológicas del aceite de motor recuperado y además filtrarlo a través de un cedazo fino.
- ❖ Realizar un estudio ambiental y económico del fluido de perforación formulado con la mezcla de aceite recuperado de motor y biodiesel.
- ❖ Evaluar el punto de anilina de la mezcla de aceite de motor y biodiesel de soya.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARIAS F. (2006). El proyecto de investigación, Editorial Episteme, 5ta.Edición. Caracas, Venezuela.
- BENAVENTE, G. (1999). Aceite Lubricante Usado. Bravo Energy Chile S.A. Boletín N° 2. Chile.
- CEQUEA, C. (2008). “Evaluación de la aplicabilidad de productos químicos nacionales en sustitución de importados en fluidos de perforación base agua y base aceite de servicios Halliburton”. Tesis de grado de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas. Maturín, Venezuela.
- CIED – PDVSA (1998). Fluidos de perforación. Caracas- Venezuela.
- CIED-PDVSA (2002). Manual de fluidos de perforación. Monagas- Venezuela.
- CIED – PDVSA (2003). Fluidos de perforación. Caracas- Venezuela.
- CORREIA, J Y GODOY, G (2011). “Evaluación de un fluido de perforación de base diesel de bajo impacto ambiental”. Tesis de grado de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas. Maturín, Venezuela.
- ESVENCA. (2010). Manual Básico de Fluidos de Perforación. Monagas-Venezuela.
- GARAVITO, N. (1998). Lubricación industrial, Ed. Universidad Nacional Facultad de ingeniería. Colombia.

GUEVARA, A. y ROJAS, R. (2012). “Formulación de un fluido de perforación a base de aceite recuperado de motor”. Tesis de grado de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas. Maturín, Venezuela.

LÓPEZ, I. (2003). *Fluidos de Perforación (1)*. [Libro en línea]. Consultado en Noviembre del 2010 en <http://www.scribd.com/doc/25599222/Fluidos-de-Perforacion>

PRIETO O. 2007. Tecnología de los Fluidos de Perforación. Manual técnico. APOCA. 209. Caracas, Venezuela.

RUIZ, E. (1991). Aceites lubricantes para motores a gasolina. En: Curso de educación continuada fundamentos básicos de lubricación. Bogotá D.E. Colombia.

WIKIPEDIA (2013). [Página web en línea]. Disponible en:

<http://www.biodisol.com/tags/ester-metilico-de-aceite-de-soya/>



APÉNDICES



Apéndice A
Muestra de cálculos

A.1 Densidad

La densidad de la muestra se determinó por el método del picnómetro con la siguiente ecuación.

$$\rho = \frac{m_{ll} - m_v}{V_p} \quad (A.1)$$

Dónde:

ρ : densidad de la muestra, g/mL

m_{ll} : masa del picnómetro lleno de la muestra, g.

m_v : masa del picnómetro vacío, g.

v_p : volumen del picnómetro, mL

Ejemplo:

Tabla A.1 Datos de la prueba de Densidad

Volumen del picnómetro, ml	Peso del picnómetro vacío, g	Peso del picnómetro lleno de fluido, g	Temperatura de la prueba, °C
50,4286	43,5827	87,5504	25

Sustituyendo en la ecuación A.1.

$$\rho = \frac{87,5504 - 43,5827}{50,4286}$$

$$\rho = 0,8719 \text{ g/mL}$$

A.2 Gravedad Específica de la muestra:

$$\rho_{H_2O} = \frac{\rho_{muestra}}{GE} \longrightarrow GE = \frac{\rho_{muestra}}{\rho_{H_2O}} \quad (A.2)$$

Dónde:

GE: Gravedad Específica de la muestra, adim.

$\rho_{muestra}$ = Densidad de la muestra, g/mL

ρ_{H_2O} = Densidad del agua @ Ambiente, °C

$$\rho = 0,8719 \text{ g/mL}$$

$$\rho_{H_2O} = -5,25 \times 10^{-6} (T)^2 + 1,5 \times 10^{-5} (T) + 1$$

$$\rho_{H_2O} = -5,25 \times 10^{-6} (25)^2 + 1,5 \times 10^{-5} (25) + 1$$

$$\rho_{H_2O} = 0,9961 \text{ g/mL}$$

Tabla A.2 Datos de la prueba de GE

$\rho_{muestra}$ (g/mL)	ρ_{H_2O} (g/mL)	Temperatura de la prueba, °C
0,8719	0,9961	25

$$GE = \frac{\rho_{muestra}}{\rho_{H_2O}}$$

$$GE = \frac{0,8719}{0,9961}$$

$$GE = 0,8753$$

A.3 Viscosidad cinemática

$$\vartheta = c \times t \quad (\text{A.3})$$

Dónde:

ϑ : viscosidad cinemática, cSt.

c : constante del capilar a la temperatura de prueba, cSt / s. Se puede obtener de la Tabla B.1.

t : tiempo de flujo, seg.

Tabla A.3 Datos de la prueba de Viscosidad Cinemática

Nº de capilar	Constante del capilar @ 50°C, cSt/seg	Tiempo de flujo, Seg	Temperatura de la prueba, °C
300	0,2714	292	50

$$\vartheta = c \times t$$

$$\vartheta = 0,2714 \times 292$$

$$\vartheta = 79,2488 \text{ cSt}$$

A.4 Viscosidad Plástica

La viscosidad plástica del fluido formulado fue determinada con la siguiente ecuación:

$$VP = \text{Ø } 600 \text{ rpm} - \text{Ø } 300 \text{ rpm}$$

Donde:

Ø 600 rpm: lectura a 600 RPM

Ø 300 rpm: lectura a 300 RPM

VP: viscosidad plástica del fluido, expresada en centipois (gr/cm/s).

Tabla A.4 Datos de la prueba de VP del fluido de perforación con 50% aceite recuperado – 50% biodiesel

Ø 600 (lb/100pie²)	Ø 300 (lb/100pie²)	Temperatura de la prueba, °C
37	22	150

$$VP = \text{Ø } 600 \text{ rpm} - \text{Ø } 300 \text{ rpm}$$

$$VP = 37 - 22$$

$$VP = 15 \text{ cP}$$

Con la viscosidad plástica determinamos el punto cedente:

$$PC = \text{Ø } 300 \text{ rpm} - VP$$

Donde:

Ø 300 rpm: lectura a 300 RPM

VP: viscosidad plástica del fluido, expresada en centipois (gr/cm/s).

PC: punto de cedencia del fluido, expresado en lb/100 pies².

Tabla A.5 Datos de la prueba de Punto Cedente del fluido de perforación con 50% aceite recuperado – 50% biodiesel

VP	Ø 300	Temperatura de la prueba, °C
15	22	150

$$PC = \text{Ø } 300 \text{ rpm} - VP$$

$$PC = 22 - 15$$

$$PC = 7 \text{ lb}/100 \text{ pies}^2$$

A.6 Balance de masa y volumen para la formulación del fluido de perforación a 12 Lb/gal.

Balance de volumen:

$$V_{ad} + V_{bar} + V_{Ac} = V_t \quad (\text{A.6.1})$$

$$V_{Ac} = V_t - V_{ad} - V_{bar}$$

$$V_{ad} = V_{arcilla \text{ org}} + V_{humectante} + V_{cal \text{ hidratada}} + V_{act \text{ polar}} + V_{cont \text{ de filtrado}} + V_{emulsif}$$

$$V = m / \rho$$

$$\text{Masa} = \text{Concentración (lb/bl)} * \text{Volumen Total (bl)}$$

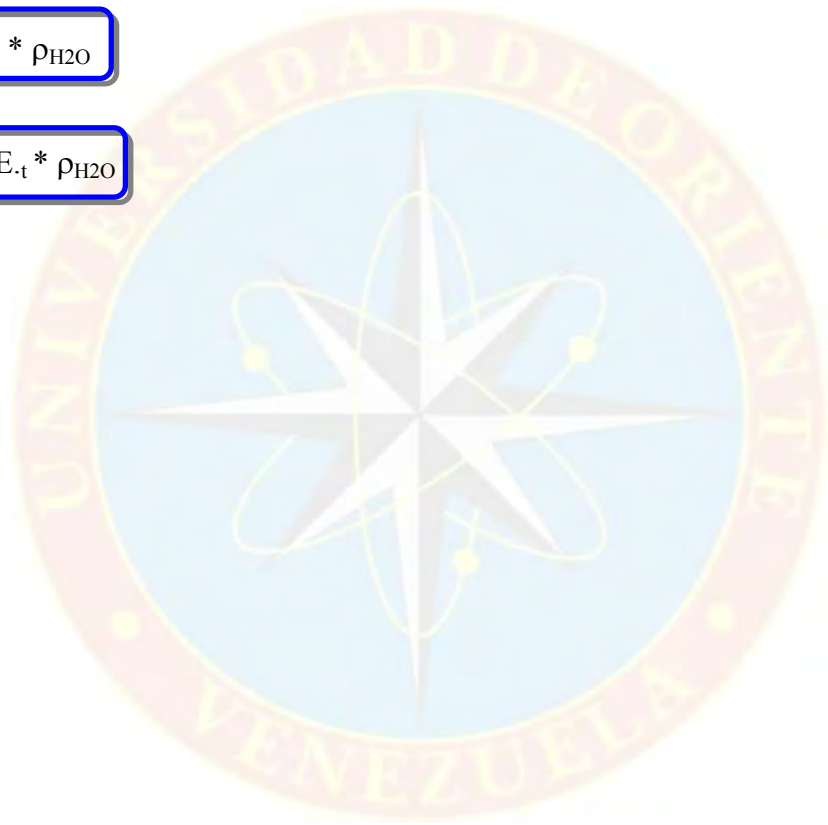
Balance de Masa:

$$m_{ad} + m_{ac} + m_{bar} = m_T$$

$$\rho_{ad} \cdot V_{ad} + \rho_{Ac} \cdot V_{Ac} + \rho_{bar} \cdot V_{bar} = \rho_t \cdot V_t$$

$$\rho = GE * \rho_{H_2O}$$

$$\rho_t = G.E._t * \rho_{H_2O}$$





Apéndice B

Tablas

Tablas B.1 Constantes de calibración para determinar la viscosidad cinemática con tubos capilares para Líquidos Opacos

Tubos viejos N° de capilar	Constantes (cSt/ seg)		
	20 °C	40 °C	100 °C
100	0,01557	0,01553	0,01539
150	0,04000	0,03988	0,03952
200	0,1097	0,1094	0,1084
300	0,2726	0,2718	0,2694
350	0,5160	0,5145	0,5098
400	1,2120	1,2080	1,1970
450	2,3910	2,3840	2,3620

Tablas B.2 Constantes de calibración para determinar la viscosidad cinemática con tubos capilares para Líquidos Opacos

Tubos Nuevos N° de capilar	Constantes (cSt/ seg)	
	40 °C	100 °C
150	0,04284	0,042672
300	0,27878	0,27769
400	1,1052	1,1008
500	6,1795	6,1503
600	21,251	21,168

Tabla B.3 Tabla ANOVA (varianza y contraste de rango) para la densidad del fluido en estudio.

TABLA ANOVA DENSIDAD

ANÁLISIS DE LA VARIANZA

FUENTE	SUMAS DE CUAD.	GL	CUADRADO MEDIO
COCIENTE-F	P-VALOR		
ENTRE GRUPOS	0,0104167	1	0,0104167
INTRA GRUPOS	0,0916667	4	0,0229167
TOTAL (CORR.)	0,102083	5	

CONTRASTE MÚLTIPLE DE RANGO

MÉTODO: 95,0 PORCENTAJE LSD

FREC.	MEDIA	GRUPOS HOMOGÉNEOS
DENSIDAD VASSA	12,2667	X
DENSIDAD ACEITE	12,35	X

CONTRASTE	DIFERENCIAS	+/- LÍMITES
DENSIDAD ACEITE EN - DENSIDAD VASSA ENV		0,0833333
0,343179		

* INDICA UNA DIFERENCIA SIGNIFICATIVA.

Tabla B.4 Tabla ANOVA (varianza y contraste de rango) para la viscosidad plástica del fluido en estudio.

TABLA ANOVA VP

ANÁLISIS DE LA VARIANZA

FUENTE	SUMAS DE CUAD.		GL	CUADRADO MEDIO
COCIENTE-F	P-VALOR			
ENTRE GRUPOS	6,0	1	6,0	6,00
INTRA GRUPOS	4,0	4	1,0	
TOTAL (CORR.)	10,0	5		0,0705

CONTRASTE MÚLTIPLE DE RANGO

MÉTODO: 95,0 PORCENTAJE LSD

	FREC.	MEDIA	GRUPOS HOMOGÉNEOS
VP VASSA ENV	3	17,0	X
VP ACEITE ENV	3	19,0	X

CONTRASTE	DIFERENCIAS	+/- LÍMITES
VP VASSA ENV - VP ACEITE ENV	-2,0	2,26696

* INDICA UNA DIFERENCIA SIGNIFICATIVA.

Tabla B.5 Tabla ANOVA (varianza y contraste de rango) para el punto cedente del fluido en estudio.

TABLA ANOVA PC

ANÁLISIS DE LA VARIANZA

FUENTE	SUMAS DE CUAD.		GL	CUADRADO MEDIO
COCIENTE-F	P-VALOR			
ENTRE GRUPOS	1,5	1	1,5	6,00
INTRA GRUPOS	1,0	4	0,25	0,0705
TOTAL (CORR.)	2,5	5		

CONTRASTE MÚLTIPLE DE RANGO

MÉTODO: 95,0 PORCENTAJE LSD

	FREC.	MEDIA	GRUPOS HOMOGÉNEOS
PC VASSA ENV	3	5,5	X
PC ACEITE ENV	3	6,5	X

CONTRASTE	DIFERENCIAS	+/- LÍMITES
PC VASSA ENV - PC ACEITE ENV	-1,0	1,13348

* INDICA UNA DIFERENCIA SIGNIFICATIVA.

Tabla B.6 Tabla ANOVA (varianza y contraste de rango) para geles @10segundos del fluido en estudio.

TABLA ANOVA GELES 10 S

ANÁLISIS DE LA VARIANZA

FUENTE	SUMAS DE CUAD.	GL	CUADRADO MEDIO
ENTRE GRUPOS	0,166667	1	0,166667
INTRA GRUPOS	0,666667	4	0,166667
TOTAL (CORR.)	0,833333	5	

CONTRASTE MÚLTIPLE DE RANGO

MÉTODO: 95,0 PORCENTAJE LSD

FREC.	MEDIA	GRUPOS HOMOGÉNEOS
GELES 10 S ACEI3	2,5	X
GELES 10 S VASS3	2,83333	X

CONTRASTE DIFERENCIAS +/- LÍMITES

GELES 10 S VASSA E - GELES 10 S ACEITE	0,333333	0,925485
--	----------	----------

* INDICA UNA DIFERENCIA SIGNIFICATIVA.

Tabla B.7 Tabla ANOVA (varianza y contraste de rango) para geles @ 10 minutos del fluido en estudio

TABLA ANOVA GELES 10 MIN

ANÁLISIS DE LA VARIANZA

FUENTE	SUMAS DE CUAD.	GL	CUADRADO MEDIO
ENTRE GRUPOS	0,666667	1	0,666667
INTRA GRUPOS	1,66667	4	0,416667
TOTAL (CORR.)	2,33333	5	

CONTRASTE MÚLTIPLE DE RANGO

MÉTODO: 95,0 PORCENTAJE LSD

FREC.	MEDIA	GRUPOS HOMOGÉNEOS
GELES 10 MIN VA3	3,83333	X
GELES 10 MIN AC3	4,5	X

CONTRASTE	DIFERENCIAS	+/- LÍMITES
GELES 10 MIN VASSA - GELES 10 MIN ACEIT		-0,666667
		1,46332

* INDICA UNA DIFERENCIA SIGNIFICATIVA.

Tabla B.8 Tabla ANOVA (varianza y contraste de rango) para el filtrado alta presión-alta temperatura del fluido en estudio.





Apéndice C

Normas y procedimientos utilizados

C.1 Determinación de la densidad y gravedad específica de una sustancia.

Para la determinación de la densidad y Gravedad específica se efectúa el siguiente procedimiento:

1. Se toma la muestra del fluido en un beaker.
2. Tomamos el picnómetro y lo pesamos en una balanza previamente calibrada. Anotamos la masa del picnómetro vacío.
3. Agregamos la muestra en el picnómetro y colocamos la tapa, de tal manera que la muestra de derrame por el orificio que presenta este instrumento y secamos el exceso del derrame sin limpiar la entrada del orificio.
4. Anotamos el volumen del picnómetro, cuyo valor está tabulado para cada instrumento.
5. Calculamos la densidad de la muestra con la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{m_{ll} - m_v}{V_p}$$

Dónde:

ρ : densidad de la muestra, g/ml

m_{ll} : masa del picnómetro lleno de la muestra, g.

m_v : masa del picnómetro vacío, g.

v_p : volumen del picnómetro, ml.

6. Obtenida la densidad de la muestra, calculamos la densidad del agua con la siguiente ecuación:

$$\rho_{H_2O} = -5,25 \times 10^{-6} (T)^2 + 1,5 \times 10^{-5} (T) + 1$$

7. Obtenidas las dos densidades (muestra y agua), se determina la Gravedad Específica de la muestra con la siguiente ecuación:

$$GE = \frac{\rho_{\text{muestra}}}{\rho_{H_2O}}$$



Figura C.1.1 picnómetro vacío

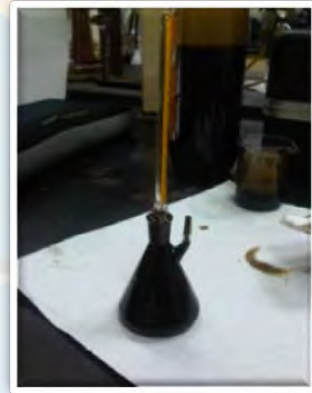


Figura C.1.2 picnómetro lleno



Figura C.1.3 Pesando el picnómetro.

C.2 Determinación de la viscosidad dinámica a partir de la viscosidad cinemática.

NORMA VENEZOLANA
PETRÓLEO CRUDO Y SUS DERIVADOS
DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA
Y CÁLCULO DE LA VISCOSIDAD DINÁMICA

COVENIN
424-91
(1era. Rev.)

1 NORMAS COVENIN A CONSULTAR

COVENIN 254-77	Cedazos de ensayo.
COVENIN 1143-88	Petróleo crudo y sus derivados. Determinación de densidad, densidad relativa (peso específico) y gravedad API. Método del hidrómetro.
COVENIN 1830-81	Especificaciones e instrucciones de operación para viscosímetros cinemáticos capilares de vidrio.
COVENIN 1898-81	Especificaciones para termómetros.
COVENIN 1899-82	Verificación y calibración de termómetros de bulbo de vidrio relleno con líquido.

2 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION

2.1 Esta Norma Venezolana establece el método para la determinación de la viscosidad cinemática de productos líquidos del petróleo, transparentes y opacos, mediante la medición del tiempo en el cual un volumen de líquido fluye por gravedad, a través de un viscosímetro de vidrio calibrado. La viscosidad dinámica se obtiene multiplicando la viscosidad cinemática medida por la densidad del fluido.

2.2 El método es aplicable a líquidos en los cuales el esfuerzo cortante y la velocidad de deslizamiento son proporcionales (fluido Newtoniano, NOTA 1).

NOTA 1: Este método depende del comportamiento de la muestra. En un comportamiento ideal el coeficiente de viscosidad debe ser independiente de la velocidad de deslizamiento (esto se conoce como comportamiento de flujo Newtoniano). Si el coeficiente de viscosidad varía significativamente con la velocidad de deslizamiento, se pueden obtener resultados diferentes utilizando viscosímetros con diferentes diámetros capilares.

3 DEFINICIONES

3.1 VISCOSIDAD CINEMÁTICA. Es una medida de la resistencia interna de un líquido o gas a fluir por gravedad, siendo la presión en el cabezal impulsor proporcional a la densidad del fluido. Para un viscosímetro dado, el tiempo de flujo de un determinado volumen de fluido es directamente proporcional a su viscosidad cinemática, o sea, $V = \eta / \rho$, donde η es el coeficiente de viscosidad

dinámica, ν es la viscosidad cinemática y ρ es la densidad. La unidad cgs de viscosidad cinemática es cm^2/s y se denomina stoke (St). La unidad en el Sistema Internacional es m^2/s y equivale a 10^4 St. Se utiliza frecuentemente el centistoke (cSt) que equivale a 10^{-2} St.

3.2 DENSIDAD. Es la masa por unidad de volumen del fluido. La unidad cgs de la densidad es g/cm^3 . La unidad en el Sistema Internacional es Kg/m^3 .

3.3 VISCOSIDAD DINAMICA. Es el producto de multiplicar la viscosidad cinemática por la densidad del fluido, ambas medidas a la misma temperatura. La unidad cgs de la viscosidad dinámica es $\text{g}/(\text{s} \times \text{cm})$ y se denomina poise (P). La unidad en el Sistema Internacional es 1 Newton-segundo por metro cuadrado y es equivalente a 10 P. Frecuentemente se utiliza el centipoise (cP) que equivale a 10^{-2} P.

NOTA 2: La viscosidad dinámica representa también una cantidad dependiente de la frecuencia cuando el esfuerzo y la velocidad de deslizamiento tienen dependencia sinusoidal con el tiempo.

4 RESUMEN DEL METODO

Se mide el tiempo en segundos, necesario para que un volumen fijo de líquido fluya por gravedad a través de un viscosímetro de vidrio calibrado, bajo condiciones controladas de temperatura. La viscosidad cinemática se calcula como el producto del tiempo de flujo medido y la constante de calibración del viscosímetro.

5 EQUIPOS

5.1 VISCOSIMETRO. Se utilizan viscosímetros de vidrio del tipo capilar, calibrados y capaces de medir viscosidades cinemáticas dentro de los límites de precisión dados en la Sección 9. Los viscosímetros indicados en la Tabla 1 cumplen con estos requisitos.

5.1.1 Son aceptables las alternativas de equipos automáticos que miden viscosidad cinemática dentro de los límites de precisión dados en la Sección 8. Pueden requerir correcciones de energía cinética las viscosidades cinemáticas menores de 10 cSt y tiempos de flujo menores de 200 s.

5.2 SOPORTES DE VISCOSIMETROS. Para suspender el viscosímetro en posición vertical similar a la de calibración. La alineación apropiada de las partes verticales se puede verificar utilizando un nivel vertical.

5.3 BAÑO PARA VISCOSIMETROS. Se puede utilizar cualquier baño de un líquido transparente o baño de vapor, siempre que sea lo suficientemente profundo para que cualquier porción de la muestra en el viscosímetro esté al menos 20 mm por debajo de la superficie del líquido y 20 mm por encima del fondo del baño.

5.3.1 El control de la temperatura debe ser tal, que para el rango de 15 a

100°C (60 a 212°F) la temperatura media del baño no varíe más de 0,01°C (0,02°F) sobre la longitud de los viscosímetros, entre la posición de cada viscosímetro, o en la localización del termómetro. Para temperaturas fuera de intervalo, la variación no debe exceder de 0,03°C (0,05°F).

5.4 TERMOMETROS. Se deben usar termómetros calibrados, (véase Tabla 2) y con precisión no menor de 0,01°C (0,02°F), o cualquier otro aparato termométrico de igual exactitud.

5.5 CRONOMETRO. Debe estar graduado en divisiones de 2 décimas de segundo o menos y con una precisión de $\pm 0,07$ por ciento cuando se utiliza en intervalos de 15 minutos.

Se pueden utilizar cronómetros eléctricos si la frecuencia es controlada con una exactitud de 0,05 por ciento.

6 PROCEDIMIENTO

6.1 CALIBRACION

6.1.1 Viscosímetros. Se deben usar viscosímetros que posean factores de calibración con un error menor o igual a 0,1 por ciento. 0,1%.

6.1.2 Termómetros. Los termómetros se deben verificar con un error máximo de 0,01°C (0,02°F) por comparación directa con un termómetro calibrado.

6.1.2.1 Los termómetros para viscosidad cinemática se deben estandarizar a inmersión total, lo cual significa inmersión hasta el tope de la columna de mercurio. No se debe sumergir el bulbo de expansión del tope del termómetro.

6.1.2.2 Se debe determinar periódicamente el punto de hielo de los termómetros normalizados (ver Anexo A) y las correcciones oficiales se deben ajustar a las variaciones de esta lectura.

6.1.3 Patrones de viscosidad. Se pueden utilizar en los procedimientos de verificación en el laboratorio. Si la viscosidad cinemática medida no está dentro del rango $\pm 0,35$ por ciento del valor certificado, cada paso en el procedimiento debe ser verificado incluyendo la calibración del termómetro y el viscosímetro, para localizar la fuente de error. Se debe considerar que un resultado correcto obtenido en un aceite estándar, no elimina la probabilidad de una combinación balanceada de las posibles fuentes de error. Véase en la Tabla 3 las viscosidades para aceites patrones.

6.2 TECNICAS DE ENSAYO

6.2.1 Procedimiento para viscosidad cinemática

6.2.1.1 Los detalles específicos de operación varían para los diferentes tipos de viscosímetros mostrados en la Tabla 1. En todos los casos, sin embar-

go, se debe proceder de acuerdo a los puntos 6.2.1.1 hasta 6.2.1.6.

6.2.1.2 Se debe mantener el baño a la temperatura del ensayo dentro de los límites dados en 5.3.1 y se deben aplicar las correcciones necesarias, si las hay a todos los termómetros.

6.2.1.3 Se debe asegurar que el punto de congelación del termómetro ha sido determinado recientemente y le ha sido aplicada la corrección necesaria. Se recomienda la verificación semanal de dicho punto (véase anexo A).

6.2.1.4 Se pasa la muestra a través de un cedazo de trama de malla 200, (ver Norma Venezolana COVENIN 254) recogiendo el filtrado en un vaso de precipitados de 100 mL, limpio y seco.

6.2.1.5 Se selecciona un viscosímetro calibrado, limpio y seco adecuado para la viscosidad estimada (es decir, un capilar ancho para un líquido más viscoso y un capilar fino para un líquido más fluido). El tiempo de flujo no debe ser menor de 200 s, ni mayor de 1000 s.

6.2.1.6 Se debe ajustar holgadamente un absorbedor de humedad sobre el extremo abierto del viscosímetro, para evitar condensación de agua, cuando la temperatura de la prueba está por debajo del punto de rocío. Los tubos secantes se deben adaptar al diseño del viscosímetro y no restringir el flujo de muestra a ensayar por presión creada en el instrumento. A temperaturas de ensayo por debajo de 0°C (32°F), es conveniente cargar la muestra dentro del viscosímetro a temperatura ambiente; se deja enfriar el viscosímetro a la temperatura del baño, manteniendo la muestra en el capilar para prevenir acumulación de escarcha en las paredes del mismo.

6.2.1.7 Los viscosímetros utilizados para fluidos que son difíciles de remover con el uso de agentes de limpieza, se deben reservar para el uso exclusivo de estos fluidos, excepto cuando se van a calibrar. A estos viscosímetros se les debe verificar su calibración frecuentemente.

6.2.1.8 Se debe cargar el viscosímetro de acuerdo a la forma indicada por el diseño del instrumento. Esta operación debe coincidir con la utilizada en su calibración.

6.2.1.8.1 Con ciertos productos que poseen comportamiento gelatinoso, se debe cuidar que las mediciones se realicen a temperaturas lo suficientemente altas para que tales materiales fluyan libremente, de forma que se obtengan resultados similares en viscosímetros con diferente diámetro del capilar.

6.2.1.8.2 La viscosidad de aceites lubricantes oscuros, combustibles residuales y productos parafinosos, puede ser afectada por el tratamiento térmico previo. Se debe seguir el procedimiento de precalentamiento dado a continuación para obtener resultados uniformes de viscosidades a temperaturas inferiores a 95°C (200°F).

6.2.1.8.2.1 Para obtener una muestra representativa, se debe calentar con agitación el recipiente original hasta aproximadamente 50°C (122°F). Se verifica mediante una varilla, si los productos cerosos en el fondo del recipiente están disueltos. Se vierten 100 mL en un matraz Erlenmeyer de 125 mL y se tapa holgadamente con un corcho o tapa esmerilada.

Se sumerge el matraz en un baño de agua en ebullición, durante 30 minutos. Se mezcla, se saca la muestra del baño y se pasa a través de un cedazo de trama de malla Covenin 200 (75 μ) a un vaso de precipitados. Se agrega la muestra al viscosímetro que ya se encuentra colocado en el baño. Se realiza la prueba después de 1 hora de estabilización de la temperatura,

6.2.1.9 Se debe mantener el viscosímetro en el baño el tiempo suficiente para alcanzar la temperatura de ensayo. Debido a que este tiempo varía según el instrumento utilizado para diferentes temperaturas, el tiempo debe ser suficiente para que alcance la temperatura de la prueba (30 minutos es suficiente). Cuando el diseño del viscosímetro lo requiera, se debe ajustar el volumen de la muestra después que ésta ha alcanzado la temperatura de equilibrio. Frecuentemente se utiliza un sólo baño para varios viscosímetros. Nunca se debe sumergir o remover un viscosímetro mientras se encuentra otro en uso.

6.2.1.10 Generalmente se aplica succión (si la muestra contiene constituyentes no volátiles) o presión, según el tipo de viscosímetro capilar empleado (ver Norma Venezolana COVENIN 1880) para ajustar el nivel de la muestra 5 mm por encima de la primera marca. Con la muestra fluyendo libremente, se mide en segundos, estimando 0,2 segundos, el tiempo requerido para que el menisco pase de la primera a la segunda marca. Si este tiempo de flujo es menor o mayor que lo especificado (ver punto 6.2.1.5), se debe seleccionar un viscosímetro con otro capilar mayor o menor, según el caso, y se repite la operación.

Para viscosímetros del tipo Ostwald modificado y nivel suspendido, se debe repetir el procedimiento descrito en 6.2.1.5 para hacer una segunda medición del tiempo de flujo. Para viscosímetros del tipo flujo reverso, se usa el mismo u otro viscosímetro y se comienza desde el punto 6.2.1.8 para hacer la segunda medición.

6.2.1.11 Si la desviación entre dos mediciones es menor que 0,2 por ciento, se usa el promedio para calcular la viscosidad cinemática. Para viscosímetros del tipo de flujo reverso la desviación debe ser menor que 0,35 por ciento del promedio, de lo contrario se rechazan los resultados.

6.2.2 Procedimiento para viscosidad dinámica

6.2.2.1 Se determina la viscosidad cinemática como se describe en la Sección 6.2.1.

6.2.2.2 Se determina la densidad de la muestra, con aproximación de 0,001 g/cm³, a la misma temperatura que la utilizada en la determinación de la viscosidad cinemática y siguiendo la Norma Venezolana COVENIN 1143.

6.2.3 Limpieza de viscosímetros

6.2.3.1 Entre determinaciones sucesivas, se debe limpiar el viscosímetro completamente, lavándolo varias veces con un solvente miscible con la muestra, seguido de un enjuague con un solvente volátil. Se seca el viscosímetro haciendo pasar una corriente lenta de aire seco y filtrado, durante dos minutos o hasta que estén eliminadas las últimas trazas de solvente.

6.2.3.2 Se debe limpiar periódicamente el viscosímetro con ácido crómico para remover los posibles depósitos. Se lava con agua destilada y acetona, y se seca con aire seco. Los depósitos inorgánicos se pueden eliminar mediante tratamiento con ácido clorhídrico antes de usar el ácido de limpieza, particularmente si se sospecha la presencia de sales de bario.

7 EXPRESION DE LOS RESULTADOS

7.1 La viscosidad cinemática, expresada en cSt, se calcula a partir del tiempo de flujo medido y el factor de calibración C del instrumento, por medio de la siguiente ecuación:

$$V = C \times t$$

donde:

V = Viscosidad cinemática, cSt

C = Constante de calibración del viscosímetro, cSt/s

t = Tiempo de flujo, s

7.2 La viscosidad dinámica N, expresada en CP, se calcula a partir de la viscosidad cinemática calculada (V) y la densidad (ρ) por medio de la siguiente ecuación:

$$N = \rho \cdot V$$

donde:

N = Viscosidad dinámica, CP.

ρ = Densidad, g/cm³ (NOTA 4) a la misma temperatura utilizada para medir el tiempo de flujo t, y

V = Viscosidad cinemática, cSt

8 INFORME

8.1 El informe deberá contener como mínimo lo siguiente:

- 8.1.1 Fecha de realización del ensayo
- 8.1.2 Nombre del analista
- 8.1.3 Realizado de acuerdo a la Norma Venezolana COVENIN 424
- 8.1.4 Identificación de la muestra
- 8.1.5 Resultados parciales y/o finales

8.2 Se indican los resultados de la prueba para ambas viscosidades cinemática y dinámica, redondeando aproximadamente a una milésima del valor medido o calculado, respectivamente.

NOTA 3: Es permisible utilizar valores de densidad calculados en gramos por mililitro, numéricamente equivalentes a gramos por centímetro cúbico.

9 PRECISION

9.1 Los siguientes valores de precisión se aplican a aceites transparentes y limpios, ensayados entre (15 y 100)°C (59 y 212)°F. Estos valores se obtuvieron utilizando aceites minerales con un intervalo de viscosidad cinemática entre (3 y 1200) cSt a temperaturas entre (38 y 99)°C.

9.1.1 Repetibilidad. La diferencia entre los resultados sucesivos obtenidos por un mismo operador, bajo las mismas condiciones, se deben considerar dudosos si difieren en un caso de veinte, en más de 0,35 por ciento de la media.

9.1.2 Reproducibilidad. Los resultados obtenidos por laboratorios diferentes bajo las mismas condiciones, se deben considerar dudosos si difieren en un caso de veinte, en más de 0,7 por ciento de la media.

9.2 Para combustibles residuales con viscosidades cinemáticas entre (30 y 1300) cSt a 50°C y entre (5 y 170) cSt a 80°C y 100°C se aplican los siguientes criterios:

9.2.1 Repetibilidad. La diferencia entre los resultados sucesivos obtenidos por un mismo operador, bajo las mismas condiciones, se deben considerar dudosos si difieren, en un caso de veinte, en más de:

1,5% X para ensayos a 50°C

1,3% (X + 8 cSt) para ensayos a 80°C y a 100°C.

donde: X = valor promedio.

9.2.2 Reproducibilidad. Los resultados obtenidos por laboratorios diferentes bajo las mismas condiciones, se deben considerar dudosos si difieren en un caso de veinte, en más de:

7,4% X para ensayos a 50°C

4,0% (X + 8 cSt) para ensayos a 80°C y 100°C.

10 TIEMPO DE ANALISIS

10.1 El tiempo requerido para la realización de esta prueba es de 45 min.



Figura C.2.1 Capilares en el viscosímetro x para la posterior determinación de la viscosidad cinemática del aceite recuperado de motor.



Figura C.2.2. Capilares en el viscosímetro x, incrementándole la temperatura.

C.3 Procedimiento de extracción por solventes para la limpieza del aceite usado.

Esta técnica es uno de los procesos más económicos y más eficientes en la recuperación de aceites usados. Éste proceso reemplaza el proceso de ácido-arcilla produciendo un lodo orgánico útil en lugar de un lodo tóxico. Al final Éste proceso es capaz de remover entre 10-14% del aceite usado como contaminante, lo cual corresponde a la cantidad de aditivos e impurezas que normalmente se encuentran en el aceite usado. El sistema debe tener la capacidad de separar el máximo posible de lodos del aceite usado y al mismo tiempo perder la mínima cantidad de base lubricante en los lodos. El procedimiento para llevar a cabo este proceso es el siguiente:

- **Sedimentación:** el aceite usado se guarda en un tanque con fondo cónico para permitir la sedimentación de partículas grandes, se deja en el tanque por 3 días para homogeneizarlo.
- **Adición del solvente:** se adiciona al aceite usado el solvente (se recomienda usar: 2-propanol, MEK o 1-butanol). El proceso consiste en mezclar el aceite usado y el solvente en proporciones adecuadas para asegurar una completa miscibilidad de la base lubricante en el solvente. El solvente debe retener los aditivos y las impurezas orgánicas que normalmente se encuentran en los aceites usados.
- **Agitación:** se agita a 500 rpm durante 10 minutos, estas condiciones aseguran un mezclado adecuado. La mezcla se deja sedimentar por 24 horas, estas impurezas floculan y sedimentan por acción de la gravedad.
- **Lavado:** después de esto se lavan los lodos usando 2-propanol y n-hexano, éste proceso de lavado remueve un 95% del aceite intersticial presente en los lodos.

- **Evaporación:** siguiendo el proceso de lavado los lodos se llevan al horno por 20 minutos a 80 °C para evaporar el exceso de solventes. Las pérdidas del aceite se calculan como el peso de los lodos húmedos antes de lavarlos menos el peso de los lodos secos sobre el peso del aceite adicionado en la mezcla. Se recupera el solvente por destilación para propósitos de reciclaje.



Figura C.3.1. Aceite de motor original y alcohol isopropílico



Figura C.3.2. Centrífuga preparada para la agitación del aceite de motor original y el alcohol



Figura C.3.3. Probeta con la separación de los líquidos (aceite de motor original y alcohol isopropílico)



Figura C.3.4. Decantación de la mezcla de aceite de motor original y alcohol.



Figuras C.3.5. Tesista Milagros Caraballo ejecutando la separación de los líquidos (Aceite y alcohol)



Figura C.3.6. Tesista Anderson Hernández separando la mezcla de los líquidos (Aceite, alcohol y n-heptano)



Figura C.3.7 decantación de la mezcla de alcohol isopropílico,aceite de motor y n-heptano.



Figuras C.3.8 Y C.3.9. Empaques elaborados para la limpieza del aceite de motor decantado.




Figuras C.3.10 y C.3.11. Filtrando el aceite decantado a través de los empaques elaborados.



Figuras C.3.12 y C.3.13. Ejecución del proceso de destilación atmosférica al aceite filtrado por el empaque.

C.4 Norma de control de calidad del aceite mineral

	INSTRUCCION DE TRABAJO	Código: (T-48-85e)									
		Revisión: 0e									
		Fecha: 10/08/2009e									
OPERACION: CONTROL DE CALIDAD DEL ACEITE MINERAL											
<p>1. → PROPOSITO</p> <p>→ Describir los pasos para determinar la calidad del aceite mineral</p> <p>2. → NOMBRE GENÉRICO</p> <p>→ Aceite Mineral</p> <p>3. → NOMBRE COMERCIAL</p> <p>Vassa (LP-120) → Vassa (LP-90) → Vassa (LP-70)</p> <p>4. → FUNCIÓN EN LOS FLUIDOS</p> <p>Fase continua de la formulación de fluidos 100% aceite, tales como Enviromul, Core drill-N y cualquier otro fluido formulado con aceites parafínicos biodegradables en ambientes aeróbicos. Fase discontinua en fluidos base agua o salinos actuando como lubricante y/o agente inhibidor.</p> <p>5. → ESPECIFICACIONES</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nº</th> <th>PROPIEDADES</th> <th>RANGOS DE ACEPTACION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1º</td> <td>Gravedad Específica</td> <td>0.80 a 0.83</td> </tr> <tr> <td>2º</td> <td>Apariencia</td> <td>Líquido incoloro ligeramente viscoso.</td> </tr> </tbody> </table> <p>6. → REFERENCIA</p> <p>Normas API-13-A Normas Internas de Scomi-Oiltools</p> <p>7. → PRUEBAS</p>			Nº	PROPIEDADES	RANGOS DE ACEPTACION	1º	Gravedad Específica	0.80 a 0.83	2º	Apariencia	Líquido incoloro ligeramente viscoso.
Nº	PROPIEDADES	RANGOS DE ACEPTACION									
1º	Gravedad Específica	0.80 a 0.83									
2º	Apariencia	Líquido incoloro ligeramente viscoso.									
Revisado por: Mayra Cuatrecasas	Aprobado por: Guillermo Morante										
Cargo: Supervisor de Laboratorio	Cargo: Gerente de Fluidos de Perforación										



C.5 Procedimiento para la obtención del biodiesel.

- **Valoración:** se realizó la valoración para determinar cuánto catalizador es necesario para la reacción, lo que determinó que son 3,5 g de NaOH por cada litro de aceite de soya.
- **Preparación del metóxido de sodio:** para la obtención del metóxido de sodio se mezcló la soda cáustica (NaOH) y el metanol. Es importante citar, que por cada litro de aceite a procesar, se mezclaron 200 ml (0,2 lt) de metanol con la cantidad de NaOH que se obtuvo en la valoración.
- **Se calentó el aceite de soya, y se unió con el metóxido de sodio mientras se agitaba:** se calentó el aceite a una temperatura aproximada de 50 °C, y se le añadió el metóxido de sodio, agitándose la mezcla durante 30 minutos a temperatura constante. Se tuvo en consideración que el metóxido de sodio se evapora a 62 °C y que la transesterificación también produce algo de calor, así que se ajustó bien la temperatura del aceite para que cuando se comenzará a mezclar no sobrepasara la temperatura límite y evitar que no se completará la reacción.
- **Se dejó reposar la mezcla obtenida, para separar la glicerina mediante decantación:** la mezcla preparada se dejó reposar durante 2 días. La glicerina formó una masa gelatinosa en el fondo de color marrón oscuro, mientras que el biodiesel se posicionó en la parte superior. Una vez reposado, se separó las dos partes por decantación.
- **Lavado del biodiesel:** con el lavado se extrajeron todas las impurezas y trazas de soda cáustica que habían quedado durante el proceso de transesterificación. Para este lavado, se mezcló en un recipiente 1/3 parte de solución de ácido acético y agua destilada. Este proceso se repitió en dos ocasiones, obteniéndose un pH neutro.

- **Secado del biodiesel:** obtenido el biodiesel luego del proceso de lavado, éste se introdujo en una vasija de 5 litros de capacidad y se colocó en un horno a una temperatura de 100 °C, con el fin de eliminar la humedad presente en él.



Figura C.5.1 preparación del biodiesel.



Figura C.5.2. Tesista Milagros Caraballo midiendo la temperatura durante la preparación del biodiesel.



Figura C.5.3. Muestra final del biodiesel elaborado.



C.6 Procedimiento para la determinación de la solubilidad del metanol

Procedimiento para la determinación de la solubilidad del metanol.

1. Pesamos la cápsula de porcelana con la exactitud de $\pm 0,1$ g. Anotar como M1.
2. Medimos con una pipeta 10 mL de agua y la colocamos en un vaso de 100 mL, añadir de 1 a 2g de la muestra (metanol) y agitar con una varilla.
3. Insertar el vaso con la solución en otro vaso de 1000 mL que contiene agua a las $\frac{3}{4}$ partes de su volumen para baño de María, el mismo que deberá ser colocado sobre el sistema ya armado.
4. Calentar con un mechero al vaso grande, hasta la temperatura indicada por el profesor (55°C).
5. Regular la llama del mechero, de tal manera que la temperatura del baño se mantenga constante.
6. Añadimos más metanol al vaso pequeño cuando toda la porción de la muestra se haya disuelto, se debe mantener una parte no disuelta en la solución.
7. Sacamos el vaso pequeño de la solución cuando alcance la temperatura pedida y con el exceso del soluto (parte no disuelta), agitamos fuertemente para comprobar que el exceso no se disuelva, en ese momento se registra la temperatura.
8. Vertimos sólo el líquido (solución saturada) en la cápsula previamente pesada y la colocamos en la balanza, la volvemos a pesar y ahora con la solución. Anotar como M2.
9. Intercambiamos el vaso de 1000 mL por la cápsula con solución saturada en el sistema de calentamiento.
10. Esperamos a que se evapore el aceite (solvente) de la solución contenida en la cápsula hasta que se formen sólidos.
11. Apagamos el mechero y esperamos hasta que se enfríe el sistema para luego pesar la cápsula con el soluto (M3).
12. Se efectúan los cálculos siguientes:

$$\text{Masa del soluto} = M3 - M1$$

$$\text{Masa del solvente} = M2 - M3$$

$$\text{Solubilidad del metanol} = \text{Masa del soluto} / \text{masa del solvente}$$

C.7 Procedimientos para la determinación de las propiedades físicas y químicas del fluido de perforación.

- **Densidad o peso**

Esta se calcula para determinar la densidad del fluido con la finalidad de controlar la presión de la formación y mantener estabilizada la pared del pozo. El procedimiento consiste en:

- 1.- Llenar la taza de la balanza con fluido y tapanla, permitiendo que el exceso de fluido salga por el orificio de la tapa
- 2.- Tapar el orificio con el dedo
- 3.- Lavar la balanza y colocarla sobre el soporte
- 4.- Correr el cursor a lo largo del brazo hasta lograr el equilibrio de la balanza
- 5.- Leer la densidad y registrarla en el reporte de fluido.



Figura C.7.1. Balanza de lodo.

- **Viscosidad plástica**

Con el fin de determinar la capacidad de limpieza y suspensión del fluido con base a sus propiedades reológicas, se determina la viscosidad plástica. Para ello se usa un viscosímetro de lectura directa y el termómetro con rango de temperatura entre 32 y 220°F.

La prueba consiste en:

- 1.- Conectar el instrumento a la fuente de poder apropiada
- 2.- Llenar hasta la marca que posee la taza del viscosímetro con la muestra de fluido recién agitada
- 3.- Colocar la taza del viscosímetro y calentar a 150°F, si el fluido es base aceite. La reología de los fluidos base agua se corre, según API, a temperatura ambiente.
- 4.- Colocar la taza en la plataforma del viscosímetro y levantarla hasta hacer coincidir el nivel de la muestra con la marca del rotor. Apretar el tornillo de la plataforma
- 5.- Encender el equipo y colocar la palanca de cambios o perilla en posición baja y el switch de velocidad en posición alta para obtener 600 RPM.
- 6.- Registrar la lectura como "Lectura a 600 RPM", cuando la aguja alcance la máxima deflexión en el dial o se mantenga constante.
- 7.- Mantener la palanca de cambios o perilla en la posición baja y colocar el switch de velocidad en posición baja (perilla inferior hacia atrás) para obtener 300 RPM.
- 8.- Registrar la lectura como "Lectura a 300 RPM", cuando la aguja alcance la máxima deflexión en el dial o se mantenga constante.
- 9.- Calcular la VP como la diferencia entre la lectura de 600RPM y 300 RPM.

- **Geles**

La prueba consiste en:

18 Registrar la lectura como "Gel inicial" a 10 s. expresada en $\text{lb}/100 \text{ pie}^2$

19 Medir a 6 RPM la fuerza de gel a 10 minutos, con la palanca de cambio o perilla en posición media y el switch en posición alta.

El procedimiento consiste en:

19.1. Agitar la muestra por diez minutos a 600 RPM

19.2. Colocar la palanca de cambios o perilla en posición media y el switch en posición media para apagar el motor.

19.3. Mantener el fluido estático por diez minutos y luego colocar el switch de velocidad en posición baja.

20 Registrar la lectura como "Gel final" a 10 minutos expresada en $\text{lbs}/100 \text{ pie}^2$, cuando la aguja alcance la máxima deflexión en el dial.



Figura C.7.2. Viscosímetro Fann

- **Porcentaje (%) de sólidos y líquidos**

Esta prueba permite determinar el porcentaje en volumen de los sólidos de alta y baja gravedad específica.

El procedimiento consiste en:

- 1 Sacar la retorta del bloque aislante y destornillar el condensador, utilizando la espátula como destornillador, remover la cámara de lodo de la cámara superior de la retorta.

- 2 Empacar la cámara superior de la retorta con lana de acero fina y agregar lubricante de alta temperatura a las roscas de la cámara de fluido y del condensador.

- 3 Llenar la cámara de fluido y colocar la tapa, permitiendo que el exceso salga por el orificio de la tapa (en este momento es donde se introducen los errores más frecuentes. Asegurarse de que no quede aire atrapado en la cámara.

Un volumen exacto de fluido es esencial en esta prueba.

- 4 Limpiar el exceso de fluido y atornillar la cámara de fluido en la cámara superior

- 5 Conectar el condensador

- 6 Colocar la retorta en el bloque aislante y cerrar la tapa aisladora

- 7 Añadir una gota de agente humectante (Wetting agent) en el cilindro graduado de 10 ml y colocarlo debajo del drenaje del condensador. Conectar el cable de la retorta al enchufe de 115 voltios.

- 8 Calentar hasta que no salga más gota del drenaje del condensador o hasta que la luz piloto apague (aproximadamente 30 minutos).

- 9 Usar la espátula para raspar el fluido seco de la pared de la cámara de fluido y de la tapa, para asegurar el volumen correcto.

- 10 No utilizar lana de acero quemado.

- 11 Asegurarse de desconectar la retorta después de cada prueba.



Figura C.7.3. Retorta

- **Estabilidad eléctrica**

La estabilidad eléctrica se mide a un fluido de perforación base aceite o sintético. La estabilidad eléctrica de un fluido base aceite es indicativa de que tan bien emulsionada se encuentra el agua en el aceite. Unidad: voltios (V).

El método consiste en sumergir la punta de prueba en la muestra con el medidor desconectado, asegurándose de que el fluido cubriera las caras del electrodo. Se revolvió la muestra con la punta de prueba, se encendió el medidor de estabilidad eléctrica y luego se oprimió el botón “Test” para empezar la prueba registrando el voltaje cuando los valores reflejados se estabilizaron.



Figura C.7.4. Medidor de la estabilidad eléctrica modelo 23d.

- **Filtrado AP-AT**

Este filtrado se corre a alta presión y alta temperatura (300 F y 500 psi) y debe ser 100% aceite.

La presencia de agua en el filtrado de una emulsión inversa base aceite indica la ruptura de la emulsión, lo cual traería problemas de humectabilidad y precipitación del material densificante (Barita). Se efectúa de la siguiente manera:

- 1 Conectar la chaqueta de calentamiento al voltaje correcto para la unidad e introducir el termómetro en el orificio de la chaqueta.

- 2 Precalentar la chaqueta 10° por encima de la temperatura de la prueba y mantener esta temperatura ajustando el termostato. Chequear todas las empaaduras y O – rings para reemplazar las dañadas.

- 3 Agitar la muestra de lodo por 10 minutos. Con la válvula de aguja de entrada cerrada y la celda invertida, llenar con fluido dejando aproximadamente $\frac{1}{2}$ " del tope del O – rings de la celda.
- 4 Colocar un papel filtro de $2 \frac{1}{2}$ " de diámetro hasta llegar a la muesca del O – rings
- 5 Colocar la tapa de la celda tratando de alinear los huecos con los tornillos de seguridad (Tipo allen)
- 6 Enroscar la válvula de aguja de salida y cerrarla
- 7 Apretar los tornillos de seguridad firmemente
- 8 Invertir nuevamente la celda y colocarla en la chaqueta de calentamiento con todas las válvulas de agujas cerradas hasta que encaje en el retén interno de la chaqueta y quede bien ajustada en ella.
- 9 Introducir un termómetro en el orificio de la celda. Colocar la unidad reguladora de presión en la válvula inferior y asegurarla con el anillo retenedor, colocar el cartucho de CO₂. Realizar la misma operación con la unidad reguladora de presión superior.
- 10 Aplicar 100 psi a ambas unidades de presión y abrir la válvula superior de aguja $\frac{1}{4}$ de vuelta.
- 11 Incrementar la presión de la válvula de aguja superior hasta 600 psi y abrir la válvula inferior un $\frac{1}{4}$ de vuelta, cuando la temperatura de la prueba es alcanzada. Aquí comienza la prueba de filtración.
- 12 Recolectar filtrado por 30 minutos.
- 13 Drenar filtrado en un cilindro graduado, cada vez que el manómetro inferior marque una división por encima de 100 psi y así sucesivamente hasta que se cumplan los 30 minutos que exige la prueba.
- 14 Cerrar las dos válvulas de aguja firmemente, cuando hayan transcurrido los 30 minutos.
- 15 Sacar el remanente de filtrado que pudo haber quedado en el tubo receptor.
- 16 Aflojar las válvulas de ambos reguladores de presión y sacar la presión por las válvulas de alivio (en ese momento, existe una presión de 500 psi dentro de la celda).

- 17 Quitar los anillos retenedores y las unidades reguladoras de presión
- 18 Registrar el volumen de filtrado recolectado en el cilindro
- 19 Doblar el volumen de filtrado y reportarlo como Pérdida de Filtrado a Alta Presión – Alta Temperatura expresados en cc/30 minutos.
20. Colocar la celda verticalmente hasta que enfríe totalmente, acostada sacarle la presión abriendo la válvula de aguja superior.
- 21 Destornillar los retenedores con una llave allen apropiada, una vez seguro de que no exista presión.
- 22 Lavar y limpiar todas las piezas y secarlas antes de realizar otra prueba



Figura C.7.5. Filtros AP-AT



Figura C.7.6 y C.7.7 Br. Anderson Hernández montando el fluido para llevar a cabo la prueba de filtrado.



Figura C.7.8 Montado el fluido en estudio dentro del filtro AP-AT.



Figura C.7.9, C.7.10 y C.7.11 Revoques de algunas muestras del fluido estudiado.

D.1 Resultados obtenidos de las repeticiones realizadas para cada propiedad física de los fluidos antes y después del envejecimiento.

PROPIEDADES	Repeticiones de las pruebas físicas del fluido formulado con Vassa sin envejecer (S.E) y envejecido(ENV)						Repeticiones de las pruebas físicas del fluido en estudio sin envejecer (S.E) y envejecido(ENV)					
	S.E (I)	S.E (II)	S.E (III)	ENV (I)	ENV (II)	ENV (III)	S.E (I)	S.E (II)	S.E (III)	ENV (I)	ENV (II)	ENV (III)
Densidad (lb/gal)	12	12	12	12,2	12,1	12,15	12	12	12	12,3	12,4	12,35
VP (cP)	13	14	13,5	15	15	15	15	15	15	17	15	16
PC (lb/100pie ²)	5	5	5	5,5	6	5	5	6	5,5	6	7	6,5
Geles @ 10 s, lb/100pie ²	3	3	3	3	3	2,5	2	3	2,5	3	2	2,5
Geles @ 10 min, lb/100pie ²	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4,5
% sólidos	10	15	13	20	25	23	20	25	23	30	34	32
% líquidos (agua-aceite)	(2-88)	(2-83)	(1-86)	(1-80)	(1-75)	(2s-77)	(2-78)	(1-74)	(2-75)	(1-69)	(1-65)	(1-67)
Estabilidad eléctrica (V)	>1023	>1025	>1024	> 2000	> 2000	> 2000	> 1028	> 1029	>1029	> 2000	> 2000	> 2000
filtrado AP-AT (mL/30 min)	7	8	9	10	10	9	4	3	4	1	0	0

HOJAS METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 1/6

Título	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN FLUIDO DE PERFORACIÓN A BASE DE ACEITE RECUPERADO DE MOTOR
Subtítulo	

El Título es requerido. El subtítulo o título alternativo es opcional.

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
MILAGROS DEL CARMEN CARABALLO FLORES	CVLAC	C.I. 17.487.748
	e-mail	Milagros-caraballo@hotmail.com
ANDERSON JOSÉ HERNÁNDEZ	CVLAC	C.I. 18.865.994
	e-mail	Andrew-joc_18@hotmail.com

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres de un autor. El formato para escribir los apellidos y nombres es: "Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2". Si el autor esta registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el numero de la Cedula de Identidad). El campo e-mail es completamente opcional y depende de la voluntad de los autores.

Palabras o frases claves:

Fluido de Perforación
Perforación
Fluido

El representante de la subcomisión de tesis solicitará a los miembros del jurado la lista de las palabras claves. Deben indicarse por lo menos cuatro (4) palabras clave.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Sub-área
Tecnología y ciencias aplicadas	Ingeniería de Petróleo

Debe indicarse por lo menos una línea o área de investigación y por cada área por lo menos un subárea. El representante de la subcomisión solicitará esta información a los miembros del jurado.

Resumen (Abstract):

La industria petrolera tiene la necesidad del uso de fluidos base aceite por las altas profundidades en donde se encuentran las arenas objetivos implicando esto altas presiones y elevadas temperaturas. Se utilizan también en ambientes corrosivos y para la perforación de formaciones solubles en agua e hidratables o de pozos desviados, entre otros. En éste trabajo de investigación, se consideró el aceite residual de motor como la posible base de un fluido de perforación con adición de productos naturales. Al aceite de motor se le realizó el proceso de extracción por solventes a fin de determinar la muestra de aceite más apta la elaboración del fluido de perforación. Además, se estudiaron diversos productos naturales, resultando el biodiesel como el más favorable para tal objetivo, debido a que las propiedades evaluadas de este producto fueron las que más se adaptaron a la formulación del fluido de perforación. A través de las normas API N°13B-1, fueron realizadas las pruebas para determinar las propiedades físicas necesarias y así evaluar el comportamiento del fluido de perforación en estudio, tanto antes como después del envejecimiento dinámico. Se hizo un análisis de varianza con la finalidad de apreciar el comportamiento del fluido formulado con aceite recuperado de motor, haciendo una comparación con el fluido patrón (fluido formulado con aceite mineral como fase continua), cuyos resultados indicaron que fluido evaluado actuaba muy similar al fluido patrón, porque no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las propiedades en estudio, excepto en el nivel de filtrado.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Ing. García María	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I 15.510.689
	e-mail	mariacgarcia1@hotmail.com
	e-mail	
Ing Otahola Jesus	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I. 14.940.176
	e-mail	jotahola@hotmail.com
	e-mail	
Msc. Ing. Deasy Osuna	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I 10.148.701
	e-mail	deasyo@hotmail.com
	e-mail	

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres del tutor y los otros dos (2) jurados. El formato para escribir los apellidos y nombres es: "Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2". Si el autor esta registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el numero de la Cedula de Identidad). El campo e-mail es completamente opcional y depende de la voluntad de los autores. La codificación del Rol es: CA = Coautor, AS = Asesor, TU = Tutor, JU = Jurado.

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2013	10	24

Fecha en formato ISO (AAAA-MM-DD). Ej: 2005-03-18. El dato fecha es requerido.

Lenguaje: spa

Requerido. Lenguaje del texto discutido y aprobado, codificado usando ISO 639-2. El código para español o castellano es spa. El código para ingles en. Si el lenguaje se especifica, se asume que es el inglés (en).

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo
TESIS_CARABALLO_HERNANDEZ

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 _ - .**

Alcance:

Espacial: _____ (opcional)
Temporal: _____ (opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero en Petróleo

Dato requerido. Ejemplo: Licenciado en Matemáticas, Magister Scientiarum en Biología Pesquera, Profesor Asociado, Administrativo III, etc

Nivel Asociado con el trabajo:

Ingeniería

Dato requerido. Ejs: Licenciatura, Magister, Doctorado, Post-doctorado, etc.

Área de Estudio:

Tecnología y ciencias aplicadas

Usualmente es el nombre del programa o departamento.

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente Núcleo Monagas

Si como producto de convenciones, otras instituciones además de la Universidad de Oriente, avalan el título o grado obtenido, el nombre de estas instituciones debe incluirse aquí.

Hoja de metadatos para tesis y trabajos de Ascenso- 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CU N° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI - 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

RECIBIDO POR [Firma]
FECHA 5/8/09 HORA 5:20

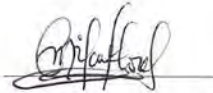
Cordialmente,
JUAN A. BOLANOS CUNELA
Secretario

C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YOC/manuja

Derechos:

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicado CU-034-2009): "Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad, y sólo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo Resectivo, quien deberá participar previamente al Consejo Universitario, para su autorización".



Milagros Del Carmen. Caraballo

C.I.: 17.487.748

Autora



Anderson J. Hernández

C.I.: 18.865.994

Autor



Ing. García María

Asesor