



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA

**EFFECTO SOBRE SUELO DE UN FLUIDO BASE GASOIL TRATADO
CON HEXANO MEDIANTE CROMATOGRAFÍA DE COLUMNA**

REALIZADO POR:

CARLOS DEL JESÚS ALFONZO MARCANO
LENIS DEL VALLE NAVARRO AGUINAGALDI

**Presentado ante la Universidad de Oriente para obtener el título de: trabajo de
grado Ingeniero de Petróleo**

MATURÍN, FEBRERO 2020



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA

**EFFECTO SOBRE SUELO DE UN FLUIDO BASE GASOIL TRATADO
CON HEXANO MEDIANTE CROMATOGRAFÍA DE COLUMNA**

REALIZADO POR:
CARLOS DEL JESÚS ALFONZO MARCANO
C.I.: 20.903.896
LENIS DEL VALLE NAVARRO AGUINAGALDI
C.I.:20.882.659

REVISADO POR:

MSc. ING. RUBÉN VEGA
Asesor Académico

MATURÍN, FEBRERO DE 2020



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA

**EFFECTO SOBRE SUELO DE UN FLUIDO BASE GASOIL TRATADO
CON HEXANO MEDIANTE CROMATOGRFÍA DE COLUMNA**

REALIZADO POR:
CARLOS DEL JESÚS ALFONZO MARCANO
C.I.: 20.903.896
LENIS DEL VALLE NAVARRO AGUINAGALDI
C.I.:20.882.659

APROBADO POR:

MSc. ING. RUBÉN VEGA
Asesor Académico

Ing. MARTHA ESPINOZA
Jurado
Ing. ALMARY GÓMEZ
Jurado

MATURÍN, FEBRERO DE 2020

RESOLUCIÓN

De acuerdo al Artículo 41 del reglamento de Trabajos de Grado: “Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad, y solo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo Respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización”

DEDICATORIA

Sin duda alguna, DIOS te dedico este triunfo por ser mi amigo único e inigualable, siempre eres y serás mi guía.

A mis padres Carlos y Yanet por ser siempre el motor que da sentido a mi vida orgullosos de tenerlos los amo y los admiro.

Carla Alfonzo te dedico este logro por ser siempre fuente inspiradora en mi carrera hermana vales demasiado.

Yenifer García a ti por nunca dudar que si podía lógralo te amo necia mía.

A mi familia materna por siempre dar su granito de arena para poder llegar hacer posible este sueño tan anhelado.

A la sra Martha “mami Caro” por su apoyo incondicional en la UDO.

A todos aquellos amigos que aportaron su ayuda en este largo transitar.

Nicanor Ochoa este triunfo sin duda se lo dedico mi jefe.

CARLOS DEL JESUS ALFONZO MARCANO

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradezco a Dios todo poderoso por haberme dado la vida, la dicha y la oportunidad de venir a este mundo, por nunca dejarme solo en los más duros momentos, gracias padre amado por tu infinita misericordia.

A mis grandes guías espirituales Efraín Vásquez y mi patrón Nicanor Ochoa gracias por tanto y por todo los quiero.

A mis padres Carlos Alfonzo y Yanet Marcano por ser mis pilares elementales en mi vida, por ser ellos mis mayores motivos de luchar infinitas gracias padres hermosos los amo. Y a mi hermana adorada Carla Alfonzo gracias por ser mi amiga, mi confidente mi todo eres lo mejor del mundo, siempre te agradeceré tu apoyo, siempre fue incondicional en esos momentos donde se necesitó te amo.

Mi amor Yenifer García llegaste a mi vida en el momento indicado, mi novia, mi amiga mi todo eres parte de mi vida entera gracias por siempre impulsarme en todo momento te amo mi reina hermosa.

A mis tías y tíos Haidy, Bertha, Noris y Tirso Ramón, abuela Bertha, primas Luz, Petra, Yeli, Crisbell y sin duda alguna mi Lucia adorada gracias por todo.

A mi padre hermoso Tirso Marcano mi mayor motivación siempre fuiste tú mi viejo, a mi tío Henry y a mi abuela Estebina que desde el cielo me guiaron cada paso, son mis mejores ángeles gracias por todo.

A mi compañera de tesis Lenis Navarro por soportar mi genio y por entenderme siempre, gracias amiga por compartir conmigo este duro camino.

A mi gran asesor MSc. Ing. Rubén Vega gracias por su apoyo incondicional profe, sus consejos y regaños valieron la pena, siempre es y será un profesional admirable.

A mis compañeros de batallas Carlos González y Alexis Mercado sin duda su amistad vale mucho hermanos gracias por todo y por creer siempre en mí.

CARLOS DEL JESUS ALFONZO MARCANO

DEDICATORIA

Especialmente y con mucho amor a mi madre Luz Aguinagaldi que siempre me apoyó, creyó y confió en mí, motivándome a que pudiera culminar lo que un día con mucho esfuerzo me ayudó a empezar, ya que en todo momento eres y serás una de mis principales fuente de inspiración, este regalo también es para ti, me has enseñado que nada es imposible cuando uno se lo propone, que hay que soñar y hacer que ese sueño se haga realidad, con optimismo, esfuerzo, y dedicación.

A mi hermano Raúl por el apoyo incondicional que me diste en esta etapa de mi vida porque me motivaste a seguir adelante, a superarme y lograr que su hermanita fuera ingeniera, te quiero.

¡Y por supuesto! Lo dedico a mí misma, por no desistir, por ser fuerte ante las adversidades, por no dejarme vencer, ya que en ocasiones el principal obstáculo se encuentra dentro de uno.

Lenis Del Valle Navarro Aguinagaldi

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por ser mi guía y por permitirme alcanzar este sueño, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A la Universidad de Oriente, institución en la que he vivido muchas experiencias buenas, orgullosa de pertenecer a esta casa de estudio la cual me ha brindado la oportunidad de formarme como profesional.

A mi madre Luz Aguinagaldi, quien me ha hecho la persona que soy hoy y a la que le debo todo. Mi inagotable fuente de inspiración, mi orgullo incesante, el mejor ejemplo a seguir; a quien me ha enseñado a luchar y a perseguir lo que quiero porque ha dedicado su vida a demostrarme que el amor y el trabajo todo lo pueden.

A mis hermanos cada uno con su forma de ser, por siempre estar allí dándome aliento para seguir adelante, en especial Raúl gracias por apoyarme siempre.

A mi amiga Carmarys Villarroel por su motivación constante en estos últimos años, aconsejándome y ofreciéndome todo su apoyo en este largo camino.

A mi amigo y compañero de tesis Carlos Alfonzo, gracias por su paciencia y apoyo durante este proyecto, por su dedicación y su gran amistad.

A mi querido tutor MSc. Ing Rubén Vega gracias por su apoyo, brindarnos sus conocimientos y sobre todo por creer en nosotros.

A todos mis amigos que hicieron agradable mi estadía en la UDO en especial a Seidy Malavé, Dayana Gil, Angélica Rengel, Rosalba Villegas, Irianny Carmona, Lismarys Mora, gracias por su apoyo y a todos los que de alguna manera me ayudaron en la carrera universitaria.

Lenis Del Valle Navarro Aguinagaldi

ÍNDICE GENERAL

RESOLUCIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
INTRODUCCIÓN	1
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	4
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	5
2.2 BASES TEÓRICAS	6
2.2.1 Fluido de perforación.....	6
2.2.2 Funciones de los fluidos de perforación	6
2.2.3 Fluidos base aceite	8
2.2.4 Contaminación.....	8
2.2.5 Suelo contaminado.....	8
2.2.6 Efectos de los hidrocarburos en el suelo.....	9
2.2.7 Efectos de los hidrocarburos en los seres vivos.....	10
2.3 BASES LEGALES.....	10
2.3.1 Constitución Nacional de la República Bolivariana de Venezuela	10
2.3.2 Ley Orgánica del Ambiente.....	11
2.3.3 Ley Penal del Ambiente.....	12
2.3.3.1 Manejo indebido de Sustancias y/o Materiales Peligrosos	12
2.3.4 Decreto 2635.....	13
2.4 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	14
CAPÍTULO III	16
MARCO METODOLÓGICO	16
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	16
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	17
3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	17

3.4.1 Explicación mediante Espectroscopia (IR) la composición del gasoil antes y después de ser tratado por cromatografía de columna.	17
3.4.2 Comparación de las propiedades físicas de los fluidos de perforación base aceite (gasoil, gasoil tratado y Vassa), así como el punto de Anilina de las tres bases de los fluidos.....	18
3.4.3 Estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo contaminado con fluidos de perforación base aceite con base gasoil, gasoil tratado y Vassa.	19
3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	21
3.5.1 Técnicas	21
3.5.1.1 Observación directa	21
3.5.1.2 Revisión bibliográfica.....	21
3.6 RECURSOS	21
3.6.1 Recursos humanos	21
3.6.2 Recursos financieros.....	22
3.6.3 Recursos materiales y bibliográficos	22
CAPÍTULO IV	23
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	23
4.1 EXPLICACIÓN MEDIANTE ESPECTROSCOPIA (IR) LA COMPOSICIÓN DEL GASOIL ANTES Y DESPUÉS DE SER TRATADO POR CROMATOGRAFÍA DE COLUMNA	23
4.2 COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE ACEITE (GASOIL, GASOIL TRATADO Y VASSA), ASÍ COMO EL PUNTO DE ANILINA DE LAS TRES BASES DE LOS FLUIDOS.....	28
4.3 ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO CONTAMINADO CON FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE ACEITE CON BASE GASOIL, GASOIL TRATADO Y VASSA	34
4.3.1 Propiedades de las muestras de suelo estudiadas	35
4.3.1.1 pH.....	35
4.3.1.2 Conductividad eléctrica	37
4.3.1.3 Aluminio intercambiable	39
4.3.1.4 Aceites y grasas.....	40
4.3.2 Germinación de las semillas de caraotas (<i>Phaseolus vulgaris</i>).....	42
4.3.3 Crecimientos de las plantas de caraotas a distintas concentraciones.....	42
CAPÍTULO V.....	45
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	45
5.1 CONCLUSIONES.....	45
5.2 RECOMENDACIONES	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
APÉNDICES.....	51
HOJAS METADATOS.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1 Fases de la cromatografía de columna (mecánica) realizada.....	23
Figura 4.2 Espectroscopia de gasoil tratado con hexano y gasoil en su estado natural 1.....	27
Figura 4.3 Espectroscopia de gasoil tratado con hexano y gasoil en su estado natural 2.....	27
Figura 4.4 Propiedades reológicas de los fluidos formulados.....	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Aditivos y concentración para la formulación	19
Tabla 3.2 Distribución de la proporción de fluido de perforación, para estudiar las propiedades del gasoil, gasoil tratado y aceite Vassa.	20
Tabla 4.1 Aditivos y concentración para la formulación	29
Tabla 4.2 Propiedades de los fluidos formulados	30
Tabla 4.3 Temperaturas de los diferentes puntos de anilinas de los tres fluidos de perforación	32
Tabla 4.4 Temperaturas de destilación para los diferentes volúmenes de fluido.....	33
Tabla 4.5 pH obtenido de muestra de suelo sin contaminar	35
Tabla 4.6 pH obtenidos de las diferentes muestras de suelo después de la contaminación	35
Tabla 4.7 Conductividad de la muestra de suelo sin contaminar	37
Tabla 4.8 Conductividades de las diferentes muestras de suelo contaminados	37
Tabla 4.9 Aluminio intercambiable de la muestra de suelo sin contaminar	39
Tabla 4.10 Aluminio intercambiable.....	39
Tabla 4.11 Aceites y grasas de la muestra de suelo sin contaminar	41
Tabla 4.12 Aceites y grasas de las diferentes muestras estudiadas.....	41

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 4.1 Prueba de Friedman para el pH. Letras distintas representan diferencias estadística significativas	36
Gráfica 4.2 Prueba de Friedman para la conductividad eléctrica.....	38
Gráfica 4.3 Prueba de Friedman para el aluminio intercambiable.....	40
Gráfica 4.4 Prueba de Friedman para aceites y grasas.....	42



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA

EFFECTO SOBRE SUELO DE UN FLUIDO BASE GASOIL TRATADO CON
HEXANO MEDIANTE CROMATOGRFÍA DE COLUMNA

Autor:

Carlos del Jesús Alfonso Marcano
C.I. 20.903.896
Lenis del Valle Navarro Aguinagaldi
C.I. 20.882.659

Asesor:

MSc. Rubén Vega

Febrero 2020

RESUMEN

Los fluidos de perforación eran inicialmente agua y arcilla, pero a partir de los años 50 aproximadamente, se desarrollaron fluidos base aceite, que mejoran las propiedades físicas del fluido, no reaccionan con las arcillas y favorecen la tasa de penetración, así como la efectividad del mismo. Generalmente el aceite que se utilizó fue el gasoil o aceites minerales de origen hidrocarburo, pero son contaminantes al medio ambiente. Ante lo descrito la presente investigación, pretendió conocer si un fluido base gasoil tratado este previamente mediante cromatografía de columna lo hace más amigable al ambiente. Para ello, se hizo fluir gasoil y hexano por una columna de gel de sílice buscando retener los componentes pesados presentes en él. Seguidamente, se le midió el punto de anilina (61,7°C), logrando ser este mayor que el del gasoil natural (60,4°C) y aceite Vassa (59,7°C), aspecto que se deseaba lograr. Seguidamente, mediante Espectroscopia IR se observó una disminución de los componentes pesados alrededor de 3700 cm⁻¹. Posteriormente, se formularon tres fluidos, uno con gasoil tratado y otros dos con gasoil y aceite Vassa y se procedió a contaminar muestras de suelo del área petrolera de Musipán en relación 2:1, 3:1 y 4:1; y 24 h después se sembraron tres semillas de caraotas (*Phaseolus vulgaris*) como bioindicador. Las muestras de suelo fueron caracterizadas antes y después de ser contaminadas, para ello se les midieron las propiedades de pH (5,21) suelo ácido típico de las llanuras del oriente del país, conductividad eléctrica (0,38 mmhos/cm), aluminio intercambiable (0,02 meq/100g suelo), y aceite y grasas (1,4%). Posterior a los 21 días de estudio se midieron las mismas propiedades lo que permitió realizar un ANOVA ($\alpha=0,05$) y un test de Duncan a partir de un estudio de bloques al azar mediante la aplicación de un diseño factorial, que permitió concluir que el suelo contaminado con gasoil tratado difiere de manera favorable con los contaminados con gasoil y Vassa.

Palabras clave: Espectroscopia IR, punto de anilina, propiedades físicas, bioindicador, aceite Vassa.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento tecnológico y el deseo del hombre de vivir en absoluta comodidad han deteriorado vertiginosamente al medio ambiente, paralelamente esto ha generado una conciencia de protección y recuperación con el fin de garantizar una mejor calidad de vida para las generaciones actuales y futuras. Venezuela, como país petrolero, se encuentra dentro de las naciones que producen materiales y desechos peligrosos, provenientes principalmente de la industria manufacturera y petroquímica.

En la actualidad existe un creciente interés por el impacto que ocasiona la contaminación del suelo con hidrocarburos y sus diferentes derivados, por parte de entes encargados de controlar los daños que se generan durante las actividades petroleras, debido a los innumerables riesgos directos que ocasionan a la salud humana y el entorno, además de los altos costos que implican los procesos de limpieza y mitigación de los lugares afectados. La contaminación del suelo ha venido en aumento como resultado de las malas prácticas en la explotación, refinación, distribución, mantenimiento y almacenamiento de petróleo crudo y sus derivados (Iturbe *et al.*, 2007).

Con respecto a lo antes planteado, en la Universidad de Oriente Núcleo de Monagas se llevó a cabo específicamente en el Laboratorio de yacimiento la presente investigación que tuvo como propósito el estudio del efecto sobre suelo de un fluido base gasoil tratado con hexano mediante cromatografía de columna determinando las propiedades físicas y químicas del suelo contaminado, empleando una espectroscopia y de esta forma saber cuáles fueron las distintas causas adversas que genero sobre el medio ambiente este fluido antes y después de su tratamiento.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA Y SUS GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La actividad petrolera a nivel mundial está entre las más susceptibles a producir daños al ambiente tanto natural como social, debido a la naturaleza de los hidrocarburos y otros productos químicos que se manejan en las operaciones propias de esta industria. (Marín, 2016). El diésel, también denominado gasoil, es un hidrocarburo compuesto fundamentalmente por parafinas, su número de átomos de carbono va desde C₁₀ a C₂₂ y su gravedad API está por encima de 40° (PDVSA, 2001). Este es uno de los derivados del petróleo producido con mayor facilidad en Venezuela.

No obstante, existen extensas áreas contaminadas con hidrocarburos procesados del petróleo, como lo es el gasoil, debido principalmente a derrames, así como a las actividades propias de la industria petrolera (Navarro, 2009). Este tipo de compuestos se acumulan en ecosistemas marinos y terrestres, siendo responsables del deterioro de algunos suelos contaminados.

En tal sentido, los derrames de petróleo afectan a las propiedades físicas del suelo y especialmente las poblaciones naturales de microorganismos. En particular causan disminución en bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre, encargadas de asimilar y reciclar nutrientes en los ciclos biogeoquímicos; al alterarse éstos, se afecta la fertilidad del suelo. (Vázquez *et al.*, 2011).

Con respecto a la formulación de fluidos, inicialmente estos eran de agua y arcilla, pero a partir de los años 50 aproximadamente, se desarrollaron fluidos base

aceite, que mejoraron las propiedades físicas del fluido, no reaccionan con las arcillas y favorecen la tasa de penetración, así como la efectividad del mismo. Generalmente el aceite que se utilizaba era el diésel o aceites minerales de origen hidrocarburo, pero son contaminantes al medio ambiente (Benavides, 2011).

De acuerdo con lo antes descrito, se planteó la presente investigación la cual buscó conocer el posible impacto ambiental que podría generar la contaminación de suelo de un fluido base gasoil tratado con hexano mediante cromatografía de columna, con la finalidad de hallar nuevas alternativas que generarían menos daños y contaminaciones al suelo durante las operaciones de perforación. La investigación partió del estudio de Correia *et al.*, (2015), los cuales dijeron que su fluido era de bajo impacto ambiental al reducir el punto de anilina de éste, pero no realizaron ninguna prueba de contaminación de suelos.

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo general

Analizar el efecto sobre suelo de un fluido base gasoil tratado con hexano por cromatografía de columna.

1.2.2 Objetivos específicos

- Explicar mediante Espectroscopia (IR) la composición del gasoil antes y después de ser tratado mediante cromatografía de columna.
- Comparar las propiedades físicas de los fluidos de perforación base aceite (gasoil, gasoil tratado y Vassa), así como el punto de Anilina de las tres bases de los fluidos.

- Estudiar las propiedades físicas y químicas del suelo contaminado con fluidos de perforación base aceite con base gasoil, gasoil tratado y Vassa.

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El suelo es uno de los ambientes más impactados por la contaminación ambiental como resultado de las diversas actividades humanas, ya que recibe sustancias químicas que afectan negativamente su funcionalidad. Los hidrocarburos presentes en el suelo, además de impedir o dificultar el intercambio gaseoso con la atmósfera, pueden provocar una serie de procesos físico-químicos que podrían ocasionar toxicidad y llevar a la muerte a muchos microorganismos del suelo (Benavides *et al.*, 2006), además de tener efectos negativos sobre la salud humana (Miranda- Martínez *et al.*, 2007).

En ese sentido, la contaminación del suelo, afecta el pH, la conductividad eléctrica, la concentración de metales pesados y el contenido de carbono orgánico entre otros parámetros. Por ello, es importante conocer las características físicas y químicas de un suelo que se ha impactado con hidrocarburos y que son básicos si se requiere diseñar alguna tecnología de restauración (Morgan y Watkinson, 1989).

De acuerdo con lo descrito anteriormente, surgió la necesidad de estudiar la contaminación que afecta al suelo generada por los fluidos base gasoil tratado con hexano mediante cromatografía de columna, con lo que se buscó disminuir la causa que estaba degradando al suelo y así poder prolongar más la vida útil de los seres vivos que habitan en él.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Correia, J., Godoy, G., García, M., y Vega, R. (2015). “**Formulación de un fluido de perforación base diésel de bajo impacto ambiental**”, la investigación tuvo como objetivo encontrar el mejor método para realizar la reducción de la concentración de aromáticos del gasoil comercial para ser utilizado como base para fluidos de perforación. Para ello se destiló gasoil comercial mediante el procedimiento especificado en la norma ASTM D-86 “Método de prueba estándar para destilación de productos del petróleo a presión atmosférica”, en un rango de temperaturas comprendidas entre 180°C y 300°C, por debajo del punto final de ebullición (360°C) y también se empleó el método de Cromatografía líquido sólido o mecánica. Concluyeron que la muestra denominada AVO (Cromatografía) es el mejor fluido base dado su mayor disminución de concentración de aromáticos, además de ser extraído por un método más simple y tener un mejor desenvolvimiento en las propiedades físicas en el fluido de perforación. Esta investigación aportó la metodología aplicada mediante análisis cromatográfico mecánico o de columna que se llevó a cabo en el desarrollo de la investigación objeto a estudio y de esta forma reducir la cantidad de aromáticos contaminantes.

Díaz, L. y Mota, M. (2009); “**Evaluación de los aceites minerales Vassa lp-120-0A y Vassa lp-120-0AE, para la preparación de fluidos de perforación 100% aceite diseñados para las perforaciones costa afuera en el campo dragón-Norte de Paria**”, la investigación tuvo como objetivo realizar estudios a fin de evaluar los aceites minerales VASSA LP-120-0A y VASSA LP-120-0AE en la preparación de fluidos de perforación 100% aceite, diseñados para las perforaciones Costa Afuera

con altas viscosidades a bajas tasas de corte y las condiciones de presión y temperatura de la zona a estudiar tal como el Campo Dragón-Norte de Paria, con la finalidad de comprobar la estabilidad térmica del sistema y sus propiedades reológicas a través del envejecimiento del fluido. También se realizaron diferentes pruebas para determinar distintas propiedades que permitieron comparar estos sistemas, observando el rendimiento de cada uno de los aceites; y con esto deducir cuál de los productos es el más factible a la hora del diseño de un fluido 100% aceite, siendo éste el más óptimo para llevar a cabo una perforación exitosa. La investigación aportó un análisis realizado a los aceites Vassa, donde se comprobó su eficiencia en fluidos de perforación 100% aceite.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Fluido de perforación

Un fluido es toda sustancia que se deforma continuamente bajo la acción de un esfuerzo de corte o elongación. En tal sentido un fluido de perforación es una mezcla de una fase continua (agua, aceite o gas), con componentes químicos orgánicos o inorgánicos seleccionados para formar el elemento circulante que ayuda a solucionar los problemas de inestabilidad del hoyo durante la penetración del pozo. Según (Díaz y Méndez, 2007).

2.2.2 Funciones de los fluidos de perforación

Según PDVSA-CIED (2002), el propósito fundamental del fluido de perforación es ayudar a hacer rápida y segura la perforación del pozo, mediante el cumplimiento de las siguientes funciones:

- **Capacidad de transporte:** la densidad, viscosidad y el punto cedente son las propiedades del fluido que, junto a la velocidad de circulación o velocidad anular, hacen posible la remoción y el transporte del ripio desde el fondo del hoyo hasta la superficie.
- **Enfriar y lubricar:** el fluido de perforación facilita el enfriamiento de la mecha al expulsar durante la circulación el calor generado por la fricción mecánica entre la mecha y la formación. En cierto grado, por sí mismo, el fluido actúa como lubricante y esta característica puede incrementarse con aceite o cualquier producto químico elaborado para tal fin.
- **Formar revoque:** para minimizar los problemas de derrumbe y atascamiento de tubería en formaciones permeables, es necesario cubrir la pared del hoyo con un revoque liso, delgado, flexible, de baja permeabilidad y altamente compresible. El revoque se logra incrementando la concentración y dispersión de los sólidos arcillosos.
- **Controlar la presión de la formación:** el fluido de perforación ejerce una presión hidrostática en función de la densidad y altura vertical del pozo, la cual debe controlar la presión de la formación, evitando un influjo hacia el pozo. Esta presión no depende de la geometría del hoyo.
- **Capacidad de suspensión:** la resistencia o fuerza de gel es la propiedad reológica del fluido que permite mantener en suspensión las partículas sólidas cuando se interrumpe la circulación. Esta propiedad retarda la caída de los sólidos, pero no la evita.
- **Flotabilidad:** la sarta de perforación y la tubería de revestimiento pierden peso cuando se introducen en el hoyo, debido al factor de flotación, el cual depende de la densidad o peso del fluido. En consecuencia, para calcular el peso de la sarta en el fluido, se multiplica su peso en el aire por el factor de flotación.
- **Estabilidad:** la estabilidad de las formaciones permeables se logra con peso y revoque de calidad, y las impermeables con peso, cuando se trata de lutitas

presurizadas, y con inhibición o con fluido cien por ciento aceite, cuando se trata de Lutitas reactivas.

- **Evaluación:** el fluido debe tener una alta calidad para facilitar la toma de núcleos y la evaluación de las formaciones perforadas, sobre todo cuando se trata de la zona productora.

2.2.3 Fluidos base aceite

Los fluidos base aceite constituyen una emulsión de agua en aceite, es decir, una emulsión inversa donde la fase dispersa es agua y la fase continua al igual que el filtrado es aceite. El agua no se disuelve o se mezcla con el aceite, sino que permanece suspendida, actuando cada gota como una partícula sólida. En una buena emulsión no debe haber tendencia de separación de fases y su estabilidad se logra por medio de emulsificantes y agentes adecuados. (Díaz y Mota, 2009).

2.2.4 Contaminación

Es la presencia o incorporación al ambiente de sustancias o elementos tóxicos que son perjudiciales para el hombre o los ecosistemas (seres vivos). Existen diferentes tipos de contaminación, Los tipos de contaminación más importantes son los que afectan a los recursos naturales básicos: el aire, los suelos y el agua. (Bermúdez, 2010).

2.2.5 Suelo contaminado

Según el decreto real español 9 del año 2005; se puede definir como suelo contaminado: “Aquel cuyas características han sido alteradas negativamente por la presencia de compuestos químicos de carácter peligroso de origen antropogénico, en

concentraciones que superan los Niveles Genéricos de Referencia y que conllevan a un riesgo inaceptable para la salud humana o el medio ambiente, de acuerdo con los criterios y estándares definidos por dicho decreto y que ha sido declarado como tal por la administración competente mediante resolución explícita. Se entienden como Niveles Genéricos de Referencia la concentración de una sustancia contaminante en el suelo que no conlleva un riesgo superior al máximo aceptable para la salud humana o los ecosistemas”.

2.2.6 Efectos de los hidrocarburos en el suelo

Los efectos de los hidrocarburos tienen una variedad de escenarios potenciales, debido a la difusión lenta de los contaminantes, los cuales se redistribuyen por toda la superficie del suelo y hacia el interior de este. Cuando los hidrocarburos se filtran, se produce una separación natural de los distintos constituyentes, por la exposición de la fase no acuosa a las fases, sólida, gaseosa y acuosa del suelo, permaneciendo los compuestos de alto peso molecular cerca de la fuente, debido a que tienen menor movilidad, mientras que los compuestos más livianos migran hacia porciones profundas del perfil por su mayor solubilidad en agua.

Cuando la cantidad de hidrocarburos disminuye ya sea por disolución u otro mecanismo de remoción, se reduce la fracción del espacio poroso ocupado por los hidrocarburos, los conductos de comunicación entre los poros se tornan más pequeños y tortuosos, reduciendo la capacidad de la fase orgánica de desplazarse y cuando ya no existe suficiente volumen para que continúe la migración, la fase no acuosa en el suelo se denomina saturación residual. API (2003).

Los espacios degradados pierden algunas de sus funciones, características físico químicas y por lo tanto un manejo inadecuado de los hidrocarburos puede causar problemas de gran envergadura socio-ambiental. Los principales efectos que los

hidrocarburos causan en el suelo, dependen del tipo, volumen de hidrocarburo, características físicas, químicas y microbiológicas del suelo, y los factores ambientales (humedad, temperatura, factores climatológicos), todas las variables en su conjunto definen el tamaño en la distribución de la contaminación en una zona específica.

2.2.7 Efectos de los hidrocarburos en los seres vivos

Debido a la variedad de la composición de los hidrocarburos, los efectos en los seres vivos son muy diversos, y dependen de factores como, el tipo de compuesto químico, la cantidad vertida y el tiempo de exposición. Según el tipo de hidrocarburo se puede estimar la intensidad de los daños y efectos, así combustibles ligeros como la gasolina y el queroseno resultan más tóxicos que los medianos y pesados como el Diésel o Fuel Oil, debido a que contiene grandes cantidades de hidrocarburos saturados y bajo contenido de compuestos polares, ya que su mayor volatilidad aumenta el contacto físico entre el contaminante y las células microbianas.(Ponce, 2014).

2.3 BASES LEGALES

2.3.1 Constitución Nacional de la República Bolivariana de Venezuela

Artículo 129: Todas las actividades susceptibles de generar daños a los ecosistemas deben ser previamente acompañadas de estudios de impacto ambiental y socio cultural.

El Estado impedirá la entrada al país de desechos tóxicos y peligrosos, así como la fabricación y uso de armas nucleares, químicas y biológicas. Una ley especial

regulará el uso, manejo transporte y almacenamiento de las sustancias tóxicas y peligrosas.

En los contratos que la República celebre con personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras, o en los permisos que se otorguen, que involucren los recursos naturales, se considerará incluida aun cuando no estuviera expresa, la obligación de conservar el equilibrio ecológico, de permitir el acceso a la tecnología y la transferencia de la misma en condiciones mutuamente convenidas y de restablecer el ambiente a su estado natural si éste resultara alterado, en los términos que fije la ley.(Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 2009).

2.3.2 Ley Orgánica del Ambiente

Artículo 63: A los fines de la conservación, prevención, control de la contaminación y degradación de los suelos y del subsuelo, las autoridades ambientales deberán velar por:

1. La utilización de prácticas adecuadas para la manipulación de sustancias químicas y en el manejo y disposición final de desechos domésticos, industriales, peligrosos o de cualquier otra naturaleza que puedan contaminar los suelos.
2. La realización de investigaciones y estudios de conservación de suelos.
3. La prevención y el control de incendios de vegetación.
4. El incremento de la cobertura vegetal a través de la reforestación.(Gaceta oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 2006).

2.3.3 Ley Penal del Ambiente

2.3.3.1 Manejo indebido de Sustancias y/o Materiales Peligrosos

Artículo 102: Serán sancionados con prisión de cuatro a seis años y multa de cuatro mil unidades tributarias (4.000 U.T) a seis mil unidades tributarias (6.000 U.T), las personas naturales o jurídicas que en contravención a las disposiciones de la reglamentación técnica sobre la materia:

1. Desechen o abandonen sustancias o materiales peligrosos, en forma tal, que puedan contaminar la atmósfera, las aguas superficiales o subterráneas, los suelos o el ambiente en general.
2. Generen o manejen sustancias o materiales peligrosos provocando riesgos a salud y al ambiente.
3. Omitan las acciones preventivas en los planes para el control de emergencias.
4. Instalen plantas, fábricas, establecimientos o instalaciones que procesen, almacenen o comercialicen sustancias o materiales peligrosos contraviniendo normas legales expresadas sobre la materia.
5. Incumplan las normas que rigen la materia sobre traslado o manipulación de sustancias o materiales peligrosos.(Gaceta oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 2012)

El juez o jueza ordenará la adecuación de equipos e instalaciones a las disposiciones de los permisos o autorizaciones, si estos son otorgados por la autoridad correspondiente; o la cláusula de tales lugares si los permisos o autorizaciones fuesen negados. En los dos últimos casos se impondrá la suspensión de las actividades de la persona jurídica hasta por un año.(Gaceta oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 2012).

2.3.4 Decreto 2635

Capítulo III

Del Manejo de los Desechos Peligrosos de Actividades de Exploración y Producción de Petróleo y de Exploración y Explotación de Minerales

Sección I

Disposiciones Generales

Artículo 46: los desechos considerados en este Capítulo comprenden los generados en las actividades de exploración y producción de petróleo, incluyendo fluidos y ripios de perforación, lodos aceitosos, arenas de producción, suelos contaminados con hidrocarburos y los materiales remanentes de la separación, concentración y extracción de carbón y minerales de menas, que exhiban una o más características de peligrosidad indicadas en el artículo 6 y no sean recuperables. No incluye los desechos provenientes de la refinación de petróleo y procesos metalúrgicos destinados a purificar o modificar con fines industriales los minerales y los combustibles fósiles extraídos. (Del Conte, 2012).

Sección II

De las Disposiciones Técnicas para el Manejo de Desechos Peligrosos Generados por la Exploración y Producción de Petróleo

Artículo 52: Los ripios y fluidos de perforación elaborados en base a aceites minerales de emulsión inversa o que contengan aceites de motor u otro tipo de hidrocarburos, podrán disponerse conforme a las siguientes prácticas:

1. Inyección en acuíferos no aprovechables, yacimientos petroleros o acuíferos asociados.
2. Biotratamiento.

3. Esparcimiento en suelos, conforme a las condiciones indicadas en el artículo 50.
4. Incineración conforme a lo estipulado en el Capítulo V del Título III de este Decreto.

2.4 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Aceites minerales Vassa: son aceites minerales hidrogenados, mediante procesos catalíticos, a altas condiciones de presión y temperatura, por lo que en su composición sólo entran hidrocarburos saturados de mediano y alto peso molecular y que por lo tanto también poseen un alto punto de inflamación. Son incoloros e insípidos y poseen un tenue olor, característico de los hidrocarburos saturados (Díaz y Mota, 2009, p. 58).

Aromáticos: son aquellos hidrocarburos que poseen las propiedades especiales asociadas con el núcleo o anillo del benceno, en el cual hay seis grupos de carbono-hidrógeno unidos a cada uno de los vértices de un hexágono. Los enlaces que unen estos seis grupos al anillo presentan características intermedias, respecto a su comportamiento, entre los enlaces simples y los dobles (Campos, 2012, p.27).

Cromatografía: es un proceso de separación de las partes y componentes individuales de una mezcla. Su uso ha sido de importancia para múltiples diseños experimentales, especialmente dentro del laboratorio. La función básica de la técnica cromatografía es, separar, purificar, cuantificar los componentes de una muestra, ya sea celular, molecular o genética. Uno de los métodos actualmente más utilizado es la electroforesis, la cual es parte de este grupo (Serna, 2017, p.1).

Cromatografía de columna: es aquella que se caracteriza por tener una fase estacionaria que se encuentra dentro de una columna de vidrio de 5 a 30 mm de diámetro por la que se hace pasar una fase móvil líquida o gaseosa que estará en

permanente movimiento. Según la afinidad de las moléculas por la fase móvil o la estacionaria, éstas se separaran (Serna, 2017, p.2).

Electroforesis: es una técnica para la separación de moléculas según la movilidad de estas en un campo eléctrico a través de una matriz porosa, la cual finalmente las separa por tamaños moleculares y carga eléctrica (Pontífica Universidad Javeriana, 2008, p.1).

Gasoil (diésel): es una mezcla compleja de hidrocarburos compuesta principalmente de parafinas y aromáticos, con un contenido de olefina que alcanza solamente a un pequeño porcentaje por volumen. En el gasoil el punto de anilina es de 61 grado centígrado y una temperatura de mezcla de 62 grado centígrado. (Domínguez, Lázaro y Tapia, 2008, p.39).

Petróleo: es una mezcla compleja de hidrocarburos líquidos, compuesto en mayor medida por carbono e hidrógeno, con pequeñas cantidades de nitrógeno, oxígeno y azufre, formado por la descomposición y transformación de restos animales y plantas que han estado enterrados a grandes profundidades durante varios siglos. (Alafif, 2011, p.14).

Punto de anilina: se denomina punto de anilina (PA) de un carburante a la temperatura más baja a la cual volúmenes iguales de anilina y carburante permanecen disueltos de forma homogénea y monofásica. Se trata pues de la temperatura de solubilidad de la anilina y la muestra. (Palomeras- Villegas 2009, p2.).

Suelo: es el recurso natural, medio físico o superficie en donde crecen las plantas. Está formado por una mezcla de material fragmentado, de origen rocoso, parcial o totalmente intemperizado, compuesto de minerales, de materia orgánica, de agua y de aire. (Campos, 2012, p.13).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación fue de tipo explicativa, debido a que se analizó el efecto sobre suelo de un fluido base gasoil tratado con hexano mediante cromatografía de columna, el cual permitió conocer si existe algún cambio en el suelo al ser tratado. Arias, (2012) establece que:

La investigación explicativa se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. Los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas (investigación post facto), como de los efectos (investigación experimental), mediante la prueba de hipótesis. (p.26)

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Para responder al problema planteado, Arias, (2012) establece que “la investigación experimental consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variables independientes), para observar los efectos o reacciones que se producen (variables dependientes).” (p.34).

En tal sentido, el diseño de la investigación que se adoptó para cumplir con los objetivos planteados fue del tipo experimental, puesto que se realizó pruebas de investigación en el Laboratorio de yacimiento de la Universidad de Oriente Núcleo de Monagas a partir de los cuales se pudo describir las características de la investigación que se basó en analizar el efecto sobre suelo de un fluido base gasoil tratado con hexano mediante cromatografía de columna, comparando las propiedades físicas de los fluidos de perforación base aceite(gasoil, gasoil tratado y Vassa), así como el

punto de Anilina de las tres bases de los fluidos, donde se obtuvieron así los mejores resultados para poder minimizar el impacto ambiental.

3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

Palella y Martins. (2012), indican que el diseño experimental es aquel en el cual:

El investigador manipula una variable experimental no comprobada, bajo condiciones estrictamente controladas. Su objetivo es describir de qué modo y porque causa se produce o puede producirse un fenómeno. Busca predecir el futuro, elaborar pronósticos que una vez confirmados, se convierten en leyes y generalizaciones tendentes a incrementar el cúmulo de conocimientos pedagógicos y el mejoramiento de la acción educativa. (p.86).

En el desarrollo de esta investigación se utilizó el modelo de bloques al azar, debido a que se tuvo un material experimental que requirió un mayor control de las variables. Para esto se procedió a dividir el estudio en bloques, asignados dependiendo de la concentración de gasoil que se utilizó en la preparación de los tres aditivos a tratar como lo es gasoil, gasoil tratado y Vassa. Tal diseño se realizó con el fin de estudiar si el gasoil al ser tratado con hexano reduce la contaminación que genera este fluido en su estado natural.

3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

3.4.1 Explicación mediante Espectroscopia (IR) la composición del gasoil antes y después de ser tratado por cromatografía de columna.

Inicialmente se realizó una cromatografía de columna, que consistió en una separación de líquido mediante una fase estacionaria (sólida) en presencia de una fase

móvil (líquida) desplazante. En este caso se utilizó como fase estacionaria materiales sólidos como gel de sílice y material absorbente, y la fase móvil fue el gasoil comercial. En función a lo antes planteado se partió del procedimiento de Correia *et al.*, (2015) el cual se basó en hacer pasar el gasoil con hexano a través de una columna de sílica gel, en donde quedaron retenidos los componentes pesados del gasoil. Seguidamente para conocer cuáles fueron los componentes presentes en el gasoil, se analizó el mismo mediante Espectroscopia Infrarrojo de Transformada de Fourier, de acuerdo a las normas del Laboratorio de Tamices Moleculares de la Universidad de Oriente, Campus Juanico, para ello se utilizó un equipo Perkin Elmer FTIR 1600.

3.4.2 Comparación de las propiedades físicas de los fluidos de perforación base aceite (gasoil, gasoil tratado y Vassa), así como el punto de Anilina de las tres bases de los fluidos.

Posteriormente se cuantifico el punto de anilina del gasoil tratado, gasoil sin tratar y aceite Vassa, mediante la ecuación de Karonis *et al*, (1998):

$$\text{ANIL} = a \cdot \text{DENS} + b \cdot (e^{-3,5(\text{DENS}-0,85)} - 1) + c \cdot (D_{10} - 215) + d \cdot (D_{10} - 215)^2 + e \cdot (D_{50} - 260) + f \cdot (D_{90} - 310)^2 + g \cdot (D_{90} - 310)^2 + hS^2 + i \quad (\text{Ec.1})$$

Dónde: ANIL= Punto de anilina en °C

DENS= densidad del fluido en g/cm

D10= temperatura de destilación para el 10% de volumen del fluido

D50= temperatura de destilación para el 50% de volumen del fluido

D90= temperatura de destilación para el 90% de volumen del fluido

A, b, c, d, e, f, g, h, i= constantes

Para el estudio de las propiedades del fluido de perforación, se formularon 3 fluidos de perforación: gasoil en su estado natural, gasoil tratado y Vassa a partir de la formulación mostrada por Correia *et al.*, (2015) mostrada en la siguiente tabla:

Tabla 3.1 Aditivos y concentración para la formulación

Orden	Aditivos/Productos	Concentraciones	Unidad
1	Aceite mineral (Vassa LP-90)	El requerido	mL
	Arcilla organofílica	12	
2	Humectante	1	g
3	Cal hidratada	4	g
4	Emulsificante	1	g
	Activador polar	5	g
5	Agua	7	mL
6	Barita	El requerido	g
7	Controlador de filtrado	8	g

Una vez formulados los fluidos se sometieron a envejecimiento dinámico a 250 °F y 250 lpcm, donde posteriormente se midieron las propiedades físicas de viscosidad plástica (VP), punto cedente (PC), volumen de filtrado, alcalinidad y estabilidad eléctrica, mediante las normas API RP 13B2, “Procedimiento Estándar para la Prueba de Campo de los Fluidos de Perforación Base Aceite”.

3.4.3 Estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo contaminado con fluidos de perforación base aceite con base gasoil, gasoil tratado y Vassa.

Tomando como referencia la investigación de Guilarte y Toledo (2011), para el cumplimiento de esta etapa se procedió a tomar muestras, a una profundidad de suelo de 15 cm, debido a que este es el espesor de suelo considerado como capa arable donde la mayoría de la microflora y microfauna se desarrollan. El procedimiento para

la toma de muestra de suelo fue el siguiente: Se obtuvieron bolsas de 3 kg donde se recolectó la muestra de suelo, se usaron las herramientas de jardinería necesarias para recolectar las muestras; con una pala se raspó aproximadamente un centímetro de la superficie del suelo donde se eliminaron los residuos frescos de materia orgánica u otra contaminación superficial, luego se cavaron parcelas (Prof.: 15 cm, ancho: 10 cm y largo: 10 cm) hasta que se recolectó la cantidad de suelo necesario para llenar cada bolsa con 2 kg. Finalmente se identificaron las muestras colocando tipo de suelo y concentración de fluido a usar. Una vez que fueron identificadas las muestras, se aplicó el fluido de perforación, de acuerdo a la siguiente distribución:

Tabla 3.2 Distribución de la proporción de fluido de perforación, para estudiar las propiedades del gasoil, gasoil tratado y aceite Vassa.

Proporción (Fluido: Suelo)	Fluido (mL)	Masa de Suelo (kg)
2:1	20	2
3:1	30	2
4:1	40	2

Posterior a la distribución y contaminación de las muestras se procedió a determinar las propiedades del suelo para su análisis, mediante pruebas donde se determinó pH, conductividad eléctrica, aceites y grasa y aluminio intercambiable, en base al artículo 52 del Decreto 2635 mediante el cual se dictan las Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de Desechos Peligrosos. Sección II: De las disposiciones técnicas para el manejo de desechos peligrosos generados por la exploración y producción de petróleo.

Una vez obtenidos todos los resultados de las variables en estudio (repetidas 3 veces), se aplicó un diseño aleatorio simple para cada propiedad. Para ello se aplicó una prueba no paramétrica de Friedman con $\alpha=0,05\%$.

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1 Técnicas

Arias. (2012), define técnicas como “el procedimiento o forma particular de obtener datos o información” (p.67). La información necesaria para la ejecución de la presente investigación se logrará a través de las siguientes técnicas.

3.5.1.1 Observación directa

La observación de los resultados de las pruebas fue fundamental para analizar el efecto sobre suelo de un fluido base gasoil tratado por cromatografía mecánica. Según Arias, (2012), “la observación directa, es la que se realiza cuando el investigador observa de manera neutral sin involucrarse en el medio o realidad en la que se realiza el estudio.” (p. 69).

3.5.1.2 Revisión bibliográfica

Esta se basó en la búsqueda de información a través de libros de distintas autorías, trabajos especiales de grado, revistas, manuales técnicos, informes, publicaciones por internet, entre otros, los cuales estaban relacionados al tema de estudio que se desarrolló en la investigación.

3.6 RECURSOS

3.6.1 Recursos humanos

Para el desarrollo de esta investigación se contó con el apoyo y asesoría del personal docente y técnico del Departamento de Ingeniería de Petróleo de la Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas.

3.6.2 Recursos financieros

Los recursos financieros para el desarrollo de este proyecto fueron asumidos por sus autores.

3.6.3 Recursos materiales y bibliográficos

Se utilizó un espectrómetro el cual fue facilitado por el Laboratorio de Yacimiento de la Universidad de Oriente Núcleo de Monagas donde se realizó una cromatografía de columna al fluido en estudio, obteniendo información de estudios previos, manuales de internet, referencias bibliográficas, antecedentes de tesis de grado, información digitalizada entre otras fuentes de información lo cual facilitó información relacionada al tema en estudio.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 EXPLICACIÓN MEDIANTE ESPECTROSCOPIA (IR) LA COMPOSICIÓN DEL GASOIL ANTES Y DESPUÉS DE SER TRATADO POR CROMATOGRAFÍA DE COLUMNA

En esta primera fase de la investigación se procedió a realizar una cromatografía de columna (mecánica), la cual consistió en utilizar el gel de sílice como fase estacionaria (sólida), y el gasoil comercial como fase líquida (móvil) haciendo pasar el gasoil con hexano por un embudo de separación, con el cual buscó retener los compuestos pesados presentes del gasoil y. Obtener un gasoil más limpio que luego será estudiado.

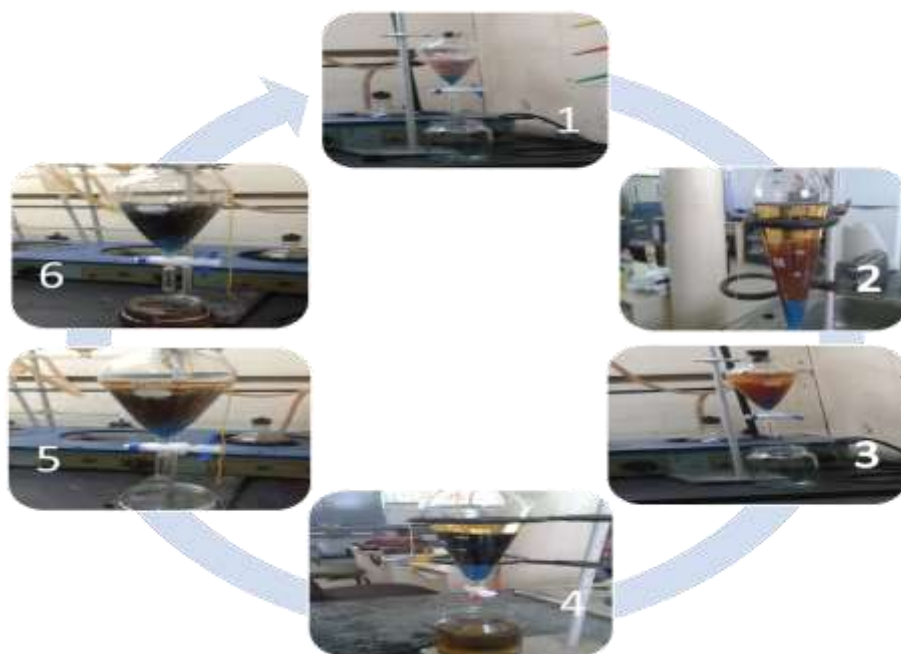


Figura 4.1 Fases de la cromatografía de columna (mecánica) realizada

En la Figura 4.1 se observa, primeramente el inicio del desplazamiento del gasoil en la columna (1). En las imágenes 2, 3, 4, 5 se visualiza cómo se comporta el gasoil y la sílica gel a medida que el hexano atraviesa con la fase líquida (gasoil) a la fase sólida (Silice), así mismo la fase sólida se va oscureciendo a medida que las impurezas (componentes pesados) son retenidas. Al final se obtuvo una mezcla de gasoil y hexano (6) los cuales se separaron mediante un proceso de destilación y posteriormente este fluido fue sometido a un proceso de espectroscopia IR.

La espectroscopia molecular se basa en la interacción electromagnética y la interacción entre las moléculas, dependiendo de la región del espectro en la que se trabaje y por tanto la energía de la radiación utilizada es caracterizada por su longitud o número de celdas, esta interacción será de diferentes naturalezas. La molécula al absorber la radiación infrarroja cambia su estado de energía vibracional y rotacional. En el caso del estudio del espectro infrarrojo (IR) de muestra líquida solo se tiene en cuenta los cambios entre estados de energía vibracional. (Aparicio, 2002).

El espectro infrarrojo se extendió desde 10 cm^{-1} a 14300 cm^{-1} desde un punto de vista funcional se divide en tres zonas: IR lejano, IR medio e IR cercano. Las medidas del infrarrojo inciden cuando existen los fenómenos de absorción, transmisión y reflexión. La medida más común en el infrarrojo se basa en la absorción de la intensidad transmitida por el equipo (Aparicio, 2002).

El espectro por transmisión determina la pérdida de intensidad luminosa que incide con la concentración de la muestra, la observación está relacionada con el número de onda presente en el espectro a ser estudiado mientras que la reflectancia total atenuada se basa en el fenómeno de la reflexión total intensa ya que la transmisión de la luz es a través de un cristal con un elevado índice de refracción por lo que el ángulo de la luz incide y la geometría del cristal facilita que se produzcan sucesivas reflexiones para poder realizar un espectro eficiente.

Seguidamente para conocer cuáles fueron los componentes presentes en el gasoil se realizó el procedimiento de espectroscopia infrarrojo de transformada de Fourier bajo el módulo HATR (Reflectante, Transmisión, Atenuada) en el laboratorio de la Universidad de Oriente, Campus Juanico (Ver apéndice B.1) de acuerdo con las normas establecidas en el laboratorio de Tmices Moleculares mediante el siguiente procedimiento:

1. Se colocó una gota de gasoil comercial sobre la platina del módulo de refracción total atenuada y se esperó aproximadamente 10 minutos hasta que toda la fase líquida se evaporó y se formó una película sobre el vidrio.
2. Se introdujo la platina en el espectroscopio y se colocó la plantilla de teflón.
3. Con la ayuda de un computador de laboratorio que disponía del software OMNIC Specta, que realizaba la interpretación de los espectros que posteriormente serían analizados.

Una vez culminado el proceso se pudo conocer las características del gasoil comercial y al gasoil tratado con hexano, observándose en el infrarrojo de transformada la diferencia que existió entre el gasoil comercial y el gasoil tratado con hexano, pudiéndose constatar que el gasoil en su estado natural sin ningún tratamiento previo presentó en su estructura mayor contenido de parafinas y éteres en compañía de pequeños metales que son de origen natural, con un alto contenido de carbonos que se encuentran presentes en él, exhibiendo propiedades características del mismo como lo son: olefinas, insaturaciones, parafinas en mayores cantidades presentando una cadena más alargada de carbono – hidrógeno, con alto contenido de hidrocarburos alifáticos, mayores contenido de éteres que son difíciles de manejar sin ningún previo tratamiento.

Lo descrito conlleva a exponer que estos son altamente contaminantes a la hora de perforar con este fluido, siendo este uno de los fluido base aceite más usado por la

industria petrolera para realizar las operaciones de perforación por su bajo costo y su elevada producción.

En las figuras 4.2 y 4.3 se puede observar que el gasoil en su estado natural no debería de tener metales ya que él es producto derivado del petróleo, pero cuando se realizó la cromatografía se encontraron partes de metales presentes, seguidamente se destilo y se pudo observar que se produjo éteres alrededor de 1500cm^{-1} el cual provocó descomposición parcial de los mismo, por otra parte en el intervalo de 1300cm^{-1} y 1400cm^{-1} se observó deflexiones de alargamiento ya que los átomos de carbonos e hidrogeno se balancearon en forma de tijera, es decir uno hacia arriba y el otro hacia abajo ocasionando dicho movimiento de forma consecutiva.

En el intervalo que va desde 1379 cm^{-1} y 1486 cm^{-1} existe la presencia de CH_3 y CH_2 , el cual muestra la presencia de metilo y metileno siendo el metilo generado por dos picos mientras que el metileno solo se generó un pico, seguidamente el intervalo que va desde 1600 cm^{-1} hasta 2900 cm^{-1} se mantuvo la presencia de picos aleatorios (ruido) ya que no se vio ningún cambio durante ese trayecto del espectro. En los picos más altos se observó la presencia de alargamiento carbono – hidrogeno siendo este asimétrico ya que fue más bajo y pequeño como se puede ver en (a y b) de la gráfica.

Por último se visualizó una pequeña disminución que se produjo alrededor de 3700 cm^{-1} el cual dio como referencia que el hexano en compañía del gel de sílice actuaron como un agente de absorción disminuyendo así los grupos funcionales y las parafinas presentes en el gasoil, lo cual era el objetivo de la fase en esta investigación, es decir, hacer que en el espectro mostrado permitiese corroborar que el gasoil luego de ser tratado disminuyera su contenido de grupos alcoholados y su contenido de parafinas para así evitar la contaminación al ecosistema y al medio ambiente.

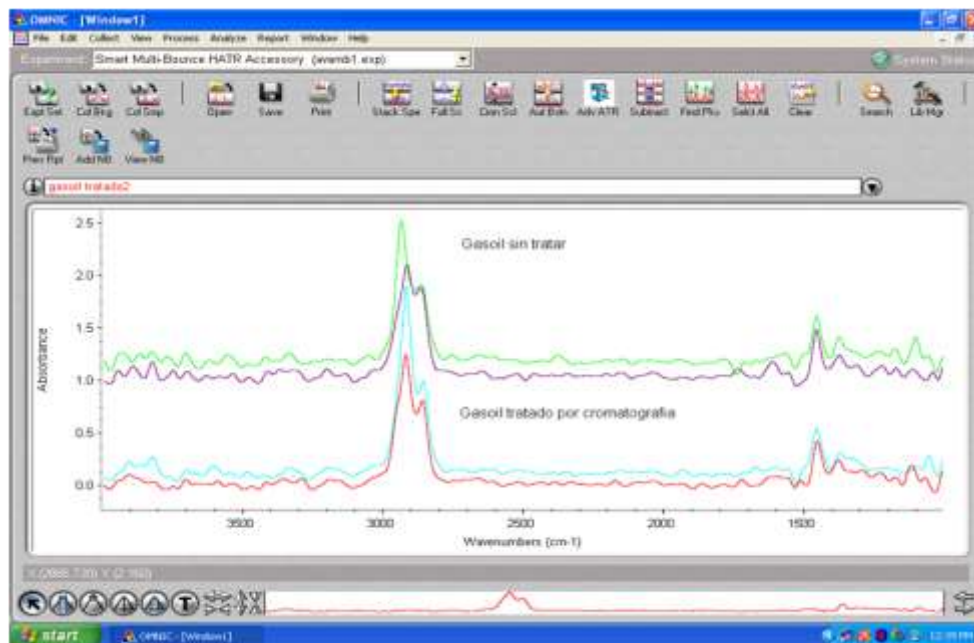


Figura 4.2 Espectroscopia de gasoil tratado con hexano y gasoil en su estado natural 1

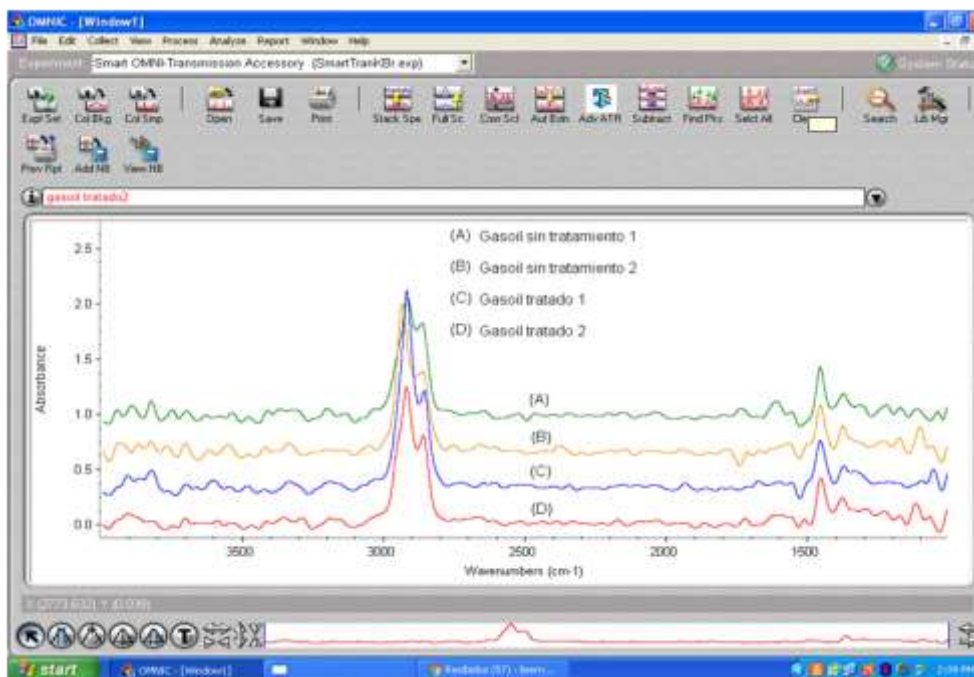


Figura 4.3 Espectroscopia de gasoil tratado con hexano y gasoil en su estado natural 2

Por otra parte, en el gasoil tratado con hexano se pudo corroborar que existió mejoría pronunciada y disminución de los componentes pesados, las parafinas y los metales, disminuyendo de manera moderada y reduciendo de esta manera la cadena carbono – hidrogeno, ya que el gel de sílice actuó como agente absorbente de los componentes presentes y de esta manera conllevó a retenerlos , por lo que a su vez al entrar en contacto con el hexano este reaccionó con el gasoil haciéndolo pasar más rápido a través de la fase estacionaria, ocasionando que parte de estos componentes pesados quedaran retenidos en él. El gasoil tratado con hexano luego del proceso cromatográfico mejoró sus características iniciales siendo mostrada y comprobada mediante la espectroscopia(IR) en la que se pudo visualizar que la cantidad de pequeño metales presentes y de componentes pesados disminuyeran de manera moderada quedando el gasoil con menos cantidad de material contaminante y con menos contenido de compuestos parafínico, permitiendo que el alargamiento carbono-hidrogeno del gasoil se redujera a una menor cantidad y así mejorar sus condiciones iniciales.

En cierto modo el hexano al ser un solvente más volátil que el gasoil permitió actuar como agente desplazante, es decir hace pasar más rápidamente el líquido durante la cromatografía permitiendo mejorar las condiciones del mismo, y logrando posiblemente no degradar ni contaminar el ambiente, lo que conllevó a un buen rendimiento de este fluido y que a su vez ayude a la industria sin causar reacciones adversas durante su aplicación.

4.2 COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE ACEITE (GASOIL, GASOIL TRATADO Y VASSA), ASÍ COMO EL PUNTO DE ANILINA DE LAS TRES BASES DE LOS FLUIDOS

En esta etapa se formularon inicialmente 3 fluidos de perforación aceite mineral Vassa LP-90, gasoil comercial y gasoil tratado (Ver apéndice B.7), se procedió a

preparar 2 barriles (700 mL) de cada uno de los fluidos, utilizando las concentraciones mostradas a continuación:

Tabla 4.1 Aditivos y concentración para la formulación

Orden	Aditivos/Productos	Tiempo de mezcla	Concentraciones	Unidad
1	Aceite mineral (Vassa LP-90)	20 min	261	mL
	Arcilla organofílica		12	
2	Humectante	5 min	1	g
3	Cal hidratada	5 min	4	g
4	Emulsificante	5 min	1	g
	Activador polar		5	g
5	Agua	30 min	7	mL
6	Barita	15 min	245	G
7	Controlador de filtrado	15 min	8	G

En el primer ciclo se formuló un fluido patrón 100% aceite mineral Vassa LP-90, posteriormente a los sistemas propuestos, se substituyó únicamente la fase continua (Vassa) por los 2 fluidos en estudio como lo fueron el gasoil comercial en su estado natural y gasoil tratado por cromatografía en columna (mecánica) (CL).

Seguidamente fueron formulados los fluidos con las concentraciones seleccionadas, estos se sometieron a envejecimiento dinámico a 250 °F y 250 lpcm, y se les determinaron las propiedades físicas de: viscosidad plástica (VP), punto cedente (PC), volumen de filtrado, alcalinidad y estabilidad eléctrica, mediante las normas API RP 13B2, “Procedimiento Estándar para la Prueba de Campo de los Fluidos de Perforación Base Aceite”. (Ver tabla 4.2), posteriormente las mismas se graficaron antes de envejecer y después de envejecer los fluidos.

Tabla 4.2 Propiedades de los fluidos formulados

Propiedad	Vassa	Gasoil	CL
Densidad ρ (lpg)	11	11	12
Reología	39	64	65
L600			
L300	22	41	43
L200	15	33	34
L100	10	24	24
L6	3	10	12
L3	2	8	11
Geles 10 s / 10 min	3/4	8/10	10/12
Vp (cP)	16	21	21
Pc (lb/100 pie²)	6	19	21

Se observa en la figura 4.4 que la densidad no varió de manera pronunciada en los 3 fluidos generados manteniéndose en el rango de 11 lpg- 12 lpg, hay que recordar que no hubo variaciones en las concentraciones sino solo un cambio de la fase líquida.

La viscosidad plástica de los fluidos mostró un fluido Vassa con el menor valor de la propiedad (16 cP) mientras que los dos fluidos con gasoil mostraron igual valor (21 cP) lo que representa que el tratamiento aplicado al gasoil no afectó esta propiedad. La viscosidad plástica depende asimismo de la viscosidad de la fase líquida del fluido. Igualmente las viscosidades obtenidas se consideran aceptables porque no exceden el doble del peso del fluido.

El punto cedente presentó una variación notoria en el comportamiento de los fluidos, el fluido Vassa mostró un valor de 6 lb/100 pie² mientras que los fluidos con

gasoil fueron de 19 lb/100 pie² y 21 lb/100 pie² para el gasoil y gasoil tratado respectivamente. Al igual que la viscosidad plástica está asociada a los sólidos presentes en el fluido pero también a las fuerzas de atracción, es decir, a mayor fuerza de atracción mayor es la propiedad, que es posiblemente lo que suceda en el presente estudio.

Los valores de fuerza gel a 10s y 10 min valores menores para el fluido Vassa (3/4 lb/100 pie²) mientras que para el gasoil y gasoil tratado fue de 8/10 lb/100 pie² y 10/12 lb/100 pie² respectivamente. El fluido Vassa presenta una apariencia de floculación, mientras que los fluidos de base gasoil indican acumulación de sólidos y aumento de las fuerzas de atracción respecto al Vassa.

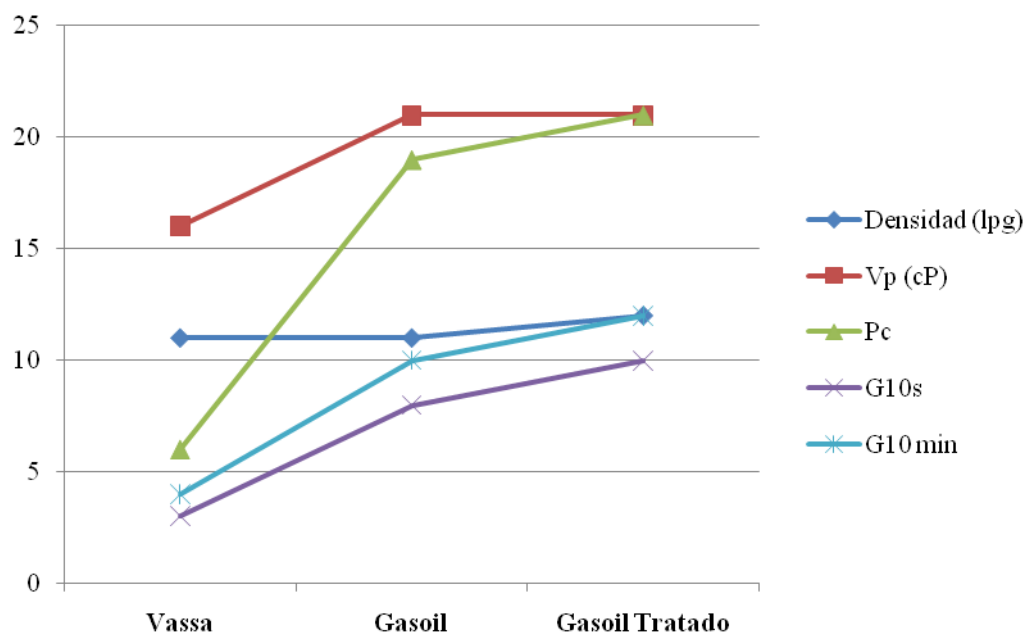


Figura 4.4 Propiedades reológicas de los fluidos formulados

Una vez determinada las propiedades físicas del fluido de perforación se determinó el punto de anilina (Apéndice B.5). A continuación, se muestran los resultados obtenidos al aplicar el procedimiento.

Tabla 4.3 Temperaturas de los diferentes puntos de anilinas de los tres fluidos de perforación

Muestras	Temperatura de mezcla	Temperatura de separación
Aceite vassa + anilina	58,5 °C	60,4 °C
Gasoil tratado con hexano +anilina	52,3 °C	59,7 °C
Gasoil en su estado natural +anilina	58,7 °C	61,5 °C

Calculadas las dos temperaturas para los tres fluidos se continuó con la cuantificación del punto de anilina del gasoil tratado, gasoil sin tratar y aceite Vassa, mediante la ecuación de Karonis *et al*, (1998):

$$\begin{aligned} \text{ANIL} = & a \cdot \text{DENS} + b(e^{-3,5(\text{DENS}-0,85)} - 1) + c \cdot (D_{10} - 215) + d \cdot (D_{10} - 215)^2 \\ & + e \cdot (D_{50} - 260) + f \cdot (D_{90} - 310)^2 + g \cdot (D_{90} - 310)^2 + hS^2 + i \end{aligned} \quad (4.1)$$

Dónde:

ANIL= punto de anilina en °C

DENS= densidad del fluido en g/cm

D10= temperatura de destilación para el 10% de volumen del fluido

D50= temperatura de destilación para el 50% de volumen del fluido

D90= temperatura de destilación para el 90% de volumen del fluido

Cabe destacar que para dicha cuantificación primero se procedió a calcular la densidad del fluido (Apéndice A.2).

Por otra parte, las temperaturas mostradas a continuación (Tabla 4.4) también fueron usadas para cuantificar el mencionado punto de anilina, obtenidas durante el proceso de destilación para separar el hexano del gasoil, teniendo el gasoil como punto de ebullición 360 °C:

Tabla 4.4 Temperaturas de destilación para los diferentes volúmenes de fluido

Destilado a distintos volúmenes	Temperatura de destilación
D10	207 °C
D50	268 °C
D90	310 °C

Donde:

D10 = temperatura de destilación para el 10% de volumen del fluido

D50 = temperatura de destilación para el 50% de volumen del fluido

D90 = temperatura de destilación para el 90% de volumen del fluido

Sustituyendo los valores antes obtenidos y usando las constantes de la tabla de Karonis (Apéndice C.1) en la ecuación 4.1, se obtuvieron los siguientes puntos de anilina:

ANIL gasoil tratado = 61,7°C

ANIL gasoil natural=60, 4°C

ANIL aceite Vassa= 60,2°C

Obtenidos los tres puntos finales de anilina para los fluidos de perforación se visualiza que se mantuvieron por encima del rango esperado que era de los 60°C. Asimismo, se refleja un aumento en el punto de Anilina del gasoil tratado con respecto al gasoil comercial, Se infiere que este efecto se debe a la eliminación de los más pesados. El punto de anilina indica el carácter de la mezcla, en este caso al aumentar el punto de anilina el porcentaje de aromáticos disminuyeron en la mezcla de acuerdo a lo expuesto por López (2004).

4.3 ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO CONTAMINADO CON FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE ACEITE CON BASE GASOIL, GASOIL TRATADO Y VASSA

En esta última etapa de la investigación se procedió a recolectar la muestra de suelo en áreas circunvecinas al taladro GW-108 ubicado en la localidad de Musipán estado Monagas (Apéndice B.9), la recolección de la muestra se inició tomando 20 kg de suelo, utilizando las herramientas de jardinería (Pala, pico y rastrillo), esta consistió en quitar 5 cm de la primera capa superficial de suelo y de esta forma evitar alguna contaminación existente sobre la superficie a estudiar (Apéndice B.10). La captación de la muestra de suelo se obtuvo mediante la norma técnica colombiana NTC-3656, la utilización de esta norma se debió a que las normas venezolanas no son aplicables para la recolección de muestras de suelos contaminados con gasoil, según el Dr. Iván Maza del Laboratorio de Suelos de postgrado del Núcleo de Monagas.

Posteriormente se procedió con la caracterización física y química en el referido laboratorio, la cual estuvo regida por el manual de laboratorio de química agrícola del Prof. Hernán Bermejo, noviembre 1971. De esta manera, se determinaron los parámetros de pH, conductividad eléctrica y aluminio intercambiable a una primera muestra de suelo sin contaminar (suelo virgen) y a una segunda muestra de suelo ya contaminada con aceite Vassa, gasoil en su estado natural y gasoil tratado con hexano a las cuales se le adicionó la prueba de aceite y grasas.

Cabe destacar que las propiedades físicas y químicas del suelo fueron determinadas a distintas concentraciones, usando una relación (2:1, 3:1, 4:1) las condiciones iniciales fueron las obtenidas al estudiar el suelo sin contaminar (suelo virgen) las cuales se utilizaron como datos de referencia para ser comparados con las características obtenidas del suelo después de su contaminación.

4.3.1 Propiedades de las muestras de suelo estudiadas

4.3.1.1 pH

El pH es una propiedad química del suelo que tiene un efecto importante en el desarrollo de los seres vivos (incluidos microorganismos y plantas). La lectura de pH se refiere a la concentración de iones hidrógenos activos (H^+) que se da en la interface líquida del suelo por la interacción de los componentes líquidos y sólidos (Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados, 2006). El pH obtenido para el suelo virgen se muestra a continuación:

Tabla 4.5 pH obtenido de muestra de suelo sin contaminar

Muestra	pH
Suelo virgen	5,21

Se trata de un suelo de características ácidas, lo que es característico de las sabanas venezolanas, sobre todo en los llanos orientales venezolanos (López, Hernández y Ojeda, (1996). Con respecto a los suelos contaminados los resultados obtenidos de pH después de contaminar se observan en la Tabla 4.6

Tabla 4.6 pH obtenidos de las diferentes muestras de suelo después de la contaminación

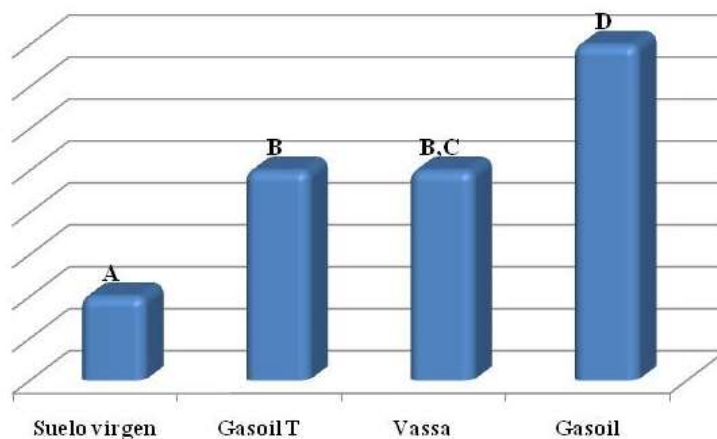
Muestras	pH		
	Gasoil	Vassa	Gasoil tratado
Muestra Relación 2:1	5,30	5,33	5,25
Muestra Relación 3:1	5,38	5,63	5,38
Muestra Relación 4:1	5,45	5,80	5,58

De acuerdo a lo mostrado en la tabla 4.5 se puede deducir que el suelo sin contaminar (suelo virgen) tiene un pH ácido, característica que se mantuvo para los

suelos contaminados (Ver tabla 4.6), pero se observó que el pH para las tres muestras estudiadas aceite Vassa, el gasoil tratado con hexano y el gasoil en su estado natural aumentaron el pH en función del aumento de la relación aplicada respecto al suelo virgen.

Desde el punto de vista estadístico, observa en la gráfica 4.1, que la propiedad química de pH mostró diferencias estadísticas significativas respecto a los suelos en estudio (Letras distintas). Asimismo, se observa que quien presentó la menor diferencia respecto al suelo virgen (letra A) fue en gasoil tratado (letra B), mientras la mayor diferencia fue del gasoil (Letra D), siendo esto un indicativo del efecto que ocasionó sobre el fluido la cromatografía de columna que se le aplicó.

El incremento en el valor de pH, puede deberse a mayor cantidad de iones hidroxilos (OH^-) como consecuencia de la composición del fluido de perforación, ya que este posee potasa caustica (KOH); pero que lo mantienen en un rango de escasa actividad bacteriana (Sabroso y Pastor, 2004).



Gráfica 4.1 Prueba de Friedman para el pH. Letras distintas representan diferencias estadística significativas

4.3.1.2 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es una propiedad de soluciones que se encuentran relacionada con el tipo de iones y valencia de iones presentes su concentración total y relativa, su movilidad, la temperatura del líquido y su contenido de sólidos disueltos. Es una forma indirecta de medir la salinidad del agua. El método de conductividad eléctrica se realiza por el método del conductímetro sobre una muestra de agua o extracto de suelo que va hacer estudiado (Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados, 2006). El suelo que fue analizado presentó la siguiente conductividad:

Tabla 4.7 Conductividad de la muestra de suelo sin contaminar

Muestra	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Suelo virgen	0,38

Los suelos después de la contaminación reflejaron los siguientes valores de la propiedad:

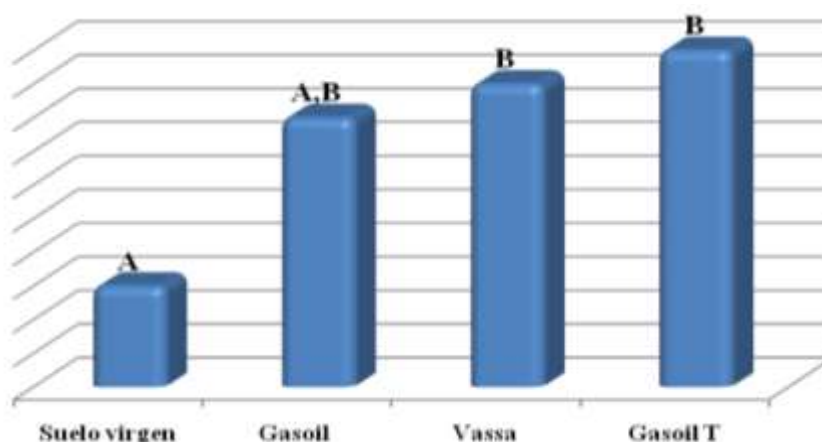
Tabla 4.8 Conductividades de las diferentes muestras de suelo contaminados

Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)			
Muestras	Gasoil	Vassa	Gasoil tratado
Muestra Relación 2:1	0,50	0,48	0,58
Muestra Relación 3:1	1,68	1,61	1,78
Muestra Relación 4:1	2,72	2,78	2,65

De acuerdo a lo presentado en la tabla 4.8 donde se muestra la conductividad eléctrica determinada al suelo virgen se observó que el obtenido fue relativamente bajo debido a la poca presencia de iones alcalinos en la muestra. Sin embargo, para las conductividades eléctricas (tabla 4.9) se visualizó un incremento en la muestra 2 y

3 de gasoil en su estado natural, aceite vassa y el gasoil tratado con hexano, lo cual es indicativo de que al ocurrir la contaminación se aumenta la presencia de iones alcalinos es decir existe más salinidad en la muestra de suelo, ya que el gasoil es altamente contaminante por poseer altos contenidos de grupos funcionales unidos a una larga cadena carbono – hidrogeno, éteres más grupos alcoholados que no son fáciles de romperse sin ningún tratamiento y que de esta manera modificaron las condiciones iniciales de la muestra origen estudiada.

Desde el punto de vista estadístico, al igual que en la propiedad anterior también existieron diferencias estadísticas significativas entre los suelos (Gráfica 4.2), es decir, que el cambio en el fluido y las concentraciones de ellos influyen sobre la propiedad. Al rankear los fluidos el menor valor lo presentó el suelo virgen y el gasoil no presentó diferencias con él (Letra A). No obstante, la mayor diferencia fue del gasoil tratado como efecto del proceso al cual fue sometido. Hay que recordar que la conductividad eléctrica de los suelos virgen y contaminados osciló entre 0,38 y 2,78, representando esto que mientras más bajo sea el efecto sobre los cultivos son despreciables, pero al aumentar el rendimiento en cultivos muy sensibles puede verse afectado (Palmaven, 1986)



Gráfica 4.2 Prueba de Friedman para la conductividad eléctrica.

Letras distintas representan diferencias estadística significativas

4.3.1.3 Aluminio intercambiable

Se puede observar que a medida que aumenta el nivel de concentración del fluido de perforación en el suelo, el porcentaje de aluminio intercambiable es mayor es decir se generó de manera ascendente un aumento progresivo en la relación 2:1,3:1 y 4:1 de gasoil y de gasoil tratado, mientras que por otra parte hubo disminución en la relación 2:1 y 4:1 en comparación a la relación 3:1 donde se incrementó la cantidad de aluminio intercambiable del aceite Vassa.

Según Fernández y Rojas (2006), la toxicidad del Al^{+3} es probablemente el factor que más limita el crecimiento de las plantas en suelos fuertemente ácidos (pH menor que 5,5 en la mayoría de los suelos). El H^+ solamente es tóxico a un pH menor a 4,2.

Tabla 4.9 Aluminio intercambiable de la muestra de suelo sin contaminar

Muestra	Aluminio Intercambiable (meg/100g suelo)
Suelo virgen	0,02

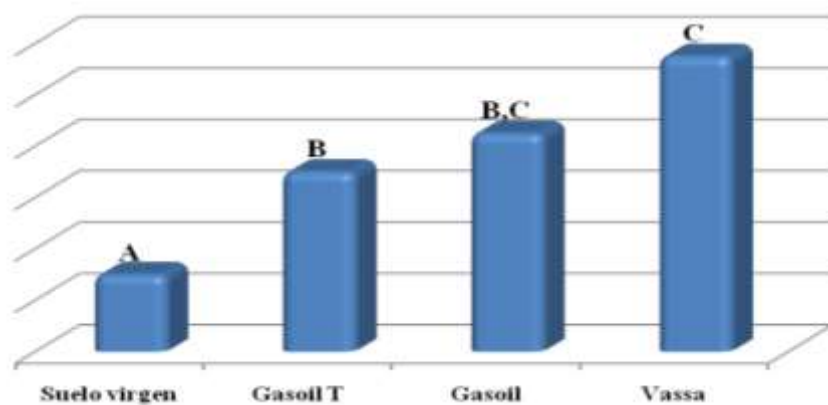
Tabla 4.10 Aluminio intercambiable

Aluminio intercambiable(meg/100g suelo)			
Relación	Gasoil	Vassa	Gasoil tratado
Muestra Relación 2:1	0,07	0,06	0,05
Muestra Relación 3:1	0,08	0,08	0,07
Muestra Relación 4:1	0,10	0,07	0,08

Como se expresó con anterioridad, un aumento en concentraciones del fluido al contaminar, así como el tipo de fluido conllevó igualmente a la presencia de diferencias estadísticas significativas en la propiedad en estudio (Gráfica 4.3). El menor valor lo muestra el suelo virgen (Letra A) y lo sigue el gasoil tratado (letra B),

es decir que este fue quien modifico en menor cantidad esta propiedad respecto al suelo virgen,

Igualmente se explico que dicha propiedad está relacionada conjuntamente al pH, ya que mientras este valor sea menor a 5, el aluminio (Al^{+3}) se considera un problema severo para el crecimiento de las plantas, debido a que limita la absorción de nutrientes. Caso contrario a lo ocurrido en pH por encima de 5,5 (casos en estudio) donde, la cantidad de aluminio no resulta desfavorable, debido a que para estos valores la liberación del ión hidrógeno (H^+) disminuye (Sabroso y Pastor, 2004).



Gráfica 4.3 Prueba de Friedman para el aluminio intercambiable
Letras distintas representan diferencias estadística significativas

4.3.1.4 Aceites y grasas

El suelo estudiado fue recolectado de la localidad de Musipán. Seguidamente se procedió a determinar la cantidad de aceites y grasas que estaban presentes en el suelo virgen, estudio que se desarrolló para tener un indicador de la cantidad de aceites y grasas que ya podían estar presentes en el suelo sin contaminar debido a que las condiciones de donde fue recolectado ya presentaba una pequeña contaminación como consecuencia de la actividad petrolera que se ejerce alrededor de ese taladro,

posteriormente a esto se le realizaron los estudios a las muestras que fueron contaminadas con los tres fluidos de perforación durando alrededor de 21 días (3 semanas).

Tabla 4.11 Aceites y grasas de la muestra de suelo sin contaminar

Muestra	Aceites y grasas (%)
Suelo virgen	0,4

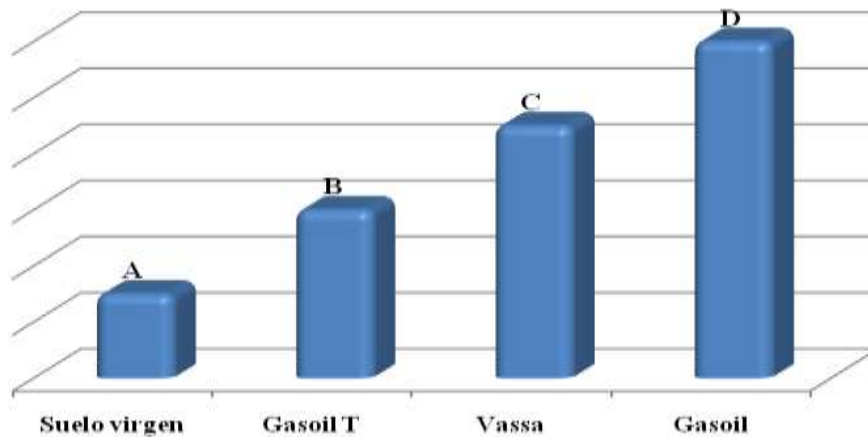
Tabla 4.12 Aceites y grasas de las diferentes muestras estudiadas

Aceites y grasas (%)			
Relación	Gasoil	Vassa	Gasoil tratado
Muestra Relación 2:1	0,8	0,9	0,7
Muestra Relación 3:1	1,4	1,9	1,3
Muestra Relación 4:1	2,2	2,4	1,8

Una vez realizado la cuantificación del porcentaje de aceites y grasas a los fluidos de perforación formulados previamente se pudo visualizar (Ver tabla 4.12) que el porcentaje obtenido fue mayor en el aceite Vassa, seguidamente se pudo ver que el gasoil tratado con hexano el porcentaje de aceites y grasas fue menor debido a que el hexano al ser un solvente ayudo a modificar las características iniciales del gasoil, cambiando así su estructura carbono e hidrogeno y disminuyendo parte de metales presentes en él, logrando así dejarlo más limpio que cuando comenzó a estudiarse debido a que fue sometido a un proceso el cual cumplió la función esperada.

La propiedad de aceites y grasas mostró comportamientos distintos para los cuatro casos en estudio, lo que conllevó a presentar diferencias estadísticas significativas entre ellos. Otra vez el gasoil tratado fue quien más se asemejó al suelo virgen letras B y A respectivamente. No obstante, los suelos se consideran

contaminados por los fluidos de perforación para las relaciones de 3:1 y 4:1 según el decreto 2635 al ser los valores obtenidos mayores a 1.



Gráfica 4.4 Prueba de Friedman para aceites y grasas
Letras distintas representan diferencias estadística significativas

4.3.2 Germinación de las semillas de caraotas (*Phaseolus vulgaris*)

Desde el punto de vista biótico, se observó mediante monitoreo constante el desarrollo de la germinación de las semillas de caraotas (*Phaseolus vulgaris*). El estudio se realizó de manera separada para cada relación por un lapso de 3 semanas (21 días) esparciendo 5 semillas por cada bolsa.

4.3.3 Crecimientos de las plantas de caraotas a distintas concentraciones

El estudio mostró un crecimiento normal de las plantas en el de suelo virgen, donde se pudo constatar que el tamaño de ellas fue el esperado igualmente este suelo presentó el mayor número de plantas germinadas. Con respecto a las semillas que fueron sembradas en la muestra de suelo contaminada con gasoil sin tratar, no se visualizó un crecimiento adecuado para su desarrollo dado que el número de plantas

germinadas fue menor al suelo virgen, esto debido quizás a la cantidad de metales pesados que se encuentran en el gasoil en su estado natural. Mientras que las semillas sembradas en la muestra de suelo con gasoil tratado con hexano se obtuvo un crecimiento aceptable para las relaciones 2:1 y 3:1, mientras que en la relación 4:1 el mismo fue lento debido a que la cantidad de fluido fue mayor, ocasionando que las semillas no germinaran en su totalidad.

No obstante, en la muestra de suelo que poseía el Vassa este actuó como agente contaminante ya que las semillas no germinaron en la primera semana. Ello lo descrito fue debido a que se creó una barrera que formó una capa sello, evitando el contacto con el oxígeno del aire.

Para las semanas dos y tres las plantas de caraotas que fueron sembradas en el suelo sin contaminar (suelo virgen) mostraron un crecimiento adecuado en el tamaño de sus hojas y tallo, generando de esta manera un buen indicador de crecimiento (Apéndice B.12).

En cuanto a las plantas de caraotas en suelo que contenía el gasoil en su estado natural su crecimiento fue lento en comparación con las de suelo virgen, evidenciando un color verde más claro, un diámetro de tallo menor y hojas más pequeñas (Apéndice B.15), por lo que se dedujo que el gasoil es altamente contaminante para el medio ambiente y para los seres humanos, debido a que la presencia de este bioindicador género que los procesos de transpiración, oxigenación y absorción no se desarrollaron de manera adecuada..

En lo referente a las plantas sembradas en el suelo contaminado con gasoil tratado con hexano estas se desarrollaron un poco más y algunas comenzaron a secarse (Ver apéndice B.13). su crecimiento estuvo entre las de suelo virgen y las de

suelo con gasoil., las mismas mostraron un mayor número de plantas desarrolladas, pero de un color no tan verde (más amarillo) que las del suelo virgen.

El suelo contaminado con Vassa (Ver apéndice B.14) se reafirmó que las semillas sembradas no crecieron ni germinaron, esto debido a lo explicado con anterioridad, es decir, a que se creó una especie de nata en el suelo. En función al comportamiento descrito, es posible señalar que tanto el gasoil como otros derivados del petróleo (Vassa) son altamente contaminantes para el ecosistema

Para la última semana en estudio, se observó que las plantas en suelo virgen presentaban un color verde oscuro, hojas con tamaños de 3.5 cm y con un tallo de 13 cm (Apéndice B.12). Las plantas sembradas en el suelo que poseía gasoil en su estado natural, se secaron s en su mayoría, quedando una sola planta, esto como resultado de la contaminación que generó el fluido. Igual comportamiento se observó en las plantas germinadas con gasoil tratado.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- En la espectroscopia realizada se reflejó una disminución de los grupos funcionales y de las parafinas presentes en el gasoil.
- La disminución de los grupos funcionales y de las parafinas presentes en el gasoil fue como consecuencia de la aplicación de la cromatografía de columna
- El punto de anilina gasoil tratado (61,7 °C) fue superior al del gasoil natural (60,4 °C) aspecto que se considera positivo.
- El fluido formulado con gasoil tratado no varió visiblemente en sus propiedades físicas respecto al gasoil natural.
- Las diferencias en las propiedades físicas de los fluidos con gasoil (natural y tratado) respecto al Vassa se deben a la mayor presencia de sólidos en ellos y a las fuerzas de atracción creadas
- Estadísticamente las propiedades de pH, aluminio Intercambiable, aceites y grasas de de los suelos contaminados con gasoil tratado son las que más se asemejan a las del suelo virgen.
- Los tres aceites empleados como bases para los fluidos de perforación son contaminantes para el suelo en estudio y afectan de alguna manera el crecimiento y desarrollo de las plantas.

5.2 RECOMENDACIONES

- Realizar estudios para disminuir la presencia de sólidos en el gasoil natural y tratado.
- Buscar otro método distinto o que junto a la cromatografía de columna permita eliminar los componentes pesados del gasoil.
- Repetir el estudio para otros tipos de suelo distintos a los de Musipán donde se desarrollen actividades petroleras.
- Conocer el efecto de los tres fluidos sobre especies acuáticas.
- Emplear otro bioindicador más sensible a la contaminación para conocer los efectos sobre él.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarif, M. (2011). *Recuperación de petróleo contaminado en laboratorios de la Universidad de Oriente*. (Trabajo Especial de Grado). Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui.
- API (2003). Answers to Frequently Questions About Managing Risk at LNAPL Sites. API Soil and Groundwater Research Bullentin Number 18. American Petroleum Institute, Washington, DC.US.
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación, introducción a la metodología científica*. (6ta ed.). Caracas, Venezuela: Espíteme.
- Benavides, F., Quintero, J & León, E. (2011). Estudio de factibilidad del uso del biodiesel como fase continua en lodos de perforación de emulsión inversa. *Revista Fuentes: El Reventón Energético*. Vol. 9 N° 1. 57-64.
- Bermúdez, M. (2010). *Contaminación y turismo sostenible*. CETD SA.
- Campos, H. (2012). *Capacidad del uso potencial del suelo en el ejido “Pastores”, Municipio de Pinos, Zacatecas*. (Trabajo Especial de Grado). Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Correia, J., Godoy, G., García, M., y Vega, R. (2015). *Formulación de un fluido de perforación base diésel de bajo impacto ambiental*. Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas.
- Del Conte, E. (2012). Normativa Ambiental Venezolana Normativa Ambiental Venezolana Relacionada a la Actividad Industrial Relacionada a la Actividad Industrial DECRETO 2.289 DECRETO 2.289 y reforma parcial (Decreto 2.635) y reforma parcial (Decreto 2.635). [Documento en línea] Disponible en <https://ambienteubv.files.wordpress.com/2011/05/05-normativa-ambiental-venezolana-2635.pdf>.
- Díaz, L. y Mota, M. (2009). *Evaluación de los aceites minerales vassa lp-120-0a y vassa lp-120-0ae, para la preparación de fluidos de perforación 100% aceite diseñados para las perforaciones costa afuera en el campo dragón-Norte de Paria*. (Trabajo Especial de Grado). Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui.

- Díaz, P. y Méndez, A. (2007). *Fundamentos Teóricos Prácticos de Perforación y Construcción de Pozos*. (Trabajo Especial de Grado). Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Domínguez, O., Lázaro, K., Tapia, H. (2008). *Control Del Sistema de combustible de un motor diesel*. (Trabajo Especial de Grado). Instituto Politécnico Nacional. México.
- Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela. (2006). Ley Orgánica del Ambiente. [Documento en línea] Disponible en http://www.uc.edu.ve/mega_uc/archivos/leyes/a_ley_organica_ambiente_2007.pdf.
- Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela. (2012). Ley Penal del Ambiente. [Documento en línea] Disponible en http://www.uc.edu.ve/mega_uc/archivos/leyes/b_ley_penal_del_ambiente.pdf.
- Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela. (2009). Constitución Nacional de la República Bolivariana de Venezuela. [Documento en línea] Disponible en http://www.asambleanacional.gob.ve/documentos_archivos/constitucion-nacional-7.pdf.
- Fernández L, y Rojas N (2006). Manual de técnicas de análisis de suelo aplicadas a la remediación de sitios contaminados. México Instituto Mexicano del Petróleo.
- Instituto Americano del Petróleo (2001). Manual de fluidos de perforación, Dallas, Texas, USA. p. 242-243.
- Iturbe *et al* .(2007). Contaminación del subsuelo debido a derrames de petróleo en zonas aledañas a estaciones de bombeo de oleoductos y derechos de vía en el sudoeste de México. *Evaluación de Monitoreo Ambiental*, vol. 133.
- López-Hernández, D. & Ojeda, A. (1996). Alternativas en el manejo agroecológico de los suelos de las sabanas del norte de Sudamérica. *Revista Ecotrópicos*. 9(2),
- Marín, T. (2016). Crecimiento de plantas de maíz (*Zea mays*) en un suelo contaminado con petróleo y remediado con extracto de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*) Enfoque UTE, 7(3), pp.1 – 13.
- Manual de técnicas de análisis de suelo aplicadas a la remediación de sitios contaminados (2006).

- Metodologías analíticas basadas en la espectroscopia de infrarrojo y calibración multivariante. Aplicación a la industria petroquímica, tesis doctoral Tarrangona (2002).
- Miranda- Martínez *et al.* (2007). Degradación de fenantreno por microorganismos en la rizosfera del pasto alemán. [Documento en línea] Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792014000400301.
- Morgan y Watkinson. (1989). Degradación de hidrocarburos en suelos y métodos para suelos biotreatment. *CRC Critical Rev.in Biotechnol.* 8, 308-310.
- Navarro, V. (2009). Los desastres en su interacción con la ciencia, la tecnología y la sociedad. *MediSur, revista electrónica.* 4(2).
- Palella, S. y Martins, F. (2012). Metodología de la investigación cuantitativa. Caracas, Venezuela: Fedupel. p. 86.
- Palmaven. 1986. Análisis de suelo y su interpretación. Palmaven: Caracas.
- Palomeras-Villegas. (2009). Punto de anilina de combustibles (diésel y biodiesel). [Documento en línea] Disponible en <https://es.scribd.com/doc/93403741/PRACTICA-PUNTO-DE-ANILINA>.
- Parra, L. (2015). ASTM D86-11a (Método de Prueba Estándar Para Destilación de Productos Del Petróleo a Presión Atmosférica). [Documento en línea] Disponible en <https://es.scribd.com/document/377320235/ASTM-D86-11a-Metodo-de-Prueba-Estandar-Para-Destilacion-de-Productos-Del-Petroleo-a-Presion-Atmosferica-en-es-1>
- PDVSA. (2001). Diésel Automotriz. *Libro de Especificaciones de Productos Operaciones y Distribución Venezuela*. PDVSA-División Oriente. Venezuela.
- PDVSA-CIED. (2002). Manual de fluidos de perforación. Venezuela.
- Ponce, D. (2014). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. Universidad del BIO-BIO, Concepción.
- Pontífica Universidad Javeriana. (2008). Electroforesis. [Documento en línea] Disponible en <http://www.javeriana.edu.co/Facultades/Ciencias/neurobioquimica/libros/celular/electroforesis.html>.

- Sabroso, M. & Pastor, A. 2004. Guía Sobre Suelos Contaminados. Aragon. . [Página web en línea]. Disponible en:
http://www.conectapyme.com/files/medio/guia_suelos_contaminados.pdf
- Serna, D. (2017). ¿Para Qué Se Utiliza La Cromatografía Y Cómo Es Su Proceso?. [Documento en línea] Disponible en <http://blog.analitek.com/para-que-se-utiliza-la-cromatografia-y-como-es-su-proceso-0>
- Vásquez *et al*, (2011). Impacto del petróleo crudo en suelo sobre la microbiota de vida libre fijadora de nitrógeno. *Tropical and Subtropical Agroeco systems*, Vol 13, 511 – 523.

APÉNDICES

APÉNDICE A

(Muestras de cálculos)

A.1 Propiedades reologicas de los fluidos de perforación

- **Viscosidad plástica**

$$V_p = L_{600} - L_{300} \quad (A-1)$$

Donde:

VP: Viscosidad plástica (cP)

L600: Lectura del dial del viscosímetro a 600 rpm

L300: Lectura del dial del viscosímetro a 300 rpm

Calculo de los valores de viscosidad plástica para los fluidos de perforación formulados, de acuerdo a las lecturas obtenidas del viscosímetro rotatorio.

$$V_p = 64 - 41$$

$$V_p = 23 \text{ cP}$$

- **Punto cedente**

$$P_c = L_{300} - VP \quad (A-2)$$

Donde:

Pc: Punto cedente (lb/100 ft²)

L300: Lectura del dial del viscosímetro a 300 rpm

Calculo del punto cedente para la formulación de los fluidos de perforación.

$$P_c = 41 - 21$$

$$P_c = 20 \text{ Lb/100 ft}^2$$

A.2 Densidad del fluido

$$\text{DENS} = \frac{m_{pll} - m_{pv}}{vp} \quad (A-3)$$

Donde:

mp_{ll} = masa del picnómetro lleno

mp_v = masa del picnómetro vacío

v_p = volumen del picnómetro

Sustituyendo los valores en la ecuación A-3 se obtuvo la densidad

mp_{ll} = 86,2070 g

mp_v = 43,5095 g

v_p = 50,4286 ml

DENS origen = 0,8455 g/ml

DENS fluido cl = 0,8196 g/cm³

A.3 Aluminio intercambiable

$$\% \text{ acidez intercambiable} = 20 \cdot V1 \cdot N1 \text{ (meg/100g)} \quad (\text{A-4})$$

$$\% \text{ aluminio intercambiable} = 20 \cdot V2 \cdot N2 \text{ (meg/100g)} \quad (\text{A-5})$$

Donde:

V1 = volumen de NaOH gastado

N1 = normalidad de NaOH

V2 = volumen de HCL gastado

N2 = normalidad del HCL

Calculo del % de acidez intercambiable y del % aluminio intercambiable

$$\% \text{ acidez intercambiable} = 20 \cdot (0,2) \cdot 0,1$$

$$\% \text{ acidez intercambiable} = 0,04 \text{ meg/100g suelo}$$

$$\% \text{ aluminio intercambiable} = 20 \cdot (0,1) \cdot 1$$

$$\% \text{ aluminio intercambiable} = 0,02 \text{ meg/100g suelo}$$

A.4 Determinación de aceites y grasas

Suelo contaminado con gasoil = 2:1 = $10 - 9,2 = 0,8\%$

Suelo contaminado con gasoil tratado con hexano = 2:1 = $10 - 8,6 = 1,4\%$

Suelo contaminado con aceite Vassa = 2:1 = $10 - 7,8 = 2,2\%$

APÉNDICE B

(Resultados al desarrollar los diversos procedimientos)



Figura B.1 Equipo empleado para realizar la espectroscopia



Figura B.2 Destilación atmosférica



Figura B.3 Recuperación de hexano usando soxhlet



Figura B.4 Muestra de anilina sin mezclarse



Figura B.5 Muestras iniciales de anilina



Figura B.6 Muestra final de anilina



Figura B.7 Formulación de los fluidos de perforación



Figura B.8 Mezcla de la unión del anilina y el fluido 1



Figura B.9 Taladro GW- 108, Musipan



Figura B.10 Recolección de las muestras de suelo



Figura B.11 Muestra total de suelo recolectada



Figura B.12 Germinación de las semillas de caraotas en el suelo virgen



Figura B.13 Germinación de las semillas de caraotas en el suelo con gasoil tratado con hexano



Figura B.14 Semillas de caraotas sembradas en la muestra de suelo con aceite Vassa



Figura B.15 Germinación de las semillas de caraotas en la muestra de suelo con gasoil



Figura B.16 Muestra de suelo para el cálculo del pH

APÉNDICE C

(Tablas adimensionales)

Parameter	Equation (1)	Equation (2)	Equation (3)
a	124.080E+0	-12.248E+2	83.020E+0
b	-69.740E+0	-20.747E+1	24.970E-4
c	18.222E-5	38.215E-2	70.080E+2
d	38.601E+2	-24.400E-4	-11.009E+3
e	6.260E-5	12.106E-2	-32.528E-5
f	152.261E+3	55.730E-3	-19.659E+3
g	2.580E-5	87.490E-5	-71.388E-4
h	10.611E+2	34.537E-1	42.522E-1
i	-91.250E+0	10.945E+2	93.290E+0
s	2.472E-1	2.481E+0	1.654E+0
R ²	9.620E-1	9.780E-1	9.890E-1
R ² _{adj}	9.590E-1	9.770E-1	9.880E-1

Figura C.1 Tabla de Karonis

Table 1. Fuel Properties

Case Index	ISP (°C)	P ₀ (°C)	P ₀ (°C)	P ₀ (°C)	FP (°C)	Density (g/ml, 15°C)	η _v (%)	Aniline Point (°C)	Aromatic Content (%)	Total Sulfur (%)
23.3	188	250	288	340	372	0.9150	1.83	30.9	73.0	1.82
24.3	194	242	276	341	369	0.9119	3.21	1.4	77.4	0.33
26.0	186	238	275	344	368	0.9120	3.16	7.0	79.3	0.30
27.0	183	235	274	340	368	0.9130	3.11	12.4	71.1	0.27
27.2	191	239	281	347	369	0.9130	3.62	19.8	69.4	0.28
27.3	190	249	290	315	370	0.9081	3.79	27.9	67.1	1.64
28.4	188	233	275	327	364	0.9040	3.06	17.3	67.9	0.34
28.6	188	232	288	347	373	0.9106	3.75	32.0	61.3	1.33
29.0	180	242	291	370	380	0.9148	3.85	20.4	63.8	0.34
30.2	193	233	278	334	360	0.9150	3.01	22.6	64.8	0.21
32.4	194	247	296	354	369	0.9154	4.20	36.5	61.1	0.24
32.7	191	251	287	334	363	0.9100	3.61	40.0	51.9	1.22
34.0	201	232	290	376	382	0.9130	3.99	44.2	52.2	1.29
34.2	196	232	268	311	353	0.8970	2.92	32.3	58.3	0.15
35.8	181	228	254	332	361	0.8889	2.59	43.2	43.8	1.05
36.0	198	231	267	324	351	0.8880	3.87	34.9	55.4	0.12
36.8	189	247	287	328	361	0.8930	3.37	30.4	45.0	0.97
36.9	204	230	304	378	375	0.9012	4.78	48.8	54.2	0.19
37.5	193	225	257	337	369	0.8827	2.84	48.4	41.1	1.11
37.6	206	234	292	357	383	0.9012	4.07	30.6	46.3	1.12
38.3	200	230	347	323	348	0.8790	2.83	41.3	52.2	0.09
39.2	190	249	307	359	379	0.8941	4.51	51.3	52.2	0.18
40.2	185	223	242	313	369	0.8757	3.08	52.8	58.2	1.18
40.6	200	229	265	319	348	0.8700	2.78	43.9	49.0	0.06
40.6	206	233	294	357	383	0.8901	4.21	56.6	49.1	0.91
41.6	186	230	261	327	379	0.8706	3.16	53.0	53.1	1.25
42.9	198	227	263	313	344	0.8610	2.77	50.2	45.9	0.02
43.7	183	214	270	348	371	0.8642	3.42	58.5	52.2	1.32
43.8	185	218	272	363	376	0.8642	3.42	58.5	52.1	1.32
44.0	188	243	284	321	347	0.8691	3.48	60.3	52.8	0.64
44.1	206	234	295	359	384	0.8810	4.35	61.3	56.3	1.23
44.2	183	209	271	368	379	0.8618	3.50	60.8	50.7	1.16
44.3	185	213	271	368	379	0.8618	3.50	60.8	50.9	1.15
44.5	167	231	296	331	368	0.8771	4.03	59.3	58.1	0.12
44.7	198	229	248	323	371	0.8363	2.97	53.4	43.1	0.02
44.8	198	229	248	314	361	0.8378	2.85	53.8	42.3	0.03

Table 1. Fuel Properties (Continued)

Case Index	ISP (°C)	P ₀ (°C)	P ₀ (°C)	P ₀ (°C)	FP (°C)	Density (g/ml, 15°C)	η _v (%)	Aniline Point (°C)	Aromatic Content (%)	Total Sulfur (%)
45.7	201	230	288	320	343	0.8561	2.80	53.1	41.2	0.93
45.8	182	210	284	363	375	0.8511	3.34	62.7	36.3	1.17
46.2	194	231	272	329	360	0.8500	3.11	56.4	40.0	0.02
46.3	183	215	284	372	385	0.8512	3.72	62.4	29.5	1.38
46.3	197	231	272	314	340	0.8130	2.93	56.9	39.1	0.07
46.7	219	237	316	363	381	0.8772	3.63	60.3	44.2	0.13
47.1	199	247	297	352	375	0.8681	4.11	63.8	52.8	0.16
47.5	208	237	297	340	366	0.8720	4.43	65.4	51.9	0.69
47.5	188	219	251	340	369	0.8439	2.8	63.2	33.5	0.91
47.5	206	233	261	321	347	0.8311	2.83	59.7	56.6	0.03
47.7	138	254	299	352	371	0.8761	4.13	61.6	52.0	0.10
47.8	221	248	327	371	384	0.8752	5.25	66.0	58.3	0.20
48.1	210	239	314	362	381	0.8762	5.29	61.9	42.1	0.12
48.1	194	235	278	338	363	0.8565	3.32	60.0	37.2	0.90
48.3	196	234	276	314	338	0.8318	3.02	60.6	35.5	0.10
48.5	188	225	261	313	388	0.8472	2.98	63.7	24.8	0.36
48.9	194	230	244	324	367	0.8335	2.45	64.5	30.5	0.66
48.9	182	210	284	363	375	0.8371	3.14	62.7	36.4	1.15
49.0	189	223	237	351	394	0.8431	2.80	64.1	23.4	0.92
49.2	214	261	302	360	386	0.8704	4.40	67.2	56.6	0.63
49.2	191	230	238	256	332	0.8247	2.06	63.6	54.2	0.28
49.4	195	230	340	270	294	0.8274	2.23	65.2	17.7	0.41
49.4	182	237	282	340	366	0.8310	3.36	62.0	34.2	0.02
49.4	203	232	264	323	347	0.8462	3.87	64.3	32.3	0.04
49.6	191	229	252	346	391	0.8638	4.67	68.7	29.2	0.37
49.7	193	235	278	314	336	0.8200	3.08	62.7	33.3	0.11
49.8	195	236	240	331	391	0.8167	2.40	64.7	30.5	0.69
49.8	197	222	236	256	323	0.8239	2.06	63.6	16.8	0.16
50.2	191	234	244	319	381	0.8336	2.92	69.6	16.8	0.16
50.5	203	231	269	369	385	0.8462	2.58	75.8	18.9	0.17
50.7	170	237	309	354	373	0.8641	4.23	65.5	31.6	0.08
50.7	206	230	301	360	386	0.8630	4.33	69.8	28.1	0.36
50.9	190	239	287	342	368	0.8311	3.76	66.2	31.4	0.03
50.9	197	224	237	348	365	0.8290	1.94	66.4	14.7	0.13
50.9	209	238	299	361	398	0.8638	4.51	68.6	27.6	0.38
51.1	180	221	272	342	388	0.8430	3.16	68.6	28.0	0.28

Figura C.2 Tabla de valores para propiedades del gasoil de Karonis y colaboradores

Table 1. Fuel Properties (Continued)											
Cetane Index	BP (°C)	D ₁₅ (°C)	D ₂₀ (°C)	D ₂₅ (°C)	D ₃₀ (°C)	FBP (°C)	Density (g/ml, 15 °C)	v ₄₀ (dist)	Aniline Point (°C)	Aromatic Content (% vol.)	Total Sulfur (% wt.)
51.4	193	236	281	314	334	0.8475	3.15	63.5	36.5	0.13	
51.6	203	227	261	297	305	0.8225	2.03	67.4	14.9	0.19	
51.6	208	253	263	327	336	0.8412	2.90	68.9	27.6	0.05	
51.6	198	222	249	270	354	0.8226	2.23	63.2	17.6	0.41	
51.9	205	229	262	278	375	0.8282	2.18	67.8	15.2	0.18	
52.0	165	214	279	349	372	0.8420	3.28	70.2	22.5	-	
52.1	204	238	263	372	391	0.8404	3.23	72.4	16.7	0.26	
52.1	228	274	323	375	388	0.8752	7.28	71.5	32.0	0.26	
52.2	201	236	275	375	395	0.8413	3.77	73.8	17.2	0.30	
52.4	214	237	294	368	390	0.8349	2.83	71.8	16.2	0.23	
52.4	196	234	346	352	385	0.8302	3.49	68.2	15.7	0.23	
52.4	187	219	264	333	359	0.8354	2.84	68.0	27.8	0.12	
52.9	207	235	282	343	364	0.8460	2.57	70.1	24.1	0.28	
53.0	203	239	271	377	358	0.8432	3.22	70.2	26.4	0.04	
53.1	195	239	283	314	312	0.8451	3.23	67.9	21.7	0.16	
53.2	188	247	291	348	370	0.8320	3.98	68.0	28.5	0.09	
53.2	207	241	285	371	395	0.8475	4.67	75.2	17.4	0.32	
53.8	193	230	267	290	362	0.8351	2.62	66.8	24.6	0.78	
54.0	202	234	256	301	327	0.8301	2.57	68.0	18.3	0.18	
54.1	210	239	299	365	390	0.8561	4.61	77.6	18.2	0.34	
54.1	198	248	301	354	373	0.8330	4.52	72.2	23.2	0.15	
54.2	195	243	282	345	361	0.8451	3.59	71.8	25.1	0.04	
54.5	161	239	301	355	374	0.8354	4.41	71.0	28.0	0.05	
54.7	191	244	284	314	331	0.8431	3.29	70.2	25.4	0.25	
54.8	186	251	296	349	370	0.8385	4.26	71.6	25.6	0.03	
54.8	210	244	334	370	383	0.8389	4.02	76.8	21.0	0.17	
55.0	204	241	302	378	392	0.8495	4.43	75.4	17.7	0.32	
55.1	186	238	276	311	330	0.8193	2.27	70.6	20.6	0.19	
55.4	202	235	276	297	309	0.8190	3.71	78.3	19.2	0.62	
55.6	186	248	293	351	367	0.8475	4.23	75.1	23.9	0.03	
55.6	198	223	253	273	282	0.8213	2.34	66.5	28.3	0.68	
55.9	193	258	279	309	328	0.8376	3.86	70.6	22.5	0.09	
56.0	232	290	340	380	390	0.8712	8.16	76.7	25.7	0.33	
56.0	212	254	305	353	380	0.8319	4.60	73.8	25.3	1.07	
56.1	218	252	297	353	379	0.8483	4.16	74.3	20.5	0.89	
56.3	223	270	320	364	383	0.8397	5.81	77.2	21.2	1.01	
56.5	218	254	305	367	380	0.8385	4.37	73.8	25.1	0.15	

Table 1. Fuel Properties (Continued)											
Cetane Index	BP (°C)	D ₁₅ (°C)	D ₂₀ (°C)	D ₂₅ (°C)	D ₃₀ (°C)	FBP (°C)	Density (g/ml, 15 °C)	v ₄₀ (dist)	Aniline Point (°C)	Aromatic Content (% vol.)	Total Sulfur (% wt.)
56.9	185	252	290	324	350	0.8431	3.60	72.8	23.0	0.13	
57.1	184	215	293	335	356	0.8451	3.87	71.3	22.9	0.11	
57.1	231	250	291	341	366	0.8432	3.68	71.2	22.1	1.03	
57.2	180	260	300	353	369	0.8490	4.55	-	22.6	0.03	
57.2	183	218	289	346	364	0.8420	4.19	75.9	22.7	0.07	
57.6	188	249	285	313	329	0.8411	3.36	72.2	23.1	0.19	
57.6	214	263	304	344	368	0.8590	4.51	72.8	22.4	1.23	
57.8	194	260	305	360	386	0.8492	4.44	74.8	22.0	0.25	
58.5	231	284	318	383	405	0.8642	7.83	77.2	23.4	0.20	
58.8	221	281	324	367	383	0.8586	5.96	75.2	26.4	1.18	
59.2	193	255	270	295	304	0.8252	2.81	74.6	17.5	0.03	
59.9	216	283	335	380	397	0.8603	6.35	78.6	20.8	0.34	
60.6	207	274	304	362	392	0.8410	4.55	61.8	18.6	0.88	
61.5	238	312	351	382	390	0.8492	9.73	81.9	19.6	0.40	
62.8	222	276	325	375	398	0.8489	6.12	83.4	19.2	0.89	

Figura C.3 Tabla de valores para propiedades del gasoil de Karonis y colaboradores (Continuación)

APÉNDICE D

(Procedimientos experimentales)

D.1 Procedimiento de la cromatografía en columna (mecánica)

- Se pesaron 200 gramos de gel de sílice granulada.
- Se secó previamente el gel de sílice pesado, antes de ser introducida en un horno convencional a 50°C.
- Se ubicó en un embudo de separación de 250 ml, una malla que sirvió como soporte para evitar que el gel de sílice se desplazara hacia la salida del embudo
- Se vertió la cantidad requerida de gel de sílice.
- Seguidamente fue colocado el gasoil comercial previamente medido en un cilindro graduado de 100 ml en el embudo de separación.
- De igual manera fue introducido el hexano en el embudo de separación para llevar a cabo el proceso de separación de los fluidos.
- Se procedió a abrir la llave del embudo de separación y se recolectó el gasoil tratado con hexano en recipiente de vidrio que posteriormente fue identificado.

D.2 Procedimiento para destilar el gasoil comercial tratado con hexano

- Se homogeneizó la muestra mediante agitación.
- Se llenó el baño del condensador con agua, hasta cubrir por completo el tubo metálico.
- Se limpió el tubo condensador con un trozo de paño atado a un alambre.
- Se midió 500 ml de la muestra y se vertió en el balón de destilación, evitando que no pasara nada de líquido por el tubo de vapores del condensador.
- Se acopló el termómetro apropiado con un tapón de goma y se ajustó al balón de destilación, quedando en el centro del cuello y con el extremo inferior del capilar a nivel del tubo de vapores.
- Se colocó el balón encima del calentador y se conectó el tubo de vapores con el condensador, mediante un corcho aforado.

- Se colocó un cilindro de 100 ml debajo de la salida del tubo del condensador.
- Una vez realizado el montaje, se aplicó calor regulando la temperatura.
- Se registró la temperatura cuando cayó la primera gota la primera gota de destilado como punto inicial de ebullición (PIE).
- A partir de aquí se regulo el calentador de manera que persiguió la destilación a la temperatura deseada.
- La destilación persiguió hasta que la temperatura comenzó a disminuir y se dejó de recolectar el destilado en el cilindro.
- Se desconectó el balón de destilación del condensador, se colocó en un beaker y luego se midió el volumen de residuo en un cilindro graduado.

D.3 Procedimiento de espectroscopia infrarrojo de transformada de Fourier programa HATR (reflectante, transmisión, atenuada)

4. Se colocó una gota de gasoil comercial sobre la platina del módulo de refracción total atenuada y se esperó aproximadamente 10 minutos hasta que toda la fase liquida se evaporó y se formó una película sobre el vidrio.
5. Se introdujo la platina en el espectroscopio y se colocó la plantilla de teflón.
6. Con la ayuda de un computador de laboratorio que disponía del software OMNIC Specta, que realizaba la interpretación de los espectros que posteriormente serían analizados.

D.4 Procedimiento para determinar el punto de anilina a las 3 bases

- Se colocó el baño calentador a la temperatura de 58 ° C.
- Se midió la muestra en un cilindro graduado de 100 ml.
- Se vertió 10 ml de anilina y 10 ml de la muestra problema en una Erlenmeyer.

- Se le ajusto un tapón de goma a cada Erlenmeyer para posteriormente introducirlo al baño térmico.
- Se le coloco un agitador magnético a cada Erlenmeyer para provocar la agitación entre la anilina y la muestra problemas.
- Una vez alcanzada la temperatura deseada se procedió a colocar la muestra en el baño térmico.
- Se tomó la temperatura a la cual se unieron la anilina y la muestra.
- Se dejó dentro del baño térmico hasta que se observó la separación de las muestras y de la anilina y se tomó la temperatura final.
- Se repitió el procedimiento 2 veces a cada uno de los fluidos para comprobar que el rango de temperatura fuese similar.

D.5 Procedimiento para determinar las propiedades físicas y químicas del suelo contaminado con fluidos de perforación base aceite con base gasoil, gasoil tratado y Vassa

- Se pesaron 10 gr de suelos (3 veces).
- Se colocaron 10 ml de agua al primer envase.
- Se colocaron 20 ml de agua al segundo envase.
- Se colocaron 30 ml de agua al tercer envase.
- Se agito la muestra por espacio de 5 minutos.
- Se midió el pH a cada una de las muestras.
- Se realizó la conductividad eléctrica (alcalinidad).
- Se determinó la cantidad de aluminio intercambiable.

D.6 Procedimiento según Bermejo para la determinación del aluminio intercambiable

- Torne 50 ml de suelo
- Adicione 500 ml de solución de cloruro de potasio (1N)
- Agite durante 30 min
- Centrifugue a 7000 rpm durante 5 min
- Vierta en decantado a un Erlenmeyer de 125 ml
- Adicione 3 gotas de indicador
- Titule con solución de hidróxido de sodio (0,0100N) hasta que aparezca un color rosa
- Adiciónale 10 ml de solución de fluoruro de sodio al 4%
- Titule con solución de ácido clorhídrico (0,0100 N) hasta la desaparición de color, adicione 1 gota de indicador, si el color aparece, continúe titulando con la solución hasta que desaparezca o no retorne el color después de dos minutos.

D.7 Procedimiento para la determinación de aceites y grasas

- Se pesaron 10 gramos de suelo para cada uno de los fluidos.
- Se vertió en un balón de 100 ml la cantidad de hexano requerida (100ml).
- Se colocaron dentro del soxhlet la muestra de suelo en un papel filtro el cual fue conectado a los condensadores del equipo.
- Se procedió a suministrársele calor moderadamente.
- Se dejó fluir el proceso por un espacio de 4 horas con un constante monitoreo para visualizar el reciclo que realizo el hexano para limpiar toda la cantidad de aceites y grasa presentes en cada una de las muestras.
- Después de pasar el plazo de las 4 horas se desmonto todo el proceso ya que el reciclo había finalizado su limpieza, donde se pesó la muestra final.

D.8 Procedimiento para determinar pH y conductividad eléctrica de los suelos

1. Pesar 20 gramos de suelo y colocarlo en un beacker.
2. Agregar 20 mililitros de agua destilada.
3. Agitar por 30 segundos en un sentido y luego 30 segundos en el otro.
4. Dejar reposar por 15 minutos.
5. Repetir paso 3.
6. Dejar reposar por 15 minutos más.
7. Calibrar el pHmetro con una solución buffer.
8. Medir pH.
9. Medir la conductividad eléctrica.

HOJAS METADATOS

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

Título	Efecto sobre suelo de un fluido base gasoil tratado con hexano mediante cromatografía de columna
---------------	---

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

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Alfonzo Marcano, Carlos Del Jesús	CVLAC	C.I: 20.903.896
	e-mail	carlosalfonzo437@gmail.com
Navarro Aguinagaldi, Lenis Del Valle	CVLAC	C.I: 20.882.659
	e-mail	Lenisnavarro82@gmail.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:

espectroscopia ir
punto de anilina
propiedades físicas
bioindicador
aceite vassa
tesis de grado

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):

Los fluidos de perforación eran inicialmente agua y arcilla, pero a partir de los años 50 aproximadamente, se desarrollaron fluidos base aceite, que mejoran las propiedades físicas del fluido, no reaccionan con las arcillas y favorecen la tasa de penetración, así como la efectividad del mismo. Generalmente el aceite que se utilizó fue el gasoil o aceites minerales de origen hidrocarburo, pero son contaminantes al medio ambiente. Ante lo descrito la presente investigación, pretendió conocer si un fluido base gasoil tratado este previamente mediante cromatografía de columna lo hace más amigable al ambiente. Para ello, se hizo fluir gasoil y hexano por una columna de gel de sílice buscando retener los componentes pesados presentes en él. Seguidamente, se le midió el punto de anilina (61,7°C), logrando ser este mayor que el del gasoil natural (60,4°C) y aceite Vassa (59,7°C), aspecto que se deseaba lograr. Seguidamente, mediante Espectroscopia IR se observó una disminución de los componentes pesados alrededor de 3700 cm⁻¹. Posteriormente, se formularon tres fluidos, uno con gasoil tratado y otros dos con gasoil y aceite Vassa y se procedió a contaminar muestras de suelo del área petrolera de Musipan en relación 2:1, 3:1 y 4:1; y 24 h después se sembraron tres semillas de caraotas (*Phaseolus vulgaris*) como bioindicador. Las muestras de suelo fueron caracterizadas antes y después de ser contaminadas, para ello se les midieron las propiedades de pH (5,21) suelo ácido típico de las llanuras del oriente del país, conductividad eléctrica (0,38 mmhos/cm), aluminio intercambiable (0,02 meq/100g suelo), y aceite y grasas (1,4%). Posterior a los 21 días de estudio se midieron las mismas propiedades lo que permitió realizar un ANOVA ($\alpha=0,05$) y un test de Duncan a partir de un estudio de bloques al azar mediante la aplicación de un diseño factorial, que permitió concluir que el suelo contaminado con gasoil tratado difiere de manera favorable con los contaminados con gasoil y Vassa.

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

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Msc. Ing. Rubén Vega	ROL	CA ☐ AS ☐ TU ☐ JU ☐
	CVLAC	C.I. 10.100.632
	e-mail	rvegas@udo.edu.ve
Ing. Martha Espinoza	ROL	CA ☐ AS ☐ TU ☐ JU ☐
	CVLAC	C.I. 8.396.941
	e-mail	espinozamrel@hotmail.com
Ing. Atmary Gómez	ROL	CA ☐ AS ☐ TU ☐ JU ☐
	CVLAC	C.I. 12.150.662
	e-mail	Atmary.gomez@udo.edu.ve

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).. La codificación del Rol es: CA = Coautor, AS = Asesor, TU = Tutor, JU = Jurado.

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2020	02	21

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
NMOTTG_AMCD2020

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: inespacila
Temporal: intemporal

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero de Petróleo

Dato requerido. Ejemplo: Licenciado en Matemáticas, Magister Scientiarium 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

CUN°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.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR *[Firma]*
FECHA 5/8/09 HORA 5:30
Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

[Firma]
JUAN A. BOLANOS CURELO
Secretario



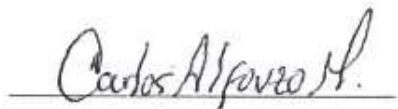
C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación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

JABC/YOC/manja

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

De acuerdo al Artículo 41 del reglamento de Trabajos de Grado:

Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quién deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización.



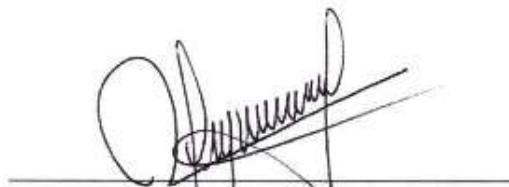
CARLOS DEL JESÚS ALFONZO MARCANO

Autor



LENIS DEL VALLE NAVARRO AGUINAGALDI

Autora



MSc. ING. RUBÉN VEGA

Asesor