



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

**DESARROLLO DE UN ADITIVO LIBERADOR DE TUBERÍA A BASE DE
DESTILADOS DE COQUE DE PETRÓLEO**

**REALIZADO POR:
ADNEL MIGUEL RODRIGUEZ FIGUERA
OSKARINA DEL VALLE RODRIGUEZ GONZALEZ**

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

MATURÍN, ENERO 2020

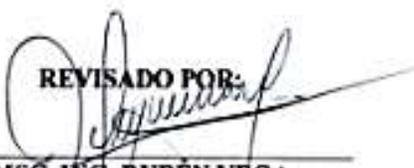


UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA

**DESARROLLO DE UN ADITIVO LIBERADOR DE TUBERÍA A BASE DE
DESTILADOS DE COQUE DE PETRÓLEO**

REALIZADO POR:
ADNEL MIGUEL RODRIGUEZ FIGUERA
C.I. 25.085.277
OSKARINA DEL VALLE RODRIGUEZ GONZALEZ
C.I. 24.438.104

REVISADO POR:


MSC. ING. RUBÉN VEGA
ASESOR ACADÉMICO

MATURÍN, ENERO 2020



UNIVERSIDAD DE ORIENTE

NÚCLEO DE MONAGAS

ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO

MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA

**DESARROLLO DE UN ADITIVO LIBERADOR DE TUBERÍA A BASE DE
DESTILADOS DE COQUE DE PETRÓLEO**

REALIZADO POR:

ADNEL MIGUEL RODRIGUEZ FIGUERA

C.I. 25.085.277

OSKARINA DEL VALLE RODRIGUEZ GONZALEZ

C.I. 24.438.104

APROBADO POR:

**MSC. ING. RUBÉN VEGA
ASESOR ACADÉMICO**

**ING. MSC. LUIS CASTILLO
JURADO PRINCIPAL**

**ING. ATMARY GÓMEZ
JURADO PRINCIPAL**

MATURÍN, ENERO 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 participar previamente al Consejo Universitario, para su autorización”

DEDICATORIA

A mi mamá Miguelina y a mi hermano Frank Carlos, personas trabajadoras, honestas y de buen corazón; los pilares fundamentales de todo lo que soy hoy, a quienes dedico este y cada uno de los triunfos y logros por venir.

Adnel Miguel Rodríguez Figuera

AGRADECIMIENTOS

Inicialmente agradezco a cada uno de los profesores de la Universidad de Oriente, a los que admiro y respeto, que con vocación siguen impartiendo conocimientos a pesar de las dificultades.

Al asesor de este proyecto de investigación Msc. Rubén Vega, por los consejos, dedicación, comprensión y apoyo en momentos cruciales.

A los amigos que hice durante mi permanencia en la universidad, que también comparten este éxito; esta etapa no hubiera sido lo mismo sin Luis Dautan, Valeska Tovar, Gabriel Hernández, Valentina Hernández, Mariana Hernández, Manuel Rodríguez, Gisela Vizcaíno, Michelle Campos finalmente a Kamil Halabi por el apoyo en la realización de este trabajo.

A mi amigo y compañero, Joel Chayan por su gran ayuda y apoyo en la culminación de este trabajo, gracias por animarme y acompañarme en los buenos y los malos momentos.

Al Sr Joel, la Sra Alida, Maigualida, Luis Daniel, Ysmarys y Marbys, por abrirme las puertas de su corazón y de sus casas, gracias por tanto cariño y apoyo durante este tiempo.

A la familia Jaramillo, gracias China, Carlos, Karina y Katina por siempre ayudarme y apoyarme cuando lo necesite.

A mi prima, Katherine por darme todo su cariño y apoyo ante todo, a Nellys, aunque no estés físicamente a mi lado sé que estas orgullosa celebrando este logro.

A mis sobrinos, David, Francis y Franciela, espero que este triunfo sirva de inspiración, sepan que pueden lograr cualquier cosa que se propongan; y sepan lo orgulloso que estoy de ustedes.

A mis hermanos Frank Carlos y Karina por darme todo su cariño y apoyo ante todo, además por ser ese motor para mí para salir adelante.

Finalmente a mis padres Miguelina y Adnell por todo el amor, por creer en mí, por las enseñanzas, motivarme a luchar por lo que quiero, la confianza, y los valores.

Adnel Miguel Rodríguez Figuera

ÍNDICE GENERAL

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE GENERAL	viii
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE GRÁFICOS	xii
LISTA DE TABLAS	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.....	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	5
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
CAPÍTULO II	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION.....	6
2.2 BASES TEÓRICAS.....	8
2.2.1 Fluidos de perforación.....	8
2.2.2 Clasificación de los fluidos de perforación.....	9
2.2.2.1 Base agua.....	9
2.2.2.2 Base aceite.....	9
2.2.3 Principales funciones de los fluidos de perforación.....	9
2.2.4 Pega de tubería.....	11
2.2.5 Clasificación de las pegas de tubería.....	11
2.2.5.1 Pega mecánica.....	11
2.2.5.2 Pega de tubería por presión diferencial.....	13
2.2.5.2.1 Causa de la pega diferencial.....	14
2.2.5.2.2 Medidas preventivas para el atascamiento de pega diferencial.....	15
2.2.5.2.3 Métodos para liberar la tubería por presión diferencial.....	16
2.2.6 Coque de petróleo retardado.....	17
2.2.7 Proceso de coquización.....	18
2.2.8 Clasificación del coque de petróleo retardado.....	19
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	20
CAPÍTULO III	21
MARCO METODOLÓGICO	21
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	21
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	21

3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	22
3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	23
3.4.1 Caracterización del aditivo formulado como agente liberador de tubería.....	23
3.4.1.1 Elaboración del aditivo liberador de tubería a base de destilados de coque de petróleo.	23
3.4.1.2 Gravedad específica (Método estándar para la determinación de la gravedad específica mediante el picnómetro Gay Lussac ASTM D369-02).....	24
3.4.1.3 Viscosidad cinemática y dinámica (Prueba del viscosímetro de Brookfield ASTM D 2196-10).	25
3.4.1.4 Punto de Inflamación y fuego (Método Cleveland de copa abierta COVENIN 372:1997).	25
3.4.1.5 pH (Método de prueba estándar para pH ASTM D3838:80).....	26
3.4.2 Determinación del efecto de las píldoras equivalentes de los aditivos liberadores de tuberías sobre las propiedades del revoque.....	26
3.4.2.1 Formulación de las píldoras liberadoras de tubería	26
3.4.2.2 Formulación del fluido de perforación 100% aceite mineral.....	27
3.4.2.3 Proceso de envejecimiento.....	28
3.4.2.4 Obtención del revoque	28
3.4.2.5 Determinación del espesor del revoque	28
3.4.2.6 Determinación del coeficiente de lubricidad	29
3.4.3 Comparación estadística del efecto del liberador de tubería desarrollado y un liberador comercial sobre el revoque.....	29
3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	30
3.5.1 Técnicas	30
3.5.2 Instrumentos	30
3.6 RECURSOS	30
3.6.1 Humanos	30
3.6.2 Financieros.....	31
3.6.3 Materiales y equipos	31
CAPÍTULO IV	32
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	32
4.1 CARACTERIZACIÓN DEL ADITIVO FORMULADO COMO AGENTE LIBERADOR DE TUBERÍA	32
4.2 DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LAS PÍLDORAS EQUIVALENTES DE LOS ADITIVOS LIBERADORES DE TUBERÍAS SOBRE LAS PROPIEDADES DEL REVOQUE.	34
4.2.1 Coeficiente de lubricidad de las píldoras liberadoras de tuberías.....	35
4.2.2 Espesor de revoque	37
4.2.3 Peso del revoque	38
4.2.4 Resquebrajamiento del revoque.....	39

4.3 COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DEL EFECTO DEL LIBERADOR DE TUBERÍA DESARROLLADO Y UN LIBERADOR COMERCIAL SOBRE EL REVOQUE.....	40
4.3.1 Coeficiente de lubricidad.....	42
4.3.2 Espesor de revoque.....	43
4.3.3 Resquebrajamiento del revoque.....	45
4.4.4 Peso del revoque.....	47
CAPÍTULO V.....	49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	49
5.1 CONCLUSIONES.....	49
5.2 RECOMENDACIONES.....	49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
APÉNDICES.....	53
HOJAS METADATOS.....	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Etapas de la pega de tubería por presión diferencial	14
Figura 4.1 Espectro del Aceite de coque obtenido con la unidad de transmisión.....	32

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfica 4.1 Comparación del coeficiente de lubricidad entre las repeticiones de la prueba realizada a las distintas píldoras	36
Gráfica 4.2 Test de Duncan para la variación del coeficiente de lubricidad en función de las píldoras aplicadas (letras distintas demuestran diferencia estadística significativa)	43
Gráfica 4.3 Test de Duncan para la variación del espesor del revoque en función de las píldoras aplicadas (letras distintas demuestran diferencia estadística significativa)	44
Gráfica 4.4 Test de Duncan para la intensidad de resquebrajamiento de la superficie del revoque en los diferentes tratamientos. (Letras distintas demuestran diferencia estadística significativa)	46
Gráfica 4.5 Test de Duncan para la disminución del peso en los revoques afectados por los diferentes tratamientos (letras distintas demuestran diferencia estadística significativa)	48

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Propiedades físico-químicas del coque de petróleo retardado	18
Tabla 3.1 Formulación de las píldoras liberadoras de tubería	27
Tabla 3.2 Formulación del fluido 100% aceite mineral	27
Tabla 4.1 Propiedades Físicas y Químicas aceite de coque de petróleo	33
Tabla 4.2 Coeficiente de lubricidad de las píldoras liberadoras de tubería.	35
Tabla 4.3 Espesor de revoque antes y después de aplicar las píldoras liberadoras de tubería	37
Tabla 4.4 Peso del revoque antes y después de someterlo al tratamiento con las diferentes píldoras liberadoras de tubería.....	38
Tabla 4.5 Apreciación del resquebrajamiento para los aditivos liberadores de tubería propuestos.....	39
Tabla 4.6 Resquebrajamiento de los diferentes revoques sometidos a las píldoras liberadoras de tubería	39
Tabla 4.7 Análisis estadístico de las propiedades de los diferentes revoques sometidos a las distintas píldoras liberadoras de tubería.....	41
Tabla 4.8 Coeficientes de lubricidad de las píldoras liberadoras de tuberías	42
Tabla 4.9 Totales y promedio de la variación del espesor del revoque	44
Tabla 4.10 Totales y promedio del resquebrajamiento del revoque	45
Tabla 4.11 Totales y promedio del peso del revoque.....	47



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

**DESARROLLO DE UN ADITIVO LIBERADOR DE TUBERÍA A BASE DE
DESTILADOS DE COQUE DE PETRÓLEO**

Autores:

Adnel Miguel Rodríguez Figuera

C.I: 25.085.277

Oskarina del Valle Rodríguez González

C.I: 24.438.104

Enero, 2020

Asesor

Ing. MSc. Rubén Vega

RESUMEN

El objetivo fundamental de esta investigación fue desarrollar un aditivo liberador de tubería a base de destilados de coque de petróleo, para ello se utilizó un extractor soxhlet para obtener el aceite de coque de petróleo, posteriormente se estableció la formulación de las diferentes píldoras liberadoras de tubería, donde se estudió el efecto de las diferentes píldoras sobre las propiedades de los diferentes revoques generados de un fluido de perforación 100% aceite natural mediante pruebas de calidad a nivel de laboratorio tales como, coeficiente de lubricidad, resquebrajamiento y disminución del espesor de revoque. De acuerdo a los resultados obtenidos se realizó un diseño estadístico aleatorio simple, con tres repeticiones y se comparó con un aditivo comercial. Demostrándose que los tratamientos presentaron comportamientos cercanos a la píldora comercial, debido a que se evidenció disminución de las propiedades del revoque al someterlas al efecto de las píldoras liberadoras de tuberías.

Palabras claves: aditivo, revoque, coeficiente de lubricidad.

INTRODUCCIÓN

La perforación de pozos de petróleo se ha encontrado en constante evolución, lo que conlleva a la aplicación de estrategias más precisas, esto se debe al incremento en la demanda de hidrocarburos durante los últimos años. El proceso de perforación es esencial para satisfacer dicha demanda; es por ello que debe ser planeada y ejecutada de manera tal que sea eficiente, segura y económicamente rentable. Para el desarrollo correcto del proceso, es necesaria la utilización de un fluido de perforación, el cual debe contar con características químicas y físicas apropiadas.

Los fluidos de perforación (FP) deben realizar de manera simultánea múltiples funciones, como enfriar la mecha, controlar las presiones, lubricar la tubería de perforación, asegurar que el revoque se forme y evitar daños a la formación. Sin embargo, según Hoelscher *et al.*, (2012), si el fluido falla en alguna de sus funciones se podrían presentar graves problemas como pérdida de circulación, daños a la formación, pega de tubería, erosión de la formación, altos valores de torque y arrastre que reducen significativamente la eficiencia de la perforación.

Diversos son los desafíos y problemas operativos que se presentan durante la perforación, entre los cuales destaca la pega de tubería por ser uno de los más usuales en el campo. Según Schlumberger (2016), esta problemática se genera cuando la sarta de perforación no puede moverse (rotarse o moverse con movimiento alternativo) a lo largo del eje del pozo.

La presente investigación estuvo dirigida al desarrollo de un aditivo para la liberación física de la pega de tubería mediante los destilados del coque de petróleo, debido a que este subproducto derivado del petróleo tiene poca utilidad en Venezuela y una disponibilidad creciente; todo con el fin de emplearlo efectivamente en la corrección de este problema operacional.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA Y SUS GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El coque de petróleo se obtiene a partir de un proceso de refinado del petróleo y contiene una elevada proporción de carbono. Es una forma de carbón sólido producido mediante su descomposición térmica y la polimerización de hidrocarburos líquidos pesados derivados de la refinación de crudo. Requena *et al.*, (2008).

El coque originado de las fracciones más pesadas del petróleo, concentra las impurezas más densas, como metales y compuestos sulfurados; el contenido de esos componentes depende directamente de la calidad del petróleo procesado. Así, se pueden tener coques en el mercado internacional con contenidos de azufre que varíen entre de 4,0 a 7,5 % en masa (Salvador *et al.*, 2003). De acuerdo a Narula, (2004) y Amick *et al.*,(2001) destacan que el hecho de ser un subproducto de la refinación de petróleo, con alto poder calorífico y bajo contenido de cenizas, que permite bajos costos de transporte, hace del coque de petróleo un combustible menos costoso que el carbón y otros combustibles líquidos. No obstante, desde el punto de vista ambiental, el alto contenido de azufre (5,9%) y metales tienden a hacerlo un combustible poco atractivo, Da Silva *et al.*, (2008).

La producción mundial de coque ha crecido un promedio de 4% interanual en los últimos 10 años y se estima que esta tendencia se mantendrá; Venezuela tiene una producción actual de aproximadamente 12.000 t/día (colocadas en el mercado de generación de electricidad en EE.UU. y de producción de ánodos de carbón para la reducción de aluminio), que representa el 6% del coque producido a nivel mundial y se estima que esta producción aumentará en el corto plazo. (Da Silva *et al.*, 2008).

Un ejemplo de lo señalado es visualizado por Dynamis (2004), quien sostuvo que para el año 2004 cerca de 57% de la producción americana viene de la costa del Golfo de México (Texas y Louisiana), cerca de 35 refinerías producen coque de petróleo en cantidades apreciables (más de 1000 t/día). De tal manera, que se observa un incremento en la obtención del coque, debido a que las cantidades de petróleos pesados y extrapesados que se llevan al proceso de refinación son mayores.

Las referencias descritas, permiten inferir que a medida que existe mayor refinación el incremento del coque es superior y el tratamiento para su reutilización se hace difícil, situación que ocasiona serios problemas ambientales. Por lo que surge la interrogante de como minimizar la proliferación del subproducto generado durante la refinación sin tener que dejar de lado la producción de petróleo. Partiendo de esta premisa, surgió la necesidad de evaluar las propiedades del destilado del coque para el desarrollo de un aditivo liberador de tubería que permita liberar físicamente la misma.

La pega de tubería representa uno de los problemas de perforación más comunes y más graves, estas se producen cuando la sarta de perforación o herramienta está estacionaria o se mueve muy lentamente a través de la zona permeable, la tubería de perforación no puede girar o moverse hacia arriba o hacia abajo y la circulación del fluido de perforación no está restringida. Este problema puede depender de las características de la formación, fluidos del yacimiento, ángulo y tamaño del hoyo, área de contacto de la tubería de perforación y las herramientas con la formación permeable, o las propiedades del fluido de perforación. (Courteille *et al.*, 1985).

La gravedad del problema puede variar de una inconveniencia menor que puede causar un ligero aumento de los costos, a complicaciones graves que pueden tener resultados considerablemente negativos, tal como la pérdida de la columna de

perforación o la pérdida total del pozo, MI SWACO, (2001). Dicho atascamiento de la sarta debido a presión diferencial puede reducirse al mínimo mediante la mejora de la lubricidad y grosor del revoque, esto con la adición de liberadores de tubería. (Alaekwe *et al.*, 2013).

Hoy en día en el mercado de la industria petrolera se presentan grandes variedades de aditivos liberadores de tubería cuya aplicación es basada en su compatibilidad con la formación, eficiencia y rentabilidad; para llevar a cabo los tratamientos correctivos de pega de tubería se deben obtener estos productos, que en su mayoría son importados. Por tal razón se planteó la búsqueda de nuevas alternativas en las cuales se pueda aprovechar la materia prima nacional cuya obtención sea fácil y económicamente accesible para la industria.

Por ello esta investigación se enfatizó en el desarrollo de un aditivo liberador de tubería a base de compuestos de mayor disponibilidad como es el coque de petróleo, con la finalidad de corregir eficazmente el problema planteado y a su vez la disminución del almacenamiento exagerado de coque de petróleo en los parques de refinación.

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo general

Desarrollar un aditivo liberador de tubería a base de destilados de coque de petróleo.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el aditivo formulado como agente liberador de tubería.
- Determinar el efecto de las píldoras equivalentes de los aditivos liberadores de tuberías sobre las propiedades del revoque.
- Comparar estadísticamente el efecto del liberador de tubería desarrollado versus un liberador comercial sobre el revoque.

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se realizó con el fin de desarrollar y caracterizar un aditivo liberador de tubería a base de destilados del coque de petróleo, que sea eficiente y/o efectivo y reduzca el tiempo no productivo, ya que éste representa uno de los problemas más comunes y graves en la industria durante las operaciones de perforación.

Venezuela, como país petrolero, es el segundo productor de coque a nivel mundial. El 50,1% (20.262 t/d o 7.395.630 t/año) del coque de PDVSA proviene de sus complejos ubicados en Venezuela y se exporta vía marítima a otros países porque en el país no se emplea, Rodríguez *et al*, (2011), lo que hace que pierda su valor potencial en el mercado; como consecuencia de lo anterior no se producen ingresos económicos al país. Con este aditivo se podrían remediar problemas de la industria petrolera venezolana, además de generar ingresos económicos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

Jugeshuarsingh, M. y Mora L. (2012) “Evaluación de aditivos liberadores de tubería a base de gasoil y biodiesel aplicados a fluidos de perforación 100% aceite mineral”. Realizaron una evaluación de aditivos liberadores de tuberías propuestos a bases de destilados de gasoil y biodiesel; para ello se estableció una relación 1:1 de los volúmenes a utilizar para la formulación de las píldoras (175mL de aditivo liberador con 175mL de aceite Vassa), donde se estudió el efecto de los aditivos liberadores de tuberías sobre revoques generados de fluidos de perforación 100% aceite mineral mediante pruebas de calidad a nivel de laboratorio (ensayos experimentales según la empresa ScomiOiltools de Venezuela, S.A.) tales como : coeficiente de lubricidad (obtenido mediante el lubricímetro), resquebrajamiento y disminución del espesor de revoque (mediante el filtro prensa AP/AT se sometieron los revoques obtenidos a los efectos a las distintas píldoras liberadoras en un tiempo de 12 horas). En función de los resultados obtenidos se realizó un diseño estadístico de bloques al azar en arreglo factorial con tres repeticiones y se comparó con una píldora de uso comercial.

Concluyeron que las píldoras liberadoras propuestas a base de gasoil comercial y biodiesel de Ester de soya presentan un comportamiento semejante al del liberador de tubería de uso comercial; puesto que se evidenció la disminución del espesor de los revoques propuestos, teniendo como resultado que las píldoras liberadoras cumplen con las características y estándares de calidad expuestas por la empresa ScomiOiltools de Venezuela S.A. Esta investigación sirvió de ayuda en la

metodología que se implementó en este trabajo, para la evaluar el efecto del liberador de tubería sobre las propiedades del revoque.

Cesín, R. y Gallardo, E. (2017) “Formulación de un sistema anti pérdida de circulación con adición de coque”. Desarrollaron un aditivo bajo la composición del EZ-PLUG, variando la ceniza de alto horno por ceniza de coque de petróleo. Para ello se le extrajo el aceite al coque usando xileno mediante el equipo soxhlet, seguidamente se obtuvieron sus cenizas sometiéndolo a un proceso de pirólisis. Consecutivamente se formuló el producto a base de coque en distintas concentraciones. A partir de ello se formularon nueve fluidos, uno base, seis con el producto a estudiar y dos con el aditivo comercial para establecer comparación. Formulados los fluidos se realizaron las distintas pruebas, siendo la de más importancia la prueba de taponamiento de permeabilidad (TTP).

Concluyeron mediante un análisis de varianza no paramétrico ANOVA de Friedman que el producto formulado a base de petrocoque no presentó diferencias significativas con respecto a la efectividad del aditivo comercial (EZ-PLUG); mostrando mayor eficiencia el aditivo comercial (EZ-PLUG). El aporte de esta investigación yace en la metodología que se implementó para la aplicación del método soxhlet para la extracción de los aceites contenidos en el coque de petróleo.

Proaño, J. y Villamarin D. (2013) “Análisis técnico de los factores de pega de tubería en pozos perforados en la Amazonía ecuatoriana”. Realizaron un estudio detallado de aspectos técnicos que inciden de manera directa en la pega de tubería para así lograr la contribución para el control, fiscalización y optimización en la perforación de nuevos pozos en la Cuenca Amazónica ecuatoriana. Para el desarrollo de dicho trabajo se utilizó estadística descriptiva y se aplicó el programa Microsoft Excel para presentar cuadros y gráficos que representan los factores de pega de tubería más comunes de los pozos seleccionados de la Cuenca Oriente. Se

estableció que existe una gran cantidad de factores que inciden en la pega de tubería, por lo que es necesario conocer las formaciones que se van a atravesar, la litología correspondiente a cada formación; y los parámetros de perforación (GPM, ROP, RPM, ángulo de desviación, profundidad) y parámetros de fluidos (viscosidad, peso del lodo, LGS, velocidad anular, régimen de flujo), adecuados para obtener una limpieza óptima del pozo que evite o disminuya la probabilidad de pega de tubería.

Concluyeron que para la perforación de futuros pozos en la cuenca oriente de la Amazonía ecuatoriana, se realicen estudios previos detallados de los problemas presentados en la perforación de pozos anteriores en los mismos campos; para determinar previamente los parámetros adecuados a fin de evitar la pega de tubería. El aporte de este trabajo de investigación permite clarificar cualquier evento desconocido para el uso del aditivo liberador de tubería propuesto.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Fluidos de perforación

El fluido de perforación es un fluido de características físico químicas apropiadas. Puede ser aire, gas, agua, petróleo, agua y petróleo y combinaciones de agua y aceite, con diferente contenido de sólidos. No debe ser tóxico, corrosivo, inflamable, pero si inerte a contaminaciones de sales solubles y minerales y estable a cambios de temperatura. Debe mantener sus propiedades según las exigencias de las operaciones y ser inmune al desarrollo de bacterias. (CIED PDVSA. 2002).

2.2.2 Clasificación de los fluidos de perforación

La clasificación más común de los fluidos de perforación de acuerdo a Costa, (2008) está basada en la constitución de la fase continua de su formulación, basándose en esto se clasifica en dos tipos:

2.2.2.1 Base agua

Estos fluidos están constituidos por una fase dispersa (arcilla más partículas densas para aumentar el peso específico del fluido) y una fase dispersante (agua). Contienen, también, otras partículas sólidas (arena, carbonato, etc.). Diversas sales en solución, de acuerdo a la naturaleza de los aditivos químicos y agua utilizadas.

2.2.2.2 Base aceite

Son aquellos en los cuales es el aceite la base del fluido, es denominado “fluido base aceite” tiene contenido de agua entre el rango 1 a 15% y si su contenido es de 15 a 50% de agua se denomina “emulsión inversa”. Tienen la ventaja de evitar la corrosión de la mecha y sarta, daño de la formación, problemas de arcillas sensibles, aumenta la rata de perforación y tiende a soportar altas temperaturas (200°F). Recalcando, que una de sus más grandes desventajas es el elevado costo inicial en comparación con los fluidos base agua.

2.2.3 Principales funciones de los fluidos de perforación

Las funciones de los fluidos de perforación según (CIED PDVSA 2002) son:

- Controlar las presiones de la formación: el fluido de perforación es capaz de evitar el flujo de la formación hacia el pozo (influjo), mediante la presión hidrostática que ejerce el mismo, dependiendo de la densidad y la altura.
- Transportar los cortes desde el fondo del pozo a la superficie: en la etapa de la perforación es necesario la remoción de los recortes desde el fondo del pozo a la superficie para evitar diversos problemas operacionales (atascamiento de tubería, dificultad de rotación de la densidad de los recortes, unidos a la velocidad de penetración (ROP); de la rotación de columna de perforación; y de la viscosidad, densidad y velocidad anular de dicho fluido.
- Estabilidad de las paredes del hoyo: se debe formar un revoque liso, delgado, flexible e impermeable con el fin de evitar el derrumbe, atascamiento de tubería e invasión de los fluidos de la formación al pozo.
- Capacidad de suspensión de partículas al detener la circulación: los fluidos de perforación deben tener la propiedad de evitar que los recortes producto de la perforación decanten al fondo del pozo al detener la circulación, mediante la capacidad del mismo de gelificarse y volver a sus condiciones originales al aplicarle movimiento.

Las altas concentraciones de sólidos de perforación son perjudiciales para diversos aspectos de la operación de perforación, principalmente la eficacia de la perforación y la velocidad de penetración (ROP). Estas concentraciones aumentan el peso y la viscosidad del fluido de perforación, produciendo mayores costos de mantenimiento y una mayor necesidad de dilución. También aumentan la potencia requerida para la circulación, el espesor del revoque, el torque, el arrastre y la probabilidad de pegadura por presión diferencial.

- Enfriar la mecha y lubricar la sarta: cuando la sarta de perforación está en movimiento y esta entra en contacto con las paredes del hoyo, se genera un

incremento del calor por fricción de los mismos, mediante la circulación del fluido de perforación se logra enfriar la mecha y el conjunto de perforación, distribuyendo el calor por todo el pozo.

La circulación del fluido de perforación enfría la columna de perforación hasta temperaturas más bajas que la temperatura de fondo. Además de enfriar, el fluido de perforación lubrica la columna de perforación, reduciendo aún más el calor generado por fricción.

2.2.4 Pega de tubería

Durante la perforación, se considera que la sarta de perforación está pegada cuando no logra subir, bajar o girar, ocasionando pérdida de la columna de fluidos de perforación, daño a las paredes del pozo, pérdida total del pozo entre otras. Este problema operacional ocurre con frecuencia y es uno de los más graves en la etapa de perforación; por lo cual debe ser corregido lo más rápido posible, dependiendo de la causa o los parámetros que influenciaron en dicho atascamiento. MI SWACO, (2001).

2.2.5 Clasificación de las pegas de tubería

De acuerdo al manual de fluidos de MI SWACO, (2001), la pega de tubería se puede dar de dos maneras:

2.2.5.1 Pega mecánica

Es aquella causada por una dificultad o limitación física, evidenciada por una circulación bloqueada, restricción de movimientos ascendentes y descendentes o rotación de la sarta de perforación. Este tipo de pega se clasifica en dos tipos:

a. Empaquetamiento del pozo y puentes. Causado por:

- Recortes depositados: si los recortes no son retirados del pozo, se acumulan en este, causando el empaquetamiento del pozo, generalmente alrededor del ensamblaje de fondo (BHA), y el atascamiento de la columna de perforación. Este problema ocurre frecuentemente en las secciones agrandadas, donde las velocidades anulares son más bajas. En los pozos desviados, los recortes se acumulan en la parte baja del hoyo del pozo y pueden caer dentro del pozo, causando empaquetamiento.
- Inestabilidad en las lutitas: entre las rocas que son penetradas durante la perforación las más susceptibles de sufrir inestabilidad son las lutitas, las cuales están presentes en más del 75% de las formaciones perforadas y causan más del 90% de los problemas de inestabilidad, estos se magnifican por la extraordinaria manera en que esta roca se afecta cuando se moja con agua. Los principales síntomas de inestabilidad son incremento en el torque, arrastre, dificultad para hacer conexión, derrumbes y descalibre del agujero.
- Formaciones no consolidadas: una formación no consolidada cae dentro del pozo, debido a que se encuentra empacada con soltura, con muy poco o nada de cemento natural entre las partículas o gránulos, el colapso de la formación es causado al remover la roca soporte, durante la perforación del pozo.
- Cemento o escombros en el pozo: cuando bloques de cemento caen dentro del pozo, estos pueden actuar como una cuña y bloquear la columna de perforación. Esto puede ocurrir cuando el cemento pierde su estabilidad alrededor de la zapata de cementación de la tubería de revestimiento. De igual manera escombros que han caído dentro del agujero desde la superficie o de las herramientas de fondo, las cuales llegan hasta el agujero descubierto y atascan la sarta de perforación. Este mecanismo usualmente ocurre debido al inadecuado mantenimiento en el piso del equipo de perforación.

b. Perturbaciones de la geometría del pozo. Causado por:

- Ojos de llave: se forman cuando la columna de perforación roza contra la formación en la parte interior de una pata de perro, creando un surco u ojo de llave. Cuando la sarta de perforación es viajada, los acoples de la tubería o el ensamblaje de fondo (BHA) entra al ojo de llave y pueden quedar atrapados.
- Pozo por debajo del calibre: se producen por desgaste excesivo de la mecha en el hoyo. Al bajar con una mecha nueva, esta se queda atascada en el hoyo de menor diámetro.
- Conjunto de perforación rígido: los conjuntos flexibles pueden “serpentear” alrededor de patas de perro que constituyen obstrucciones para los conjuntos rígidos, estos no pueden adaptarse a los grandes cambios de ángulo/dirección del pozo y pueden atascarse.
- Roturas de la tubería de revestimiento: ocurre cuando la fuerza ejercida por la formación excede la resistencia al colapso del revestidor. Esta situación suele ocurrir frente a las formaciones plásticas. Las buenas prácticas de introducción de la tubería de revestimiento y una buena cementación minimizaran la probabilidad de que ocurra este problema.

2.2.5.2 Pega de tubería por presión diferencial

La pegadura por presión diferencial ocurre generalmente cuando la tubería está estacionaria, tal como cuando se hacen las conexiones o cuando se realiza un registro. Está indicada por la circulación completa y la ausencia de movimiento ascendente/descendente o libertad de movimiento rotatorio, con la excepción del estiramiento y torque de la tubería.

2.2.5.2.1 Causa de la pega diferencial

Dos condiciones deben existir para que la pegadura por presión diferencial ocurra:

- La presión hidrostática del lodo de perforación debe exceder la presión de la formación adyacente.
- Una formación permeable porosa debe existir.

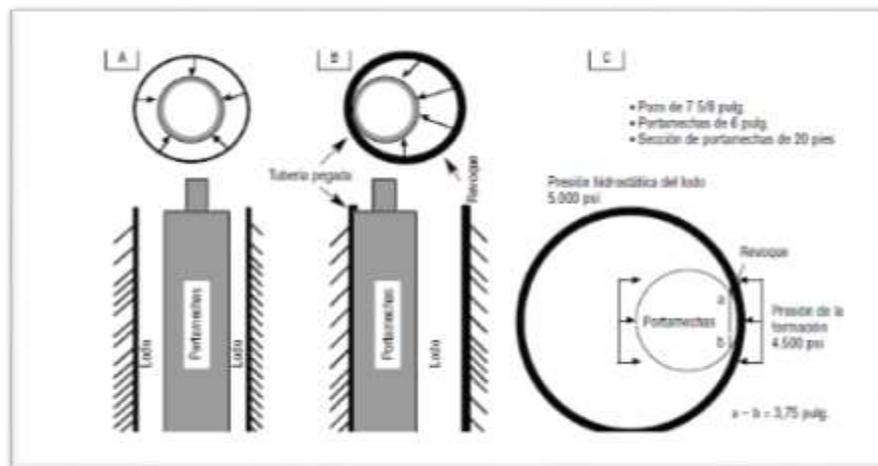


Figura 2.1 Etapas de la pega de tubería por presión diferencial

Tomado de: Manual de perforación de Mi-SWACO, (2001)

En la figura 2.1 se ilustra el mecanismo de pegadura por presión diferencial, inicialmente los portamechas se encuentran centrados en el pozo y la presión hidrostática actúa uniformemente (estas condiciones deberían cumplirse en la fase de perforación); cuando se perfora una formación permeable y ocurre un incremento de presión en la columna de fluido con respecto a la presión de yacimiento trae como consecuencia la excesiva pérdida de circulación y un aumento del espesor del revoco, logrando que el portamecha haga contacto con el mismo; posteriormente el

sentido de la presión hidrostática es hacia la formación permeable (Punto donde se encuentra la tubería pegada) generando que la tubería quede atascada.

2.2.5.2.2 Medidas preventivas para el atascamiento de pega diferencial

Todas las condiciones relacionadas con la pega de tubería por presión diferencial no pueden ser eliminadas; sin embargo, la posibilidad de que esta ocurra puede ser reducida mediante la aplicación de prácticas de perforación. Estas incluyen las siguientes:

- Reducir la presión de sobre-balance manteniendo el peso del fluido de perforación al nivel más bajo permitido por las buenas prácticas de perforación. Los pesos excesivos de dichos fluidos, aumentan la presión diferencial a través del revoque y aumenta el riesgo de pegadura- tubería por presión diferencial.
- Disminuir el área de contacto entre el pozo y la tubería usando la longitud más corta de portamechas necesarios para el peso requerido sobre la barrena; tubería de perforación extrapesada para complementar el peso de los portamechas y estabilizadores.
- El revoque formado entre la tubería y el pozo puede ocasionar una pega de tubería por el aumento considerable de su espesor, para evitarlo se debe disminuir la tasa de filtración y contenido de sólidos perforados con la finalidad de obtener un revoque adecuado durante las operaciones de perforación de pozo. Además se deben mantener bajas estas tasas de filtración mediante un monitoreo permanente y exhaustivo en función de temperaturas y presiones diferenciales de fondo.
- Controlar la tasa de penetración o perforación (ROP) excesiva para limitar la concentración de sólidos y el aumento del peso de lodo en el espacio anular. Esto afecta la presión diferencial y la composición del revoque.

- Mantener la tubería en movimiento cuando sea posible, y aplicar buenas prácticas de perforación para minimizar la pegadura por presión diferencial como por ejemplo, el uso de martillos de perforación

2.2.5.2.3 Métodos para liberar la tubería por presión diferencial

Al determinar que la pega es causada por presión diferencial se procede a liberarla por medio de 3 maneras: trabajando la tubería, mediante la reducción de la presión hidrostática y químicamente.

- **Método para liberar tubería trabajándola**

En la mayoría de los casos la sarta estará atascada con la mecha en el fondo, debido a esto, esta se puede trabajar ya sea hacia arriba o hacia abajo. Trabajar y martillar no es un método muy efectivo para liberar la tubería por pega diferencial, pero es la primera opción además de fácil y vale la pena intentarlo en muchos casos.

- **Método para liberar tubería mediante la reducción de la presión hidrostática**

Debido a que la fuerza de pega es proporcional a la presión diferencial que existe entre el lodo, la presión hidrostática y la presión de formación, por lo tanto mediante la reducción de la presión diferencial la fuerza de pega puede ser reducida.

La disminución de la presión hidrostática puede ser alcanzada colocando el lodo más liviano o circulando un fluido más liviano como agua o diésel. Todos estos métodos deben ser hechos mientras todavía se mantiene un máximo control primario de la formación. Reducir la presión hidrostática en la mejor manera de equilibrar la

tubería por pega diferencial. Sin embargo, es esencial que todos los aspectos de control de pozo sean considerados antes de disminuir la presión diferencial ya que los fluidos de la perforación invadirían el pozo y podrían causar una arremetida.

- **Método para liberar tubería químicamente**

En la mayoría de los casos de pega diferencial, al final la tubería será liberada químicamente para lograrlo, una píldora de agentes químico que ataca el revoque formado en la pared es inyectada en el punto de pega. Las píldoras químicas toman un tiempo para trabajar aproximado de 24 - 36 horas.

La píldora es luego sacada bombeando algunos estroques con las bombas del sistema de circulación a intervalos regulares. Si se está usando fluidos de perforación base agua, entonces un método efectivo de liberar la pega diferencial es desplazar el hoyo con un fluido base petróleo.

2.2.6 Coque de petróleo retardado

Es un producto residual con elevado contenido en carbono, resultante de la pirólisis de las fracciones pesadas obtenidas en la refinación del petróleo, que ha pasado a través de un estado líquido cristalino (también denominado meso fase) durante el proceso de coquización y que está constituido por carbono no grafitico pero grafitizable. Este proceso se lleva a cabo en una atmósfera reductora (ausencia de oxígeno) por lo que los metales como Ni y V se encuentran como porfirina, (Aguilera 2008).

Tabla 2.1 Propiedades físico-químicas del coque de petróleo retardado

Características	Contenido	Características	Contenido
Carbono	(84-97) %	Níquel	(20-3000) ppm
Hidrógeno	5% máximo	Cenizas	(0,5-2) %
Azufre	(0,2-6) %	Humedad	(0,8-1) %
Material Volátil	(2-15) %	Densidad (g/mL)	1,0410
Vanadio	(5-5000) ppm	Poder Calorífico(BTU/lb)	14000-14500

Fuente: Reactividad superficial de coque de petróleo retardado venezolano PDVSA-INTEVEP (2012)

2.2.7 Proceso de coquización

PDVSA-INTEVEP (2012), indica que es un proceso de destilación destructiva utilizando calor. Este proceso descompone las fracciones pesadas de petróleo provenientes del residuo del petróleo a temperaturas de 400 a 600 °C, aproximadamente.

- **Coquización retardada:** consiste en el craqueo térmico de residuos, en donde se fragmentan las moléculas convirtiéndolas en destilados de alto valor, mediante elevadas temperaturas (aproximadamente 504 °C), para obtener así coque de petróleo. En este craqueo se forman radicales libres y a partir de estos se obtienen olefinas. La inestabilidad de las olefinas formadas producen reacciones secundarias, tales como la polimerización de olefinas, formando moléculas de alto peso molecular, ciclización de olefinas a naftenos, deshidrogenación de naftenos a aromáticos y condensación de moléculas aromáticas, las cuales son las responsables de la formación del coque de petróleo.

El proceso en general consta de hornos de batería, tambores y el fraccionador. Los hornos de batería tienen la función de calentar la alimentación (residuales de

refinación del petróleo) a una T aprox. 496 °C, con tiempos de residencia cortos, y luego pasa a los tambores, los cuales se identifican como los reactores, donde los tiempos de residencia del material son grandes. Por cada horno de batería se tienen dos tambores que trabajan de forma alternada en un ciclo de 48 horas. En los reactores se obtienen gasóleos, hidrógeno, parafinas, olefinas, naftas, que van al tope del reactor como residuos livianos hacia el fraccionador y el coque se deposita en el fondo de los tambores este es removido usando agua a alta presión. Las condiciones generalmente son T= 466°C y presiones entre 0,21-0,34 bar y se obtienen rendimientos del 30 %.

2.2.8 Clasificación del coque de petróleo retardado

Se clasifican en cuatro cualidades distintas, en función del modo de operarlo y de las características de los residuos de partida. PDVSA-INTEVEP, (2012).

- **Coque Perdigón:** se obtiene como resultado de la coquización de residuos de petróleos con altas concentraciones de asfaltenos y alto contenido de oxígeno. La presencia de aromáticos inhibe la formación de este tipo de coque. Este tipo de coque es el más barato de todos y es el de mayor producción a nivel mundial.
- **Coque de petróleo regular o esponja:** se genera de los residuos de vacío de baja a moderada concentración de asfaltenos. El coque producido a partir de una planta de coquización retardada es comúnmente denominado coque verde esponja. Principalmente compuesto por carbono y porcentajes bajos de hidrocarburos volátiles.
- **Coque de petróleo aguja:** el nombre deriva de su estructura cristalina elongada. Se obtiene a partir de materias primas altamente aromáticas cuando la

unidad de coquización opera a presiones elevadas (100 lpca), temperaturas entre 470 y 510 °C y razones de reciclaje altas.

- **Coque de petróleo de recarburación o pirolítico:** residuo de la pirólisis de hidrocarburos de alta pureza, por lo que su contenido en hetero-átomos y metales es muy bajo.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Aditivo: cualquier material que se añade a un fluido para lograr un propósito determinado. (CIED PDVSA. 2002, p.239).

Revoque: el residuo depositado sobre un medio permeable cuando una lechada, tal como un fluido de perforación, es forzado contra el medio bajo presión. El filtrado es el que pasa a través del medio, dejando el revoque en el medio. Las propiedades tales como espesor del revoque, tenacidad, y permeabilidad son importantes porque el revoque que se forma en zonas permeables puede causar pega de tuberías y otros problemas. (Schlumberger, 2016).

Coefficiente de lubricidad: es un valor adimensional que puede ser estático o cinético. Indica la interacción mecánica entre dos superficies que están en contacto creando una interfase. (Amanullah y Arfaj, 2017, p.2).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según Arias, (2012), “la investigación científica es un proceso metódico y sistemático dirigido a la solución de problemas o preguntas científicas mediante la producción de nuevos conocimientos, los cuales constituyen la solución o respuesta a tales interrogantes” (p. 22).

El tipo de investigación seleccionado para el cumplimiento de este trabajo fue explicativa, debido a que se realizó la formulación de distintas píldoras liberadoras de tubería a base de coque de petróleo sobre varios revoques de un fluido 100% aceite mineral, con el motivo de apreciar el efecto del liberador sobre el espesor del revoque, la masa del revoque y también la capacidad de provocar el resquebrajamiento, así como la variación de la lubricidad del producto.

Con respecto a la investigación explicativa el autor anteriormente citado expresa:

La investigación explicativa se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa- efecto. En este sentido, 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. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos. (p. 24)

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Arias (2012), señala que el diseño: “es la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado. En atención al diseño, la

investigación se clasifica en: documental, de campo y experimental.” (p. 27). El diseño que se utilizó en esta investigación fue de tipo experimental.

Arias, (2012) sobre este tipo de investigación expresa lo siguiente: “la investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente)” (p. 34).

El diseño experimental ofreció a esta investigación la posibilidad de utilizar el coque para la formulación de un aditivo liberador de tubería basándose esto en pruebas de laboratorio. Para llevar a cabo dicha formulación, se manipularon y controlaron ciertas variables, siendo las variables independientes, las concentraciones para la formulación de las píldoras liberadoras de tubería; y las variables dependientes estuvieron representadas por el efecto de las distintas píldoras (liberador de tubería propuesto y liberador de tubería comercial) sobre el revoque de un fluido 100% aceite con el motivo de cumplir los objetivos planteados.

3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental que se aplicó en esta investigación fue un diseño aleatorio simple, debido a que se analizaron las propiedades en estudio (tratamientos) como son: lubricidad del liberador, espesor y peso del revoque de manera independiente. Para ello, se formularon dos píldoras patrón, una 100% liberador comercial y otra 50% liberador comercial- 50% VASSA, luego se formularon dos píldoras usando el aceite de coque como liberador de tubería, la primera 100% liberador propuesto y otra con una relación de 50% liberador propuesto y 50 %VASSA. Para conocer la existencia de diferencias estadísticas significativas entre ellos se aplicó una prueba estadística de ANOVA, basado en un

modelo estadístico de Duncan con un grado de confianza de 95%; realizándoles tres repeticiones a todas las variaciones de las píldoras.

3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

Con el fin de alcanzar de forma efectiva los objetivos planteados, en lo pertinente al procedimiento metodológico se siguieron las etapas presentadas a continuación:

3.4.1 Caracterización del aditivo formulado como agente liberador de tubería

Utilizando el coque de petróleo obtenido del Complejo Criogénico José Antonio Anzoátegui y el solvente orgánico (xileno), se llevó a cabo la obtención del producto.

3.4.1.1 Elaboración del aditivo liberador de tubería a base de destilados de coque de petróleo.

Para la elaboración del aditivo liberador de tubería, se procedió a extraer el aceite contenido en el coque de petróleo con el solvente orgánico (Xileno), a través del método del soxhlet, el cual consiste en un equipo de separación sólido-líquido donde el solvente orgánico desplaza los componentes químicos (aceite) contenidos en el coque de petróleo. A continuación se detalla el proceso experimental basado en la norma EPA 3540C Environmental Protection Agency, (2015).

El proceso de obtención se realizó empleando dos (2) extractores líquido/sólido tipo soxhlet, cada uno con capacidad total de 100 mL, que se operaron en forma independiente y simultánea. Para realizar la extracción, se pesaron 100 g de la materia

prima (Coque de petróleo) previamente pulverizada. Se colocó por seguridad papel filtro en el equipo y seguidamente se introdujo el coque de petróleo el cual debió estar en condiciones óptimas (limpio y seco). Los extractores se conectaron cada uno a un balón de destilación, en los que se adicionaron 350 mL de solvente orgánico (xileno). El extractor se conectó a un condensador cuyo fluido de enfriamiento es agua a temperatura cercana a los 2 °C. La energía requerida fue suministrada por medio de mantos de calentamiento. Una vez suministrado el calor, el proceso de extracción tuvo una duración aproximada de 4 horas.

El producto obtenido en la extracción por el método del soxhlet se sometió a un proceso de destilación, basado en la norma COVENIN 850:1995 (Ver apéndice A.1), para separar el solvente orgánico (xileno) contenido en el aceite de coque de petróleo, con la finalidad de usar el aceite como aditivo liberador de tubería. Posteriormente, se llevó a cabo una Espectroscopía 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 el equipo Perkin Elmer FTIR 1600, que permitió generar espectros y conocer los grupos funcionales del aceite de coque extraído. Al finalizar se llevó a cabo el proceso de caracterización del aceite obtenido del coque de petróleo. La caracterización del aditivo liberador de tubería se fundamentó en el estudio de sus propiedades químicas y físicas.

3.4.1.2 Gravedad específica (Método estándar para la determinación de la gravedad específica mediante el picnómetro Gay Lussac ASTM D369-02).

Para la determinación de esta propiedad se implementó el uso de un picnómetro o botella de gravedad específica, la cual posee un sello de vidrio que dispone de un tapón provisto de un capilar, de tal manera que puede obtenerse un volumen con gran precisión. Esto facilitó la medición de la gravedad específica del aceite de coque

empleando como referencia un fluido de densidad conocida como el agua (Ver apéndice A.2).

3.4.1.3 Viscosidad cinemática y dinámica (Prueba del viscosímetro de Brookfield ASTM D 2196-10).

En la realización de esta prueba se estableció la viscosidad de la muestra, por medio del instrumento Brookfield el cual consiste en una operación rotacional a una velocidad. La viscosidad es una de las propiedades físicas más importantes, debido a que esta es una medida de la característica de flujo, entre más espeso sea, mayor será su viscosidad, por lo tanto, mayor es su resistencia a fluir (ver apéndice A.3). Para la determinación de la viscosidad cinemática se empleó la ecuación 3.1.

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (3.1)$$

Donde:

v = viscosidad cinemática (cSt)

μ = viscosidad dinámica (cP)

ρ = densidad (g/mL)

3.4.1.4 Punto de Inflamación y fuego (Método Cleveland de copa abierta COVENIN 372:1997).

Para llevar a cabo de manera satisfactoria esta prueba, se utilizó el Método Cleveland de copa abierta COVENIN 372:1997, el cual consiste en llenar una copa de ensayo con la muestra hasta la marca indicada. Incrementando la temperatura de la muestra y luego se disminuye la velocidad de calentamiento a medida que se aproxima el punto de inflamación. A intervalos específicos de tiempo, se pasa una pequeña llama de prueba a través de la copa. Se toma como punto de inflamación la

temperatura más baja a la cual la aplicación de la llama de prueba causa que los vapores sobre la superficie del líquido se enciendan. (Ver apéndice A.4).

3.4.1.5 pH (Método de prueba estándar para pH ASTM D3838:80)

El pH del aceite, fue calculado con un pHmetro digital. Una vez calibrado y lavado, se sumergió la punta del instrumento en la muestra y se agitó por un lapso de 10 a 20 segundos. Cuando la lectura se estabilizó, se registró el pH de dicha muestra.

3.4.2 Determinación del efecto de las píldoras equivalentes de los aditivos liberadores de tuberías sobre las propiedades del revoque

En esta etapa, fue preparado un fluido de perforación 100% aceite mineral, para obtener varios revoques del mismo, con el fin de someterlos a las píldoras liberadoras de tuberías propuestas.

3.4.2.1 Formulación de las píldoras liberadoras de tubería

Se prepararon 4 píldoras liberadoras de tuberías y a cada una se le aplicaron tres repeticiones, las píldoras se formularon como se muestra en la tabla 3.1. Una primera píldora de 100% liberador comercial y una segunda píldora 50% liberador comercial – 50% Vassa, las cuales sirvieron como píldoras patrón; la tercera píldora formulada con una relación 100% liberador propuesto y una última píldora 50% liberador propuesto – 50% Vassa. Cada una de ellas se mezclaron de manera independiente durante 5 min siguiendo la metodología planteada por Rivas, (2017).

Tabla 3.1 Formulación de las píldoras liberadoras de tubería

Producto	Píldora 1	Píldora 2	Píldora 3	Píldora 4	Unidad
Liberador Comercial (PEG-350)	200	100	-	-	mL
VASSA	-	100	-	100	mL
Liberador Propuesto	-	-	200	100	mL

Fuente: **Optimización de los controles de calidad de los aditivos no normados establecidos por la empresa esvenca para los fluidos de perforación base agua.** (Rivas, A. 2017).

3.4.2.2 Formulación del fluido de perforación 100% aceite mineral

Se llevó a cabo la formulación del fluido de perforación 100% aceite mineral con una densidad de 11 lpg; se prepararon 12 barriles para generar seguidamente los revoques necesarios para los tratamientos de cada liberador propuesto, los aditivos utilizados en la preparación del fluido se agregaron individualmente de acuerdo a su función y tiempo de agitación, presentados en la tablas 3.2.

Tabla 3.2 Formulación del fluido 100% aceite mineral

Producto	Concen tración	Unidad	Mezcla, min	Orden de agregado
Aceite Mineral	224,59	mL	-	1
Cal Hidratada	8	g	-	2
Humectante	1	mL	10	3
Activador Polar	10,50	mL	10	4
Arcilla Organofílica	10,00	G	10	5
Lignito Organofílico	8	G	10	6
Emulsificante	1	mL	10	7
Barita	199,09	G	10	8

Fuente: ScomiOiltools de Venezuela, (2009)

Una vez finalizada la formulación de los 12 barriles de fluido de perforación, estos se sometieron a un proceso de envejecimiento y luego de este proceso se obtuvieron los diferentes revoques requeridos para el cumplimiento de esta investigación.

3.4.2.3 Proceso de envejecimiento

Luego de la formulación del fluido de perforación se procedió al envejecimiento del fluido, con la finalidad de simular las condiciones de yacimiento, este proceso consistió en someter al fluido a una temperatura de 300 °F, una presión de 100 lpcm por un período de 16 horas (Ver apéndice A.4). Para realizar de manera satisfactoria esta fase se utilizó la Norma API 13I (Práctica Recomendada Procedimiento Estándar para las Pruebas de Laboratorio con Fluidos de Perforación, 1995).

3.4.2.4 Obtención del revoque

En esta etapa se obtuvieron los diferentes revoques mediante el método de filtrado alta presión/alta temperatura (API 13B-2, 2005), para llevar a cabo dicho método se aplicó un diferencial de presión de 500 lpcm (600 lpcm en la parte superior y 100 lpcm en la parte inferior de la celda (Ver Apéndice A.5).

Luego de obtener los revoques, estos se sometieron a los efectos de las diferentes píldoras propuestas, siguiendo la metodología planteada por Rivas, (2017), se tomó un beaker y se le añadió el aditivo liberador de tubería, posteriormente se sumergió el revoque en el beaker durante 4 horas. Pasadas las 4 horas se retiró el revoque y se determinó el efecto del liberador sobre las propiedades del revoque: espesor, peso y resquebrajamiento.

3.4.2.5 Determinación del espesor del revoque

Para la determinación del espesor de los revoques obtenidos se utilizó una aguja vikat, este procedimiento se aplicó a cada revoque antes y después de someterlos a los

efectos de la píldoras liberadoras de tubería, basado en la metodología de Rivas, (2017).

3.4.2.6 Determinación del coeficiente de lubricidad

A las píldoras formuladas (propuestas y de uso comercial) se les realizaron pruebas de lubricidad. Este procedimiento consistió en obtener un coeficiente que mide la capacidad de un líquido para afectar la fricción entre partes móviles y se realizó aplicando una fuerza medida con el brazo de torque a una copa rotativa sensitiva al torque aplicado y cuyo resultado se expresó en plg/lb, (ver apéndice A.6) de acuerdo a la metodología planteada por Jugeshuarsingh y Mora (2102)

3.4.3 Comparación estadística del efecto del liberador de tubería desarrollado y un liberador comercial sobre el revoque

Una vez obtenidos los resultados de las propiedades de los revoques de un fluido de perforación 100%aceite mineral, se realizó un análisis de varianza ANOVA, para ello se utilizó el programa estadístico InfoStat. Esto se hizo con la finalidad de corroborar la existencia de diferencias significativas entre las mismas, lo que permitió un mejor análisis de los resultados obtenidos y de los efectos que causó la “variable independiente”, establecida por las diferentes píldoras liberadoras de tuberías propuestas, sobre las “variables dependientes” representadas por el coeficiente de lubricidad, resquebrajamiento, espesor y peso de los revoques obtenidos. Se implementó una prueba de Análisis de Varianza de Duncan al 95% de confiabilidad.

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1 Técnicas

Según Arias (2012): “se entenderá por técnicas, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información”. (p.65).

Para la ejecución de este trabajo de investigación se realizó una revisión y recopilación del material bibliográfico requerido para el desarrollo del tema en estudio, como trabajos de grado, publicaciones, internet, manuales de fluidos de perforación; así como se aplicó observación directa e indirecta, entre otros. Todo ello con la finalidad de cumplir con los objetivos planteados.

3.5.2 Instrumentos

Arias (2012) afirma que. “Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información” (p. 68).

Para el desarrollo exitoso del trabajo de investigación fue necesario: material bibliográfico como libros, manuales, revistas, tesis, acceso a internet, entre otros.

3.6 RECURSOS

3.6.1 Humanos

Se contó con el apoyo y la asesoría académica del cuerpo docente del Departamento de Ingeniería de Petróleo de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas. Además de la colaboración del personal técnico de los laboratorios de

procesamiento de hidrocarburos y de perforación de la Universidad de Oriente. De igual manera se contó con el apoyo de personal de laboratorio de fluidos de la empresa ESVENCA C.A.

3.6.2 Financieros

Todos los gastos asociados a la realización del proyecto fueron asumidos por los investigadores.

3.6.3 Materiales y equipos

Para la correcta ejecución de este trabajo fueron necesarios: aditivos (preparación de fluidos base aceite y liberadores de tubería), equipos de laboratorio, material de oficina (papelería en general, computadora, impresora) y acceso a internet.

Los equipos de laboratorio utilizados para llevar a cabo los ensayos experimentales fueron:

- Extractor Soxhlet
- Horno de envejecimiento
- Filtro prensa AP/AT
- Destilador atmosférico
- Mixer
- Cilindros graduados
- Lubricímetro
- Picnómetro
- Viscosímetro de vidrio tipo capilar
- Medidor de pH
- Balones de destilación
- Balanza analítica

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 CARACTERIZACIÓN DEL ADITIVO FORMULADO COMO AGENTE LIBERADOR DE TUBERÍA

En el proceso de extracción y destilación finalmente se obtuvieron 900mL de aceite de coque necesarios para la formulación de las píldoras propuestas.

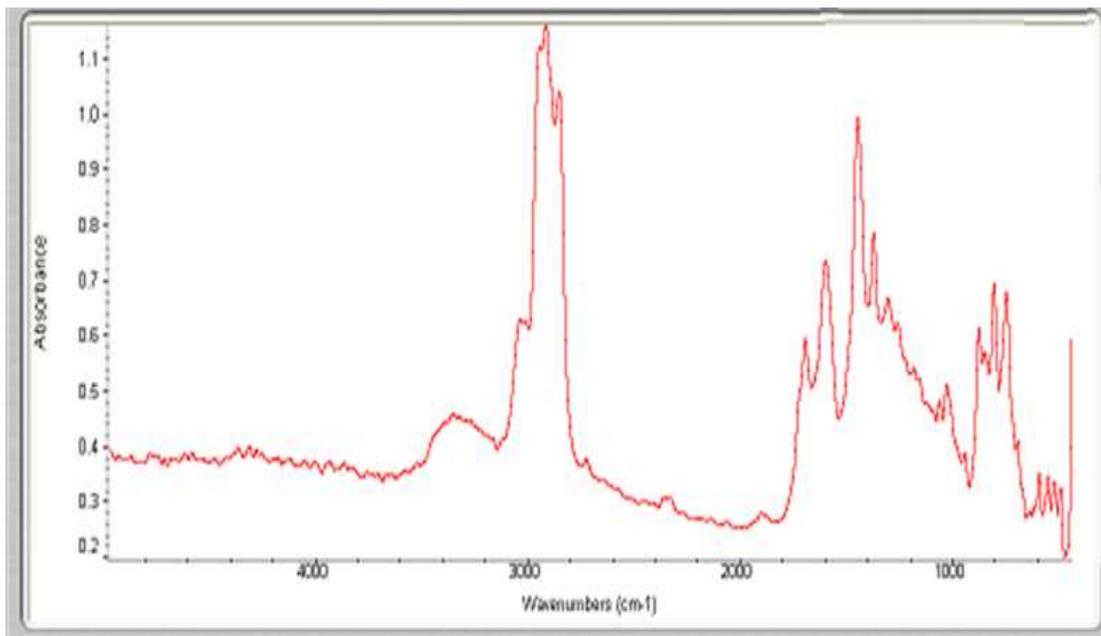


Figura 4.1 Espectro del Aceite de coque obtenido con la unidad de transmisión

En la espectroscopia se observa una barriga entre 3500 cm^{-1} y 3100 cm^{-1} producto de la existencia de alargamiento $=\text{CH}-$ típicas de los compuestos aromáticos con presencia de azufre. Entre 3100 cm^{-1} y 2900 cm^{-1} se percibe un hombro asociado a hidrocarburos insaturados (pequeñas cantidades de aromáticos) como posiblemente residuos de xileno, entre 2900 cm^{-1} y 2800 cm^{-1} aparece un alargamiento carbón hidrógeno alifático. Entre 1800 cm^{-1} y 1500 cm^{-1} las

vibraciones están asignada a la tensión del enlace C=C del anillo aromático. 1500 cm⁻¹ y 1300 cm⁻¹ marca de manera definida la presencia de alargamiento C=O de grupos carboxílicos principalmente de esteres. Alrededor de 1200 cm⁻¹ se muestran como vibraciones de C-O-C. Los resultados evidencias que el método soxhlet extrajo una cantidad representativa de aromáticos.

De acuerdo a las normas establecidas y conforme con las pruebas realizadas en el laboratorio (ver apéndice A), para la caracterización del aceite de coque de petróleo se lograron obtener los siguientes resultados (Tabla 4.1).

Tabla 4.1 Propiedades Físicas y Químicas aceite de coque de petróleo

Propiedad	Resultado	Unidad
Densidad @ 31,2 °C	0,8772	g/mL
Gravedad específica @ 31,2 °C	0,8772	-
Viscosidad dinámica @ 31,2 °C	87,15	cSt
Viscosidad cinemática @ 31,2 °C	99,35	cP
Punto de inflamación	34	°C
Ph	5,172	-

El estudio de estas propiedades sugirió que la gravedad específica del aditivo evaluado está comprendida en un rango aceptable en comparación con el liberador de uso comercial. El valor obtenido de 0,8772 resulta coherente ya que respecto a los aditivos comerciales como el pipe-lax ob (Schlumberger, 2016) el mismo posee una gravedad específica de 0,90, infiriéndose similitud entre ambos dado que la diferencia fue de 0,0228.

Por otro lado el punto de inflamación obtenido fue de 34°C/ 93,2 °F. de acuerdo con la norma NFPA 30 National Fire Protection Association, (2012), la cual

establece que un líquido inflamable es aquel cuyo punto de inflamación no excede de 100°F.

Referente a la escala de acidez y basicidad, el aditivo propuesto se consideró ácido por cuanto su pH fue de 5,12, al respecto Schlumberger, (2016) establece que los aditivos liberadores de tuberías se caracterizan por poseer un pH ácido.

Las altas temperaturas alcanzadas por los aceites durante el proceso produce una compleja serie de reacciones que resultan en la oxidación y polimerización del aceite Silva, y Singh, (2004). Una de las propiedades afectadas por los procesos de polimerización es la viscosidad Lancey y Payne, (1994). La importancia del estudio de la viscosidad radica en que permite determinar la viabilidad del uso de un aceite como lubricante Mangesh, (2007). La viscosidad dinámica y cinemática del aceite de coque de petróleo arrojada por el viscosímetro de Brookfield a una temperatura de 31,2 °C fue de 87,15 cSt y 99,35 cP respectivamente. Sugiriendo un comportamiento newtoniano ya que a esta temperatura el aceite de coque de petróleo demostró una viscosidad constante a los diferentes esfuerzos de cortes a los que fue sometido.

4.2 DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LAS PÍLDORAS EQUIVALENTES DE LOS ADITIVOS LIBERADORES DE TUBERÍAS SOBRE LAS PROPIEDADES DEL REVOQUE.

Para el cumplimiento de esta fase de la investigación se efectuaron diferentes pruebas de laboratorio para los liberadores de tubería, coeficiente de lubricidad, peso, resquebrajamiento y espesor de revoque.

4.2.1 Coeficiente de lubricidad de las píldoras liberadoras de tuberías.

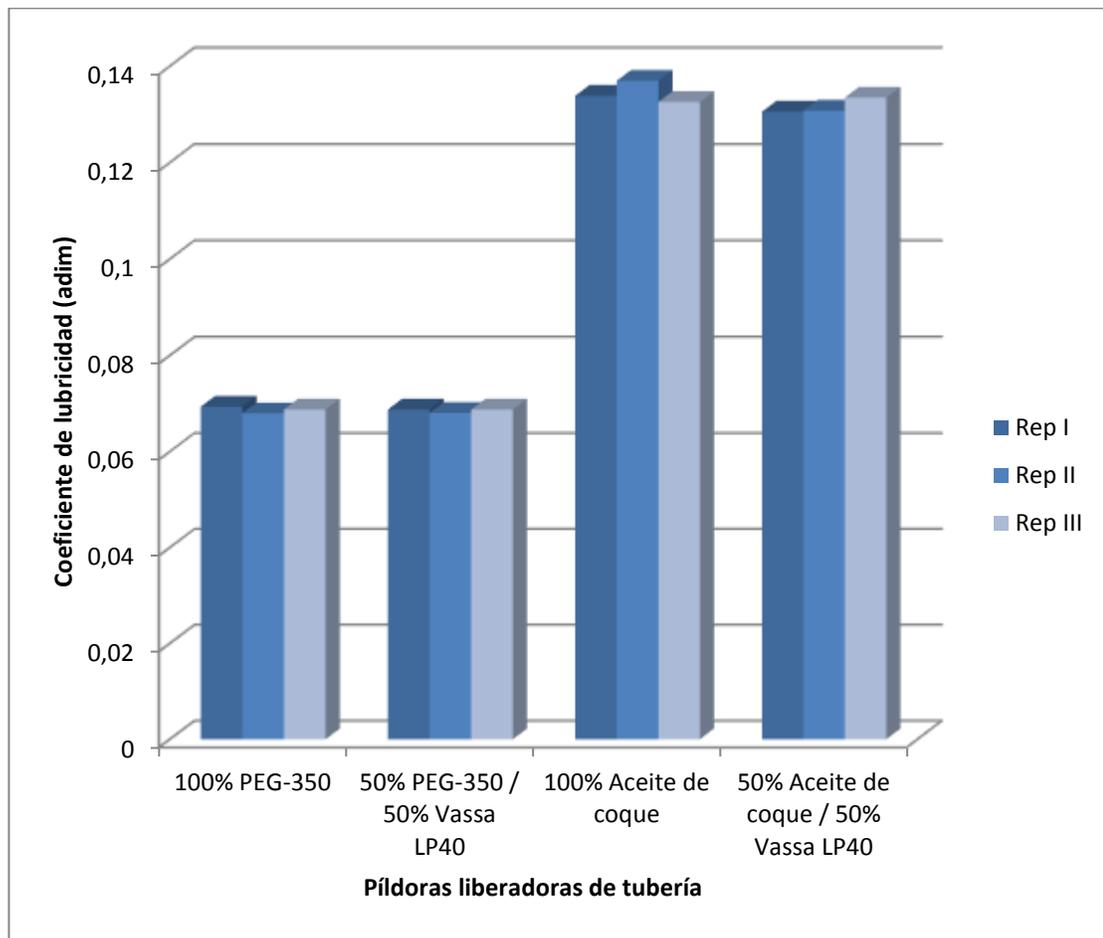
De acuerdo a ensayos experimentales según la empresa ScomiOiltools de Venezuela, (2009), estableció un rango de coeficiente de lubricidad para liberadores de tuberías menor o igual a 0,15, cuando se trabaja con fluidos de perforación base aceite.

Tabla 4.2 Coeficiente de lubricidad de las píldoras liberadoras de tubería.

Coeficiente de lubricidad				
Píldoras	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
100% PEG-350	0,0694	0,0680	0,0688	0,0687
50% PEG-350 / 50% VASSA LP40	0,0688	0,0681	0,0688	0,0686
100% Aceite de coque de petróleo	0,1339	0,1370	0,1326	0,1345
50% Aceite de coque de petróleo / 50% VASSA LP40	0,1306	0,1308	0,1335	0,1316

En la tabla 4.2 se evidencia que de las píldoras liberadoras de tubería propuestas están por debajo del valor antes mencionado, es decir, que el aceite de coque de petróleo propuesto como liberador de tubería logró minimizar las fuerzas

fraccionales originadas entre el revoque y la sarta de perforación que ocasionan la pega de tubería. MI SWACO, (2001) recomienda reducir el coeficiente de fricción del fluido manteniendo un revoque de buena calidad y usando los lubricantes apropiados en cantidades suficientes.



Gráfica 4.1 Comparación del coeficiente de lubricidad entre las repeticiones de la prueba realizada a las distintas píldoras

Sin embargo en la Gráfica 4.1, se observan de manera más clara los valores de coeficiente de lubricidad, demostrándose que las píldoras formuladas con liberador comercial tienen un valor más cercano al cero, es decir, que presentaron mayor capacidad de reducir la fricción entre el revoque y la sarta de perforación Madanhire

y Mbohwa, (2016). En comparación con las píldoras liberadoras de tuberías propuestas con el aceite de coque de petróleo que arrojaron valores más alejados del cero, pero que se mantienen dentro del rango de aceptación. Concluyendo que las diferentes píldoras trabajan bajo principios diferentes, ya que la de estudio en esta investigación está orientada a la liberación química mientras la empleada para establecer la comparación reduce la fricción existente entre la tubería y el revoque siendo su efecto de tipo físico.

4.2.2 Espesor de revoque

Tabla 4.3 Espesor de revoque antes y después de aplicar las píldoras liberadoras de tubería

Píldoras	Antes (mm)	Después (mm)					
		Repeticiones					
		I		II		III	
			Dif		Dif		Dif
100% PEG-350	5,5	4	1,5	5	0,5	5,4	0,1
50% PEG-350 / 50% Vassa LP40	5,5	4	1,5	5	0,5	4	0
100% Aceite de coque	7,5	7	0,5	7,5	0	6	1,5
50% Aceite de coque / 50% Vassa LP40	6,5	5,5	1	6	0,5	5,6	0,9

La disminución de los espesores de los diferentes revoques fue homogénea para cada una de las píldoras liberadoras de tubería propuestas, tal como se muestra en la tabla 4.3. Se aprecia más homogeneidad en la disminución del espesor en la repetición número II, notándose que en la píldora 100% aceite de coque no hubo cambio alguno. Por lo que se estima que las píldoras propuestas cumplen como liberadores de

tuberías, esto se debe a que modifican el área de contacto entre el revoque y la tubería de perforación, MI SWACO, (2001).

4.2.3 Peso del revoque

Tabla 4.4 Peso del revoque antes y después de someterlo al tratamiento con las diferentes píldoras liberadoras de tubería

Píldoras	Peso (g)								
	Repeticiones								
	I			II			III		
	Antes	Después	Dif.	Antes	Después	Dif.	Antes	Después	Dif.
100% PEG-350	12,75	12,64	0,11	14,15	13,90	0,25	15,62	15,20	0,42
50% PEG-350 / 50% Vassa LP40	11	10,73	0,27	12,68	12,64	0,04	8,36	8,23	0,13
100% Aceite de coque	31,85	30,16	1,69	18,90	15,65	3,25	16,60	13,35	3,25
50% Aceite de coque / 50% Vassa LP40	13,71	11,04	2,67	21,64	19,24	2,4	14,22	9,79	4,43

De acuerdo a la tabla 4.4 fue apreciable la disminución del peso en el caso de la píldora 100% aceite de coque y la píldora formulada con una relación 50% Vassa y 50% aceite de coque, en comparación con las píldoras formuladas con el aditivo comercial donde la disminución del peso es menor, esto pudo deberse que este liberador de tubería comercial no está enfocado en la destrucción del revoque ya que estos trabajan bajo principios distintos (Rivas, 2017), por lo descrito anteriormente se

puede inferir que el aceite de coque de petróleo se enfoca en la disminución o destrucción del revoque.

4.2.4 Resquebrajamiento del revoque

Debido a no poseer escalas cuantitativas a nivel de laboratorio para la clasificación del resquebrajamiento en las superficies de revoques, se procedió a establecer una clasificación numérica, con el fin de facilitar la apreciación física del resquebrajamiento del revoque formulado con un fluido de perforación 100% aceite mineral. La clasificación se muestra en la tabla 4.5.

Tabla 4.5 Apreciación del resquebrajamiento para los aditivos liberadores de tubería propuestos

Resquebrajamiento	Valor cuantitativo
Bajo	1
Medio	2
Alto	3

Tabla 4.6 Resquebrajamiento de los diferentes revoques sometidos a las píldoras liberadoras de tubería

Píldoras	Resquebrajamiento		
	Repeticiones		
	I	II	III
100% PEG-350	1	1	1
50% PEG-350 / 50% Vassa LP40	1	2	1
100% Aceite de coque	3	3	3
50% Aceite de coque / 50% Vassa LP40	2	3	2

Siguiendo la clasificación mostrada (tabla 4.5), se demostró el resquebrajamiento de los revoques. Así, en la tabla 4.6, se detalla que los revoques que fueron sometidos a las píldoras liberadoras propuestas con aceite de coque de petróleo arrojaron un mayor efecto de agrietamiento. Esto debido a la composición química del coque ya que causa la disgregación del revoque de un fluido 100% aceite mineral además de agrietar el revoque a lo largo de su superficie.

De acuerdo a los resultados obtenidos se evidenció que el efecto del aditivo propuesto es distinto al aditivo comercial, el cual cumple su función mayoritariamente disminuyendo el espesor de revoque y por ende su peso, mientras que el aceite de coque principalmente destruye (resquebraja) el revoque garantizando por esta vía la eliminación de la pega de tubería.

4.3 COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DEL EFECTO DEL LIBERADOR DE TUBERÍA DESARROLLADO Y UN LIBERADOR COMERCIAL SOBRE EL REVOQUE

Para la correcta evaluación de los resultados arrojados, se aplicó el análisis ANOVA espesor, resquebrajamiento y peso del revoque y coeficiente de lubricidad, todo ello para determinar la eficiencia de las píldoras propuestas y observar si existen diferencias significativas entre ellas.

El test de Duncan aplicado para analizar las propiedades de los revoques después de someterlos a la acción de las diferentes píldoras propuestas, evidenció a través del análisis de varianza (ANOVA) con una probabilidad del 95 % de confiabilidad, diferencia significativa ($P < 0,05$) entre las propiedades evaluadas: coeficiente de lubricidad, resquebrajamiento y peso del revoque, mientras que el espesor del revoque no demostró diferencia significativa (Apéndice D).

Tabla 4.7 Análisis estadístico de las propiedades de los diferentes revoques sometidos a las distintas píldoras liberadoras de tubería

Prueba	R ²	C.V	P-VALOR	Observación
Coefficiente de lubricidad	1,00	1,44	<0,0001	Si existe diferencia estadística significativa
Espesor del revoque	0,00	93,56	0,9935	No existe diferencia estadística significativa
Resquebrajamiento del revoque	0,82	20,41	0,0007	Si existe diferencia estadística significativa
Peso del revoque	0,79	45,58	0,013	Si existe diferencia estadística significativa

En la tabla 4.7, se observa que el 79% de los datos se ajustan al modelo propuesto e igualmente existen diferencias estadística significativas en el peso del revoque al presentar un p- valor de $0,0013 < 0,05$; es decir, desde el punto de vista estadístico, resultó afectado por la aplicación de las diferentes píldoras liberadoras de tubería.

Respecto al coeficiente de lubricidad presentó un p- valor 0,0001 y un ajuste de los resultados al modelo propuesto de 100% indicando la existencia de diferencia estadística significativa entre los tratamientos. A diferencia del espesor del revoque donde no existen diferencias significativas ya que se obtuvo un p- valor de 0,9935, infiriendo que estadísticamente esta propiedad no resultó afectada por la acción de las píldoras liberadoras de tuberías propuestas. El resquebrajamiento del revoque presentó diferencia significativa ($P < 0,05$), donde el valor más alto en los distintos tratamientos, fue el tratamiento con la píldora de 100% aceite de coque.

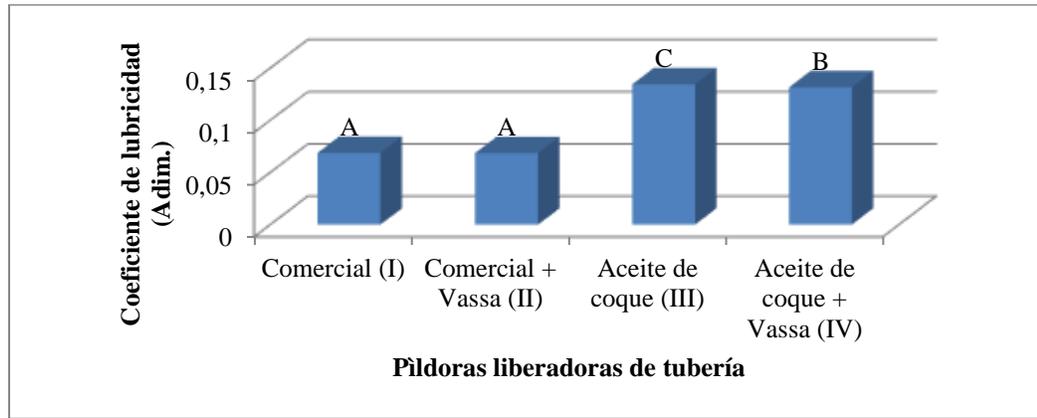
4.3.1 Coeficiente de lubricidad

Los valores de coeficiente de lubricidad obtenidos en los tratamientos propuestos en esta investigación, se observan en la siguiente tabla, tanto los valores totales como promedios de la variación de los mismos.

Tabla 4.8 Coeficientes de lubricidad de las píldoras liberadoras de tuberías

Coeficiente de lubricidad					
Píldoras	Repeticiones				
	I	II	III	Total	Prom.
	100% PEG-350	0,0694	0,0680	0,0688	0,2062
50% PEG-350 / 50% VASSA LP40	0,0688	0,0681	0,0688	0,2057	0,0686
100% Aceite de coque de petróleo	0,1339	0,1370	0,1326	0,4035	0,1345
50% Aceite de coque de petróleo / 50% VASSA LP40	0,1306	0,1308	0,1335	0,3949	0,1316

Según la tabla 4.8 puede inferirse que las píldoras aplicadas a base de aceite de coque fueron las de mayor valor promedio, asimismo, el menor valor lo obtuvo la píldora comercial. Esto implica que las píldoras propuestas poseen una menor capacidad de lubricar respecto a las formuladas con liberador comercial, sin embargo, poseen un valor comprendido en el rango aceptable para este tipo de productos.



Grafica 4.2 Test de Duncan para la variación del coeficiente de lubricidad en función de las píldoras aplicadas (letras distintas demuestran diferencia estadística significativa)

En la evaluación del coeficiente de lubricidad obtenido por las píldoras propuestas (Gráfica 4.2), el test de Duncan indicó que hay diferencias estadísticamente significativas entre las píldoras propuestas, siendo el mayor valor el presentado por la píldora formulada a base de aceite de coque dado por 0,145 y el menor valor obtenido por la píldora formulada a base de liberador comercial dado por 0,0687.

Esto refiere que el aditivo propuesto de mayor rendimiento en los objetivos que competen a esta investigación fue el formulado a base de coque de petróleo y VASSA, puesto que la VASSA añade lubricidad a la formulación, ya que proviene de un aceite mineral puro.

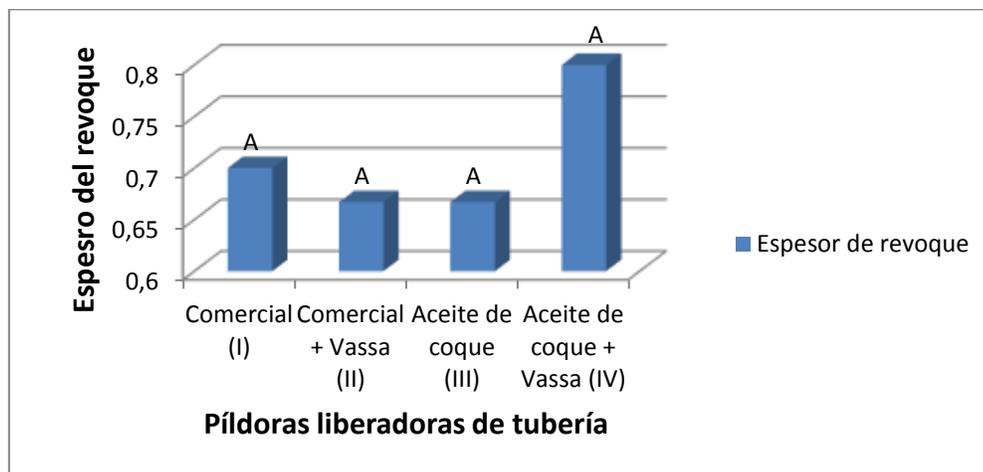
4.3.2 Espesor de revoque

Los espesores de revoques obtenidos por los tratamientos propuestos en esta investigación, se observan en la siguiente tabla, tanto los valores totales como promedios de la variación de los mismos.

Tabla 4.9 Totales y promedio de la variación del espesor del revoque

Píldoras	Antes (mm)	Después (mm)						(mm)	
		Repeticiones							
		I		II		III		Total Dif.	Prom dif.
			Dif.		Dif.		Dif.		
100% PEG-350	5,5	4	1,5	5	0,5	5,4	0,1	2,1	0,700
50% PEG-350 / 50% Vassa LP40	5,5	4	1,5	5	0,5	4	0	2,0	0,667
100% Aceite de coque	7,5	7	0,5	7,5	0	6	1,5	2,0	0,667
50% Aceite de coque / 50% Vassa LP40	6,5	5,5	1	6	0,5	5,6	0,9	2,4	0,800

Los resultados plasmados (tabla 4.9) demuestran que la reducción del espesor del revoque fue mayor en la píldora diseñada a base de aceite de coque de petróleo y VASSA, así mismo se logró una disminución apreciable con las píldoras a base de liberador a base de 100% aceite de coque; los valores obtenidos de las píldoras propuestas son muy cercanos a los valores de la píldora comercial.



Gráfica 4.3 Test de Duncan para la variación del espesor del revoque en función de las píldoras aplicadas (letras distintas demuestran diferencia estadística significativa)

La disminución del espesor del revoque evaluado por el test de Duncan (Grafica 4.3), indicó que no hubo diferencias significativas ya que el valor de $P > 0,05$. Además se puede evidenciar que la mayor disminución de espesor se obtuvo en el revoque sometido a la píldora a base de aceite de coque y VASSA con un valor de variación de espesor de 0,800 mm. Se puede inferir que el mejor comportamiento lo obtuvo la píldora diseñada a base de aceite de coque de petróleo y VASSA (50-50).

4.3.3 Resquebrajamiento del revoque

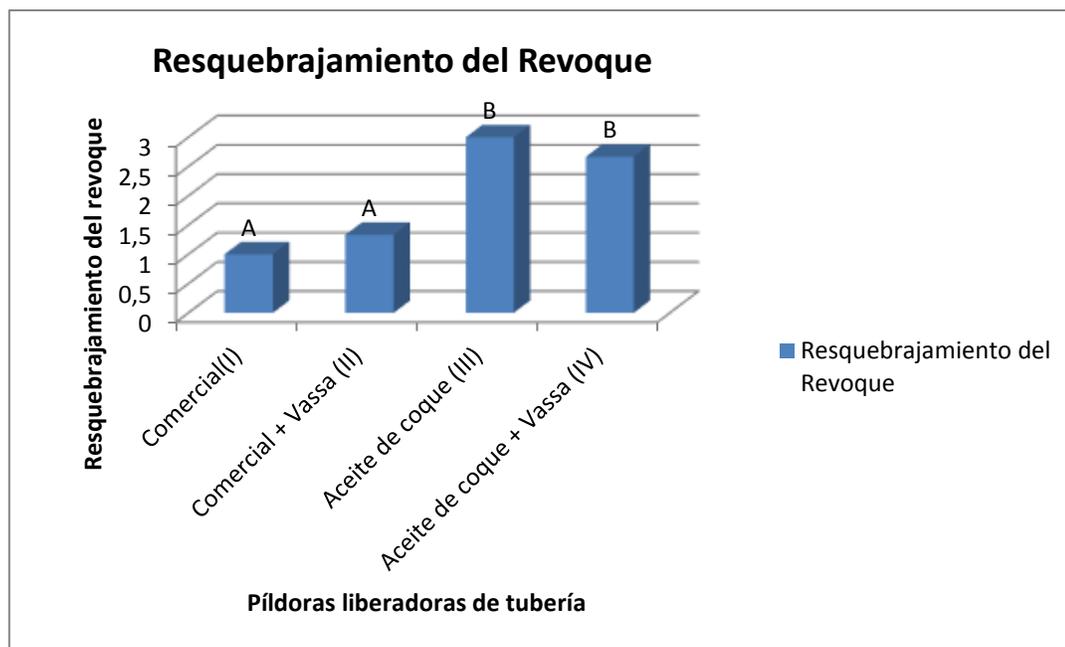
Los valores obtenidos por los tratamientos propuestos se muestran en la siguiente tabla, tanto los valores totales como promedios de la intensidad de resquebrajamiento sobre los revoques afectados.

Tabla 4.10 Totales y promedio del resquebrajamiento del revoque

Píldoras	Resquebrajamiento				
	Repeticiones			Total	Promedio
	I	II	III		
100% PEG-350	1	1	1	3	1
50% PEG-350 / 50% Vassa LP40	1	1	2	4	1,333
100% Aceite de coque	3	3	3	9	3
50% Aceite de coque / 50% Vassa LP40	3	3	2	8	2,667

La tabla 4.10 muestra que las píldoras propuestas fueron las que agrietaron y debilitaron de manera significativa las superficies de los revoques expuestos en comparación con las píldoras comerciales. Las píldoras comerciales tuvieron un

comportamiento bajo en este caso, ya que no afectaron en gran medida la superficie de los revoques.



Gráfica 4.4 Test de Duncan para la intensidad de resquebrajamiento de la superficie del revoque en los diferentes tratamientos. (Letras distintas demuestran diferencia estadística significativa)

La gráfica 4.4 muestra el test de Duncan del resquebrajamiento de los revoques afectados por las píldoras; indicando que hay diferencias estadísticamente significativas entre los resultados obtenidos, siendo el mayor valor reflejado representado por la píldora a base de coque de petróleo (100% coque) con un valor de 3 y el menor valor obtenido representado por la píldora comercial PEG-350. De esa manera se puede decir que los liberadores propuestos obtuvieron el mejor comportamiento en el agrietamiento de la superficie de revoque.

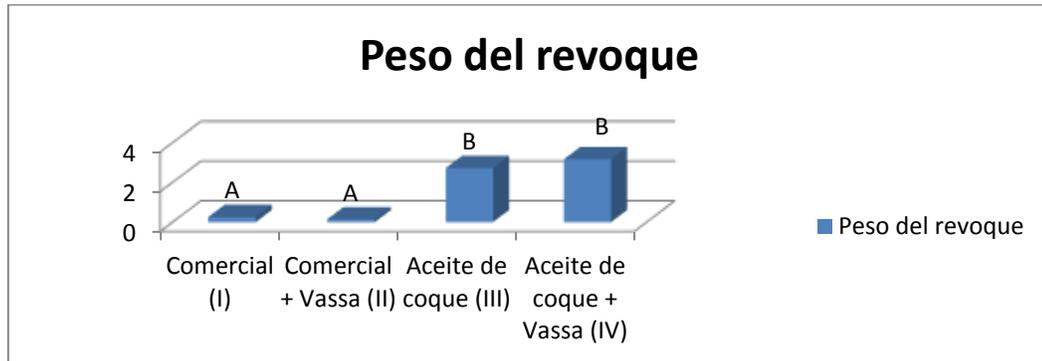
4.4.4 Peso del revoque

El peso obtenido por los tratamientos propuestos en esta investigación, se observan en la siguiente tabla, tanto los valores totales como promedios de la variación de los mismos.

Tabla 4.11 Totales y promedio del peso del revoque

Píldoras	Peso (g)										
	Repeticiones										
	I			II			III				
	Antes	Después	Dif.	Antes	Después	Dif.	Antes	Después	Dif.	Total	Dif
100% PEG-350	12,75	12,64	0,11	14,15	13,90	0,25	15,62	15,20	0,42	0,78	0,260
50% PEG-350 / 50% Vassa LP40	11	10,73	0,27	12,68	12,64	0,04	8,36	8,23	0,13	0,44	0,147
100% Aceite de coque	31,85	30,16	1,69	18,90	15,65	3,25	16,60	13,35	3,25	8,17	2,723
50% Aceite de coque/ 50% Vassa LP40	13,71	11,04	2,67	21,64	19,24	2,4	14,22	9,79	4,43	9,5	3,167

Los resultados expresados en la tabla 4.11 muestran que la disminución de peso en los revoques afectados fue mayor en los cuales se aplicaron las píldoras a base de aceite de coque de petróleo, mientras que la reducción de peso no fue tan notable en los revoques afectados por las píldoras comerciales.



Gráfica 4.5 Test de Duncan para la disminución del peso en los revoques afectados por los diferentes tratamientos (letras distintas demuestran diferencia estadística significativa)

La disminución del peso del revoque evaluado por el test de Duncan indica que hay diferencias estadísticamente significativas entre los resultados obtenidos, siendo el mayor valor obtenido por la píldora a base de aceite de coque de petróleo y VASSA dado por 3,167 g y el menor valor obtenido representado por la píldora comercial a base de PEG-350 y VASSA con un valor de 0,147 aproximadamente.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El método propuesto para la extracción del aceite de coque de petróleo (método soxhlet) es adecuado para separar los componentes pesados contenidos en el coque de petróleo retardado.
- Las características físico-químicas del aceite de coque de petróleo son similares a otros liberadores de tuberías de uso comercial.
- Las propiedades del revoque estudiadas mostraron disminución con la aplicación del aceite de coque como liberador de tubería.
- El estudio estadístico demostró que el aditivo propuesto posee la capacidad de degradar y resquebrajar los revoques obtenidos de fluidos 100% aceite mineral.

5.2 RECOMENDACIONES

- Realizar la extracción de aceite contenido en el coque de petróleo utilizando otro solvente orgánico.
- Realizar un estudio de factibilidad económica al liberador de tubería propuesto con aceite de coque de petróleo.
- Aplicar para venideras investigaciones el aceite de coque como liberador de tubería en fluidos de perforación base agua.
- Realizar pruebas de control de calidad del aceite de coque propuesto para ser aplicado como lubricante mecánico.
- Evaluar la eficiencia del aceite de coque como liberador de tubería con diferentes liberadores de uso comercial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, J. (2008). Evaluacion de la reactividad del coque de petróleo venezolano por medio de la técnica de oxidación a temperatura programada.
- Alaekwe, W., Hilfiger, G. Y Thaemlitz, J. (2013). Advanced Spotting Fluids for Remediation of Differentially Stuck Pipe.
- Amanullah, M., & Arfaj, M. . (2017). ARC Eco-Lube - A Food industry Waste-Based Green Lubricant. Society of Petroleum Engineers.
- Arias, F. (2012). El proyecto de investigacion. Guia para su elaboracion. Caracas: Escolar.
- BAROID. (1999). Manual de fluidos. Houston Texas.
- Cesín, R., & Gallardo, E. (2017). Formulacion de un sistema anti pérdida de circulacion con adiccion de coque. Tesis de grado. Maturín: Universidad de Oriente.
- CIED-PDVSA. (2002). Fluidos de perforacion. Caracas, Venezuela.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales. (1995). Norma COVENIN 850:95, Productos derivados del petroleo destilacion.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales. (1997). Normas COVENIN 372:97 Productos derivados del petróleo. Determinación de los puntos de inflamación y fuego. Método Cleveland de copa abierta. Caracas: Fondonorma.
- Costa, K. (2008). Evaluacao e modelagem reologica de fluidos de perfuracao base água, Tesis de grado de maestria publicada. Brasil: Universidad Federal do Rio Grande do Norte.
- Courteille, C. & Lummus, J. (1985). Drilling Fluids Optimization a Practical Field Approach. Pennwell pub. Oklahoma.

- Da Silva, J. (2008). Coque de petróleo como energía primaria para una planta de generación de electricidad.
- Dynamis, L. (2004). Dynamis Mecânica Aplicada Ltda, Coque de Petróleo: Parte 3 – Perspectivas,.
- EPA. (2015). Método 3540C. Soxhlet extraction, part of test methods for evaluating solids waste, physical/ chemical methods. Estados Unidos.
- Hoelscher, K., Stefano G., Meghan R. Y Young S. (2012). Application of nanotechnology in drilling fluids. nanotecIn SPE International Oilfield Nanotechnology Conference and Exhibition, Society of Petroleum Engineers, SPE 157031.
- Instituto Americano del Petróleo. (2001). Manual de fluidos de perforación.
- Jugeshuarsingh, M Y Mora, L. (2012). Evaluación de aditivos liberadores de tuberías a base de destilados de gasoil y biodiesel aplicados en fluidos de perforación 100% aceite mineral. Tesis de grado. Maturín: Universidad de Oriente.
- Lancey, R. & Payne, F. (1994). Ultrasonic velocity in used corn oil as a measure of oil quality.
- Madanhire, I., & Mbohwa, C. (2016). Mitigating Environmental Impact of Petroleum Lubricants. Switzerland: Springer International Publishing.
- Mangesh, G. (2007). Transesterificación de canola oil in mixed metanol/etanol system and use osters as lubricity additive.
- MI SWACO. (2001). Manual de fluidos de perforación. Houston, Texas.
- National Fire Protection Association. (2012). Norma NFPA 30.
- Norma ASTM D 3838. (1980). Método de prueba estándar para pH. .
- Norma ASTM D 2196. (2010). Prueba estándar para la determinación de las propiedades reológicas de los materiales no newtonianos por rotación.

- Norma ASTM D 369. (2002). Método estándar para la determinación de la gravedad específica mediante el picnómetro Gay Lussac.
- PDVSA-INTEVEP. (2012). Reactividad superficial de coque de petróleo retardado venezolano. .
- Proaño, J. Y Villamarín, D. (2013). Análisis técnico de los factores de pega de tubería en pozos perforados en la Amazonia ecuatoriana. .
- Requena, A., Delgado, L., Guerrero, C. Y Nuñez, M. (2008). Breas promotoras de fibras de carbono a partir de aceite pesado de olefinas. . Revista de la Facultad de Ingeniería de la UCV. Vol. 19, N° 2 , pp. 97-103.
- Rivas, A. (2017). Optimización de los controles de calidad de los aditivos no normados establecidos por la empresa esvenca para los fluidos de perforación base agua.
- Rodríguez, A., Gorrin, K. y Basanta, G. (2011). Usos del coque de petróleo en los procesos productivos del sector siderúrgico.
- Salvador, A., Silva, J., Y Santos, A. (2003). Análisis del Consumo de Coque de Petróleo en Algunos Sectores Industriales. .
- Schlumberger. (2018). OilfieldGlosary. Recuperado el 23 de septiembre de 2018, de <http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/l/lost-circulation.aspx>.
- Schlumberger. (2016). Fundamentos teóricos y sistemas de Dowell Schulmberger Drilling Fluids
- Scomi Oiltools de Venezuela, S.A . (2009). Manual de normas internas. Venezuela.
- Silva, M. & Singh, R. (2004). Viscosity and surface tension of corn oil at frying temperatures.

APÉNDICES

APÉNDICE “A”
(Procedimientos y pruebas realizadas)

A.1. Procedimiento para la destilación del aceite de coque (COVENIN 850:1995)

- 1) Se agregó agua a temperatura ambiente en el baño de enfriamiento por encima del punto más alto del condensador.
- 2) Para efecto de este ensayo se midió 900 ml de subproducto en un cilindro graduado y se transfirió al balón de destilación de capacidad de 1000 ml, cuidando que el líquido no fluyera por el tubo de vapor.
- 3) Se sujetó un termómetro de 400 °C firmemente al cuello del balón con un tapón de goma, donde el bulbo estaba centrado en el cuello del balón y el extremo inferior del capilar quedó nivelado con el punto más alto de la cara inferior de la pared interna del tubo de vapor.
- 4) Se colocó el balón con su carga en la manta de calentamiento y luego se hizo la conexión hermética entre el tubo del vapor y el condensador.
- 5) Se colocó un cilindro graduado en la salida del tubo de condensador para medir la cantidad de muestra destilada.
- 6) Se comenzó a aplicar calor al balón de destilación que contiene la muestra mediante la manta de calentamiento.
- 7) Se observó y se anotó el punto inicial de ebullición (lectura del termómetro en el instante que la primera gota de condensado cae desde la boca de salida del condensador).
- 8) Se anotó el volumen de residuo (volumen que queda en el balón de destilación).
- 9) Este proceso se repitió hasta obtener 600ml de aceite de coque de petróleo.

A.2. Procedimiento para determinar Gravedad Específica (ASTM D 369)

- 1) Se anotó el valor del volumen del picnómetro que tiene registrado en la pared del frasco.
- 2) Se pesó el picnómetro vacío, seco y limpio en la balanza analítica.

- 3) Se llenó el picnómetro con las diferentes muestras. Se colocó el tapón, hasta que parte del líquido se derramó, se secaron bien las paredes externas del picnómetro, esto para evitar que el líquido que queda en las paredes externas provoque errores en la medición.
- 4) Se pesó el picnómetro lleno en la balanza analítica.
- 5) Se determinó la densidad de las muestras a temperatura ambiente utilizando la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{mpiclleno - mpicvac}{vpic} \quad E.1$$

Donde

M pic lleno: masa del picnómetro lleno, [gr]

M pic vacío: masa del picnómetro vacío, [gr]

V pic: volumen del picnómetro, [ml]

$$G.E = \frac{\rho_{Muestra}}{\rho_{Agua @ t_{muestra}}} \quad E.2$$

A.3. Procedimiento para determinar viscosidad cinemática y dinámica (Norma ASTM D2196-10)

- 1) Se selecciona una mecha de 0,3 a 100 rpm.
- 2) Se llena el beaker de 500ml con la muestra del aceite de coque.
- 3) Luego se introduce el rotor del viscosímetro en el beaker lleno de aceite de coque hasta la marca indicada, teniendo precaución de no tocar las paredes, ni el fondo del mismo.
- 4) Se enciende el viscosímetro y se deja rotar hasta que se estabilice la mecha y arroje un resultado.

- 5) Se anota el valor de la viscosidad que se observa en la pantalla del viscosímetro.
- 6) Se calcula la viscosidad cinemática de la siguiente ecuación:

$$V(cSt) = \frac{\mu_{dinamica} (cPs)}{\rho (g/ml)} \quad (E.3)$$

A.4. Procedimiento para determinar punto de inflamación y punto de fuego (COVENIN 372:1997)

- 1) Se realizó el ensayo en un lugar libre de corrientes de aire y con poca iluminación.
- 2) Se limpió la copa de tal forma que no tenga en el borde de ésta residuos de muestras de pruebas anteriores.
- 3) Se llenó la copa de la muestra a analizar hasta la marca de referencia y se colocó sobre la cámara de calentamiento.
- 4) Se colocó el termómetro, se encendió el sistema de calentamiento y se aplicó calor a la muestra.
- 5) Se abrió el paso del gas y se encendió la llama de flameo.
- 6) Para cada 2 °C de aumento de temperatura la llama de flameo se pasó sobre la superficie de la muestra manipulando el obturador. Cuando en el interior de la copa se produjo una pequeña llama se dice que alcanzó el punto de inflamación y se anotó la temperatura.

A.5. Procedimiento de envejecimiento de un fluido de perforación 100% aceite mineral

- 1) Se colocó un barril (350 cc) del fluido de perforación preparado en la celda de envejecimiento.
- 2) Luego se cerró la celda de envejecimiento herméticamente.

- 3) Después con un manómetro e ajusto la presión en 100 lpcm y conectando la celda a la bombona de presión, se dejó pasar dicha presión de la bombona a la celda abriendo la válvula de la celda. Una vez transferida la presión, la válvula se cerró nuevamente.
- 4) Colocando el horno de envejecimiento a 300 °F y encendiendo el rotor, se introdujo la celda en dicho horno dejándola en el mismo por 16 horas.
- 5) Este procedimiento se repite para los 4 barriles preparados.

A.6. Procedimiento para obtener revoques generados de fluidos de perforación mediante filtro prensa de AP/AT

- 1) Se tomó la muestra de fluido.
- 2) Se precalentó la camisa de calentamiento hasta 100 °F por encima de la temperatura deseada.
- 3) Se cerró el vástago de la válvula sobre la celda del filtro y se agregó en la celda una muestra agitada del fluido. Se debió dejar suficiente vacío para dar lugar a la destilación del lodo.
- 4) Se colocó el papel de filtro en la celda.
- 5) Se ajustaron todos los tornillos de sujeción y se cerró el vástago de la válvula sobre la cubierta.
- 6) Se colocó la celda en la camisa de calentamiento con la cubierta de la celda hacia abajo. Se hizo girar la celda hasta calzar.
- 7) Se introdujo un termómetro en el orificio de la celda.
- 8) Se conectó la unidad de presión al vástago superior e inferior de la válvula y se aseguró la unidad en el sitio.
- 9) Manteniendo las válvulas de vástago cerradas, se ajustó el regular de presión superior a 200 lpc y el inferior a 100 lpc. Luego se abrió el vástago superior aplicando los 200 lpc al fluido.
- 10) Se mantuvo la presión hasta que la temperatura se estabilizó a 300 °F.

- 11) Al llegar la temperatura a 300°F, se abrió el vástago inferior y se aumentó inmediatamente la presión en el regulador superior hasta 600 lpc para iniciar el proceso de filtración.
- 12) Con la ayuda de un cronometro se mantuvo la temperatura de la prueba dentro de 300 +/- 5°F durante 30 minutos.
- 13) Se cerraron los vástagos de válvulas superior e inferior y se descargó la presión por el regulador superior y luego desconectando el sistema de presión.
- 14) Se aflojó el tornillo T del regulador inferior y se empezó a drenar con cuidado el filtrado del receptor a un cilindro graduado.
- 15) Se descargó la presión por el regulador inferior y fue desconectado el sistema de presión.
- 16) Luego se retiró la celda de la camisa de calentamiento y se dejó que la celda se enfriara, se mantuvo la celda del filtro en posición invertida y se aflojó el vástago para descargar la presión.
- 17) Se cerró el vástago de válvula cuando toda la presión fue descargada luego se mantuvo la celda de filtro con la tapa levantada, se aflojó el vástago de válvula y se aflojaron los tornillos de sujeción de la tapa.
- 18) Se extrajo el revoque formado y se midió su espesor mediante aguja vickat.

A.7. Procedimiento para la prueba de lubricidad

- 1) Primero se limpió el anillo y el bloque de ensayo completamente con agua destilada y se dejó secar.
- 2) Se colocó con cuidado el bloque de ensayo en el porta bloque, con el lado cóncavo mirando hacia afuera y se alineó con el anillo de ensayo.
- 3) Luego se llenó la copa de acero inoxidable con agua desionizada, se colocó el apoya copa en un nivel inferior.
- 4) Se elevó el apoya copa hasta que el anillo se sumergió por completo y se aseguró con el tornillo de mariposa.

- 5) Se posicionó el brazo de torque de tal forma que este encajó dentro de la porción cóncava de la abrazadera del brazo de torque. Se giró el ajuste de torque manual en dirección a las agujas del reloj hasta llegar a 150 plg/lb de torque al bloque de ensayo.
- 6) Se dejó correr el lubricímetro por 5 minutos y se anotó la lectura de torque. Si el valor del coeficiente de fricción del agua es de 34 o +/- 2 se siguió el procedimiento sino repetir desde el paso 1.
- 7) Se rotó manualmente el ajuste de torque en contra de las agujas del reloj hasta que el torque llegó a cero y se bajó el soporte de la copa y se descargó el agua para finalmente limpiar y secar la copa, el bloque de ensayo, el portabloque y el anillo.
- 8) Se tomó una muestra de la píldora liberadora de tubería y se mezcló durante 10 minutos.
- 9) Se introdujo la muestra dentro de la copa de acero inoxidable, luego se colocó sobre la porta copa y se elevó hasta que todas las superficies metálicas se encontraran completamente sumergidas en la píldora.
- 10) Se ajustó la perilla de torque a cero para luego proceder a encender el lubricímetro y se ajustó la perilla de control de velocidad a 60rpm.
- 11) Se giró manualmente el ajuste de torque en dirección a las agujas del reloj, hasta haber aplicado un torque de 150 plg/lb al bloque de ensayo.
- 12) Se dejó que el instrumento trabajara durante 5 minutos aproximadamente, se registró la lectura de torque y se liberó el torque sobre el brazo.
- 13) Este procedimiento se realizó a cada una de las píldoras liberadoras de tuberías formuladas.

APÉNDICE “B”
EQUIPOS UTILIZADOS

- **EXTRATOR SOXHLET**



Figura B.1 Extrator soxhlet

- **DESTILADOR**



Figura B.2 Destilado

- **PICNÓMETRO**



Figura B.3 Picnómetro

- **EQUIPO CLEVELAND DE COPA ABIERTA**



Figura B.4 equipo cleveland copa abierta

- **MIXER**

Equipo utilizado para mezclar fluidos de perforacion



Figura B.5 Mixer

- **BALANZA DIGITAL**

Son instrumentos de pesaje de funcionamiento no automático que utilizan la acción de la gravedad para determinación de la masa. Se compone de un único receptor de carga (plato) donde se deposita el objeto para medir. Una célula de carga mide la masa a partir de la fuerza (peso) ejercida por el cuerpo sobre el receptor de carga. El resultado de esa medición (indicación) aparecerá reflejado en un dispositivo indicador.



Figura B.6 Balanza digital

- **HORNO DE ENVEJECIMIENTO DINÁMICO**

Un horno en el que se colocan las celdas para ensayos de lodos. Los hornos suelen tener dentro un conjunto de rodillos y también son llamados hornos de rodillos. Las celdas de envejecimiento de lodo se colocan sobre los rodillos. En los ensayos pilotos, el rodamiento de las celdas logra que una película de lodo esté en contacto continuamente con la pared caliente de la celda. Otro tipo de horno hace dar vueltas a las celdas de un extremo al otro. La mayoría de los hornos también pueden utilizarse para ensayos de envejecimiento estático.



Figura B.7 Horno de envejecimiento

- **CELDA DE ENVEJECIMIENTO DINÁMICO**

Un recipiente cilíndrico en el que una muestra de lodo puede calentarse bajo presión. Las celdas, a menudo llamadas bombas, se utilizan habitualmente para envejecimiento estático y envejecimiento por rodamiento en caliente de muestras de lodo.



Figura B.8 Celda de envejecimiento

- **FILTRO PRENSA AP/AT**

La ATAP (alta temperatura, alta presión) Filtro Prensa está diseñado para probar los fluidos de perforación a temperaturas y presiones elevadas. La unidad simula diversas condiciones de fondo de pozo y proporciona un método fiable para determinar la eficacia del material que está siendo probado.



Figura B.9 Filtro prensa AP/AT

- **MEDIDOR DE LUBRICIDAD OFITE**

Es un instrumento de alta calidad usado para medir la capacidad lubricante de los fluidos de perforación, proporcionando valores para evaluar el tipo y la calidad de los aditivos lubricantes que podrían ser requeridos, y predecir la las tasas de desgaste de las partes mecánicas en sistemas de fluidos conocidos.



Figura B.10 Medidor de lubricidad ofite

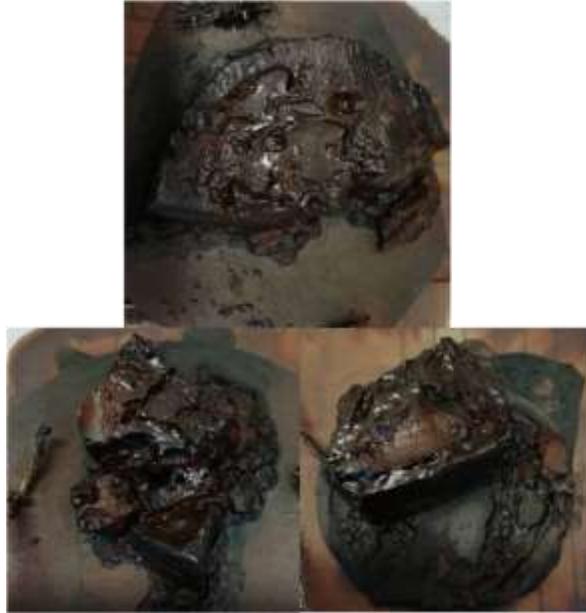
APÉNDICE “C”
“MEMORIA FOTOGRÁFICA”



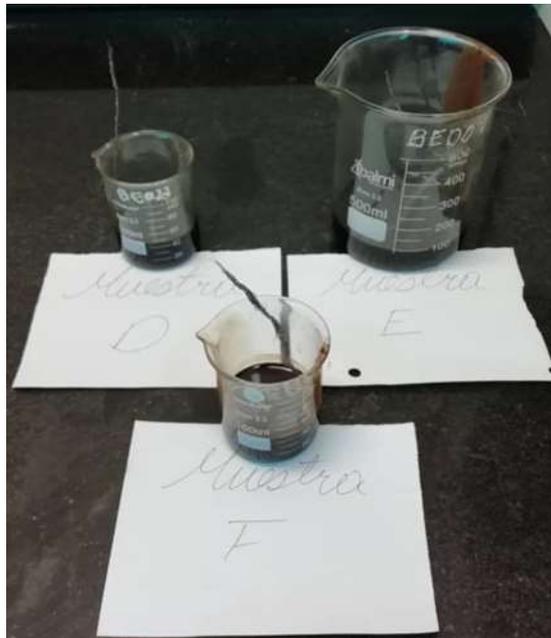
Figura C.1 Revoques obtenidos



Figura C.2 Revoques sometidos a la pílora 100% aceite de coque de petróleo



**Figura C.3 Revoques luego de someterlos a las píldoras liberadoras de tubería
100%aceite de coque**



**Figura C.4 Revoques sometidos a la píldora liberadora de tubería 50%aceite de
coque – 50% Vassa**



**Figura C.5 Revoques luego de someterlos a la píldora liberadora de tubería
50%aceite de coque – 50% Vassa**



**Figura C.6 Revoques sumergidos en la píldora liberadora de tubería 50%PEG-
350 – 50%Vassa**



**Figura C.7 Revoques luego de someterlos a la píldora liberadora de tubería
50%PEG-350 – 50%Vassa**



**Figura C.8 Revoques sometidos a la píldora liberadora de tubería 100% PEG-
350**



**Figura C.9 Revoques luego de someterlos a la píldora liberadora de tubería
100% PEG-350**

APÉNDICE “D”
RESULTADO DEL ANALISIS DE VARIANZA ANOVA

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,01	3	4,2E-03	1980,28	<0,0001
pildoras	0,01	3	4,2E-03	1980,28	<0,0001
Error	1,7E-05	8	2,1E-06		
Total	0,01	11			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0000 gl: 8

pildoras	Medias	n	E.E.	
II	0,07	3	8,4E-04	A
I	0,07	3	8,4E-04	A
IV	0,13	3	8,4E-04	B
III	0,13	3	8,4E-04	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**Tabla D.1 Coeficiente de lubricidad****Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,04	3	0,01	0,03	0,9935
pildoras	0,04	3	0,01	0,03	0,9935
Error	3,51	8	0,44		
Total	3,55	11			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,4392 gl: 8

pildoras	Medias	n	E.E.	
Comercial + Vassa (II)	0,67	3	0,38	A
Aceite de coque (III)	0,67	3	0,38	A
Comercial (I)	0,70	3	0,38	A
Aceite de coque + Vassa (I..)	0,80	3	0,38	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**Tabla D.2 Espesor del revoque**

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8,67	3	2,89	17,33	0,0007
pildoras	8,67	3	2,89	17,33	0,0007
Error	1,33	8	0,17		
Total	10,00	11			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,1667 gl: 8

pildoras	Medias	n	E.E.	
I	1,00	3	0,24	A
II	1,33	3	0,24	A
IV	2,67	3	0,24	B
III	3,00	3	0,24	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla D.3 Resquebrajamiento del revoque

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	22,91	3	7,64	14,80	0,0013
pildoras	22,91	3	7,64	14,80	0,0013
Error	4,13	8	0,52		
Total	27,04	11			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,5160 gl: 8

pildoras	Medias	n	E.E.	
II	0,15	3	0,41	A
I	0,26	3	0,41	A
III	2,73	3	0,41	B
IV	3,17	3	0,41	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla D.4 Peso del revoque

HOJAS METADATOS

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

Título	Desarrollo de un aditivo liberador de tubería a base de destilados de coque de petróleo
---------------	------------------------------------------------------------------------------------------------

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

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Rodriguez Figuera Adnel Miguel	CVLAC	C.I: 25.085.277
	e-mail	miguelrodrigu49@gmail.com
Rodríguez González, Oskarina del Valle	CVLAC	C.I: 24.438.104
	e-mail	Kari.rodriguez10.or@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:

aditivo
coque de petróleo
revoque
coeficiente de lubricidad
curso especial 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):

El objetivo fundamental de esta investigación fue desarrollar un aditivo liberador de tubería a base de destilados de coque de petróleo, para ello se utilizó un extractor soxhlet para obtener el aceite de coque de petróleo, posteriormente se estableció la formulación de las diferentes píldoras liberadoras de tubería, donde se estudió el efecto de las diferentes píldoras sobre las propiedades de los diferentes revoques generados de un fluido de perforación 100% aceite natural mediante pruebas de calidad a nivel de laboratorio tales como, coeficiente de lubricidad, resquebrajamiento y disminución del espesor de revoque. De acuerdo a los resultados obtenidos se realizó un diseño estadístico aleatorio simple, con tres repeticiones y se comparó con un aditivo comercial. Demostrándose que los tratamientos presentaron comportamientos cercanos a la píldora comercial, debido a que se evidenciaron disminución de las propiedades del revoque al someterlas al efecto de las píldoras liberadoras de tuberías.

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 <input type="checkbox"/> AS <input checked="" type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I. 10100632
	e-mail	rvegas@udo.edu.ve
Msc. Ing Luis Castillo	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I 13773520
	e-mail	lcastillo@udo.edu.ve
Ing. Atmary Gomez	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I 12150662
	e-mail	agomez@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	01	30

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
NMOCTG_RFAM202

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

Alcance:

Espacial: _____ (opcional)

Temporal: _____ (opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero 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.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

RECIBIDO POR [Firma]
FECHA 5/8/09 HORA 5:30

Cordialmente,
[Firma]
JUAN A. BOLANOS CURTEL
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.



**ADNEL MIGUEL
RODRIGUEZ FIGUERA**

Autor



**OSKARINA DEL VALLE
RODRIGUEZ GONZALEZ**

Autor



MSC. ING. RUBÉN VEGA

Asesor Académico