



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

**APLICACIÓN DE LA CÁSCARA DE HUEVO COMO ADITIVO
CONTROLADOR DE FILTRADO EN FLUIDOS DE PERFORACIÓN
DISPERSOS**

REALIZADO POR:

FABIOLA ELOISA MONROY FERRUCCI

VALENTINA JOSÉ ROCA CONDE

Trabajo Especial de Grado Presentado como Requisito Parcial para Optar al

Título de:

INGENIERO DE PETRÓLEO

MATURÍN, JUNIO DE 2019



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

APLICACIÓN DE LA CÁSCARA DE HUEVO COMO ADITIVO
CONTROLADOR DE FILTRADO EN FLUIDOS DE PERFORACIÓN
DISPERSOS

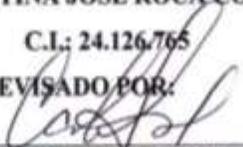
REALIZADO POR:
FABIOLA ELOISA MONROY FERRUCCI

C.I.: 22.974.715

VALENTINA JOSÉ ROCA CONDE

C.I.: 24.126.765

REVISADO POR:


M.Sc. CARLOS DE LA CRUZ

Asesor Académico

MATURÍN, JUNIO DE 2019



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

APLICACIÓN DE LA CÁSCARA DE HUEVO COMO ADITIVO
CONTROLADOR DE FILTRADO EN FLUIDOS DE PERFORACIÓN
DISPERSOS

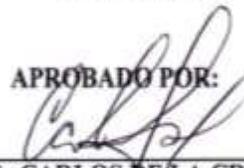
REALIZADO POR:
FABIOLA ELOISA MONROY FERRUCCI

C.I.: 22.974.715

VALENTINA JOSÉ ROCA CONDE

C.I.: 24.126.765

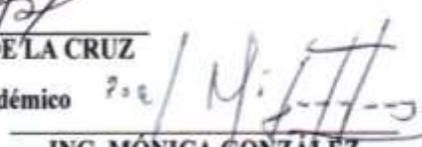
APROBADO POR:


MSc CARLOS DE LA CRUZ

Asesor Académico


ING. RUBÉN VEGA

Jurado Principal


ING. MÓNICA GONZÁLEZ

Jurado Principal

MATURÍN, JUNIO DE 2019

RESOLUCIÓN

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

DEDICATORIA

Dedicado primeramente a mi **Dios Padre Todopoderoso** por guiarme hacia el camino correcto, por estar presente en el éxito y en las adversidades presentadas todo este tiempo para la culminación de mis estudios.

A mis padres **Yeni Ferrucci** y **Cesar Monroy**, que han sido mi sustento toda la vida, sé que orgullosos de mí están al ver que he cumplido esta meta. A mis hermanos **Flavio, Cristian** y **José** por ser testigos de mi perseverancia, entrega y dedicación por alcanzar este triunfo. Es un logro para ustedes también.

A mis abuelos **Eloisa Rodríguez** y **Guido Ferrucci** que no están físicamente conmigo, donde quieran que estén, de seguro celebraran este gran logro.

Fabiola E. Monroy F.

DEDICATORIA

Este trabajo de grado va dedicado primeramente a **Dios** por ser mi guía en todo momento, por darme la sabiduría y fortaleza necesaria para siempre seguir adelante y alcanzar cada uno de los objetivos que me he propuesto hasta ahora.

A mis padres **Edgar Roca e Ivelice de Roca** por ser un gran ejemplo en mi vida, por ser fuente de inspiración, apoyarme en todo momento, darme una excelente educación y enseñarme a luchar por alcanzar mis metas. Para ustedes es este triunfo, se los dedico con todo mi corazón. Espero se sientan orgullosos.

A mi abuelo **Isaías Roca**, porque fue un hombre excepcional y un gran ejemplo en mi vida, aunque físicamente ya no te encuentres con nosotros sé que desde el cielo me sigues guiando, cuidando y apoyando. En especial a ti te dedico este triunfo, espero te sientas muy orgulloso de mí.

Valentina J. Roca C.

AGRADECIMIENTO

A Dios Todopoderoso por permitirme llegar hasta donde he llegado y culminar esta meta en mi vida.

A mis padres, hermanos y familiares por su ayuda, motivación, orientación y confianza.

A la familia Roca Conde, son parte de este camino, gracias por su confianza, respeto y apoyo, son mi segunda familia.

A mi compañera Valentina Roca, por tu tolerancia, confianza, dedicación y paciencia desde el inicio de esta carrera, éste trabajo de investigación también se logró gracias a ti.

A mi amigo y novio José Cedeño, por su apoyo, su amor, su paciencia, confianza y dedicación, gracias por estar presente en todo momento.

A mi asesor académico, el Profesor MSc. Carlos De La Cruz, por su orientación, paciencia y recomendaciones dadas. A mis jurados los profesores Ing. Mónica González y MSc. Rubén Vega, sin ustedes no sería posible lograrlo.

A la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, por darme la oportunidad de ser miembro de esta casa de estudio y darme las herramientas necesarias para mi formación académica y profesional.

Al Ing. Jorge Marcano e Ing. Marcial González de la empresa ESVENCA por su aporte, dedicación, apoyo y consejos en el desarrollo de esta investigación.

A todos mis amigos que han estado desde el inicio y que aún siguen allí constantes, perseverante y pacientes en todo momento, son parte de este gran logro.

Fabiola E. Monroy F.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a **Dios** por ser mi guía en todo momento, por permitirme culminar mi carrera, darme salud y por siempre poner a las personas indicadas de mi vida.

A mis padres **Edgar Roca e Ivelice de Roca**, por ser los pilares fundamentales en mi vida, por todos sus esfuerzos y sacrificios, por estar para mí siempre que los he necesitado y brindarme siempre su apoyo, infinitas gracias.

A mi hermana **Yaleska Roca**, por ser al igual que mis padres un pilar fundamental en mi vida, gracias por siempre ayudarme, motivarme y apoyarme incondicionalmente.

A mi novio **Manuel Calzadilla**, por brindarme todo su apoyo, ayuda, tiempo y comprensión, por siempre querer lo mejor para mi porvenir, por regalarme palabras de aliento cuando lo necesitaba, por brindarme paz ante todas las preocupaciones, por siempre sacarme y tener una sonrisa para mí y por impulsarme siempre a seguir adelante. Gracias amor.

A mi amiga y compañera de tesis **Fabiola Monroy**, por acompañarme y ayudarme a cumplir esta meta, gracias por siempre estar ahí cuando todo parecía imposible, este triunfo es de las dos.

A mi asesor académico **Msc. Carlos De La Cruz**, por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo de investigación, por su paciencia, por todos los conocimientos transmitidos y en especial por siempre brindarme su apoyo en los momentos más difíciles de mi carrera, siempre le estaré infinitamente agradecida por su toda su ayuda.

A **Marcial González y Jorge Marcano** trabajadores de la empresa ESVENCA, gracias por siempre prestar su ayuda, sabiduría y consejos para la realización de este trabajo de investigación.

A la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, por darme la oportunidad de formarme como profesional en su casa de estudio.

Y en general a toda mi familia y amigos que de una u otra forma colaboraron para la culminación de este proyecto, para ellos hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

Valentina J. Roca C.

ÍNDICE

	Pág.
RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE	x
ÍNDICE DE TABLA	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xiv
RESUMEN	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
EL PROBLEMA Y SUS GENERALIDADES	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.2 Objetivos específicos	4
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	4
CAPÍTULO II	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	6
2.2 BASES TEÓRICAS	8
2.2.1 Fluidos de perforación	8
2.2.2 Funciones de los fluidos de perforación	8
2.2.3 Propiedades de los fluidos de perforación	11
2.2.4 Tipos de fluidos de perforación	13
2.2.4.1 Fluidos base agua.....	13
2.2.4.2 Fluidos base aceite	13
2.2.4.3 Fluidos espumantes y aireados.....	13
2.2.5 Aditivos controladores de filtrado	14
2.2.6 Lignosulfonato.....	16
2.2.7 Características principales de un fluido disperso.....	16
2.2.8 Origen de la cáscara de huevo	16
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	17
CAPÍTULO III	20
MARCO METODOLÓGICO	20
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	20
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	21
3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	22
3.4.1 Caracterización del aditivo controlador de filtrado a base de cáscara de huevo para la formulación de fluidos de perforación dispersos.....	22

3.4.2	Determinación la calidad de la cáscara de huevo mediante hojas técnicas de aceptación o rechazo para aditivos controladores de filtrado de empresas de fluidos de perforación	23
3.4.3	Evaluación de las propiedades físicas y químicas de muestras de fluidos formulados con cáscara de huevo como aditivo controlador de filtrado y el aditivo controlador de filtrado a base de lignito	24
3.5	TÉCNICAS DE INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	25
3.5.1	Técnicas de recolección de datos.....	26
3.5.2	Instrumentos de recolección de datos	26
3.6	RECURSOS	26
3.6.1	Recursos humanos	26
3.6.2	Recursos financieros.....	27
3.6.3	Recursos materiales	27
CAPÍTULO IV		28
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		28
4.1	CARACTERIZACIÓN EL ADITIVO CONTROLADOR DE FILTRADO A BASE DE CÁSCARA DE HUEVO PARA LA FORMULACIÓN DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN DISPERSOS.....	28
4.2	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA CÁSCARA DE HUEVO MEDIANTE LAS HOJAS TÉCNICAS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO PARA ADITIVOS CONTROLADORES DE FILTRADO DE EMPRESAS DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN	29
4.3	DETERMINACIÓN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE MUESTRAS DE FLUIDOS FORMULADOS CON LA CÁSCARA DE HUEVO COMO ADITIVO CONTROLADOR DE FILTRADO Y EL ADITIVO CONTROLADOR DE FILTRADO A BASE DE LIGNITO	31
CAPÍTULO V		67
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		67
5.1	CONCLUSIONES.....	67
5.2	RECOMENDACIONES	67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		69
APÉNDICES.....		71
HOJAS METADATOS.....		106

ÍNDICE DE TABLA

	Pág.
Tabla N° 3.1 Hoja técnica de control de calidad de aditivo controlador de filtrado ESVENCA.....	23
Tabla N° 3.2 Identificación de las siguientes formulaciones utilizadas	25
Tabla N° 4. 1 Características del aditivo a base de cáscara de huevo.....	28
Tabla N° 4.2 Especificaciones técnicas de control de la calidad de la empresa ESVECA.....	29
Tabla N° 4.3 Valores de Filtrado API y punto cedente para los fluidos formulados con cáscara de huevo	30
Tabla N° 4.4 Datos obtenidos del análisis de varianza de las muestras del filtrado API de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial.....	33
Tabla N° 4.5 Datos obtenidos del análisis de varianza de las muestras del revoque de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial.....	35
Tabla N° 4.6 Pruebas de Múltiple Rangos para Revoque de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial	36
Tabla N° 4.7 Datos obtenidos del análisis de varianza de las muestras de la viscosidad plástica de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial	38
Tabla N° 4.8 Pruebas de múltiple rangos para viscosidad plástica de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial	38
Tabla N° 4.9 Análisis de varianza de las muestras del punto cedente de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial.....	41
Tabla N° 4.10 Pruebas de múltiple rangos para punto cedente los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial	41
Tabla N° 4.11 Datos obtenidos del análisis de varianza de las muestras del esfuerzo de gel a los 10 segundos de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones.....	43
Tabla N° 4.12 Datos obtenidos del análisis de varianza de las muestras del esfuerzo de gel a los 10 minutos de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones.....	46
Tabla N° 4.13 Datos obtenidos del análisis de varianza de las muestras de porcentaje de sólidos	49

Tabla 4.14 Datos obtenidos del análisis de varianza de las muestras de porcentaje de líquidos de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones....	50
Tabla N° 4.15 Datos obtenidos del análisis de varianza de las muestras de MBT de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones	52
Tabla N° 4.16 Datos obtenidos del análisis de varianza de las muestras de la alcalinidad del fluido (pm) de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones	54
Tabla N° 4.17 Pruebas de múltiple rangos para pm de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones.....	55
Tabla N° 4.18 Datos obtenidos del análisis de varianza de las muestras de la alcalinidad del filtrado (pf)de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones	57
Tabla N° 4.19 Pruebas de múltiple rangos para la alcalinidad del filtrado (Pf)de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones	57
Tabla N° 4.20 Datos obtenidos del análisis de varianza de las muestras de la alcalinidad del filtrado (Mf)de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones	59
Tabla N° 4.21 Pruebas de múltiple rangos para la alcalinidad del filtrado (Mf) de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones	60
Tabla N° 4.22 Datos obtenidos del análisis de varianza de las muestras de cloruro de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones	62
Tabla N° 4.23 Pruebas de múltiple rangos el contenido de iones de Cl ⁻ de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones	62
Tabla N° 4.24 Datos obtenidos del análisis de varianza de las muestras de dureza de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones	65
Tabla N° 4.25 Pruebas de múltiple rangos para la dureza de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones	65

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico N° 4.1 Comportamiento del filtrado API de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones.....	32
Gráfico N° 4.2 Comportamiento del revoque de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones	34
Gráfico N° 4.3 Comportamiento de la viscosidad plástica de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones	37
Gráfico N° 4.4 Comportamiento del punto cedente de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones.....	40
Gráfico N° 4.5 Comportamiento de los geles a los 10 segundos de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones	43
Gráfico N° 4.6 Comportamiento de los geles a los 10 minutos de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones	45
Gráfico N° 4.7 Comportamiento de la densidad de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones	47
Gráfico N° 4.8 Comportamiento del porcentaje de sólidos de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones	48
Gráfico N° 4.9 Comportamiento del porcentaje de líquidos de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones	50
Gráfico N° 4.10 Comportamiento de MBT de sólidos de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones.....	51
Gráfico N° 4.12 Comportamiento de la alcalinidad del filtrado (pf) de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones	56
Gráfico N° 4.13 Comportamiento de la alcalinidad del filtrado (Mf) de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones	59
Gráfico N° 4.14 Comportamiento del cloruro de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones	61



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

**APLICACIÓN DE LA CÁSCARA DE HUEVO COMO ADITIVO
CONTROLADOR DE FILTRADO EN FLUIDOS DE PERFORACIÓN
DISPERSOS**

REALIZADO POR:
FABIOLA ELOISA MONROY FERRUCCI
C.I.: 22.974.715
VALENTINA JOSÉ ROCA CONDE
C.I.: 24.126.765

ASESOR:
M.Sc. CARLOS DE LA CRUZ

JUNIO, 2019

RESUMEN

Debido a los altos costo de los aditivos para la formulación de fluidos utilizados durante la perforación de un pozo, se planteó el estudio de la cáscara de huevo como aditivo controlador de filtrado en un fluido disperso, debido a que es un producto orgánico proveniente de las gallinas en Venezuela, y con este se podría minimizar los costos de importaciones de productos comerciales extranjeros. Para la investigación se caracterizó la cáscara de huevo mediante normas covenin y ASTM obteniendo pH, densidad, humedad, granulometría, color y gravedad específica. Se realizaron pruebas para determinar la calidad del fluido formulado a base de cáscara de huevo donde se comparó con el aditivo comercial mediante la hoja de calidad de ESVENCA, posteriormente se llevó a cabo las mismas pruebas para una comparación de las propiedades físicas y químicas en las concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb entre el aditivo comercial lignito puro y la cáscara de huevo. Utilizando el programa estadístico Statgraphics XVII se mostraron las diferencias significativas de cada prueba de ambos fluidos, concluyendo que la cáscara de huevo tiene un buen rendimiento como controlador de filtrado.

Palabras claves: filtrado, cáscara, fluido, controlador, aditivo.

INTRODUCCIÓN

El tipo de fluido de perforación y su composición dependerá de las exigencias de cada operación de construcción de pozos, así como de las características de las formaciones que deberán ser atravesadas hasta alcanzar la profundidad planificada, siendo lógico que sean necesarias efectuarle mejoras al fluido para enfrentar las distintas condiciones que se encuentran a medida que avance la perforación. Existen numerosos factores que pueden causar problemas operacionales, lo que se traduce en costos económicos no previstos en un programa de perforación. Uno de los factores que intervienen en dicho proceso son los fluidos de perforación, que al no ser formulados de la manera más idónea de acuerdo a los requerimientos exigidos por la empresa causan problemas a la formación, acarreado gastos indeseables.

Para controlar las propiedades del fluido de perforación y conseguir las características de este sean consideradas como optimas, se deben agregar aditivos que permitan la mejora de la operación de perforación; estos fluidos deben ser formulados de tal forma que puedan conservar su calidad y utilidad de la manera más eficiente sin ser corrosivos ni tóxicos y permanecer estables ante la variación de la temperatura.

La cáscara del huevo es la cubierta exterior y es de gran importancia ya que mantiene su integridad física y actúa como barrera bacteriológica, la cual está constituida en su mayor parte por una matriz cálcica con un entramado orgánico, en el que el calcio es el elemento más abundante y de mayor importancia. También se encuentran en su composición otros minerales como sodio, magnesio, cinc, manganeso, hierro, cobre, aluminio y boro, en menores concentraciones (Nieves A, 2015).

El objetivo fundamental a desarrollar en este proyecto es la evaluación de la aplicación de la cáscara de huevo, para determinar si logra reducir el filtrado del

fluido de perforación disperso, buscando que pueda sustituir al lignito puro de aplicación común en la industria, y cumpliendo con las exigencia requeridas por empresas de servicios, debido que por su fácil adquisición y por ser de origen orgánico se ubica en una categoría de menor procesamiento que otros aditivos obtenidos de manera química.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA Y SUS GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La perforación de pozos de petróleo está relacionada con el uso de diversos fluidos generalmente base agua o base aceite, que dependen de aditivos químicos para su formulación. El uso adecuado de estos fluidos permitirá durante la perforación limpiar el fondo del pozo y llevar los recortes a la superficie, enfriar y lubricar la mecha, controlar las presiones de la formación, mantener la estabilidad en el hoyo, transmitir energía hidráulica a las herramientas, controlar la corrosión, facilitar la cementación y la completación así como también minimizar el impacto ambiental y los daños al yacimiento (PDVSA CIED, 2002).

El fluido no debe ser tóxico, corrosivo, ni inflamable, pero sí inerte a las contaminaciones desales solubles o minerales, y estable a las altas temperaturas, manteniendo sus propiedades según las exigencias de las operaciones, debe ser inmune al desarrollo de bacterias (PDVSA CIED, 2002).

Desde este punto de vista, es adecuado considerar que la pérdida excesiva de la fase continua a la formación genera costos y riesgos significativos en la industria petrolera, es por ellos que es necesario la utilización de aditivos controladores de filtrado que actúen de manera eficiente en las modificaciones de las propiedades físicas y químicas de los fluidos de perforación. En base a esto surge la idea de la aplicación de la cáscara de huevo para determinar su rendimiento y capacidad de controlar el filtrado en fluidos de perforación dispersos, ya que por ser este de fácil adquisición y por ser de origen orgánico se ubica en una categoría de menor procesamiento que otros aditivos obtenidos de manera química, buscando así

desarrollar una alternativa que reduzca de cierta forma el uso de aditivos comerciales además de los costos generados por la utilización de los mismos.

1.2 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo general

Evaluar la aplicación de un aditivo controlador de filtrado a base de cáscara de huevo para la formulación de fluidos de perforación dispersos.

1.2.2 Objetivos específicos

- ❖ Caracterizar el aditivo controlador de filtrado a base de cáscara de huevo para la formulación de fluidos de perforación dispersos.
- ❖ Determinar la calidad de la cáscara de huevo mediante las hojas técnicas de aceptación o rechazo para aditivos controladores de filtrado de empresas de fluidos de perforación.
- ❖ Evaluar las propiedades físicas y químicas de muestras de fluidos formulados con la cáscara de huevo como aditivo controlador de filtrado y el aditivo controlador de filtrado a base de lignito.

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Los aditivos controladores de filtrado son utilizados para controlar la pérdida de la fase líquida del fluido a través de membranas o formaciones permeables cuando el fluido de perforación está sometido a una presión diferencial, una pérdida de viscosidad o deficiencia en el revoque. Entre los aditivos comúnmente utilizados en la industria petrolera se pueden mencionar: lignito puro, Carboxi-Metil-Celulosa

(CMC), celulosa polianiónica, resinas, resinas modificadas, almidones entre otros (PDVSA CIED 2002).

La materia prima que se utilizó en esta investigación (cáscara de huevo), se puede obtener fácilmente y de percibir resultados aceptables se dispone de un nuevo material que ha futuro pueda ser usado de forma común en la perforación de pozos.

La principal razón del desarrollo de esta investigación, es que la mayoría de los controladores de filtrado de uso común en la industria petrolera de nuestro país son importados, por ende se desarrolló un aditivo a base de materia orgánica que funcione como controlador de filtrado en operaciones de construcción de pozos al comparar sus propiedades físicas y químicas con un aditivo comercial como lo es el lignito en fluidos de perforación dispersos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Urbina, J. y Zamora, Y. (2014)“Aplicación de la cáscara de café (*Coffea arábica*), como aditivo controlador de filtrado en la formulación de fluidos de perforación“, aplicaron la cáscara de café (*Coffea arábica*) como aditivo controlador de filtrado en la formulación de fluido de perforación. Iniciaron con la recolección de la cáscara de café (*Coffea arábica*), procedieron al secado, seguidamente molieron a 0,5 mm, tamizaron a 0,149 micrones, para luego caracterizar el aditivo desarrollado determinando su gravedad específica, pH, solubilidad en agua, tamaño de la partícula y su apariencia. Posteriormente procedieron a comparar la eficiencia del controlador de filtrado a base de cascara de café (*Coffea arábica*) con un aditivo de uso comercial como el lignito puro formulando tratamientos a diferentes concentraciones (2 lpb; 2,5 lpb y 3 lpb), seguidamente determinaron sus propiedades físicas de acuerdo a los procedimientos establecidos por el Instituto Americano de Petróleo en su norma API 13-B1: volumen de filtrado, espesor de revoque; viscosidad plástica, punto cedente, resistencia de gel a los 10 segundos y 10 minutos.

Sometieron el tratamiento con concentración de 2 lpb, el cual obtuvo la mejor eficiencia, a contaminaciones con sólidos de baja gravedad específica (5 y 10 lpb de bentonita) y sólidos de alta gravedad específica (5 y 10 lpb de barita), para seguidamente comparar las propiedades físicas como volumen de filtrado y espesor de revoque y determinar su efecto sobre los fluidos de perforación. Concluyeron que bajo las condiciones evaluadas el aditivo desarrollado puede ser un sustituto del lignito en la formulación de fluido de perforación dispersos, debido a que tiene un comportamiento estadísticamente similar en sus propiedades, destacando que los

resultados de filtrado en el aditivo desarrollado fueron similares al comercial y una vez contaminado el fluido controlado de filtrado a base de cáscara de café (*Coffea arabica*) con sólido de baja gravedad especifica arroja mejores resultados. El aporte de esta investigación estuvo relacionado con la norma API 13-B1 establecidos por el Instituto Americano de Petróleo la cual nos permitió determinar de las propiedades físicas de los fluidos formulados.

Sánchez, P. y Vega, M. (2016) “Uso del polvo de grafito como aditivo controlador de filtrado en la formulación de fluidos base agua” esta investigación estuvo enfocada en la posible utilización del polvo de grafito como aditivo controlador de filtrado en fluidos base agua, ellos caracterizaron mediante normas COVENIN y ASTM para saber su pH, granulometría, solubilidad en agua, gravedad específica y porcentaje de humedad equivalente, luego aplicaron una prueba de calidad para verificar si el resultado era aceptable según los estándares de calidad, realizaron pruebas de laboratorio como pH, volumen de filtrado, densidad, viscosidad, esfuerzo de geles, y punto cedente de dos fluidos formulados, el primero como fluido patrón usando como controlador de filtrado un lignito comercial y el segundo un polvo de grafito, a unas concentraciones de 1 lpb, 1.5 lpb, 2 lpb, 2.5 lpb. Finalmente compararon dichas propiedades mediante una prueba estadística de múltiples rangos en el programa Statgraphics XVII. Para determinar si existían diferencias significativas o no entre ambos aditivos usados. Concluyendo en función a los resultados obtenidos para las propiedades reológicas y a la prueba de calidad que el uso del polvo de grafito es factible ya que sus resultados fueron estadísticamente semejantes al del fluido patrón. Esta investigación aportó la aplicación de una prueba estadística de múltiples rangos en el programa Statgraphics XVII el cual nos dio a conocer las diferencias que hay en ambos aditivos.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Fluidos de perforación

Cabe reseñar que los fluidos de perforación desempeñan numerosas funciones que contribuyen a alcanzar el objetivo propuesto. Sin embargo, es notorio que el ingeniero de fluidos se asegure que las propiedades del fluido sean las indicadas para el ambiente de perforación definido. Según PDVSA CIED (2002), citada por Gonzales (2003):

El fluido de perforación es un fluido de características físicas-químicas apropiadas, puede ser aire, gas, agua, petróleo y combinaciones de agua y aceite, con diferentes contenidos de sólidos. No deben ser tóxicos corrosivos, ni inflamables, pero si inertes a contaminaciones de sales solubles o minerales y estables a cambios de temperaturas. Debe mantener sus propiedades según las exigencias de las operaciones y ser inmune al desarrollo de bacterias (p. 4)

2.2.2 Funciones de los fluidos de perforación

El propósito fundamental del fluido de perforación es ayudar a hacer rápida y segura la perforación del pozo, según PDVSA CIED (2002), los fluidos de perforación deben cumplir las siguientes funciones:

- **Capacidad de transporte:** la densidad, viscosidad y el punto cedente son las propiedades del fluido que, junto a la velocidad de circulación o velocidad anular, hacen posible la remoción y el transporte del ripio desde el fondo del hoyo hasta la superficie.
- **Enfriar y lubricar:** el fluido de perforación facilita el enfriamiento de la mecha al expulsar durante la circulación el calor generado por la fricción mecánica entre la mecha y la formación. En cierto grado, por si mismo, el

fluido actúa como lubricante y esta característica puede incrementarse con aceite o cualquier producto químico elaborado para tal fin.

- **Formar revoque:** para minimizar los problemas de derrumbe y atascamiento de tubería en formaciones permeables, es necesario cubrir la pared del hoyo con un revoque liso, delgado, flexible, de baja permeabilidad y altamente compresible. El revoque se logra incrementando la concentración y dispersión de los sólidos arcillosos.
- **Controlar la presión de la formación:** el fluido de perforación ejerce una presión hidrostática en función de la densidad y altura vertical del pozo, la cual debe controlar la presión de la formación, evitando un influjo hacia el pozo. Esta presión no depende de la geometría del hoyo.
- **Mantener la estabilidad del agujero:** la estabilidad del pozo constituye un equilibrio complejo de factores mecánicos (presión y esfuerzo) y químicos. La composición química y las propiedades del lodo deben combinarse para proporcionar un pozo estable hasta que se pueda introducir y cementar la tubería de revestimiento. Independientemente de la composición química del fluido y otros factores, el peso del lodo debe estar comprendido dentro del intervalo necesario para equilibrar las fuerzas mecánicas que actúan sobre el pozo (presión de la formación, esfuerzos del pozo relacionados con la orientación y la tectónica).
- **Capacidad de suspensión:** la resistencia o fuerza de gel es la propiedad reológica del fluido que permite mantener en suspensión las partículas sólidas cuando se interrumpe la circulación. Esta propiedad retarda la caída de los sólidos, pero no la evita.
- **Minimizar los daños al yacimiento:** La protección del yacimiento contra daños que podrían perjudicar la producción es muy importante. Cualquier reducción de la porosidad o permeabilidad natural de una formación productiva es considerada como daño a la formación. Estos daños pueden producirse como

resultado de la obturación causada por el lodo o los sólidos de perforación, o de las interacciones químicas (lodo) y mecánicas (conjunto de perforación) con la formación. El daño a la formación es generalmente indicado por un valor de daño superficial o por la caída de presión que ocurre mientras el pozo está produciendo (diferencial de presión del yacimiento al pozo).

- **Estabilidad:** la estabilidad de las formaciones permeables se logra con peso y revoque de calidad, y las impermeables con peso, cuando se trata de lutitas presurizadas, y con inhibición o con fluido 100% aceite, cuando se trata de lutitas reactivas.
- **Evaluación:** el fluido debe tener una alta calidad para facilitar la toma de núcleos y la evaluación de las formaciones perforadas, sobre todo cuando se trata de la zona productora.
- **Hidráulica:** el fluido es el medio por el cual se transmite la potencia desde la superficie hasta el fondo del pozo. El programa hidráulico, trata de obtener la máxima caída de presión en la mecha para seleccionar los valores óptimos de caudal y chorros, que faciliten una limpieza efectiva del fondo del hoyo y del espacio anular.
- **Controlar la corrosión:** Los componentes de la columna de perforación y tubería de revestimiento que están constantemente en contacto con el fluido de perforación están propensos a varias formas de corrosión. Los gases disueltos tales como el oxígeno, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno pueden causar graves problemas de corrosión, tanto en la superficie como en el fondo del pozo. En general, un pH bajo agrava la corrosión. Por lo tanto, una función importante del fluido de perforación es mantener la corrosión a un nivel aceptable.

2.2.3 Propiedades de los fluidos de perforación

Según PDVSA CIED (2002) los fluidos de perforación poseen diversas propiedades que ayudan a mantener la estabilidad y facilitan la perforación en el hoyo, estas propiedades se dividen en físicas y químicas.

Entre las propiedades físicas tenemos:

- **Densidad:** es la propiedad del fluido que tiene por función principal mantener en sitio los fluidos de la formación. La densidad se expresa por lo general en lbs/gal, y es uno de los dos factores, de los cuales depende la presión hidrostática ejercida por la columna de fluido. (p.7)
- **Viscosidad plástica:** es la viscosidad que resulta de la fricción mecánica entre las partículas suspendidas y por la viscosidad de la fase líquida continua. (p.8)
- **Punto cedente:** es una medida de la fuerza de atracción entre las partículas, bajo condiciones dinámicas o de flujo. Es la fuerza que ayuda a mantener el fluido una vez que entra en movimiento. (p.8)
- **Resistencia o fuerza de gel:** esta resistencia o fuerza de gel es una medida de la atracción física y electroquímica bajo condiciones estáticas. Está relacionada con la capacidad de suspensión del fluido y se controla, en la misma forma, como se controla el punto cedente, puesto que la origina el mismo tipo de sólido (reactivo). (p.9)
- **Filtrado API y a HP –HT:** el filtrado indica la cantidad relativa de líquido que se filtra a través del revoque hacia las formaciones permeables, cuando el fluido es sometido a una presión diferencial. Esta característica es afectada por los siguientes factores presión, dispersión, temperatura y tiempo. Se mide en condiciones estáticas, a baja temperatura y presión para los fluidos base agua y

a alta presión (HP) y alta temperatura (HT) para los fluidos base aceite. Su control depende del tipo de formación. (p.10)

- **pH:** indica si el lodo es ácido o básico. La mayoría de los fluidos base acuosa son alcalinos y trabajan con un rango de pH entre 7.5 a 11.5. Cuando el pH varía de 7.5 a 9.5, el fluido es de bajo pH y cuando varía de 9.5 a 11.5, es de alto pH. (p.10)
- **% Sólidos y líquidos:** el porcentaje de sólidos y líquidos se determina con una prueba de retorta. Los resultados obtenidos permiten conocer a través de un análisis de sólidos, el porcentaje de sólidos de alta y baja gravedad específica. (p.10)

Entre las propiedades químicas se tienen:

- **Dureza:** es causada por la cantidad de sales de calcio y magnesio disuelta en el agua o en el filtrado del lodo. El calcio por lo general, es un contaminante de los fluidos base de agua. (p.11)
- **Cloruros:** es la cantidad de iones de cloro presentes en el filtrado del lodo. Una alta concentración de cloruros causa efectos adversos en un fluido base de agua. (p.11)
- **Alcalinidad:** la alcalinidad de una solución se puede definir como la concentración de iones solubles en agua que pueden neutralizar ácidos, es una medida de la concentración total de sólidos arcillosos que contiene el fluido. (p.11)

2.2.4 Tipos de fluidos de perforación

2.2.4.1 Fluidos base agua

Es una emulsión directa de aceite en agua o simplemente es un fluido cuya fase continua es sólo agua, estos sistemas son muy versátiles y se utilizan por lo general para perforar formaciones no reactivas, productoras y no productoras de hidrocarburos. Entre los fluidos de perforación base agua se tendrán dispersos e inhibidos, de acuerdo al efecto que tienen sobre los sólidos perforados y sobre las arcillas agregadas (PDVSA CIED, 2002).

2.2.4.2 Fluidos base aceite

Consisten en una fase continua de aceite en la cual están suspendidos arcilla y otros sólidos. En los fluidos de emulsión inversa el agua está suspendida en una fase continua de aceite. Los fluidos base aceite son usados en operaciones especiales de perforación, para perforar a temperaturas extremadamente altas, en formaciones muy sensibles al agua donde no se pueden usar fluidos base agua, y en la penetración de zonas productivas que podrían ser dañadas por fluidos base agua (DATALOG, 2001).

2.2.4.3 Fluidos espumantes y aireados

Los fluidos en espuma se hacen inyectando agua y agentes espumantes en el aire o en una corriente de gas para crear una espuma viscosa y estable, también puede hacerse inyectando aire en un fluido con base en gel que contenga un agente espumante. La capacidad de transporte de las espumas viscosas depende más de la viscosidad que de la velocidad anular. Los fluidos aireados se hacen inyectando aire o gas en un fluido con base gel. Se usan para reducir la presión hidrostática (y así

evitando la pérdida de circulación en presiones con baja presión) y para incrementar la rata de penetración (DATALOG, 2001).

2.2.5 Aditivos controladores de filtrado

Los aditivos controladores de filtrado, son agentes que disminuyen la cantidad de agua que pasa hacia la formación permeable cuando el lodo es sometido a una presión diferencial. El filtrado se controla a través de dos mecanismos diferentes: primero, mediante la formación de un revoque poco permeable y segundo, incrementado la viscosidad de la fase líquida. Este incremento se logra mediante el uso de diferentes polímeros. Los materiales más utilizados para controlar filtrado son: bentonita, polímeros manufacturados, almidones y adelgazantes orgánicos, (APOCA, 2007). Algunos aditivos orgánicos son:

- **CMC (Carboxi–Metil–Celulosa):** polímero aniónico que disminuye la pérdida de agua al formar una película o envoltura alrededor de las partículas de arcilla, a las cuales se adhiere con facilidad. Entre las ventajas que ofrece este producto están la de no sufrir degradación bacteriana como el almidón y la de ser estable a temperaturas cercanas a los 250 °F. No obstante, se degrada en ambiente ácido con pH inferior a 6 y temperatura por debajo de los 140 °F. En el mercado existen tres grados de CMC: el técnico o de-baja viscosidad, el regular o de viscosidad media y el puro o de alta viscosidad. El de baja viscosidad se utiliza para reducir la pérdida de agua en lodos pesados. Requiere un rango de pH entre 8.5-9.5 para lograr su óptima solubilización. Es muy versátil y ampliamente utilizado en la industria.
- **CYPAN:** poliacrilato de sodio, es un polímero aniónico de peso molecular intermedio, este producto no sufre degradación bacteriana y es termalmente estable a temperaturas de 250 °F. Todo poliacrilato de sodio está limitado por el

ion calcio, por ello se debe utilizar soda caustica para controlar cuidadosamente el calcio en solución y tratar de mantenerlo por debajo de 100 ppm.

- **DRISPAC:** polímero celulósico polianiónico que se dispersa fácilmente en fluidos de base agua. Está disponible en dos grados de viscosidad: Regular y Superior, el primero es de cadenas largas que da viscosidad en lodos con alto contenido de sólidos, mientras que el segundo es de cadenas más cortas, por lo cual produce menos viscosidad. Este polímero controla la pérdida de agua con un aumento mínimo de la viscosidad en comparación con el Drispac Regular.
- **Almidón:** polímero natural no iónico cuya función primaria es la de proveer control de filtración, especialmente en fluidos salados y en sistemas catiónicos. Como función secundaria está la de proporcionar viscosidad. El almidón sufre degradación por: temperatura, agitación y ataque bacteriano. Además, precipita con calcio al ser agregado al mismo tiempo que se esté adicionando soda cáustica.
- **Lignito:** su función principal es la de controlar el filtrado a altas temperaturas y su función secundaria es deflocular para reducir las altas viscosidades de los fluidos base agua, causadas por exceso de sólidos arcillosos, los lignitos son menos solubles que los lignosulfonatos por carecer del grupo sulfonato. Sin embargo, su solubilidad ha sido mejorada pretratándolos con soda cáustica en una relación de 6/1. Los lignitos pueden ser sencillos o complejos: Los sencillos son poco solubles y se usan por lo general en lodos de bajo pH, los complejos son pretratados con cromo para extender el rango de temperatura, son usados en combinación con los lignosulfonatos para completar su efectividad y compensar los efectos nocivos de la temperatura sobre las propiedades del fluido de perforación (APOCA, 2007).

2.2.6 Lignosulfonato

Es un aditivo muy versátil, el cual trabaja bien en todos los fluidos de base agua. El Lignosulfonato es un ácido orgánico que proporcionan aniones (iones negativos) al fluido, actúa defloculando el fluido al neutralizar las cargas eléctricas de las arcillas, es decir, se adhieren a las partículas de bentonita incrementando la carga superficial de las mismas a niveles de pH entre 9 y 10, lo cual causa una repulsión entre esas partículas (APOCA, 2007)

2.2.7 Características principales de un fluido disperso

- Económico, tolera alto contenido de sólidos y alto pH.
- Permite un control de las propiedades geológicas a través de la dispersión de las arcillas y aporta un mínimo grado de inhibición.
- El contenido de calcio debe mantenerse por debajo de 200 mg/L para evitar contaminación con carbonatos y se debe mantener el contenido de cloruros 10.000 mg/L.

2.2.8 Origen de la cáscara de huevo

La cáscara es la cubierta exterior del huevo y tiene gran importancia, ya que mantiene su integridad física y actúa como barrera bacteriológica. Está constituida, en su mayor parte, por una matriz cálcica con un entramado orgánico, en el que el calcio es el elemento más abundante y de mayor importancia. También se encuentran en su composición otros minerales como sodio, magnesio, cinc, manganeso, hierro, cobre, aluminio y boro, en menores concentraciones (NIEVES A., 2015).

El color de la cáscara, que puede ser blanco o marrón según la raza de la gallina, depende de la concentración de pigmentos, denominados porfirinas, depositados en la matriz cálcica y no afecta a la calidad, ni a las propiedades nutritivas del huevo (NIEVES A., 2015).

La cáscara de huevo se estructura aproximadamente cinco horas después de la ovulación de la gallina y permanece allí por un espacio de 20 horas. Unas 10 horas después de la ovulación se inicia la formación de la cáscara con la deposición de cristales de carbonato de calcio, la cual continúa hasta aproximadamente las 22 horas después del comienzo de la formación del huevo (FERNÁNDEZ, M. Y LOBATO, A, 2009).

La calidad o resistencia de la cáscara depende principalmente del metabolismo mineral de la gallina y, a su vez, de una adecuada alimentación. Otros factores que influyen sobre la calidad de la cáscara son la genética, el estado sanitario y la temperatura ambiente. (NIEVES A., 2015).

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

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

Calidad: propiedad o conjunto de propiedades inherentes a algo, que permiten juzgar su valor; adecuación de un producto o servicio a las características especificadas (RAE, 2015, p. 25).

Circulación: recorrido que hace el fluido a través de las bombas, la sarta de perforación, la barrena, y el espacio anular. El fluido sale del tanque succión, hace su recorrido, y regresa nuevamente al tanque (PDVSA CIED, 2002, p.55).

Controladores de filtrado: son agentes que disminuyen la cantidad de fase líquida que pasa hacia la formación permeable del fluido de perforación, cuando este es sometido a un diferencial de presión (Energy API 2001, p. 84).

Daño a la formación: es el daño a la productividad de un pozo como resultado de una invasión a la formación de partículas o filtrado. El asfalto del petróleo crudo es capaz de dañar también algunas formaciones. El asfalto disminuye la humectabilidad de la formación (PDVSA CIED, 2002, p.58).

Deflocular: separación de partículas por neutralización de las cargas eléctricas, originada por los lignosulfonatos y lignitos. Las partículas pueden separarse individualmente o en grupos de dos o tres unidades por caras (PDVSA CIED, 2002, p.60).

Dispersión: separación de las partículas como consecuencia de la absorción o entrada de agua. Las caras cargadas de una forma negativa se atraen con los bordes de las cargas positivas (PDVSA CIED, 2002, p.61).

Filtración: es el proceso mediante el cual la fase líquida del fluido pasa hacia la formación permeable, cuando el fluido es sometido a una presión diferencial (PDVSA CIED, 2002, p.65).

Fluido: es una sustancia que toma fácilmente la forma del recipiente que lo contiene. El término incluye a líquidos y gas. Los fluidos de perforación son generalmente fluidos plásticos y pseudoplásticos. (PDVSA CIED, 2002, p. 258)

Revoque: es la deposición de partículas sólidas presentes en el fluido de perforación sobre la pared del hoyo (PDVSA CIED, 2002, p.84).

Reología: ciencia que se ocupa del estudio de la fluidez de la materia que describe el comportamiento de los fluidos de perforación (PDVSA CIED, 2002, p. 277)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación realizada es del tipo explicativa debido a que se buscó el comportamiento de la aplicación de la cáscara de huevo como un aditivo controlador de filtrado en fluidos de perforación dispersos, con la intención de reducir la pérdida de la fase continua hacia la formación. En este orden de ideas, Arias, (2006), plantea lo siguiente:

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.26).

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño que se empleó en esta investigación fue experimental, debido a que se manipuló y controló las variables que se establecieron a lo largo de las pruebas realizadas con las formulaciones de fluidos de perforación dispersos, donde la variable dependiente está constituida por las propiedades físicas y químicas de las muestras de fluidos formulados con un controlador de filtrado comercial el lignito y el controlador de filtrado obtenido de la cáscara de huevo; y la variable independiente fue la concentración de los aditivos controladores de filtrado en las muestras de los fluidos. Al respecto Arias, (2006) establece que: “La investigación experimental es un

proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos a determinadas condiciones, estímulos o tratamientos (variable independiente) para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente)". (p. 33).

3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para esta investigación se contó con un diseño de bloques al azar, donde los tratamientos correspondieron a el uso de un controlador de filtrado a base de la cáscara de huevo aplicado a diferentes concentraciones (4 lpb, 5 lpb y 6 lpb) junto con un fluido patrón que tuvo como controlador de filtrado un aditivo comercial el lignito a las mismas concentraciones, todas estas variaciones permitieron conocer cuál de las concentraciones del aditivo en estudio se comportó igual que el producto usado comercialmente con respecto a las propiedades de los fluidos y además la aplicación de este nuevo aditivo tuvo efecto sobre las propiedades de los fluidos esencialmente en la filtración. Todos los experimentos fueron repetidos 3 veces para asegurar la constancia de los resultados y tener representatividad de los mismos.

Se obtuvo 3 bloques en modelo factorial; uno para el aditivo en estudio y otro para el aditivo comercial denotados $2 \times 3 \times 3$ (dos controladores de filtrado, tres tratamientos con tres repeticiones), para un total de 21 experimentos donde fueron medidas 15 propiedades al fluido de variables dependientes como densidad, filtrado API, revoque, porcentaje de líquido, porcentaje de sólido, viscosidad plástica, punto cedente, gel a los 10 segundos, gel a los 10 minutos, pH, alcalinidad del fluido (Pm), alcalinidades del filtrado (Pf y Mf), dureza total y cloruros.

3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

3.4.1 Caracterización del aditivo controlador de filtrado a base de cáscara de huevo para la formulación de fluidos de perforación dispersos

Esta etapa se llevó a cabo en los laboratorios del Departamento de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas. Se determinó cada una de las propiedades de la cáscara de huevo y del aditivo comercial el lignito para compararlas entre sí.

Se obtuvo la cáscara de huevo mediante los siguientes pasos: se dejó secar la cáscara de huevo a temperatura ambiente (27°C) por un periodo de 24 horas, luego se utilizó un horno por 1 hora a 75 °C para retirar toda la humedad existente y se procedió a pasar por la molienda para obtener un polvo y así tener el aditivo que se usó.

Posteriormente se procedió a caracterizar el aditivo obtenido, determinando las siguientes propiedades:

- pH en agua mediante la norma ASTM-3838-80 (ver apéndice A2.1).
- Solubilidad mediante la norma COVENIN 3034 (ver apéndice A2.2).
- Humedad mediante la norma COVENIN 2508-81 (ver apéndice A2.3)
- Granulometría mediante la norma ASTM D-422 (ver apéndice A2.4).
- Densidad y gravedad específica mediante NORMA COVENIN 883 (ver apéndice A2.5).
- Color, por observación directa.

3.4.2 Determinación la calidad de la cáscara de huevo mediante hojas técnicas de aceptación o rechazo para aditivos controladores de filtrado de empresas de fluidos de perforación

En esta etapa se realizó una evaluación de la calidad de la cáscara de huevo por medio del filtrado API y el punto cedente del fluido de perforación formulado, las cuales constaron de dos formulaciones y dos repeticiones para cada una a las concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb del aditivo desarrollado cáscara de huevo para así ser comparadas con un fluido blanco (sin controlador de filtrado), luego los resultados obtenidos fueron comparados con los valores establecidos en la hoja de especificaciones técnicas de control de calidad de la empresa de fluidos de perforación ESVENCA mostrados en la tabla N° 3.1, con la cual se corroboró si el aditivo tenía el rendimiento esperado o no como agente controlador de filtrado.

Tabla N° 3.1 Hoja técnica de control de calidad de aditivo controlador de filtrado ESVENCA

PROPIEDADES	ESPECIFICACIONES
Filtrado API (ml/30 min)	18 máximo
Punto cedente (Lb/100pie ²)	10 máximo

Fuente: ESVENCA- Especificaciones Técnicas De Control De Calidad (2018)

Se formularon dos barriles de fluido disperso con una densidad de 9 lpg, al cual se le ajustó el pH, se agregó bentonita con un tiempo de agitación de 15 minutos, posteriormente se agregó el resto de los aditivos como el lignito, cáscara de huevo, lignosulfonato, potasa caustica (KOH) y barita con un tiempo de agitación entre un producto y otro de 10 minutos.

3.4.3 Evaluación de las propiedades físicas y químicas de muestras de fluidos formulados con cáscara de huevo como aditivo controlador de filtrado y el aditivo controlador de filtrado a base de lignito

En esta etapa se realizaron 18 formulaciones, cuyas concentraciones fueron de 4 lpb, 5 lpb y 6lpb para el aditivo comercial lignito, como también para el aditivo desarrollado a base de cáscara de huevo y se ejecutaron tres (3) repeticiones para cada una, se utilizó una densidad de 9 lpg. La formulación y los aditivos utilizados fueron de acuerdo a las figuras B2-B7 (ver apéndice B).

Según las normas API RP 13B-1 ISO 10414-1, las propiedades físicas y químicas se determinaron con las siguientes pruebas:

Propiedades físicas:

- pH (medidor de pH) (ver apéndice A2.1).
- Densidad del fluido (balanza de fluido) (ver apéndice A2.5).
- Viscosidad y punto cedente (viscosímetro de FANN) (ver apéndice A2.6).
- Resistencia o fuerza de Gel (viscosímetro de FANN) (ver apéndice A2.7).
- Filtración prueba API (filtro prensa API) (ver apéndice A2.8).
- Porcentaje agua-sedimento (retorta) (ver apéndice A2.9).

Propiedades químicas:

- Alcalinidad del fluido °Pm (ver apéndice A2.10).
- Alcalinidad del Filtrado °Pf (ver apéndice A2.11).
- Alcalinidad del filtrado °Mf (ver apéndice A2.12).
- Cloruros (ver apéndice A2.13).
- Dureza (ver apéndice A2.14).

Una vez determinadas dichas propiedades tanto para las formulaciones del fluido de perforación con el aditivo de uso comercial (lignito puro) como para la del aditivo desarrollado a base de cáscara de huevo, se realizó una comparación de los resultados de ambos aditivos, a través de gráficos utilizando valores promedio obtenidos para cada propiedad en estudio y un análisis estadístico utilizando el programa estadístico Statgraphics Centurion XVII para a través del análisis de varianza simple y la prueba de múltiples rangos evaluar la existencia o no de diferencias significativas entre las propiedades de los fluidos formulador con los dos controladores de filtrado.

Para facilitar la interpretación de los gráficos se precedió a identificar las diferentes formulaciones de la siguiente manera:

Tabla N° 3.2 Identificación de las siguientes formulaciones utilizadas

Formulaciones	Terminaciones
(4 lpb) Fluido de aditivo comercial a base de lignito.	4 lpb AC
(4 lpb) Fluido de aditivo desarrollado a base de cáscara de huevo.	4 lpb AD
(5 lpb) Fluido de aditivo comercial a base de lignito.	5 lpb AC
(5 lpb) Fluido de aditivo desarrollado a base de cáscara de huevo.	5 lpb AD
(6 lpb) Fluido de aditivo comercial a base de lignito.	6 lpb AC
(6 lpb) Fluido de aditivo desarrollado a base de cáscara de huevo.	6 lpb AD

3.5 TÉCNICAS DE INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Arias (2006), en su libro El Proyecto de Investigación, define técnicas como “el procedimiento o forma particular de obtener datos o información” (p.67). Asimismo, apunta que los instrumentos de recolección de datos son “cualquier recurso,

dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información”. (p.69).

3.5.1 Técnicas de recolección de datos

La información necesaria para la ejecución de la investigación se logró obtener a través de las siguientes técnicas: revisión bibliográfica de información en libros de diferentes autores, trabajos previos, manuales, informes. Observación directa de las propiedades físico-químicas de la cáscara de huevo y las propiedades físicas y químicas de los fluidos formulados, además de entrevistas no estructuradas con ingenieros y personal debidamente calificado, asociados al tema desarrollado.

3.5.2 Instrumentos de recolección de datos

Se utilizó instrumentos en la investigación como: libreta de nota y reportes para plasmar la información a medida que se irá recolectando, cámara fotográfica como método de registro de la observación indirecta, pendrive para almacenamiento digital, tablas y cuadros comparativos que ayudó al análisis del contenido, computadora (ordenador) en la que se ordenó toda la información recolectada a través de los demás instrumentos.

3.6 RECURSOS

3.6.1 Recursos humanos

Para el desarrollo de esta investigación se contó con el apoyo de profesores de la Escuela de Ingeniería de Petróleo de la Universidad de Oriente Núcleo de Monagas y con el apoyo de un grupo de profesionales conformado por ingenieros del Laboratorio de ESVENCA.

3.6.2 Recursos financieros

Los costos asociados al desarrollo de la investigación fueron financiados en su totalidad por los investigadores.

3.6.3 Recursos materiales

Se utilizaron aditivos con los cuales se elaboró los fluidos de perforación como se mencionó anteriormente (tabla 3.2), también se usó instrumentos y equipos de laboratorio para el cálculo de las pruebas como: viscosímetros, la retorta, papel filtro, bombona de nitrógeno, balanza digital, pHmetro, entre otros. Las sustancias químicas involucradas fueron: la cáscara de huevo, lignito, bentonita, barita, potasa caustica (KOH), lignosulfonato, ácido sulfúrico (H_2SO_4), cromato de potasio (K_2CrO_4), azul de metileno, buffer de amonio, naranja de metilo, entre otros.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 CARACTERIZACIÓN EL ADITIVO CONTROLADOR DE FILTRADO A BASE DE CÁSCARA DE HUEVO PARA LA FORMULACIÓN DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN DISPERSOS

Para determinar el comportamiento de la cáscara de huevo como aditivo controlador de filtrado en un fluido de perforación disperso, se realizó su caracterización comparándose con el aditivo comercial (lignito).

Tabla N° 4. 1 Características del aditivo a base de cáscara de huevo

Aditivo	Gravedad específica a 25°C	pH en agua a 25 °C	Solubilidad en agua%	Humedad %	Tamaño partícula en mm	Apariencia
Cáscara de Huevo	0,98	7,34	0,5	0,25	0,140	Color blanco
Lignito Puro	0,95	5	82	80	0,149	Color negro

En la tabla N° 4.1 se muestran las características del aditivo utilizado en la investigación, como se puede observar la gravedad específica obtenida a 25 °C fue de 0,98 para la cáscara de huevo molida y tamizada, en el cual hubo una variación mínima en comparación con los resultados obtenidos para el aditivo comercial que fue de 0,95, se puso notar que ambos aditivos poseen una gravedad específica similar. La cascara de huevo presento un pH de 7,34 el cual es considerado como un aditivo básico, según Instituto Americano del Petróleo (2001); “pH mayores a 7 se considera básico, menores a 7 se considera ácido, igual a 7 se considera neutro” a diferencia del aditivo lignito el cual presentó un pH de 5 considerándolo como un aditivo ácido. Debido a su porcentaje de solubilidad en agua, se asume que el aditivo a base de cáscara de huevo es insoluble (0,5%), a diferencia del aditivo comercial que arrojó un

valor de solubilidad de 82%, considerándolo soluble. La humedad del aditivo a base de cáscara de huevo fue de 0,25%, se consideró que el porcentaje de humedad es bajo a diferencia del aditivo comercial el cual posee un porcentaje de humedad de 80%. Para obtener un tamaño de partícula adecuado se pasó por la molienda de 2 mm, 1 mm y 0,5 mm para luego ser tamizado a 0,270 mm, 0,200 mm, 0,140 mm, 0,60 mm, y 0,35 mm, decidiéndose trabajar con el de 0,200 por tener una granulometría similar a la del lignito. La cáscara de huevo una vez molida y tamizada se tornó a un color blanco a diferencia del aditivo comercial que su color es marrón oscuro.

4.2 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA CÁSCARA DE HUEVO MEDIANTE LAS HOJAS TÉCNICAS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO PARA ADITIVOS CONTROLADORES DE FILTRADO DE EMPRESAS DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN

Según los requerimientos de la hoja de especificaciones técnicas de control de calidad de la empresa ESVECA el uso del aditivo lignito puro como controlador de filtrado en fluidos de perforación dispersos debe cumplir con las especificaciones de controlador de filtrado y punto cedente establecidas por la empresa, las cuales no deben superar un máximo de 18 ml/30 min para el filtrado del fluido y un máximo de 10 lb/100pie² para el punto cedente como se muestran en la tabla N° 4.2.

Tabla N° 4.2 Especificaciones técnicas de control de la calidad de la empresa ESVECA

PROPIEDADES	ESPECIFICACIÓN
Filtrado API (ml/30min)	18 máximo
Punto Cedente (lb/100pies²)	10 máximo

Fuente: ESVENCA- Especificaciones Técnicas De Control De Calidad (2018)

En la tabla N° 4.3 se muestran los resultados obtenidos de los fluidos formulados. Se puede observar que el fluido blanco (sin controlador de filtrado)

arrojo un valor promedio de filtrado de 21 ml/30 min siendo esto normal ya que este no poseía ningún aditivo que permitiera controlar la pérdida del fluido. Los valores promedios del filtrados del fluido formulado con el aditivo comercial a las concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb entran en un rango de 14,5 a 16 ml/30min, siendo menores a los obtenidos con el fluido patrón, esta disminución se debe a que el lignito es un aditivo parcialmente soluble el cual posee una función de controlar el filtrado, este al ser adicionado al fluido forma una capa fina e impermeable que impide la perdida excesiva de la fase continua y por consiguiente disminuyó el volumen del filtrado.

En la tabla N° 4.3 también podemos observar los valores obtenidos para el fluido formulado con el aditivo desarrollado a base de cáscara de huevo a las concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb, los valores obtenidos entran en un rango de 16,5 a 17,5 ml/30min siendo estos valores similares a los obtenidos para el aditivo lignito y menores en comparación al fluido patrón (sin controlador de filtrado). Se pudo observar que el fluido a base de cáscara de huevo cumplió la función de disminuir el exceso de la perdida de la fase continua, debido a que el calcio aportado por la cáscara de huevo actuó como un agente de obstrucción, es decir, que este formó una capa o revoque de filtración para prevenir la pérdida total de fluido, por ende hay una disminución en el volumen del filtrado del fluido.

Tabla N° 4.3 Valores de Filtrado API y punto cedente para los fluidos formulados con cáscara de huevo

TRATAMIENTOS	Filtrado API ml/30 min	Punto Cedente lb/100pie²
FLUIDO PATRÓN	21	7,5
4 lpb AC	15	4
4 lpb AD	16,5	5
5 lpb AC	16	3,5
5 lpb AD	17,5	4,5
6 lpb AC	14,5	3
6 lpb AD	16,5	4

Por otra parte el fluido formulado con el aditivo comercial lignito arrojó valores menores de punto cedente a los del fluido blanco, los valores obtenidos para el lignito a las diferentes concentraciones entraron en un rango de 3 a 4 lb/100pie² como se observa en la tabla N° 4.3, esta disminución se debe a que el lignito posee cargas aniónica que se encargan de modificar el equilibrio de las fuerzas que actúan sobre la partícula de arcilla, pasando de una fuerza de atracción (floculación) a una fuerza repulsiva (desfloculación), es decir, las partículas en vez de unirse, se rechazan o tienden a evitar cualquier contacto entre ellas, es por ello que el punto cedente tiende a disminuir.

Los valores obtenidos para el punto cedente de la cáscara de huevo entraron en un rango de 4 a 5 lb/100pie² siendo similares a los valores obtenidos de los fluidos formulados con el aditivo comercial (lignito) y menores a los valores del punto cedente del fluido patrón, considerando que la disminución de este pudo deberse a que la cascara de huevo tendió a disociar las partículas floculadas en el fluido, es decir, los cationes que causan la fuerza de atracción pudieron ser eliminados en la forma de un precipitado insoluble, lo cual redujo la fuerza de atracción ente las partículas colosales del fluido y por ende hubo un descenso en el punto cedente.

4.3 DETERMINACIÓN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE MUESTRAS DE FLUIDOS FORMULADOS CON LA CÁSCARA DE HUEVO COMO ADITIVO CONTROLADOR DE FILTRADO Y EL ADITIVO CONTROLADOR DE FILTRADO A BASE DE LIGNITO

En esta fase se determinaron las propiedades físicas y químicas de los fluidos de perforación dispersos formulados con el aditivo comercial lignito y el desarrollado a base de cáscara de huevo, variando la concentración de cada uno de ellos y se observó el efecto sobre las propiedades físicas y químicas de los fluidos.

- **FILTRADO API**

Una de las propiedades físicas que se compararon fue el filtrado API, tomándose concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb tanto del aditivo comercial, en este caso lignito, como también del aditivo desarrollado a base de cáscara de huevo, para así comparar estadísticamente la eficiencia del aditivo desarrollado como controlador de filtrado.

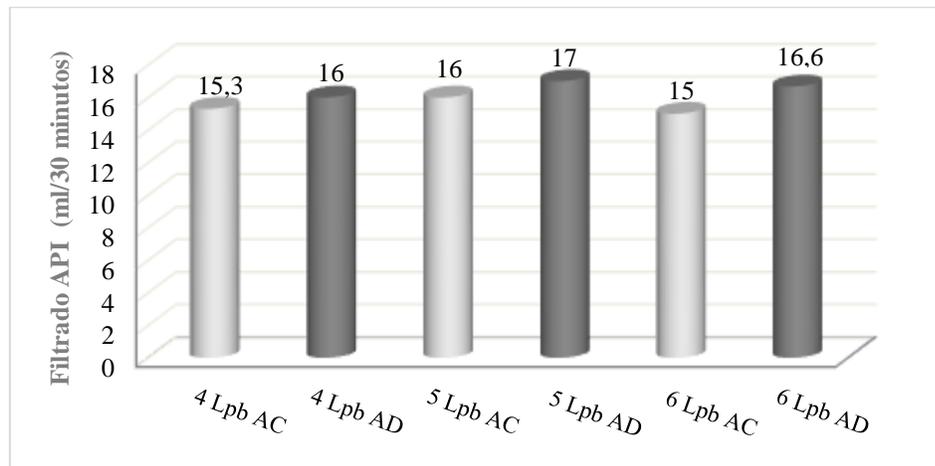


Gráfico N° 4.1 Comportamiento del filtrado API de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones.

Como se observa en el gráfico N° 4.1 los resultados obtenidos para el volumen de filtrado API en el fluido desarrollado a base de cáscara de huevo con respecto al fluido a base de lignito fueron similares, ambos fluidos a las diferentes concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb arrojaron valores de volumen de filtrado que entran en un rango de 15 a 17 ml/30min.

El volumen de filtrado para el fluido formulado con el aditivo lignito se mantuvo relativamente constante debido a que el lignito tiene una habilidad de sellar formaciones creando una capa delgada de lodo que evita la pérdida excesiva de la

fase continua a la formación, por otra parte el fluido formulado con cáscara de huevo impidió la pérdida del fluido debido a que el calcio aportado por la cáscara de huevo actuó como un agente de obstrucción, es decir, que este formó una capa o revoque de filtración para prevenir la pérdida total de fluido, ya que la pérdida de este puede ocasionar inestabilidad de las lutitas por efecto de hidratación e hinchamiento, incluso puede causar problemas operacionales como la pega de tubería, limpieza inadecuada de los recortes, además puede causar pruebas invalidas de muestreo del fluido de la formación, las cuales son pruebas de flujo del fluido de la formación que pueden dar resultados que se refieren al filtrado y no a los fluidos del yacimiento, tal como lo indica el Instituto Americano de Petróleo, (2001).

Tabla N° 4.4 Datos obtenidos del análisis de varianza de las muestras del filtrado API de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-f	Valor-p
A:controlador de filtrado	10,6	5	2,1	2,7	0,0706
Residuos	9,3	12	0,7		
Total (corregido)	20,0	17			

Posteriormente se realizó un análisis de varianza como se observa en la tabla N° 4.4 a los valores del filtrado API de los fluidos dispersos formulados a base de cáscara de huevo y a los formulados a base de lignito, mediante el uso del programa estadístico Statgraphics Centurion XVII para así conocer si existe o no alguna diferencia estadística entre el filtrado de ambos fluidos, dando como resultado que el valor-P (0,0706) de la razón-F es mayor que 0,05, indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de los valores del volumen de filtrado del aditivo desarrollado a base de cáscara de huevo y las del aditivo comercial a base de lignito, con un nivel del 95,0% de confianza. Al no existir diferencias

estadísticas significativas entre los tratamientos, no se procedió a realizar la prueba de múltiples rangos, cuya finalidad es mostrar en cuales tratamientos existe diferencias.

- **ESPESOR DEL REVOQUE**

En el gráfico 4.2 se puede observar que los valores obtenidos del espesor de revoque del aditivo comercial a base de lignito fueron ligeramente mayores a los del aditivo desarrollado a base de cáscara de huevo a las concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb.

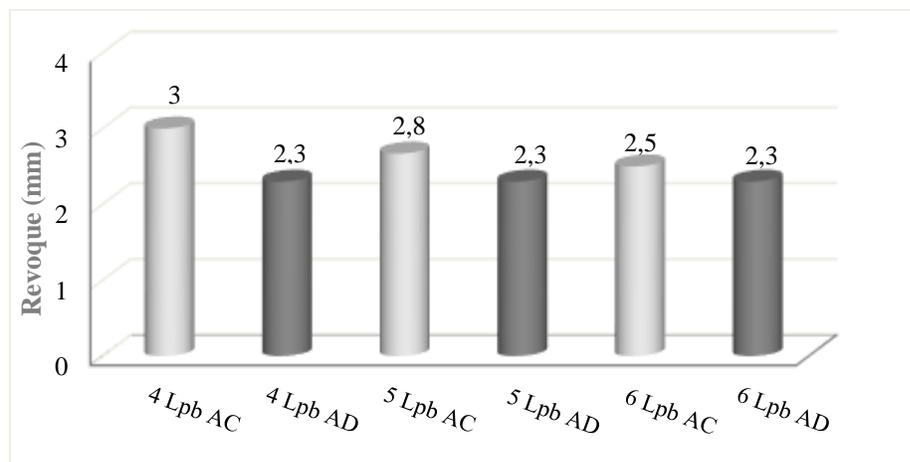


Gráfico N° 4.2 Comportamiento del revoque de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones

Los sólidos aportados para impedir la pérdida de filtrado y formar el revoque de los fluidos formulados con lignito fueron ligeramente mayores a los aportado por el calcio de la cáscara de huevo, esto pudo deberse a que la gravedad específica del lignito es menor a la del aditivo desarrollado por lo tanto hubo una mayor adición en el volumen de agregado del aditivo comercial, formando así un revoque ligeramente más grueso. La cáscara de huevo al tener una gravedad específica un poco mayor a la del lignito, proporcione al fluido menor cantidad en el volumen de agregado del

aditivo, es por ello que la cáscara pudo haber aportado al fluido menor cantidad de partículas sólidas formando así un revoque más delgado por las partículas filtradas, en comparación a los del lignito, teniendo el fluido a base de cáscara de huevo un espesor de 2,3 mm para cada una de las concentraciones a diferencia del lignito que entraron en un rango de 3 a 2,5 mm como se observa en la gráfico N° 4.2 Ambos aditivos presentaron buena eficiencia para formar el revoque, de lo contrario podría causar problemas severos como puntos apretados en el pozo que causan un arrastre excesivo, mayor dificultad para bajar los revestidores además pueden ocasionar pegadura por presión diferencial de la columna de perforación debido a que tiene mayor superficie de contacto y al desarrollado rápido de las fuerzas de adhesión causado por la tasa de filtración más alta, dificultades con la cementación primaria debido al desplazamiento inadecuado del revoque, así lo indica el Instituto Amaricado de Petróleo, (2001).

Tabla N° 4.5 Datos obtenidos del análisis de varianza de las muestras del revoque de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:controlador de filtrado	1,2	5	0,2	4,6	0,0142
Residuos	0,6	12	0,05		
Total (corregido)	1,9	17			

Luego se procedió a realizar un análisis de varianza a los valores del revoque de ambos fluidos formulados, como se observa en la tabla N° 4.5, mediante el uso del programa estadístico Statgraphics Centurion XVII para conocer si existe o no alguna diferencia estadística entre el revoque de ambos fluidos, dando como resultado que el valor-P (0,0142) de la razón-F es menor que 0,05, indicando que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de revoque del aditivo formulado a base de cáscara de huevo y el formulado a base de lignito. Debido a que el análisis de

varianza mostró que existe diferencia estadística se procedió a realizar una prueba de múltiples rangos para poder determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

Tabla N° 4.6 Pruebas de Múltiple Rangos para Revoque de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
AD 6LPB	3	2,3	X
AD 5LPB	3	2,3	X
AD 4LPB	3	2,3	X
AC 6LPB	3	2,5	XX
AC 5LPB	3	2,8	XX
AC 4LPB	3	3,0	X

En la tabla N° 4.6 podemos observar los resultados obtenidos de la prueba de múltiples rangos para el revoque, en la cual indica que hay una diferencia estadística entre los tratamientos evaluados, ya que, se han formado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's, se debe tomar en cuenta que no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El primero grupo homogéneo se formó para los tratamientos con concentraciones de 6 lpb, 5 lpb y 4 lpb del aditivo desarrollado, dando a conocer que al incrementar la concentración no varía el espesor del revoque por lo tanto no existen diferencias estadísticas entre sí, el segundo grupo fue para los tratamientos con concentraciones de 6 lpb y 5 lpb del aditivo comercial y el tercero fue para los tratamientos con concentraciones de 5 lpb y 4 lpb del aditivo comercial el cual obtuvo la mayor diferencia estadística con respecto a los valores obtenidos para el fluido a base de cáscara de huevo a las concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb y a las de 6 lpb para el aditivo comercial. En el apéndice C2.1 se puede observar los valores obtenidos de las medias que son significativamente diferentes de otras.

• VISCOSIDAD PLÁSTICA

En el grafico N° 4.3 se observa el comportamiento de la viscosidad plástica del fluido desarrollado a base de cáscara de huevo y el fluido comercial a base de lignito, se puede notar que el fluido formulado con el aditivo comercial arrojó para cada una de las concentraciones valores ligeramente menores de viscosidad plástica con respecto a los del aditivo desarrollado, esto quiere decir que los tratamientos realizados con el lignito como agente controlador de filtrado genera una menor resistencia al flujo por efecto de la fricción entre las partículas adicionadas, sabiendo que el lignito tiene como función secundaria deflocular, reduciendo las altas viscosidades de los fluidos causadas por exceso de sólidos arcillosos.

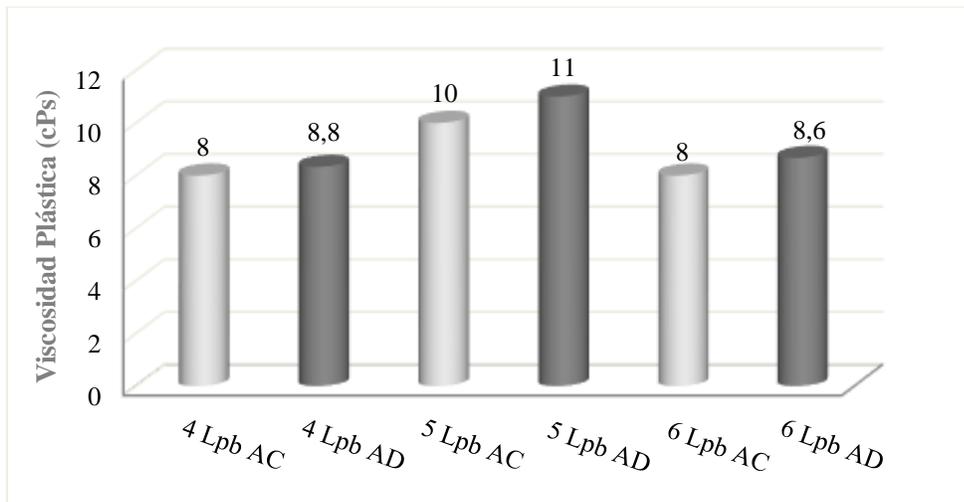


Gráfico N° 4.3 Comportamiento de la viscosidad plástica de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones

Los fluidos formulados a base de cáscara de huevo para las concentraciones 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb arrojaron valores ligeramente superiores a los del lignito, indicando que por tener una mayor viscosidad plástica generan una mayor resistencia al flujo por efecto de la fricción de las partículas adicionadas en los tratamientos formulados,

esto fundamentado en que la viscosidad plástica es el resultado de la fricción mecánica entre sólidos, sólidos y líquidos, líquidos y líquidos (Bermúdez D. Y Pereira H. 2012).

Tabla N° 4.7 Datos obtenidos del análisis de varianza de las muestras de la viscosidad plástica de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:controlador de filtrado	21,2	5	4,2	3,98	0,0232
Residuos	12,8	12	1,0		
Total (corregido)	34,1	17			

Posteriormente se procedió a realizar un análisis de varianza a la viscosidad plástica de los fluidos formulados con el aditivo comercial y el desarrollado como se observa en la tabla N° 4.7 mediante el uso del programa estadístico Statgraphics Centurion XVII para conocer si existe o no alguna diferencia estadística entre las viscosidades de ambos fluidos, dando como resultado que el valor-P (0,0232) de la razón-F es menor que 0,05, indicando que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la viscosidad plástica del aditivo formulado a base de cáscara de huevo y el formulado a base de lignito. Debido a que el análisis de varianza mostró que existe diferencia estadística se procedió a realizar una prueba de múltiples rangos para poder determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

Tabla N° 4.8 Pruebas de múltiple rangos para viscosidad plástica de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
AC 4LPB	3	8,0	X
AC 6LPB	3	8,0	X
AD 6LPB	3	8,6	XX
AD 4LPB	3	8,8	XX
AC 5LPB	3	10,0	XX
AD 5LPB	3	11,0	X

En la tabla N° 4.8 podemos observar los resultados obtenidos de la prueba de múltiples rangos para la viscosidad plástica de los fluidos formulados con el aditivo comercial y el desarrollado, en la cual indica que hay una diferencia estadística entre cada uno de los tratamientos evaluados, puesto que, se han formado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's, se debe tomar en cuenta que no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El primero grupo homogéneo se creó para los tratamientos con concentraciones de 4 lpb y 6 lpb del aditivo comercial y 6 lpb y 4 lpb del aditivo desarrollado, dando a conocer que los valores obtenidos de viscosidad plástica para las mencionadas concentraciones fueron semejantes, es por ello que no existen diferencias estadísticas entre sí, el segundo grupo fue para los tratamientos con concentraciones de 6 lpb y 4 lpb del aditivo desarrollado y 5 lpb del aditivo comercial donde se evidenció que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ellos y el tercero grupo homogéneo que se formó fue para los tratamientos con concentraciones de 5 lpb del aditivo desarrollado y 5 lpb del aditivo comercial entre los cuales no existe diferencia estadística entre ambos pero obtuvieron la mayor diferencia estadística con respecto a los valores obtenidos para las otras concentraciones de ambos aditivos. En el apéndice C2.2 se puede observar los valores obtenidos de las medias que son significativamente diferentes de otras.

- **PUNTO CEDENTE**

En el gráfico N° 4.4, se pueden observar los valores de punto cedente para los fluidos formulados a las concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb del aditivo comercial lignito, el cual arrojó valores que entraron en un rango de 3 a 5,3 lb/100pie² siendo menores a los valores de punto cedente del aditivo de desarrollado a base de cáscara de huevo, esto se debe a que el lignito tiene la función de desflocular los sólidos

neutralizando las cargas electroquímicas de las arcillas para así eliminar la atracción entre las partículas, disminuyendo así el punto cedente.

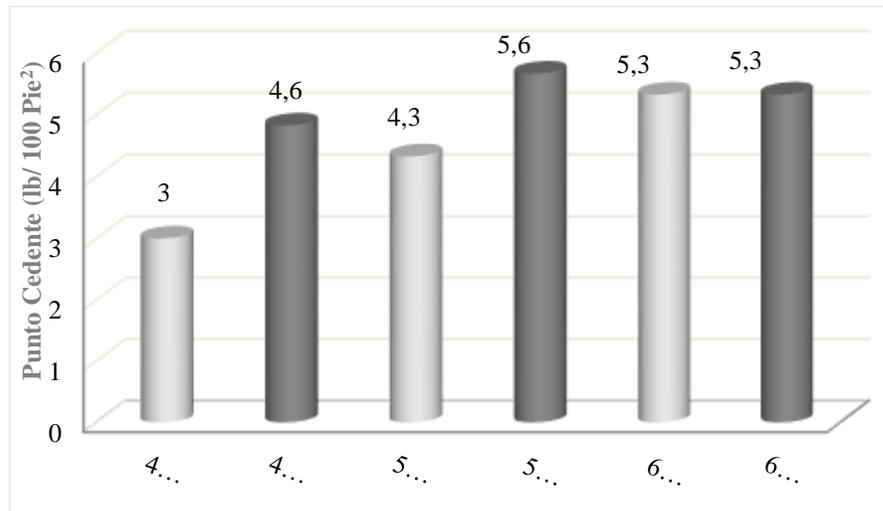


Gráfico N° 4.4 Comportamiento del punto cedente de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones

La cáscara de huevo arrojó valores de punto cedente que entraron en un rango de 4,6 a 5,6 lb/100pie² como muestra el gráfico N° 4.4, siendo un poco mayores a los del lignito, se considera que los fluidos con cáscara de huevo pudieron arrojar valores similares a los del lignito ya que la cascara de huevo tendió a disociar las partículas floculadas en el fluido, es decir, los cationes que causan la fuerza de atracción pudieron ser eliminados en la forma de un precipitado insoluble, lo cual redujo la fuerza de atracción entre las partículas colosales del fluido y por ende se tuvo valores similares de punto cedente en comparación con el lignito, sabiendo que lo que se busca es mantener una buena suspensión de los sólidos mediante un aditivo alternativo, en este caso cáscara de huevo, y evitar la variación excesiva del punto cedente, o de la fuerza de atracción entre las partículas, bajo condiciones dinámicas, manteniendo la capacidad de limpieza que posee el fluido de perforación, tal como lo establece PDVSA CIED, (2002).

Tabla N° 4.9 Análisis de varianza de las muestras del punto cedente de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-f	Valor-p
a:controlador de filtrado	14,2	5	2,8	3,49	0,0354
Residuos	9,8	12	0,8		
Total (corregido)	24,1	17			

Por consiguiente se procedió a realizar un análisis de varianza al punto cedente de los fluidos formulados con el aditivo comercial y el desarrollado como se observa en la tabla N° 4.9 mediante el uso del programa estadístico Statgraphics Centurion XVII para conocer si existe o no alguna diferencia estadística entre los puntos cedentes de ambos fluidos, dando como resultado que el valor-P (0,0354) de la razón-F es menor que 0,05, indicando que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del punto cedente del aditivo formulado a base de cáscara de huevo y el formulado a base de lignito. Debido a que el análisis de varianza mostró que existe diferencia estadística se procedió a realizar una prueba de múltiples rangos para poder determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

Tabla N° 4.10 Pruebas de múltiple rangos para punto cedente los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
AC 4LPB	3	3,00	X
AC 5LPB	3	4,33	XX
AD 4LPB	3	4,83	X
AC 6LPB	3	5,33	X
AD 6LPB	3	5,33	X
AD 5LPB	3	5,66	X

En la tabla N° 4.10 podemos observar los resultados obtenidos de la prueba de múltiples rangos para el punto cedente de los fluidos formulados con el aditivo comercial y el desarrollado, en la cual indica que hay una diferencia estadística entre

los tratamientos evaluados, ya que, se han formado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's, se debe tomar en cuenta que no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El primero grupo homogéneo se creó para los tratamientos con concentraciones de 4 lpb y 5 lpb AC en las cuales los valores obtenidos de punto cedente para ambas concentraciones fueron semejantes, es por ello que no existen diferencias estadísticas entre sí, se mostró un segundo grupo para los tratamientos con concentraciones de 5 lpb y 6 lpb AC y 4lpb, 5lpb y 6 lpb AD donde se comprobó que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ellas pero obtuvieron la mayor diferencia estadística con respecto a los valores obtenidos para la concentración de 4 lpb AC. En el apéndice C2.3 se puede observar los valores obtenidos de las medias que son significativamente diferentes de otras.

- **GELES A LOS 10 SEGUNDOS**

En el gráfico N° 4.5 se muestran los resultados obtenidos para los fluidos formulados con el aditivo comercial lignito y los formulados con el aditivo desarrollado a base de cáscara de huevo a las diferentes concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb. Observándose que el comportamiento de los geles a los 10 segundos para los fluidos formulado con el controlador de filtrado comercial entro en un rango de 3,3 a 4 lb/100pie² siendo ligeramente menores a los valores del aditivo desarrollo, ya que el lignito disminuye o impide la interacción de las partículas, disminuyendo en este caso la tendencia a la gelificación haciendo que el esfuerzo de corte aplicado sea ligeramente menor a los aplicados para los fluidos formulados con cáscara de huevo.

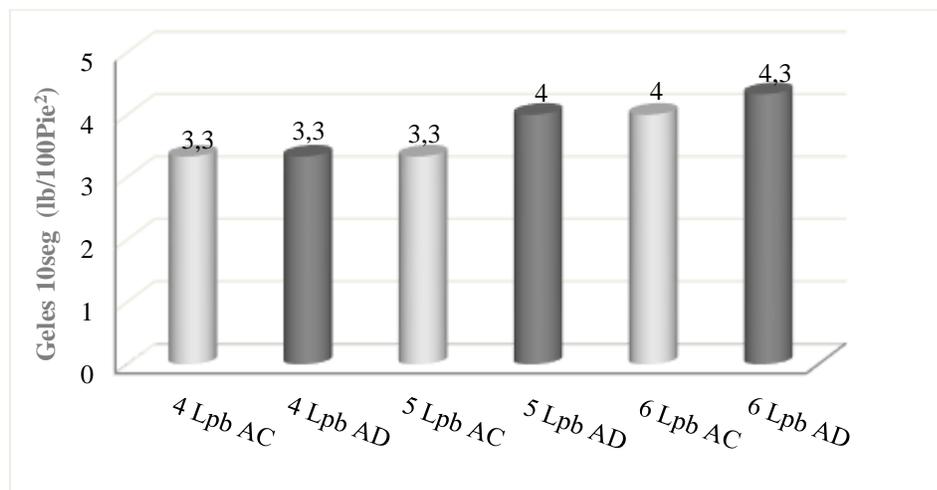


Gráfico N° 4.5 Comportamiento de los geles a los 10 segundos de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones

Los fluidos formulados con el controlador de filtrado a base de cáscara de huevo arrojaron valores que están en un rango entre 3,3 a 4,4 lb/100pie² siendo el esfuerzo de corte aplicado para estos tratamientos ligeramente mayor a los del fluido con el aditivo comercial, pudiéndose decir que este incremento es debido a que existe una mayor atracción física y electroquímica de los sólidos que están suspendidos en el fluido a base de cáscara de huevo, tomando en cuenta que el esfuerzo de gel mide el grado de tixotropía de un fluido, que no es más que la propiedad demostrada por algunos fluidos que forman una estructura de gel cuando están estáticos, regresando luego al estado original cuando se aplica un esfuerzo de corte (Tavio, Y. Otahola, J. 2012).

Tabla N° 4.11 Datos obtenidos del análisis de varianza de las muestras del esfuerzo de gel a los 10 segundos de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-f	Valor-p
a:controlador de filtrado	2,9	5	0,5	1,51	0,2570
Residuos	4,6	12	0,3		
Total (corregido)	7,6	17			

Por consiguiente se le realizó un análisis de varianza a al esfuerzo de gel a los 10 segundos de los fluidos formulados como se observa en la tabla N° 4.11 mediante el uso del programa estadístico Statgraphics Centurion XVII, dando como resultado que el valor-P (0,2570) de la razón-F es mayor que 0,05, indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de los valores del esfuerzo de gel a los 10 segundos del aditivo desarrollado a base de cáscara de huevo y las del aditivo comercial a base de lignito, con un nivel del 95,0% de confianza por ende al no existir diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, no se procedió a realizar la prueba de múltiples rangos, cuya finalidad es mostrar en cuales tratamientos existe diferencias.

- **GELES 10 MINUTOS**

Para el esfuerzo de gel a los 10 minutos se observa en el gráfico N° 4.6 los valores obtenidos para las diferentes concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb de los fluidos formulados con los controladores a base de lignito y cáscara de huevo. El fluido formulado con el aditivo lignito arrojó valores de geles a los 10 minutos de 4,3 lb/100pie² para cada una de las concentraciones. El esfuerzo de corte que se les aplicó a estos fluidos fueron menor en comparación al aplicado los fluidos con el aditivo cáscara de huevo, ya que los valores de geles arrojados para los fluidos formulados con el controlador de filtrado cáscara de huevo fueron ligeramente mayores, es decir que tendieron a gelatinizarse más que los fluidos a base de lignito.

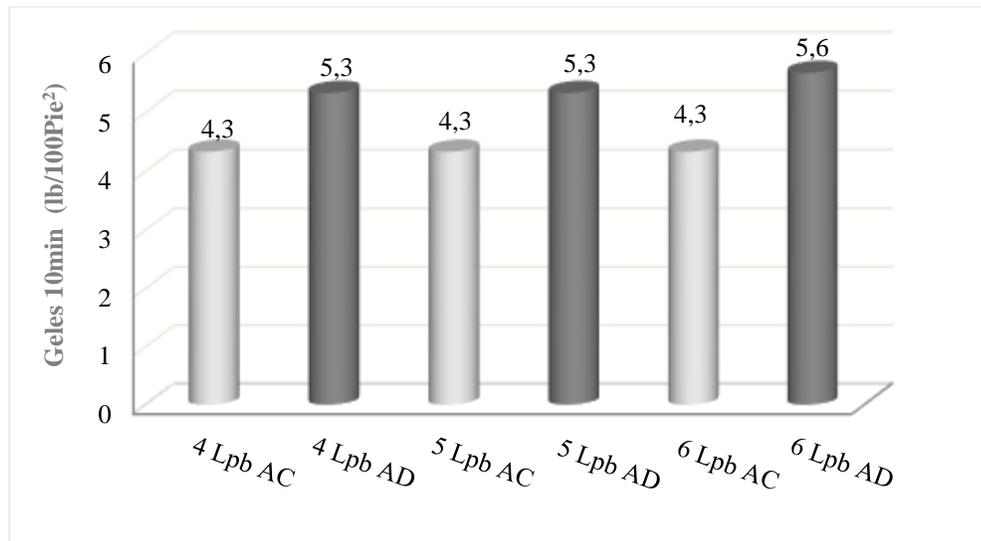


Gráfico N° 4.6 Comportamiento de los geles a los 10 minutos de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones

Se pudo notar que los valores de geles a los 10 minutos para los fluidos formulados con el controlador de filtrado a base de cáscara de huevo a las concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb entraron en un rango 5,3 a 5,6 lb/100pie² siendo mayores a las de los fluidos con el aditivo comercial como se muestra en el gráfico N° 4.6 observando que el aditivo desarrollado tienden a gelatinizarse más que los fluidos con el aditivo comercial, por lo cual el esfuerzo de corte que debe aplicarse debe ser mayor para que regrese a su estado original. Al igual que el punto cedente el esfuerzo de gel es una medida de las fuerzas de atracción en los fluidos, la diferencia entre ambos es que uno se mide bajo condiciones estáticas y el otro bajo condiciones dinámicas. La mayoría de los fluidos de perforación base agua presentan la propiedad de formar una estructura de gel cuando están bajo condiciones estáticas (Tavio, Y. Otahola, J. 2012).

Tabla N° 4.12 Datos obtenidos del análisis de varianza de las muestras del esfuerzo de gel a los 10 minutos de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-f	Valor-p
a:controlador de filtrado	5,7	5	1,1	1,16	0,3848
Residuos	12,0	12	1,0		
Total (corregido)	17,7	17			

Por consiguiente se procedió a realizar un análisis de varianza a al esfuerzo de gel a los 10 minutos de los fluidos formulados como se observa en la tabla N° 4.12 mediante el uso del programa estadístico Statgraphics Centurion XVII, dando como resultado que el valor-P (0,3848) de la razón-F es mayor que 0,05, indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de los valores del esfuerzo de gel a los 10 minutos del aditivo desarrollado a base de cáscara de huevo y las del aditivo comercial a base de lignito, con un nivel del 95,0% de confianza por ende al no existir diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, no se procedió a realizar la prueba de múltiples rangos, cuya finalidad es mostrar en cuales tratamientos existe diferencias.

- **DENSIDAD**

Se consideró necesario determinar la densidad tanto de los fluidos formulados con el aditivo cáscara de huevo como los fluidos formulados con el aditivo lignito, con la finalidad de saber si la densidad variaba al hacer un incremento de concentración.

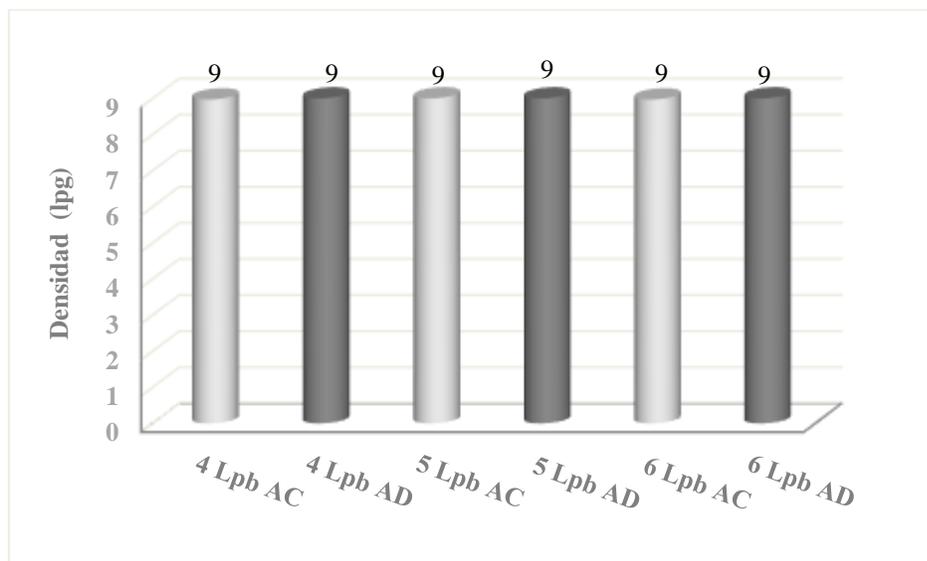


Gráfico N° 4.7 Comportamiento de la densidad de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones

En la gráfica 4.7 se puede observar que no hubo variación entre la densidad de los fluidos, tanto para el fluido desarrollado con cáscara de huevo como para el fluido formulado a base de lignito, es decir, que el aumento de las concentraciones no influyó en la densidad de los fluidos, ya que las formulaciones realizadas para cada uno de los fluidos contó con un balance de masa realizado para una densidad de 9 lpb, tomando en cuenta que esta es la propiedad del fluido que tiene por función principal mantener en sitio los fluidos de la formación (PDVSA CIED, 2002).

Al no haber diferencia en ninguno de los valores de densidad obtenidos, no hubo una variación estadística significativa en ninguna de las concentraciones de los fluidos formulados a base de cáscara de huevo y a base de lignito puro, por ende el análisis de varianza realizado mediante el uso del programa estadístico Statgraphics Centurion XVII no arrojó ningún valor.

- **PORNCENTAJE DE SÓLIDOS**

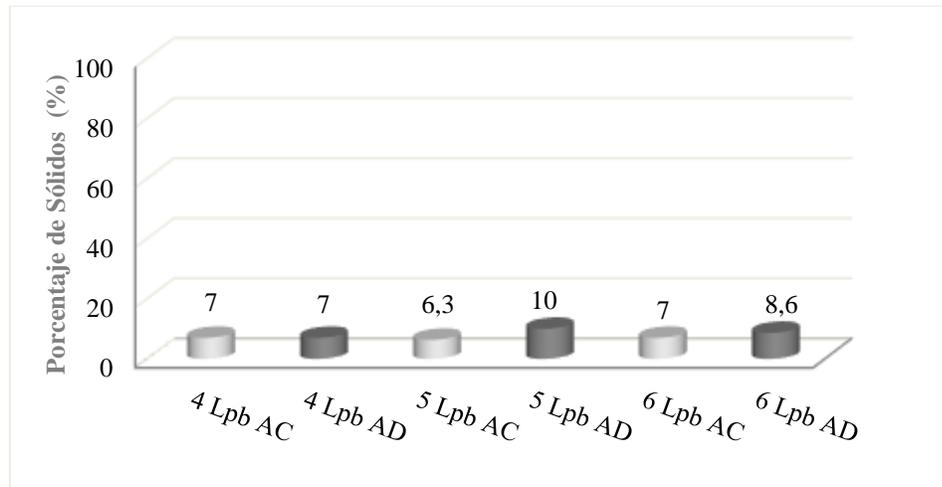


Gráfico N° 4.8 Comportamiento del porcentaje de sólidos de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones

Se puede observar en el gráfico N° 4.8 que en los fluidos formulados con el controlador de filtrado comercial arrojo vales de porcentaje de sólidos que entran en un rango de 6,3 a 7% a las diferentes concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb considerándose que no existió un aporte excesivo de sólidos en dicho fluido. Para el fluido formulado con el controlador de filtrado desarrollado el aporte de los sólidos al fluido fue mayor, ya que los valores de porcentaje de solido entran en un rango de 7 a 10% como se muestran en el gráfico N° 4.8 siendo ligeramente mayores a los del fluido a base de lignito, tomando en cuenta que los tipos y cantidades de sólidos presentes en los sistemas de fluidos determinan la densidad del fluido, la viscosidad, los esfuerzos de gel, la cantidad del revoque y el control de filtración por ende es necesario conocer el porcentaje de sólidos para cuantificar la eficiencia de los equipos de control de sólidos, en base a los resultados del análisis de sólidos (PDVSA CIED,2002).

Tabla N° 4.13 Datos obtenidos del análisis de varianza de las muestras de porcentaje de sólidos

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-f	Valor-p
a:controlador de filtrado	28,6	5	5,7	1,16	0,3831
Residuos	59,3	12	4,9		
Total (corregido)	88,0	17			

Se procedió a realizar un análisis de varianza al porcentaje de sólidos de los fluidos formulados como se observa en la tabla N° 4.13 mediante el uso del programa estadístico Statgraphics Centurion XVII, dando como resultado que el valor-P (0,3831) de la razón-F es mayor que 0,05, indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de los valores del porcentaje de sólidos del aditivo desarrollado a base de cáscara de huevo y las del aditivo comercial a base de lignito, con un nivel del 95,0% de confianza por ende al no existir diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, no se procedió a realizar la prueba de múltiples rangos, cuya finalidad es mostrar en cuales tratamientos existe diferencias.

- **PORCENTAJE DE LÍQUIDO**

Se puede observar en el gráfico N° 4.9 que en los fluidos formulados con el controlador de filtrado comercial (lignito) y el desarrollado a base de cáscara de huevo a las concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb arrojaron valores del porcentaje de líquidos similares y menores al 90%, sabiendo que, el porcentaje de sólidos y líquidos se determina con una prueba de retorta y los resultados obtenidos permiten conocer a través de un análisis de sólidos, el porcentaje de sólidos de alta y baja gravedad específica así como indica PDVSA CIED 2002.

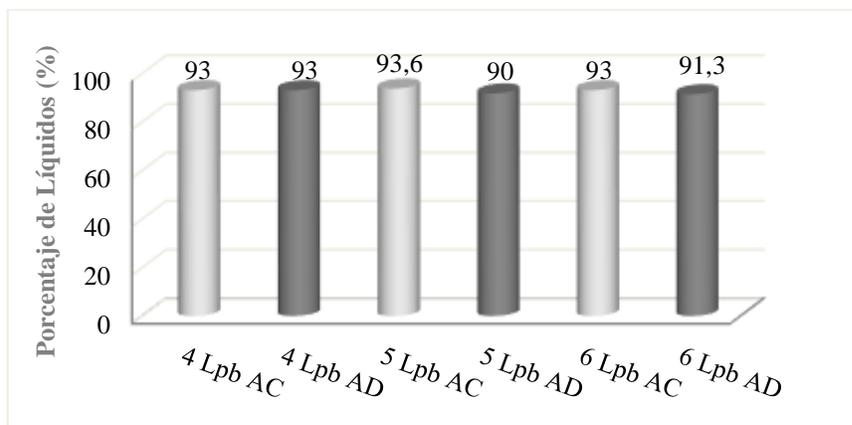


Gráfico N° 4.9 Comportamiento del porcentaje de líquidos de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones

Se realizó un análisis de varianza al porcentaje de líquidos de los fluidos formulados con el aditivo comercial lignito y el desarrollado a base de cáscara de huevo como se observa en la tabla N° 4.14 mediante el uso del programa estadístico Statgraphics Centurion XVII, dando como resultado que el valor-P (0,3831) de la razón-F es mayor que 0,05, indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de los valores del porcentaje de líquidos del aditivo desarrollado a base de cáscara de huevo y las del aditivo comercial a base de lignito, con un nivel del 95,0% de confianza por ende al no existir diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, no se procedió a realizar la prueba de múltiples rangos, cuya finalidad es mostrar en cuales tratamientos existe diferencias.

Tabla 4.14 Datos obtenidos del análisis de varianza de las muestras de porcentaje de líquidos de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-f	Valor-p
a:controlador de filtrado	28,6	5	5,7	1,16	0,3832
Residuos	59,3	12	4,9		

- **MBT (Methylene Blue Test)**

Se realizó la prueba MBT a los fluidos formulados con el controlador de filtrado a base de cáscara de huevo y a los fluidos formulados con el controlado de filtrado lignito a las concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb.

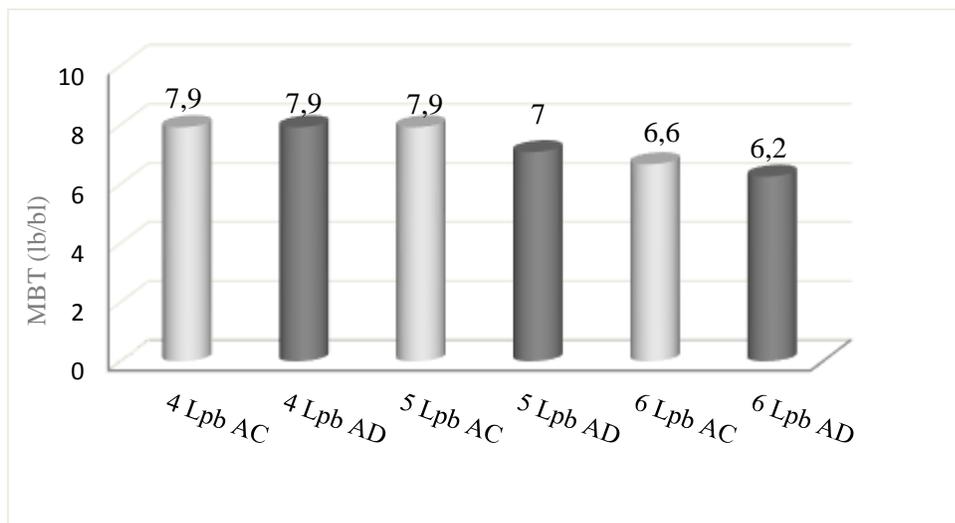


Gráfico N° 4.10 Comportamiento de MBT de sólidos de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones

En el gráfico N° 4.10 se puede observar que el fluido formulado con el aditivo controlador de filtrado lignito a las concentraciones de 4 lpb y 5 lpb arrojaron valores de MBT de 7,9 lb/bl considerándose que la concentración de sólidos arcillosos aportados por la bentonita fueron mayores para dichas concentraciones en comparación a la concentración de 6 lpb que arrojó valores de 6,3 lb/bl. Los valores obtenidos en la prueba de MBT para el fluido formulado con el aditivo controlador de filtrado cáscara de huevo arrojaron valores respectivamente similares a los de los fluidos formulados a base de lignito, es decir, que la cáscara de huevo no incrementó la aparición de sólidos reactivos. Se pudo notar que para ambos fluidos el aumento de la concentración de los aditivos disminuyó la concentración de sólidos arcillosos por

la bentonita. Conocer la cantidad de sólidos arcillosos que pueden tener los fluidos, unida al porcentaje de sólidos totales dan una apreciación más exacta de la calidad del fluido, ya que, la prueba MBT da la concentración total de los sólidos arcillosos que contiene el fluido, es decir, la concentración de los sólidos arcillosos comerciales agregados (Bentonita) y la concentración de sólidos arcillosos aportados por la formación (PDVSA CIED, 2002).

Tabla N° 4.15 Datos obtenidos del análisis de varianza de las muestras de MBT de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-f	Valor-p
a:controlador de filtrado	8,09	5	1,6	1,68	0,2131
Residuos	11,5	12	0,9		
Total (corregido)	19,6	17			

Se realizó un análisis de varianza de MBT a los fluidos dispersos formulados con el aditivo comercial lignito y el desarrollado a base de cáscara de huevo como se observa en la tabla N° 4.15 mediante el uso del programa estadístico Statgraphics Centurion XVII, dando como resultado que el valor-P (0,2131) de la razón-F es mayor que 0,05, indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de los valores de MBT del aditivo desarrollado a base de cáscara de huevo y las del aditivo comercial a base de lignito, con un nivel del 95,0% de confianza, por ende no se procedió a realizar la prueba de múltiples rangos ya que no existe diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos.

- **ALCALINIDAD DEL FLUIDO (pm)**

Otra de las pruebas químicas realizadas fue la alcalinidad del fluido, la cual fue aplicada a las concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb en los fluidos formulados con el

controlador de filtrado desarrollado a base de cáscara de huevo y los formulados con el controlador de filtrado comercial.

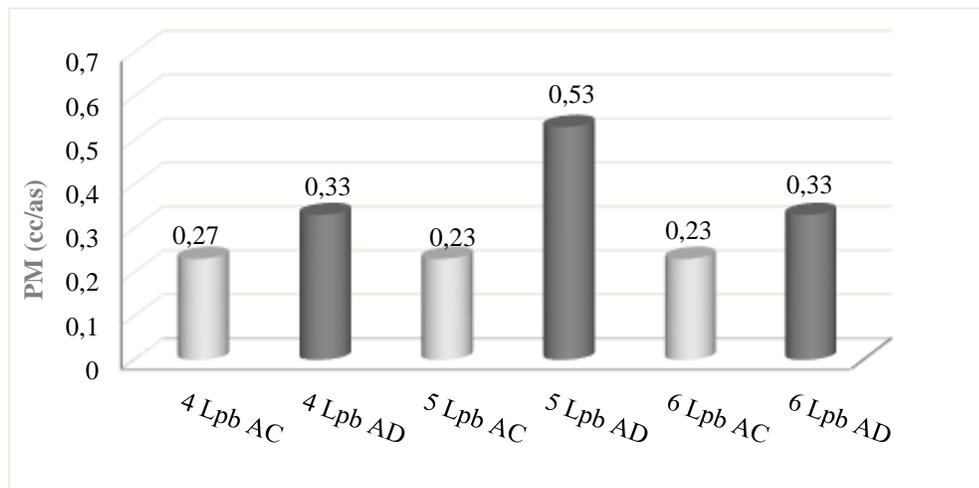


Gráfico N° 4.11 Comportamiento de la alcalinidad del fluido(pm) de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones

En el gráfico N° 4.11 se puede observar que los valores de la alcalinidad del fluido formulado con el controlador de filtrado lignito arrojan valores que entran en un rango de 0,23 a 0,27 cc/as siendo menores a los del fluido formulado con el aditivo comercial, esto quiere decir que la cantidad de ácido requerida para reducir el pH del fluido a 8,3 es menor con respecto al fluido formulado con el aditivo desarrollado a base de cáscara de huevo, esto se debe a que a diferencia de la cáscara de huevo el lignito es un aditivo ácido de pH 5, ya que este está formado por ácidos húmicos que no es más que moléculas complejas orgánicas formadas por la descomposición de materia orgánica, por ende dicho aditivo tiende a disminuir el pH un poco más rápido que la cáscara de huevo.

Se puede notar que la cantidad de ácido requerida para disminuir el pH de la cáscara de huevo a 8,3 es mayor que la del lignito, debido a que a diferencia de este la

cáscara de huevo es un aditivo básico de pH 7,34 por ende se ve en la necesidad de adicionar más ácido para que pueda ocurrir una disminución del pH, tomando en cuenta que a bajos valores de pH, los bordes rotos de las partículas arcillosas tienen más carga positiva que negativas, lo contrario sucede cuando se tienen altos valores de pH. Por ello es muy importante mantener un pH por encima de 7, para asegurar que las partículas de arcilla se encuentren cargadas negativamente. De esta forma se mantiene la interacción electrostática a un mínimo (PDVSA CIED, 2002).

Tabla N° 4.16 Datos obtenidos del análisis de varianza de las muestras de la alcalinidad del fluido (pm) de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-f	Valor-p
a:controlador de filtrado	0,1	5	0,03	5,40	0,0079
Residuos	0,0	12	0,00		
Total (corregido)	0,2	17			

En la tabla N° 4.16 se observa el análisis de varianza de la alcalinidad del fluido (pm) de los fluidos formulados con el aditivo comercial y el desarrollado, el cual se realizó mediante el uso del programa estadístico Statgraphics Centurion XVII para conocer si existe o no alguna diferencia estadística entre las alcalinidades de ambos fluidos, dando como resultado que el valor-P (0,0079) de la razón-F es menor que 0,05, indicando que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la alcalinidad del fluido (pm) del aditivo formulado a base de cáscara de huevo y el formulado a base de lignito. Debido a que el análisis de varianza mostró que existe diferencia estadística se procedió a realizar una prueba de múltiples rangos para poder determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

Tabla N° 4.17 Pruebas de múltiple rangos para pm de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
AC 5LPB	3	0,2	X
AC 6LPB	3	0,2	X
AD 6LPB	3	0,3	X
AD 4LPB	3	0,3	X
AC 4LPB	3	0,3	X
AD 5LPB	3	0,5	X

En la tabla N° 4.17 podemos observar los resultados obtenidos de la prueba de múltiples rangos para la alcalinidad del de los fluidos formulados con el aditivo comercial y el desarrollado, en la cual indica que hay una diferencia estadística entre los tratamientos evaluados según la alineación de las X's, se debe tomar en cuenta que no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. Se formó un grupo homogéneo para los tratamientos con concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb AC y 4lpb y 6 lpb AD en las cuales los valores obtenidos de alcalinidad del fluido para ambas concentraciones fueron semejantes, es por ello que no existen diferencias estadísticas entre sí, se mostró que para el tratamiento con concentraciones de 5 lpb AD obtuvo la mayor diferencia estadística con respecto a los valores obtenidos para cada una de las diferentes concentraciones. En el apéndice C2.4 se puede observar los valores obtenidos de las medias que son significativamente diferentes de otras.

- **ALCALINIDAD DEL FILTRADO (Pf)**

Se aplicó la prueba de alcalinidad al filtrado (pf) de los fluidos tanto para el fluido formulado con el controlador de filtrado comercial como para el desarrollado a las diferentes concentraciones de 4 lpb. 5 lpb y 6 lpb.

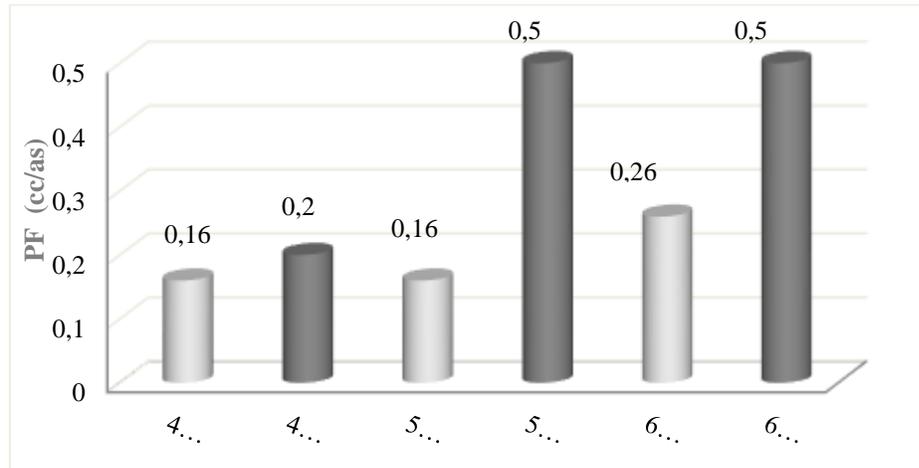


Gráfico N° 4.12 Comportamiento de la alcalinidad del filtrado (pf) de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones

Se puede ver en la gráfica 4.12 que los valores de alcalinidad del filtrado a las concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb para el fluido formulado con el controlador de filtrado comercial lignito son menores que los valores obtenidos para los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado a base de cáscara de huevo, esto quiere decir que la cantidad de ácido necesario para reducir el pH a 8,3 en el fluido con el aditivo desarrollado (cáscara de huevo) es mayor con respecto al lignito, esto se debe a que el lignito es un aditivo ácido el cual tiende a bajar el pH de manera más rápida, a diferencia de la cáscara de huevo que es un aditivo considerado básico por tener un pH de 7,34 viéndose en la necesidad de requerir mayor cantidad de ácido para que pueda ocurrir una disminución del pH. La comparación entre los valores de alcalinidad, Pf y Mf, permite visualizar problemas de contaminación en el fluido (PDVSA CIED, 2002).

Tabla N° 4.18 Datos obtenidos del análisis de varianza de las muestras de la alcalinidad del filtrado (pf) de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-f	Valor-p
a: controlador de filtrado	0,6	5	0,1	21,76	0,0000
Residuos	0,0	12	0,0		
Total (corregido)	0,6	17			

En la tabla N° 4.18 se observa el análisis de varianza de la alcalinidad del filtrado (pf) de los fluidos formulados con el aditivo comercial y el desarrollado, el cual se realizó mediante el uso del programa estadístico Statgraphics Centurion XVII para conocer si existe o no alguna diferencia estadística entre las alcalinidades del filtrado de ambos fluidos, dando como resultado que el valor-P (0,0000) de la razón-F es menor que 0,05, indicando que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la alcalinidad del filtrado (pf) del fluido formulado a base de cáscara de huevo y el formulado a base de lignito. Debido a que el análisis de varianza mostró que existe diferencia estadística se procedió a realizar una prueba de múltiples rangos para poder determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

Tabla N° 4.19 Pruebas de múltiple rangos para la alcalinidad del filtrado (Pf) de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
AC 5LPB	3	0,1	X
AC 4LPB	3	0,1	X
AC 6LPB	3	0,2	X
AD 4LPB	3	0,5	X
AD 5LPB	3	0,5	X
AD 6LPB	3	0,6	X

En la tabla N° 4.19 podemos observar los resultados obtenidos de la prueba de múltiples rangos para la alcalinidad del filtrado de los fluidos formulados con el aditivo comercial y el desarrollado, en la cual indica que hay una diferencia estadística entre los tratamientos evaluados, ya que, se han formado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's, se debe tomar en cuenta que no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El primero grupo homogéneo se creó para los tratamientos con concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb AC en las cuales los valores obtenidos de alcalinidad para dichas concentraciones fueron semejantes, es por ello que no existen diferencias estadísticas entre sí, se mostró un segundo grupo para los tratamientos con concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb AD donde se comprobó que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ellas pero obtuvieron mayor diferencia estadística con respecto a los valores obtenidos para la concentración de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb AC. En el apéndice C2.5 se puede observar los valores obtenidos de las medias que son significativamente diferentes de otras.

- **ALCALINIDAD DEL FILTRADO (Mf)**

Se le realizaron pruebas químicas a los filtrados de los fluidos formulados con el aditivo comercial lignito y los formulados a base de cáscara de huevo a las concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb para así conocer la cantidad de ácido sulfúrico que se requería para reducir el pH. Se observa en el gráfico N° 4.13 que los valores de alcalinidad del filtrado (Mf) para el fluido formulado con el controlador de filtrado comercial lignito a las concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb son menores que los del fluido formulados a base de cáscara de huevo, ya que estos entraron en un rango de 0,2 a 0,3 cc/as, por lo tanto tiende a ser menor la cantidad de ácido sulfúrico necesario para reducir el pH del filtrado a 4,3.

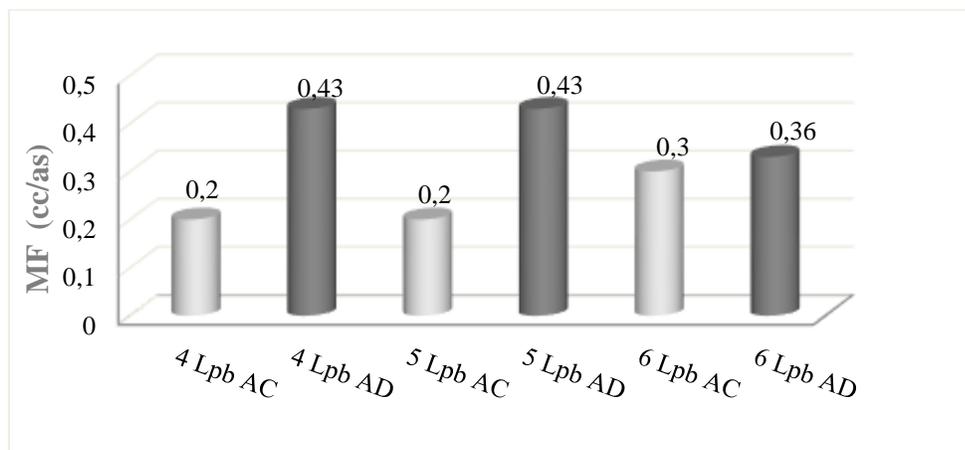


Gráfico N° 4.13 Comportamiento de la alcalinidad del filtrado (Mf) de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones

El fluido formulado con el controlador de filtrado desarrollado arrojó valores de Mf que entraron en un rango de 0,33 a 0,43 cc/as siendo mayor la cantidad de ácido requerida para disminuir el pH del fluido a 4,3 en comparación a los valores obtenidos para el fluido a base de lignito. Se debe enfatizar que ambos aditivos tienen pH diferentes, en el caso del aditivo comercial el pH tiende a ser de 5 considerándose como un aditivo ácido y la cáscara de huevo tiene un pH de 7,34 considerándose como un aditivo básico, por lo tanto este tiende a consumir más ácido para reducir su pH en comparación el lignito, ya que la prueba consiste en registrar los cc de ácido sulfúrico que se requieren para llevar el pH a 4,3 para así determinar iones contaminantes que pueden estar presente en los fluidos. (PDVSA CIED, 2002).

Tabla N° 4.20 Datos obtenidos del análisis de varianza de las muestras de la alcalinidad del filtrado (Mf) de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-f	Valor-p
a: controlador de filtrado	0,3	5	0,07	32,25	0,0000
Residuos	0,0	12	0,00		
Total (corregido)	0,3	17			

Se realizó un análisis de varianza como se observa en la tabla N° 4.20 de la alcalinidad del filtrado (Mf) de los fluidos formulados con el aditivo comercial y el desarrollado, el cual se realizó mediante el uso del programa estadístico Statgraphics Centurion XVII para conocer si existe o no alguna diferencia estadística entre las alcalinidades del filtrado de ambos fluidos, dando como resultado que el valor-P (0,0000) de la razón-F es menor que 0,05, indicando que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la alcalinidad del filtrado (Mf) del fluido formulado a base de cáscara de huevo y el formulado a base de lignito. Debido a que el análisis de varianza mostró que existe diferencia estadística se procedió a realizar una prueba de múltiples rangos para poder determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

Tabla N° 4.21 Pruebas de múltiple rangos para la alcalinidad del filtrado (Mf) de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
AC 5LPB	3	0,2	X
AC 4LPB	3	0,2	X
AC 6LPB	3	0,3	X
AD 6LPB	3	0,4	X
AD 5LPB	3	0,5	X
AD 4LPB	3	0,5	X

En la tabla N° 4.21 podemos observar los resultados obtenidos de la prueba de múltiples rangos para la alcalinidad del filtrado de los fluidos formulados con el aditivo comercial y el desarrollado, en la cual indica que hay una diferencia estadística entre los tratamientos evaluados, ya que, se han formado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's, se debe tomar en cuenta que no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El primero grupo homogéneo se creó para los tratamientos con concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb AC en las cuales los valores obtenidos de

alcalinidad para dichas concentraciones fueron semejantes, es por ello que no existen diferencias estadísticas entre sí, se mostró un segundo grupo para los tratamientos con concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb AD donde se comprobó que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ellas pero obtuvieron mayor diferencia estadística con respecto a los valores obtenidos para la concentración de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb AC. En el apéndice C2.6 se puede observar los valores obtenidos de las medias que son significativamente diferentes de otras.

- **C L O R U R O**

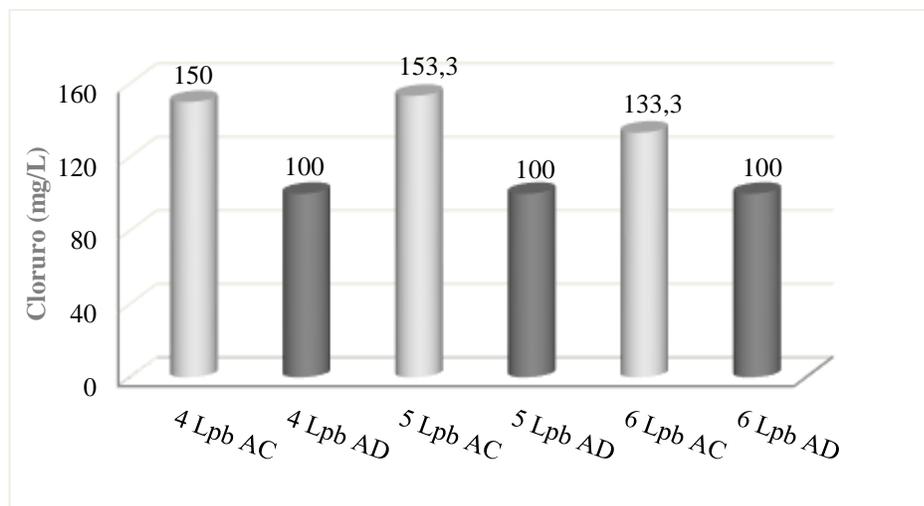


Gráfico N° 4.14 Comportamiento del cloruro de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones

En el gráfico N° 4.14 se puede observar que a las concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb los valores obtenidos para el fluido formulado con el aditivo desarrollado a base de cáscara de huevo fueron de 100 mg/L siendo menor el contenido de iones Cl⁻ en el filtrado del fluido en comparación al fluido formulado a base de lignito que arrojó valores que entraron en un rango de 133,3 a 153,3 mg/L teniendo así un contenido de iones de cloro mayor con respecto a la cáscara de huevo. El Instituto Americano de Petróleo señala que “la concentración de cloruros indica la cantidad de

iones de cloro presentes en el filtrado del fluido de perforación. Altas concentraciones de cloruros causan efectos adversos en fluidos a base agua”. Instituto Americano de Petróleo, 2001.

Tabla N° 4.22 Datos obtenidos del análisis de varianza de las muestras de cloruro de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-f	Valor-p
a:controlador de filtrado	13444,4	5	2688,8	9,49	0,0007
Residuos	3400,0	12	283,3		
Total (corregido)	16844,4	17			

En la tabla N° 4.22 observa el análisis de varianza para contenido de iones de Cl⁻ de los fluidos formulados con el aditivo comercial y el desarrollado, el cual se realizó mediante el uso del programa estadístico Statgraphics Centurion XVII para conocer si existe o no alguna diferencia estadística entre los cloruros de los fluidos, dando como resultado que el valor-P (0,0007) de la prueba-F es menor que 0,05, indicando que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del contenido de iones de Cl⁻ del fluido formulado a base de cáscara de huevo y el formulado a base de lignito. Debido a que el análisis de varianza mostró que existe diferencia estadística se procedió a realizar una prueba de múltiples rangos para poder determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

Tabla N° 4.23 Pruebas de múltiple rangos el contenido de iones de Cl⁻ de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
AD 6LPB	3	100,0	X
AD 5LPB	3	100,0	X
AD 4LPB	3	100,0	X
AC 6LPB	3	133,3	X
AC 5LPB	3	153,3	XX
AC 4LPB	3	166,6	X

En la tabla N° 4.23 podemos observar los resultados obtenidos de la prueba de múltiples rangos de cloruro de los fluidos formulados con el aditivo comercial y el desarrollado. Se puede observar que hay una diferencia estadística entre los tratamientos evaluados, se han formado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's, se debe tomar en cuenta que no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El primero grupo homogéneo se creó para los tratamientos con concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb AD en las cuales los valores obtenidos de cloruro para dichas concentraciones fueron iguales, es por ello que no existen diferencias estadísticas entre sí, se mostró un segundo grupo para los tratamientos con concentraciones de 5 lpb y 6 lpb AC donde se comprobó que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ellas y se formó un último grupo homogéneo para los tratamientos con concentraciones de 5 lpb y 6 lpb AC donde los valores obtenidos entre ellos para la cantidad de cloro fueron semejante pero obtuvieron mayor diferencia estadística con respecto a los valores obtenidos para la concentración de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb AD y 6 lpb AC. En el apéndice C2.7 se puede observar los valores obtenidos de las medias que son significativamente diferentes de otras.

- **DUREZA**

A través del análisis de dureza pudimos conocer el contenido de calcio y magnesio presentes en los fluidos formulados con el aditivo comercial a base de lignito como en los fluidos desarrollados a base de cáscara de huevo, con el fin de conocer si es necesario introducir correctivos en dichos fluidos para evitar los efectos nocivos de los contaminantes.

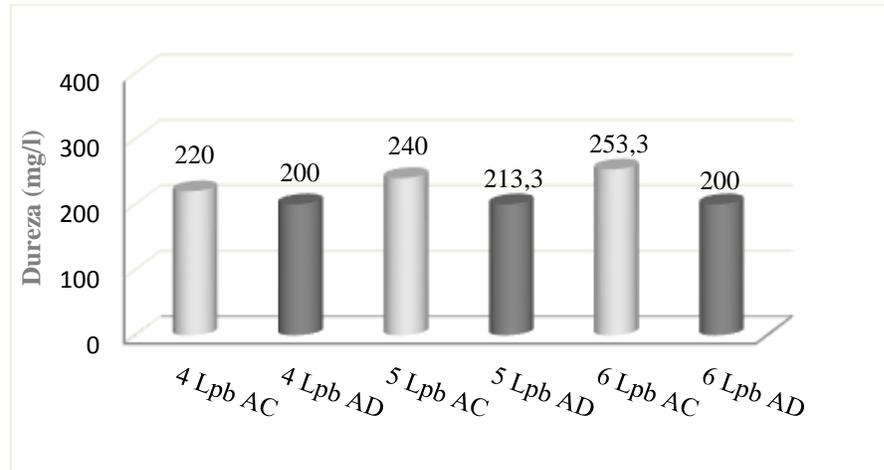


Gráfico N° 4.15 Comportamiento de la dureza de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones

En el gráfico N° 4.15 se puede observar que a las concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb la cantidad de sales de calcio y magnesio son mayores en los fluidos formulados con el controlador de filtrado a base de lignito, ya que arrojó valores que entran en un rango de 220 a 253,3 mg/l siendo mayores a los obtenidos para el fluido a base de cáscara de huevo, este contenido de calcio y magnesio en el fluido podría ocasionar floculaciones por el ion de calcio. El fluido formulado con el controlador de filtrado desarrollado arrojó valores de dureza a las concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb que entraron en un rango de 200 a 213,3 mg/l siendo menores a los del lignito tomando en cuenta que aunque la cáscara de huevo está constituida mayormente por calcio, este en su caracterización arrojó valores sumamente bajo de solubilidad, es por ello que a pesar del alto contenido de calcio que este posee es muy poco soluble por ende tiende a dar valores de dureza menores que para el aditivo comercial, también cabe destacar que las concentraciones de calcio y magnesio son propias del agua de formulación (PDVSA CIED, 2002).

Tabla N° 4.24 Datos obtenidos del análisis de varianza de las muestras de dureza de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-f	Valor-p
a:controlador de filtrado	8111,1	5	1622,2	18,25	0,0000
Residuos	1066,6	12	88,8		
Total (corregido)	9177,7	17			

Posteriormente se procedió a realizar un análisis de varianza de la dureza de los fluidos formulados con el aditivo comercial y el desarrollado como se observa en la tabla N° 4.24 mediante el uso del programa estadístico Statgraphics Centurion XVII para conocer si existe o no alguna diferencia estadística entre el contenido de calcio y magnesio de ambos fluidos, dando como resultado que el valor-P (0,0000) de la razón-F es menor que 0,05, indicando que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la dureza del aditivo formulado a base de cáscara de huevo y el formulado a base de lignito. Debido a que el análisis de varianza mostró que existe diferencia estadística se procedió a realizar una prueba de múltiples rangos para poder determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

Tabla N° 4.25 Pruebas de múltiple rangos para la dureza de los fluidos formulados con el controlador de filtrado desarrollado y el comercial a diferentes concentraciones

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
AD 6LPB	3	200,0	X
AD 5LPB	3	200,0	X
AD 4LPB	3	200,0	X
AC 4LPB	3	220,0	X
AC 5LPB	3	240,0	X
AC 6LPB	3	253,33	X

En la tabla N° 4.25 podemos observar los resultados obtenidos de la prueba de múltiples rangos de dureza de los fluidos formulados con el aditivo comercial y el

desarrollado, en la cual indica que hay una diferencia estadística entre los tratamientos evaluados, se han formado grupos homogéneos según la alineación de las X's, se debe tomar en cuenta que no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El primero grupo homogéneo se creó para los tratamientos con concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb AD en las cuales los valores obtenidos de dureza para dichas concentraciones fueron iguales, es por ello que no existen diferencias estadísticas entre sí, se mostró un segundo grupo para el tratamiento con concentraciones de 4 lpb AC a esa concentración existe diferencias estadísticamente significativas con respecto a todas las demás concentraciones tanto para el aditivo comercial como para el desarrollado y se formó un último grupo homogéneo para los tratamientos con concentraciones de 5 lpb y 6 lpb AC donde los valores obtenidos entre ellos para la cantidad de calcio y magnesio fueron semejante pero obtuvieron mayor diferencia estadística con respecto a las otras concentraciones. En el apéndice C2.8 se puede observar los valores obtenidos de las medias que son significativamente diferentes de otras.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- ❖ Para una temperatura de 25° la gravedad específica de la cáscara de huevo fue de 0,98 representando un pH de 7,34 considerándose como un aditivo básico.
- ❖ La cáscara de huevo es insoluble ya que arrojó un valor de 0,5%, mientras que el lignito puro es soluble con un 80% de solubilidad en agua.
- ❖ El aditivo desarrollado arrojó valores favorables de filtrado y punto cedente, ya que cumple con los estándares de calidad establecidos por la empresa de fluidos de perforación ESVENCA, dando a conocer que el aditivo cáscara de huevo puede ser utilizado para controlar el filtrado.
- ❖ La cantidad de potasa caustica que fue añadida al fluido a base de cáscara de huevo para ajustar el pH a 11 fue menor en comparación a la añadida para el fluido a base de lignito.
- ❖ Los resultados obtenidos en esta investigación, demuestran que es posible utilizar la cáscara de huevo como controlador de filtrado en fluidos de perforación disperso.

5.2 RECOMENDACIONES

- ❖ Realizar las formulaciones variando el tamaño de tamizado de cáscara de huevo, para determinar su posible efecto sobre el volumen de filtrado.
- ❖ Evaluar el aditivo controlador de filtrado desarrollado a base de cáscara de huevo en un sistema de fluidos base aceite.
- ❖ Masificar la materia prima proveniente de la cáscara de huevo por medio de otra fuente como lo es la concha del molusco u otras alternativas.

- ❖ Aumentar la cantidad de repeticiones para asegurar la constancia de los resultados y tener representatividad de los mismos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- API RP 13B-1 (2009). Método de Pruebas Estándar para las Propiedades Físicas y Químicas (Instituto Americano Del Petróleo)
- APOCA (2007). Manual Técnico Tecnología De Los Fluidos De Perforación, 1era.Edición, Caracas, Venezuela.
- Arias, F. (2006). “El Proyecto de Investigación”, Editorial Episteme, Caracas, Venezuela.
- ASTM C128-07. (1999).Método de Ensayo Normalizado para Determinar la Densidad, la Densidad Relativa (Gravedad Específica), y la Absorción de Agregados Finos. (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).
- ASTM D3838-80. (1999). Método de Pruebas Estándar para el pH del Carbón Activado. (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).
- ASTMD-422. (1998). Método de Pruebas Estándar para el Análisis Granulométrico por Tamizado. (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).
- BERMÚDEZ D. Y PEREIRA H. (2012). Desarrollo de un Aditivo Controlador de Filtrado de Tuna Real (*opuntia ficus indica*) para la Formulación de Fluidos de Perforación Poliméricos, Trabajo de Investigación de la Universidad de Oriente, Núcleo Monagas, Monagas, Venezuela.
- BOQUÉ, R., Y MAROTO, A. (2007). El análisis de la varianza (ANOVA). Comparación de múltiples poblaciones.
- COVENIN 2508-81. (1988). Determinación del Contenido de Humedad Total. (Comisión Venezolana de Normas Industriales).
- COVENIN 3034. (1993). Determinación de la Solubilidad en Agua. (Comisión Venezolana de Normas Industriales).
- DATALOG. (2001). Manual de perforación – procedimientos y operaciones en el pozo. Versión 3.0. Alberta –Canadá.

- ENERGY API. (2001). Manual de Fluidos de Perforación, Procedimiento Estándar para las Pruebas de Fluidos de Perforación. Dallas- Texas.
- ESVENCA. (2018). “Especificaciones Técnicas de Control de Calidad”. Monagas-Venezuela.
- FERNÁNDEZ, M. Y LOBATO, A (2009). El Gran Libro Del Huevo. Madrid-España.
- INSTITUTO AMERICANO DEL PETROLEO (2001). ManualDe Fluidos De Perforación, Dallas, Texas, USA.
- NIEVES A., (2015) UF2171: Control y Manejo De Huevos y Pollos Recién Nacidos En La Explotación Avícola 1era. Edición.
- PDVSA CIED. (2002). “Manual de Fluidos de Perforación”. Caracas, Venezuela.
- RAE. (2015). Diccionario usual, Real Academia Española. Madrid-España.
- SÁNCHEZ, P. Y VEGA, M. (2016) “Uso del polvo de grafito como aditivo controlador de filtrado en la formulación de fluidos base agua”. Tesis de grado. Universidad de Oriente-Maturín-Monagas. Venezuela.
- TAVIO, Y. OTAHOLA, J. (2012). Formulación De Aditivo Controlador De Filtrado A Base De Bagazo De Caña De Azúcar (*Saccharum Officinarum*) Como Sustituto Del Lignito En Fluidos De Perforación Lignosulfonatos. Memorias Del IX Congreso Científico De La Universidad De Oriente. Cumana-Sucre.
- URBINA, J. Y ZAMORA, Y. (2014) “Aplicación de la cáscara de café (*Coffea arabica*), como aditivo controlador de filtrado en la formulación de fluidos de perforación”. Trabajo de grado presentado en la Universidad de Oriente-Maturín-Monagas. Venezuela.

APÉNDICES

APÉNDICE A

(Equipos y procedimiento de laboratorio utilizados)

A.1 EQUIPOS DE LABORATORIO

La balanza de lodos permite conocer, además de la densidad en lbs/gal y lbs/ pie³ la gravedad específica y el gradiente de presión por cada mil pies.



Figura A.1 Balanza de lodo

Fuente: laboratorio de perforación UDO-Monagas

El viscosímetro se utiliza para determinar las propiedades reológicas del fluido, es decir, la viscosidad plástica, el punto cedente y la fuerza de gel.



Figura A.2 Viscosímetro rotacional FANN

Fuente: laboratorio de perforación UDO-Monagas

Los filtros prensas cumplen con las especificaciones API 13B-1 de la norma API para determinar el filtrado o pérdida de agua que pasa hacia la formación permeable cuando el fluido es sometido a una presión diferencial.



Figura A.3 Filtro prensa API

Fuente: laboratorio de perforación UDO-Monagas

El pH-metro es un instrumento utilizado para determinar el grado de acidez o basicidad del fluido para evitar problemas de corrosión y contaminación.



Figura A.4 pH-metro

Fuente: laboratorio de perforación UDO-Monagas

La balanza analítica es una clase de balanza de laboratorio diseñada para medir pequeñas masas.



Figura A.5 balanza analítica

Fuente: laboratorio de perforación UDO-Monagas

La retorta se utiliza para determinar el porcentaje en volumen de sólidos y líquidos que contiene el fluido.



Figura A.6 Retorta

Fuente: laboratorio de perforación UDO-Monagas

La prueba de azul de metileno (MBT) sirve para determinar la concentración total de sólidos reactivos presentes en el fluido.



Figura A.7 MBT

Fuente: laboratorio de perforación UDO-Monagas

Los equipos y materiales utilizados a nivel de laboratorio y campo para realizarle a los fluidos pruebas químicas importantes, tales como, alcalinidad, cloruro, dureza, entre otras.



Figura A.8 Equipos de pruebas químicas

Fuente: laboratorio de perforación UDO-Monagas

A.2 PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES

A.2.1 pH de la cáscara de huevo

Procedimiento

- ✓ Llenar un beakers de 25 ml de agua.
- ✓ Agregar 5 g de cáscara de huevo.
- ✓ Dejar reposar la mezcla por 6 horas.
- ✓ Medir el pH con el pHmetro.

A.2.2 Solubilidad

Procedimiento

- ✓ Llenar un Beaker con 100 mL de agua.
- ✓ Pesar y disolver en el Beaker 0,125 g de celulosa de la cáscara de huevo.
- ✓ Calentar la muestra durante una hora a 65°C, tapada sin dejar evaporar.
- ✓ Dejar enfriar a temperatura ambiente.
- ✓ Pesar un Beaker de 50 mL.
- ✓ Tomar 10 ml de la muestra calentada en un Beaker.
- ✓ Calentar nuevamente a 65 °C los 10 mL de la muestra y dejar que se evapore.
- ✓ Pesar nuevamente el Beaker para tomar la diferencia de peso y saber su solubilidad.

A.2.3 % Humedad

Procedimiento

- ✓ Se toma 5 (g) de la muestra de la cáscara de huevo.
- ✓ Se coloca la muestra húmeda en un recipiente, obteniendo (Mr).
- ✓ Se procede a pesar la muestra húmeda más el recipiente, obteniendo (Mh).

- ✓ Luego se coloca el conjunto dentro de un horno durante 24 horas a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- ✓ Transcurrido el tiempo, se determina el peso del recipiente con la muestra (Ms). Obtenido los datos, se calcula el porcentaje de humedad.

A.2.4 Granulometría

Procedimiento

- ✓ Pesar la muestra seleccionada.
- ✓ Introducir la muestra seleccionada en la primera malla del tamiz, (las mallas del tamiz estarán organizadas de mayor a menor lectura).
- ✓ Posteriormente inicie el proceso de agitación del tamiz por aproximadamente 40 minutos.
- ✓ Una vez transcurrido los 40 minutos proceda a pesar las muestras de las mallas e indique el porcentaje de muestra de cada malla del tamiz.

A.2.5 Medición de la densidad

Calibración

El instrumento se calibra de manera frecuente, utilizando agua dulce, la cual debe arrojar una lectura de 8,3 lbm/gal o $62,3 \text{ lbm/pe}^3$.

Procedimiento

- ✓ Llenar la copa de la balanza con el fluido.
- ✓ Colocar la tapa sobre la copa y asentarla firmemente, pero en forma lenta con un movimiento giratorio. Asegúrese que el exceso de fluido salga por el orificio de la tapa.

- ✓ Colocar el dedo pulgar sobre el orificio de la tapa y limpiar la balanza con un trapo seco.
- ✓ Colocar la balanza sobre el soporte y mover el cursor a lo largo del brazo graduado hasta que la burbuja del nivel indique la nivelación correcta.
- ✓ Leer la densidad o peso del fluido en el lado izquierdo del cursor.
- ✓ Registre la densidad con una precisión de 0,1 lbm/gal o 0,5 lbm/pie³.

A.2.6 Medición de la viscosidad plástica y punto cedente

Procedimiento

- ✓ Coloque muestra en el vaso térmico o termocopa (recién agitada) hasta el nivel de la línea trazada en el manguito del rotor
- ✓ Colocar en velocidad de 600 rpm y anotar la lectura de 600 cuando indique un valor constante o estabilizado.
- ✓ Ajuste la velocidad a 300 rpm y espere que la lectura del cuadrante llegue a un valor estable. Registre esta lectura para 300 rpm.
- ✓ La viscosidad plástica (VP) en centipoise es igual a la lectura de 600 rpm menos la lectura de 300 rpm.
- ✓ El punto cedente (PC) en lb/100 pie² es igual a la lectura de 300 rpm menos la viscosidad plástica. Registre la temperatura de la muestra °F (°C).

A.2.7 Medición de la resistencia gel

Procedimiento

- ✓ Coloque la muestra de fluido en el vaso térmico o termocopa como se indicó para la medición de la viscosidad plástica y punto cedente.
- ✓ Agite durante 10 segundos a alta velocidad
- ✓ Permita que el fluido repose durante 10 segundos.

- ✓ Poner el conmutador en posición de baja velocidad (3rpm) e inmediatamente leer la deflexión máxima en el cuadrante.
- ✓ Registrar el valor como resistencia inicial del gel o gel a los 10 segundos en lb/100 pie².
- ✓ Vuelve a agitar la muestra de fluido a alta velocidad durante 10 segundos y después deje reposar el fluido durante 10 minutos. Anote la medición como en el paso 4 y registre la lectura máxima como gel a los 10 minutos en lb/100 pie².

A.2.8 Filtrado API

Procedimiento

- ✓ Ensamblar las partes del equipo limpias y secas en el orden siguiente: Tapa base, empacadura de caucho, malla de 60 mesh, hoja de papel filtro, empacadura de caucho y celda.
- ✓ Llenar la celda hasta ¼ de pulgada de su tope, con muestra de fluido recién agitada. Colocar la unidad ensamblada en la estructura del filtro prensa.
- ✓ Verificar que la tapa superior tenga la empacadura y esta se encuentre bien asentada. Colocar la tapa superior a la celda y asegurarla con el tornillo T.
- ✓ Colocar un cilindro graduado bajo el tubo de salida del filtrado.
- ✓ Aplicar 100 psi de presión a la celda y filtrar por 30 minutos
- ✓ Nota: Cuando transcurran los 30 minutos de la prueba, retirar la presión por la válvula de alivio y anotar el volumen recolectado en cc.
- ✓ Reportar el volumen recolectado como pérdida de filtrado API.

A.2.9 Porcentaje de agua y sedimento

Procedimiento

- ✓ Dejar que la muestra de lodo se enfríe a la temperatura ambiente.
- ✓ Desmontar la retorta y lubricar las roscas del vaso de muestra con grasa para altas temperaturas. Llenar el vaso de muestra con el fluido a probar casi hasta el nivel máximo. Colocar la tapa del vaso de muestra girando firmemente y escurriendo el exceso de fluido para obtener el volumen exacto se requiere un volumen de 10, 20 ó 50 ml. Limpiar el fluido derramado sobre la tapa y las roscas.
- ✓ Llenar la cámara de expansión superior con virutas finas de acero y luego atornillar el vaso de muestra a la cámara de expansión. Las virutas de acero deberían atrapar los sólidos extraídos por ebullición. Mantener el montaje vertical para evitar que el lodo fluya dentro del tubo de drenaje.
- ✓ Introducir o atornillar el tubo de drenaje dentro del orificio en la extremidad del condensador, asentándolo firmemente. El cilindro graduado que está calibrado para leer en porcentajes debería estar sujetado al condensador con abrazaderas.
- ✓ Enchufar el cable de alimentación en el voltaje correcto y mantener la unidad encendida hasta que termine la destilación, lo cual puede tardar 25 minutos según las características del contenido de petróleo, agua y sólidos.
- ✓ Dejar enfriar el destilado a la temperatura ambiente.
- ✓ Leer el porcentaje de agua, petróleo y sólidos directamente en la probeta graduada. Una o dos gotas de solución atomizada ayudará a definir el contacto petróleo-agua, después de leer el porcentaje de sólidos.
- ✓ Al final de la prueba, enfriar completamente, limpiar y secar el montaje de retorta.

A.2.10 Alcalinidad del lodo (Pm)

Procedimiento

- ✓ Añadir 1 ml de lodo y 25 ml de agua destilada.
- ✓ Añadir 4-5 gotas de fenolftaleína (si no hay cambio de color $Pm = 0$)
- ✓ Titular con H_2SO_4 de 0.02 N hasta cambiar de rosado al color original de la muestra.
- ✓ Registrar el Pm como la cantidad de ácidos sulfúricos gastados.

A.2.11 Alcalinidad del filtrado (Pf)

Procedimiento

- ✓ Colocar 1 cc de filtrado en un recipiente
- ✓ Agregar 2 o 3 gotas de fenolftaleína, hasta obtener un color rosado
- ✓ Agregar H_2SO_4 (0.02N) hasta que el filtrado adquiera su color original
- ✓ Registrar el Pf como el número de cc de H_2SO_4 gastados para neutralizar el color de la fenolftaleína
- ✓ Nota. Si la muestra está oscurecida de manera tal que el cambio de color no se perciba, el punto final se toma con un pHmetro cuando el pH caea 8.3.

A.2.12 Alcalinidad del filtrado (Mf)

Procedimiento

- ✓ Agregar a la muestra que ha sido titulada al punto final del Pf más o menos 4 gotas de Anaranjado de Metilo, hasta obtener un color amarillo oscuro.
- ✓ Agregar H_2SO_4 (0.02N) gota a gota, hasta que el color del indicador cambie de amarillo naranja a marrón claro.
- ✓ Registrar el Mf como el total de cc de H_2SO_4 gastados más el que se gastó en lograr el Pf

- ✓ Observación Si la muestra está oscurecida de manera tal que el cambio de color no se perciba, el punto final se toma con un pHmetro cuando el pH cae a 4.3

A.2.13 Concentración de cloruro

Procedimiento

- ✓ Añadir 1 ml de filtrado más 25 ml de agua destilada, más la misma cantidad de ácido sulfúrico que se gastó en Pf.
- ✓ Añadir 5-10 gotas de cromato de potasio.
- ✓ Titular con nitrato de plata de 0.0282 N hasta cambiar de amarillo hasta rojo ladrillo.
- ✓ Registrar la concentración de cloruro como la cantidad de ácido de nitrato de plata gastados entre los ml de filtrado multiplicados por mil.

A.2.14 Dureza

Procedimiento

- ✓ Añadir 25 ml de agua destilada, más 20-40 de versanato de buffer, más 10 gotas de indicador de dureza, más 1 ml de filtrado.
- ✓ Titular con EDTA de 2 EMP hasta cambiar de color vino a color gris pizarra.
- ✓ Registrar la dureza como la cantidad de EDTA gastados multiplicado por 40.

APÉNDICE B
(Muestra de cálculos)

BALANCE DE MASA DE LOS FLUIDOS

Preparación de un fluido de perforación disperso con cáscara de huevo como controlador de filtrado, para una densidad de 9 lpg. A continuación se establecen las gravedades específicas y densidades de cada aditivo así como sus respectivos volúmenes.

- **Gravedad específica**

$$G. E = \frac{\rho_{aditivo}}{\rho_{agua}} \text{ Ecuación B. 1}$$

Donde:

$\rho_{aditivo}$: densidad del aditivo en lpg

ρ_{agua} : densidad del agua en lpg (8,33 lpg)

Por medio de esta ecuación y conociendo la gravedad específica se conoció la densidad de cada aditivo utilizado en la formulación.

Ejemplo B.1:

$$\rho_{aditivo} = G. E \times \rho_{agua}$$

$$\rho_{cáscara \text{ de huevo}} = 0,9899 \times 8,33 \text{ lpg}$$

$$\rho_{cáscara \text{ de huevo}} = 8,246 \text{ lpg}$$

Determinada la densidad de cada aditivo y conociendo su concentración, se procedió a calcular el volumen ocupado por cada aditivo en la formulación del fluido de perforación disperso.

- **Volumen ocupado por el aditivo**

$$\mathbf{V_{aditivo}} = \frac{\mathbf{C \times V_{total}}}{\mathbf{\rho_{aditivo} \times 42 \text{ gal/bbl}}} \text{ Ecuación B. 2}$$

Donde:

V_{aditivo}: Volumen ocupado por el aditivo en bl

ρ_{aditivo}: Densidad del aditivo en lpg

C: concentración del aditivo en lb/bl

42 gal/bbl Factor de conversión

Ejemplo B.2:

$$\mathbf{V \text{ cáscara de huevo}} = \frac{\mathbf{4 \text{ lb/bbl} \times 2}}{\mathbf{8,246 \times 42 \text{ gal/bbl}}} = 0,0231 \text{ bl}$$

Tabla B.1 Balance de masa de la formulación con controlador de filtrado a base de cáscara de huevo

Aditivo	G.E	Densidad (lb/gal)	Concentración (lpb)	Volumen (bbl)
Agua	1,00	8,33		
Bentonita	2,50	20,82	25,00	0,05
Cáscara de huevo	0,98	8,24	4,00	0,02
Lignosulfonato	0,82	6,83	2,00	0,0134
Potasa Cáustica (KOH)	1,40	11,66	Hasta pH 11	Hasta pH 11
Barita	4,20	34,98	17,86	0,0243

El volumen total es la suma de todos los volúmenes del sistema.

$$V_{\text{total}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \dots V_n \text{ Ecuación B. 3}$$

Ejemplo B.3:

$$V_{\text{total}} = V_{\text{agua}} + V_{\text{bentonita}} + V_{\text{cáscara de huevo}} + V_{\text{lignosulfonato}} + V_{\text{barita}}$$

$$V_{\text{total}} = V_{\text{agua}} + ((0,0572 + 0,0231 + 0,0134 + 0,0243)\text{bl})$$

$$2\text{bl} = V_{\text{agua}} + 0,118 \text{ bl}$$

$$V_{\text{agua}} = 1,882 \text{ bl}$$

Propiedades Reológicas

$$V_p = L_{600} - L_{300} \text{ Ecuación B.5}$$

$$P_c = L_{300} - V_p \text{ Ecuación B.6}$$

Donde:

V_p : viscosidad plástica

P_c : punto cedente

L_{600} : lectura del viscosímetro a 600 rpm

L_{300} : lectura del viscosímetro a 300 rpm

Tabla B.2 Lecturas obtenías del viscosímetro a 600 rpm

Tratamientos	Repeticiones		
	I	II	III
4 lpb AC	23	25	16
4 lpb AD	23	22	22
5 lpb AC	29	22	22
5 lpb AD	30	28	25
6 lpb AC	23	21	20
6 lpb AD	22	23	23

Tabla B.2 Lecturas obtenías del viscosímetro a 300 rpm

Tratamientos	Repeticiones		
	I	II	III
4 lpb AC	14	17	9
4 lpb AD	14	13	13
5 lpb AC	17	13	13
5 lpb AD	18	17	15
6 lpb AC	14	13	13
6 lpb AD	14	14	14

Ejemplo B.4

De la tabla B.2 y B.3 se obtuvieron los valores de la lectura de 600 rpm y 300 rpm para la formulación del tratamiento 4 lpb AD las lecturas fueron:

$$L_{600} = 23$$

$$L_{300} = 14$$

Sustituyendo en las ecuaciones B.4 y B.5 obtendremos los valores de la viscosidad plástica y el punto cedente de la siguiente manera:

$$V_p = L_{600} - L_{300}$$

$$V_p = 23 - 14$$

$$V_p = 9 \text{ cP}$$

$$P_c = L_{300} \cdot V_p$$

$$P_c = 14 - 9$$

$$P_c = 5 \text{ lb}/100 \text{ pie}^2$$

De igual forma se determinó para cada uno de los tratamientos y sus tres repeticiones.

- **Granulometría cáscara de huevo**

$$\% \text{Retenido} = \frac{W_{\text{tamiz}}}{W_{\text{Tcelulosa}}} \times 100$$

Donde:

%Retenido= porcentaje retenido de cada tamiz

Wtamiz= peso retenido en cada tamiz (g)

WTcelulosa=peso total de la celulosa (g)

$$\% \text{ Retenido malla 270} = \frac{22,75}{209,92} * 100$$

$$\% \text{ Retenido malla 270} = \mathbf{10,83\%}$$

$$\% \text{ Retenido malla 200} = \frac{50,86}{209,92} * 100$$

$$\% \text{ Retenido malla 200} = \mathbf{24,22\%}$$

$$\% \text{ Retenido malla 140} = \frac{29,9}{209,92} * 100$$

$$\% \text{ Retenido malla 140} = \mathbf{14,24\%}$$

$$\% \text{ Retenido malla 60} = \frac{83,71}{209,92} * 100$$

$$\% \text{ Retenido malla 60} = \mathbf{39,88\%}$$

$$\% \text{ Retenido malla 35} = \frac{2,59}{209,92} * 100$$

$$\% \text{ Retenido malla 35} = \mathbf{1,23\%}$$

Tabla B.3 resumen de resultados del análisis granulométrico de la cáscara de huevo como controlador de filtrado.

Malla	gramos	% retenido de cáscara de huevo	Peso de la muestra
270	22,75	10,83	209,92 gramos
200	50,90	24,22	
140	29,90	14,24	
60	83,71	39,88	

APÉNDICE C

(Resultado de las Pruebas y Prueba De Múltiples Rangos)

C.1 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

Tabla C.1 Valores totales y promedios del filtrado API para los fluidos formulados con cáscara de huevo y el controlador de filtrado comercial a diferentes concentraciones

N°	TRATAMIENTOS	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO
		I	II	III		
1	4 lpb AC	14	16	16	46	15,3
2	4 lpb AD	16	17	15	48	16
3	5 lpb AC	16	16	16	48	16
4	5 lpb AD	17	18	16	51	17
5	6 lpb AC	14	15	16	45	15
6	6 lpb AD	17	16	17	50	16,67
	TOTAL	94	98	96		

Tabla C.2 Valores totales y promedios del espesor del revoque para los fluidos formulados con cáscara de huevo y el controlador de filtrado comercial a diferentes concentraciones

N°	TRATAMIENTOS	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO
		I	II	III		
1	4 lpb AC	3	3	3	9	15,3
2	4 lpb AD	2,5	2	2,5	7	16
3	5 lpb AC	2,5	3	3	8,5	16
4	5 lpb AD	2,5	2	2,5	7	17
5	6 lpb AC	2,5	2,5	2,5	7,5	15
6	6 lpb AD	2,5	2	2,5	7	16,67
	TOTAL	15,5	14,5	16		

Tabla C.3 Valores totales y promedios de la viscosidad plástica para los fluidos formulados con cáscara de huevo y el controlador de filtrado comercial a diferentes concentraciones

N°	TRATAMIENTOS	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO
		I	II	III		
1	4 lpb AC	9	8	7	24	8
2	4 lpb AD	9	8,5	9	26,5	8,83
3	5 lpb AC	12	9	9	30	10
4	5 lpb AD	12	11	10	33	11
5	6 lpb AC	9	8	7	24	8
6	6 lpb AD	8	9	9	26	8,67
	TOTAL	59	53,5	51		163,5

Tabla C.4 Valores totales y promedios del punto cedente para los fluidos formulados con cáscara de huevo y el controlador de filtrado comercial a diferentes concentraciones

N°	TRATAMIENTOS	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO
		I	II	III		
1	4 lpb AC	5	2	2	9	3
2	4 lpb AD	5	5	4	14	4,67
3	5 lpb AC	5	4	4	13	4,33
4	5 lpb AD	6	6	5	17	5,67
5	6 lpb AC	5	5	6	16	5,33
6	6 lpb AD	6	5	5	16	5,33
	TOTAL	32	27	26		85

Tabla C.5 Valores totales y promedios del esfuerzo de gel a los 10 segundos para los fluidos formulados con cáscara de huevo y el controlador de filtrado comercial a diferentes concentraciones

N°	TRATAMIENTOS	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO
		I	II	III		
1	4 lpb AC	3	3	4	10	3,33
2	4 lpb AD	3	4	3	10	3,33
3	5 lpb AC	3	3	4	10	3,33
4	5 lpb AD	4	4	4	12	4
5	6 lpb AC	3	5	4	12	4
6	6 lpb AD	5	4	4	13	4,33
	TOTAL	21	23	23		67

Tabla C.6 Valores totales y promedios del esfuerzo de gel a los 10 minutos para los fluidos formulados con cáscara de huevo y el controlador de filtrado comercial a diferentes concentraciones

N°	TRATAMIENTOS	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO
		I	II	III		
1	4 lpb AC	4	4	5	13	4,33
2	4 lpb AD	5	7	4	16	5,33
3	5 lpb AC	4	4	5	13	4,33
4	5 lpb AD	5	6	5	16	5,33
5	6 lpb AC	4	4	5	13	4,33
6	6 lpb AD	6	7	4	17	5,67
	TOTAL	28	32	28		88

Tabla C.7 Valores totales y promedios de la densidad para los fluidos formulados con cáscara de huevo y el controlador de filtrado comercial a diferentes concentraciones

N°	TRATAMIENTOS	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO
		I	II	III		
1	4 lpb AC	9	9	9	27	9
2	4 lpb AD	9	9	9	27	9
3	5 lpb AC	9	9	9	27	9
4	5 lpb AD	9	9	9	27	9
5	6 lpb AC	9	9	9	27	9
6	6 lpb AD	9	9	9	27	9
	TOTAL	54	54	54		162

Tabla C.8 Valores totales y promedios del porcentaje de sólidos para los fluidos formulados con cáscara de huevo y el controlador de filtrado comercial a diferentes concentraciones

N°	TRATAMIENTOS	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO
		I	II	III		
1	4 lpb AC	5	10	6	21	7
2	4 lpb AD	6	8	7	21	7
3	5 lpb AC	5	8	6	19	6,33
4	5 lpb AD	10	9	11	30	10
5	6 lpb AC	7	8	6	21	7
6	6 lpb AD	12	4	10	26	8,67
	TOTAL	45	47	46		138

Tabla C.9 Valores totales y promedios del porcentaje de líquidos para los fluidos formulados con cáscara de huevo y el controlador de filtrado comercial a diferentes concentraciones

N°	TRATAMIENTOS	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO
		I	II	III		
1	4 lpb AC	95	90	94	279	93
2	4 lpb AD	94	92	93	279	93
3	5 lpb AC	95	92	94	281	93,67
4	5 lpb AD	90	91	89	270	90
5	6 lpb AC	93	92	94	278	93
6	6 lpb AD	88	96	90	274	91,33
	TOTAL	555	553	554		1662

Tabla C. 10 Valores totales y promedios de MBT para los fluidos formulados con cáscara de huevo y el controlador de filtrado comercial a diferentes concentraciones

N°	TRATAMIENTOS	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO
		I	II	III		
1	4 lpb AC	17,5	17,5	18,75	53,75	17,92
2	4 lpb AD	18,7	16,25	18,75	53,75	17,92
3	5 lpb AC	17,5	17,5	18,75	53,75	17,92
4	5 lpb AD	16,2	16,25	18,75	51,25	17,08
5	6 lpb AC	16,2	17,5	16,25	49,95	16,65
6	6 lpb AD	16,2	16,25	16,25	48,75	16,23
	TOTAL	102,3	101,2	107,5		131,25

Tabla C. 11 Valores totales y promedios de la alcalinidad del fluido (pm) para los fluidos formulados con cáscara de huevo y el controlador de filtrado comercial a diferentes concentraciones

N°	TRATAMIENTOS	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO
		I	II	III		
1	4 lpb AC	0,3	0,2	0,3	0,8	0,27
2	4 lpb AD	0,3	0,4	0,3	1,0	0,33
3	5 lpb AC	0,2	0,2	0,3	0,7	0,23
4	5 lpb AD	0,7	0,5	0,4	1,6	0,53
5	6 lpb AC	0,3	0,2	0,2	0,7	0,23
6	6 lpb AD	0,3	0,4	0,3	1,0	0,33
	TOTAL	2,1	1,9	1,8		5,8

Tabla C. 12 Valores totales y promedios de la alcalinidad del filtrado (Pf) para los fluidos formulados con cáscara de huevo y el controlador de filtrado comercial a diferentes concentraciones

N°	TRATAMIENTOS	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO
		I	II	III		
1	4 lpb AC	0,2	0,1	0,2	0,5	0,167
2	4 lpb AD	0,2	0,2	0,2	0,6	0,2
3	5 lpb AC	0,2	0,1	0,2	0,5	0,167
4	5 lpb AD	0,5	0,6	0,6	1,7	0,567
5	6 lpb AC	0,3	0,2	0,3	0,8	0,267
6	6 lpb AD	0,7	0,6	0,5	1,8	0,6
	TOTAL	2,1	1,8	2		5,9

Tabla C. 13 Valores totales y promedios de la alcalinidad del filtrado (Mf) para los fluidos formulados con cáscara de huevo y el controlador de filtrado comercial a diferentes concentraciones

N°	TRATAMIENTOS	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO
		I	II	III		
1	4 lpb AC	0,2	0,2	0,2	0,6	0,2
2	4 lpb AD	0,4	0,3	0,4	1,6	0,43
3	5 lpb AC	0,2	0,2	0,2	0,6	0,2
4	5 lpb AD	0,3	0,4	0,4	1,6	0,43
5	6 lpb AC	0,3	0,3	0,3	1,1	0,3
6	6 lpb AD	0,5	0,3	0,3	1,3	0,36
	TOTAL	2,3	2,1	2,4		1,92

Tabla C. 14 Valores totales y promedios de cloruro para los fluidos formulados con cáscara de huevo y el controlador de filtrado comercial a diferentes concentraciones

N°	TRATAMIENTOS	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO
		I	II	III		
1	4 lpb AC	150	150	150	450	150
2	4 lpb AD	100	100	100	300	100
3	5 lpb AC	150	160	150	460	153.33
4	5 lpb AD	100	100	100	300	100
5	6 lpb AC	150	150	100	400	133.33
6	6 lpb AD	100	100	100	300	100
	TOTAL	650	750	700		2001

Tabla C. 15 Valores totales y promedios de dureza para los fluidos formulados con cáscara de huevo y el controlador de filtrado comercial a diferentes concentraciones

N°	TRATAMIENTOS	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO
		I	II	III		
1	4 lpb AC	220	220	220	660	220
2	4 lpb AD	200	200	200	600	200
3	5 lpb AC	240	240	240	720	240
4	5 lpb AD	200	200	240	640	213.33
5	6 lpb AC	240	280	240	760	253.33
6	6 lpb AD	200	200	200	600	200
	TOTAL	1300	1340	1340		3980

C.2 PRUEBAS DE MÚLTIPLES RANGOS

Tabla C2.1 Pruebas de Múltiple Rangos del espesor de Revoque

CONTRASTE	SIG.	DIFERENCIA	+/- LÍMITES
AC 4LPB - AC 5LPB		0,166667	0,419314
AC 4LPB - AC 6LPB	*	0,5	0,419314
AC 4LPB - AD 4LPB	*	0,666667	0,419314
AC 4LPB - AD 5LPB	*	0,666667	0,419314
AC 4LPB - AD 6LPB	*	0,666667	0,419314
AC 5LPB - AC 6LPB		0,333333	0,419314
AC 5LPB - AD 4LPB	*	0,5	0,419314
AC 5LPB - AD 5LPB	*	0,5	0,419314
AC 5LPB - AD 6LPB	*	0,5	0,419314
AC 6LPB - AD 4LPB		0,166667	0,419314
AC 6LPB - AD 5LPB		0,166667	0,419314
AC 6LPB - AD 6LPB		0,166667	0,419314
AD 4LPB - AD 5LPB		0	0,419314
AD 4LPB - AD 6LPB		0	0,419314
AD 5LPB - AD 6LPB		0	0,419314

* indica una diferencia significativa.

Tabla C2.2 Pruebas de Múltiple Rangos de la viscosidad plástica

CONTRASTE	SIG.	DIFERENCIA	+/- LÍMITES
AC 4LPB - AC 5LPB	*	-2,0	1,83973
AC 4LPB - AC 6LPB		0	1,83973
AC 4LPB - AD 4LPB		-0,833333	1,83973
AC 4LPB - AD 5LPB	*	-3,0	1,83973
AC 4LPB - AD 6LPB		-0,666667	1,83973
AC 5LPB - AC 6LPB	*	2,0	1,83973
AC 5LPB - AD 4LPB		1,16667	1,83973
AC 5LPB - AD 5LPB		-1,0	1,83973
AC 5LPB - AD 6LPB		1,33333	1,83973
AC 6LPB - AD 4LPB		-0,833333	1,83973
AC 6LPB - AD 5LPB	*	-3,0	1,83973
AC 6LPB - AD 6LPB		-0,666667	1,83973
AD 4LPB - AD 5LPB	*	-2,16667	1,83973
AD 4LPB - AD 6LPB		0,166667	1,83973
AD 5LPB - AD 6LPB	*	2,33333	1,83973

Tabla C2.3 Pruebas de Múltiple Rangos para Punto cedente

CONTRASTE	SIG.	DIFERENCIA	+/- LÍMITES
AC 4LPB - AC 5LPB		-1,33333	1,6104
AC 4LPB - AC 6LPB	*	-2,33333	1,6104
AC 4LPB - AD 4LPB	*	-1,83333	1,6104
AC 4LPB - AD 5LPB	*	-2,66667	1,6104
AC 4LPB - AD 6LPB	*	-2,33333	1,6104
AC 5LPB - AC 6LPB		-1,0	1,6104
AC 5LPB - AD 4LPB		-0,5	1,6104
AC 5LPB - AD 5LPB		-1,33333	1,6104
AC 5LPB - AD 6LPB		-1,0	1,6104
AC 6LPB - AD 4LPB		0,5	1,6104
AC 6LPB - AD 5LPB		-0,333333	1,6104
AC 6LPB - AD 6LPB		0	1,6104
AD 4LPB - AD 5LPB		-0,833333	1,6104
AD 4LPB - AD 6LPB		-0,5	1,6104
AD 5LPB - AD 6LPB		0,333333	1,6104

* indica una diferencia significativa.

Tabla C2.4 Pruebas de Múltiple Rangos para la alcalinidad del fluido (pm)

CONTRASTE	SIG.	DIFERENCIA	+/- LÍMITES
AC 4LPB - AC 5LPB		0,1	0,145255
AC 4LPB - AC 6LPB		0,1	0,145255
AC 4LPB - AD 4LPB		0	0,145255
AC 4LPB - AD 5LPB	*	-0,2	0,145255
AC 4LPB - AD 6LPB		0	0,145255
AC 5LPB - AC 6LPB		0	0,145255
AC 5LPB - AD 4LPB		-0,1	0,145255
AC 5LPB - AD 5LPB	*	-0,3	0,145255
AC 5LPB - AD 6LPB		-0,1	0,145255
AC 6LPB - AD 4LPB		-0,1	0,145255
AC 6LPB - AD 5LPB	*	-0,3	0,145255
AC 6LPB - AD 6LPB		-0,1	0,145255
AD 4LPB - AD 5LPB	*	-0,2	0,145255
AD 4LPB - AD 6LPB		0	0,145255
AD 5LPB - AD 6LPB	*	0,2	0,145255

* indica una diferencia significativa.

Tabla C2.5 Pruebas de Múltiple Rangos para la alcalinidad del filtrado (pf)

CONTRASTE	SIG.	DIFERENCIA	+/- LÍMITES
AC 4LPB - AC 5LPB		0	0,132599
AC 4LPB - AC 6LPB		-0,1	0,132599
AC 4LPB - AD 4LPB	*	-0,333333	0,132599
AC 4LPB - AD 5LPB	*	-0,4	0,132599
AC 4LPB - AD 6LPB	*	-0,433333	0,132599
AC 5LPB - AC 6LPB		-0,1	0,132599
AC 5LPB - AD 4LPB	*	-0,333333	0,132599
AC 5LPB - AD 5LPB	*	-0,4	0,132599
AC 5LPB - AD 6LPB	*	-0,433333	0,132599
AC 6LPB - AD 4LPB	*	-0,233333	0,132599
AC 6LPB - AD 5LPB	*	-0,3	0,132599
AC 6LPB - AD 6LPB	*	-0,333333	0,132599
AD 4LPB - AD 5LPB		-0,0666667	0,132599
AD 4LPB - AD 6LPB		-0,1	0,132599
AD 5LPB - AD 6LPB		-0,0333333	0,132599

* indica una diferencia significativa.

Tabla C2.6 Pruebas de Múltiple Rangos para la alcalinidad del fluido (Mf)

CONTRASTE	SIG.	DIFERENCIA	+/- LÍMITES
AC 4LPB - AC 5LPB		0	0,0838627
AC 4LPB - AC 6LPB	*	-0,166667	0,0838627
AC 4LPB - AD 4LPB	*	-0,333333	0,0838627
AC 4LPB - AD 5LPB	*	-0,333333	0,0838627
AC 4LPB - AD 6LPB	*	-0,266667	0,0838627
AC 5LPB - AC 6LPB	*	-0,166667	0,0838627
AC 5LPB - AD 4LPB	*	-0,333333	0,0838627
AC 5LPB - AD 5LPB	*	-0,333333	0,0838627
AC 5LPB - AD 6LPB	*	-0,266667	0,0838627
AC 6LPB - AD 4LPB	*	-0,166667	0,0838627
AC 6LPB - AD 5LPB	*	-0,166667	0,0838627
AC 6LPB - AD 6LPB	*	-0,1	0,0838627
AD 4LPB - AD 5LPB		0	0,0838627
AD 4LPB - AD 6LPB		0,0666667	0,0838627
AD 5LPB - AD 6LPB		0,0666667	0,0838627

* indica una diferencia significativa.

Tabla C2.7 Pruebas de Múltiple Rangos para cloruro

CONTRASTE	SIG.	DIFERENCIA	+/- LÍMITES
AC 4LPB - AC 5LPB		13,3333	29,945
AC 4LPB - AC 6LPB	*	33,3333	29,945
AC 4LPB - AD 4LPB	*	66,6667	29,945
AC 4LPB - AD 5LPB	*	66,6667	29,945
AC 4LPB - AD 6LPB	*	66,6667	29,945
AC 5LPB - AC 6LPB		20,0	29,945
AC 5LPB - AD 4LPB	*	53,3333	29,945
AC 5LPB - AD 5LPB	*	53,3333	29,945
AC 5LPB - AD 6LPB	*	53,3333	29,945
AC 6LPB - AD 4LPB	*	33,3333	29,945
AC 6LPB - AD 5LPB	*	33,3333	29,945
AC 6LPB - AD 6LPB	*	33,3333	29,945
AD 4LPB - AD 5LPB		0	29,945
AD 4LPB - AD 6LPB		0	29,945
AD 5LPB - AD 6LPB		0	29,945

* indica una diferencia significativa.

Tabla C2.8 Pruebas de Múltiple Rangos para dureza

CONTRASTE	SIG.	DIFERENCIA	+/- LÍMITES
AC 4LPB - AC 5LPB	*	-20,0	16,7725
AC 4LPB - AC 6LPB	*	-33,3333	16,7725
AC 4LPB - AD 4LPB	*	20,0	16,7725
AC 4LPB - AD 5LPB	*	20,0	16,7725
AC 4LPB - AD 6LPB	*	20,0	16,7725
AC 5LPB - AC 6LPB		-13,3333	16,7725
AC 5LPB - AD 4LPB	*	40,0	16,7725
AC 5LPB - AD 5LPB	*	40,0	16,7725
AC 5LPB - AD 6LPB	*	40,0	16,7725
AC 6LPB - AD 4LPB	*	53,3333	16,7725
AC 6LPB - AD 5LPB	*	53,3333	16,7725
AC 6LPB - AD 6LPB	*	53,3333	16,7725
AD 4LPB - AD 5LPB		0	16,7725
AD 4LPB - AD 6LPB		0	16,7725
AD 5LPB - AD 6LPB		0	16,7725

* indica una diferencia significativa.

APENDICE D
(Memorias fotográficas)



Imagen D.1 tesista Fabiola Monroy



Imagen D.2 tesista Valentina Roca



Imagen D.3 tesista Fabiola Monroy



Imagen D.4 tesista Valentina Roca

HOJAS METADATOS

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

Título	Aplicación de la cáscara de huevo como aditivo controlador de filtrado en fluidos de perforación dispersos
---------------	---

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

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Monroy Ferrucci, Fabiola Eloisa	CVLAC	C.I:22.974.715
	e-mail	fabiolaferrucci27@gmail.com
Roca Conde, Valentina José	CVLAC	C.I:24.126.765
	e-mail	valentinajroca@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:

filtrado
cáscara
fluido
controlador
aditivo
tesis de grado

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

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

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Sub-área
Ingeniería 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

Debido a los altos costo de los aditivos para la formulación de fluidos utilizados durante la perforación de un pozo, se planteó el estudio de la cáscara de huevo como aditivo controlador de filtrado en un fluido disperso, debido a que es un producto orgánico proveniente de las gallinas en Venezuela, y con este se podría minimizar los costos de importaciones de productos comerciales extranjeros. Para la investigación se caracterizó la cáscara de huevo mediante normas covenin y ASTM obteniendo pH, densidad, humedad, granulometría, color y gravedad específica. Se realizaron pruebas para determinar la calidad del fluido formulado a base de cáscara de huevo donde se comparó con el aditivo comercial mediante la hoja de calidad de ESVENCA, posteriormente se llevó a cabo las mismas pruebas para una comparación de las propiedades físicas y químicas en las concentraciones de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb entre el aditivo comercial lignito puro y la cáscara de huevo. Utilizando el programa estadístico Statgraphics XVII se mostraron las diferencias significativas de cada prueba de ambos fluidos, concluyendo que la cáscara de huevo tiene un buen rendimiento como controlador de filtrado.

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

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
M.Sc. Carlos De La Cruz	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I. 12.664.336
	e-mail	cdcruz@udo.edu.ve
M.Sc. Rubén Vega	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I 10.100.632
	e-mail	rvegasudo@gmail.com
Ing. Mónica González	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I 13.751.463
	e-mail	monicagonzalez@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
2019	06	26

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

Lenguaje: spa

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

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

Archivo(s):

Nombre de archivo
NMOTTG_MFFE2019

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: inespacial
Temporal: intemporal

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero de Petróleo

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

Nivel Asociado con el trabajo: Ingeniería

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

Área de Estudio:

Tecnología y Ciencias Aplicadas

Usualmente es el nombre del programa o departamento.

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

Universidad de Oriente Núcleo Monagas

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

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



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

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/manaja

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

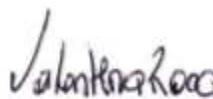
De acuerdo al Artículo 41 del reglamento de Trabajos de Grado:

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.



Fabiola Eloisa Monroy Ferrucci

Autor



Valentina José Roca Conde

Autor



M.Sc. Carlos De La Cruz

Asesor