



UNIVERSIDAD UTE

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

CARRERA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS

**DETERMINACIÓN DE UN CONTROLADOR DE FILTRADO
PARA FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA A PARTIR
DEL ALMIDÓN DE ARROZ (*ORYZA SATIVA L*) Y ESTUDIO DE
SUS PROPIEDADES FÍSICAS Y REOLÓGICAS, MEDIANTE
ENSAYOS DE LABORATORIO**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA DE PETRÓLEOS**

CORONEL TOBAR JACKELINE ELIZABETH

DIRECTOR: ING. FAUSTO RENÉ RAMOS AGUIRRE MSc.

Quito, agosto 2018

© Universidad UTE. 2018
Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1723293252
APELLIDOS Y NOMBRES:	Coronel Tobar Jackeline Elizabeth
DIRECCIÓN:	Padre Rumi y pasaje Chilcapamba, Conjunto Terrasol casa #117
EMAIL:	jackie7626@hotmail.com
TELÉFONO FIJO:	022397517
TELÉFONO MÓVIL:	0996781037

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO	Determinación de un controlador de filtrado para fluidos de perforación base agua a partir del almidón de arroz (<i>Oryza sativa L</i>) y estudio de sus propiedades físicas y reológicas, mediante ensayos de laboratorio
AUTORA	Coronel Tobar Jackeline Elizabeth
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN	08 de agosto de 2018
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN	Ing. Fausto René Ramos Aguirre MSc.
PROGRAMA	Pregrado
TÍTULO POR EL QUE OPTA	Ingeniera de Petróleos
RESUMEN	El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo obtener un controlador de filtrado para fluidos de perforación formulados con agua en base a almidón de arroz determinando su funcionalidad con pruebas de laboratorio. Se obtuvo almidón mediante el método húmedo de extracción separándolo de la fibra también presente en los granos de arroz. Se elaboraron diferentes mezclas de agua con almidón, almidón/fibra y almidón modificado por hidrólisis ácida para realizar pruebas de laboratorio de filtrado API y reología. En el ensayo de filtrado API se midió el volumen de agua filtrado lo que determinó la capacidad de taponamiento que posee el almidón, simulando lo que ocurriría en una

	<p>perforación por medio del uso de papel filtro en cada prueba cumpliendo la función de la pared del pozo. En el ensayo de reología se midieron propiedades reológicas como viscosidad aparente, viscosidad plástica y punto cedente del almidón para determinar su uso en la formulación de un lodo de perforación. Los resultados de la aplicación de almidón de arroz como controlador de filtrado indicaron que existen tres mezclas de almidón eficientes para utilizar. Estas mezclas presentaron volúmenes de filtrado API de 1.8 mL/30min, 4.3 mL/30min y 4.5 mL/30min valores que se encuentran bajo especificación de la norma API Specification 13 A la que señala un valor máximo de filtrado de 10 mL/30min. Con estos valores se determinó que el controlador de filtrado en base a almidón de arroz que se analizó en la investigación funciona y cumple con la finalidad con la que se obtuvo, que no fue otra más que controlar la pérdida de filtrado consiguiendo un volumen mejor al especificado bajo norma.</p>
<p>PALABRAS CLAVE</p>	<p>Fluidos de perforación, almidón de arroz, control de filtrado.</p>
<p>ABSTRACT</p>	<p>The objective of the present degree work was to obtain a filtering controller for drilling fluids developed with water based on rice starch, determining its functionality with laboratory tests. Starch was obtained by the wet extraction method separating it from the fiber also present in the rice grains. Different mixtures of water with starch, starch/fiber and starch modified by acid hydrolysis were elaborated to carry out laboratory tests of API filtering and rheology. In the API filtering test, the volume of filtered water was measured, which determined the capacity of the starch to clog, simulating what would happen in a drilling through the use of filtering paper, in each test fulfilling the function of the well wall. In the rheology test, rheological properties</p>

	<p>such as apparent viscosity, plastic viscosity and starch yield point were measured to determine their use in the formulation of a drilling mud. The results of the application of rice starch as a filtering controller indicated that there are three efficient starch mixtures to be used. These mixtures presented volumes of API filtering of 1.8 mL/30min, 4.3 mL/30min and 4.5 mL/30min results that are under specification of the standard of API Specification 13 A, which indicates a maximum filtering value of 10 mL/30min. With these values it was determined that the filtering controller based on rice starch that was analyzed in the investigation works and fulfills the purpose with which it was obtained, which was nothing more than controlling the loss of filtering, achieving a better volume than the specified under standard.</p>
KEYWORDS	Drilling fluids, rice starch, filter control.

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f: 
CORONEL TOBAR JACKELINE ELIZABETH
AUTORA
C.I. 1723293252

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Coronel Tobar Jackeline Elizabeth**, C.I. 1723293252 autora del proyecto titulado: **Determinación de un controlador de filtrado para fluidos de perforación base agua a partir del almidón de arroz (*Oryza sativa L*) y estudio de sus propiedades físicas y reológicas, mediante ensayos de laboratorio** previo a la obtención del título de **Ingeniera de Petróleos** en la Universidad UTE.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad UTE a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 08 de agosto de 2018

f: _____



CORONEL TOBAR JACKELINE ELIZABETH
AUTORA
C.I. 1723293252

DECLARACIÓN

Yo **Coronel Tobar Jackeline Elizabeth**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad UTE puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

f: 
CORONEL TOBAR JACKELINE ELIZABETH
AUTORA
C.I. 1723293252

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título **Determinación de un controlador de filtrado para fluidos de perforación base agua a partir del almidón de arroz (*Oryza sativa L*) y estudio de sus propiedades físicas y reológicas, mediante ensayos de laboratorio** que, para aspirar al título de Ingeniera de Petróleos fue desarrollado por **Coronel Tobar Jackeline Elizabeth**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.

f: _____


ING. FAUSTO RENÉ RAMOS AGUIRRE MSc.
DIRECTOR DEL TRABAJO
C.I. 1705134102



Company Limited

探厄瓜多尔分公司 (CCDC Ecuador Branch)

CNPC Chuanqing Drilling Engineering

川庆钻

CERTIFICADO

Chuanqing Drilling Engineering Company Limited (CCDC), certifica que la señorita **Coronel Tobar Jackeline Elizabeth** con cédula de identidad No. 172329325-2 realizó su tesis para la obtención del Título de Ingeniera de Petróleos; siendo el tema de tesis **“DETERMINACIÓN DE UN CONTROLADOR DE FILTRADO PARA FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA A PARTIR DEL ALMIDÓN DE ARROZ (ORYZA SATIVA L) Y ESTUDIO DE SUS PROPIEDADES FÍSICAS Y REOLÓGICAS, MEDIANTE ENSAYO DE LABORATORIO”** desde el 18 de Septiembre del 2017 al 01 de Junio del 2018.

El portador del presente documento certificado; puede hacer uso como ha bien tuviere.

Sin otro particular, nos suscribimos,

Atentamente,

Chuanqing Drilling Engineering Company Limited (CCDC)

f:

Henry Romero

Ingeniero de Laboratorio CCDC

Quito, junio de 2018

DEDICATORIA

A Dios por cada día de mi vida brindarme la sabiduría, salud y fuerzas para alcanzar todas mis metas, por ser él quien siempre me muestra y conduce por el camino correcto hacia la realización de mis objetivos.

A mis padres: **Bolívar y Rosita** por ser ellos mi más grande fortaleza y refugio cuando no encuentro una salida, por todo su amor, paciencia y apoyo absoluto en cada una de mis decisiones y por respaldarme con todos los recursos durante mi vida universitaria, papá y mamá a ustedes por ser quienes han formado el ser humano y la profesional que ahora soy.

A mi hermano **Pablo** por ser quien más me apoyo en mis primeros años de la universidad, por todo su amor y consejos incondicionales, por estar siempre a mi lado y acolitarme en cada una de mis locuras.

A mi abuelita **Mamita Lolita** por ser mi más grande inspiración para culminar este trabajo, por ser ella quien un día quiso ver a su nieta convertida en una ingeniera, por todo su amor y palabras acertadas que siempre me llenan el alma.

A mis amigos por recorrer todos estos años de estudios juntos y mantenerse siempre leales en las buenas y en las malas, por todo su apoyo durante cada tropiezo, por cada risa compartida y cada lágrima derramada.

Jackeline

AGRADECIMIENTO

A mis padres por trabajar arduamente y así brindarme todo el apoyo económico necesario para culminar mis estudios universitarios, gracias mamá por tanto amor y nunca dejar que me rinda, a ti papá gracias por enseñarme que la vida es de los valientes, de los que no solamente se atreven a soñar sino que cada día se levantan muy temprano, trabajan fuertemente y con mucho sacrificio por lograr sus sueños, dejan de lado muchas otras cosas y son los últimos en acostarse.

A la Universidad UTE por permitirme realizar mis estudios universitarios, a cada uno de mis profesores de la carrera de Ingeniería de Petróleos por todos los conocimientos impartidos, vivencias y experiencias que serán mis principales herramientas en un futuro laboral.

A la empresa CNPC – CCDC por permitirme la utilización de equipos de laboratorio necesarios para la realización de ensayos en la presente investigación.

Al **Ing. Fausto Ramos** tutor de mi tesis, por toda su dedicación, paciencia y colaboración en la elaboración del presente trabajo, gracias por todo el tiempo invertido y sabiduría transmitida en mi formación profesional.

Al **Ing. Henry Romero** funcionario de CNPC – CCDC, quien con todo su conocimiento en el área de fluidos de perforación y su paciencia día a día en los laboratorios hizo posible la culminación del presente trabajo.

A **Pablito Rivera** por ser una guía clave en la realización de mi tesis, por todos sus consejos y apoyo que me facilitaron la adquisición del material necesario para las pruebas de laboratorio.

A **David “Pecas”** por hacer de todo este proceso divertido, por cada día darme ánimos hasta terminar, acolitarme con las pruebas de laboratorio y tantas horas de lectura, gracias.

Gracias a todos los que de alguna manera aportaron para la terminación de este trabajo.

Jackeline

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 OBJETIVOS	8
1.1.1 OBJETIVO GENERAL	8
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
2. METODOLOGÍA	9
2.1 EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE ARROZ	9
2.1.1 VERIFICACIÓN DE LA PRESENCIA DE ALMIDÓN DE ARROZ MEDIANTE LA PRUEBA DE LUGOL	9
2.2 CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE ARROZ OBTENIDO RELACIONÁNDOLO CON OTRO ALMIDÓN	9
2.3 ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE ALMIDÓN DE ARROZ PARA ENSAYOS DE LABORATORIO	10
2.4 ENSAYOS DE LABORATORIO PARA DETERMINAR LA FUNCIONALIDAD DEL ALMIDÓN DE ARROZ COMO CONTROLADOR DE FILTRADO	11
2.4.1 GELATINIZACIÓN DE ALMIDÓN	11
2.4.2 PRUEBA DE pH	11
2.4.3 CONTROL DE FILTRADO DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN	12
2.4.4 REOLOGÍA DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN	12
2.4.5 MODIFICACIÓN DEL ALMIDÓN	13
2.4.5.1 Hidrólisis Ácida	13
2.5 COMPARACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD DEL ALMIDÓN DE ARROZ EN EL CONTROL DE FILTRADO CON OTROS ALMIDONES	13

	PÁGINA
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
3.1 OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE ARROZ	14
3.2 CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE ARROZ EXTRAÍDO	14
3.3 ENSAYOS DE FILTRADO API Y REOLOGÍA	15
3.3.1 ENSAYOS DE FILTRADO API Y REOLOGÍA CON ALMIDÓN DE ARROZ	15
3.3.2 ENSAYOS DE FILTRADO API Y REOLOGÍA CON ALMIDÓN/FIBRA DE ARROZ	17
3.3.3 APLICACIÓN DE HIDRÓLISIS ÁCIDA CON ALMIDÓN DE ARROZ	18
3.3.3.1 Ensayos de filtrado API y reología con almidón de arroz modificado químicamente	18
3.4 COMPARACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD DEL ALMIDÓN DE ARROZ EN EL CONTROL DE FILTRADO	20
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	23
4.1 CONCLUSIONES	23
4.2 RECOMENDACIONES	24
5. BIBLIOGRAFÍA	25
6. ANEXOS	27

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Propiedades físicas y químicas de un fluido de perforación	3
Tabla 2. Formulación básica de un fluido de perforación	4
Tabla 3. Especificaciones físicas del almidón industrial como controlador de filtrado para fluidos de perforación	5
Tabla 4. Características generales del almidón de arroz	6
Tabla 5. Mezclas de almidón de arroz para valoración como controlador de filtrado	10
Tabla 6. Mezclas de almidón/fibra de arroz para valoración como controlador de filtrado	10
Tabla 7. Mezcla de almidón con hidrólisis ácida para valoración como controlador de filtrado	11
Tabla 8. Rendimiento de la extracción de almidón de arroz	14
Tabla 9. Resultado de la prueba de Lugol	14
Tabla 10. Caracterización del almidón de arroz y almidón industrial	15
Tabla 11. Resultados de las pruebas de reología con almidón de arroz	16
Tabla 12. Resultados de las pruebas de reología con almidón/fibra de arroz	18
Tabla 13. Resultados de las pruebas de reología con almidón modificado	19
Tabla 14. Filtrado API a partir de almidones	21
Tabla 15. Reología a partir de almidones	21
Tabla 16. Mezclas de almidón y almidón/fibra fuera de especificaciones	29

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Resultados de las pruebas de filtrado API con almidón de arroz	15
Figura 2. Resultados de las pruebas de filtrado API con almidón/fibra de arroz	17
Figura 3. Resultados de las pruebas de filtrado API con almidón modificado	19
Figura 4. Fotografía molino manual utilizado en el triturado	27
Figura 5. Fotografía separación y filtrado de almidón y fibra de arroz	28
Figura 6. Fotografía horno de rolado OFITE modelo 173-00-RC	28
Figura 7. Fotografía hidrólisis ácida con almidón de arroz	32

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO 1. Proceso de extracción de almidón de arroz	27
ANEXO 2. Mezclas de almidón y almidón/fibra fuera de especificaciones	29
ANEXO 3. Calentador eléctrico TOMATO	30
ANEXO 4. Agitador mecánico OFITE de alta velocidad	30
ANEXO 5. Filtro prensa API OFITE	31
ANEXO 6. Viscosímetro rotativo OFITE 800	31
ANEXO 7. Proceso de hidrólisis ácida	32

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo obtener un controlador de filtrado para fluidos de perforación formulados con agua en base a almidón de arroz determinando su funcionalidad con pruebas de laboratorio. Se obtuvo almidón mediante el método húmedo de extracción separándolo de la fibra también presente en los granos de arroz. Se elaboraron diferentes mezclas de agua con almidón, almidón/fibra y almidón modificado por hidrólisis ácida para realizar pruebas de laboratorio de filtrado API y reología. En el ensayo de filtrado API se midió el volumen de agua filtrado lo que determinó la capacidad de taponamiento que posee el almidón, simulando lo que ocurriría en una perforación por medio del uso de papel filtro en cada prueba cumpliendo la función de la pared del pozo. En el ensayo de reología se midieron propiedades reológicas como viscosidad aparente, viscosidad plástica y punto cedente del almidón para determinar su uso en la formulación de un lodo de perforación. Los resultados de la aplicación de almidón de arroz como controlador de filtrado indicaron que existen tres mezclas de almidón eficientes para utilizar. Estas mezclas presentaron volúmenes de filtrado API de 1.8 mL/30min, 4.3 mL/30min y 4.5 mL/30min valores que se encuentran bajo especificación de la norma API Specification 13 A la que señala un valor máximo de filtrado de 10 mL/30min. Con estos valores se determinó que el controlador de filtrado en base a almidón de arroz que se analizó en la investigación funciona y cumple con la finalidad con la que se obtuvo, que no fue otra más que controlar la pérdida de filtrado consiguiendo un volumen mejor al especificado bajo norma.

PALABRAS CLAVE: Fluidos de perforación, almidón de arroz, control de filtrado.

ABSTRACT

The objective of the present degree work was to obtain a filtering controller for drilling fluids developed with water based on rice starch, determining its functionality with laboratory tests. Starch was obtained by the wet extraction method separating it from the fiber also present in the rice grains. Different mixtures of water with starch, starch/fiber and starch modified by acid hydrolysis were elaborated to carry out laboratory tests of API filtering and rheology. In the API filtering test, the volume of filtered water was measured, which determined the capacity of the starch to clog, simulating what would happen in a drilling through the use of filtering paper, in each test fulfilling the function of the well wall. In the rheology test, rheological properties such as apparent viscosity, plastic viscosity and starch yield point were measured to determine their use in the formulation of a drilling mud. The results of the application of rice starch as a filtering controller indicated that there are three efficient starch mixtures to be used. These mixtures presented volumes of API filtering of 1.8 mL/30min, 4.3 mL/30min and 4.5 mL/30min results that are under specification of the standard of API Specification 13 A, which indicates a maximum filtering value of 10 mL/30min. With these values it was determined that the filtering controller based on rice starch that was analyzed in the investigation works and fulfills the purpose with which it was obtained, which was nothing more than controlling the loss of filtering, achieving a better volume than the specified under standard.

KEYWORDS: Drilling fluids, rice starch, filter control.

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo fundamental de toda operación de perforación es perforar, valorar y terminar de la manera más eficaz posible un pozo que producirá petróleo y/o gas, para lo cual es indispensable una correcta selección del fluido de perforación a utilizar durante toda la ejecución del trabajo (Instituto Americano del Petróleo, 2014).

Los fluidos de perforación o también llamados simplemente lodos, durante el transcurso de la perforación desempeñan indispensables funciones como: el control de presiones con lo que se evita el apareamiento de algún flujo incontrolable proveniente de los fluidos de la formación dentro del pozo, formar un revoque llano, flexible y de baja permeabilidad con el fin de restringir la invasión de filtrado, mantener la estabilidad del pozo, retener en suspensión a los recortes en el espacio anular, trasladar los recortes de perforación generados a superficie para un control de sólidos, transmitir la energía hidráulica necesaria a la broca, enfriar y lubricar la broca y permitir la obtención de toda la información necesaria para evaluar la capacidad productiva de la formación perforada (IMCO Services, 1981).

El lodo de perforación puede ser cualquier sustancia o mezcla de sustancias con específicas propiedades tanto físicas como químicas (Tabla 1) con un definido porcentaje de sólidos; de su correcto diseño dependerá el éxito de un programa de perforación por lo cual se debe tener presente que el fluido no debe ser tóxico, corrosivo, ni inflamable, inerte a la contaminación de sales y minerales, invariable a altas temperaturas y exento a la propagación de bacterias (PDVSA, 2002).

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas de un fluido de perforación

Propiedades Físicas	Propiedades Químicas
Densidad	Dureza
Viscosidad API	Cloruros
Viscosidad plástica	Alcalinidad
Punto cedente	
Fuerza de gel	
Filtrado	
pH	
Contenido de sólidos y líquidos	

(PDVSA, 2002)

En el mercado actual se puede clasificar a los fluidos de perforación en relación al fluido base con el que se formule al lodo. Por tanto existen fluidos base aceite, fluidos base gas o aire y fluidos base agua los cuales son los más usados en la industria petrolera (90 – 95%) debido a su accesible adquisición y bajo precio (Chilingarian y Voraburt, 1981).

La composición principal del lodo dependerá de las demandas presentadas en cada operación de perforación en específico, la formulación básica de un fluido de perforación se detalla a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2. Formulación básica de un fluido de perforación

Materiales	Aditivos
Etapa continua	Petróleo, gas o aire, agua.
Densificante	Galena, hematita, magnetita, baritina, siderita, dolomita, calcita.
Viscosificante	Bentonita, atapulgita.
Controlador de filtrado	Polímeros, almidones, carbonato de calcio.
Controlador de pH	Cal, sosa cáustica, hidróxido de potasio.
Agente dispersante	Lignosulfatos, lignitos, taninos.

(PDVSA, 2002)

En las operaciones de perforación de pozos de petróleo y/o gas, la calidad del lodo de perforación garantiza una eficiente culminación de los trabajos, disminuyendo los daños de la formación, incrementando la eficiencia de la perforación y manteniendo así la productividad del pozo (API, 2001).

En el diseño del fluido uno de los factores más importantes a tomar en consideración es su volumen, por lo que el filtrado es uno de los elementos que más perjudica a la productividad de la formación siempre y cuando el agua de la mezcla con la que se formula al lodo que se encuentra en el espacio anular llega a filtrarse por la misma (Energy-API, 2014).

Mientras el lodo de perforación circula a través del espacio anular este va construyendo un revoque o costra en la pared del pozo, sellando y disminuyendo la pérdida de filtrado hacia la formación. De esta manera se evita que se derrumben las paredes del pozo y ciertos problemas de daño a la formación como: hinchamiento de arcillas, disminución de la permeabilidad, formación de emulsiones, variación de mojabilidad y taponamiento del medio poroso (QMAX México, 2010).

La pérdida desmesurada de filtrado hacia la formación se presenta por factores como: presión, temperatura y tiempo, lo que finalmente termina afectando a la productividad del pozo (Lalaleo, 2015).

En la perforación de pozos petroleros, la filtración puede ocurrir bajo condiciones estáticas como dinámicas. La filtración estática sucede durante las conexiones, los viajes o cuando el fluido no está circulando; es en este momento en el que se debe prestar más atención durante las operaciones para así evitar la formación de un revoque demasiado grueso. La filtración dinámica ocurre mientras el fluido de perforación se encuentra circulando dando lugar a un revoque resistente que evita la erosión con la sarta de perforación e impermeable de bajo espesor y constante (Energy-API, 2014).

La medición de pérdida de filtrado se puede lograr mediante pruebas estáticas de laboratorio y son: filtrado API y filtrado ATAP alta temperatura y alta presión (Baroid, 2000).

No existe ninguna relación directa entre las medidas de los ensayos de laboratorio API y ATAP de la filtración estática con la filtración dinámica. Un fluido de perforación que manifiesta buenas características de filtración estática poseerá un buen rendimiento bajo condiciones reales de perforación, señalando así que la pérdida de fluido en el transcurso de la filtración dinámica se encuentra dentro de un rango satisfactorio (Energy-API, 2014).

El objetivo principal del presente trabajo de titulación es obtener un controlador de filtrado a partir del almidón de arroz, determinando su funcionalidad con pruebas de laboratorio descritas en la norma API Recommended 13 B-1, junto a especificaciones que debe cumplir el almidón detalladas en la norma API Specification 13 A como se registra en la Tabla 3, para constatar su eficiencia y probable utilización en la formulación de lodos de perforación.

Tabla 3. Especificaciones físicas del almidón industrial como controlador de filtrado para fluidos de perforación

Parámetro de prueba	Especificación
Características de suspensión	N/A
Volumen de filtrado, mL/30min	Máximo 10
Viscosidad aparente (cP)	Máximo 10
Viscosidad plástica (cP)	Máximo 15
Punto cedente (lb/100pies ²)	Máximo 35
Rango de concentración	2-10 g/350 mL, equivale a 2-10 lb/1 bbl

(API Specification 13A, 2010)

La introducción de nuevos controladores de filtrado de origen natural representan una opción diferente para reemplazar el uso de aditivos importados con elevados precios, por aditivos de producción nacional y asequible obtención que generen una reducción de costos e impacto ambiental (Ariza y Fajardo, 2011).

La industria hidrocarburífera a nivel mundial se encuentra continuamente en estudios de nuevas tecnologías y aditivos con los cuales se logre minimizar gastos durante la perforación y producción de un pozo petrolero, además de buscar que sean amigables con el medio ambiente. La implementación de aditivos naturales como controladores de filtrado en la formulación de un lodo de perforación en sustitución a aditivos convencionales, permite alcanzar los requerimientos que se buscan continuamente en el área petrolera (MI-SWACO, 2001).

Los polímeros que tradicionalmente se utilizan para el control de filtrado son obtenidos a partir de maíz y papa. En tal sentido, la investigación de nuevos controladores en base a diferentes almidones de otras raíces, semillas, frutas o tubérculos permite ampliar la elección de controladores una vez verificada su funcionalidad (Luzardo, Espinal, y Muller, 2001).

Las características generales del almidón de arroz se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4. Características generales del almidón de arroz

Característica	Especificación
Magnitud de granulo (eje mayor, μm)	6 – 8
Amilosa (% peso)	19.73 – 21.73
Amilopectina (%peso)	78.47 – 80.27
Temperatura de gelatinización ($^{\circ}\text{C}$)	62.48 – 72.48
Viscosidad relativa	Alta
Inclinación a gelificar	Media
Apariencia de la pasta	Clara
Sapidez	Neutro

(Martínez, 2017)

El almidón es un polisacárido, es decir que es el resultado de la unión de moléculas de glucosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) formando cadenas muy extensas, no obstante es posible que aparezcan más constituyentes en mínimas cantidades. El almidón está conformado por dos polímeros, uno denominado amilosa y el otro ramificado llamado amilopectina, se diferencian entre sí por su estructura, es decir por la manera en la que las unidades de glucosa

(aproximadamente 3000) se unen entre ellas para formar las cadenas. Es más sencillo romper la cadena de la amilosa para liberar las moléculas de glucosa que en la amilopectina debido a que la amilosa es soluble en agua y más hidrolizable (López y Ozaeta, 2013).

Los polímeros naturales son ampliamente utilizados en la formulación de fluidos de perforación logrando tener una alta aceptación y uso por su buen desempeño, cumpliendo las exigencias que debe tener un lodo al momento de perforar un pozo de petróleo y/o gas. En la actualidad los polímeros son componentes de casi todos los sistemas base agua que los utilizan por los buenos resultados que se manifiestan al finalizar una operación de perforación (Luzardo et al., 2001).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Obtener un controlador de filtrado para fluidos de perforación formulados con agua en base a almidón de arroz determinando su funcionalidad con pruebas de laboratorio.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Extraer almidón de los granos del arroz mediante un proceso húmedo para su formulación en lodos de perforación base agua.
- Caracterizar al almidón de arroz obtenido relacionando sus propiedades con las de un almidón industrial.
- Elaborar diferentes mezclas de almidón de arroz simulando su funcionamiento en un lodo de perforación con ensayos de filtrado API y reología en base a la norma API Recommended 13 B-1.
- Realizar el análisis de las propiedades físicas y reológicas de las diferentes mezclas de almidón definiendo a la mejor para el control de filtrado a través de ensayos de laboratorio.
- Comparar la funcionalidad del almidón de arroz en el control de filtrado con un almidón industrial y almidones obtenidos en estudios anteriores.

2. METODOLOGÍA

2. METODOLOGÍA

La obtención de almidón de arroz para la realización posterior de las pruebas de laboratorio necesarias para determinar su efectividad como controlador de filtrado para lodos de perforación, se realizó en las instalaciones de los laboratorios de fluidos de perforación de la carrera de Ingeniería de Petróleos.

2.1 EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE ARROZ

La obtención de almidón de arroz se basó en una secuencia de pasos que se llevaron a cabo mediante el proceso húmedo de extracción (ver Anexo 1), de Devi, Fibrianto, Torley y Bhandari (2009) con algunas modificaciones hasta la obtención del almidón separándolo de la fibra también presente en los granos de arroz. El método de extracción de almidón se lo repitió 30 veces con 100 g de arroz.

2.1.1 VERIFICACIÓN DE LA PRESENCIA DE ALMIDÓN DE ARROZ MEDIANTE LA PRUEBA DE LUGOL

El almidón es un agente utilizado para reducir el volumen de filtrado que el agua de la mezcla con la que se formula el lodo pierde a la formación, en consecuencia al efecto producido por la presión diferencial y a la permeabilidad de las formaciones. Para un adecuado cumplimiento de la finalidad con la que se extrajo el almidón de arroz fue necesario realizar una prueba de Lugol que contiene una mezcla de yodo y yoduro que al reaccionar con el almidón se torna azul – violeta intensa, para comprobar que la materia prima extraída era en efecto almidón. La prueba de Lugol se elaboró con una solución compuesta con 5 g de almidón de arroz y 50 mL de agua en base al método definido por Guarnizo y Martínez (2009).

2.2 CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE ARROZ OBTENIDO RELACIONÁNDOLO CON OTRO ALMIDÓN

La caracterización del almidón se realizó mediante el estudio de sus propiedades relacionándolas con las de un almidón industrial. Se elaboraron dos soluciones, la primera con almidón de arroz y agua; la segunda con almidón industrial y agua. Para ambas soluciones se determinó la temperatura de gelatinización del almidón diluyéndolo en agua hasta percibir un cambio en su tonalidad mientras se calentaba a las mezclas; a la vez que se analizó el estado físico de los dos almidones y se midió el pH de cada uno.

2.3 ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE ALMIDÓN DE ARROZ PARA ENSAYOS DE LABORATORIO

La verificación de la funcionalidad del almidón de arroz como controlador de filtrado para fluidos de perforación base agua se realizó mediante la elaboración de diferentes mezclas de agua con almidón, con lo que se pudo efectuar la planificación de pruebas patrón descritas en el manual de laboratorio de fluidos de perforación de la empresa CNPC-CCDC (2017).

Las diferentes mezclas con almidón para pruebas de laboratorio se elaboraron en primera instancia de 2 en 2 gramos hasta llegar a 20, se repitió las pruebas antes mencionadas adicionando fibra; seguidamente de 5 en 5 gramos hasta llegar a 50; finalmente de 10 en 10 gramos hasta llegar nuevamente a 50. No todos los resultados de las mezclas con almidón y almidón/fibra propuestas se encontraban de acuerdo a especificaciones (ver Anexo 2), de la norma API Specification 13 A, por lo que para la investigación se detalló únicamente a las que cumplieron especificaciones descritas bajo norma.

Las mezclas con almidón de arroz para pruebas de laboratorio se reportan en la Tabla 5.

Tabla 5. Mezclas de almidón de arroz para valoración como controlador de filtrado

Componente	Concentración								
Mezcla	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Almidón (g)	10	20	30	40	42	44	46	48	50
Agua (mL)	350								

Debido a que la fibra también presente en los granos de arroz es un polímero natural se prosiguió a elaborar mezclas entre almidón y fibra de arroz con el fin de comprobar si la fibra mejora el filtrado. Las mezclas con almidón/fibra se detallan en la Tabla 6.

Tabla 6. Mezclas de almidón/fibra de arroz para valoración como controlador de filtrado

Componente	Concentración				
Mezcla	M10	M11	M12	M13	M14
Almidón (g)	41.4	36.8	32.2	27.6	23
Fibra (g)	4.6	9.2	13.8	18.4	23
Agua (mL)	350				

Para la presentación de posteriores figuras y tablas se identificarán a las diferentes mezclas como se detalló en las Tablas 5 y 6.

La modificación química al almidón de arroz se realizó en una sola mezcla (M7) con la finalidad de determinar un mejoramiento en el control de filtrado mediante una hidrólisis ácida a diferentes tiempos de reacción. La mezcla con la que se realizó la hidrólisis ácida se describe en la Tabla 7.

Tabla 7. Mezcla de almidón con hidrólisis ácida para valoración como controlador de filtrado

Componente	Concentración		
Mezcla	M7		
Ácido nítrico – HNO ₃ (mL)	2.5		
Hidróxido de sodio – NaOH (mL)	2 – 2.5		
Tiempo de modificación (min)	3	6	9

2.4 ENSAYOS DE LABORATORIO PARA DETERMINAR LA FUNCIONALIDAD DEL ALMIDÓN DE ARROZ COMO CONTROLADOR DE FILTRADO

2.4.1 GELATINIZACIÓN DE ALMIDÓN

La gelatinización de almidón de arroz se llevó a cabo a través de un calentador eléctrico marca Tomato de laboratorio hasta una temperatura de 160 °F (ver Anexo 3), dando paso a una adecuada disolución de almidón en agua caliente debido a la insolubilidad innata que poseen los almidones en agua fría. La aplicación de calor al almidón de arroz permitió una correcta separación de amilosa y amilopectina. El tiempo de agitación para una buena gelatinización de almidón de arroz fue de 10 minutos para lo que se utilizó un agitador mecánico OFITE de alta velocidad a 20 RPM (ver Anexo 4). El proceso de gelatinización se efectuó en todas las mezclas de almidón y almidón/fibra detalladas en las tablas 5, 6 y 7.

2.4.2 PRUEBA DE pH

Los ensayos de pH se efectuaron con la utilización de un potenciómetro marca HACH sensION™ + Portable Meter. Las mediciones de pH se realizaron al inicio de cada prueba a las diferentes mezclas con almidón propuestas para valorar su eficiencia como controlador de filtrado. Para las pruebas con almidón/fibra se tomó la medida de pH al inicio de las mismas y para los ensayos con hidrólisis ácida se tomó el pH al inicio y al final de la modificación química.

2.4.3 CONTROL DE FILTRADO DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN

El control de filtrado con almidón de arroz se efectuó mediante el empleo de un filtro prensa API (ver Anexo 5). La evaluación de la pérdida de filtrado a diferentes mezclas se desarrolló para pruebas con almidón, almidón/fibra y almidón modificado mediante hidrólisis ácida. Los ensayos de laboratorio para control de filtrado se basaron en el procedimiento descrito en la norma API Recommended 13 B-1.

2.4.4 REOLOGÍA DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN

Las pruebas de reología se realizaron con el fin de obtener las propiedades de viscosidad aparente, viscosidad plástica y punto cedente. Para la lectura de las antemencionadas propiedades fue necesario la utilización de un viscosímetro rotativo OFITE modelo 800 de 8 velocidades (ver Anexo 6), las pruebas fueron realizadas a las diferentes mezclas propuestas en las tablas 5, 6 y 7 en base a la norma API Recommended 13 B-1.

- **Viscosidad aparente**

La viscosidad aparente fue calculada mediante la ecuación 1. Como se especifica en la norma API Recommended 13 B-1 (2009).

$$V_a = \frac{\text{Lectura } 600 \text{ RPM}}{2} \quad [1]$$

- **Viscosidad plástica**

La viscosidad plástica fue calculada mediante la ecuación 2. Como se especifica en la norma API Recommended 13 B-1 (2009).

$$V_p = \text{Lectura } 600 \text{ RPM} - \text{Lectura } 300 \text{ RPM} \quad [2]$$

- **Punto cedente (Yield Point)**

El punto cedente fue calculado mediante la ecuación 3. Como se especifica en la norma API Recommended 13 B-1 (2009).

$$Y_p \left(\frac{\text{lbs}}{\text{pie}^2} \right) = \text{Lectura } 300 \text{ RPM} - V_p \quad [3]$$

2.4.5 MODIFICACIÓN DEL ALMIDÓN

El procedimiento de transformación del almidón de arroz se basó en una modificación a la estructura del mismo por medio de una hidrólisis ácida con el objetivo de romper aún más fácilmente las cadenas químicas que lo conforman, es más sencillo fraccionar la cadena de la amilosa para liberar las moléculas de glucosa que la cadena de la amilopectina debido a que la amilosa es soluble en agua y más hidrolizable, dando paso a una mejor solubilidad del almidón en agua que es lo que se requiere en el fluido de perforación para mejorar la pérdida del filtrado registrada con el almidón sin realizar ninguna modificación química.

2.4.5.1 Hidrólisis Ácida

Proceso utilizado para transformar al almidón de arroz por medio de la separación de la cadena química que lo constituye utilizando ácido nítrico HNO_3 (ver Anexo 7), con la finalidad de valorar el comportamiento del almidón como controlador de filtrado con esta modificación. El proceso se efectuó en base al método de Bolaños, Lutz y Herrera (2003).

2.5 COMPARACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD DEL ALMIDÓN DE ARROZ EN EL CONTROL DE FILTRADO CON OTROS ALMIDONES

La comparación de la mejor mezcla de almidón de arroz como controlador de filtrado se realizó en base a un análisis con un almidón industrial y estudios previos realizados con almidón de yuca y almidón de papa como controladores de filtrado para fluidos de perforación base agua, seleccionando de esta manera la mezcla de almidón más adecuada para la formulación de un lodo de perforación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE ARROZ

Para la extracción de almidón y fibra se utilizó 100 g de arroz por medio del proceso detallado en el Anexo 1. El rendimiento de la extracción de almidón de arroz se detalla en la Tabla 8.

Tabla 8. Rendimiento de la extracción de almidón de arroz

Arroz (g)	Almidón (g) ¹	Fibra (g) ²
100	40 ± 2.8	60 ± 2.2

^{1,2} $\bar{x} \pm \sigma$ desviación estándar; n = 30 tamaño de la muestra

Para la verificación de que la materia prima a utilizar era almidón se realizó la prueba de Lugol con la que se registró los siguientes valores, ver Tabla 9.

Tabla 9. Resultado de la prueba de Lugol

Solución	Color original de la solución	Color de la solución al añadir Lugol	Resultado
5 g de muestra + 50 mL de H ₂ O	Blanco	Azul	Afirmativo

La prueba de Lugol realizada resultó afirmativa para la presencia de almidón, al tornarse la solución de una coloración azul al reaccionar con el yodo y yoduro.

3.2 CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE ARROZ EXTRAÍDO

Una vez comprobado que la materia prima a utilizar como controlador de filtrado era en efecto almidón se procedió a realizar una caracterización del mismo comparándolo junto a un almidón industrial para así proseguir a la realización de pruebas de laboratorio. En la Tabla 10 se detalla la caracterización del almidón de arroz y el almidón industrial.

Tabla 10. Caracterización del almidón de arroz y almidón industrial

Características	Almidón de arroz	Almidón industrial
Tonalidad	Blanco	Blanco
Estado físico	Sólido	Sólido
Magnitud del grano (μm)	6 - 8	5 - 25
pH	6.8	6.5
Temperatura de gelatinización ($^{\circ}\text{F}$)	145 – 165	160 – 180

Las características del almidón de arroz y almidón industrial fueron similares, con lo que se comprobó que el almidón de arroz cumple con especificaciones necesarias para ser utilizado como controlador de filtrado. Por tanto se procedió a realizar ensayos de laboratorio.

3.3 ENSAYOS DE FILTRADO API Y REOLOGÍA

Análisis de los valores alcanzados en las pruebas de reología y filtrado API para las diferentes mezclas con almidón y almidón/fibra propuestas en las Tablas 5, 6 y 7 para verificar su efectividad en el control de pérdida de filtrado de fluidos de perforación base agua.

3.3.1 ENSAYOS DE FILTRADO API Y REOLOGÍA CON ALMIDÓN DE ARROZ

En la Figura 1 se pueden contemplar los valores alcanzados en las pruebas de filtrado API, en base a las mezclas propuestas en la Tabla 5.

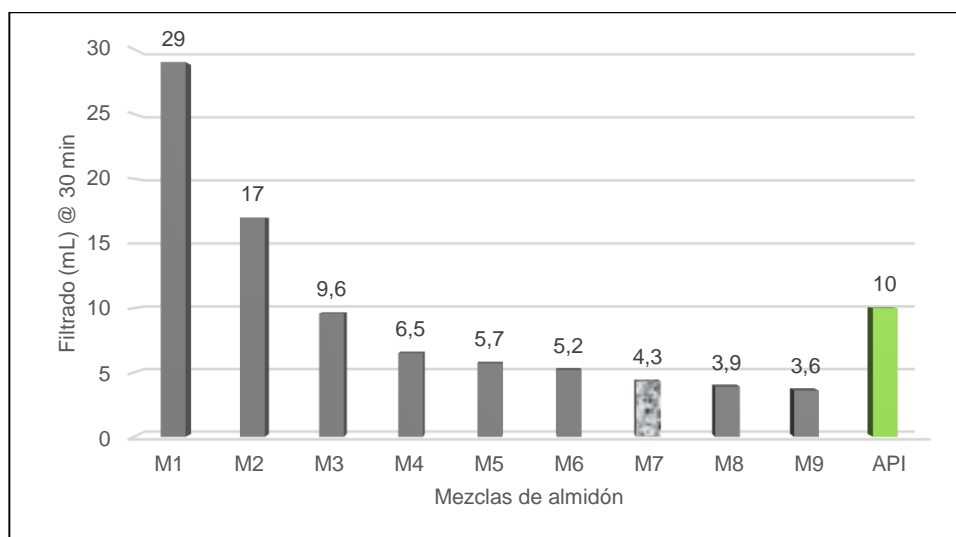


Figura 1. Resultados de las pruebas de filtrado API con almidón de arroz

Se realizaron 9 pruebas con diferentes mezclas de almidón de arroz para determinar a la mejor como controlador de filtrado mediante el uso de un filtro prensa API en base a las indicaciones descritas en el procedimiento de la norma API Recommended 13 B-1. La funcionalidad del almidón de arroz como controlador de filtrado está determinado por el volumen filtrado (agua) al finalizar cada prueba. La concentración con la que se consiguió un mejor rendimiento de control de filtrado es la de la mezcla (M7) arrojando un valor de 4.3 mL/30min. Se seleccionó esta concentración debido a que también se deben considerar otros parámetros de prueba (ver Tabla 3). El resultado obtenido fue contrastado con el valor establecido en la norma API Specification 13 A, en la que se señala 10 mL/30min como valor máximo de filtrado con una concentración de 10 g/350mL H₂O.

En la Tabla 11 se puede visualizar los valores obtenidos en las pruebas de reología con diferentes mezclas de almidón, realizadas para determinar propiedades reológicas presentes.

Tabla 11. Resultados de las pruebas de reología con almidón de arroz

Mezcla	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	API
Viscosidad aparente (cP)	2	5	11	23.5	29.5	34	40	44.5	49.5	10
Viscosidad plástica (cP)	2	4	9	19	25	27	33	37	41	15
Punto cedente (lb/100pies ²)	0	2	4	9	9	14	14	15	17	35

Los ensayos de reología se efectuaron mediante el uso de un viscosímetro marca OFITE modelo 800, en base a las indicaciones descritas en el procedimiento de la norma API Recommended 13 B-1. Los valores alcanzados en la mezcla seleccionada (M7) son: la viscosidad aparente es 40 cP y la viscosidad plástica es 33 cP lo que señala una mayor viscosidad en relación a la concentración de sólidos cuando aumenta la concentración de almidón, estos valores son mayores a los especificados en la norma API Specification 13 A para una concentración de 10 g/350mL H₂O, por la cantidad de almidón que se utilizó, lo que indica que al incrementar los sólidos en la solución también se intensifica la resistencia de la mezcla al flujo. El punto cedente es 14 lb/100pies² y establece la fuerza mínima necesaria para que el fluido inicie el movimiento, el valor obtenido se encuentra establecido en la norma API Specification 13 A.

La mezcla seleccionada (M7) cumplió con el volumen de filtrado especificado en la norma API Specification 13 A de acuerdo a la concentración con la que se trabajó.

3.3.2 ENSAYOS DE FILTRADO API Y REOLOGÍA CON ALMIDÓN/FIBRA DE ARROZ

Los ensayos de filtrado API y reología para mezclas con almidón/fibra se realizaron con la finalidad de comprobar si la fibra mejora el filtrado al mezclarla junto con el almidón. En base a las mezclas propuestas en la Tabla 6 se pueden visualizar los valores obtenidos en las pruebas de filtrado API en la Figura 2.

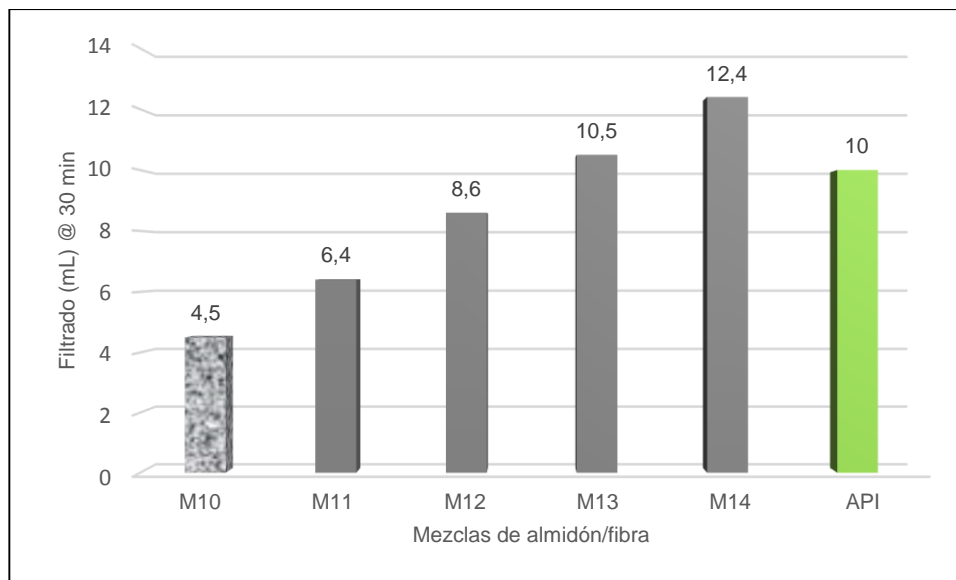


Figura 2. Resultados de las pruebas de filtrado API con almidón/fibra de arroz

En la búsqueda de una concentración diferente para obtener un mejor control de filtrado se procedió con el estudio de pruebas combinando almidón y fibra de arroz para las mismas. Para estos nuevos ensayos de laboratorio se realizaron 5 pruebas a diferentes mezclas. Las pruebas se realizaron mediante el uso de un filtro prensa API y el procedimiento descrito en la norma API Recommended 13 B-1.

La mezcla ideal de almidón/fibra como controlador de filtrado es la mezcla (M10), entregando un valor de filtrado de 4.5 mL/30min. El valor conseguido fue contrastado con el valor especificado bajo la norma API Specification 13 A, en la que se señala 10 mL/30min como valor máximo de filtrado para una concentración de 10 g/350mL H₂O. Las mezclas de almidón/fibra incrementaron el volumen de filtrado a medida que se adicionó fibra junto con el almidón, por lo cual no se estimó ninguna alternativa como controlador de filtrado.

Los resultados de reología de la combinación de almidón/fibra, ver Tabla 12. Se obtuvieron mediante ensayos de laboratorio con el uso de un viscosímetro

marca OFITE modelo 800, en base a las indicaciones descritas en el procedimiento de la norma API Recommended 13 B-1.

Tabla 12. Resultados de las pruebas de reología con almidón/fibra de arroz

Mezcla	M10	M11	M12	M13	M14	API
Viscosidad aparente (cP)	40.5	51.5	62.5	73	84.5	10
Viscosidad plástica (cP)	33	39	46	50	57	15
Punto cedente (lb/100pies ²)	15	25	33	46	55	35

La mejor mezcla en la combinación de almidón/fibra es la mezcla (M10) arrojando los siguientes valores: la viscosidad aparente es 40.5 cP con lo que se puede observar un ligero aumento en comparación con la mezcla (M7), la viscosidad plástica es 33 cP lo que señala que la añadidura de fibra afecta a la viscosidad plástica al aumentar la concentración de sólidos de la mezcla almidón/fibra. Con el punto cedente el mismo que señala la fuerza mínima necesaria para que el fluido comience el movimiento, el valor es 15 lb/100pies² y se encuentra bajo especificación según la norma API Specification 13 A. Los valores adquiridos sugieren un comportamiento muy parecido al de las pruebas con la mezcla (M7) en relación a la mezcla (M10).

3.3.3 APLICACIÓN DE HIDRÓLISIS ÁCIDA CON ALMIDÓN DE ARROZ

En busca de un adecuado controlador de filtrado se continuó con la investigación del mismo, realizando pruebas de laboratorio aplicando una modificación a la mezcla (M7) la que entregó un valor de volumen de filtrado de 4.3 mL/30min. La modificación empleada fue una hidrólisis ácida mediante la utilización de ácido nítrico HNO₃ con el fin de mejorar aún más el volumen de filtrado.

3.3.3.1 Ensayos de filtrado API y reología con almidón de arroz modificado químicamente

En las pruebas de hidrólisis ácida con almidón de arroz se efectuaron 3 ensayos con la misma mezcla de almidón, igual concentración de ácido nítrico HNO₃ pero a diferentes tiempos de reacción, ver Tabla 7.

En la Figura 3 se pueden observar los valores de las pruebas de filtrado API a diferentes tiempos de reacción, los ensayos se realizaron mediante la utilización de un filtro prensa API en base al procedimiento que se explica en la norma API Recommended 13 B-1.

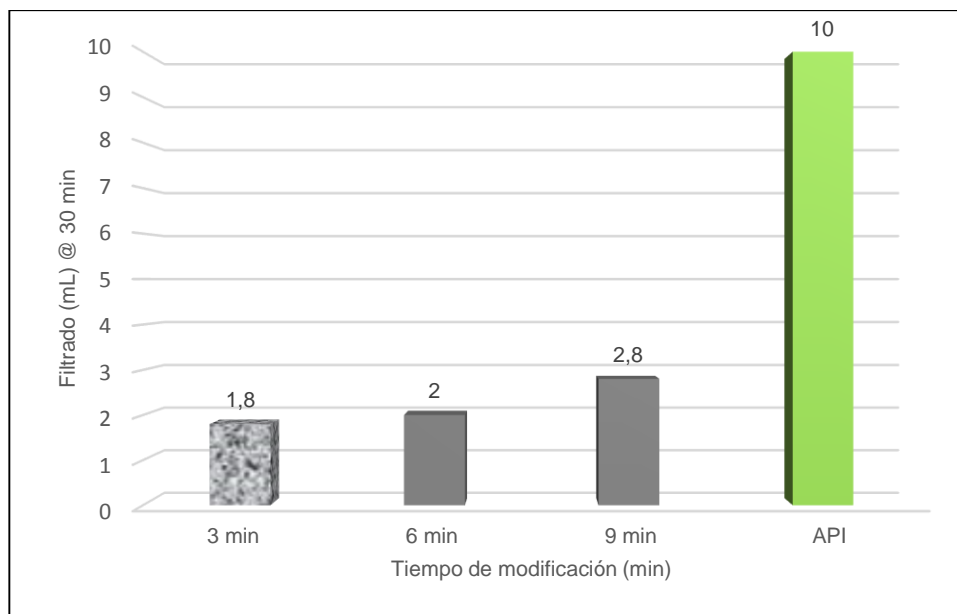


Figura 3. Resultados de las pruebas de filtrado API con almidón modificado

Los valores alcanzados a los diferentes tiempos propuestos en la mezcla (M7) como controlador de filtrado se encuentran en rangos establecidos bajo norma. Siendo 3 minutos el tiempo más adecuado en la obtención de un controlador de filtrado con un valor de 1.8 mL/30min. No fue aconsejable aumentar los tiempos de reacción porque al ampliar estos periodos el filtrado también continuaba aumentando al volverse cada vez más ácido el fluido.

El resultado conseguido fue contrastado con los valores establecidos en la norma API Specification 13 A, en la que se señala 10 mL/30min como valor máximo de filtrado para una concentración de 10 g/350mL H₂O, con lo que se comprobó que la hidrólisis ácida es beneficiosa en la búsqueda de un mejor controlador de filtrado utilizando almidón de arroz.

En la Tabla 13 se pueden constatar los valores de las pruebas de reología.

Tabla 13. Resultados de las pruebas de reología con almidón modificado

Mezcla (M7)	Tiempo de modificación (min)			API
	3	6	9	
Viscosidad aparente (cP)	29.5	32	32	10
Viscosidad plástica (cP)	23	26	26	15
Punto cedente (lb/100pies ²)	12	13	13	35

Las pruebas de reología se efectuaron mediante el empleo de un viscosímetro marca OFITE modelo 800, en base al procedimiento de la norma API Recommended 13 B-1.

Los valores obtenidos en las pruebas de reología a diferentes tiempos de reacción, realizadas para determinar propiedades reológicas presentes como: viscosidad aparente, viscosidad plástica y punto cedente disminuyen en comparación con los resultados de la mezcla (M7) sin realizar ninguna modificación química.

Los valores de reología de la mezcla (M7) con hidrólisis ácida por 3 minutos son: la viscosidad aparente es 29.5 cP y la viscosidad plástica es 23 cP, los valores registrados disminuyeron en comparación con los obtenidos en la concentración de la mezcla (M7 sin realizar modificación química) lo que permitió la constitución de un gel menos viscoso y más resistente dando como resultado un mejor flujo en el espacio anular al limpiar el pozo, una disminución en el gasto de combustible de equipos de superficie y un menor deterioro de los mismos.

Es importante obtener valores bajos de viscosidad plástica pues así se permite mejorar la velocidad de penetración durante las operaciones de perforación. La viscosidad plástica depende de la concentración, forma y tamaño de los sólidos que se encuentren en la mezcla, debido a lo antes mencionado es aún mayor a lo especificado bajo norma. El punto cedente es 12 lb/100pies², valor que se encuentra bajo especificación según la norma API Specification 13 A. El valor de punto cedente obtenido facilita el recobro de sólidos cortados por la broca, permite que la limpieza del pozo sea más efectiva y ayuda a mantener al fluido de perforación en circulación una vez que entra en movimiento.

En el estudio realizado, la mezcla (M7) modificada mediante hidrólisis ácida por un periodo de 3 minutos representó la mejor concentración como controlador de filtrado en la formulación de lodos de perforación base agua.

3.4 COMPARACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD DEL ALMIDÓN DE ARROZ EN EL CONTROL DE FILTRADO

En la Tabla 14 se describen los valores en el control de filtrado de un almidón industrial, almidón de yuca, almidón de papa y almidón de arroz en la formulación de lodos de perforación junto con agua.

Tabla 14. Filtrado API a partir de almidones

Almidón	Concentración (g/350mL H ₂ O)	Filtrado (mL/30min)
Industrial	2 - 10	10
Yuca (90% almidón – 10% fibra)	10	10.5
Papa	10	9.8
Arroz (hidrólisis ácida)	46	1.8

La comparación de la concentración más adecuado como controlador de filtrado para fluidos de perforación se realizó bajo análisis efectuados en la sección 3.3 del presente capítulo y comparaciones con otros almidones, ver Tabla 14. La mejor concentración según la comparación realizada presenta un volumen de filtrado de 1.8 mL/30min, valor que se encuentra bajo especificación a la vez que es el más eficiente en el control de pérdida de filtrado en la formulación de un lodo de perforación base agua con la utilización de almidón de arroz como controlador de filtrado.

En la Tabla 15 se reportan los valores de reología de las diferentes concentraciones de almidón industrial, almidón de yuca, almidón de papa y almidón de arroz.

Tabla 15. Reología a partir de almidones

Reología	Almidón			
	Industrial	Yuca (90% almidón – 10% fibra)	Papa	Arroz (hidrólisis ácida)
Viscosidad aparente (cP)	10	12	18.5	29.5
Viscosidad plástica (cP)	15	8	13	23
Punto cedente (lb/100pies ²)	35	8	11	12

Los valores de viscosidad aparente y viscosidad plástica de la concentración seleccionada como la mejor con almidón de arroz son más altos debido a la alta concentración de almidón con la que se trabajó en el análisis en comparación con los resultados de otros almidones descritos en la Tabla 15. El resultado de punto cedente se cumple en todos los almidones al encontrarse bajo especificación.

La concentración de almidón de arroz seleccionada en el estudio funciona como controlador de filtrado para fluidos de perforación base agua, pero no compete con otros almidones al ser muy alta la concentración con la que se debe trabajar en la formulación de lodos. El hecho de que la concentración con la que se tiene que trabajar utilizando almidón de arroz es alta indicó que cumple con un correcto control de filtrado pero no posee los valores recomendados que deberían tener sus propiedades reológicas para la formulación de un lodo. Al ser tan considerable la concentración de almidón de arroz se infiere que se puede emplear otros almidones que también cumplan especificaciones y su concentración sea menor.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- El controlador de filtrado en base a almidón de arroz que se analizó en la investigación funcionó y cumplió con la finalidad con la que se obtuvo, que no fue otra más que controlar la pérdida de filtrado consiguiendo un volumen de filtrado mejor al especificado bajo norma.
- La extracción de almidón de los granos del arroz representó un proceso extenso y laborioso en el cual se invirtió un prolongado periodo de tiempo, sobre todo porque en cada repetición del método de obtención no se conseguían las cantidades esperadas de almidón.
- Al momento de caracterizar al almidón de arroz relacionándolo con un almidón industrial se logró constatar que sus características eran similares por lo que se decidió continuar con ensayos de laboratorio para determinar su funcionalidad.
- Se elaboraron diferentes mezclas de almidón para ponerlas a prueba como controladores de filtrado hasta obtener las mezclas adecuadas que cumplieron con especificaciones para poder ser analizadas.
- La norma API Specification 13 A especifica una concentración de almidón industrial de 2 – 10 g/350mL H₂O, para la investigación con almidón de arroz se determinó que la concentración es de 46 g/350mL H₂O.
- La mezcla de almidón de arroz que mejor controló la pérdida por filtrado es la de 46 g de almidón puro con hidrólisis ácida por un periodo de 3 minutos en 350 mL de agua con un resultado de 1.8 mL/30min, el valor obtenido se encuentra bajo especificación de la norma API Specification 13 A.
- La hidrólisis ácida mejoró las propiedades del almidón de arroz como controlador de filtrado a periodos cortos de reacción. A una mayor exposición del almidón con el ácido, la mezcla tiende a acidificarse demás por lo que se instauró que el tiempo óptimo de modificación es de 3 minutos para el almidón de arroz.

4.2 RECOMENDACIONES

- Mientras se efectúa el proceso de extracción del almidón de arroz, en el paso de separación y filtrado, pasar al almidón por la tela filtro por no menos de 3 veces asegurando de esta manera una correcta separación del almidón y la fibra.
- Al momento de realizar el secado del almidón no sobrepasar las 12 horas de deshumedecimiento para evitar así una pérdida de propiedades no deseadas para el control de filtrado.
- Para los pedazos sólidos de almidón que no logré triturar el molino hacer uso de un mortero y moler a la máxima cantidad de almidón con el uso de la fuerza humana para evitar el desperdicio de materia prima.
- Continuar con el análisis e investigación de almidones naturales como controladores de filtrado para fluidos de perforación base agua con el fin de obtener uno que cumpla con todas las especificaciones descritas en normas API.

5. BIBLIOGRAFÍA

5. BIBLIOGRAFÍA

- American Petroleum Institute. (2009). *Recommended practice for field testing water-based drilling fluids. ANSI/API 13 B-1*. Washington: API.
- API. (2001). *Manual de fluidos de perforación*. Dallas: American Petroleum Institute.
- API Specification 13A. (2010). *API Specification 13A. Petroleum and natural gas industries - drilling fluids - specifications and testing*. Dallas: American Petroleum Institute.
- Ariza, E., y Fajardo, A. (2011). *Factibilidad del uso de almidón de plátano como aditivo para lodos de perforación*. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- Baroid. (2000). *The complete fluids company. Halliburton. Manual de fluidos Baroid*. Houston: Halliburton Company.
- Bolaños, N., Lutz, G., y Herrera, C. (2003). *Manual de laboratorio*. San José.
- Castro, A., y Gómez, J. (2013). *Factibilidad del uso del almidón de achira como agente controlador de filtrado en lodos de perforación base agua*. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- Chilingarian, G., y Voraburt, P. (1981). *Drilling and drilling fluids*. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company.
- CNPC-CCDC. (2017). *Manual de fluidos de perforación y completación*. Quito.
- Devi, A., Fibrianto, K., Torley, P., y Bhandari, B. (2009). *Physical properties of cryomilled rice starch. Journal of Cereal Science*.
- Energy-API. (2014). *Manual de fluidos de perforación*. Dallas: American Petroleum Institute.
- Guaquipana, J. (2017). Obtención de un controlador de filtrado para fluidos de perforación de pozos petroleros, en base a almidón de yuca. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito.
- Guarnizo, A., y Martínez, P. (2009). *Experimentos de química orgánica con enfoque en ciencias de la vida*. Armenia: ELIZCOM.
- IMCO Services. (1981). *Tecnología aplicada de lodos. IMCO Services a division of Halliburton Company*. Houston.
- Instituto Americano del Petróleo. (2014). *Manual de fluidos de perforación. Procedimiento estándar para las pruebas de fluidos de perforación*. Dallas.
- Lalaleo, W. (2015). Análisis de buenas prácticas operativas y lecciones aprendidas en la gestión de fluidos de perforación utilizados en el Campo Shushufinfi. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Central del Ecuador, Quito.
- López, S., y Ozaeta, G. (2013). Extracción de almidón a partir de arroz de rechazo molido como viscosante en la elaboración de cinco cosméticos. (*Tesis de Pregrado*). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

- Luzardo, J., Espinal, L., y Muller, A. (2001). *Estudio del comportamiento de polímeros hidrosolubles como controladores de filtrado en fluidos de perforación*. Porlamar: IV Seminario de Fluidos de Perforación y Completación.
- Martínez, J. (2017). *Propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón de arroz (Oryza sativa L) blanco e integral*. Valle del Cauca.
- MI-SWACO. (2001). *Manual de ingeniería de fluidos de perforación*. Houston: MI SWACO Schlumberger Company.
- PDVSA. (2002). *Manual de fluidos de perforación*. Maracaibo: Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED).
- QMAX México. (2010). *Manual Qmax de fluidos de perforación*. México.
- Rivera, P. (2017). Obtención de un controlador de filtrado en base a almidón de papa para fluidos de perforación, base agua, para pozos petroleros. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito.

6. ANEXOS

6. ANEXOS

ANEXO 1. PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE ARROZ

Método de obtención de almidón de arroz desarrollado por Devi, Fibrianto, Torley y Bhandari (2009) con algunas modificaciones.

1. **Selección:** Una vez comprado el arroz del cual se va a obtener su almidón, descartar visualmente aquellos granos que presenten desperfectos, para garantizar de esta manera que la materia prima seleccionada es adecuada para su uso.
2. **Lavado:** Descartar toda impureza adherida a los granos de arroz por medio de un enjuague con agua y fregado.
3. **Remojo:** Humedecer a los granos de arroz por un periodo de 30 minutos.
4. **Triturado:** Triturar los granos de arroz remojados en un molino con el fin de obtener una pasta fina, moler por 3 ocasiones (ver Figura 4). A continuación trasladar la pasta adquirida a jarras plásticas de decantación llenas con agua.



Figura 4. Fotografía molino manual utilizado en el triturado

5. **Decantación:** Dejar en reposo durante 12 horas a la pasta de arroz en las jarras con agua, con el objetivo de que el almidón se asiente en el fondo.
6. **Separación y filtrado:** Transcurrido el tiempo de reposo, cernir al almidón con la ayuda de una tela de filtrado efectuándose en este momento la separación del almidón que traspasa la tela mientras la fibra se queda en ella (ver Figura 5), la fibra es almacenada para su

secado. Este paso se debe repetir por 3 ocasiones asegurando una correcta separación y la mayor adquisición posible de almidón.

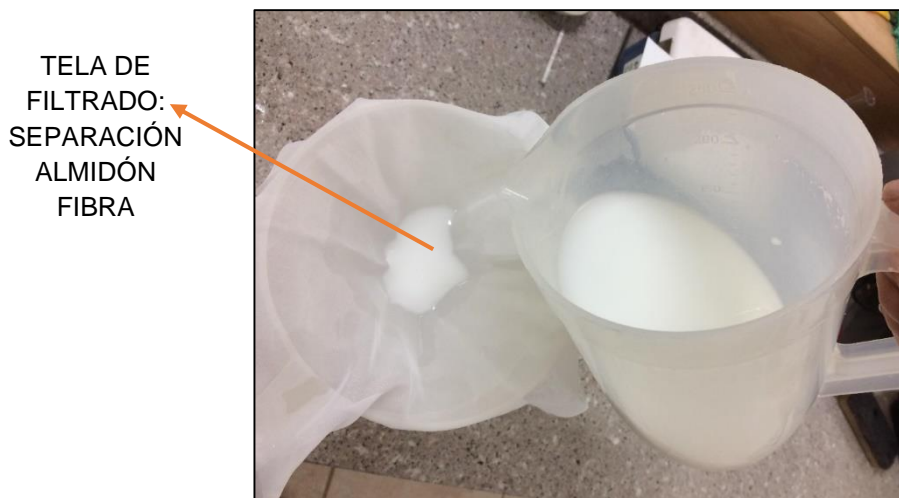


Figura 5. Fotografía separación y filtrado de almidón y fibra de arroz

7. **Secado:** Exhibir al almidón húmedo al calor por un periodo de 12 horas a una temperatura de 50 °C en un horno de rolado marca OFITE modelo 173-00-RC (ver Figura 6), para retirar la humedad del almidón que contenga.



Figura 6. Fotografía horno de rolado OFITE modelo 173-00-RC

8. **Molienda:** Cumplido el tiempo de secado trasladar el almidón a un molino y tritarlo las veces que sean necesarias hasta transformarlo en polvo, en caso de ser necesario hacer uso de un mortero.
9. **Tamizado:** Efectuar en un tamiz de malla 200 μm .
10. **Almacenamiento:** Almacenar el almidón tamizado en bolsas plásticas cerradas al vacío hasta su empleo.

ANEXO 2.

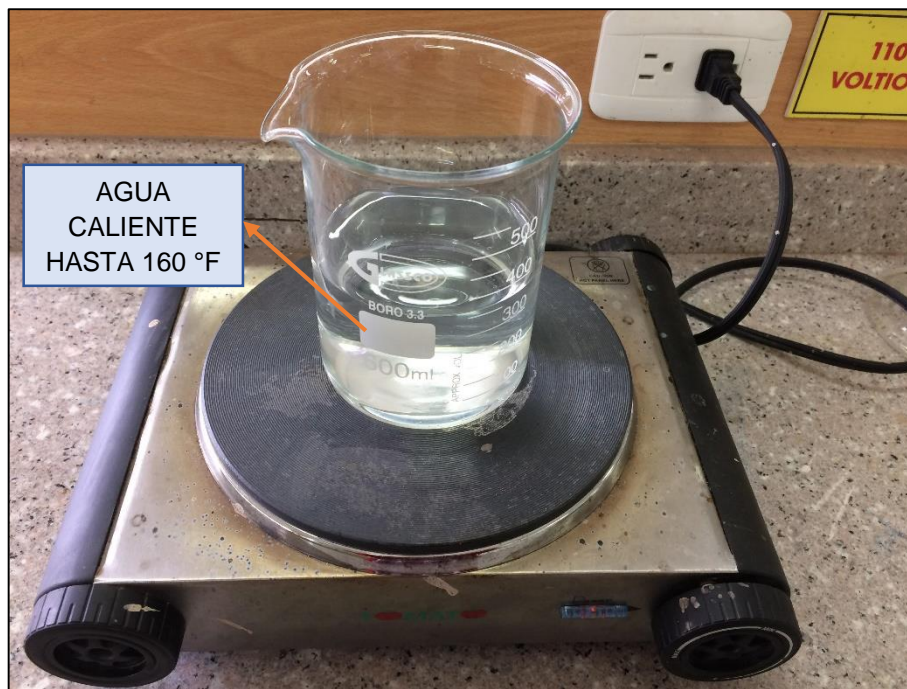
MEZCLAS DE ALMIDÓN Y ALMIDÓN/FIBRA FUERA DE ESPECIFICACIONES

La elaboración de diferentes mezclas de almidón se realizó varias veces (ver Tabla 16), debido a que los valores obtenidos se encontraban fuera de especificaciones, principalmente porque las primeras veces que se obtuvo almidón luego de todo el proceso de extracción se encontraba sucio (los primeros procesos de extracción de almidón no eran adecuados). Fue necesario la repetición de varias pruebas de laboratorio hasta llegar al método de obtención de almidón que se puntualizó en la metodología.

Tabla 16. Mezclas de almidón y almidón/fibra fuera de especificaciones

Mezcla Almidón g/350mL H ₂ O	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Filtrado API (mL) @ 30 min	41	35	32	27.5	26	22.5	18	17	16.5	15
Viscosidad Aparente (cP)	1	1.5	1.5	2.5	3.5	4.5	8.5	10.5	22.5	48.5
Viscosidad Plástica (cP)	1	1	1	2	3	4	7	9	15	32
Punto cedente (lb/100pies ²)	0	1	1	1	1	1	3	3	15	33
Mezcla Almidón/Fibra g/350mL H ₂ O	90/10	80/20	70/30	60/40	50/50	40/60	30/70	20/80	10/90	
Filtrado API (mL) @ 30 min	18.5	20	23	32	39	41	47	53	55.5	
Viscosidad Aparente (cP)	2.5	2.5	2.1	2.5	2.2	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Viscosidad Plástica (cP)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Punto cedente (lb/100pies ²)	1	1	0.2	1	0.4	1	1	1	1	1
Mezcla Almidón g/350mL H ₂ O	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Filtrado API (mL) @ 30 min	69	55	41	33	29	28	25	19	16	13
Viscosidad Aparente (cP)	1	1.5	2.5	3.5	6.5	7.5	15.5	24	48	97.5
Viscosidad Plástica (cP)	1	1	2	3	6	7	14	21	42	88
Punto cedente (lb/100pies ²)	0	1	1	1	1	1	3	6	12	19

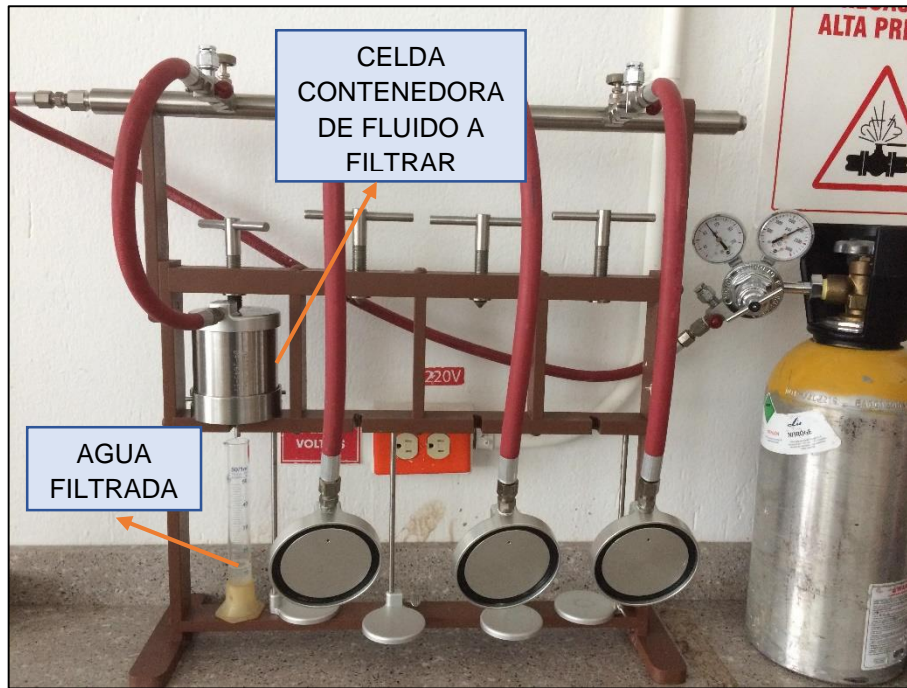
ANEXO 3. CALENTADOR ELÉCTRICO TOMATO



ANEXO 4. AGITADOR MECÁNICO OFITE DE ALTA VELOCIDAD



ANEXO 5. FILTRO PRENSA API OFITE



ANEXO 6. VISCOSÍMETRO ROTATIVO OFITE 800



ANEXO 7. PROCESO DE HIDRÓLISIS ÁCIDA

Método de modificación química al almidón de arroz desarrollado por Bolaños, Lutz y Herrera (2003).

Previo al proceso de hidrólisis ácida con almidón de arroz preparar 100 mL de ácido nítrico (HNO_3) 5N y 100 mL de hidróxido de sodio (NaOH) 5N.

1. Calentar 350 mL de agua (H_2O) hasta llegar a una temperatura de 160 °F con un calentador eléctrico.
2. Añadir al agua caliente poco a poco la concentración de almidón a modificar, agitar a la mezcla durante 10 minutos a 20 RPM con un agitador mecánico.
3. Añadir 2.5 mL de ácido nítrico (HNO_3) 5N (ver Figura 7), mientras se continua agitando por 3 minutos más.

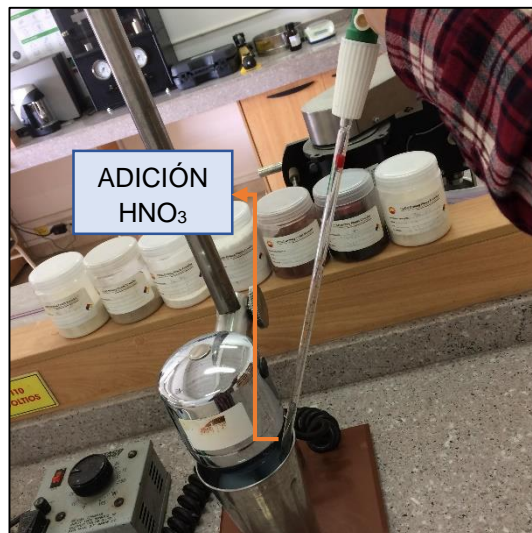


Figura 7. Fotografía hidrólisis ácida con almidón de arroz

4. Transcurridos los 3 minutos tomar el valor de pH inicial.
5. Añadir de 2 a 2.5 mL de hidróxido de sodio (NaOH) 5N para neutralizar a la mezcla.
6. Medir el pH final.

Para la transformación del almidón por medio de hidrólisis ácida repetir el proceso antes descrito cambiando los tiempos de reacción, en los pasos 3 y 4 alargar los periodos por hasta 6 y 9 minutos.

Una vez terminado el proceso de transformación de almidón continuar con los ensayos de laboratorio de filtrado API y reología.