



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

**FORMULACIÓN DE UN FLUIDO VISCOELÁSTICO PARA LA  
PERFORACIÓN DE LA SECCIÓN HORIZONTAL CON  
APLICACIÓN EN LOS CAMPOS BARE Y MELONES DEL  
DISTRITO SAN TOMÉ**

**REALIZADO POR:  
ANGEL JESÚS MALAVER MALAVER**

Trabajo Especial De Grado Presentado Como Requisito Parcial Para Optar Al Título

De:

**INGENIERO DE PETRÓLEO**

**MATURÍN, NOVIEMBRE 2011**

# ACTA DE APROBACIÓN



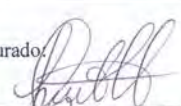
UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE MONAGAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO  
COMISIÓN DE TRABAJO DE GRADO

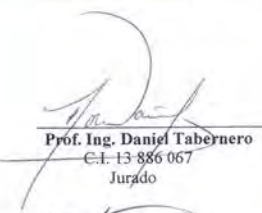
## ACTA N° 1467


En Maturín siendo las **10:00 a.m** del día **10** de **noviembre** de **2011** reunidos en la Sala "Dr. Luis Manuel Peñalver", Campus Los Guaritos del Núcleo de Monagas de la Universidad de Oriente, los profesores: **MSc. Luis Castillo (Asesor Académico), Ing. Daniel Tabernero (Jurado), Ing. Jesús Otahola (Jurado), Ing. Agustín Campos (Asesor Industrial).**


A fin de cumplir con el requisito parcial exigido por el Reglamento de Trabajo de Grado para obtener el Título de **Ingeniero de Petróleo**, se procedió a la presentación del Trabajo de Grado, titulado: **FORMULACIÓN DE UN FLUIDO VISCOELÁSTICO PARA LA PERFORACIÓN DE LA SECCIÓN HORIZONTAL CON APLICACIÓN EN LOS CAMPOS BARE Y MELONES DEL DISTRITO SAN TOMÉ.** Por el Bachiller: **Ángel Jesús Malaver Malaver C.I. 17 405 392.** El jurado, luego de la discusión del mismo acordó calificar como Aprobado con la siguiente Mención \_\_\_\_\_

Por el Jurado:


  
Prof. MSc. Luis Castillo  
C.I.13773 520  
Asesor Académico

  
Prof. Ing. Daniel Tabernero  
C.I. 13 886 067  
Jurado

  
Prof. Ing. Jesús Otahola  
C.I.14 940 176  
Jurado

  
Ing. Agustín Campos  
C.I.11 828 158  
Asesor Industrial

Por la comisión de Trabajos de Grado:  
Reglamento de Trabajo de Grado

  
Comisión Trabajo de Grado

Artículo 16. Literal J.



DEL PUEBLO VENIMOS / HACIA EL PUEBLO VAMOS

Av. Universidad. Campus Los Guaritos. Maturín Estado Monagas. Apartado Postal N° 6201.  
Teléfono 0291-3004010. e-mail: petroleo.monagas@udo.edu.ve

## RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 41 del Reglamento de Trabajos de Grado: “Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la **Universidad de Oriente** y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”.



## **DEDICATORIA**

A mis padres Solange de Malaver y Angel Malaver quienes fueron los pilares para mi formación como hombre y ahora como profesional, a mis hermanas Angeli y Angélica gracias por ese apoyo incondicional y a mi profesora Omaira Salazar que a pesar de lo que pasó se que estuvo conmigo siempre.



**ANGEL JESÚS MALAVER MALAVER**

## AGRADECIMIENTOS

Ante todo quiero agradecerles a Dios y a la Virgen por mantenerme en el buen camino, ayudándome a no perder la fe en esos momentos que más lo necesitaba y darme ese apoyo para vencer los obstáculos que se me presentaron en el desarrollo de mi tesis.

A mi madre quien todos los días me dio ese aliento para seguir adelante para lograr esta meta y a mi padre por esos consejos que me sirvieron de mucho para desarrollar mi trabajo. Quiero agradecerle esa confianza que depositaron en mí, los amo.

A mis hermanas Angeli y Angélica quienes estuvieron muy pendiente de cada uno de mis pasos y no pasaba un día en que me recordaban que debía terminar la tesis rápido para poner mi foto graduado junto a las de ellas. Gracias por estar ahí conmigo siempre.

A una persona muy especial en mi vida Alba Samira Cesin quien estuvo conmigo gran parte de mi carrera hasta el día de hoy, gracias amor por todo tu apoyo cuando mas lo necesite, y discúlpame todas esas carreras que te hice pasar junto a mi pana meagunto quienes entre los dos estuvieron muy pendiente en el desarrollo de mi trabajo.

Gracias a la empresa ESVENCA, por abrirme sus puertas y brindarme el apoyo para así realizar mis pasantías y mi tesis posteriormente.

A mi asesor industrial Agustín Campos quien me ayudo en el desarrollo de mi tema, a mi asesor académico el profesor Luis Castillo que estuvo muy pendiente de cada paso hasta el día de mi presentación y defensa de tesis.

A todas esas personas que de una u otra manera aportaron para que este trabajo se hiciera realidad, mil gracias por sus buenos deseos y dejándole claro que pueden contar conmigo.

Por último y no menos importante darle las gracias a la Universidad de Oriente por abrirme sus puertas y brindarme la oportunidad de cumplir un sueño que ya hoy se hace realidad de ser ingeniero de petróleo. Gracias a todos por su apoyo y buenos deseos.



**ANGEL JESÚS MALAVER MALAVER**

# ÍNDICE GENERAL

<b>ACTA DE APROBACIÓN .....</b>	<b>ii</b>
<b>RESOLUCIÓN.....</b>	<b>iii</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS.....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>xii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xiii</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>2</b>
<b>EL PROBLEMA .....</b>	<b>2</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
1.2.1 Objetivo general.....	3
1.2.2 Objetivos específicos .....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>5</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	5
2.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	6
2.2.1 Faja del Orinoco .....	6
2.2.2 Campo Melones .....	6
2.2.3 Campo Bare .....	7
2.3 BASES TEÓRICAS .....	8
2.3.1 Fluidos de perforación .....	8
2.3.2 Funciones de los fluidos de perforación .....	9
2.3.3 Propiedades fundamentales de los fluidos de perforación.....	9
2.3.4 Modelos reológicos.....	10
2.3.4.1 Modelo newtoniano .....	10
2.3.4.2 Modelo plástico de Bingham .....	10
2.3.4.3 Ley exponencial.....	11
2.3.4.4 Modelo Herschel-Buckley (Modelo de la Ley Exponencial Modificado) .....	12
2.3.5 Cálculo de eficiencia de transporte (TE) de recortes.....	13
2.3.6 Goma xántica .....	15
2.3.7 Almidones.....	15
2.4 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	16
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>18</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>18</b>

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	18
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	19
3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	19
3.5 INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS.....	22
3.5.1 Técnicas.....	22
3.5.2 Instrumentos.....	23
3.6 RECURSOS.....	23
3.6.1 Recursos humanos.....	23
3.6.2 Recursos materiales.....	23
3.6.3 Recursos económicos.....	24
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>25</b>
<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>25</b>
4.1 CARACTERIZACIÓN MEDIANTE PRUEBAS DE REOLOGÍA, FILTRADO API Y VISCOSIDAD BROOKFIELD A LOS FLUIDOS VISCOELÁSTICOS FORMULADOS CON DIFERENTES GOMAS XÁNTICAS Y ALMIDONES MODIFICADOS A DISTINTAS CONCENTRACIONES, ANTES Y DESPUÉS DEL ENVEJECIMIENTO DINÁMICO.....	25
4.1.1 Aditivos, propiedades físicas y reológicas del fluido viscoelástico durante la perforación de la fase de 8 ½ pulg.....	25
4.2 EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA CONTAMINACIÓN CON CEMENTO DE LOS FLUIDOS VISCOELÁSTICOS FORMULADOS CON DIFERENTES GOMAS XÁNTICAS Y ALMIDONES MODIFICADOS A DISTINTAS CONCENTRACIONES, ANTES DEL ENVEJECIMIENTO DINÁMICO.....	34
4.3 DETERMINACIÓN DEL MODELO REOLÓGICO (BINGHAM, EXPONENCIAL Ó EXPONENCIAL MODIFICADO) QUE SE AJUSTE AL COMPORTAMIENTO REAL DE LOS FLUIDOS VISCOELÁSTICOS FORMULADOS CON DIFERENTES GOMAS XÁNTICAS Y ALMIDONES MODIFICADOS A DISTINTAS CONCENTRACIONES.....	49
4.4 CÁLCULO DEL ÍNDICE DE LIMPIEZA A DIFERENTES TASAS DE CIRCULACIÓN (GALONAJES) A TRAVÉS DEL MODELO REOLÓGICO CON EL MEJOR AJUSTE AL COMPORTAMIENTO REAL DE LOS FLUIDOS VISCOELÁSTICOS FORMULADOS CON DIFERENTES GOMAS XÁNTICAS Y ALMIDONES MODIFICADOS A DISTINTAS CONCENTRACIONES.....	52
4.5 ANÁLISIS ECONÓMICO PARA LAS FORMULACIONES PREPARADAS Y ASÍ SABER LA FACTIBILIDAD DE APLICAR EL FLUIDO.....	55
<b>CAPITULO V.....</b>	<b>58</b>



<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>58</b>
5.1 CONCLUSIONES.....	58
5.2 RECOMENDACIONES .....	60
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>61</b>
<b>APÉNDICES.....</b>	<b>62</b>
<b>HOJA DE METADATOS .....</b>	<b>107</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Ubicación Geográfica de la Faja Petrolífera del Orinoco.....	6
Figura 2.2: Ubicación Geográfica del Campo Melones.....	7
Figura 2.3: Ubicación Geográfica del Campo Bare .....	8
Figura 4.1 Modelo combinado Herschel-Bulkley para Formulación A2.....	49
Figura 4.2 Modelo combinado Herschel-Bulkley para Formulación A3.....	50
Figura 4.3 Modelo combinado Herschel-Bulkley para Formulación B1 .....	50
Figura 4.4 Modelo combinado Herschel-Bulkley para Formulación B3 .....	51
Figura 4.5 Modelo combinado Herschel-Bulkley para Formulación C3 .....	51
Figura A.1 "Pantalla de inicio del programa MUDWARE ® " .....	64
Figura C.1 balanza de lodo Ofite .....	68
Figura C.2 viscosímetro rotacional OFITE 800 .....	69
Figura C.3 viscosímetro Brookfield.....	72
Figura C.4 equipo para realizar la prueba de filtrado API .....	74
Figura D.1 resultados corrida para la formulación A2.....	82
Figura D.2 resultados corrida para la formulación A3.....	88
Figura D.3 resultados corrida para la formulación B1 .....	94
Figura D.4 resultados corrida para la formulación B3.....	100
Figura D.5 resultados corrida para la formulación C3 .....	106

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfica 4.1 Comportamiento de la viscosidad plástica para cada una de las formulaciones después del envejecimiento dinámico. ....	32
Gráfica 4.2 Comportamiento del punto cedente para cada una de las formulaciones después del envejecimiento dinámico. ....	32
Gráfica 4.3 Comportamiento del filtrado API para cada formulación después del envejecimiento dinámico. ....	33
Gráfica 4.4 Comportamiento del fluido A2 con respecto a la viscosidad plástica en condiciones normales, contaminado con cemento y tratado. ....	35
Gráfica 4.5 comportamiento del fluido A2 con respecto al punto cedente en condiciones normales, contaminado y tratado. ....	36
Gráfica 4.6 Comportamiento del fluido A2 con respecto al filtrado API en condiciones normales, contaminado y tratado. ....	36
Gráfica 4.7 Comportamiento del fluido A3 con respecto a la viscosidad plástica en condiciones normales, contaminado y tratado. ....	38
Gráfica 4.8 Comportamiento del fluido A3 con respecto al punto cedente en condiciones normales, contaminado y tratado. ....	39
Gráfica 4.9 Comportamiento del fluido A3 con respecto al filtrado API en condiciones normales, contaminado y tratado. ....	39
Gráfica 4.10 Comportamiento del fluido B1 con respecto a la viscosidad plástica en condiciones normales, contaminado y tratado. ....	41
Gráfica 4.11 Comportamiento del fluido B1 con respecto al punto cedente en condiciones normales, contaminado y tratado. ....	42
Gráfica 4.12 Comportamiento del fluido B1 con respecto al filtrado API en condiciones normales, contaminado y tratado. ....	42
Gráfica 4.13 Comportamiento del fluido B3 con respecto a la viscosidad plástica en condiciones normales, contaminado y tratado. ....	44
Gráfica 4.14 Comportamiento del fluido B3 con respecto al punto cedente en condiciones normales, contaminado y tratado. ....	45
Gráfica 4.15 Comportamiento del fluido B3 con respecto al filtrado API en condiciones normales, contaminado y tratado. ....	45
Gráfica 4.16 Comportamiento del fluido C3 con respecto a la viscosidad plástica en condiciones normales, contaminado y tratado. ....	47
Gráfica 4.17 Comportamiento del fluido C3 con respecto al punto cedente en condiciones normales, contaminado y tratado. ....	47
Gráfica 4.18 Comportamiento del fluido C3 con respecto al filtrado API en condiciones normales, contaminado y tratado. ....	48

## LISTA DE TABLAS

Tabla 4.1 Concentraciones y aditivos para la formulación del fluido viscoelástico .....	26
Tabla 4.2 Rango de propiedades requerido para perforar hoyo 8 ½ .....	26
Tabla 4.3 Leyenda de los aditivos utilizados (goma xántica y almidón).....	27
Tabla 4.4 Resultados de la reología, filtrado API, viscosidad plástica, punto cedente, índice de fluidez, índice de consistencia y el esfuerzo de corte inicial para cada formulación antes del envejecimiento dinámico .....	28
Tabla 4.5 Resultados obtenidos del Viscosímetro Brookfield.....	30
Tabla 4.6 Resultados de la reología y filtrado API para cada formulación después del envejecimiento dinámico. ....	31
Tabla 4.7 Resultados de la reología, filtrado API en condiciones normales, contaminado y tratado para la formulación A2 .....	34
Tabla 4.8 Tratamiento para la formulación A2 .....	37
Tabla 4.9 Resultados de la reología, filtrado API en condiciones normales, contaminado y tratado para la formulación A3 .....	37
Tabla 4.10 Tratamiento para la formulación A3 .....	40
Tabla 4.11 Resultados de la reología, filtrado API en condiciones normales, contaminado y tratado para la formulación B1 .....	40
Tabla 4.12 Tratamiento para la formulación B1 .....	43
Tabla 4.13 Resultados de la reología, filtrado API en condiciones normales, contaminado y tratado para la formulación B3 .....	43
Tabla 4.14 Tratamiento para la formulación B3 .....	46
Tabla 4.15 Resultados de la reología, filtrado API en condiciones normales, contaminado y tratado para la formulación C3 .....	46
Tabla 4.16 Tratamiento para la formulación C3 .....	48
Tabla 4.17 Geometría de la sarta de perforación .....	52
Tabla 4.18 Resultados del porcentaje de limpieza .....	53
Tabla 4.19 Costo por libras por cada producto utilizado para las formulaciones .....	55
Tabla 4.20 Costo por barril por cada formulación .....	55



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

**FORMULACIÓN DE UN FLUIDO VISCOELÁSTICO PARA LA PERFORACIÓN  
DE LA SECCIÓN HORIZONTAL CON APLICACIÓN EN LOS CAMPOS BARE Y  
MELONES DEL DISTRITO SAN TOMÉ**

**Realizado por:**  
**Ángel Jesús Malaver Malaver**  
**Mayo, 2011**

**Asesor Académico:**  
**MSC. Luis Castillo**

**RESUMEN**

El presente trabajo tuvo como objetivo principal, la formulación de un fluido viscoelástico para la perforación de la sección horizontal con aplicación en los campos Bare y Melones del Distrito San Tomé. Para ello, inicialmente se formularon fluidos viscoelásticos utilizando distintas concentraciones de gomas xánticas y almidones modificados a los cuales se les realizaron pruebas de reología, filtrado API y viscosidad Brookfield. Posteriormente se evaluó la máxima concentración de cemento que se pueden añadir a los diferentes fluidos viscoelásticos formulados sin producir cambios en su reología y control de filtrado que impidan su uso en las operaciones de perforación. Luego se determinó el modelo reológico que describa mejor las características de flujo de los fluidos viscoelásticos formulados con distintas concentraciones de gomas xánticas y almidones modificados. Finalmente se realizó la evaluación económica de las formulaciones de los fluidos viscoelásticos con distintas concentraciones de goma xántica y almidones modificados, para determinar la rentabilidad de aplicar los resultados obtenidos en este trabajo; concluyéndose que al comparar entre los cinco sistemas de fluidos viscoelásticos basándose en las propiedades reológicas y de filtrado API dio como resultado que la formulación B1 tuvo el mejor comportamiento. Se observó que una vez que el fluido viscoelástico es contaminado con cemento pierde sus propiedades afectando la reología y el filtrado; para contrarrestar esta contaminación se aplicó un tratamiento con ácido cítrico, bicarbonato de calcio, goma xántica y almidón para ajustar las propiedades y se determinó que el mejor modelo reológico que se ajusta al comportamiento real de los fluidos viscoelásticos es el modelo combinado de Herschel-Bulkley

## INTRODUCCIÓN

El Campo Melones se encuentra ubicado al Norte de la Faja Petrolífera del Orinoco en el estado Anzoátegui a 65 km al Sur-Este de la ciudad de El Tigre. Cubre un área aproximada de 699 km<sup>2</sup>. La variedad de los crudos en el área de Melones oscila entre 10 y 12 °API. El Campo Bare está ubicado en el sector Nor-Occidental del área Ayacucho, en la Faja del Orinoco a unos 60 km al Sur-Oeste de San Tomé en el estado Anzoátegui.

Los pozos horizontales de la Faja Petrolífera del Orinoco generalmente se perforan en tres fases; una fase superficial en la cual se utiliza un sistema de fluidos a base de agua y bentonita, comúnmente llamado Aguagel; con el objetivo de proteger de la contaminación con productos químicos los acuíferos superficiales. La segunda fase llamada hoyo intermedio es perforada utilizando un fluido polimérico inhibido; el cual contiene aditivos químicos que suprimen la hidratación y dispersión de las arcillas y lutitas que se encuentran en las formaciones Oficina y Merecure. Por último, se encuentra la tercera fase o sección horizontal, la cual atraviesa las arenas productoras, y es perforada con un fluido viscoelástico.

La presente investigación estuvo dirigida a la formulación de un fluido viscoelástico con propiedades reológicas que maximicen la estabilidad del hoyo y el índice de limpieza en la perforación de secciones horizontales con aplicación en los Campos Bare y Melones del Distrito San Tomé. Los polímeros bajo estudio fueron: goma xántica en su función de viscosificante y almidón como controlador de filtrado. La comparación entre sistemas de fluidos preparados se llevo a cabo por medio de la examinación de las propiedades reológicas y fisicoquímicas bajo diferentes condiciones de presión, temperatura y contaminación. Las pruebas fueron realizadas en el laboratorio simulando el entorno operacional, lo que permitió definir cuál sistema polimérico tiene el mejor desempeño.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los Campos Bare y Melones se encuentran ubicados en el área Nor-Occidental de la Faja Petrolífera del Orinoco, esta área presenta problemas en las secciones horizontales durante la perforación, por tal razón en las actividades de construcción de pozos es de especial atención los efectos de los fluidos de perforación base agua en la inestabilidad del pozo debido a los numerosos problemas que ocasionan. Algunos de ellos son: atascamiento de tuberías de perforación, derrumbes de las paredes del hoyo y hoyos estrechos.

Con el diseño de nuevas técnicas para perforar pozos ha surgido la necesidad de crear fluidos con características especiales, capaces de acarrear la mayor cantidad de recortes generados por el paso de la mecha a través de las formaciones, y de evitar, a su vez, la decantación de estos sólidos en los puntos de máxima desviación de los pozos. Se han formulado fluidos a base de polímeros que proporcionan la reología requerida, y con mínimo contenido de sólidos para evitar daños a las formaciones como consecuencia de mayor área expuesta.

La presente investigación, tiene por finalidad seleccionar mediante pruebas de laboratorio conocidas y de aceptación general en la industria petrolera la formulación de un fluido viscoelástico con propiedades reológicas que mejore la estabilidad del hoyo e índice de limpieza en las secciones horizontales para ser aplicadas en los campos Bare y Melones del Distrito San Tomé.

## 1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.2.1 Objetivo general

Formular un fluido viscoelástico con propiedades reológicas que maximicen la estabilidad del hoyo y el índice de limpieza en las secciones horizontales con aplicación en los campos Bare y Melones del Distrito San Tomé.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar mediante pruebas de reología, filtrado API y Viscosidad Brookfield a los fluidos viscoelásticos formulados con diferentes gomas xánticas y almidones modificados a distintas concentraciones, antes y después del envejecimiento dinámico.
- Estudiar la resistencia a la contaminación con cemento de los fluidos viscoelásticos formulados con diferentes gomas xánticas y almidones modificados a distintas concentraciones, antes del envejecimiento dinámico.
- Determinar el modelo reológico (Bingham, Exponencial o Exponencial Modificado) que se ajuste al comportamiento real de los fluidos viscoelásticos formulados con diferentes gomas xánticas y almidones modificados a distintas concentraciones.
- Calcular el índice de limpieza a diferentes tasas de circulación (galonajes) a través del modelo reológico con el mejor ajuste al comportamiento real de los fluidos viscoelásticos formulados con diferentes gomas xánticas y almidones modificados a distintas concentraciones.
- Analizar desde el punto de vista económico las formulaciones preparadas para el cálculo de la rentabilidad de la aplicación del fluido.



### **1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Con el objeto de disminuir el potencial de daño a las formaciones productoras durante las labores de perforación se llegó a la necesidad de probar a nivel de laboratorio diferentes gomas xánticas y almidones modificados, para así escoger cual formulación es la más acorde para ser aplicada en las formaciones ubicadas en los Campos Bare y Melones del Distrito de San Tomé.

La importancia de esta investigación para ESVENCA, empresa venezolana dedicada al mejoramiento continuo de sus procesos, radica en estudiar el comportamiento de sistemas de fluidos que aseguren el éxito en las operaciones de perforación en las secciones horizontales específicamente para los Campos Bare y Melones, minimizando las repercusiones de dicha labor en la productividad de los pozos perforados, así como una reducción significativa de horas de trabajo y costos asociados a problemas operacionales, mejorando la eficiencia del proceso de perforación, garantizándoles a sus clientes un servicio de alta calidad.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

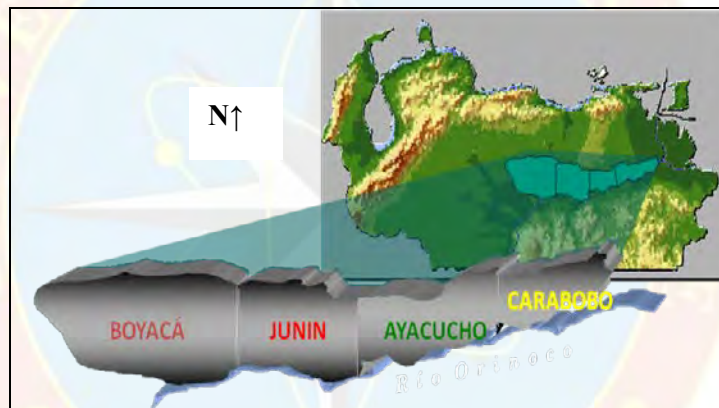
**García, K. (2006)**, “Evaluación de un fluido viscoelástico con base en Formiato de Potasio para su uso como fluido de perforación en el Área Mayor de Anaco”. Debido a las características de la Formación Oficina, surgió la necesidad de diseñar nuevos fluidos de perforación, capaces de solucionar problemas con zonas arcillosas y/o lutíticas. A través de las pruebas reológicas, ensayos de tiempo de succión capilar e hinchamiento lineal a un fluido viscoelástico con base en amina y otro en base de potasio, se determinó que con el Formiato de Potasio se logra obtener una mayor inhibición de las arcillas reactivas presentes en el Área Mayor de Anaco que con el uso de aminas.

**Figuroa, M. (2007)**, “Evaluación del daño ocasionado por el fluido viscoelástico, durante la perforación de la formación productora Las Piedras, en pozos someros del Campo Orocual”. Por medio de las formulaciones de fluidos viscoelásticos realizadas a nivel de laboratorio utilizadas durante la perforación de los pozos, a través de mediciones reológicas como viscosidad plástica, punto cedente y geles para conocer la capacidad de limpieza del fluido. El análisis de los resultados permitió establecer que la formulación utilizada en la perforación del pozo ORS-82 originó menor daño, debido a que posee la distribución de partículas que mejor se adapta a los diámetros porales de la formación. No obstante la disminución de la permeabilidad en la vecindad de los pozos se ve favorecida por la migración de partículas inestables características de estas arenas poco consolidadas, que se mueven ocasionando bloqueo de los canales de flujo.

## 2.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

### 2.2.1 Faja del Orinoco

La Faja del Orinoco comprende cuatro grandes áreas de acumulaciones de crudo pesado y extrapesado: Carabobo, Ayacucho, Junín y Boyacá. Carabobo se ubica en la zona centro-sur del estado Monagas y sur- este del estado Anzoátegui; Ayacucho se ubica al centro-sur del estado Anzoátegui; Junín al Sur-Este del estado Guárico y sur- oeste de Anzoátegui; Boyacá al centro- sur de Guárico (Figura 2.1).



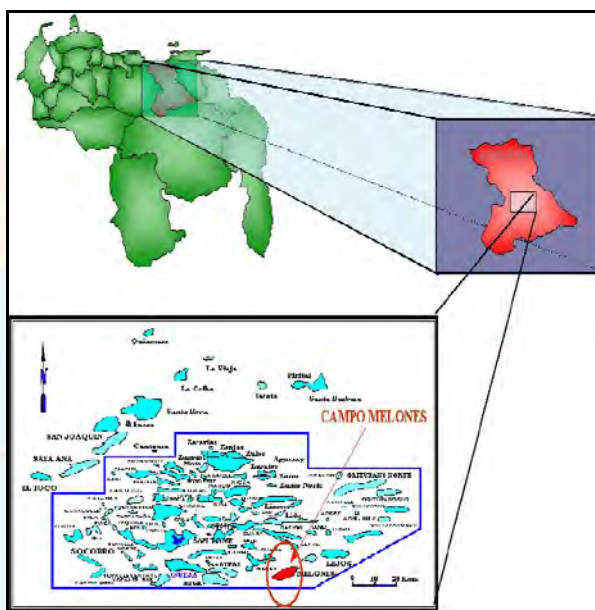
**Figura 2.1: Ubicación Geográfica de la Faja Petrolífera del Orinoco**

**Fuente: ESVENCA 2009**

### 2.2.2 Campo Melones

Se encuentra ubicado al Norte de la Faja Petrolífera del Orinoco en el estado Anzoátegui a 65 km al Sur-Este de la ciudad de El Tigre. Cubre un área aproximada de 699 km<sup>2</sup>. La variedad de los crudos en el área de Melones oscila entre 10 y 12 °API. Melones presenta una permeabilidad promedio de 251 mD, una porosidad promedio de 26%. Geológicamente, está ubicado en el borde del flanco Sur de la Cuenca Oriental de Venezuela, donde la estratificación está determinada por

secciones sedimentarias que se adelgazan al sur, especialmente el Grupo Merecure y Formaciones Oficina y Freites, las cuales se acuñan contra el basamento ígneo-metamórfico, cuya línea de afloramiento va bordeando el río Orinoco en una dirección aproximadamente Este-Oeste. A la vez este campo está en el borde norte de la Faja Petrolífera de Orinoco (Figura 2.2)

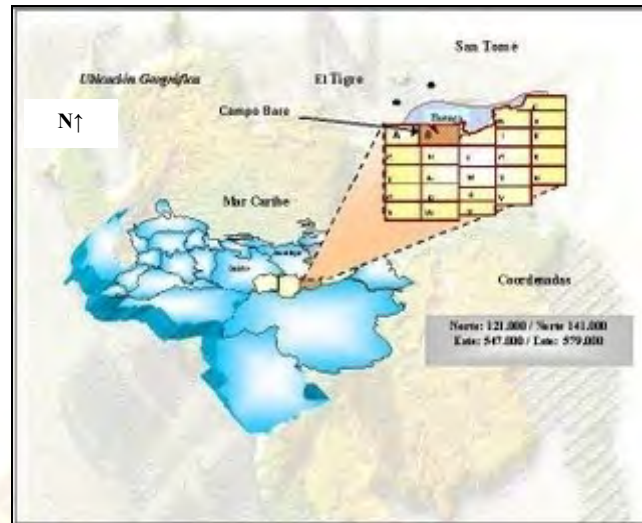


**Figura 2.2: Ubicación Geográfica del Campo Melones**

**Fuente: ESVENCA 2009**

### **2.2.3 Campo Bare**

El Campo Bare está ubicado en el sector Nor-Occidental del área Ayacucho, en la Faja del Orinoco, se encuentra ubicado a unos 60 km al Sur-Oeste de San Tomé en el estado Anzoátegui. Limita al norte con el Campo Miga y Yopales, al sur con el Campo Huyaparí y el cuadrángulo Guacara, al oeste con el Campo Zuata, al este con los cuadrángulos Cariña e Irapa y al noreste se encuentra el cuadrángulo de Melones. Tiene una longitud de 27 km y un ancho de 18 km (Figura 2.3).



**Figura 2.3: Ubicación Geográfica del Campo Bare**

**Fuente: ESVENCA 2009**

## 2.3 BASES TEÓRICAS

### 2.3.1 Fluidos de perforación

Según el Instituto Americano de Petróleo (API), es aquel fluido empleado en la perforación rotatoria, el cual debe poseer características físicas y químicas idóneas para desempeñar funciones específicas durante dicha operación. El término fluido comprende líquidos, gases o mezclas de los mismos. A los fluidos de perforación líquidos, se les conoce como lodos de perforación y recomponen, principalmente, por una mezcla de dos fases. Una fase líquida o fase continua que puede ser agua, petróleo o emulsión de éstos, y una fase sólida o fase dispersa que contiene la mayoría de los aditivos que brindan las propiedades necesarias para una óptima operación.

### **2.3.2 Funciones de los fluidos de perforación**

Los fluidos de perforación tienen las siguientes funciones:

- Mantener los ripios en suspensión cuando se detiene la perforación. Esta función está unida a las propiedades tixotrópicas del fluido, es decir, su capacidad de dar un gel de fuerza suficiente para sostener los ripios.
- Formar una capa impermeable contra la pared llamado revoque, que no deje filtrar más que un mínimo de agua a la formación geológica.
- Producir una presión hidrostática suficiente para sostener las paredes poco rígidas y para conservar en la formación geológica los fluidos de la misma, esto depende de la cantidad de materias no coloidales que pueden ser incorporadas al fluido.
- Lubricar y enfriar la mecha y la sarta de perforación. La fricción originada por el contacto de la mecha y la sarta de perforación con las formaciones genera calor.
- Extraer a superficie los ripios de las formaciones que se van perforando.

### **2.3.3 Propiedades fundamentales de los fluidos de perforación**

Durante la perforación de un pozo petrolero es de suma importancia el control de las propiedades físicas y químicas de los fluidos de perforación. Estas propiedades deben ser controladas de tal forma que el fluido proporcione un trabajo eficiente, estas propiedades son:

- a) Densidad
- b) Reología
  - b.1) Viscosidad plástica
  - b.2) Punto cedente

- b.3) Resistencia a la gelatinización
- c) Contenido de sólidos

### 2.3.4 Modelos reológicos

Un modelo reológico es una correlación entre el esfuerzo de corte que experimenta el fluido y la tasa de corte. Entre los modelos reológicos se tienen:

#### 2.3.4.1 Modelo newtoniano

Para un fluido newtoniano, la relación del esfuerzo de corte a la tasa de corte es constante. Esta constante es la viscosidad del fluido. Así, la ecuación que describe la reología de un fluido Newtoniano se puede expresar como:

$$\mu = t/g, \quad (2.1)$$

Donde:

$\mu$ =viscosidad, Poise (dina-s/cm<sup>2</sup>)

$t$ =esfuerzo de corte (fuerza/área), dinas/cm<sup>2</sup>

$g$ =tasa de corte, s<sup>-1</sup>

#### 2.3.4.2 Modelo plástico de Bingham

Por su sencillez, el modelo reológico más común utilizado para describir las propiedades reológicas de los fluidos de perforación es el modelo plástico de Bingham. Este modelo supone que el esfuerzo de corte es una función lineal de la tasa de corte, una vez que se ha excedido un esfuerzo de corte específico (el esfuerzo de corte umbral o punto cedente) y se expresa como:

$$t = PC + VP (g), \quad (2.2)$$

Donde:

PC = Punto cedente, lbf/100 pie<sup>2</sup>

VP = Viscosidad Plástica, cP (centipoise, 1/100 Poise)

Debido a que este modelo se desarrolló a partir de datos determinados entre las tasas de corte de 500 a 1000 s<sup>-1</sup>, caracteriza mejor un fluido a tasas de corte más altas. El PC y la VP se calculan a partir de datos obtenidos con un viscosímetro concéntrico convencional, a 600 y 300 rpm, mediante las ecuaciones siguientes:

$$VP = q600 - q300, \quad (2.3)$$

Donde:

- VP = viscosidad plástica, cP
- q600 = lectura del cuadrante para 600 rpm
- q300 = lectura del cuadrante para 300 rpm

$$PC = q300 - VP, \quad (2.4)$$

La tasa de corte en rpm, multiplicada por 1,702, es la tasa de corte en s<sup>-1</sup>, para los reómetros convencionales utilizados en campos petroleros. Una vez que se han determinado los valores de VP y PC, se puede utilizar el modelo para determinar el esfuerzo de corte a cualquier tasa de corte.

#### 2.3.4.3 Ley exponencial

El modelo de la Ley Exponencial describe un fluido en el cual el esfuerzo de corte graficado en función de la tasa de corte es una línea recta, cuando se utiliza papel de coordenadas doblemente logarítmicas. Debido a que se aproxima más al comportamiento de un fluido de perforación a bajas tasas de corte, en comparación con el modelo plástico de Bingham, con frecuencia se emplea para monitorear las



características de suspensión y calcular la pérdida de presión del fluido de perforación en el anular. El modelo de la ley exponencial es:

$$t = K\gamma^n, \quad (2.5)$$

Donde:

$K$  = índice de consistencia del fluido,  $\text{lb}\cdot\text{s}^n/100 \text{ pie}^2$

$n$  = exponente de la ley exponencial, adimensional

$\gamma$  = Velocidad de corte.

Los parámetros reológicos  $n$  y  $K$  se pueden calcular a partir de dos puntos de datos cualesquiera de tasa de corte/esfuerzo de corte.

#### **2.3.4.4 Modelo Herschel-Buckley (Modelo de la Ley Exponencial Modificado)**

Este modelo combina las características de los modelos Newtoniano, plástico de Bingham y de la Ley Exponencial. Es un modelo de tres parámetros que reproduce los resultados de los tres modelos anteriores cuando se han medido los parámetros apropiados. Desafortunadamente, los tres parámetros son difíciles de derivar en base a las lecturas del reómetro. En la práctica, se supone que el PC es igual a la lectura de 3 rpm. En base a este supuesto, se calcula  $n$  y  $K$ . La forma general de la ecuación es:

$$t = PC + K\gamma^n, \quad (2.6)$$

Donde:

$PC = q_3, \text{ lb}/100 \text{ pie}^2$

$n = (3,32)\log [(q_{600} - PC) / (q_{300} - PC)]$

$K = q_{300} / 511 n$

$\gamma$  = velocidad de corte.

### 2.3.5 Cálculo de eficiencia de transporte (TE) de recortes

La eficiencia del transporte de recortes en pozos verticales se calcula comúnmente mediante:

$$TE (\%) = \left( \frac{V_a - V_{slip}}{V_a} \right) \times 100 \quad (2.7)$$

Donde:

$V_{slip}$ : es la velocidad de deslizamiento de la partícula en pies/seg

TE: es la eficiencia del transporte de recortes en por ciento

$V_a$ : es la velocidad anular en pies/seg

La ecuación para calcular la velocidad de deslizamiento de partículas que caen es:

$$V_s = 12.0 \left( \frac{\mu_{eff}}{d \times r_f} \right) \left[ \sqrt{1 + \left( 7.27 \times d \times \left( \frac{r_p}{r_f} - 1 \right) \left( \frac{d \times r_f}{\mu_{eff}} \right)^2 \right)} - 1 \right] \quad (2.8)$$

Donde:

$V_s$ : es la velocidad de deslizamiento laminar de la partícula en cm/seg

$\mu_{eff}$ : es la viscosidad efectiva del fluido que la partícula experimenta mientras cae en equilibrio

$d$ : es el diámetro promedio de partículas en cm

$r_f$ : es la densidad del fluido de perforación en  $g/cm^3$

$r_p$ : es la densidad de la partícula en  $g/cm^3$

La variable de la ecuación anterior es  $\mu_{eff}$ , que depende de la velocidad de corte del lodo que la partícula experimenta al caer. Las siguientes ecuaciones se usan para calcular  $\mu_{eff}$ .

Modelo plástico de Bingham:

$$\mu_{eff} = y_p/\gamma + PV \quad (2.9)$$

Modelo ley de la potencia:

$$\mu_{\text{eff}} = K\gamma^{n-1} \quad (2.10)$$

Modelo Herschel-Bulkley:

$$\mu_{\text{eff}} = \tau/\gamma + K\gamma^{n-1} \quad (2.11)$$

Donde:

$\gamma$ : es la velocidad de corte en  $\text{seg}^{-1}$

$\gamma_p$ : es la velocidad de corte normalizada en  $\text{seg}^{-1}$

$\tau$ : es el esfuerzo cortante calculado en  $\text{lb}/100 \text{ pies}^2$

Velocidad de corte de partículas en deslizamiento:

$$\gamma_p = V_s/d \quad (2.12)$$

Donde:

$V_s$ : es la velocidad de deslizamiento de la partícula en  $\text{cm}/\text{seg}$

$\gamma_p$ : es la velocidad de corte normalizada en  $\text{seg}^{-1}$

$d$ : es el diámetro promedio de partículas en  $\text{cm}$

Ecuación para el cálculo del número de Reynolds:

$$N_{\text{Res}} = \frac{d \times V_s \times \rho_f}{\mu_{\text{eff}}} \quad (2.13)$$

Donde:

$\mu_{\text{eff}}$ : es la viscosidad efectiva del fluido que la partícula experimenta mientras cae (poise)

$V_s$ : es la velocidad de deslizamiento de la partícula en  $\text{cm}/\text{seg}$

$d$ : es el diámetro promedio de partículas en  $\text{cm}$

$\rho_f$ : es la densidad del fluido de perforación en  $\text{g}/\text{cm}^3$

### **2.3.6 Goma xántica**

La goma xántica es un carbohidrato, o más específicamente un polisacárido natural de alto peso molecular. El término goma xántica define biopolisacárido exocelular que se produce en un proceso de fermentación de cultivos puros por medio del microorganismo *Xanthomonas Campestris*.

Durante la fermentación, se cultiva *Xanthomonas Campestris* en un medio bien aireado que contiene glucosa comercial, una fuente apropiada de nitrógeno, fosfato ácido de dipotasio y elementos en trazas apropiados. Para suministrar semillas para la fermentación final, se cultiva el *Xanthomonas Campestris* en varias etapas con las pruebas de identificación asociadas, antes de introducirlo en el medio de fermentación final.

### **2.3.7 Almidones**

Es un polímero natural no iónico cuya función primaria es la de promover control de filtración; como función secundaria proporciona viscosidad y proveer inhibición encapsulante por su acción de recubrimiento de los sólidos de perforación.

El almidón proviene de una variedad de plantas y semillas. Los almidones de maíz y papa constituyen la fuente más importante para los fluidos de perforación. Se compone de dos polisacáridos: amilosa y amilopectina. La amilosa, una cadena de anillos de carbohidratos, forma la cadena recta principal de la molécula de almidón. La amilopectina es una cadena de anillos de carbohidrato con muchas ramificaciones que se inician en la cadena principal de una amilosa.

Las relaciones de las fracciones de amilosa y amilopectina determinan las propiedades del almidón. Entre los principales almidones utilizados por la industria se

destacan los siguientes: MY-LO-JEL, POLY-SAL, DEXTRID, IMPERMEX, FLO-TROL, entre otros.

El principal inconveniente del uso de almidones es su tendencia a fermentar, pues son materiales naturales biodegradables que deben ser conservados con un biocida cuando son utilizados en los fluidos de perforación.

Algunos ambientes son más propicios que otros para la degradación bacteriana, tal es el caso de aquellos sistemas formulados con agua de preparación bioactiva. El agua de estanques constituye la peor fuente, aunque debería dudarse de cualquier agua obtenida de ríos o arroyos.

El almidón sufre degradación por: temperatura, agitación y ataque bacteriano. Además, precipita con calcio si es agregado al mismo tiempo que se esté adicionando soda cáustica. Generalmente es utilizado en concentraciones de 2 a 10 lb/bl.

## 2.4 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

**Balanza de fluido:** es un equipo que consiste en una base de soporte, un recipiente con cubierta, un brazo graduado con caballete móvil, y un punto de apoyo con una burbuja de nivel.

**Filtrado:** medición de la cantidad relativa de fluido perdido a través de formaciones permeables cuando se somete a una diferencia de presión.

**Pruebas físicas:** son pruebas a las cuales son sometidos los fluidos de perforación con la finalidad de medir sus propiedades, entre las cuales se encuentran: reología, filtrado, estabilidad eléctrica, y retorta.

**Reología:** es la ciencia del flujo que estudia la deformación de un cuerpo sometido a esfuerzos externos. Su estudio es esencial en muchas industrias, incluyendo las de plásticos, pinturas, alimentación, tintas de impresión, detergentes o aceites lubricantes, por ejemplo.

**Revoque:** capa delgada, consistente e impermeable, formada por material sólido depositado sobre las paredes del pozo, como resultado de la filtración de la parte líquida del fluido hacia la formación.

**Viscosidad plástica:** es aquella resistencia a fluir causada por la fricción mecánica entre las partículas suspendidas y la viscosidad de la fase fluida.

**Viscosidad aparente:** se define como la medición en centipoises que un fluido Newtoniano debe tener en un viscosímetro rotacional, a una velocidad de corte previamente establecida, y que denota los efectos simultáneos de todas las propiedades de flujo.

**Punto cedente:** se define como la resistencia a fluir causada por las fuerzas de atracción electroquímicas entre las partículas sólidas. Estas fuerzas son el resultado de las cargas negativas y positivas localizadas cerca de la superficie de las partículas.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación que se realizó se considera de tipo explicativa debido a que permitió analizar los resultados de las pruebas de laboratorio, con el objetivo de realizar un análisis comparativo entre gomas xánticas y almidones modificados. Con respecto a esto, Arias F (2006) asevera:

La investigación explicativa se encarga de buscar el por qué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de la 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**

Referido al diseño de la investigación, ésta es de tipo experimental; debido a que se pudieron manipular las variables consideradas independientes como las concentraciones de los diferentes aditivos o productos químicos; para luego proceder al análisis de la influencia que tuvieron dichas variantes sobre las variables dependientes, considerando entre ellas reología, filtrado y Brookfield. Relacionado con el diseño de la investigación Arias F (2006) señala: “la investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variables independientes), para observar los efectos o reacciones que se producen (variables dependientes)”. (p.33).

### 3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

Fidias G. Arias (2006) expresa: “la población es el conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación” y define la muestra como “un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible” (p.83). En esta investigación según lo citado anteriormente, la población está conformada por el fluido aplicado en los campos Bare y Melones, estado Anzoategui a los cuales se le realizó el estudio y la muestra son los fluidos que resultaron de la variación en sus concentraciones y que a su vez cumplieron con los parámetros exigidos por PDVSA. Las pruebas se hicieron a nivel de laboratorio realizando varias formulaciones y aplicándole pruebas de reología y filtrado API.

### 3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

**ETAPA I: Caracterización mediante pruebas de reología, filtrado API y Viscosidad Brookfield a los fluidos viscoelásticos formulados con diferentes gomas xánticas y almidones modificados a distintas concentraciones, antes y después del envejecimiento dinámico.**

Para esta etapa se formularon fluidos viscoelásticos utilizando distintas concentraciones de gomas xánticas y almidones modificados a los cuales se le realizaron pruebas de reología, filtrado API y viscosidad Brookfield con la finalidad de obtener resultados que garanticen la reología más adecuada para la limpieza y estabilidad del hoyo y el mejor control de filtrado.

Se formularon varios sistemas de fluidos fijando la concentración de goma xántica a 1,5 lpb y variando la concentración de almidón de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb. De



allí se fueron seleccionando las que cumplieran con los parámetros exigidos por la operadora.

El procedimiento para utilizar cada uno de estos equipos de laboratorio se encuentran en el apéndice C.

**ETAPA II: Evaluación de la resistencia a la contaminación con cemento de los fluidos viscoelásticos formulados con diferentes gomas xánticas y almidones modificados a distintas concentraciones, antes del envejecimiento dinámico.**

En esta etapa se evaluó la máxima concentración de cemento que se pueden añadir a los diferentes fluidos viscoelásticos formulados sin producir cambios en su reología y control de filtrado que impidan su uso en la operaciones de perforación. Del mismo modo se determinó la concentración necesaria de aditivos químicos (ácido cítrico, bicarbonato de sodio, goma xántica y almidón) para revertir el efecto de la contaminación y llevar el fluido a su condición inicial.

En virtud de que todos los cambios de fase durante la perforación de los pozos horizontales del Distrito San Tomé implican la ruptura de cemento, es importante conocer cuál será la respuesta del fluido de perforación ante este contaminante además de sus respectivos tratamientos.

El desarrollo de este objetivo se llevó a cabo mediante pruebas piloto, pruebas de reología y filtrado API y pruebas de viscosidad Brookfield. Los procedimientos para realizar el filtrado API, reología y viscosidad Brookfield se encuentra en los apéndices.

**ETAPA III: Determinación del modelo reológico (Bingham, Exponencial o Exponencial Modificado) que se ajuste al comportamiento real de los fluidos viscoelásticos formulados con diferentes gomas xánticas y almidones modificados a distintas concentraciones.**

En esta etapa se determinó el modelo reológico que describa mejor las características de flujo de los fluidos viscoelásticos formulados con distintas concentraciones de gomas xánticas y almidones modificados.

La determinación del mejor modelo reológico se realizó comparando los valores obtenidos a través de pruebas de reología con las predicciones de los modelos reológicos. Para esto se utilizó un programa que se llama The MudWare® Handbook donde se le introdujo unos datos de entrada que son las lecturas del viscosímetro, estas lecturas son la lectura de 600, 300, 200, 100, 6 y 3 RPM.

**ETAPA IV: Cálculo del índice de limpieza a diferentes tasas de circulación (galonajes) a través del modelo reológico con el mejor ajuste al comportamiento real de los fluidos viscoelásticos formulados con diferentes gomas xánticas y almidones modificados a distintas concentraciones.**

En esta etapa se calculó el índice de limpieza del hoyo a diferentes tasas de circulación mediante cálculos de hidráulica tomando el modelo reológico con el mejor ajuste al modelo real del fluido. Mediante el índice de limpieza se puede monitorear la eficiencia de remoción de recorte en el hoyo durante la perforación.

El programa utilizado para el cálculo del índice de limpieza fue el DFG DRILL AHEAD el cual realiza una simulación donde se debe suministrar unos datos de entrada, tales como: profundidad, densidad del fluido, el diseño del pozo

(revestidores), galonaje, propiedades del fluido, índice de consistencia y el índice de fluidez, los resultados de cada simulación o corrida se encuentra en el apéndice D.

### **ETAPA V: Análisis económico de las formulaciones preparadas para saber la rentabilidad de la aplicación del fluido.**

En esta etapa se realizó el análisis económico de las formulaciones de los fluidos viscoelásticos con distintas concentraciones de goma xántica y almidones modificados, para determinar la rentabilidad de aplicar los resultados obtenidos en este trabajo, este análisis económico se efectuó tomando como referencia los análisis de los precios unitarios (APU) establecidos en el contrato entre ESVENCA y la División de Fluidos de PDVSA San Tomé.

## **3.5 INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS**

### **3.5.1 Técnicas**

Según Arias F. (2006). “se entenderá por técnica, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información”. Consecuente con esto, las técnicas para la recolección de los datos que fueron analizados en la presente investigación, estuvieron basadas en la observación directa de los resultados obtenidos a través de pruebas de laboratorio realizadas, los cuales fueron analizados para obtener las conclusiones, así como una revisión de documentos, donde se consultaron manuales de ingeniería de fluidos de la empresa ESVENCA, manuales correspondientes al manejo y funcionamiento de los equipos a emplear, y el uso de Internet para encontrar información referente al tema desarrollado.

### **3.5.2 Instrumentos**

Los instrumentos de recolección de información serán los equipos a utilizar para medir las propiedades físicas de los sistemas de fluido que se formularon, entre los cuales se tienen:

- Viscosímetro rotatorio Fann
- Equipo de filtrado API
- Viscosímetro Brookfield
- Balanza de lodo

## **3.6 RECURSOS**

### **3.6.1 Recursos humanos**

En el desarrollo de la investigación se contó con la cooperación del personal especializado de la División de Fluidos de Perforación de la empresa ESVENCA, los cuales son conocedores del área de estudio. Por otra parte, la asesoría metodológica estuvo a cargo del cuerpo de profesores de la Escuela de Ingeniería de Petróleo de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas.

### **3.6.2 Recursos materiales**

Para el desarrollo de esta investigación fue necesario el uso de materiales y equipos de oficina tales como: computadoras, impresoras, fotocopadoras y papelería en general, acceso directo a Internet para la búsqueda en la red de información adicional relacionada con la investigación, así como la utilización equipos de

laboratorio y aditivos necesarios para la formulación de los fluidos. Todo lo antes mencionado fue suministrado por la empresa ESVENCA.

### **3.6.3 Recursos económicos**

La empresa ESVENCA asumió en su totalidad la financiación de gastos relacionados con la investigación durante el tiempo de realización de la misma.



## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

#### **4.1 CARACTERIZACIÓN MEDIANTE PRUEBAS DE REOLOGÍA, FILTRADO API Y VISCOSIDAD BROOKFIELD A LOS FLUIDOS VISCOELÁSTICOS FORMULADOS CON DIFERENTES GOMAS XÁNTICAS Y ALMIDONES MODIFICADOS A DISTINTAS CONCENTRACIONES, ANTES Y DESPUÉS DEL ENVEJECIMIENTO DINÁMICO.**

Se formularon varios sistemas de fluidos viscoelástico escogiendo sólo cinco (5) sistemas de fluidos donde se fue variando en cada uno de ellos la concentración de almidón modificado y se fijó la concentración de goma xántica a 1,5 lpb. La formulación se preparó con agua blanda o libre de calcio y con los siguientes aditivos:

- Acetato de potasio
- Almidón
- Goma xántica
- Gasoil
- Carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ )

##### **4.1.1 Aditivos, propiedades físicas y reológicas del fluido viscoelástico durante la perforación de la fase de 8 ½ pulg.**

Durante la perforación, la empresa de servicio encargada del fluido debe llevar un control o un reporte diario de las propiedades (físicas, químicas y reológicas), volúmenes, aditivos, concentraciones manejadas, y de todo lo concerniente al mismo, a fin de prevenir y detectar a tiempo posibles situaciones que puedan comprometer el desempeño regular de las operaciones de perforación y en el peor de los casos la productividad del pozo.

**Tabla 4.1 Concentraciones y aditivos para la formulación del fluido viscoelástico**

<b>Aditivos</b>	<b>Concentraciones (lpb)</b>
Acetato de potasio	2
Almidón	4-6
Goma xántica	1,5
Gasoil	29
CaCO <sub>3</sub>	40

En la tabla 4.1 se observa la formulación a la cual se hizo el estudio, variando la concentración de almidón modificado usando 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb fijando las demás concentraciones, escogiendo los mejores resultados.

Se formularon varios sistemas viscoelásticos descartando aquellos que no cumplieran con los parámetros establecidos por PDVSA (vea tabla 4.2), de todas las formulaciones realizadas se escogieron 5 sistemas de fluidos por presentar buena reología y filtrado API; los cuales estaban en el rango permitido para poder ser aplicado en los campos Bare y Melones del Distrito San Tomé.

**Tabla 4.2 Rango de propiedades requerido para perforar hoyo 8 ½**

<b>PROPIEDAD</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>	<b>RANGO REQUERIDO</b>	
<b>Densidad</b>	<b>Libras/galón (Lpg)</b>	<b>8,6</b>	<b>8,8</b>
<b>Viscosidad</b>	<b>Seg/qt de galón</b>	<b>45</b>	<b>60</b>
<b>Viscosidad Plástica</b>	<b>Centipoise cPs</b>	<b>8</b>	<b>12</b>

## CONTINUACION DE LA TABLA 4.2

PROPIEDAD	UNIDAD DE MEDIDA	RANGO REQUERIDO	
Punto de Cedencia	Lbs/100 pie <sup>2</sup>	20	28
Filtrado API	Cc/30 min	< 5,0	5,0 Máx
Revoque	N/32 pulg	< 2	< 2
P.H		9	10,5
Geles	Lbs/100 pie <sup>2</sup>	8/12	9/14
MBT	Lbs/bbl	0	5,0
Lectura 6/3	Lbs/100 pie <sup>2</sup>	9/8	10/9
% Arena	% Volumen	Trz	< 1,00

Fuente: PDVSA

Tabla 4.3 Leyenda de los aditivos utilizados (goma xántica y almidón)

Viscosificante	Marca	Almidón	Marca
Goma A	Ecoflo	Almidón 1	UMC Starch
Goma B	Hulias	Almidón 2	Dextrid
Goma C	Tecnoquim	Almidón 3	Filtraloss M & P

A partir de la tabla 4.2 se establecieron las diferentes formulaciones fijando una goma y variando el almidón, para conocer su comportamiento y de allí se seleccionaron los sistemas de fluidos que obtuvieron el mejor desempeño cumpliendo con los parámetro exigidos por PDVSA.

Los sistemas de fluidos se formularon de la siguiente manera:

Formulación 1: goma A con almidón 1.

Formulación 2: goma A con almidón 2.



Formulación 3: goma A con almidón 3.

Formulación 4: goma B con almidón 1.

Formulación 5: goma B con almidón 2.

Formulación 6: goma B con almidón 3.

Formulación 7: goma C con almidón 1.

Formulación 8: goma C con almidón 2.

Formulación 9: goma C con almidón 3.

Para cada sistema de fluido se le fijo 1,5 lpb de goma xántica y se vario la concentración de almidón de 4 lpb, 5 lpb y 6 lpb, dando un resultado final de 27 formulaciones donde solo 5 formulaciones cumplían con los parámetros exigidos por PDVSA y las que no los cumplieron se descartaron.

Las formulaciones que cumplieron con los parámetros de PDVSA fueron las siguientes:

Formulación A2 5 lpb de almidón, formulación A3 con 6 lpb de almidón, formulación B1 con 4 lpb de almidón, formulación B3 con 6 lpb de almidón y formulación C3 con 4 lpb de almidón.

**Tabla 4.4 Resultados de la reología, filtrado API, viscosidad plástica, punto cedente, índice de fluidez, índice de consistencia y el esfuerzo de corte inicial para cada formulación antes del envejecimiento dinámico**

LECTURAS	FORMULACIONES				
	A2	A3	B1	B3	C3
<b>L600</b>	53	49	47	51	52
<b>L300</b>	40	40	37	41	41
<b>L200</b>	35	35	33	37	35

CONTINUACIÓN Tabla 4.4

LECTURAS	FORMULACIONES				
	A2	A3	B1	B3	C3
<b>L100</b>	27	29	27	31	29
<b>L6</b>	10	15	14	17	15
<b>L3</b>	8	12	12	15	13
<b>VP</b>	13	9	10	10	11
<b>PC</b>	27	31	27	31	30
<b>GEL 10"</b>	9	12	12	15	15
<b>N</b>	0,407	0,346	0,411	0,386	0,414
<b>K</b>	3,098	4,010	2,302	2,871	2,691
<b>Tau0</b>	2,25	5,87	8,12	10,17	9,89
<b>GEL 10'</b>	10	13	13	16	16
<b>FILTRADO</b> <b>cc/30min</b>	3,2	4,8	3,6	5	6,5
<b>VP: Viscosidad Plástica (cPs)</b> <b>PC: Punto Cedente (Lbs/100pies<sup>2</sup>)</b> <b>n: Índice de fluidez</b> <b>K: Índice de consistencia (Lbs.s<sup>n</sup>/pie<sup>2</sup>)</b> <b>Tau0: Esfuerzo de corte inicial (Lbs/100pies<sup>2</sup>)</b>					

En la tabla 4.4 se observa el comportamiento reológico de los fluidos. El que mejor se ajusta es la formulación B1 primero por su esfuerzo de corte inicial de 8,12 lb/100pie<sup>2</sup>, ese valor de esfuerzo de corte inicial para la formulación B1 es el más acorde dentro de los obtenidos debido a que se requiere un esfuerzo menor por parte de las bombas de taladro para entrar en movimiento el fluido, las lecturas de bajo corte entre 14 y 12 (L6 y L3) respectivamente fueron las más acertadas para una limpieza del hoyo 8 ½ horizontal ya que garantizan una suspensión de los ripios

cuando se paran las bombas, ya sea por cambio de tubería o por cualquier operación que amerite el parar dichas bombas, por otra parte desde del punto de vista del filtrado sigue siendo la más ideal con un filtrado de 3,6 cc/30 min.

**Tabla 4.5 Resultados obtenidos del Viscosímetro Brookfield**

Formulación	Conc. De Almidón (lpb)	Lectura (cP)
<b>A2</b>	5	33093
<b>A3</b>	5	32993
<b>B1</b>	4	35792
<b>B3</b>	6	30194
<b>C3</b>	4	34993

En la tabla 4.5 se observan los resultados a bajas tasas de corte, los sistemas viscoelásticos tienen una viscosidad muy alta, en comparación con otros sistemas y fluidos de perforación típicos a base de arcillas. Este valor es crítico, no sólo para optimizar la limpieza del pozo y la eficiencia de la perforación, sino también para minimizar la invasión de filtrado y del fluido entero dentro de la formación.

El uso cada vez más frecuente de la perforación de desviación controlada, de alcance extendido y horizontal y el uso de biopolímeros para controlar las propiedades reológicas han producido un cambio de opinión en lo que se refiere a las propiedades reológicas que son consideradas necesarias para lograr una limpieza eficaz del pozo en los pozos desviados.

Se ha determinado que los valores de viscosidad a baja velocidad de corte (6 y 3 RPM) tienen un mayor impacto sobre la limpieza del pozo que el punto cedente, además de proporcionar la suspensión de barita o cualquier material densificante bajo condiciones tanto dinámicas como estáticas.

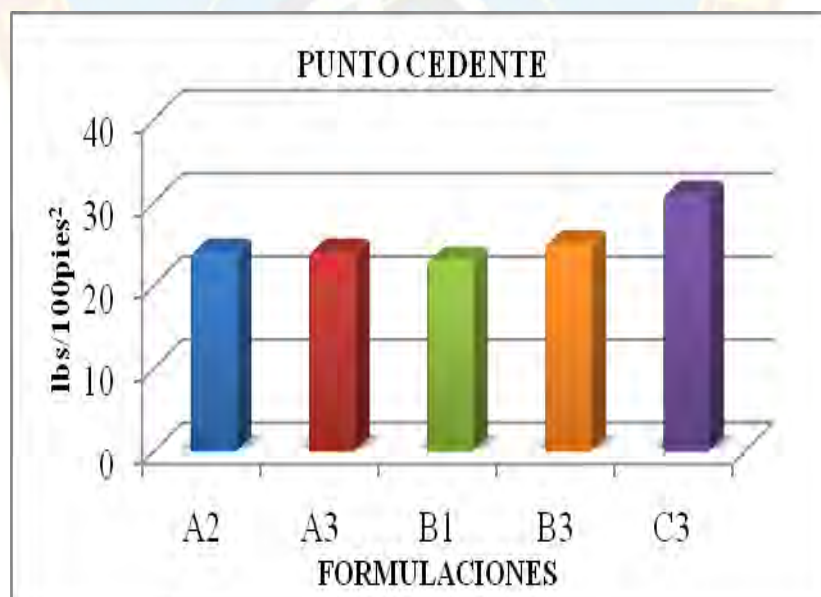
Además de las indicaciones de 6 y 3 RPM, se determinó que la viscosidad de baja velocidad de corte creada por la red de polímeros en los sistemas de fluidos era crítica para la limpieza del pozo y la suspensión de sólidos en pozos horizontales y de alto ángulo. Esta viscosidad de baja velocidad de corte se mide usando un viscosímetro de Brookfield a una velocidad de corte de 0,3 RPM. Para los sistemas viscoelásticos con una concentración entre 1,5 y 2 lpb se recomienda valores de Brookfield entre 30000 y 40000 cP según PDVSA. Estas propiedades reológicas de bajo corte llenan el vacío entre las medidas dinámicas tradicionales de viscosidad plástica y punto cedente, y las medidas estáticas del esfuerzo de gel.

**Tabla 4.6 Resultados de la reología y filtrado API para cada formulación después del envejecimiento dinámico.**

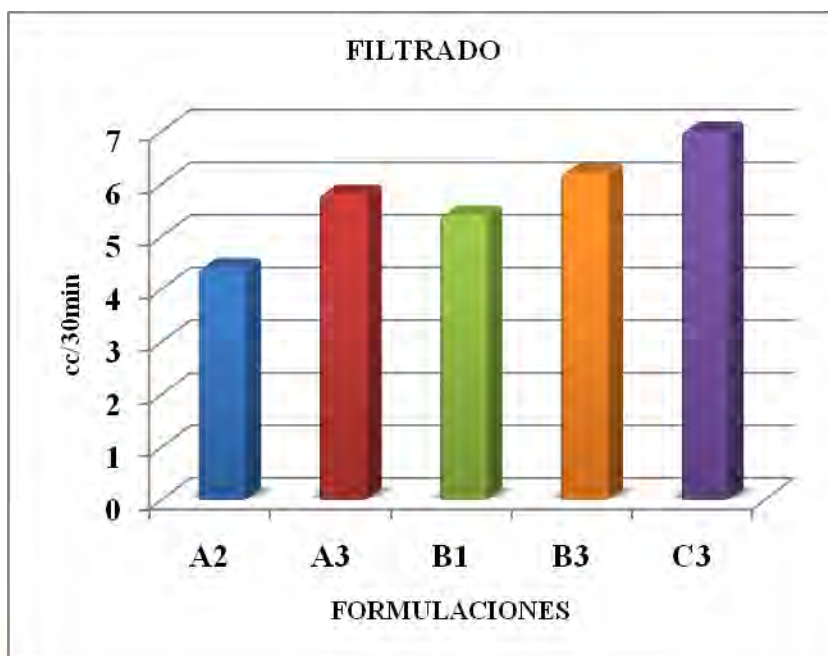
LECTURAS	FORMULACIONES				
	A2	A3	B1	B3	C3
<b>L600</b>	40	38	37	41	47
<b>L300</b>	32	31	30	33	39
<b>L200</b>	28	27	25	29	34
<b>L100</b>	24	23	21	24	28
<b>L6</b>	10	10	11	12	15
<b>L3</b>	8	8	9	11	12
<b>GEL 10"</b>	9	8	9	12	13
<b>GEL 10'</b>	10	9	10	13	15



**Gráfica 4.1** Comportamiento de la viscosidad plástica para cada una de las formulaciones después del envejecimiento dinámico.



**Gráfica 4.2** Comportamiento del punto cedente para cada una de las formulaciones después del envejecimiento dinámico.



**Gráfica 4.3 Comportamiento del filtrado API para cada formulación después del envejecimiento dinámico.**

Comparando los resultados de la reología para las tablas 4.4 y 4.6 antes y después del envejecimiento dinámico se observó una caída en las lecturas (reología) después del envejecimiento dinámico, esto se debe a que una vez el fluido se somete a altas temperaturas, los polímeros son afectados rompiendo sus cadenas lo que causa caída en el punto cedente el cual está relacionado con la limpieza del hoyo.

En la gráfica 4.3 se observa que el filtrado API se vio afectado también ya que una vez que el fluido empieza a aumentar su temperatura empieza a perder sus propiedades, esto trae como consecuencia que el filtrado hacia la formación aumente saliéndose del rango permitido por PDVSA que establece que el fluido debe tener un filtrado menor a 5 cc/30min.

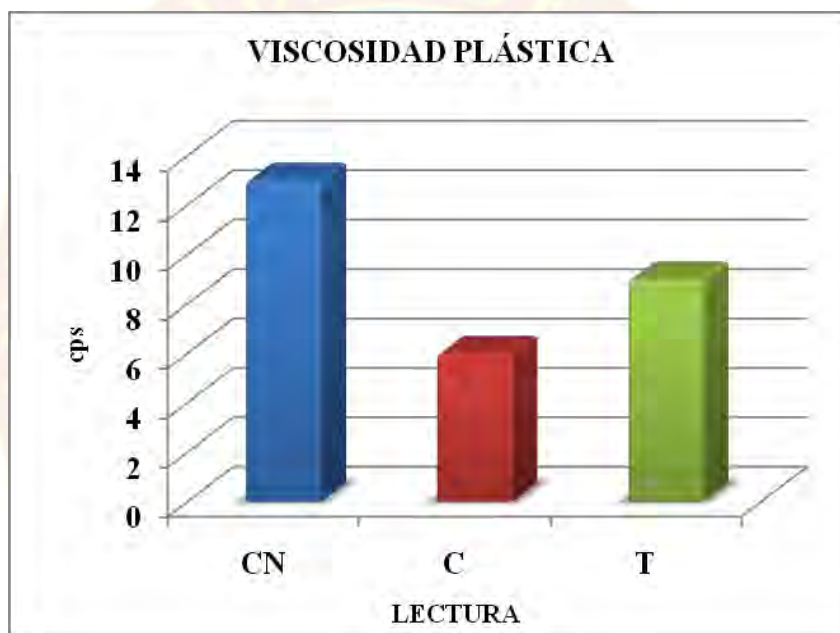
#### 4.2 EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA CONTAMINACIÓN CON CEMENTO DE LOS FLUIDOS VISCOELÁSTICOS FORMULADOS CON DIFERENTES GOMAS XÁNTICAS Y ALMIDONES MODIFICADOS A DISTINTAS CONCENTRACIONES, ANTES DEL ENVEJECIMIENTO DINÁMICO.

Una vez realizadas las formulaciones se contaminaron con 4 lpb de cemento para evaluar su comportamiento y aplicar tratamiento con ácido cítrico, bicarbonato, goma xántica y almidón para restablecer las propiedades del fluido. Se contaminó con 4 lpb de cemento porque es la máxima concentración que puede resistir el fluido si no es tratado antes del contacto con cemento.

**Tabla 4.7 Resultados de la reología, filtrado API en condiciones normales, contaminado y tratado para la formulación A2**

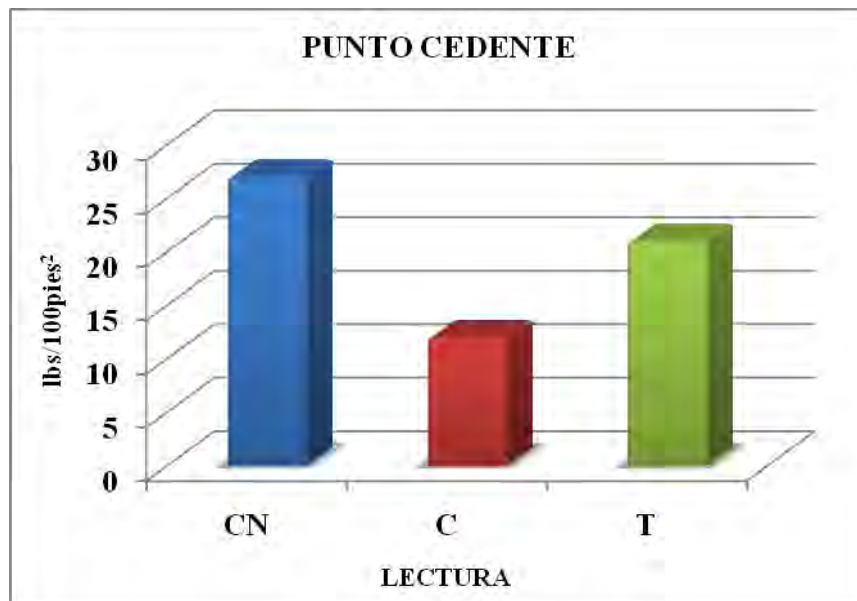
<b>5 lpb Almidón</b>			
<b>LECTURA</b>	<b>CN</b>	<b>C</b>	<b>T</b>
<b>L600</b>	<b>53</b>	<b>24</b>	<b>39</b>
<b>L300</b>	<b>40</b>	<b>18</b>	<b>30</b>
<b>L200</b>	<b>35</b>	<b>12</b>	<b>25</b>
<b>L100</b>	<b>27</b>	<b>8</b>	<b>16</b>
<b>L6</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>7</b>
<b>L3</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>6</b>
<b>10''</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>6</b>
<b>10'</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>8</b>
<b>CN:</b> Condiciones normales <b>C:</b> Contaminado <b>T:</b> Tratamiento			

En la tabla 4.7 se puede observar el comportamiento del fluido una vez contaminado y tratado. Al contaminarse, la reología se vio afectada bajando todas sus lecturas lo que trae como consecuencia que el fluido pierda sus propiedades. Para que recupere dichas propiedades se realiza un tratamiento (vea tabla 4.8) con ácido cítrico, bicarbonato y se ajusta la concentración de goma y almidón para mejorar el fluido.

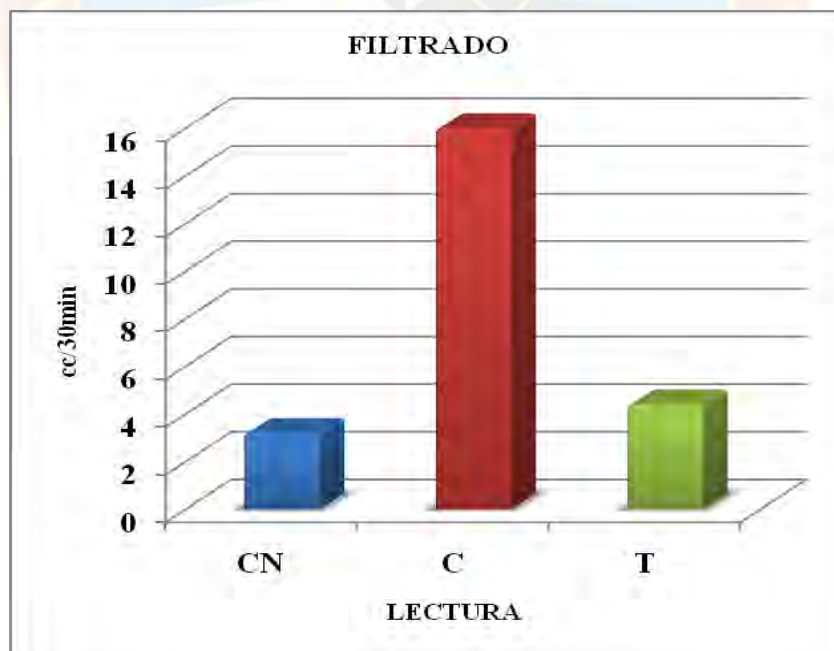


**Gráfica 4.4 Comportamiento del fluido A2 con respecto a la viscosidad plástica en condiciones normales, contaminado con cemento y tratado.**





**Gráfica 4.5 comportamiento del fluido A2 con respecto al punto cedente en condiciones normales, contaminado y tratado.**



**Gráfica 4.6 Comportamiento del fluido A2 con respecto al filtrado API en condiciones normales, contaminado y tratado.**

**Tabla 4.8 Tratamiento para la formulación A2**

Aditivo	Concentración (lpb)
Ácido cítrico	0,6
Bicarbonato	1,1
Goma	0,5
Almidón	2

En la gráfica 4.6 se puede observar que una vez contaminado con las 4 lpb de cemento incrementa de manera considerable el valor de filtrado API, esto es consecuencia que una vez que el cemento tiene contacto con el fluido viscoelástico rompe las cadenas poliméricas haciendo que el fluido pierda sus propiedades y se filtre hacia la formación. Para contrarrestar este problema en el tratamiento aplicado al fluido se le ajusta la concentración de almidón para reducir esta filtración a los estándares permitidos por la operadora. Vea tabla 4.2

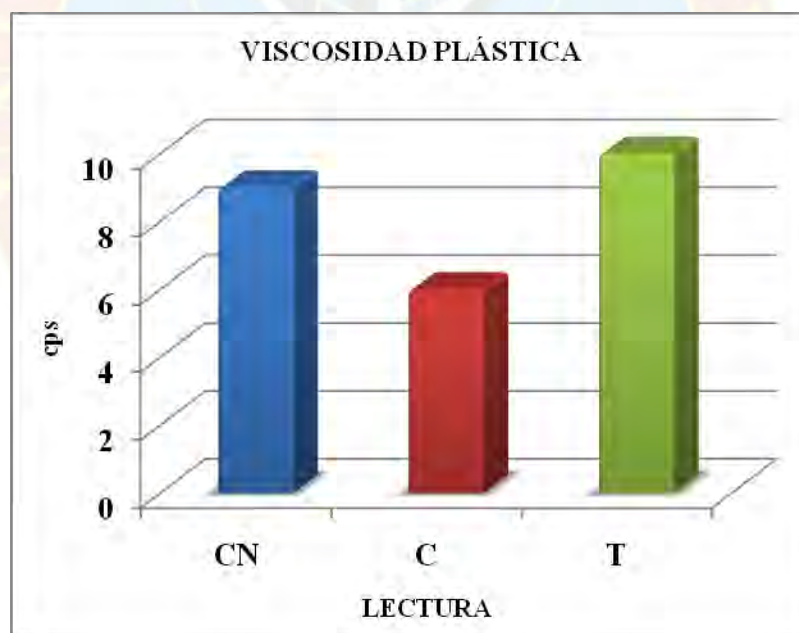
**Tabla 4.9 Resultados de la reología, filtrado API en condiciones normales, contaminado y tratado para la formulación A3**

5 lpb Almidón			
LECTURA	CN	C	T
L600	49	23	49
L300	40	17	39
L200	35	11	36
L100	29	7	27
L6	15	3	14
L3	12	2	11

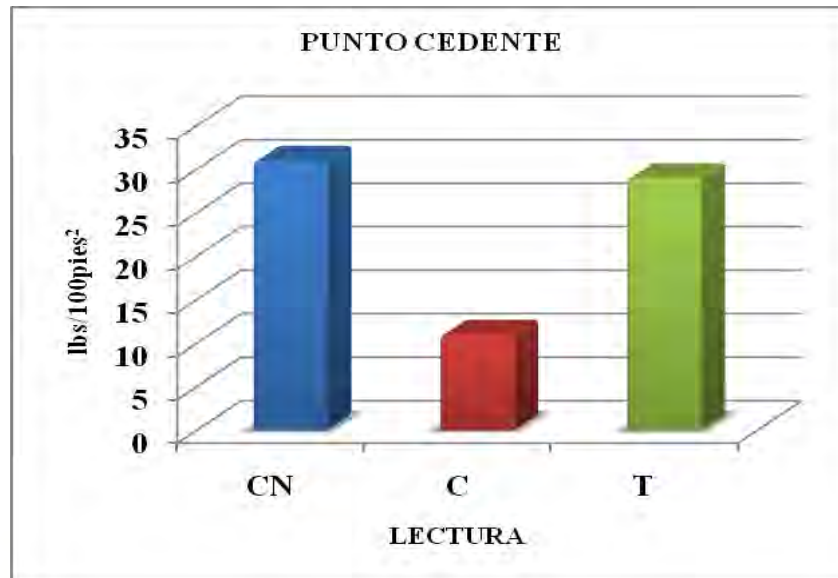
CONTINUACIÓN Tabla 4.9

5 lpb Almidón			
LECTURA	CN	C	T
10''	12	2	10
10'	13	4	13

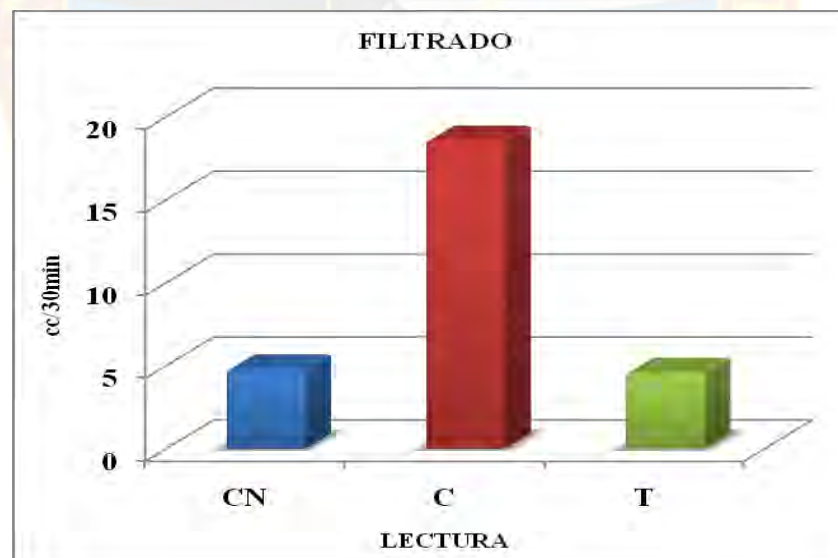
**CN:** Condiciones normales  
**C:** Contaminado  
**T:** Tratamiento



**Gráfica 4.7** Comportamiento del fluido A3 con respecto a la viscosidad plástica en condiciones normales, contaminado y tratado.



Gráfica 4.8 Comportamiento del fluido A3 con respecto al punto cedente en condiciones normales, contaminado y tratado.



Gráfica 4.9 Comportamiento del fluido A3 con respecto al filtrado API en condiciones normales, contaminado y tratado.

**Tabla 4.10 Tratamiento para la formulación A3**

Aditivo	Concentración (lpb)
Ácido cítrico	0,8
Bicarbonato	1,1
Goma	0,7
Almidón	2,4

En las gráficas 4.7 y 4.8 se observa que una vez contaminado el fluido con las 4 lpb de cemento, sus propiedades se ven alteradas haciendo que el comportamiento del fluido sea deficiente y no cumpla con los parámetros exigidos por la operadora.

En la gráfica 4.9 se observa un incremento del filtrado y en la tabla 4.9 se aprecia una caída considerable de la reología una vez que se contamina el fluido con cemento, para restaurar las propiedades del fluido se aplicó un tratamiento que se describe en la tabla 4.10 una vez aplicado el tratamiento el fluido recuperó sus propiedades dando resultados positivos y en los rangos exigidos por PDVS

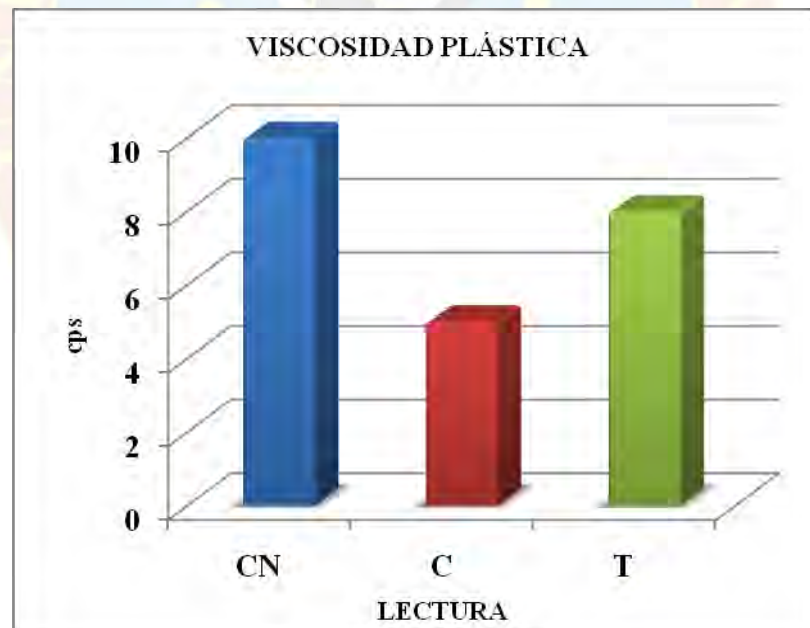
**Tabla 4.11 Resultados de la reología, filtrado API en condiciones normales, contaminado y tratado para la formulación B1**

4 lpb Almidón			
LECTURA	CN	C	T
L600	47	19	39
L300	37	14	31
L200	33	8	24
L100	27	6	19
L6	14	2	10

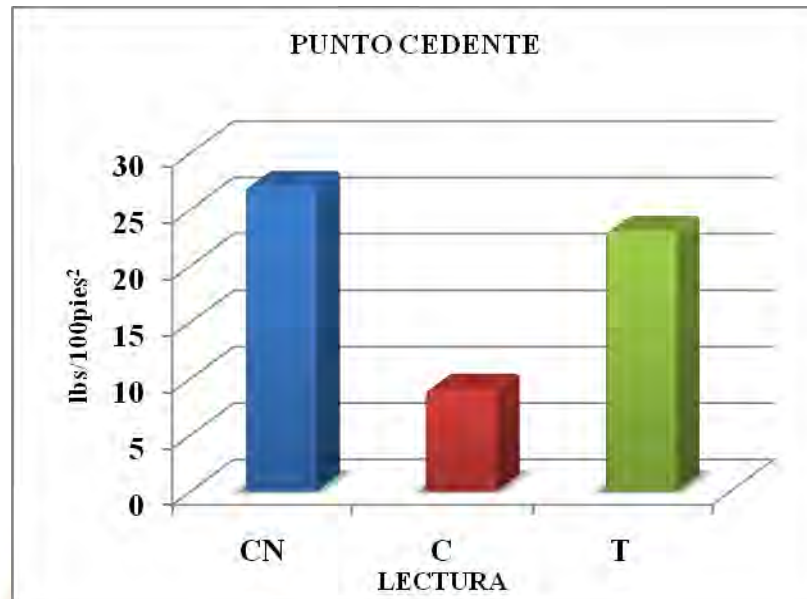
CONTINUACIÓN Tabla 4.11

4 lpb Almidón			
LECTURA	CN	C	T
L3	12	1	9
10''	12	1	8
10'	13	3	12

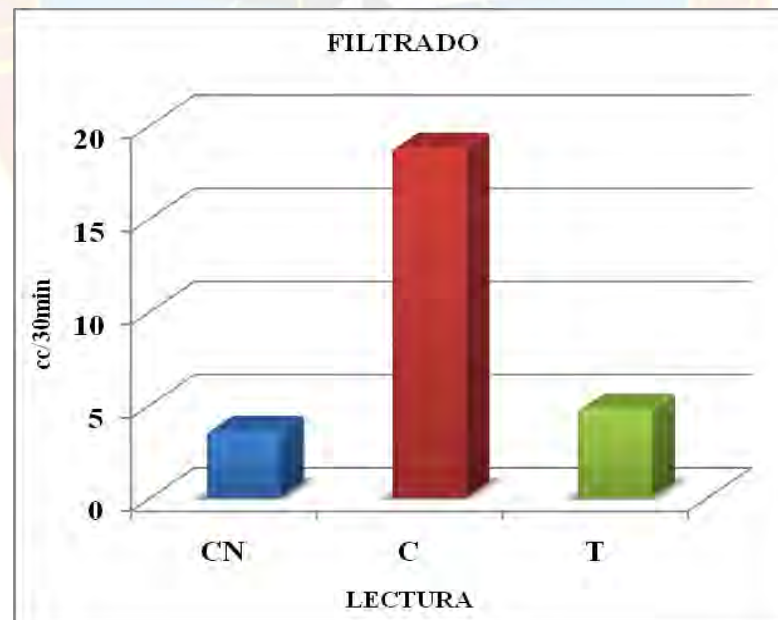
**CN:** Condiciones normales  
**C:** Contaminado  
**T:** Tratamiento



**Gráfica 4.10** Comportamiento del fluido B1 con respecto a la viscosidad plástica en condiciones normales, contaminado y tratado.



**Gráfica 4.11 Comportamiento del fluido B1 con respecto al punto cedente en condiciones normales, contaminado y tratado.**



**Gráfica 4.12 Comportamiento del fluido B1 con respecto al filtrado API en condiciones normales, contaminado y tratado.**

**Tabla 4.12 Tratamiento para la formulación B1**

Aditivo	Concentración (lpb)
Ácido cítrico	1
Bicarbonato	1,2
Goma	1
Almidón	2,6

En la tabla 4.11 se observa una caída considerable de la reología una vez que se contamina el fluido con cemento lo que trae como resultado un mal desempeño, de igual manera pasa con el filtrado API gráfica 4.12 ya que una vez contaminado el fluido pierde sus propiedades haciendo que su comportamiento no sea el adecuado y traiga como consecuencia problemas operacionales como por ejemplo la poca limpieza del hoyo ya que el punto cedente se ve afectado con la contaminación y esto puede incurrir a una pega de tubería, para restaurar las propiedades del fluido se aplicó un tratamiento que se describe en la tabla 4.12 el cual ajusta las propiedades del fluido.

**Tabla 4.13 Resultados de la reología, filtrado API en condiciones normales, contaminado y tratado para la formulación B3**

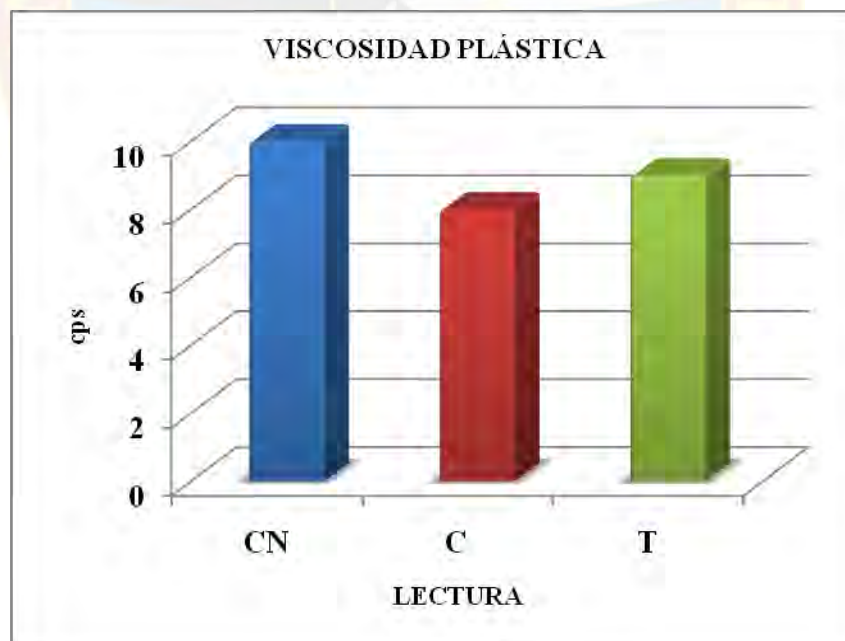
6 lpb Almidón			
LECTURA	CN	C	T
L600	51	31	46
L300	41	23	37
L200	37	16	30
L100	31	9	22
L6	17	5	10



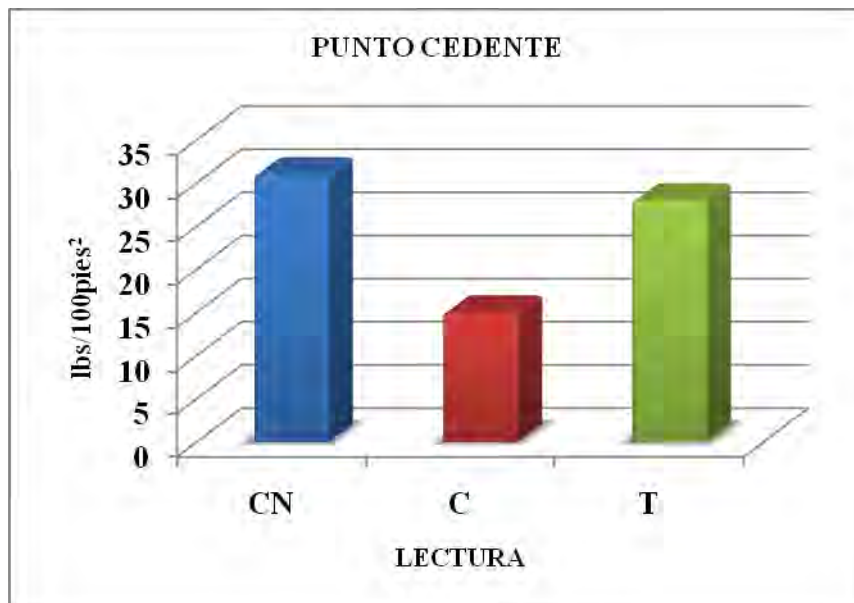
CONTINUACIÓN Tabla 4.14

6 lpb Almidón			
LECTURA	CN	C	T
L3	15	4	8
10''	15	4	9
10'	16	6	12

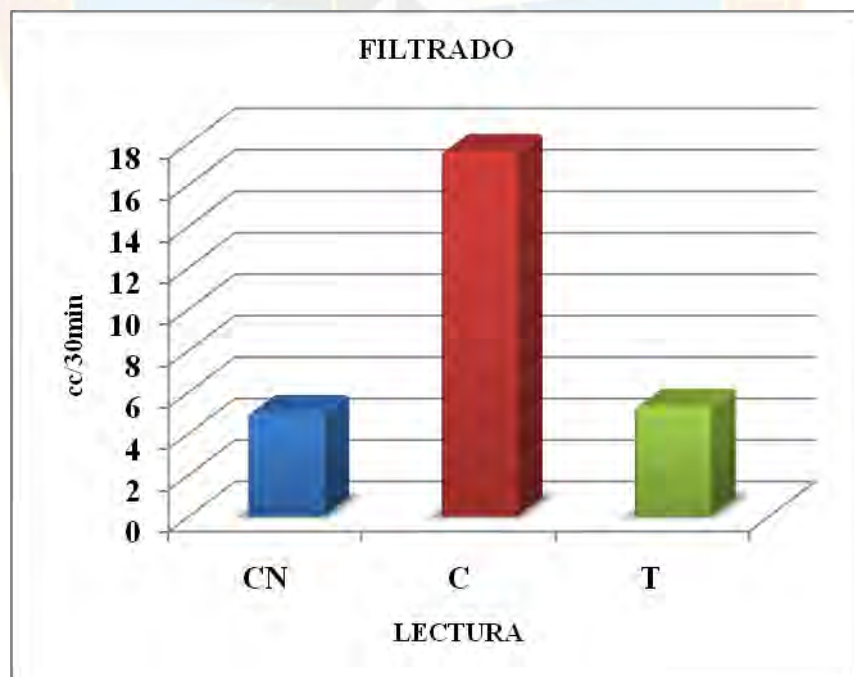
CN: Condiciones normales  
 C: Contaminado  
 T: Tratamiento



**Gráfica 4.13 Comportamiento del fluido B3 con respecto a la viscosidad plástica en condiciones normales, contaminado y tratado.**



**Gráfica 4.14 Comportamiento del fluido B3 con respecto al punto cedente en condiciones normales, contaminado y tratado.**



**Gráfica 4.15 Comportamiento del fluido B3 con respecto al filtrado API en condiciones normales, contaminado y tratado.**

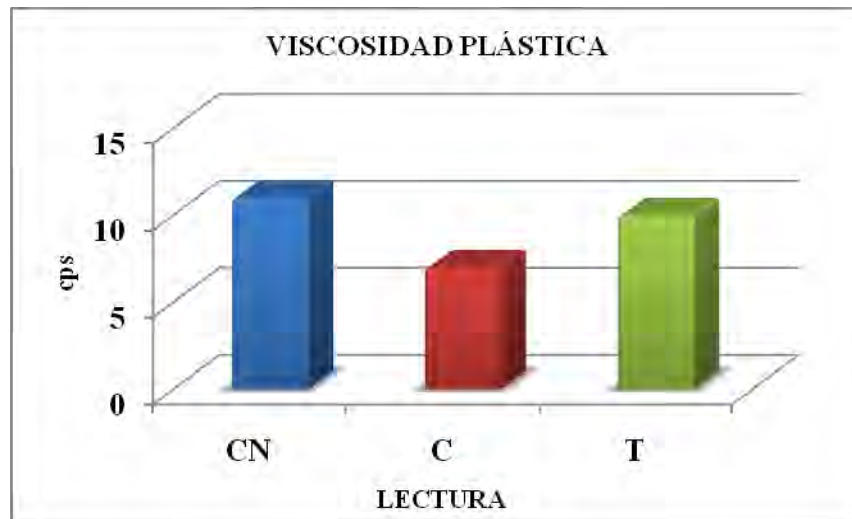
**Tabla 4.14 Tratamiento para la formulación B3**

Aditivo	Concentración (lpb)
Ácido cítrico	0,8
Bicarbonato	1,1
Goma	1,2
Almidón	2,4

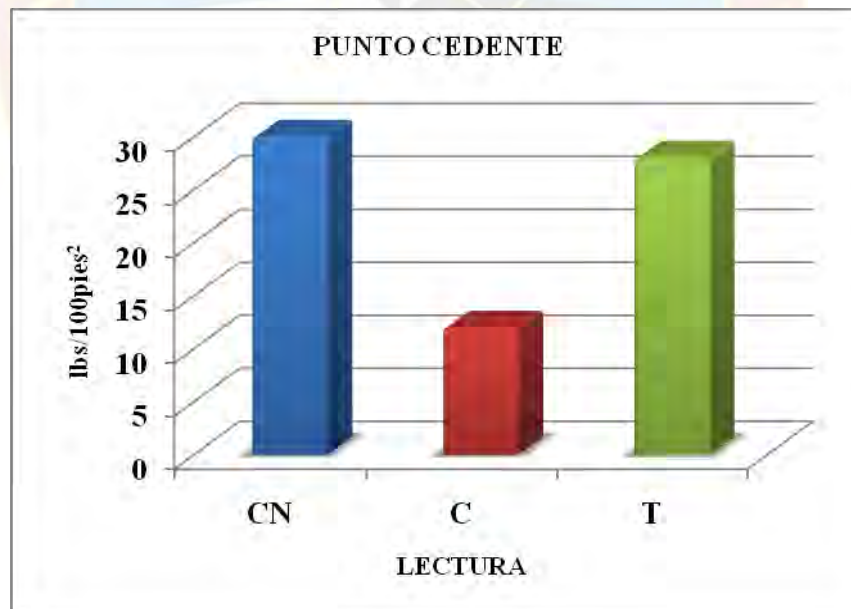
En la tabla 4.13 se observa disminución de la reología una vez que se contamina el fluido con cemento, para restaurar las propiedades del fluido se aplicó un tratamiento que se describe en la tabla 4.14 para ayudar a recuperar las propiedades del fluido y estar en el rango de trabajo exigido por la operadora en este caso PDVSA.

**Tabla 4.15 Resultados de la reología, filtrado API en condiciones normales, contaminado y tratado para la formulación C3**

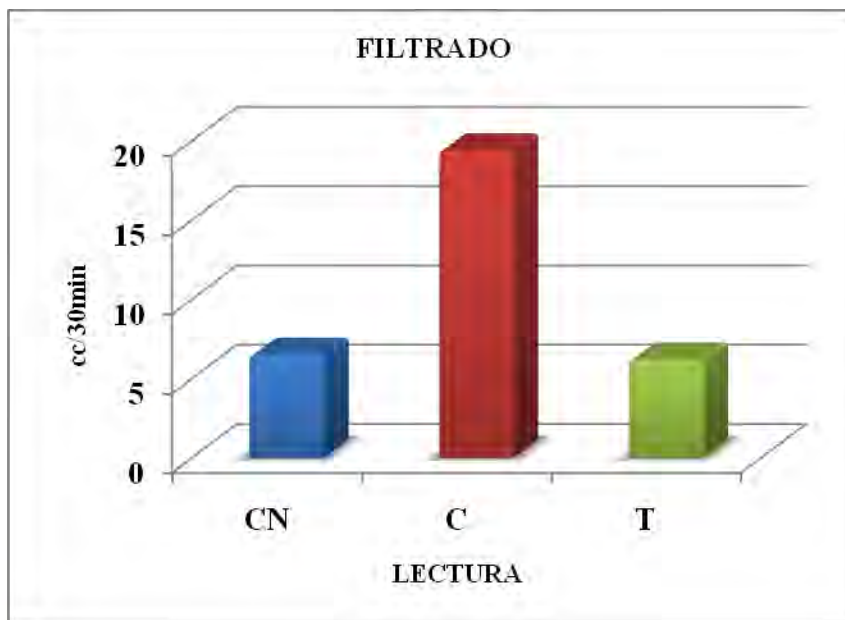
4 lpb Almidón			
LECTURAS	CN	C	T
L600	52	26	48
L300	41	19	38
L200	35	10	32
L100	29	6	26
L6	15	4	12
L3	13	3	11
10''	15	2	10
10'	16	5	13
CN: Condiciones normales C: Contaminado T: Tratamiento			



Gráfica 4.16 Comportamiento del fluido C3 con respecto a la viscosidad plástica en condiciones normales, contaminado y tratado.



Gráfica 4.17 Comportamiento del fluido C3 con respecto al punto cedente en condiciones normales, contaminado y tratado.



**Gráfica 4.18 Comportamiento del fluido C3 con respecto al filtrado API en condiciones normales, contaminado y tratado.**

**Tabla 4.16 Tratamiento para la formulación C3**

Aditivo	Concentración (lpb)
Ácido cítrico	0,6
Bicarbonato	0,9
Goma	0,8
Almidón	2,0

En la tabla 4.15 se observa una caída considerable de la reología una vez que se contamina el fluido con cemento, para restaurar las propiedades del fluido se aplicó un tratamiento que se describe en la tabla 4.16 el tratamiento depende de cuánto fue afectado el fluido por el cemento, de allí se determina la concentración de cada aditivo para su tratamiento.

### 4.3 DETERMINACIÓN DEL MODELO REOLÓGICO (BINGHAM, EXPONENCIAL Ó EXPONENCIAL MODIFICADO) QUE SE AJUSTE AL COMPORTAMIENTO REAL DE LOS FLUIDOS VISCOELÁSTICOS FORMULADOS CON DIFERENTES GOMAS XÁNTICAS Y ALMIDONES MODIFICADOS A DISTINTAS CONCENTRACIONES

La selección del modelo Herschel-Bulkley se debe a un análisis matemático asociado al comportamiento de los fluidos de perforación, el modelo de Binham es un modelo lineal en el cual solo se consideran 2 puntos del reograma para hacer todos los cálculos, ha sido el más básico de todos los modelos reológicos a nivel operacional, el modelo exponencial se amolda un poco más al comportamiento de los fluidos de perforación sin embargo su debilidad es que la gráfica comienza desde un punto (0,0) lo cual no es real para los fluidos de perforación ya que para su comportamiento tixotrópico se necesita un mínimo de esfuerzo para entrar en movimiento, es ahí donde el modelo Herschel-Bulkley abarca todas las debilidades de los modelos anteriores y considera en primer lugar que los fluidos no tienen comportamientos lineales y segundo que los fluidos necesitan un mínimo esfuerzo para entrar en movimiento denominado  $\tau_{00}$ .

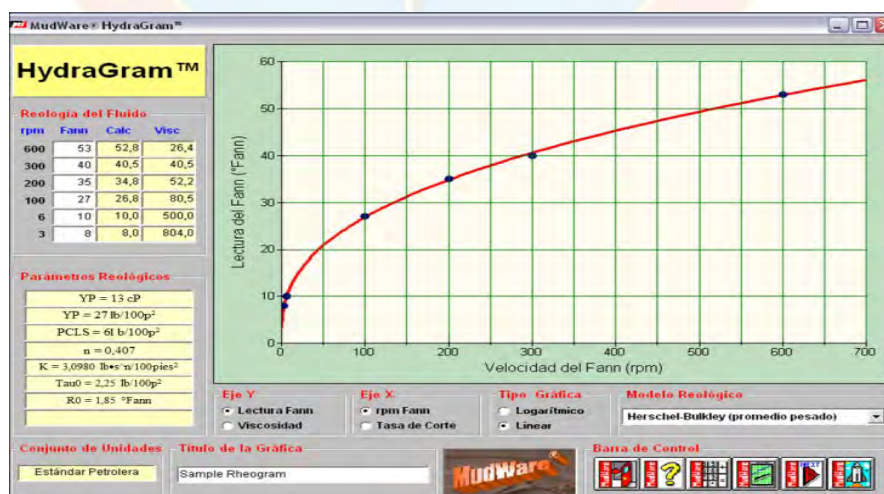
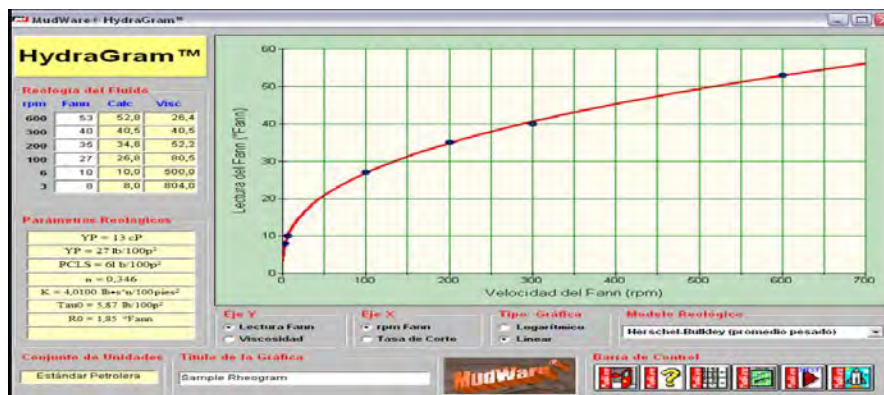


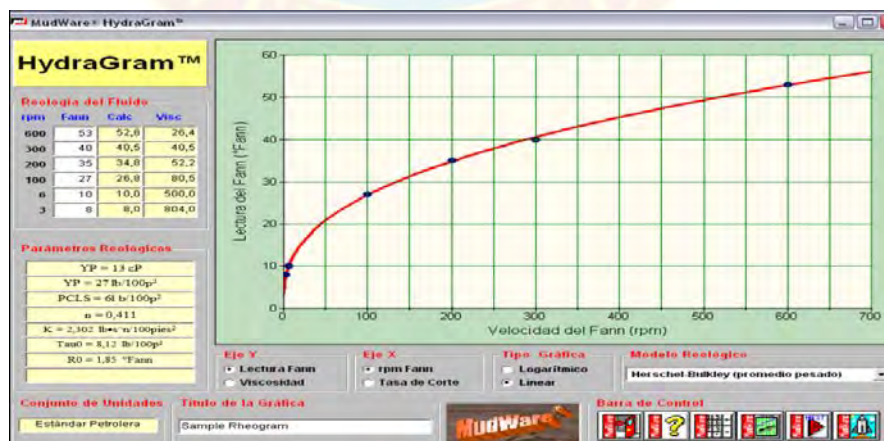
Figura 4.1 Modelo combinado Herschel-Bulkley para Formulación A2

Analizando la figura 4.1 se observa que el  $\tau_0$  (esfuerzo de corte inicial) es  $2,25 \text{ lb}/100\text{p}^2$  lo que indica un valor muy bajo lo cual hace que el fluido tenga un comportamiento del modelo de Bingham que supone que el fluido arranca de las coordenadas  $(0,0)$ , siendo lo recomendable para valores de fluidos viscoelásticos un esfuerzo de corte inicial entre  $6$  y  $8 \text{ lb}/100\text{p}^2$ .



**Figura 4.2 Modelo combinado Herschel-Bulkley para Formulación A3**

La figura 4.2 dio como resultado un  $\tau_0$  bajo lo cual no es recomendable ya que no posee la capacidad necesaria de generar geles los cuales ayudan a que los rípidos se mantengan en suspensión cuando se detienen las bombas, ya sea para cambiar tubería o cualquier operación que necesite parar bombas.



**Figura 4.3 Modelo combinado Herschel-Bulkley para Formulación B1**

En la figura 4.3 se observa un comportamiento el cual se adapta a un fluido viscoelástico cuyo valor de  $\tau_0$  es de  $8,12 \text{ lb}/100\text{p}^2$  lo que indica la capacidad de generar geles y por otra parte esto indica que se necesita un mínimo esfuerzo para que el fluido entre en movimiento otra vez.

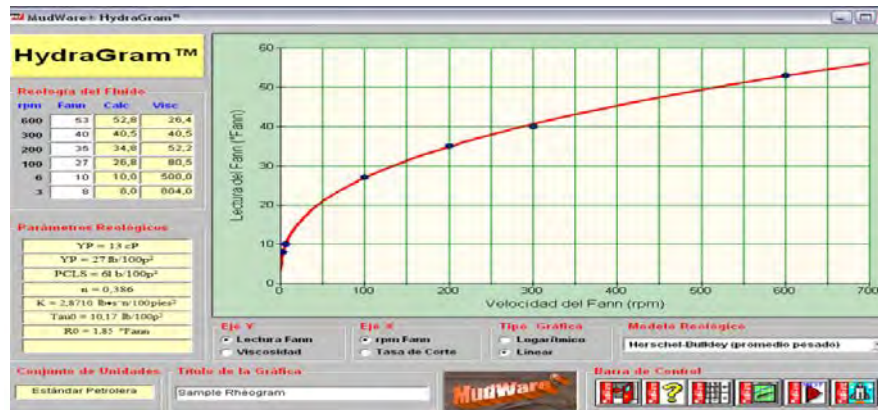


Figura 4.4 Modelo combinado Herschel-Bulkley para Formulación B3

En la figura 4.4 se observa un valor de  $\tau_0$  de  $10,17 \text{ lb}/100\text{p}^2$  un valor alto lo que trae como consecuencia desde el punto de vista operacional un mayor esfuerzo de bomba lo cual puede inducir a que se fracture la formación y ocurra una pérdida de circulación.

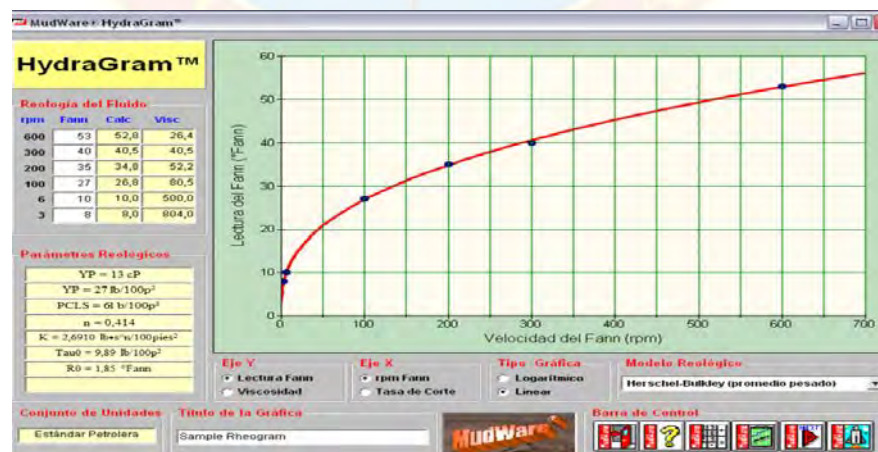


Figura 4.5 Modelo combinado Herschel-Bulkley para Formulación C3



La figura 4.5 muestra un comportamiento similar a la figura 4.4 lo cual posee un valor de  $\tau_0$  alto lo que hace necesario un mayor esfuerzo de bomba lo que puede inducir a una pérdida de circulación.

#### **4.4 CÁLCULO DEL ÍNDICE DE LIMPIEZA A DIFERENTES TASAS DE CIRCULACIÓN (GALONAJES) A TRAVÉS DEL MODELO REOLÓGICO CON EL MEJOR AJUSTE AL COMPORTAMIENTO REAL DE LOS FLUIDOS VISCOELÁSTICOS FORMULADOS CON DIFERENTES GOMAS XÁNTICAS Y ALMIDONES MODIFICADOS A DISTINTAS CONCENTRACIONES.**

Se probaron los diferentes modelos reológicos (Bingham, Moore, Ley de la Potencia y Hershel-Bulkley) y el que mejor se adaptó por los resultados fue el modelo combinado de Hershel-Bulkley ya que toma en consideración el origen y traza la mejor curva tomando en cuenta todos los puntos de las lecturas en la gráfica.

Para lograr esto se suministraron unos datos de entrada en el programa DFG DRILL AHEAD de Halliburton, en el cual se hicieron los cálculos de hidráulica para determinar el porcentaje de limpieza. Los datos suministrados fueron, geometría del hoyo, geometría de la sarta de perforación, densidad del fluido, propiedades reológicas del fluido y galonaje.

**Tabla 4.17 Geometría de la sarta de perforación**

<b>Sarta</b>	<b>OD (pulgadas)</b>	<b>ID (pulgadas)</b>	<b>Longitud (pies)</b>
Drill pipe	5	4,276	4502,08
Jar	6,438	2 ¼	28,76
HWDP	5	3	850,00
Stab-string	6 ¾	2,813	6,10

**CONTINUACIÓN Tabla 4.17**

Sarta	OD (pulgadas)	ID (pulgadas)	Longitud (pies)
Dril collar	6 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	2,813	23,11
Other	6 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	2,600	15,59
Herramienta de direccional	6 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	2,813	27,26
Other	6 3/8	2 7/8	12,00
Stab – NB	6 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	2,813	6,09
Sub – float	6 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	3,04
Motor	6 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	2,813	25,95
Bit – Core - PDC	8 1/2		1,02

La geometría del hoyo es la siguiente: hoyo 8 ½, profundidad total 6300pies, hoyo abierto 1500pies, ROP 40 pies/hora, el galonaje se varió haciendo corridas a 300 GPM, 600 GPM y 900 GPM dando como resultado que a 300 GPM la limpieza del hoyo es mucho menor causando que gran parte de los sólidos perforados queden en el pozo, a 900 GPM se incremento la limpieza del hoyo pero se produce turbulencia en el fondo del pozo lo que puedo ocasionar fractura de la formación induciendo a una perdida de circulación. A 600 GPM se pudo observar una limpieza del hoyo mayor a un 80% lo cual garantiza una buena limpieza sin producir turbulencia.

**Tabla 4.18 Resultados del porcentaje de limpieza**

INTERVALOS	FORMULACIONES				
	A2	A3	B1	B3	C3
<b>1</b>	90,6	90,9	90,7	91,1	90,9
<b>2</b>	91,3	91,5	91,3	91,6	91,5
<b>3</b>	93,1	93,0	92,9	93,1	93,1

CONTINUACIÓN Tabla 4.18

INTERVALOS	FORMULACIONES				
	A2	A3	B1	B3	C3
<b>4</b>	<b>91,3</b>	<b>91,5</b>	<b>91,3</b>	<b>91,6</b>	<b>91,5</b>
<b>5</b>	<b>93,6</b>	<b>93,5</b>	<b>93,4</b>	<b>93,6</b>	<b>93,6</b>
<b>6</b>	93,6	93,5	93,4	93,6	93,6
<b>7</b>	93,6	93,5	93,4	93,6	93,6
<b>8</b>	93,6	93,5	93,4	93,6	93,6
<b>9</b>	93,0	93,0	92,8	93,0	93,0
<b>10</b>	93,6	93,5	93,4	93,6	93,6
<b>11</b>	93,6	93,5	93,4	93,6	93,6
<b>12</b>	93,6	93,5	93,4	93,6	93,6

En la tabla 4.17 se reflejan los mejores valores obtenidos según las simulaciones para 600 GPM en un hoyo de 8 ½ y dentro de los mismos se puede observar los mejores porcentajes de limpieza se ven en la formulación B3 sin embargo todas las demás están en rango aceptable de limpieza en un hoyo 8 ½.

Se hicieron pruebas variando el galonaje, con valores por debajo de 600 GPM arrojaron un menor porcentaje de limpieza y por encima de 700 GPM ocurría turbulencia lo cual trae como consecuencia socavamiento del hoyo.

#### 4.5 ANÁLISIS ECONÓMICO PARA LAS FORMULACIONES PREPARADAS Y ASÍ SABER LA FACTIBILIDAD DE APLICAR EL FLUIDO.

**Tabla 4.19 Costo por libras por cada producto utilizado para las formulaciones**

Productos	Costo por libras (Bsf)
Ecoflo (Goma xántica)	20,64
Hulias (Goma xántica)	18,92
Tecnoquim (Goma xántica)	26,66
UMC Starch (Almidón)	3,87
Dextrid (Almidón)	5,16
Filtraloss (Almidón)	3,95
Acetato de potasio	7,42
Carbonato de calcio	2,75
Gasoil	Suministrado por PDVSA

**Tabla 4.20 Costo por barril por cada formulación**

Productos	Formulación A2		Formulación A3		Formulación B1		Formulación B3		Formulación C3	
	Conc (lpb)	Costo (Bsf)	Conc (lpb)	Costo (Bsf)	Conc (lpb)	Costo (Bsf)	Conc (lpb)	Costo (Bsf)	Conc (lpb)	Costo (Bsf)
Ecoflo (Goma xántica)	1,5	30,96	1,5	30,96	0	0	0	0	0	0
Hulias (Goma xántica)	0	0	0	0	1,5	28,38	1,5	28,38	0	0

CONTINUACIÓN TABLA 4.21

Productos	Formulación A2		Formulación A3		Formulación B1		Formulación B3		Formulación C3	
	Conc (lpb)	Costo (Bsf)	Conc (lpb)	Costo (Bsf)	Conc (lpb)	Costo (Bsf)	Conc (lpb)	Costo (Bsf)	Conc (lpb)	Costo (Bsf)
<b>Tecnoquim (Goma xántica)</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5	39,99
<b>UMC Starch (Almidón)</b>	0	0	0	0	4	15,48	0	0	0	0
<b>Dextrid (Almidón)</b>	5	94,6	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Filtraloss (Almidón)</b>	0	0	5	133,3	0	0	6	23,7	4	15,8
<b>Acetato de potasio</b>	2	14,84	2	14,84	2	14,84	2	14,84	2	14,84
<b>Carbonato de calcio</b>	40	110	40	110	40	110	40	110	40	110
<b>Costo total por barril</b>	<b>250,4 Bsf/barril</b>		<b>289,1 Bsf/barril</b>		<b>168,7 Bsf/barril</b>		<b>176,92 Bsf/barril</b>		<b>180,63 Bsf/barril</b>	

El análisis de costo realizado comparando cada uno de los sistemas formulados dio como resultado que la formulación B1 fue la que obtuvo el menor costo posible, de 168,7 BsF y técnicamente alcanzó el mejor desempeño de todas las formulaciones con respecto a la reología y filtrado. Si se analiza un poco más las formulaciones se puede observar que básicamente la diferencia radica en la calidad y costos de los productos básicos que conforman la misma, es importante recalcar en este punto que los productos utilizados en la formulación B1 son de fácil comercialización para la

empresa ESVENCA, ya que la misma ha establecido convenios internacionales y nacionales con varios proveedores de productos químicos, lo cual ha permitido en cierto modo obtener precios razonables para poder participar en el mercado de fluidos venezolanos.



## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

- Se formularon cinco sistemas de fluidos viscoelástico donde se determinaron las propiedades reológicas, filtrado API, viscosidad Brookfield, índice de consistencia y el índice de fluidez.
- Se comparo entre los cinco sistemas de fluidos viscoelásticos basándose en las propiedades reológicas y de filtrado API dando como resultado que la formulación B1 tuvo el mejor comportamiento.
- Se observó que una vez que el fluido viscoelástico es contaminado con cemento pierde sus propiedades afectando la reología y el filtrado, para contrarrestar esta contaminación se aplicó un tratamiento con ácido cítrico, bicarbonato de calcio, goma xántica y almidón para ajustar las propiedades.
- Se determinó que el mejor modelo reológico que se ajusta al comportamiento real de los fluidos viscoelásticos es el modelo combinado de Herschel-Bulkley.
- Para el sistema viscoelástico siempre va a existir un valor de esfuerzo inicial para que el fluido pueda entrar en movimiento denominado  $\tau_0$  el cual ha sido sobrestimado al utilizar modelos distintos al de Herschel-Bulkley.
- Se obtuvieron los valores de  $\tau_0$ , índice de consistencia y el índice de fluidez lo cual ayudó a determinar que la formulación B1 tuvo el mejor comportamiento.
- Se observó que al variar la tasa de circulación (galonajes) el índice de limpieza se ve afectado.

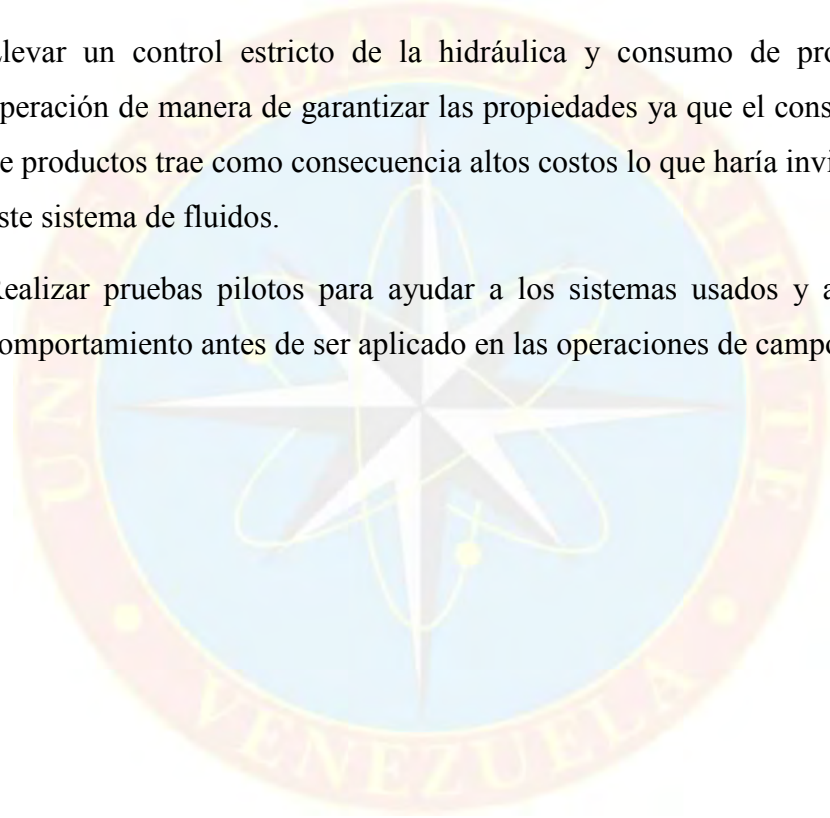
- Para garantizar una buena limpieza del hoyo es recomendable que los resultados de la corrida de hidráulica sean mayor a un 80%.
- Se determinó que la formulación B1 a pesar de dar buenos resultados en las pruebas a las cuales fue expuesta es la más económica al compararla con las otras formulaciones.





## 5.2 RECOMENDACIONES

- Se le recomienda a la empresa ESVENCA utilizar los sistemas de fluidos propuestos para garantizar las operaciones a nivel de campo.
- Es recomendable mantener la continuidad y control de calidad de los productos para optimizar las operaciones a nivel de campo.
- Llevar un control estricto de la hidráulica y consumo de productos en la operación de manera de garantizar las propiedades ya que el consumo excesivo de productos trae como consecuencia altos costos lo que haría inviable el uso de este sistema de fluidos.
- Realizar pruebas pilotos para ayudar a los sistemas usados y así analizar el comportamiento antes de ser aplicado en las operaciones de campo.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARIAS F. (2006). El proyecto de investigación, Editorial Episteme, 5ta.Edición. Caracas, Venezuela.

BAKER HUGHES INTEQ. (1998). Manual de Ingeniería de Fluidos de Perforación. Houston, Texas, USA.

BAROID. (2004). Manual de Fluidos, Houston-Estados Unidos.

ESVENCA (2009). Manual de fluidos. Venezuela.

FIGUEROA, M. (2007); “Evaluación del daño ocasionado por el fluido viscoelástico, durante la perforación productora las piedras, en pozos someros del Campo Orocual”.

GARCÍA, K. (2006), “Evaluación de un fluido viscoelástico con base en Formiato de Potasio para su uso como fluido de perforación en el Área Mayor de Anaco”.

MI DRILLING FLUIDS. (2001). Manual de Fluidos, Houston-Estados Unidos.



**APÉNDICES**



**APÉNDICE A**  
**"Pantalla de inicio del programa MUDWARE ® "**



**Figura A.1 "Pantalla de inicio del programa MUDWARE ® "**  
**Programa utilizado para la determinación del Modelo Reológico.**



**APÉNDICE B**  
**"Ecuaciones Utilizadas"**

## PROPIEDADES REOLÓGICAS

### Ecuaciones:

$$V_p = L_{600} - L_{300} \quad \text{ecuación A.4}$$

$$P_c = L_{300} - V_p \quad \text{ecuación A.5}$$

Donde:

$V_p$ : Viscosidad Plástica (cP)

$P_c$ : Punto Cedente (lb/100 pie<sup>2</sup>)

$L_{600}$ : Lectura del dial del viscosímetro a 600 rpm.

$L_{300}$ : Lectura del dial del viscosímetro a 300 rpm.

### Ejemplo A.2.1

De la tabla 4.3 se obtuvieron los datos para el fluido A:

$$L_{600} = 52$$

$$L_{300} = 33$$

Sustituyendo en las ecuaciones A.4 y A.5 se obtienen los valores de  $V_p$  y  $P_c$  respectivamente:

$$V_p = 19 \text{ cPs}$$

$$P_c = 14 \text{ lb/100 pie}^2$$

De igual forma se determinó la viscosidad plástica y punto cedente para el resto de los sistemas propuestos, los resultados se muestran en la gráfica 4.3



## **APÉNDICE C**

### **"Procedimientos y equipos utilizados"**



## C.1 Equipos utilizados

- **Balanza de lodo OFITE:** permite un método simple y práctico para la determinación exacta de la densidad o peso del fluido.



**Figura C.1 balanza de lodo Ofite**

### **Procedimiento:**

- ✓ Disponer de balanza de lodo y termómetro.
- ✓ Colocar el estuche que contiene la balanza en una superficie plana y a nivel. Abrir el estuche y asegurarse que la balanza esté limpia y seca.
- ✓ Tomar una muestra de fluido y retirar la mayor cantidad posible de aire entrampado (burbujas). Tomar la temperatura de la muestra de fluido.
- ✓ Llenar el recipiente o vaso de la balanza hasta el tope con la muestra de fluido.
- ✓ Colocar la tapa (al hacer esto parte del fluido debe ser expulsado a través del orificio lo que indicará que el recipiente está lleno). Asegurarse de eliminar las burbujas de aire presentes en la superficie del líquido antes de tapar el recipiente.
- ✓ Limpiar el fluido que se encuentra en la parte exterior del recipiente y del brazo de la balanza.

- ✓ Colocar la balanza sobre el soporte. El punto de apoyo en forma de cuchilla debe encajar en la ranura de la base, mientras que el caballete móvil se utilizará para equilibrar el brazo.
  - ✓ Correr el caballete hasta que la burbuja de la balanza esté en el centro del nivel. La densidad del Fluido se lee en cualquiera de las escalas impresas en el brazo de la balanza.
  - ✓ Descartar el fluido de prueba para limpiar y secar debidamente la balanza.
- **Viscosímetro rotacional OFITE 800:** es un modelo de la ocho velocidades de 600, 300, 200, 100, 60, 30, 6 y 3 rpm. La tensión del corte se muestra continuamente en el dial calibrado, para que puedan observarse las características de viscosidad tiempo-dependientes. Permite determinar VP (Viscosidad Plástica), PC (Punto Cedente), Resistencia de Gel, entre otras propiedades reológicas.



**Figura C.2 viscosímetro rotacional OFITE 800**

### **Procedimiento:**

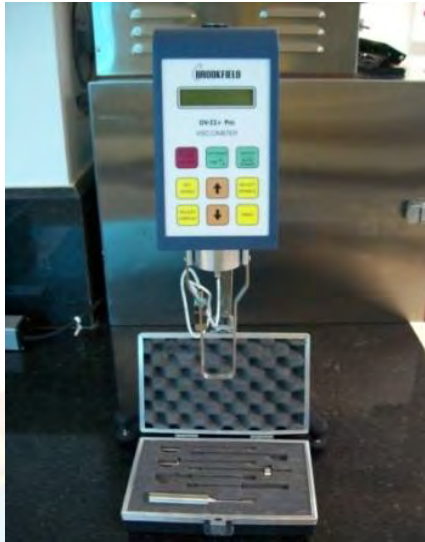
- ✓ Disponer de: Viscosímetro rotacional de lectura directa, una copa de calentamiento y un termómetro.
- ✓ Recoger una muestra de fluido.
- ✓ Colocar el termómetro en el orificio que se encuentra en la taza de calentamiento para tal fin. Ajustar la temperatura de la copa de calentamiento hasta 150° F para fluidos base aceite y 120° F para fluidos base agua.
- ✓ Colocar la muestra de Fluido en la copa de calentamiento dejando suficiente espacio para el desplazamiento del colgante y la manga.
- ✓ Sumergir en el Fluido la manga de rotor del viscosímetro hasta la línea marcada.
- ✓ Rotar la perilla selectora de velocidades hasta 600 rpm, para intercambio de calor. Monitorear la temperatura hasta que se estabilice en 150°F para base aceite y 120°F para base agua. La temperatura máxima de operación recomendada es de 200 °F. Si el fluido se va a probar por encima de esta temperatura, un balancín sólido o un balancín hueco completamente seco debe ser usado. El líquido atrapado dentro del balancín hueco podría vaporizarse cuando se sumerge en un fluido a alta temperatura causando que el balancín explote.
- ✓ Registrar la lectura del dial (L600).
- ✓ Girar la perilla del viscosímetro a 300 rpm hasta obtener una lectura estable (+/- 30 seg.). Registrar la lectura del dial (L300).
- ✓ Proceder de la misma manera para las lecturas de 200, 100, 6 y 3 rpm.
- ✓ Para la lectura de geles, girar la perilla del viscosímetro a 600 rpm durante 15 segundos aproximadamente, y después reposar por 10 segundos.

- ✓ Girar la perilla a 3 rpm y tomar la máxima lectura del dial, registrando la resistencia de gel a los 10 segundos.
- ✓ Girar nuevamente la perilla a 600 rpm durante 10 a 15 segundos, parar y dejar reposar la muestra por 10 minutos.
- ✓ Girar la perilla a 3 rpm y tomar la máxima lectura obtenida en el dial, registrando la resistencia de gel a los 10 minutos.
- ✓ Proceder de la misma forma para la lectura de geles a los treinta minutos.
- ✓ Retirar la copa de calentamiento y proceder a limpiar el equipo.

**Formulas asociadas.**

- ✓ Visc. Aparente (Va) en cps.  $Va = L_{600}/2$
- ✓ Visc. Plástica (Vp) en cps.  $Vp = L_{600} - L_{300}$
- ✓ Pto Cedente (Pc) en lbs/100pie<sup>2</sup>  $Pc = L_{300} - Vp$

- **Viscosimeto Brookfield (Viscosidad a baja tasa de corte):** A través de numerosos estudios de laboratorio y en base a la experiencia de campo, se ha determinado que los valores de viscosidad a baja velocidad de corte (LSRV) tienen un mayor impacto sobre la limpieza del pozo que el punto cedente, además de proporcionar la suspensión de barita bajo condiciones tanto dinámicas como estáticas. Se le da mayor importancia a estas lecturas cuando se perforan pozos horizontales y de alto ángulo. Esta LSRV se mide usando un viscosímetro de Brookfield a una velocidad de corte de 0,3 RPM. Estas propiedades reológicas de bajo corte llenan el vacío entre las medidas dinámicas tradicionales de VP y PC, y las medidas estáticas del esfuerzo de gel.



**Figura C.3 viscosimetro Brookfield**

**Procedimiento:**

- ✓ Colocar el fluido a analizar en un recipiente adecuado.
- ✓ Enchufar el cable de corriente del equipo en un toma corriente de 120 voltios. Encender el equipo en la parte de atrás del mismo presionando el interruptor hacia abajo.
- ✓ Presionar la tecla color rojo (Motor ON/OFF escape). Seleccionar el spindle adecuado.
- ✓ NOTA: El proceso de selección del spindle y de la velocidad, en un fluido desconocido, es normalmente un proceso de ensayo y error. Una selección apropiada resultará en mediciones entre 10 y 100% de torque. Dos reglas generales ayudarán en el proceso de escogencia: 1) El rango de viscosidad es inversamente proporcional al tamaño del spindle; 2) El rango de viscosidad es inversamente proporcional a la velocidad rotacional. Es decir, para medir altas viscosidades se debe elegir un spindle pequeño y una baja velocidad, si el

spindle/ velocidad escogido resulta en una lectura sobre 100%, entonces se debe reducir la velocidad o elegir un spindle más pequeño.

- ✓ Ajustar el spindle al tornillo que pende del rotor, con mucho cuidado para evitar deformaciones. Colocar el recipiente con la muestra de fluido debajo del spindle.
- ✓ Girar la perilla negra que permite desplazar el viscosímetro verticalmente, hasta que el nivel de fluido cubra la marca en el spindle.
- ✓ Seleccionar el spindle en la pantalla principal presionando la tecla amarilla (Select spindle). Mover las teclas con símbolo de flecha (↑↓) para seleccionar el modelo de spindle a utilizar y luego volver a presionar el botón Select spindle.
- ✓ Presionar la tecla Set speed para indicar la tasa de corte (rpm) de trabajo. Mover las teclas con símbolo de flecha (↑↓) para escoger la velocidad deseada y volver a presionar el botón Set speed.

Presionar la tecla Select display para escoger las unidades en que va a reportar los resultados. Utilizar las teclas (↑↓) para escoger la unidad y nuevamente presionar la tecla Select display.

- ✓ Girar el recipiente con la muestra hasta que el % de torque en la pantalla principal del viscosímetro esté estabilizado en cero.
- ✓ Presionar la tecla roja (Motor ON/OFF escape) para iniciar la prueba. Esperar hasta que la lectura de viscosidad se estabilice. Tomar la lectura.
- ✓ Presionar la tecla roja para detener la agitación. Girar la perilla hacia arriba. Retirar el spindle con mucho cuidado, limpiar todas las partes.
- ✓ Apagar el equipo.

- **Filtrado API:** Proceso de separación de líquidos y sólidos en una mezcla mediante la aplicación de presión.
- **Revoque:** Torta formada por los sólidos suspendidos que se separan de la fase líquida sobre un medio filtrante.

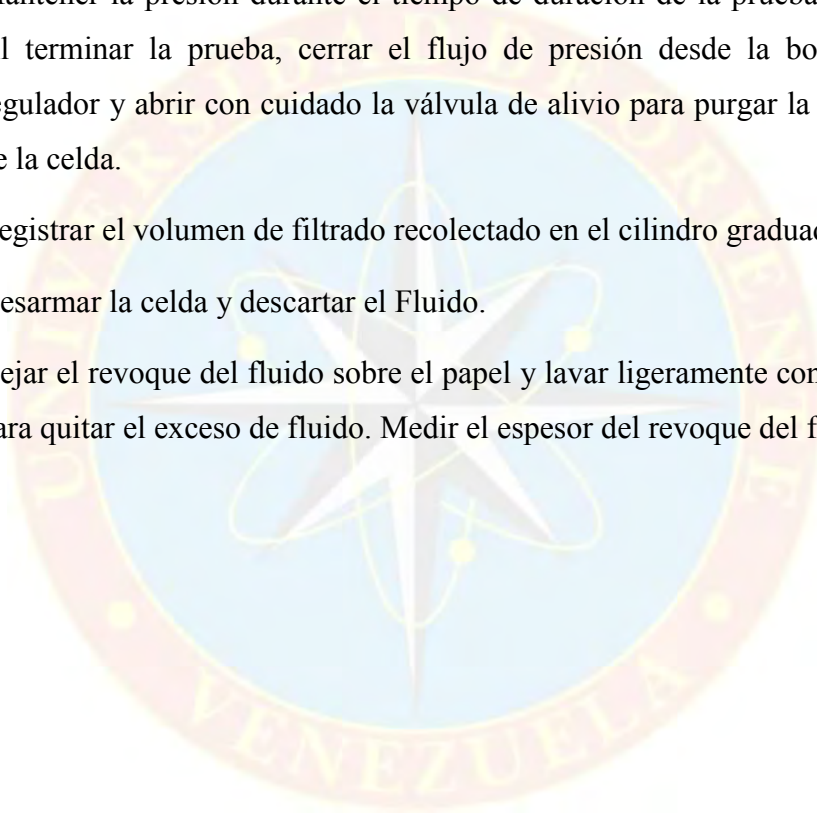


**Figura C.4 equipo para realizar la prueba de filtrado API**

**Procedimiento:**

- ✓ Disponer del equipo requerido para la realización de esta prueba: Equipo filtro prensa (celda de paredes cilíndricas, soporte inferior con tubo de drenaje, malla, empacaduras, regulador de presión con bombona, papel filtro, bombonas de presión), soporte para colocar celda, cronómetro, cilindro graduado.
- ✓ Antes de agregar el fluido, asegurarse que cada parte de la celda, especialmente la malla, se encuentre limpia y seca.
- ✓ Armar la celda con el papel filtro.

- ✓ Llenar la celda con lodo hasta una pulgada del borde superior.
- ✓ Colocar la celda sobre el soporte, ajustar la tapa y ubicar el cilindro graduado debajo del tubo de drenaje.
- ✓ Cerrar la válvula de alivio y ajustar el regulador para que sea aplicada una presión de  $100 \pm 5$  psi. Dar inicio a la prueba poniendo a correr el cronómetro.
- ✓ Mantener la presión durante el tiempo de duración de la prueba (30 minutos). Al terminar la prueba, cerrar el flujo de presión desde la bombona con el regulador y abrir con cuidado la válvula de alivio para purgar la presión dentro de la celda.
- ✓ Registrar el volumen de filtrado recolectado en el cilindro graduado.
- ✓ Desarmar la celda y descartar el Fluido.
- ✓ Dejar el revoque del fluido sobre el papel y lavar ligeramente con el fluido base para quitar el exceso de fluido. Medir el espesor del revoque del fluido.







**APÉNDICE D**  
**"Corridas de hidráulica para el cálculo del porcentaje de  
limpieza"**

# Corrida # 1

## Hole Geometry

Hole ID	Depth	TVD	Description
in	ft	ft	
8.835	4800	4000	CSNG 9 5/8
8.5	6300	4000	Open hole

## Pipe Geometry

OD	ID	Length	Description
in	in	ft	
5	4.276	5302.1	Drill pipe
6.438	2.25	28.76	JAR
5	3	850	HWDP
6.75	2.813	6.1	Stab String
6.75	2.813	23.11	Drill collar
6.75	2.6	15.59	Other
6.75	2.813	27.26	System directional
6.375	2.875	12	Other
6.75	2.813	6.09	Stab - NB
6.75	2.75	3.04	float sub
6.75	2.813	25.95	Motor

## Section Density and Rheological Properties

### Drill String

Sect	OD	ID	Length	Density	n	k	Tau0
	in	in	ft	lb/gal ( )	lb/100ft		lb/100ft <sup>2</sup>
					<sup>2</sup> s <sup>n</sup>		
1	5	4.276	5302.1	8.8	0.407	3.098	2.25
2	6.438	2.25	28.8	8.8	0.407	3.098	2.25
3	5	3	850.0	8.8	0.407	3.098	2.25

4	6.75	2.813	6.1	8.8	0.407	3.098	2.25
5	6.75	2.813	23.1	8.8	0.407	3.098	2.25
6	6.75	2.6	15.6	8.8	0.407	3.098	2.25
7	6.75	2.813	27.3	8.8	0.407	3.098	2.25
8	6.375	2.875	12.0	8.8	0.407	3.098	2.25
9	6.75	2.813	6.1	8.8	0.407	3.098	2.25
10	6.75	2.75	3.0	8.8	0.407	3.098	2.25
11	6.75	2.813	26.0	8.8	0.407	3.098	2.25

### **Annular Sections**

Sect	ID	OD	Length	Density	n	k	Tau0
1	8.835	5.	4800.0	8.8	0.407	3.098	2.25
2	8.5	5.	502.1	8.8	0.407	3.098	2.25
3	8.5	6.438	28.8	8.8	0.407	3.098	2.25
4	8.5	5.	850.0	8.8	0.407	3.098	2.25
5	8.5	6.75	6.1	8.8	0.407	3.098	2.25
6	8.5	6.75	23.1	8.8	0.407	3.098	2.25
7	8.5	6.75	15.6	8.8	0.407	3.098	2.25
8	8.5	6.75	27.3	8.8	0.407	3.098	2.25
9	8.5	6.375	12.0	8.8	0.407	3.098	2.25
10	8.5	6.75	6.1	8.8	0.407	3.098	2.25
11	8.5	6.75	3.0	8.8	0.407	3.098	2.25
12	8.5	6.75	26.0	8.8	0.407	3.098	2.25

### **Fluid Properties**

Viscoelastico Water

Den 8.8 lb/gal @ 140 F

RPM Dial

600 53

300 40

200 35  
 100 27  
 6 10  
 3 8

PV 13.0 cP  
 YP 27.0 lb/100ft<sup>2</sup>  
 n .407 ()  
 k 3.098 lb/100ft<sup>2</sup> s<sup>n</sup>  
 Tau0 2.25 lb/100ft<sup>2</sup>

Gels Gel Strength  
 10 s 10  
 10 min 18  
 30 min 21

**Annular Hydraulics: Herschel-Bulkley**

Total annular loss = **196.00 psi**

**Flow Rate = 600.00 gal/min**

Sect	OD	ID	Len	Depth	QC	dP
	in	in	ft	ft	gal/min	psi
1	8.835	5.000	4800.0	4800.0	1099.4	<b>L 135.8</b>
2	8.500	5.000	502.1	5302.1	1000.2	<b>L 16.8</b>
3	8.500	6.438	28.8	5330.9	737.0	<b>L 2.4</b>
4	8.500	5.000	850.0	6180.9	1000.2	<b>L 28.5</b>
5	8.500	6.750	6.1	6187.0	663.7	<b>L .7</b>
6	8.500	6.750	23.1	6210.1	663.7	<b>L 2.5</b>
7	8.500	6.750	15.6	6225.7	663.7	<b>L 1.7</b>
8	8.500	6.750	27.3	6253.0	663.7	<b>L 3.0</b>
9	8.500	6.375	12.0	6265.0	751.1	<b>L .9</b>

10	8.500	6.750	6.1	6271.1663.7	<b>L.7</b>
11	8.500	6.750	3.0	6274.1663.7	<b>L.3</b>
12	8.500	6.750	26.0	6300.1663.7	<b>L.2.8</b>

ECD with cuttings loading of 3%

Sect ECD dP TVD  
lb/gal psi

1	<b>9.840</b>	135.824000.0
2	<b>9.921</b>	152.644000.0
3	<b>9.932</b>	154.994000.0
4	<b>10.069</b>	183.464000.0
5	<b>10.072</b>	184.124000.0
6	<b>10.084</b>	186.624000.0
7	<b>10.092</b>	188.314000.0
8	<b>10.107</b>	191.274000.0
9	<b>10.111</b>	192.204000.0
10	<b>10.114</b>	192.864000.0
11	<b>10.116</b>	193.194000.0
12	<b>10.116</b>	193.194000.0

Sect SlipV Part V Interval Tport Tport Ratio Gen ApV  
ft/min ft/min min % CCI cP  
Moore Chien Moore Chien Moore Chien Moore Chien

1	25.93	36.98	251.26240.20	19.10	19.98	<b>90.6</b>	<b>86.7</b>	.55	89.9
2	27.08	38.52	284.18272.73	1.77	1.84	<b>91.3</b>	<b>87.6</b>	.54	78.9
3	33.00	44.07	444.46433.39	.06	.07	<b>93.1</b>	<b>90.8</b>	.46	43.6
4	27.08	38.52	284.18272.73	2.99	3.12	<b>91.3</b>	<b>87.6</b>	.54	78.9
5	35.15	45.37	515.93505.71	.01	.01	<b>93.6</b>	<b>91.8</b>	.44	36.1
6	35.15	45.37	515.93505.71	.04	.05	<b>93.6</b>	<b>91.8</b>	.44	36.1
7	35.15	45.37	515.93505.71	.03	.03	<b>93.6</b>	<b>91.8</b>	.44	36.1

8	35.15	45.37	515.93	505.71	.05	<b>93.6</b>	<b>91.8</b>	.44	36.1
9	32.63	43.81	432.64	421.46	.03	<b>93.0</b>	<b>90.6</b>	.46	45.1
10	35.15	45.37	515.93	505.71	.01	<b>93.6</b>	<b>91.8</b>	.44	36.1
11	35.15	45.37	515.93	505.71	.01	<b>93.6</b>	<b>91.8</b>	.44	36.1
12	35.15	45.37	515.93	505.71	.05	<b>93.6</b>	<b>91.8</b>	.44	36.1

**Bit Hydraulics**

Qty	Size	ID	Area
3	20/32	0.625	0.9204

Flow rate = **600. gal/min**

TFA = **.9200 in<sup>2</sup>**

Pressure Prop = **344.7 psi**

HHP = **121**

Jet impact force = **572. lb**

HSI = **2.1**



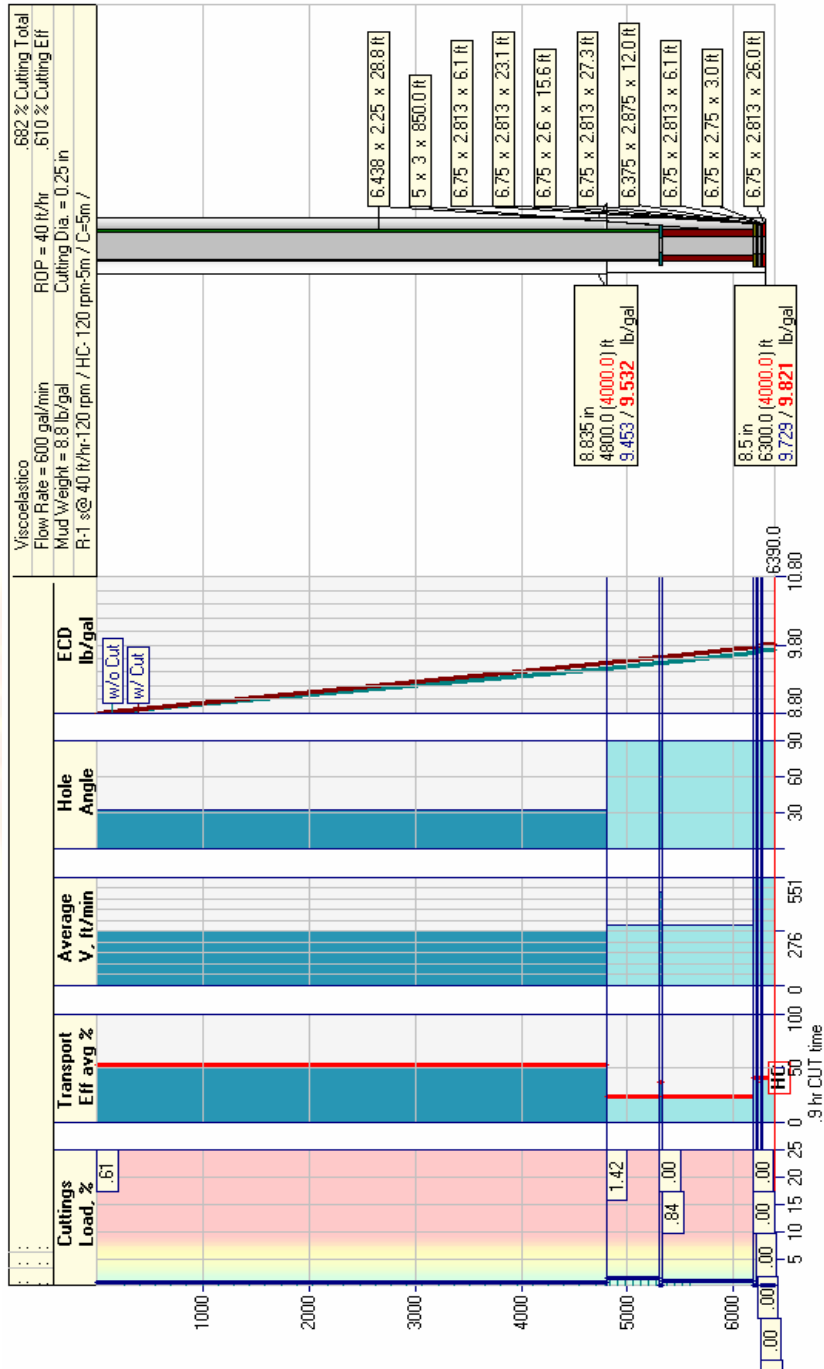


Figura D.1 resultados corrida para la formulación A2

# Corrida # 2

## Hole Geometry

Hole ID	Depth	TVD	Description
in	ft	ft	
8.835	4800	4000	CSNG 9 5/8
8.5	6300	4000	Open hole

## Pipe Geometry

OD	ID	Length	Description
in	in	ft	
5	4.276	5302.1	Drill pipe
6.438	2.25	28.76	JAR
5	3	850	HWDP
6.75	2.813	6.1	Stab String
6.75	2.813	23.11	Drill collar
6.75	2.6	15.59	Other
6.75	2.813	27.26	System directional
6.375	2.875	12	Other
6.75	2.813	6.09	Stab - NB
6.75	2.75	3.04	float sub
6.75	2.813	25.95	Motor

## Section Density and Rheological Properties

### **Drill String**

Sect	OD	ID	Length	Density	n	k	Tau0
	in	in	ft	lb/gal ( )	lb/100ft	lb/100ft <sup>2</sup>	lb/100ft <sup>2</sup>
					<sup>2</sup> s <sup>n</sup>		
1	5	4.276	5302.1	8.8	0.346	4.01	5.87
2	6.438	2.25	28.8	8.8	0.346	4.01	5.87
3	5	3	850.0	8.8	0.346	4.01	5.87
4	6.75	2.813	6.1	8.8	0.346	4.01	5.87



5	6.75	2.813	23.1	8.8	0.346	4.01	5.87
6	6.75	2.6	15.6	8.8	0.346	4.01	5.87
7	6.75	2.813	27.3	8.8	0.346	4.01	5.87
8	6.375	2.875	12.0	8.8	0.346	4.01	5.87
9	6.75	2.813	6.1	8.8	0.346	4.01	5.87
10	6.75	2.75	3.0	8.8	0.346	4.01	5.87
11	6.75	2.813	26.0	8.8	0.346	4.01	5.87

### Annular Sections

Sect	ID	OD	Length	Density	n	k	Tau0
1	8.835	5.	4800.0	8.8	0.346	4.01	5.87
2	8.5	5.	502.1	8.8	0.346	4.01	5.87
3	8.5	6.438	28.8	8.8	0.346	4.01	5.87
4	8.5	5.	850.0	8.8	0.346	4.01	5.87
5	8.5	6.75	6.1	8.8	0.346	4.01	5.87
6	8.5	6.75	23.1	8.8	0.346	4.01	5.87
7	8.5	6.75	15.6	8.8	0.346	4.01	5.87
8	8.5	6.75	27.3	8.8	0.346	4.01	5.87
9	8.5	6.375	12.0	8.8	0.346	4.01	5.87
10	8.5	6.75	6.1	8.8	0.346	4.01	5.87
11	8.5	6.75	3.0	8.8	0.346	4.01	5.87
12	8.5	6.75	26.0	8.8	0.346	4.01	5.87

### Fluid Properties

Viscoelastico Water

Den 8.8 lb/gal @ 140 F

RPM Dial

600 49

300 40

200 35

100 29

6 15

3 12

PV 9.0 cP  
YP 31.0 lb/100ft<sup>2</sup>  
n .346 ()  
k 4.010 lb/100ft<sup>2</sup> s<sup>n</sup>  
Tau0 5.87 lb/100ft<sup>2</sup>

Gels Gel Strength  
10 s 12  
10 min 21  
30 min 26

**Annular Hydraulics: Herschel-Bulkley**

Total annular loss = **211.01 psi**

**Flow Rate = 600.00 gal/min**

Sect	OD	ID	Len	Depth	QC	dP
	in	in	ft	ft	gal/min	psi
1	8.835	5.000	4800.0	4800.0	1145.9	<b>L 148.2</b>
2	8.500	5.000	502.1	5302.1	1036.0	<b>L 18.0</b>
3	8.500	6.438	28.8	5330.9	737.3	<b>L 2.3</b>
4	8.500	5.000	850.0	6180.9	1036.0	<b>L 30.5</b>
5	8.500	6.750	6.1	6187.0	657.2	<b>L .6</b>
6	8.500	6.750	23.1	6210.1	657.2	<b>L 2.4</b>
7	8.500	6.750	15.6	6225.7	657.2	<b>L 1.6</b>
8	8.500	6.750	27.3	6253.0	657.2	<b>L 2.8</b>
9	8.500	6.375	12.0	6265.0	752.8	<b>L .9</b>
10	8.500	6.750	6.1	6271.1	657.2	<b>L .6</b>
11	8.500	6.750	3.0	6274.1	657.2	<b>L .3</b>

12 8.500 6.750 26.0 6300.1657.2 L 2.7

ECD with cuttings loading of 3%

Sect ECD dP TVD  
lb/gal psi

1	<b>9.900</b>	148.234000.0
2	<b>9.986</b>	166.234000.0
3	<b>9.997</b>	168.534000.0
4	<b>10.144</b>	199.004000.0
5	<b>10.147</b>	199.634000.0
6	<b>10.158</b>	202.034000.0
7	<b>10.166</b>	203.644000.0
8	<b>10.180</b>	206.464000.0
9	<b>10.184</b>	207.384000.0
10	<b>10.187</b>	208.014000.0
11	<b>10.189</b>	208.324000.0
12	<b>10.189</b>	208.324000.0

Sect SlipV Part V Interval Tport Tport Ratio Gen ApV  
ft/min ft/min min % CCI cP  
Moore Chien Moore Chien Moore Chien Moore Chien

1	25.19	35.89	252.00	241.30	19.05	19.89	<b>90.9</b>	<b>87.1</b>	.60	98.1
2	26.47	37.74	284.78	273.52	1.76	1.84	<b>91.5</b>	<b>87.9</b>	.58	84.4
3	33.22	44.21	444.25	433.25	.06	.07	<b>93.0</b>	<b>90.7</b>	.45	42.7
4	26.47	37.74	284.78	273.52	2.98	3.11	<b>91.5</b>	<b>87.9</b>	.58	84.4
5	35.69	45.66	515.39	505.42	.01	.01	<b>93.5</b>	<b>91.7</b>	.42	34.4
6	35.69	45.66	515.39	505.42	.04	.05	<b>93.5</b>	<b>91.7</b>	.42	34.4
7	35.69	45.66	515.39	505.42	.03	.03	<b>93.5</b>	<b>91.7</b>	.42	34.4
8	35.69	45.66	515.39	505.42	.05	.05	<b>93.5</b>	<b>91.7</b>	.42	34.4
9	32.78	43.92	432.49	421.35	.03	.03	<b>93.0</b>	<b>90.6</b>	.45	44.4
10	35.69	45.66	515.39	505.42	.01	.01	<b>93.5</b>	<b>91.7</b>	.42	34.4
11	35.69	45.66	515.39	505.42	.01	.01	<b>93.5</b>	<b>91.7</b>	.42	34.4

12 35.69 45.66 515.39505.42.05 .05 **93.5 91.7** .42 34.4

### **Bit Hydraulics**

Qty	Size	ID	Area
3	20/32	0.625	0.9204

Flow rate = **600. gal/min**

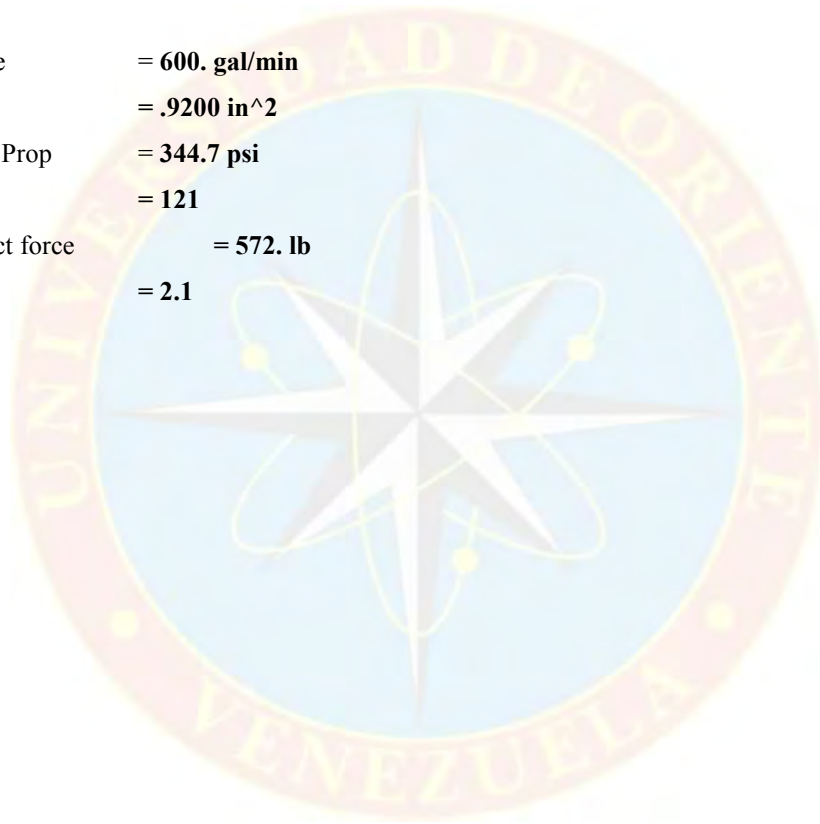
TFA = **.9200 in<sup>2</sup>**

Pressure Prop = **344.7 psi**

HHP = **121**

Jet impact force = **572. lb**

HSI = **2.1**



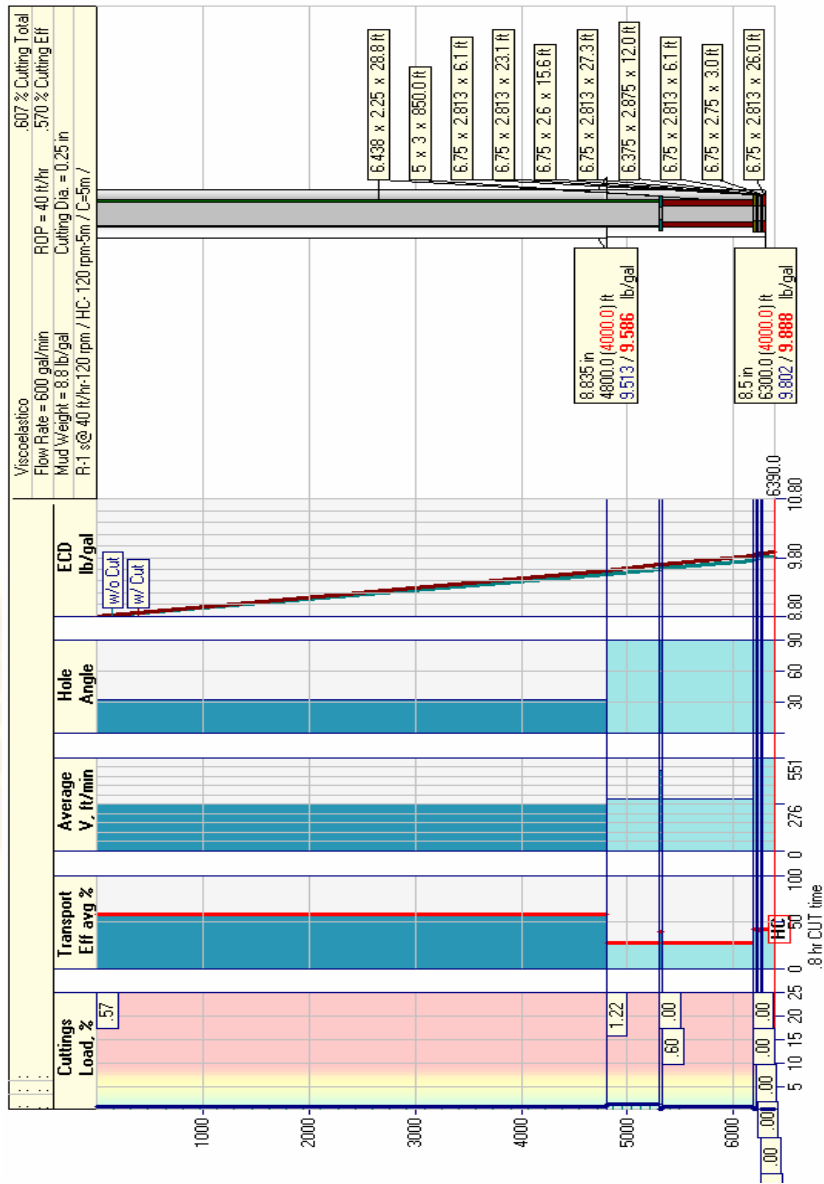


Figura D.2 resultados corrida para la formulación A3

# Corrida # 3

## Hole Geometry

Hole ID	Depth	TVD	Description
in	ft	ft	
8.835	4800	4000	CSNG 9 5/8
8.5	6300	4000	Open hole

## Pipe Geometry

OD	ID	Length	TJ Dia	TJ ID	Length	TJ Len	Description
in	in	ft	in	in	ft	in	
5	4.276	5302.1					Drill pipe
6.438	2.25	28.76					JAR
5	3	850					HWDP
6.75	2.813	6.1					Stab String
6.75	2.813	23.11					Drill collar
6.75	2.6	15.59					Other
6.75	2.813	27.26					System directional
6.375	2.875	12					Other
6.75	2.813	6.09					Stab - NB
6.75	2.75	3.04					float sub
6.75	2.813	25.95					Motor

## Section Density and Rheological Properties

### Drill String

Sect	OD	ID	Length	Density	n	k	Tau0
	in	in	ft	lb/gal ( )	lb/100ft	lb/100ft <sup>2</sup>	lb/100ft <sup>2</sup>
					<sup>2</sup> s <sup>n</sup>		
1	5	4.276	5302.18.8	0.411	2.302	8.12	
2	6.438	2.25	28.8	8.8	0.411	2.302	8.12
3	5	3	850.0	8.8	0.411	2.302	8.12

4	6.75	2.813	6.1	8.8	0.411	2.302	8.12
5	6.75	2.813	23.1	8.8	0.411	2.302	8.12
6	6.75	2.6	15.6	8.8	0.411	2.302	8.12
7	6.75	2.813	27.3	8.8	0.411	2.302	8.12
8	6.375	2.875	12.0	8.8	0.411	2.302	8.12
9	6.75	2.813	6.1	8.8	0.411	2.302	8.12
10	6.75	2.75	3.0	8.8	0.411	2.302	8.12
11	6.75	2.813	26.0	8.8	0.411	2.302	8.12

### **Annular Sections**

Sect	ID	OD	Length	Density	n	k	Tau0
1	8.835	5.	4800.0	8.8	0.411	2.302	8.12
2	8.5	5.	502.1	8.8	0.411	2.302	8.12
3	8.5	6.438	28.8	8.8	0.411	2.302	8.12
4	8.5	5.	850.0	8.8	0.411	2.302	8.12
5	8.5	6.75	6.1	8.8	0.411	2.302	8.12
6	8.5	6.75	23.1	8.8	0.411	2.302	8.12
7	8.5	6.75	15.6	8.8	0.411	2.302	8.12
8	8.5	6.75	27.3	8.8	0.411	2.302	8.12
9	8.5	6.375	12.0	8.8	0.411	2.302	8.12
10	8.5	6.75	6.1	8.8	0.411	2.302	8.12
11	8.5	6.75	3.0	8.8	0.411	2.302	8.12
12	8.5	6.75	26.0	8.8	0.411	2.302	8.12

### **Fluid Properties**

Viscoelastico Water

Den 8.8 lb/gal @ 140 F

RPM Dial

600 47

300 37

200 33

100 27

6 14  
3 12

PV 10.0 cP  
YP 27.0 lb/100ft<sup>2</sup>  
n .411 ()  
k 2.302 lb/100ft<sup>2</sup> s<sup>n</sup>  
Tau0 8.12 lb/100ft<sup>2</sup>

Gels Gel Strength  
10 s 12  
10 min 21  
30 min 25

**Annular Hydraulics: Herschel-Bulkley**

Total annular loss = **194.67 psi**

**Flow Rate = 600.00 gal/min**

Sect	OD in	ID in	Len ft	Depth ft	QC gal/min	dP psi
1	8.835	5.000	4800.0	4800.0	1092.5	<b>L 136.4</b>
2	8.500	5.000	502.1	5302.1	988.4	<b>L 16.6</b>
3	8.500	6.438	28.8	5330.9	708.2	<b>L 2.2</b>
4	8.500	5.000	850.0	6180.9	988.4	<b>L 28.1</b>
5	8.500	6.750	6.1	6187.0	632.9	<b>L .6</b>
6	8.500	6.750	23.1	6210.1	632.9	<b>L 2.3</b>
7	8.500	6.750	15.6	6225.7	632.9	<b>L 1.5</b>
8	8.500	6.750	27.3	6253.0	632.9	<b>L 2.7</b>
9	8.500	6.375	12.0	6265.0	722.8	<b>L .9</b>
10	8.500	6.750	6.1	6271.1	632.9	<b>L .6</b>
11	8.500	6.750	3.0	6274.1	632.9	<b>L .3</b>
12	8.500	6.750	26.0	6300.1	632.9	<b>L 2.5</b>



ECD with cuttings loading of 3%

Sect ECD dP TVD  
lb/gal psi

1	<b>9.843</b>	136.424000.0
2	<b>9.923</b>	153.024000.0
3	<b>9.933</b>	155.194000.0
4	<b>10.068</b>	183.294000.0
5	<b>10.071</b>	183.894000.0
6	<b>10.082</b>	186.164000.0
7	<b>10.089</b>	187.694000.0
8	<b>10.102</b>	190.364000.0
9	<b>10.106</b>	191.224000.0
10	<b>10.109</b>	191.824000.0
11	<b>10.111</b>	192.124000.0
12	<b>10.111</b>	192.124000.0

Sect SlipV Part V Interval TportTport Ratio Gen ApV  
ft/min ft/min min % CCI cP  
Moore Chien Moore Chien Moore Chien Moore Chien

1	25.89	36.93	251.30240.26	19.10	19.98	<b>90.7</b>	<b>86.7</b>	.55	90.3
2	27.20	38.67	284.06272.59	1.77	1.84	<b>91.3</b>	<b>87.6</b>	.53	77.9
3	33.91	44.66	443.55432.81	.06	.07	<b>92.9</b>	<b>90.6</b>	.42	40.2
4	27.20	38.67	284.06272.59	2.99	3.12	<b>91.3</b>	<b>87.6</b>	.53	77.9
5	36.33	45.98	514.74505.10	.01	.01	<b>93.4</b>	<b>91.7</b>	.40	32.6
6	36.33	45.98	514.74505.10	.04	.05	<b>93.4</b>	<b>91.7</b>	.40	32.6
7	36.33	45.98	514.74505.10	.03	.03	<b>93.4</b>	<b>91.7</b>	.40	32.6
8	36.33	45.98	514.74505.10	.05	.05	<b>93.4</b>	<b>91.7</b>	.40	32.6
9	33.48	44.39	431.79420.88	.03	.03	<b>92.8</b>	<b>90.5</b>	.43	41.7
10	36.33	45.98	514.74505.10	.01	.01	<b>93.4</b>	<b>91.7</b>	.40	32.6
11	36.33	45.98	514.74505.10	.01	.01	<b>93.4</b>	<b>91.7</b>	.40	32.6
12	36.33	45.98	514.74505.10	.05	.05	<b>93.4</b>	<b>91.7</b>	.40	32.6

### **Bit Hydraulics**

Qty	Size	ID	Area
3	20/32	0.625	0.9204

Flow rate = **600. gal/min**

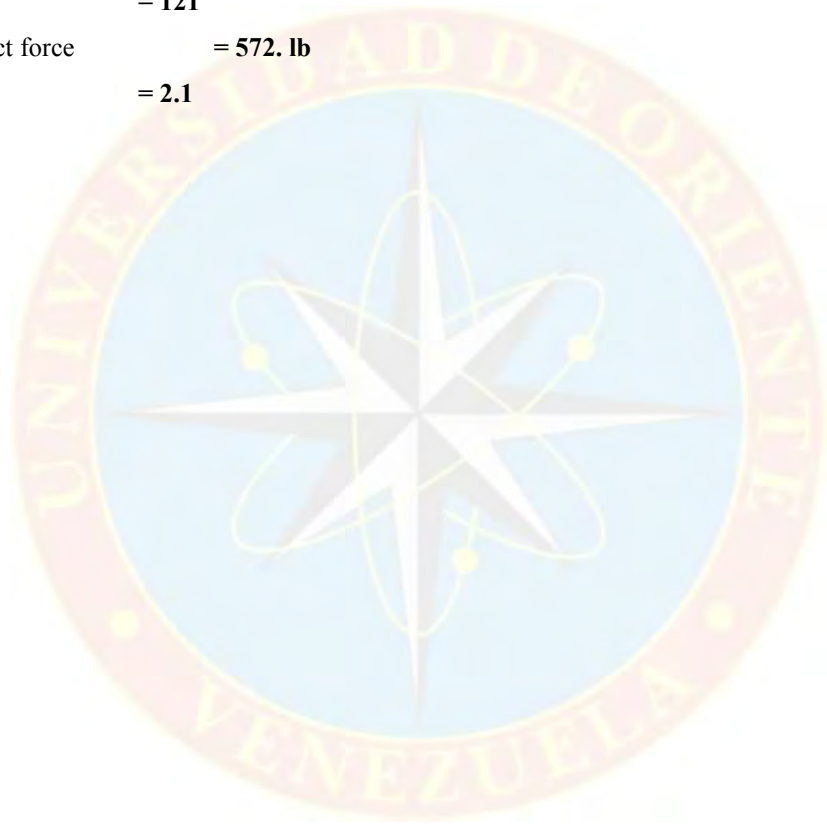
TFA = **.9200 in<sup>2</sup>**

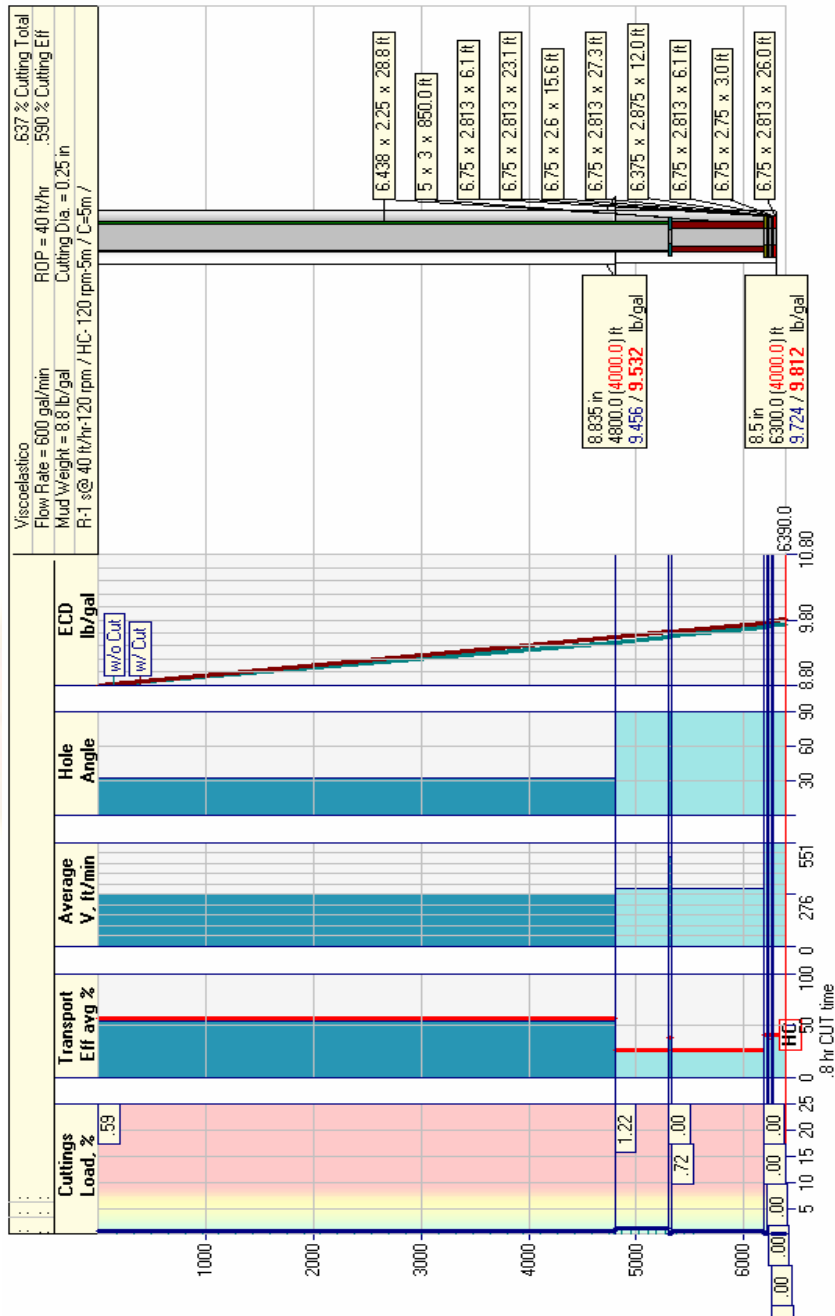
Pressure Prop = **344.7 psi**

HHP = **121**

Jet impact force = **572. lb**

HSI = **2.1**





**Figura D.3 resultados corrida para la formulación B1**

# Corrida # 4

## Hole Geometry

Hole ID	Depth	TVD	Description
in	ft	ft	
8.835	4800	4000	CSNG 9 5/8
8.5	6300	4000	Open hole

## Pipe Geometry

OD	ID	Length	TJ Dia	TJ ID	Length	TJ Len	Description
in	in	ft	in	in	ft	in	
5	4.276	5302.1					Drill pipe
6.438	2.25	28.76					JAR
5	3	850					HWDP
6.75	2.813	6.1					Stab String
6.75	2.813	23.11					Drill collar
6.75	2.6	15.59					Other
6.75	2.813	27.26					System directional
6.375	2.875	12					Other
6.75	2.813	6.09					Stab - NB
6.75	2.75	3.04					float sub
6.75	2.813	25.95					Motor

## Section Density and Rheological Properties

### **Drill String**

Sect	OD	ID	Length	Density	n	k	Tau0
	in	in	ft	lb/gal ( )	lb/100ft	lb/100ft <sup>2</sup>	lb/100ft <sup>2</sup>
					<sup>^2</sup> s <sup>^n</sup>		
1	5	4.276	5302.1	8.8	0.386	2.871	10.17
2	6.438	2.25	28.8	8.8	0.386	2.871	10.17
3	5	3	850.0	8.8	0.386	2.871	10.17
4	6.75	2.813	6.1	8.8	0.386	2.871	10.17

5	6.75	2.813	23.1	8.8	0.386	2.871	10.17
6	6.75	2.6	15.6	8.8	0.386	2.871	10.17
7	6.75	2.813	27.3	8.8	0.386	2.871	10.17
8	6.375	2.875	12.0	8.8	0.386	2.871	10.17
9	6.75	2.813	6.1	8.8	0.386	2.871	10.17
10	6.75	2.75	3.0	8.8	0.386	2.871	10.17
11	6.75	2.813	26.0	8.8	0.386	2.871	10.17

### **Annular Sections**

Sect	ID	OD	Length	Density	n	k	Tau0
1	8.835	5.	4800.0	8.8	0.386	2.871	10.17
2	8.5	5.	502.1	8.8	0.386	2.871	10.17
3	8.5	6.438	28.8	8.8	0.386	2.871	10.17
4	8.5	5.	850.0	8.8	0.386	2.871	10.17
5	8.5	6.75	6.1	8.8	0.386	2.871	10.17
6	8.5	6.75	23.1	8.8	0.386	2.871	10.17
7	8.5	6.75	15.6	8.8	0.386	2.871	10.17
8	8.5	6.75	27.3	8.8	0.386	2.871	10.17
9	8.5	6.375	12.0	8.8	0.386	2.871	10.17
10	8.5	6.75	6.1	8.8	0.386	2.871	10.17
11	8.5	6.75	3.0	8.8	0.386	2.871	10.17
12	8.5	6.75	26.0	8.8	0.386	2.871	10.17

### **Fluid Properties**

Viscoelastico Water

Den 8.8 lb/gal @ 140 F

RPM Dial

600 51

300 41

200 37

100 31

6 17

3 15

PV 10.0 cP  
YP 31.0 lb/100ft<sup>2</sup>  
n .386 ()  
k 2.871 lb/100ft<sup>2</sup> s<sup>n</sup>  
Tau0 10.17 lb/100ft<sup>2</sup>

Gels Gel Strength  
10 s 15  
10 min 27  
30 min 31

**Annular Hydraulics: Herschel-Bulkley**

Total annular loss = **221.61 psi**

**Flow Rate = 600.00 gal/min**

Sect	OD	ID	Len	Depth	QC	dP
	in	in	ft	ft	gal/min	psi
1	8.835	5.000	4800.0	4800.0	1176.1	<b>L 155.9</b>
2	8.500	5.000	502.1	5302.1	1062.9	<b>L 18.9</b>
3	8.500	6.438	28.8	5330.9	754.2	<b>L 2.4</b>
4	8.500	5.000	850.0	6180.9	1062.9	<b>L 31.9</b>
5	8.500	6.750	6.1	6187.0	672.1	<b>L .7</b>
6	8.500	6.750	23.1	6210.1	672.1	<b>L 2.5</b>
7	8.500	6.750	15.6	6225.7	672.1	<b>L 1.7</b>
8	8.500	6.750	27.3	6253.0	672.1	<b>L 2.9</b>
9	8.500	6.375	12.0	6265.0	770.2	<b>L 1.0</b>
10	8.500	6.750	6.1	6271.1	672.1	<b>L .7</b>
11	8.500	6.750	3.0	6274.1	672.1	<b>L .3</b>
12	8.500	6.750	26.0	6300.1	672.1	<b>L 2.8</b>

ECD with cuttings loading of 3%

Sect ECD dP TVD  
lb/gal psi

1	<b>9.937</b>	155.924000.0
2	<b>10.027</b>	174.794000.0
3	<b>10.039</b>	177.194000.0
4	<b>10.192</b>	209.134000.0
5	<b>10.196</b>	209.794000.0
6	<b>10.207</b>	212.274000.0
7	<b>10.216</b>	213.954000.0
8	<b>10.230</b>	216.884000.0
9	<b>10.234</b>	217.844000.0
10	<b>10.237</b>	218.494000.0
11	<b>10.239</b>	218.824000.0
12	<b>10.239</b>	218.824000.0

Sect	SlipV		Part V		Interval Tport		Tport Ratio		Gen CCI	ApV cP
	ft/min	Moore Chien	ft/min	Moore Chien	min	Moore Chien	%	Moore Chien		
1	24.77	35.23	252.42	241.96	19.02	19.84	<b>91.1</b>	<b>87.3</b>	.63	103.2
2	26.06	37.17	285.20	274.09	1.76	1.83	<b>91.6</b>	<b>88.1</b>	.61	88.5
3	32.79	43.93	444.67	433.54	.06	.07	<b>93.1</b>	<b>90.8</b>	.47	44.4
4	26.06	37.17	285.20	274.09	2.98	3.10	<b>91.6</b>	<b>88.1</b>	.61	88.5
5	35.24	45.42	515.84	505.66	.01	.01	<b>93.6</b>	<b>91.8</b>	.43	35.8
6	35.24	45.42	515.84	505.66	.04	.05	<b>93.6</b>	<b>91.8</b>	.43	35.8
7	35.24	45.42	515.84	505.66	.03	.03	<b>93.6</b>	<b>91.8</b>	.43	35.8
8	35.24	45.42	515.84	505.66	.05	.05	<b>93.6</b>	<b>91.8</b>	.43	35.8
9	32.36	43.62	432.91	421.65	.03	.03	<b>93.0</b>	<b>90.6</b>	.47	46.2
10	35.24	45.42	515.84	505.66	.01	.01	<b>93.6</b>	<b>91.8</b>	.43	35.8
11	35.24	45.42	515.84	505.66	.01	.01	<b>93.6</b>	<b>91.8</b>	.43	35.8
12	35.24	45.42	515.84	505.66	.05	.05	<b>93.6</b>	<b>91.8</b>	.43	35.8

### **Bit Hydraulics**

Qty	Size	ID	Area
3	20/32	0.625	0.9204

Flow rate = **600. gal/min**

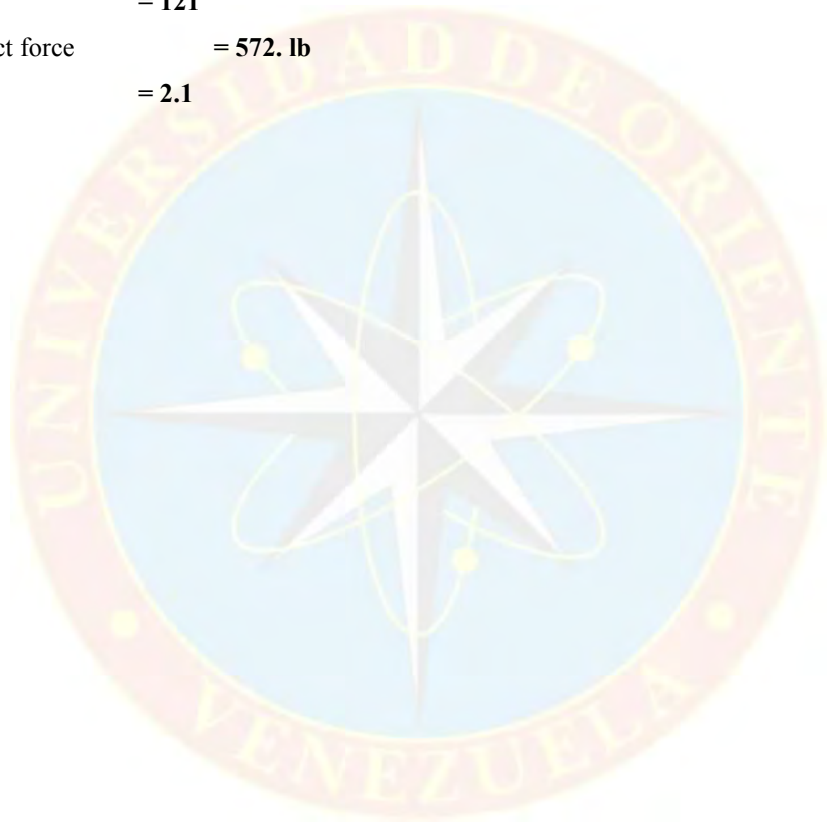
TFA = **.9200 in<sup>2</sup>**

Pressure Prop = **344.7 psi**

HHP = **121**

Jet impact force = **572. lb**

HSI = **2.1**





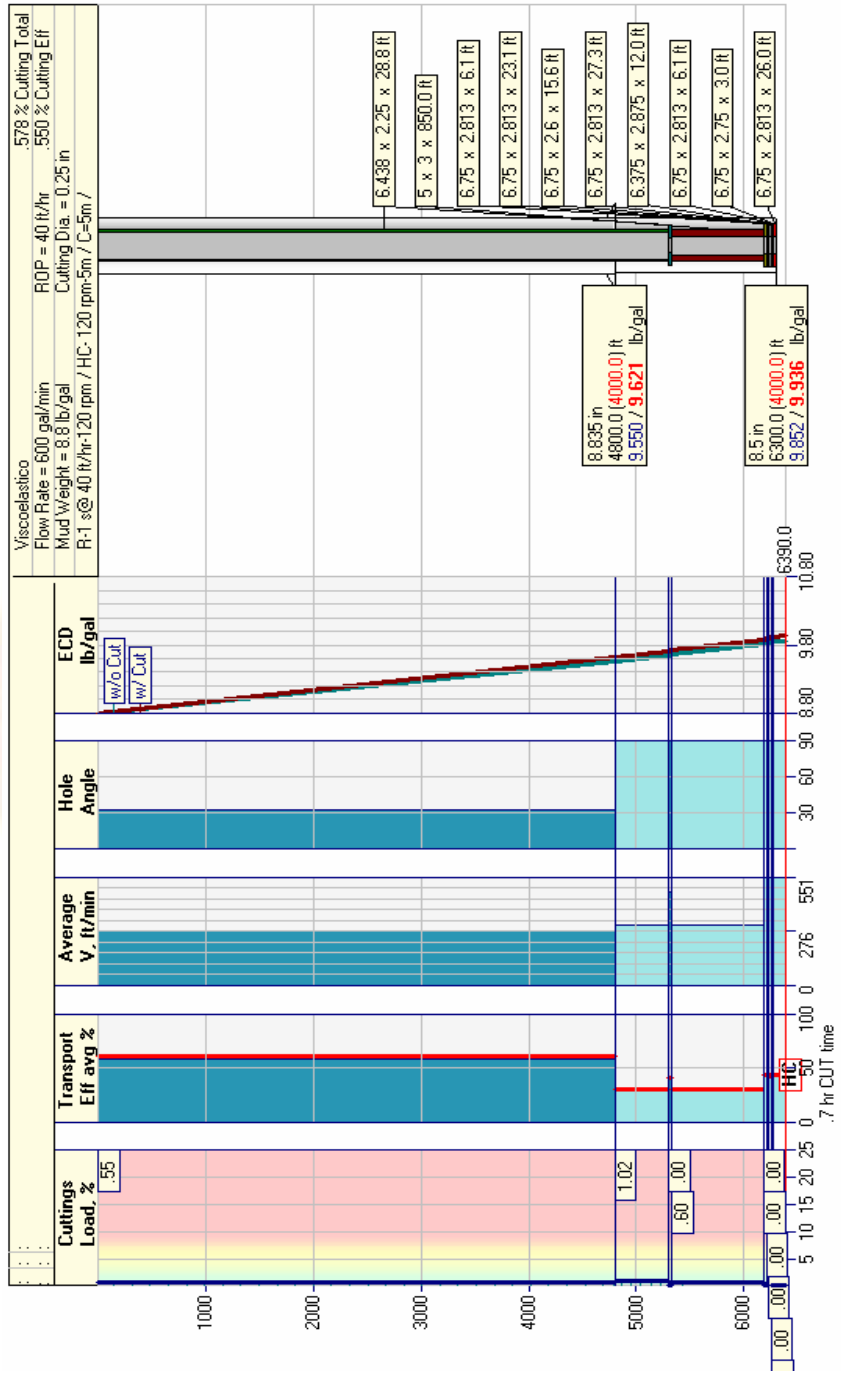


Figura D.4 resultados corrida para la formulación B3

# Corrida # 5

## Hole Geometry

Hole ID	Depth	TVD	Description
in	ft	ft	
8.835	4800	4000	CSNG 9 5/8
8.5	6300	4000	Open hole

## Pipe Geometry

OD	ID	Length	TJ Dia	TJ ID	Length	TJ Len	Description
in	in	ft	in	in	ft	in	
5	4.276	5302.1					Drill pipe
6.438	2.25	28.76					JAR
5	3	850					HWDP
6.75	2.813	6.1					Stab String
6.75	2.813	23.11					Drill collar
6.75	2.6	15.59					Other
6.75	2.813	27.26					System directional
6.375	2.875	12					Other
6.75	2.813	6.09					Stab - NB
6.75	2.75	3.04					float sub
6.75	2.813	25.95					Motor

## Section Density and Rheological Properties

### **Drill String**

Sect	OD	ID	Length	Density	n	k	Tau0
	in	in	ft	lb/gal ( )	lb/100ft	lb/100ft <sup>2</sup>	lb/100ft <sup>2</sup>
					<sup>2</sup> s <sup>n</sup>		
1	5	4.276	5302.18.8	0.414	2.591	7.51	
2	6.438	2.25	28.8 8.8	0.414	2.591	7.51	
3	5	3	850.0 8.8	0.414	2.591	7.51	

4	6.75	2.813	6.1	8.8	0.414	2.591	7.51
5	6.75	2.813	23.1	8.8	0.414	2.591	7.51
6	6.75	2.6	15.6	8.8	0.414	2.591	7.51
7	6.75	2.813	27.3	8.8	0.414	2.591	7.51
8	6.375	2.875	12.0	8.8	0.414	2.591	7.51
9	6.75	2.813	6.1	8.8	0.414	2.591	7.51
10	6.75	2.75	3.0	8.8	0.414	2.591	7.51
11	6.75	2.813	26.0	8.8	0.414	2.591	7.51

### Annular Sections

Sect	ID	OD	Length	Density	n	k	Tau0
1	8.835	5.	4800.0	8.8	0.414	2.591	7.51
2	8.5	5.	502.1	8.8	0.414	2.591	7.51
3	8.5	6.438	28.8	8.8	0.414	2.591	7.51
4	8.5	5.	850.0	8.8	0.414	2.591	7.51
5	8.5	6.75	6.1	8.8	0.414	2.591	7.51
6	8.5	6.75	23.1	8.8	0.414	2.591	7.51
7	8.5	6.75	15.6	8.8	0.414	2.591	7.51
8	8.5	6.75	27.3	8.8	0.414	2.591	7.51
9	8.5	6.375	12.0	8.8	0.414	2.591	7.51
10	8.5	6.75	6.1	8.8	0.414	2.591	7.51
11	8.5	6.75	3.0	8.8	0.414	2.591	7.51
12	8.5	6.75	26.0	8.8	0.414	2.591	7.51

### Fluid Properties

Viscoelastico Water

Den 8.8 lb/gal @ 140 F

RPM Dial

600 52

300 41

200 35

100 29  
 6 15  
 3 13

PV 11.0 cP  
 YP 30.0 lb/100ft<sup>2</sup>  
 n .414 ()  
 k 2.691 lb/100ft<sup>2</sup> s<sup>n</sup>  
 Tau0 9.89 lb/100ft<sup>2</sup>

Gels Gel Strength  
 10 s 15  
 10 min 28  
 30 min 31

**Annular Hydraulics: Herschel-Bulkley**

Total annular loss = **210.05 psi**

**Flow Rate = 600.00 gal/min**

Sect	OD in	ID in	Len ft	Depth ft	QC gal/min	dP psi
1	8.835	5.000	4800.0	4800.0	1143.1	<b>L 146.8</b>
2	8.500	5.000	502.1	5302.1	1035.5	<b>L 17.9</b>
3	8.500	6.438	28.8	5330.9	747.0	<b>L 2.4</b>
4	8.500	5.000	850.0	6180.9	1035.5	<b>L 30.4</b>
5	8.500	6.750	6.1	6187.0	668.9	<b>L .7</b>
6	8.500	6.750	23.1	6210.1	668.9	<b>L 2.5</b>
7	8.500	6.750	15.6	6225.7	668.9	<b>L 1.7</b>
8	8.500	6.750	27.3	6253.0	668.9	<b>L 3.0</b>
9	8.500	6.375	12.0	6265.0	762.2	<b>L .9</b>
10	8.500	6.750	6.1	6271.1	668.9	<b>L .7</b>
11	8.500	6.750	3.0	6274.1	668.9	<b>L .3</b>
12	8.500	6.750	26.0	6300.1	668.9	<b>L 2.8</b>

ECD with cuttings loading of 3%

Sect ECD dP TVD  
lb/gal psi

1	<b>9.893</b>	146.824000.0
2	<b>9.979</b>	164.764000.0
3	<b>9.990</b>	167.144000.0
4	<b>10.136</b>	197.504000.0
5	<b>10.140</b>	198.174000.0
6	<b>10.152</b>	200.674000.0
7	<b>10.160</b>	202.364000.0
8	<b>10.174</b>	205.314000.0
9	<b>10.179</b>	206.254000.0
10	<b>10.182</b>	206.914000.0
11	<b>10.183</b>	207.244000.0
12	<b>10.183</b>	207.244000.0

Sect	SlipV		Part V		Interval Tport		Tport Ratio		Gen CCI	ApV cP
	ft/min	Moore Chien	ft/min	Moore Chien	min	Moore Chien	%	Moore Chien		
1	25.27	36.01	251.92	241.18	19.05	19.90	<b>90.9</b>	<b>87.0</b>	.59	97.1
2	26.50	37.78	284.75	273.48	1.76	1.84	<b>91.5</b>	<b>87.9</b>	.58	84.2
3	32.87	43.98	444.60	433.49	.06	.07	<b>93.1</b>	<b>90.8</b>	.46	44.1
4	26.50	37.78	284.75	273.48	2.99	3.11	<b>91.5</b>	<b>87.9</b>	.58	84.2
5	35.16	45.38	515.92	505.70	.01	.01	<b>93.6</b>	<b>91.8</b>	.44	36.0
6	35.16	45.38	515.92	505.70	.04	.05	<b>93.6</b>	<b>91.8</b>	.44	36.0
7	35.16	45.38	515.92	505.70	.03	.03	<b>93.6</b>	<b>91.8</b>	.44	36.0
8	35.16	45.38	515.92	505.70	.05	.05	<b>93.6</b>	<b>91.8</b>	.44	36.0
9	32.46	43.70	432.81	421.57	.03	.03	<b>93.0</b>	<b>90.6</b>	.47	45.8
10	35.16	45.38	515.92	505.70	.01	.01	<b>93.6</b>	<b>91.8</b>	.44	36.0
11	35.16	45.38	515.92	505.70	.01	.01	<b>93.6</b>	<b>91.8</b>	.44	36.0
12	35.16	45.38	515.92	505.70	.05	.05	<b>93.6</b>	<b>91.8</b>	.44	36.0

### **Bit Hydraulics**

Qty	Size	ID	Area
3	20/32	0.625	0.9204

Flow rate = **600. gal/min**

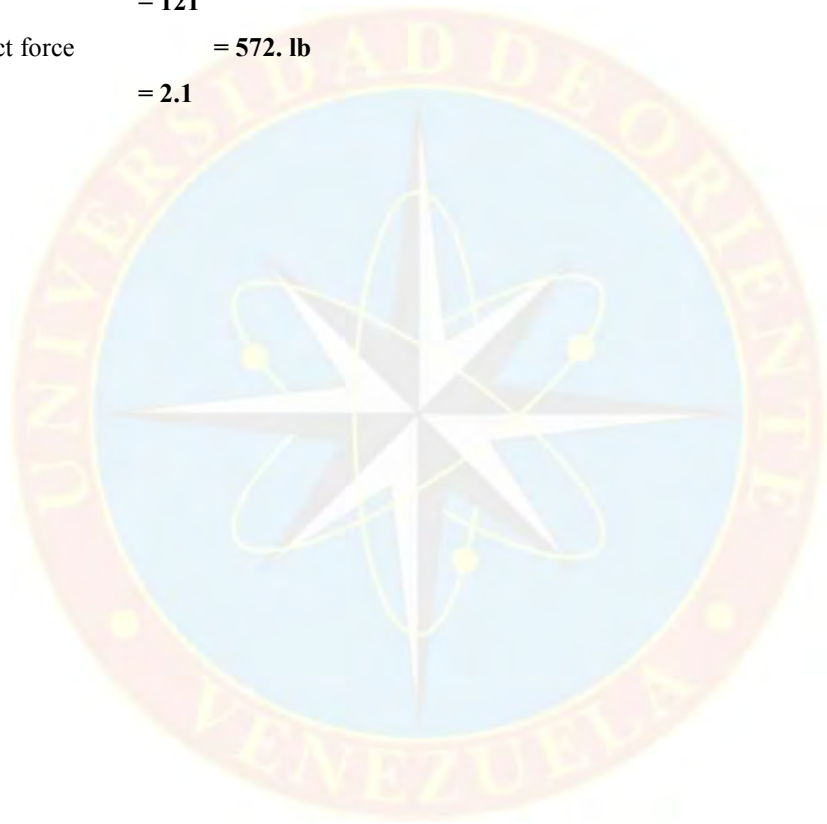
TFA = **.9200 in<sup>2</sup>**

Pressure Prop = **344.7 psi**

HHP = **121**

Jet impact force = **572. lb**

HSI = **2.1**



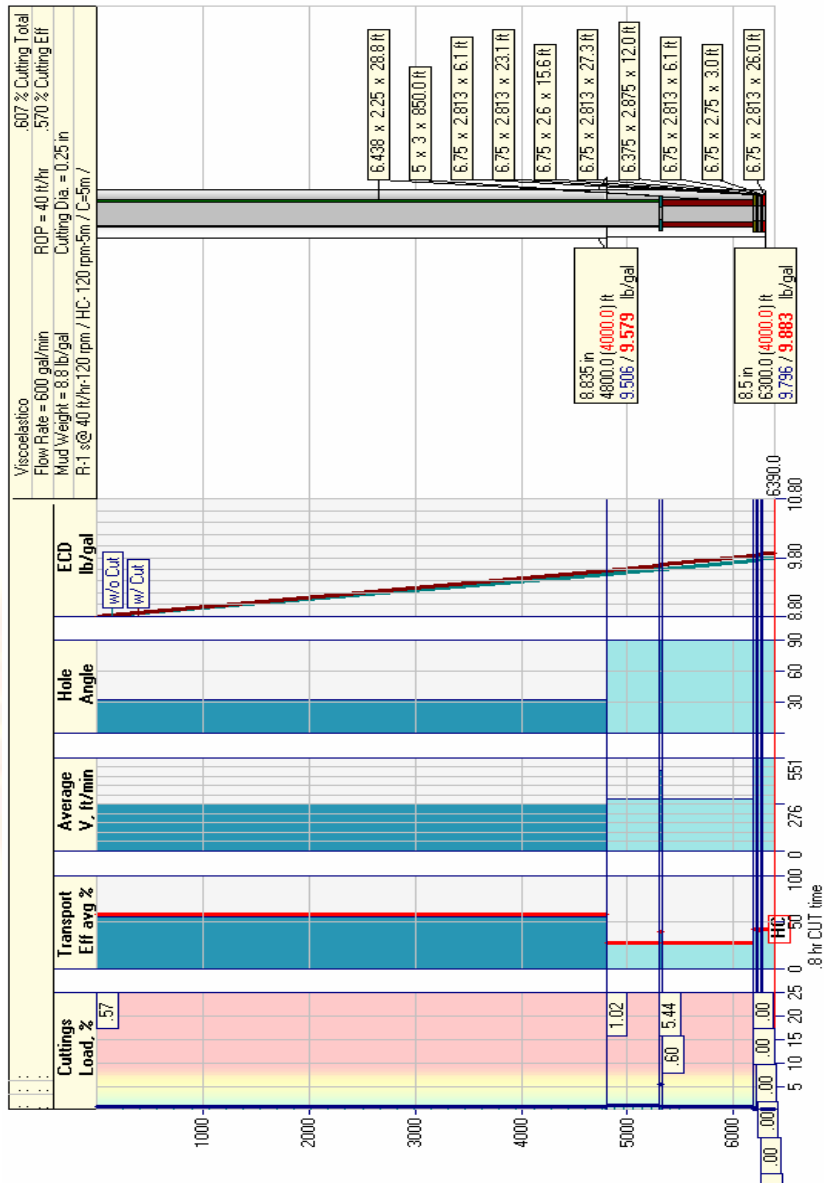


Figura D.5 resultados corrida para la formulación C3

## HOJA DE METADATOS

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

Título	<b>FORMULACIÓN DE UN FLUIDO VISCOELÁSTICO PARA LA PERFORACIÓN DE LA SECCIÓN HORIZONTAL CON APLICACIÓN EN LOS CAMPOS BARE Y MELONES DEL DISTRITO SAN TOMÉ</b>
Subtítulo	

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

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
<b>Ángel Jesús Malaver Malaver</b>	CVLAC	<b>C.I.: 17.405.392</b>
	e-mail	<b>angelmalaver86@gmail.com</b>
	e-mail	

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

### Palabras o frases claves:

Fluido viscoelástico
Contaminación con cemento
Modelo reológico
Rentabilidad

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



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

### Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Sub-área
Tecnología Ciencias Aplicadas	Petróleo

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

### RESUMEN (ABSTRACT):

El presente trabajo tuvo como objetivo principal, la formulación de un fluido viscoelástico para la perforación de la sección horizontal con aplicación en los campos Bare y Melones del Distrito San Tomé. Para ello, inicialmente se formularon fluidos viscoelásticos utilizando distintas concentraciones de gomas xánticas y almidones modificados a los cuales se les realizaron pruebas de reología, filtrado API y viscosidad Brookfield. Posteriormente se evaluó la máxima concentración de cemento que se pueden añadir a los diferentes fluidos viscoelásticos formulados sin producir cambios en su reología y control de filtrado que impidan su uso en las operaciones de perforación. Luego se determinó el modelo reológico que describa mejor las características de flujo de los fluidos viscoelásticos formulados con distintas concentraciones de gomas xánticas y almidones modificados. Finalmente se realizó la evaluación económica de las formulaciones de los fluidos viscoelásticos con distintas concentraciones de goma xántica y almidones modificados, para determinar la rentabilidad de aplicar los resultados obtenidos en este trabajo; concluyéndose que al comparar entre los cinco sistemas de fluidos viscoelásticos basándose en las propiedades reológicas y de filtrado API dio como resultado que la formulación B1 tuvo el mejor comportamiento. Se observó que una vez que el fluido viscoelástico es contaminado con cemento pierde sus propiedades afectando la reología y el filtrado; para contrarrestar esta contaminación se aplicó un tratamiento con ácido cítrico, bicarbonato de calcio, goma xántica y almidón para ajustar las propiedades y se determinó que el mejor modelo reológico que se ajusta al comportamiento real de los fluidos viscoelásticos es el modelo combinado de Herschel-Bulkley

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

### Contribuidores:

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Castillo Luis	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input checked="" type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I: 13.773.520
	e-mail	@
	e-mail	
Tabernero Daniel	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I: 13.886.067
	e-mail	@
	e-mail	
Otahola Jesús	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I: 14.940.176
	e-mail	@
	e-mail	

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

### Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2011	11	10

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):**

<b>Nombre de archivo</b>
<b>ÁNGEL MALAVER.DOCX</b>

Alcance:

Espacial: \_\_\_\_\_ (opcional)

Temporal: \_\_\_\_\_ (opcional)

**Título o Grado asociado con el trabajo:**

Ingeniero de Petróleo

---

**Nivel Asociado con el trabajo:** Ingeniería

---

**Área de Estudio:**

Tecnología Ciencias Aplicadas

---

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

Universidad de Oriente Núcleo Monagas

---

---

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



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
CONSEJO UNIVERSITARIO  
RECTORADO

CU N° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

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

Estimado Profesor Martínez:

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

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



Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

JUAN A. BOLANOS CUNVELO  
Secretario



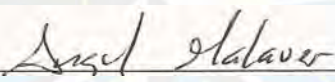
C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación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

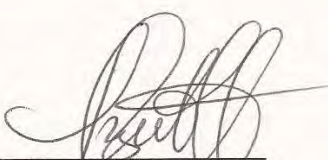
JABC/YGC/manuja

**Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 6/6**  
**Derechos:**

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicado CU-034-2009): “Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad, y 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.”



  
Ángel Jesús Malaver Malaver  
AUTOR

  
MSc. Luis Castillo  
TUTOR