

DISEÑO A NIVEL DE LABORATORIO DE UN ESPACIADOR CON BASE EN
UNA RESINA POLIMÉRICA PARA EL CONTROL DE GAS EN LOS
PROCESOS DE CEMENTACIÓN PARA LA SECCIÓN DEL LINER DE 7”
EN EL CAMPO CHUIRA

SERGIO ANDRÉS MUTIS PEÑA
NATALIA LUCÍA ROPERO CETINA

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BOGOTÁ, D. C.
2017

DISEÑO A NIVEL DE LABORATORIO DE UN ESPACIADOR CON BASE EN
UNA RESINA POLIMÉRICA PARA EL CONTROL DE GAS EN LOS PROCESOS
DE CEMENTACIÓN PARA LA SECCIÓN DEL LINER DE 7" EN EL CAMPO
CHUIRA

SERGIO ANDRÉS MUTIS PEÑA
NATALIA LUCÍA ROPERO CETINA

Proyecto integral de grado para obtener el título de:
INGENIERÍA DE PETROLEOS

Director:
Alberto Mario Salazar Reslen
Ingeniero de Petróleos

Codirector:
Gustavo Adolfo Urbina Gutiérrez
Lab Engineer.

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BOGOTÁ, D. C.
2017

Nota de aceptación

Ing. Alejandro Contreras Garzon
Presidente de jurados

Ivan Eduardo Peñaloza Cristancho
Jurado 1

Alexander López Castro
Jurado 2

Bogotá D.C. mayo de 2017

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro.

Dr. JAIME POSADA DÍAZ

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos.

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Posgrados.

Ing. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Secretario General.

Dr. JUAN CARLOS POSADA GARCÍA-PEÑA

Decano de Facultad.

Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director del Programa Ingeniería de Petróleos.

Dr. EDGAR DAVID CEDEÑO LIGARRETO

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

A Dios por haberme dado cuatro guardianes en este camino, aunque hoy uno de ellos este acompañándome a su lado; el hombre de hoy es el resultado de lo que cada uno le enseñó al niño de ayer.

Sergio Andres Mutis Peña

Le doy gracias a Dios por permitirme disfrutar de este proceso de aprendizaje, a mis padres Rosa Cetina y Yebrail Roperero por estar para mí siempre y apoyarme cada día, a mi hermana Danna, mis amigos y toda la familia que ha sido un apoyo fundamental durante toda la carrera, a mi compañero de tesis, a Gustavo Urbina y Tucker Energy Services S.A.

Natalia Lucía Roperero Cetina

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos:

Agradecemos a Tucker Energy Services S.A., por permitir realizar este proyecto.

A nuestro director del proyecto Ing. Alberto Mario Salazar Reslen y a nuestro Codirector Ing. Gustavo Adolfo Urbina Gutiérrez, por su apoyo incondicional, tiempo y dedicación.

A la Universidad América por los asesores.

Agradecer a nuestras respectivas familias y amigos porque nos acompañaron con su amor y apoyo a lo largo del proyecto.

CONTENIDO

	pág
INTRODUCCIÓN	31
OBJETIVOS	32
1. GENERALIDADES DEL CAMPO CHUIRA	33
1.1 HISTORIA DEL CAMPO	33
1.2 LOCALIZACIÓN	33
1.3 ESTRATIGRAFÍA	37
1.3.1 Formación Tambor	37
1.3.2 Formación Los Santos	37
1.3.3 Formación Rosablanca	37
1.3.4 Formación Paja	37
1.3.5 Formación Tablazo	38
1.3.6 Formación Simití	38
1.3.7 Formación Salto	38
1.3.8 Formación La Luna	38
1.3.9 Formación Umir	38
1.3.10 Formación Lisama	39
1.3.11 Formación La Paz	39
1.3.12 Formación Esmeraldas	39
1.3.13 Formación Mugrosa	40
1.3.14 Formación Colorado	40
1.3.15 Grupo Real	40
1.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	40
1.5 GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO	41
1.5.1 Roca Generadora	41
1.5.2 Roca Reservorio	41
1.5.3 Migración	41
1.5.4 Roca Sello	41
1.5.5 Trampas	42

1.6 HISTORIA DE LA PRODUCCIÓN DEL CAMPO	42
1.6.1 Método de producción	42
1.6.2 Tiempo de producción	43
1.6.3 Número de pozos	43
1.6.4 Gráficas de producción acumulada	43
2. GENERALIDADES DE LOS CEMENTOS Y LOS ESPACIADORES	45
2.1 CEMENTO	45
2.1.2 Principales compuestos del cemento y sus funciones.	46
2.1.2.1 Silicato Tricíclico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)	46
2.1.2.2 Silicato dicálcico ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)	46
2.1.2.3 Aluminato Tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$)	46
2.1.3 Clasificación del cemento según API	46
2.1.3.1 Cemento clase A	46
2.1.3.2 Cemento clase B	47
2.1.3.3 Cemento clase C	47
2.1.3.4 Cemento clase D	47
2.1.3.6 Cemento clase F.	48
2.1.3.6 Cemento clase G y H	48
2.2 CEMENTACIÓN	48
2.2.1 Cementación primaria	49
2.2.2 Cementación Secundaria	51
2.2.2.1 Tapón de cemento	52
2.2.2.2 Cementación forzada	52
2.3 MIGRACIÓN DE GAS EN LA CEMENTACIÓN	53
2.3.1 Factores que afectan la migración de gas	54
2.4 ESPACIADORES	58
2.4.1 Principales compuestos de los Espaciadores	58
2.4.2 Funciones de un espaciador	60
2.4.3 Clasificación de los espaciadores	61
2.5 LAVADORES QUÍMICOS	62

2.6 POLÍMEROS	63
2.6.1 Clasificación de los polímeros	63
2.6.1.1 Termoplásticos	63
2.6.1.2 Termoestables	63
2.6.1.3 Elastómeros	64
2.6.2 Polimerización	65
2.6.3 Resinas poliméricas	67
3. PARÁMETROS TÉCNICOS DEL DISEÑO DE UN ESPACIADOR	70
3.1 TIPO DE ESPACIADOR	70
3.2 VOLUMEN DE ESPACIADOR	72
3.3 DENSIDAD DEL ESPACIADOR	72
3.4 PRESIÓN	73
3.5 TEMPERATURA	73
3.5.1 Temperatura de Fondo	73
3.5.2 Temperatura circulante	73
3.5.3 Temperatura Estática	74
3.6 CONDICIONES DE DISEÑO DE UN ESPACIADOR CON PROPIEDADES PARA CONTROL DE GAS	75
4. ELABORACIÓN DEL PLAN DE PRUEBAS DE LABORATORIO CON BASE A LAS NORMAS API 10 A Y 10 B Y VARIACIÓN DE ADITIVOS SEGÚN LAS CONCENTRACIONES DE APLICABILIDAD.	80
4.1 ESPACIADOR RESINA POLIMÉRICA	77
4.2 CONCENTRACIONES DE APLICABILIDAD	78
4.3 ADITIVOS VARIABLES Y FIJOS	79
4.3.1 Aditivos variables	79
4.3.1.1 Ultra Set Initiator	79
4.3.1.2 Ultra Set Stabilizer	80
4.3.2 Aditivos fijos	81
4.3.2.1 Ultra Set Suspension Agent	82
4.3.2.2 Ultra Set Ras	82

4.3.2.3 Barita	83
4.4 VARIACIÓN DE ADITIVOS PARA LOS DISEÑOS DE ESPACIADORES	84
4.4.1 Diseño de espaciadores	85
4.5 PLAN DE PRUEBAS	85
4.5.1 Densidad	86
4.5.1.1 Descripción del equipo	86
4.5.1.2 Método de calibración	87
4.5.1.3 Procedimiento	87
4.5.2 Tiempo de bombeabilidad	88
4.5.2.1 Descripción del equipo	88
4.5.2.2 Procedimiento	89
4.5.3 Reología	91
4.5.3.1 Descripción del equipo	91
4.5.3.2 Procedimiento	92
4.5.4 Fuerza de geles	93
4.5.4.1 Descripción del equipo	93
4.5.4.2 Procedimiento	94
4.5.5 Resistencia a la compresión no destructiva	96
5. DISEÑO DE UN ESPACIADOR AJUSTADO A LAS CONDICIONES DEL POZO DE CORRELACIÓN	98
5.1 INFORMACIÓN DE POZO DE REFERENCIA DE EL CAMPO CHUIRA	98
5.1.1 Información del pozo de referencia	98
5.1.2 Cálculo de volumen de espaciador	101
5.2 CONDICIONES PARA EL DISEÑO DE ESPACIADOR PARA CONTROL DE GAS	103
5.3 CONCENTRACIÓN DE ADITIVOS QUÍMICOS ESPECIALES PARA CADA DISEÑO	103
5.3.1 Espaciador especial 1	103
5.3.2 Espaciador especial 2	104
5.3.3 Espaciador especial 3	104
5.3.4 Espaciador especial 4	105

6. EVALUAR EL DISEÑO DEL ESPACIADOR CON BASE EN UNA RESINA POLIMÉRICA MEDIANTE PRUEBAS DE LABORATORIO	107
6.1 Determinación de densidad	107
6.1.1 Análisis de resultados	107
6.2 Determinación del tiempo de bombeabilidad.	107
6.2.2 Análisis de resultados	108
6.3 Determinación de reología	109
6.3.1 Análisis de resultados	111
6.4 Determinación de fuerza de geles	111
6.4.1 Análisis de resultados	112
6.5 Determinación de la resistencia a la compresión no destructiva.	112
6.5.1 Análisis de resultados	113
7. MATRIZ COMPARATIVA PARA LA SELECCIÓN DEL ESPACIADOR QUE SE ADECUA A LOS PARÁMETROS TÉCNICOS REQUERIDOS POR EL CAMPO CHUIRA.	114
8. ANALISIS FINANCIERO	119
8.1. COSTOS DE INVERSIÓN (CAPEX)	120
8.1.1 Escenario actual	121
8.1.2 Escenario Propuesto	123
8.2 COSTOS DE OPERACIÓN (OPEX)	124
8.2.1 Producción Pozo de Correlación	124
8.2.2. Costos de levantamiento de petróleo	126
8.2.2.1 Escenario Actual	126
8.2.2.2 Escenario Propuesto	126
8.3 ANÁLISIS DE INGRESOS	127
8.3.1 Regalías	127
8.3.1.1 Escenario Actual	127
8.3.1.2 Escenario Propuesto	127
8.3.2 Precio crudo de referencia	128
8.3.3 Precio de venta.	128

8.3.4 Ingresos Netos	129
8.3.4.1 Escenario actual	129
8.3.4.2 Escenario Propuesto	129
8.4 EVALUACIÓN FINANCIERA	129
8.4.1 Relación beneficio costo	129
8.4.2 Valor presente	130
8.4.3 Flujos de caja	130
8.4.3.1 Escenario Actual.	131
8.4.3.2 Escenario Propuesto.	133
9. CONCLUSIONES	136
10. RECOMENDACIONES	137
BIBLIOGRAFÍA	138
ANEXOS	142

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Localización Campo Chuirá, Cuenca Valle Medio del Magdalena, Colombia	35
Figura 2. Columna estratigráfica de la Cuenca Valle Medio del Magdalena	36
Figura 3. Producción anual acumulada de petróleo del Campo Chuirá	43
Figura 4. Producción de Gas del Campo Chuirá	44
Figura 5. Cementación primaria	49
Figura 6. Estructura química de un polímero (Etileno)	65
Figura 7. Ultra Set Initiator	79
Figura 8. Ultra ser Stabilizer	81
Figura 9. Ultra Set Suspension Agent	82
Figura 10. Ultra Set RAS	83
Figura 11. Barita	84
Figura 12. Variación de los aditivos	84
Figura 13. Balanza electrónica y mezclador de muestra	86
Figura 14. Balanza presurizada	87
Figura 15. Consistómetro presurizado	89
Figura 16. Viscosímetro rotacional	92
Figura 17. Analizador estático de fuerza de geles	94
Figura 18. Plan de pruebas para los diseños de espaciadores	97
Figura 19. Estado mecánico del pozo de correlación	99
Figura 20. Estado mecánico pozo de correlación	120
Figura 21. Flujo de caja Escenario actual	131
Figura 22. Flujo de caja Escenario Propuesto	133
Figura 23. Proyección del precio WTI hasta el año 2020	189

LISTA DE CÁLCULOS

	pág.
Cálculo 1. Presión de fondo en el pozo Chuirá 1	100
Cálculo 2. Temperatura de fondo en el Pozo Chuirá 1	101
Cálculo 3. Temperatura circulante en el pozo Chuirá 1	101
Cálculo 4. Volumen total de espaciador de cemento para la sección del Liner de 7 pulgadas	102
Cálculo 5. Cantidad en gramos para el Ultra Set Initiator	103
Cálculo 6. Cantidad en gramos para el Ultra Set Stabilizer	104
Cálculo 7. Cantidad en gramos para el Ultra Set Initiator	104
Cálculo 8. Cantidad en gramos para el Ultra Set Stabilizer	104
Cálculo 9. Cantidad en gramos para el Ultra Set Initiator	105
Cálculo 10. Cantidad en gramos para el Ultra Set Stabilizer	105
Cálculo 11. Cantidad en gramos para el Ultra Set Initiator	105
Cálculo 12. Cantidad en gramos para el Ultra Set Stabilizer	106
Cálculo 13. Resultados de viscosidad plástica para los diseños de espaciadores	110
Cálculo 14. Resultados del punto cedente para los diseños de espaciadores	111
Cálculo 15. Cálculo VP ingresos Escenario Actual	132
Cálculo 16. Cálculo valor presente egresos Escenario Actual	132
Cálculo 17. Cálculo relación beneficio costo Escenario Actual	132
Cálculo 18. Cálculo VP ingresos Escenario Propuesto	134
Cálculo 19. Cálculo valor presente egresos Escenario Propuesto	134
Cálculo 20. Cálculo relación beneficio costo Escenario Propuesto	134
Cálculo 21. Diferencia relación beneficio costo entre escenarios	135
Cálculo 22. Porcentaje de ganancia extraordinaria	135

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Presión de fondo	100
Ecuación 2. Temperatura de Fondo	101
Ecuación 3. Cálculo para hallar el volumen anular en un pozo	102
Ecuación 4. Cálculo para hallar la viscosidad plástica	110
Ecuación 5. Cálculo para hallar punto cedente	110
Ecuación 6. Relación beneficio costo	129
Ecuación 7. Valor presente	130

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Factores responsables de la migración	57
Cuadro 2. Tipos de espaciador	71
Cuadro 3. Parámetros para el diseño de un espaciador	74
Cuadro 4. Procedimiento para la calibración de la balanza	87
Cuadro 5. Procedimiento para determinar la densidad del espaciador	88
Cuadro 6. Procedimiento para realizar la prueba de tiempo de bombeabilidad	90
Cuadro 7. Pasos para dar finalización a la prueba de tiempo de bombeabilidad	91
Cuadro 8. Procedimiento para realizar la prueba de reología	93
Cuadro 9. Procedimiento para finalización de la prueba de reología	93
Cuadro 10. Procedimiento para la prueba de fuerza de geles	95
Cuadro 11. Finalización de la prueba de fuerza de geles	95
Cuadro 12. Producción proyectada de crudo para el pozo de correlación	125

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Tabla de concentraciones establecidas por Tucker Energy Services S.A.	77
Tabla 2. Concentraciones de aplicabilidad de los aditivos	78
Tabla 3. Concentraciones de aditivos fijos	81
Tabla 4. Diseño de los espaciadores	85
Tabla 5. Datos de pozo y revestimiento	100
Tabla 6. Parámetros de diseño de espaciadores	103
Tabla 7. Cantidades de aditivo base y aditivos químicos especiales para cada diseño de espaciadores especiales (base de cálculo 700mL)	106
Tabla 8. Resultados de la prueba de tiempo de bombeabilidad para los diseños de espaciadores	108
Tabla 9. Resultados de la prueba de reología para los diseños de los espaciadores	109
Tabla 10. Resultados de la prueba de fuerza de geles para los diseños de espaciadores	112
Tabla 11. Resultados de la resistencia a la compresión no destructiva para los diseños de espaciadores	113
Tabla 12. Resultados de las pruebas de laboratorio realizadas a los diseños de espaciadores	116
Tabla 13. Matriz de selección	117
Tabla 14. Ponderación total de los diseños de espaciadores	117
Tabla 15. Diseño de espaciador 3 que cumple con los parámetros para el control de gas	118
Tabla 16. Costos para la Cementación del revestimiento de 7"	121
Tabla 17. Costos para Tapón de cemento	122
Tabla 18. Costos equipo perforación de nueva sección de 7"	122
Tabla 19. Costos totales de inversión escenario actual	123
Tabla 20. Costos cementación revestimiento con el espaciador propuesto	123
Tabla 21. Costos totales de inversión para el escenario propuesto	124
Tabla 22. Producción proyectada	126
Tabla 23. Costos de operación escenario actual	126
Tabla 24. Costos de producción escenario Propuesto	127
Tabla 25. Producción Neta escenario actual	127
Tabla 26. Producción Neta escenario propuesto	128
Tabla 27. Predicción del precio del barril	128
Tabla 28. Precio de Venta Final	128
Tabla 29. Ingresos escenario actual	129
Tabla 30. Ingresos Escenario propuesto	129

Tabla 31. Costos de Transporte Escenario Actual	186
Tabla 32. Costos Transporte Escenario propuesto	186
Tabla 33. Valor Ajuste por calidad	187
Tabla 34. Precio histórico WTI	188
Tabla 35. Precios WTI	190
Tabla 36. Predicción del precio del barril	191

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Hoja de seguridad Ultra Set Initiator	142
Anexo B. Hoja de seguridad Ultra Set Ras	149
Anexo C. Hoja de seguridad Ultra Set Stabilizer	155
Anexo D. Hoja de seguridad Agente de suspensión	161
Anexo E. Hoja de seguridad Barita	166
Anexo F. Gráfica tiempo de bombeabilidad diseño de espaciador 1	170
Anexo G. Gráfica tiempo de bombeabilidad diseño de espaciador 2	171
Anexo H. Gráfica tiempo de bombeabilidad diseño de espaciador 3	172
Anexo I. Gráfica tiempo de bombeabilidad diseño de espaciador 4	173
Anexo J. Gráfica de fuerza de geles diseño de espaciador	174
Anexo K. Gráfica de fuerza de geles diseño de espaciador 2	175
Anexo L. Gráfica de fuerza de geles diseño de espaciador 3	176
Anexo M. Gráfica de fuerza de geles diseño de espaciador 4	177
Anexo N. Gráfica compresión no destructiva diseño espaciador 1	178
Anexo O. Gráfica compresión no destructiva diseño espaciador 2	179
Anexo P. Gráfica compresión no destructiva diseño espaciador 3	180
Anexo Q. Gráfica compresión no destructiva diseño espaciador 4	181
Anexo R. Informe laboratorio diseño espaciador 1	182
Anexo S. Informe laboratorio diseño espaciador 2	183
Anexo T. Informe laboratorio diseño espaciador 3	184
Anexo U. Informe laboratorio diseño espaciador 4	185
Anexo V. Costos para el transporte y ajuste de calidad	186
Anexo W. Precio de Venta del Crudo	188

ABREVIATURAS

"	Pulgadas
%	Porcentaje
°	Grados
°C	Grados Centígrados
°F	Grados Fahrenheit
API	American Petroleum Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
Bc	Grados Bearden
BHCT	Bottomhole Circulating Temperature
BHP	Bottomhole Pressure
BHST	Bottomhole Static Temperature
BL	Barriles
Bop	Barriles de aceite producidos
cP	Centipoise.
ECD	Equivalent Circulating Density
Ft	Pies
g	Gramos
Gal	Galon
Km ²	Kilómetros cuadrados
Lb	Libras
m	Metros
mD	Milidarcy
MD	Messure Depth
mm	Milímetros
MPCMC	Millones de pies cúbicos mes calendario
plg	Pulgadas
Ppg	Pound pear galon
PV	Viscosidad Plástica
sx	Saco
TOC	Total Organic Carbon
TVD	True Vertical Depth
YNF	Yacimiento Naturalmente Fracturado
Yp	Punto Cedente

GLOSARIO

ALBIANO: corresponde a la última edad de la época Cretácea Inferior, del Periodo Cretáceo de la era Mesozoica del éon Fanerozoico que está comprendida aproximadamente los 113 millones de años.

AMBIENTE DE DEPOSITACIÓN: área en la que bajo condiciones físicas se depositan sedimentos, en donde tiene lugar los procesos depositacionales por acción de viento, agua o hielo; los ambientes se diferencian de acuerdo a su localización y clima tal como un desierto, pantano o río.

ANÓXICO: ambiente sedimentario en donde el oxígeno que se encuentra libre es escaso o inexistente.

ANTICLINAL: pliegue en forma de arco presente en las rocas, donde las capas son convexas y hacia arriba. En el núcleo se encuentran las rocas más antiguas, posteriormente se disponen las rocas más modernas.

APTIANO: corresponde a la penúltima edad de la época Cretácea Inferior, del Periodo Cretáceo de la era Mesozoica del éon Fanerozoico que está comprendida aproximadamente 125 millones de años.

ARENA: un grano detrítico cuyo diámetro oscila entre 0.0625 mm y 2 mm, la arena es más gruesa que el limo, pero más fina que un gránulo de acuerdo con la escala de Udden- Wentworth.

ARENISCA: roca sedimentaria de origen detrítico. En su composición predomina los granos de cuarzo de forma angular a redondeada unidos por un aglutinante ya sea cemento, mineral o arcilla de color variable; igualmente puede comprender minerales como el feldespato y minerales ricos en hierro. El tamaño de grano oscila entre 0.0625 mm y 2 mm.

BAQUELITA: resina sintética cuyo nombre rinde tributo a su descubridor; es un plástico sintético creado por Baekelan en 1907 y considerada la primera resina plástica absolutamente sintética y considerada como un polímero termoestable.

BARREMANIANO: corresponde a la cuarta edad de la época Cretácea Inferior, del Periodo Cretáceo de la era Mesozoica del éon Fanerozoico que está comprendida aproximadamente 129 millones de años

BASAMENTO: rocas ígneas o metamórficas deformadas, más antiguas; las cuales no desarrollan las características necesarias para actuar como un yacimiento de hidrocarburos.

BERRIASIANO: corresponde a la primera edad de la época Cretácea Inferior, del Periodo Cretáceo de la era Mesozoica del éon Fanerozoico que está comprendida aproximadamente 145 millones de años.

CALIZA OOLÍTICA: roca sedimentaria, órgano-química, que presenta grupos granulares esféricos menores de 2 mm de diámetro originados por precipitación de carbonato cálcico.

CALIZA: roca sedimentaria carbonatada compuesta predominantemente de calcita de origen orgánico, químico o detrítico. Existen cantidades secundarias de dolomía, flanita y arcilla en las calizas.

CAMPANIANO: corresponde a la penúltima edad de la época Cretácea superior, del Periodo Cretáceo de la era Mesozoica del éon Fanerozoico que está comprendida aproximadamente entre los 83 a los 72 millones de años.

CAMPO: acumulación o grupo de acumulaciones de petróleo en el subsuelo. Un campo de petróleo está formado por un yacimiento con una forma adecuada para el entrapamiento de hidrocarburos, que se encuentra cubierto por una roca impermeable o una roca que actúa como sello. Habitualmente, el término alude a un tamaño económico.

CEMENTACIÓN FORZADA: una cementación forzada, es el proceso de forzamiento de la lechada de cemento bajo presión a través de las perforaciones o huecos del revestidor, con el propósito de construir nodos de buena calidad que permitan aislar o eliminar la producción de fluidos indeseables y/o eliminar comunicaciones por problemas en la cementación primaria.

CEMENTACIÓN REMEDIAL: operaciones de cementación realizadas para reparar problemas de cementación primaria o tratar condiciones que surgen después de que se ha construido el pozo.

CEMENTO: polvo constituido de alúmina, silica, cal y otras sustancias que endurecen al mezclarse con agua. Se emplea ampliamente en la industria petrolera para adherir las tuberías de revestimiento a las paredes del pozo.

CENOMIANO: corresponde a la primera edad de la época Cretácea superior, del Periodo Cretáceo de la era Mesozoica del éon Fanerozoico que está comprendida aproximadamente entre los 100 a los 93 millones de años.

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA: representación gráfica de las formaciones que se pueden encontrar en el subsuelo en la zona determinada; tal como se han sedimentado desde las más antiguas en la parte inferior y los más recientes en la parte superior.

CONACIANO: corresponde a la primera edad de la época Cretácea superior, del Periodo Cretáceo de la era Mesozoica del éon Fanerozoico que está comprendida aproximadamente entre los 89 a los 86.3 millones de años.

CONDICIONES NERÍTICAS: zona marina existente entre la marea baja y el borde de la plataforma continental, sustenta la presencia de organismos marinos, también descritos como neríticos, que pueden sobrevivir en aguas someras con un grado moderado de exposición a la luz del sol.

CONGLOMERADO: roca sedimentaria clástica de tipo detrítico. Compuesta principalmente por clastos redondeados en una matriz de arena, limo o material cementante natural. Tiene un tamaño de grano de 2 mm a 256 mm. Se divide en dos tipos: el primero hace referencia a aquellos que poseen un alto grado de escogimiento, de una litología limitada y con poca matriz que se originan de la deposición en cursos de agua; los del segundo tipo son los que tienen poco grado de escogimiento, que son más heterogéneos en la litología y además poseen una abundante matriz originada por movimientos de masa.

CRETÁCICO: tercero en antigüedad de los tres periodos en que se divide el Mesozoico. Abarca aproximadamente entre los 145.5 y los 65 millones de años de los tiempos actuales.

CUENCA SEDIMENTARIA: depresión de la corteza terrestre, formada por la actividad tectónica de las placas, en la que se acumulan sedimentos, puede tener forma de cubeta o de fosa alargada.

DEPÓSITO EVAPORÍTICO: depósito de sedimentarios formados por la evaporación de aguas salinas, para su formación es esencial que el ritmo de evaporación exceda al de los aportes de agua. Estas rocas se pueden acumular en ambientes marinos, marinos marginales y continentales.

DISCORDANCIA: superficie geológica que mantiene separados los estratos modernos de los más antiguos, representa un periodo de ausencia de depositación.

EOCENO: periodo del Paleógeno, segundo en antigüedad de las tres épocas en que se divide el Paleógeno. Abarca aproximadamente entre los 55.8 y los 33.9 millones de años antes de los tiempos actuales.

ESPACIADOR: fluido utilizado para separar los fluidos de perforación y las lechadas de cemento.

ESPESOR: el espesor de una capa o de un estrato, medido en forma perpendicular a su extensión lateral, presumiendo la existencia de depositación sobre una superficie horizontal. Dado que la depositación de sedimentos puede producirse sobre superficies inclinadas, el espesor aparente o medido de la capa podría diferir del espesor verdades de la capa.

ESTRATIGRAFÍA: estudio de la historia, la composición, las edades relativas, la distribución de los estratos, y la interpretación de los estratos para elucidar la historia de la Tierra.

FACIES: en una roca o sedimento hace referencia a las características que reflejan su depositación, origen y permiten la diferencia con otras unidades adyacentes como el contenido fósil, estructuras sedimentarias y textura.

FALLA NORMAL: son un producto de esfuerzos tensionales, se caracteriza porque el plano de falla buza hacia el bloque hundido.

FALLA: fractura en una extensión de tierra en la cual se presentó un movimiento de un lado con respecto al otro. Se forma por esfuerzos tectónicos.

FORMACIÓN: unidad litológica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por propiedades litológicas comunes que la diferencia de las adyacentes.

GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO: rama de la geología que estudia los aspectos relacionados a la formación de yacimientos petrolíferos y la prospección de los mismos.

GRADOS API: escala de gravedad específica desarrollada por el Instituto Estadounidense del Petróleo (American Petroleum Institute, *API*) para medir la densidad relativa de diversos líquidos de petróleo, expresada en grados. La gravedad API esta graduada en grados en un instrumento de hidrógeno y fue diseñada de manera tal que la mayoría de los valores quedaran entre 10° y 70° de gravedad API.

GRANO: cada uno de los pequeños elementos perceptibles a simple vista que definen la estructura de una roca.

HAUTERIVIANO: corresponde a la tercera edad de la época Cretácea inferior/ temprano, del Periodo Cretáceo de la era Mesozoica del éon Fanerozoico que está comprendido aproximadamente entre los 132 a los 129 millones de años.

INCLINACIÓN: desviación respecto de la vertical, sin importar la dirección magnética, expresada en grados. Los grados que comprende desde el 0 hasta el 90 °.

INFILTRACIÓN: acción de introducir suavemente un fluido entre los poros de un sólido.

INFRAYACE: estrato o roca que reposa por debajo de otro superior.

KERÓGENO: materia precursora del petrolero y que tiene del 80 al 90% de materia orgánica, que se divide en tres tipos según el contenido de Carbono e hidrógeno que presente los cuales son Tipo I, Tipo II y Tipo III.

LIGNOSULFONATOS: es un polímero muy aniónico utilizado comúnmente para deflocular lodos base arcilla e inhibir las arcillas de las formaciones sensibles al agua. Son el resultado de una mezcla compleja de compuestos poliméricos de tamaño pequeño a moderado con grupos sulfonato unidos a la molécula.

LIMOLITA: roca sedimentaria de origen clástico. Tiene un tamaño de grano de 0.0039 mm a 0.0625 mm. Predomina la presencia de limo en más de 2/3 de su composición.

LINER: una sarta de revestimiento que no se extiende hasta el extremo superior del pozo, sino que se encuentra anclada o suspendida desde el interior del extremo inferior de la sarta de revestimiento previa.

LUTITA: roca sedimentaria originada de la descomposición de rocas que contienen feldespatos, está integrada por detritos clásticos de partículas de tamaños de arcilla y de limo (0.00006 mm y 0.0625 mm). Puede contener grandes cantidades de materia orgánica y sus principales componentes son los feldespatos y micas. Su ambiente de depositación es en llanuras de inundación de ríos, parte de distales abanicos, fondos de lagos y mares.

MECANISMO DE PRODUCCIÓN: corresponde a un conjunto de procesos que pueden actuar de manera conjunta o individual, para movilizar los hidrocarburos en el yacimiento hacia el pozo y así poder extraerlo.

MIGRACIÓN: movimiento de hidrocarburos desde la roca generadora hasta la roca almacenadora. El movimiento de hidrocarburos desde la roca generadora es denominado migración primaria.

MIOCENO: es la cuarta época geológica de la era Cenozoica y la primera época del periodo Neógeno, está comprendido entre los 23 a los 5.3 millones de años.

NEÓGENO: pertenece a la Era Cenozoica, comprende sólo las épocas Mioceno y Plioceno, está comprendido entre los 23 a los 3.6 millones de años.

OLIGOCENO: tercera época de periodo Paleógeno, abarca desde 33.7 a 23.5 millones de años. Sucedieron un sinnúmero de colisiones de las placas de la corteza terrestre y fenómenos que contribuyeron a elevar un extenso sistema de cadenas de montañas.

PALEOCENO: es la primera época del periodo Paleógeno de la era Cenozoica o terciaria. Abarcó un tiempo desde 65 millones de años hasta 58 millones de años.

PALEOZÓICO: era geológica que sigue a la era Precámbrica y precede a la era Mesozoica o secundaria. Abarca un tiempo entre 542 millones de años a 251 millones de años antes de los tiempos actuales.

PETRÓLEO: líquido natural oleaginoso e inflamable, constituido por una mezcla de hidrocarburos, que se extrae de lechos geológicos continentales o marítimos y del que se obtienen productos utilizables con fines energéticos o industriales, como la gasolina y el queroseno.

PLEGAMIENTO: deformación presentada en la corteza terrestre, debido al movimiento de rocas sometidas a esfuerzos compresionales.

PLIOCENO: es la segunda y última época del periodo Neógeno de la era cenozoica o terciaria. Abarca aproximadamente entre los 542 y los 251 millones de años antes de los tiempos actuales.

POLIMERIZACIÓN: proceso mediante el cual las moléculas simples, iguales o diferentes, reaccionan entre sí por adición o condensación y forman otras moléculas de peso doble, triple, etc.

POROSIDAD SECUNDARIA: es la porosidad generada a través de la alteración de la roca, normalmente a través de procesos tales como la dolomitización, la disolución y el fracturamiento.

POROSIDAD: porcentaje de espacios vacíos en el volumen total de una roca.

PUNTO CEDENTE: Yield Point (Yp). Es la resistencia al flujo inicial de un fluido causado por fuerzas electroquímicas o por la atracción entre las partículas presentes, también conocido como el esfuerzo requerido para hacer que un fluido se mueva.

RÉGIMEN TRANSPRESIVO: proceso de formación de fallas de desplazamiento de rumbo y la compresión, o convergencia, de la corteza terrestre. En las zonas de transpresión, las rocas pueden ser falladas en forma ascendente para formar una estructura en flor positiva. Las zonas de formación de fallas de desplazamiento de rumbo, en una corteza divergente o en una etapa de rifting, experimentan un proceso de transtensión, en el que las rocas pueden deprimirse para formar una estructura en flor negativa.

RESINA: sustancia orgánica de consistencia pastosa, pegajosa, transparente o translúcida, que se solidifica en contacto con el aire; es de origen vegetal o se obtiene artificialmente mediante reacciones de polimerización.

ROCA GENERADORA: conocida también como roca madre. Es una roca rica en contenido de materia orgánica, que si recibe calor en grado suficiente generará petróleo o gas. Las rocas generadoras típicas normalmente son calizas o lutitas. Contienen aproximadamente el 1 % de materia orgánica y al menos 0.5 % de Carbono Orgánico Total. Una roca generadora rica puede contener hasta 10% de materia orgánica.

ROCA RESERVORIO: roca con un medio poroso que puede almacenar fluidos (agua, gas o aceite). Es una roca rodeada de rocas sellos (baja porosidad y baja permeabilidad).

ROCA SELLO: roca impermeable que no permite la migración de hidrocarburos. Es una roca con una permeabilidad y porosidad baja.

SEDIMENTO: granos no consolidados de minerales, materia orgánica o rocas preexistentes, que pueden ser transportados por el agua, el hielo o el viento, para luego ser depositados.

SIDE TRACK: es la perforación de un pozo secundario a partir de un pozo original en el cual, es necesario corregir la trayectoria programada bien sea por problemas de operaciones o fenómenos inherentes a las formaciones atravesadas.

SISTEMA PETROLÍFERO: es un sistema geológico que abarca las rocas generadoras de hidrocarburos e incluye a todos los elementos y procesos geológicos que son esenciales para la existencia de una acumulación de hidrocarburo

SUPRAYACE: material (estrato o roca) que reposa sobre otro material.

TERMOFLUENCIA: corresponde a la deformación plástica de un material, bajo una carga y temperatura constante, el cual se considera un proceso dinámico de alta temperatura que puede tener lugar a través del tiempo.

TRAMPA: estructura geológica que hace posible la acumulación y concentración del petróleo, manteniéndolo atrapado y sin posibilidad de escapar por los poros de una roca permeable subterránea.

VALOR PRESENTE: (VP), Es el valor actual de un capital que no es inmediatamente exigible; es la suma que colocada a Interés Compuesto hasta su vencimiento, se convertiría en una cantidad igual a aquél en el periodo de pago. Se le conoce como valor del dinero en función del tiempo.

YACIMIENTO: área geográfica en la que una cierta cantidad de pozos petrolíferos o de gas producen de un reservorio. La palabra “yacimiento” puede referirse sólo al área de superficie o puede incluir las formaciones productivas. En un solo yacimiento puede haber varios reservorios a diferentes profundidades.

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO A NIVEL DE LABORATORIO DE UN ESPACIADOR CON BASE EN UNA RESINA POLIMÉRICA PARA EL CONTROL DE GAS EN LOS PROCESOS DE CEMENTACIÓN PARA LA SECCIÓN DEL LINER DE 7" EN EL CAMPO CHUIRA

DESCRIPCIÓN:

En el presente trabajo de grado se diseñan espaciadores con base en una resina polimérica para implementar el mejor diseño en el control de la infiltración de gas en los procesos de cementación del Campo Chuirá, mediante el desarrollo de pruebas de laboratorio sobre los diferentes diseños de acuerdo a las características que presenta el campo.

En este trabajo, se puede encontrar una descripción de la ubicación geográfica del Campo Chuirá, características geológicas del yacimiento e historia de producción, propiedades y generalidades de los cementos y espaciadores, aditivos químicos para la realización de los espaciadores, matriz de selección de los aditivos químicos, se establecen los parámetros óptimos para el diseño de los espaciadores, según los parámetros presentados por el pozo de correlación del campo.

Se describen las pruebas de laboratorio (Densidad, Tiempo de bombeabilidad, Reología y Fuerza de geles) que son realizadas a cada diseño de espaciador propuesto, con base a las normas API 10A y 10B, se aplican las pruebas y se escriben los resultados obtenidos, se comparan mediante una matriz con el fin de encontrar el mejor diseño de espaciador que cumpla con las condiciones requeridas. Finalmente, se evalúa la viabilidad financiera en la implementación del espaciador para el pozo de correlación haciendo uso de la metodología de la relación beneficio costo.

PALABRAS CLAVE: CONTROLADOR GAS, ESPACIADOR BASE RESINA POLIMÉRICA, CAMPO CHUIRA, CUENCA VALLE MEDIO MAGDALENA.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la necesidad de desarrollar nuevas técnicas para la mejora continua en los programas de cementación hace que diferentes empresas, como Tucker Energy Services S.A., busquen la manera de ofrecer al mercado nuevos productos que satisfagan la necesidad de las empresas operadoras, asegurando la calidad de sus operaciones y los resultados de las mismas.

El Campo Chuirá presenta problemas asociados a la infiltración de gas durante el proceso de cementación de la sección de interés, esto afecta directamente la integridad del pozo. Debido a esto, se generan inversiones para dar solución a este tipo de problema. La solución que se plantea es diseñar un espaciador que brindará un sello durante el proceso de cementación primaria de la sección del liner de 7”.

El estudio de un nuevo espaciador para los procesos de cementación en el campo, se lleva a cabo como un esfuerzo de minimizar los costos operacionales tales como procedimientos de Side Track y cementaciones adicionales. Esto con el fin de que se vea lo menos posible afectada la producción del campo a lo largo de su vida productiva.

La selección del diseño del espaciador se realiza mediante pruebas de laboratorio, donde se analizan características específicas como la densidad, tiempo de bombeabilidad, reología y fuerza de geles, esto bajo las condiciones del pozo de referencia, buscando así que el mejor espaciador se adapte a los requerimientos presentados por el pozo.

En el presente documento se podrá encontrar información relacionada directamente con el campo (historia, localización, características geológicas e historia de producción), información sobre la cementación y los espaciadores, descripción de aditivos químicos para los espaciadores, descripción de los requerimientos que debe cubrir el espaciador, descripción de los rangos requeridos bajo las condiciones del campo para los diseños de los espaciadores, descripción de las pruebas de laboratorio, análisis de resultados y por último, un estudio de la viabilidad financiera en la implementación del espaciador en los procesos de cementación del Campo Chuirá.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar a nivel de laboratorio un espaciador con base en una resina polimérica para el control de gas en los procesos de cementación para la selección del liner de 7" en el Campo Chuirá.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Describir las generalidades del Campo Chuirá.
2. Describir las generalidades de la cementación y de los espaciadores.
3. Describir los parámetros técnicos del diseño de un espaciador con base en una resina polimérica para el control de gas para el liner de 7" en el Campo Chuirá.
4. Elaborar un plan de pruebas con base en las normas API 10A y 10B y, variación de aditivos según las concentraciones de aplicabilidad.
5. Realizar el diseño de un espaciador con base en una resina polimérica conforme con las condiciones del Campo Chuirá, con base en los pozos de correlación.
6. Evaluar el diseño del espaciador con base en una resina polimérica mediante pruebas de laboratorio
7. Seleccionar mediante una matriz comparativa el espaciador a partir de una resina polimérica, que se adecue a los parámetros técnicos requeridos por el Campo Chuirá.
8. Evaluar la viabilidad financiera del diseño de un espaciador con base en una resina polimérica para el control de gas en los procesos de cementación para la sección del liner de 7" en el Campo Chuirá por medio del indicador relación beneficio costo.

1. GENERALIDADES DEL CAMPO CHUIRA

En este capítulo se describe brevemente la historia del Campo Chuirá, su localización, marco geológico, geología del petróleo e historia de producción.

1.1 HISTORIA DEL CAMPO

El Campo Chuirá, hace parte del Bloque Midas y su historia tiene inicio en febrero del año 2006, cuando la Compañía PetroLatina Energy Ltd obtiene los derechos sobre el Bloque Midas, posteriormente el 5 de abril del año 2006 se suscribe el contrato de exploración y producción de hidrocarburos No. 011 de 2006, denominado Midas.

En junio del año 2006 PetroLatina Energy Plc, adquiere Petróleos del Norte S.A (PetroNorte) y a partir de este momento PetroNorte se convierte en la operadora de los contratos de PetroLatina en Colombia.

El primer pozo exploratorio del Campo Chuirá es el Pozo Chuirá 1 y es el único pozo perforado a la fecha el cual fue perforado en el año 2009 por la Unión Temporal Midas, con el objetivo exploratorio en la Formación la Luna con una profundidad final de 8.308 pies y del que se informó a la Agencia Nacional Hidrocarburos (ANH) el 27 de octubre de 2009 el descubrimiento de hidrocarburos en el objetivo exploratorio.

En agosto de 2016 Gran Tierra Energy Inc. Adquiere PetroLatina Energy Ltd, convirtiéndose en la nueva operadora del Campo Chuirá.

A septiembre de 2016 se encuentra que el Campo Chuirá cuya área es de 19.214.91 Acres está activo en su fase de explotación desde el 25 de marzo del año 2011. La operadora Gran Tierra continúa al frente de este campo.

1.2 LOCALIZACIÓN

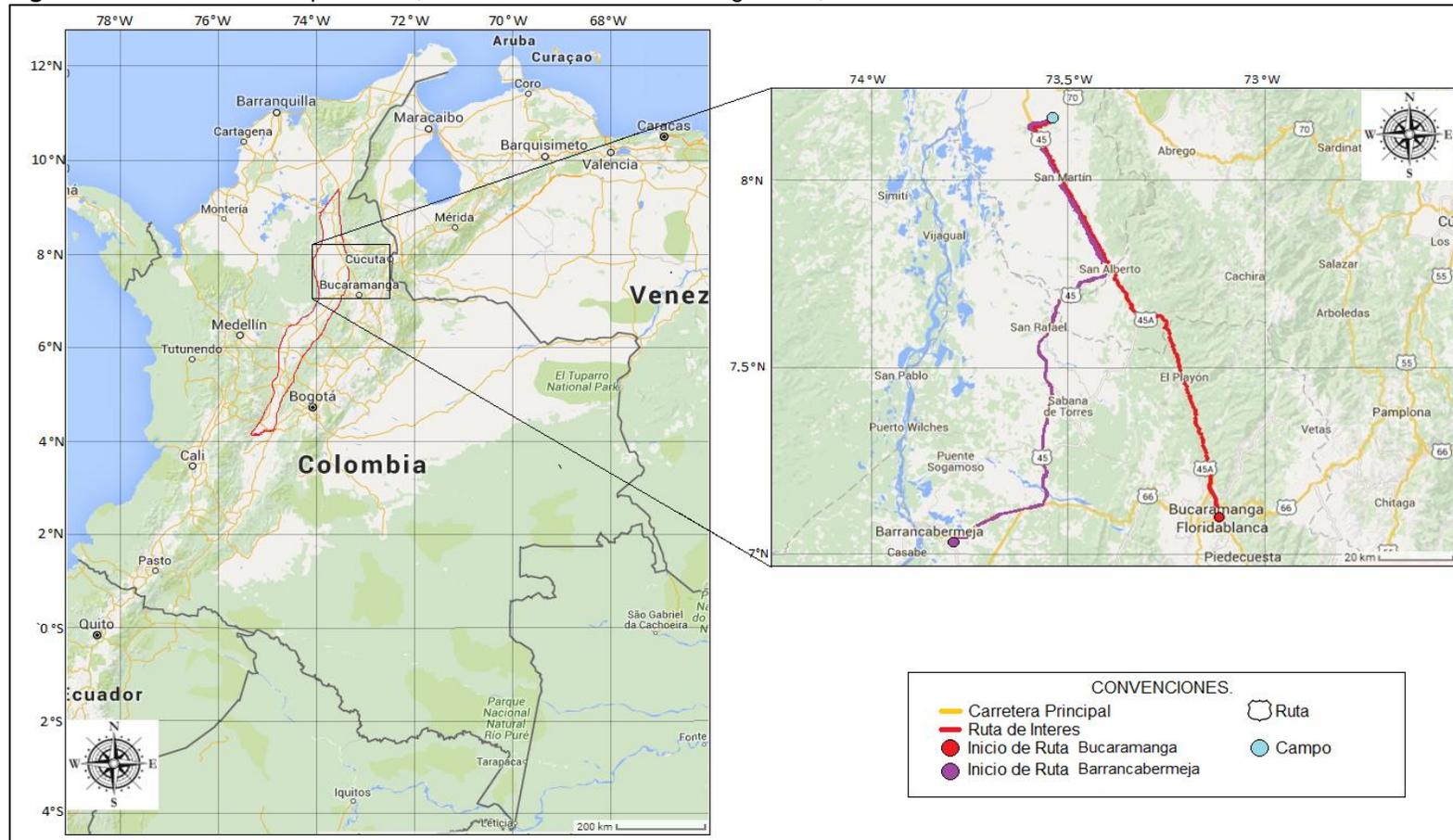
El Campo Chuirá, se encuentra localizado en la Cuenca del Valle medio del Magdalena, al norte del Bloque Midas, en el Departamento del Cesar en jurisdicción del Municipio de Río de Oro.

El acceso al Campo Chuirá puede hacerse desde Barrancabermeja tomando la ruta 66 al este hasta el cruce La Fortuna por un trayecto de 37.4 km, posteriormente tomando la Troncal del Magdalena al Norte (Ruta Nacional 45), atravesando el corregimiento La Gómez y el cruce a Sabana de Torres hasta llegar al Municipio de

San Alberto luego de atravesar un trayecto de 86.4km, allí se toma la vía al norte hasta llegar al casco urbano de San Martín; el acceso también se puede hacer por la ciudad de Bucaramanga tomando la Troncal Oriental (Ruta Nacional 45-A), en sentido noroccidental pasando por las poblaciones de Rionegro, La Ceiba, El Playón, La Esperanza, San Alberto, Líbano y San Martín. A partir del casco urbano de San Martín¹, como se muestra en la **Figura 1**, donde también se distingue la Cuenca del Valle Medio del Magdalena.

¹COLOMBIA, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible . [Citado febrero, 2016] Disponible en: http://www.anla.gov.co/sites/default/files/res_0088_310113.pdf

Figura 1. Localización Campo Chuirá, Cuenca Valle Medio del Magdalena, Colombia.



Fuente: Mapa de ruta Bucaramanga – Pozo Chuirá 1, San Martín, Cesar y ruta Barrancabermeja – Pozo Chuirá 1, San Martín, Cesar [en línea]. [Citado 4 Marzo 2016]: Disponible en Google Maps: Página Web http://www.bdcc.co.uk/Gmaps/ll_grat_v3_demo.htm, modificado por autores.

Figura 2. Columna estratigráfica de la Cuenca Valle Medio del Magdalena.

PERIODO	EDAD	EDAD APROX (Ma)	FORMACIÓN	LITOESTATIGRAFIA	POZO CHUIRA 1	SISTEMA PETROLÍFERO				
						RA	RS	RG		
PLIOPLEISTOCENO		53	Fm Mesa							
Neógeno	Mioceno		23.03	Grupo Real						
		Gr. Chuapas		Fm Colorado			●	⊘		
				Fm Mugrosa			●	⊘		
Paleógeno	Oligoceno	33.9	Gr. Chorro	Fm. Esmeraldas			●	⊘		
	Eoceno	56		Fm. La Paz			●			
			Paleoceno	66		Fm. Lisama		●	⊘	
	CRETÁCEO	Superior				Maastrichtiano	72.1	Fm. Umir		
Campaniano			83.6						⊘	
Santoniano			86.3	Fm. La Luna		M. Galembo		☺	⊘	↑
Conaciano			89.8			M. Pujamaná			⊘	↑
Turoniano			93.9			M. Salada			⊘	↑
Inferior		Albiano	113	Fm. El Salto			●	⊘	↑	
				Fm. Simití				⊘	↑	
		Aptiano	125	Fm. Tablazo			●		↑	
				Fm. Paja				⊘		
		Barremaniano	129.4	M. Paja Arenosa			●			
Berriasiano	Valanginiano	139.8	Fm. Rosablanca							
			Fm. Cumbre				⊘	↑		
	Fm. Arcabuco/Los Santos			●						
Cretáceo	Valangniano	201.3	Fm. Tambor		●					

Fuente: GARCIA GONZALES, Mario. Informe Ejecutivo Evaluación del Potencial Hidrocarburífero de las Cuenas Colombianas. 2009. Pg 80. [Citado 29 febrero, 2016] Modificado por autores.

1.3 ESTRATIGRAFÍA

A continuación, se describen las formaciones que están presentes en la Cuenca Valle Medio del Magdalena (**Figura 2**) desde la más antigua hasta la más reciente, haciendo énfasis en aquellas atravesadas por el pozo del campo.

1.3.1 Formación Tambor. De edad Cretáceo Inferior (Valanginiano²). Compuesta por arcillolitas, conglomerados rojos y areniscas. El espesor es de 2.100 ft, aunque regionalmente es muy variable. Su ambiente de depositación es fluvial. Posee un contacto discordante con la Formación Jordán que la infrayace y contacto concordante con la Formación Los Santos que la suprayace.

1.3.2 Formación Los Santos. De edad Cretáceo Inferior (Berriasiano³). Contiene tres miembros, el inferior es principalmente conglomerático, el del medio es considerado lodoso y el superior es arenoso porque contiene areniscas de grano muy fino a medio, es de color amarillo y contiene cuarzo. Tiene un espesor de 715 ft y fue depositada en un ambiente continental. Esta formación tiene contacto discordante con la Formación Girón que la infrayace y tiene contacto concordante con la Formación Rosablanca que la suprayace.

1.3.3 Formación Rosablanca. De edad Cretáceo Inferior (Hauteriviano-Barremiano⁴). Compuesta en su base por capas de calizas y dolomitas grises e intercalaciones de caliza marrón. Tiene un espesor que varía entre 492 a 1.394 ft. El ambiente de depositación es de carácter marino somero. La Formación se encuentra en contacto concordante con la Formación Tambor que la infrayace como con la Formación Paja que la subrayase.

1.3.4 Formación Paja. De edad Cretáceo Inferior (Barremiano-Aptiano⁵). Se compone de arcillas negras ligeramente calcáreas y láminas, además de calizas; Tiene un espesor que varía de 410 ft a 2.050 ft, para el campo Chuirá presenta un espesor de 600 ft. El ambiente de depositación es marino profundo. Se encuentra en contacto concordante con la Formación Rosablanca que la infrayace y en contacto concordante con la Formación Tablazo que la suprayace.

² JULIVERT, Manuel. Léxico estratigráfico. Paris: Centre National de la Reserche Scientifique, 1974. p. 301

³ Ibid. p 256.

⁴ Ibid. p 419.

⁵ Ibid, p. 565.

1.3.5 Formación Tablazo. De edad Cretáceo Inferior (Aptiano-Albiano⁶). Se compone por calizas azuladas a negras, de una textura media a gruesa, hacia la zona media presenta areniscas marrón amarillentas. Tiene un espesor variable que está entre 492 y 1066 ft. El ambiente de depositación es de tipo marino profundo. Se encuentra en contacto concordante con la Formación Paja que la infrayace y en contacto concordante con la Formación Simití que la suprayace.

1.3.6 Formación Simití. De edad Cretáceo Inferior (Albiano⁷). Presenta lutitas marrones a grises que tienen una variación de no calcáreas a moderadamente, duras, compactas, laminadas con venas de calcita. Tiene un espesor que va desde los 820 y 2132 ft. Su ambiente de depositación es marino profundo. La formación se encuentra en contacto concordante tanto con la Formación Tablazo que la infrayace como con la Formación Salto que la suprayace.

1.3.7 Formación Salto. De edad Cretáceo Superior (Albiano superior – Cenomaniano⁸). Está compuesta por calizas arcillosas con intercalaciones de lutitas, las calizas son color gris oscuro al igual que las intercalaciones finas de lutitas. Presenta un espesor que varía entre los 165 y 410 ft. El ambiente de depositación es marino profundo. Esta formación tiene contacto concordante con la Formación Simití que la infrayace y está en contacto concordante con la Formación La Luna que la suprayace.

1.3.8 Formación La Luna. De edad Cretáceo Superior (Turoniano–Santoniano⁹). Consiste típicamente de arcillas calcáreas, negra, fosilífera con concreciones de calizas negras, con abundante materia orgánica laminada, la unidad ha sido subdividida en tres miembros denominados Salada, Pujama y Galembó. Con un espesor aproximado entre los 1.960 y 6.200 ft. El ambiente de depositación es marino poco profundo. Se encuentra en contacto concordante con la Formación Umir que la infrayace y en contacto concordante con la Formación Simití que la suprayace.

1.3.9 Formación Umir. De edad Cretáceo Superior (Campaniano-Maestrichtiano¹⁰). Está compuesta de lutitas de láminas delgadas del color gris

⁶ Ibid, p. 567-568.

⁷ Ibid, p. 567

⁸ Ibid., p. 424.

⁹ JULIVERT M. Léxico estratigráfico. Volumen Cinco. Bogotá: 1968, p. 423

¹⁰ Ibid, p. 568

oscuro, gris azulado a negro con láminas delgadas carbonáceas y cicáceas, lutitas blancas a gris de minerales de hierro, areniscas de grano fino y limolitas de cuarzo. Esta formación tiene un espesor aproximado de 754 a 3280 ft. Su ambiente de depositación es marino somero. Se encuentra en contacto concordante tanto con la Formación Lisama que la infrayace como con la Formación La Luna que la Suprayace.

1.3.10 Formación Lisama. Según Según J. de Porta, es de edad Cenozoico (Paleógeno Inferior). El área fue dividida en dos miembros uno superior y otro inferior, la parte superior contiene intercalaciones de lutitas y arcillolitas interestratificadas con capas de areniscas grises, en cuanto al miembro inferior este fue dividido en cuatro unidades; Lisama A, Lisama B, Lisama C y Lisama E, estas unidades son porosas y permeables. Por lo tanto, se dice que en estas zonas es donde hay altos potenciales para el almacenamiento de hidrocarburos, su espesor es aproximadamente 3930ft. Su depositación es de carácter continental fluvio-deltaico bajo condiciones transicionales. La formación se encuentra en contacto concordante con la Formación Umir que la infrayace y discordante con la Formación La Paz que la suprayace.¹¹

1.3.11 Formación La Paz. De edad Cenozoico (Paleoceno-Eoceno¹²). Contiene areniscas color gris claro y presenta intercalaciones de lutitas y limonitas, Desde el medio hasta el tope del intervalo se compone por una secuencia de lutitas (color gris claro a verdoso) intercaladas con una arenisca no consolidada y capas delgadas de limolitas. Tiene un espesor de 3280 ft. Su ambiente de depositación es fluvial trenzado a meandriforme. Esta formación se encuentra discordante con la Formación Umir que la infrayace y suprayace a la Formación Esmeralda con un contacto discordante.

1.3.12 Formación Esmeraldas. De edad Cenozoico (Eoceno Medio – Eoceno Superior¹³). Presenta limolitas y areniscas compactas en capas delgadas que se alternan con limolitas de color gris y con lentes de carbón. Tiene un espesor que varía entre los 300 y 700 ft. Su ambiente de depositación es fluvial. La formación infrayace a la Formación Mugrosa con un contacto discordante y en contacto concordante con la Formación La Paz que la suprayace.

¹¹ DE PORTA, J. Léxico estratigráfico. Paris: Centre National de la Reserche Scientifique, 1974. p. 326.

¹² DE PORTA, Jaime. Léxico estratigráfico de Colombia. Paris. Centre National de la Reserche Scientifique: 1974, p.71

¹³ Ibid., p. 197.

1.3.13 Formación Mugrosa. De edad Cenozoico (Eoceno-Oligoceno¹⁴). Contiene areniscas levemente calcáreas de grano muy fino a fino, masivas con intercalaciones parciales de lutitas y limolitas. Tiene un espesor que está entre 1640 y 2296 ft. Fue depositada en un ambiente continental fluvial. La formación infrayace con la Formación Esmeralda en contacto discordante y suprayace a la Formación Colorado con un contacto concordante.

1.3.14 Formación Colorado. De edad Cenozoica (Oligoceno Medio – Mioceno Inferior¹⁵). Presenta areniscas de grano fino a muy fino, con abundantes intercalaciones de lutitas y limolitas no consolidadas con finos lentes de caliza. Tiene un espesor que va desde los 3600 hasta 6500 ft. Esta formación fue depositada en condiciones continentales-fluviales. Esta formación infrayace a la Formación Mugrosa con un contacto concordante y suprayace a la Formación Real con contacto discordante.

1.3.15 Grupo Real. De edad Neógeno (Mioceno¹⁶). Compuesta por lodolitas arenosas abigarradas con intercalaciones de cuarzo-arenitas arcillosas de grano fino a medio y arenitas arcillosas⁹. Tiene un espesor de 9500 ft. El ambiente de depositación es fluvial. Se encuentra discordante sobre la Formación Colorado que la infrayace y en contacto discordante con la Formación Mesa que la suprayace.

1.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El marco tectónico de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena está muy relacionado con el marco de evolución tectónica de la Cordillera Oriental en el Terciario, lo que se conoce como Orogenia Andina, aislando las cuencas del Valle Medio del Magdalena y Llanos Orientales.

Para el Campo Chuirá: la estructura principal corresponde a un anticlinal tipo “pop up” apretado el cual está basculado hacia el sur y tiene cierre en cuatro direcciones, limitado por fallas inversas tanto al norte, al occidente y al oriente.¹⁷

¹⁴ Ibid, p. 615

¹⁵ Ibid., p. 141.

¹⁶ Ibid, p. 613.

¹⁷PETRONORTE. Cuenca Valle Medio Magdalena CVMM. Bloque Midas. [en línea] 2016 [consultado 16, abril, 2016]. Disponible en: <http://www.petrnorte.com/es/operaciones/cuenca-del-valle-medio-del-magdalena-cvmm>

1.5 GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO

A continuación, se describen en una forma muy general, las principales características del sistema petrolífero asociado al Campo Chuirá en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena.

1.5.1 Roca Generadora. En la Cuenca del Valle Medio del Magdalena, las principales rocas generadoras son las lutitas y calizas de la Formación La Luna, considerándose como la principal roca generadora, presenta valores promedios de carbón orgánico total (TOC) actual entre 2 y 6% y kerógeno II. Se encuentra que en la parte norte de la cuenca se han alcanzado valores medios a maduros para la generación de hidrocarburos líquidos y en la parte sur se evidencia valores correspondientes a la ventana de gas. Adicionalmente las calizas y lutitas de las Formaciones Rosablanca, Paja y Tablazo se pueden considerar también rocas fuente de hidrocarburos con un potencial limitado.¹⁸

1.5.2 Roca Reservorio. El 97% de las reservas probadas de aceite en la Cuenca vienen de las areniscas del Oligoceno. En esta cuenca los principales reservorios están en las formaciones Lisama, Colorado, Mugrosa, Esmeraldas y La Paz, las cuales están constituidas por areniscas que tienen una porosidad entre el 15-20% y una permeabilidad entre 20-60 mD. Por otra parte, se encuentran también las calizas fracturadas, las cuales se encuentran en las formaciones La Luna, Tablazo y Rosablanca. En el Campo Chuirá, la roca almacenadora son las calizas naturalmente fracturadas del miembro Galembó de la formación La Luna (siendo un yacimiento naturalmente fracturado, YNF), de acuerdo a estudios de fracturas, éstas se deben a la influencia del régimen transpresivo que sufre la cuenca en esta área.

1.5.3 Migración. En la Cuenca del Valle Medio del Magdalena existen dos tipos de migración: migración lateral y migración vertical, la primera de estas está dada a lo largo de las areniscas del Eoceno y la segunda es a través de superficies de falla en donde la Formación La Luna no tiene contacto directo con la discordancia existente en el Eoceno. Los hidrocarburos presentes en esta área han llegado desde el Este (parte profunda de la cuenca) por migración buzamiento arriba, a través de los diferentes estratos arenosos de las unidades terciarias.

1.5.4 Roca Sello. “Son roca sello los niveles arcillosos intra-formacionales de las unidades terciarias y las unidades arcillosas del Cretáceo, siendo estas últimas las

¹⁸ AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH), Informe Ejecutivo Evaluación Del Potencial Hidrocarburífero De Las Cuencas Colombianas (2009),pdf. p 79

más efectivas dado su espesor y extensión regional”¹⁹. Fallas inversas y normales actúan como sello cuando se ponen en contacto rocas almacén con rocas sellos. Los sellos de reservorios cenozoicos se encuentran en las formaciones Colorado y Esmeraldas. Por otro lado, los sellos de reservorios cretácicos se encuentran en las formaciones Umir y Simití. Dentro de la secuencia cretácea las lutitas de las formaciones Paja y Simití pueden constituir el sello de los intervalos de calizas fracturados. En el Campo Chuirá la roca sello está localizada en la Formación Umir y corresponde a lutitas y arcillolitas marinas.

1.5.5 Trampas. Con base en la Agencia Nacional de Hidrocarburos, en la cuenca existen cuatro tipos de trampas: estructuras dúplex de cabalgamiento con cierre independiente, pliegues contraccionales asociados a fallas bajo superficies de cabalgamiento, trampas en el lado bajo de las fallas sellantes y cierres dependientes de falla²⁰. En el Campo Chuirá la trampa es estructural y corresponde a un anticlinal tipo “pop up” apretado el cual está basculado hacia el sur y tiene cierre en cuatro direcciones, limitado por fallas inversas tanto al norte, al occidente y al oriente.²¹

1.6 HISTORIA DE LA PRODUCCIÓN DEL CAMPO

A continuación, se muestra la historia de producción del Campo Chuirá desde su inicio en el año 2010 a septiembre de 2016 registrada en la Agencia Nacional de Hidrocarburos.

1.6.1 Método de producción. El pozo Chuirá 1 desde el año 2010 hasta el año 2014 estuvo produciendo por flujo natural, donde problemas mecánicos durante la fase de completamiento atribuidos a la canalización del cemento restringieron la producción del intervalo principal.

En noviembre del año 2014 se realizó un Side-track en el Pozo Chuirá 1 y se da inicio a una nueva etapa de producción de las calizas naturalmente fracturadas de la Formación la Luna en flujo natural con un mecanismo atribuido a gas en solución y a la fecha se presenta una producción estable; de acuerdo a la información disponible en la ANH se permite afirmar que el mecanismo de producción del campo

¹⁹ *Ibíd.*, p. 79

²⁰ *Ibíd.*, p. 79

²¹ PETRONORTE. Cuenca Valle Medio Magdalena CVMM. Bloque Midas. [en línea] 2016 [consultado 16, abril, 2016]. Disponible en: <http://www.petronorte.com/es/operaciones/cuenca-del-valle-medio-del-magdalena-cvmm>

es por gas en solución que con el paso del tiempo ha permitido la producción de la fase gaseosa.

1.6.2 Tiempo de producción. El campo Chuirá viene produciendo por aproximadamente 6 años, desde el año 2010 a septiembre de 2016 de manera estable, donde se registra una producción neta acumulada de 175.238 barriles de crudo entre los 19 a los 22 Grados API. De acuerdo con lo registrado en la ANH a septiembre de 2016 el año 2015 es el único año que registra una producción de gas.

1.6.3 Número de pozos. En la actualidad la producción fiscalizada en el Campo Chuirá es proporcionada únicamente por el Pozo Chuirá 1.

1.6.4 Gráficas de producción acumulada. A continuación, se presenta la **Figura 3**, que corresponde a la producción anual acumulada de petróleo y la **Figura 4**, que corresponde a la producción de gas acumulado en el Campo Chuirá.

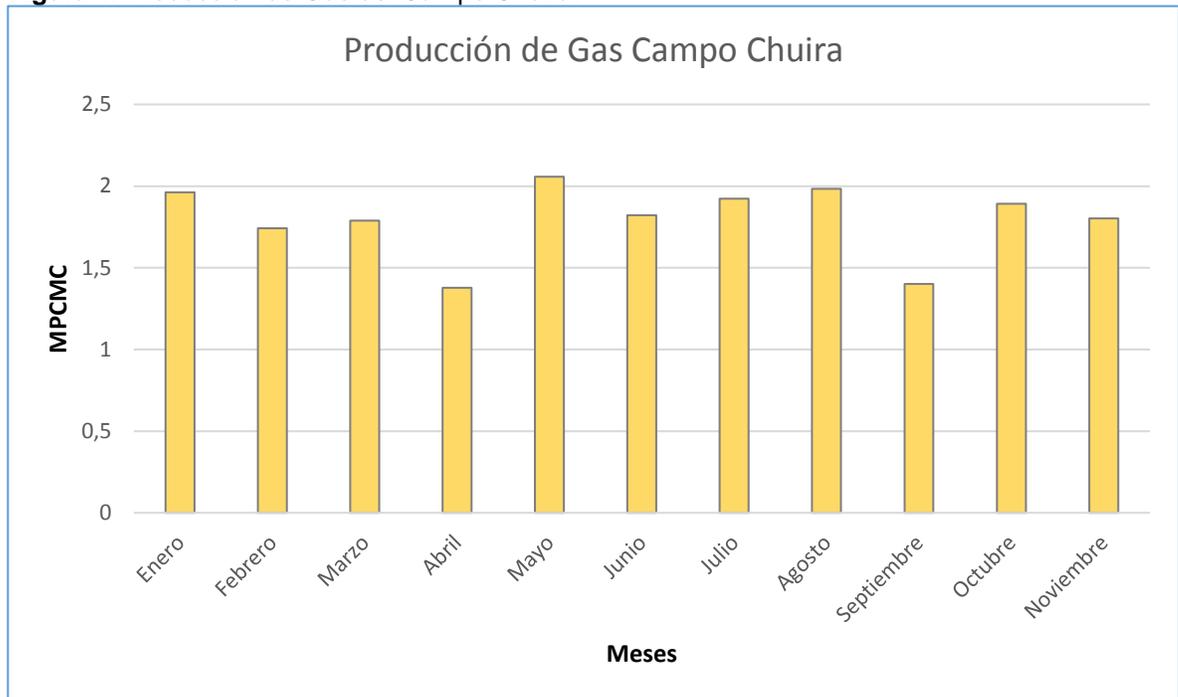
En la **Figura 3**, Es posible evidenciar que para el 2015 está registrada la producción acumulada más alta del Campo Chuirá con un valor de 80,000 bop. En tanto a la producción de gas en superficie que se presenta en la **Figura 4** está dada en Millones de Pies Cúbicos Mes Calendario (MPCMC), además se registra únicamente la presencia de volúmenes de gas en el campo en el año 2015, los cuales deberán ser tenidos en cuenta a la hora de realizar cualquier operación. En esta la producción más alta registrada a la fecha corresponde al mes de mayo de 2015, con una producción de 2,057 MPCMC.

Figura 3. Producción anual acumulada de petróleo del Campo Chuirá.



Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos, producción y regalías por campo enero a diciembre de los años 2010 a 2016 , [Citado marzo 15, 2016] Disponible en: disponible en: <http://www.anh.gov.co/Operaciones-Regalías-y-participaciones/Regalías/Estadísticas/Páginas/default.aspx>, modificado por autores.

Figura 4. Producción de Gas del Campo Chuirá.



Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos, producción y regalías por campo enero a diciembre del año 2015, [Citado marzo 15, 2016] Disponible en: <http://www.anh.gov.co/Operaciones-Regalias-y-Participaciones/Sistema-Integrado-de-Operaciones/Paginas/Estadisticas-de-Produccion.aspx>, modificado por autores.

2. GENERALIDADES DE LOS CEMENTOS Y LOS ESPACIADORES

El presente capítulo se encarga de describir los aspectos generales de los cementos, la cementación, los espaciadores, los lavadores, los polímeros y las resinas; presentando cómo se definen, su clasificación y sus diferentes compuestos.

2.1 CEMENTO

Material utilizado para sellar permanentemente los espacios anulares existentes entre la tubería de revestimiento y las paredes del pozo. También se utiliza cemento para sellar las formaciones y evitar la pérdida de fluido de perforación y para operaciones que implican desde la colocación de taponos de desviación hasta el taponamiento y abandono del pozo. Sin dudas, el tipo más común es el API Oilwell Cement, conocido informalmente como cemento Portland.²²

2.1.1 Cemento Portland. El cemento portland ha sido el principal constituyente del cemento para cementar la mayoría de los pozos petroleros, recibe su nombre de la similitud que tiene con una roca de construcción que se encontró en la isla de Portland, cerca de las costas de Inglaterra.²³

Es un producto de calcinación y sus principales constituyentes son: caliza, arena, esquistos, escoria, bauxita, y diversos materiales que contienen hierro. En la manufactura del cemento portland, se mezclan las cantidades apropiadas de materiales y se calientan en un horno hasta aproximadamente 1350°C; después de someterlo a esta temperatura el material se convierte en escoria; esta se muele y se convierte en cemento Portland. La composición química del cemento varía, pero en general, está compuesto de diferentes porcentajes de materiales como el silicato tricálcico, el silicato dicálcico, ferro-aluminato tetracálcico, yeso y magnesio.²⁴

El cemento Portland es, además, el ejemplo típico de un cemento hidráulico; fragua y desarrolla resistencias a la compresión como resultado de la hidratación, la cual involucra reacciones químicas entre el agua y los componentes presentes en el cemento. De todos los cementos, el Portland es el más importante en cuanto a términos de calidad, desarrollo de resistencia a la compresión, tensión y a los l

²²SCHLUMBERGER, OILFIELD GLOSSARY, Cementación a presión, Remediación e intervención de pozos. [citado el 30 de marzo de 2016]. Disponible en <http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/c/cement.aspx>

²³ ABC DE CEMENTACIÓN Y ESTIMULACIONES EN MEXICO, Composición del cemento para pozos petroleros, pág. 1, [citado el 27 de marzo de 2016]

²⁴ Ibid., p. 8.

sulfatos; por lo cual es el material idóneo para las operaciones de cementación de pozos petroleros.²⁵

2.1.2 Principales compuestos del cemento y sus funciones.²⁶

2.1.2.1 Silicato Tricíclico (3CaO.SiO₂). Es el componente más abundante en la mayoría de los cementos y, además, el factor principal para producir la consistencia temprana o inmediata. Generalmente, los cementos de alta consistencia inmediata contienen mayor concentración de este compuesto, más que el Portland común y los retardados.

2.1.2.2 Silicato dicálcico (2CaOSiO₂). Habitualmente conocido como C₂S, es un compuesto de hidratación lenta para formar el mismo tipo de compuestos que el C₃S, que proporciona una ganancia gradual de resistencia; esto ocurre en un periodo largo: después de 28 días.

2.1.2.3 Aluminato Tricálcico (3CaO.Al₂O₃). Tiene influencia en el tiempo de bombeabilidad de la lechada. Es responsable de la susceptibilidad al ataque químico de los sulfatos sobre los cementos. Esta susceptibilidad se clasifica en moderada y alta resistencia al ataque químico, cuando contienen este compuesto en un 8% y 3% respectivamente. Reacciona muy rápido y libera mucho calor al hidratarse. Contribuye a resistencia a muy temprana edad, pero poco a la resistencia final.

2.1.3 Clasificación del cemento según API. El cemento por parte del Instituto Americano del Petróleo ha sido clasificado como se presenta a continuación:

2.1.3.1 Cemento clase A. Está diseñado para emplearse a 1.830 m. (6.000 ft) de profundidad como máximo, con temperaturas de 77 °C (170 °F) y donde no se requieran propiedades especiales; no brinda ninguna resistencia a los sulfatos. Este cemento es denominado por el ASTM como “**Tipo I**”. Tiene moderada resistencia al ataque por sulfatos (MSR). Y alta adherencia en las lechadas, lo que se traduce en un mejor soporte de la tubería.

²⁵ INGENIERIA DE CEMENTACIÓN PETROLERA, Unidad 1: Los cementos Petroleros y sus Propiedades: [en línea] pág. 2, [citado el 27 de marzo de 2016]. Disponible en <http://www.actiweb.es/marcus/archivo2.pdf>

²⁶ MODULO 1: CEMENTOS PETROLEROS CARACTERISTICAS Y ANALISIS – Unidad 1: Los cementos Petroleros y sus Propiedades. [en línea]. [citado el 30 de marzo de 2016]. Disponible en: <http://www.actiweb.es/marcus/archivo2.pdf>

El bajo contenido de C_3A permite que las lechadas sean poco susceptibles al ataque por sulfatos provenientes de los estratos o fluidos circulantes en el pozo.

Por su moderado calor de hidratación, reduce en gran medida la posibilidad de fisuras, evitando el movimiento de fluidos hacia la tubería y protegiéndola contra la corrosión. Posee un bajo contenido de cloruros.

2.1.3.2 Cemento clase B. Está diseñado para emplearse a 1.830 m. (6.000 ft) de profundidad como máximo, con temperaturas de 77 °C (170 °F). Este cemento no requiere propiedades especiales, y su aplicación se da cuando las condiciones del pozo lo permitan y donde se requiere moderada a alta resistencia a los sulfatos. Este cemento presenta un contenido C_3A menor que el cemento clase A y tiene un costo ligeramente superior. El ASTM denomina a este cemento como “**Tipo II**”.

Los cementos con bajo contenido de C_3A son menos susceptibles al ataque de sulfatos. Los sulfatos son considerados como los productos químicos más corrosivos con respecto al cemento fraguado en el fondo del pozo. Ellos reaccionan con los cristales de calizas y de aluminato tricálcico. Estos cristales requieren un mayor volumen que el provisto por el espacio poroso en el cemento fraguado, y dan por resultado una excesiva expansión y deterioro del cemento.

Se pueden encontrar estos sulfatos en las salmueras de las formaciones y algunos de ellos son, el sulfato de sodio y el sulfato de magnesio.

2.1.3.3 Cemento clase C. Está diseñado para emplearse a 1.830 m. (6.000 ft) de profundidad como máximo, con temperaturas de 77 °C (170 °F), donde se requiere alta resistencia a la compresión temprana, se fabrican en los tres grados de resistencia a los sulfatos (baja, moderada y alta). Este cemento presenta un alto contenido C_3S . El ASTM denomina a este cemento como “**Tipo III**”.

Este cemento requiere más agua de mezcla y por lo tanto se crea una lechada de baja densidad. Se asienta rápidamente pero no desarrolla mucha resistencia a la compresión. Tiene un alto contenido de C_3A .

2.1.3.4 Cemento clase D. Está diseñado para emplearse de los 1.830 m. (6.000 ft) hasta los 3.050 m. (10.000 ft) de profundidad con temperaturas de hasta 230°F. Es fabricado con una moderada (MRS) y alta resistencia a los sulfatos (HSR), por consiguiente, presenta mayor costo en comparación con otras clases de cemento. El ASTM lo clasifica como “**Tipo IV**”.

2.1.3.5 Cemento clase E. Está diseñado para emplearse de los 3.050 m. (10.000 ft) hasta los 4270 m. (14.000 ft) de profundidad con temperaturas de hasta 290°F y presión alta. Es fabricado con una moderada (MRS) y alta resistencia a los sulfatos

(HSR), por consiguiente, al igual que los “Cementos clase D” resultan más costosos que otras clases de cementos. Es clasificado por el ASTM como “**Tipo V**”.

2.1.3.6 Cemento clase F. Este cemento se usa de 3.050 m (10.000 pies) hasta 4880 m. (16.000 pies) de profundidad con temperaturas de 160 °C (320 °F), donde exista alta presión. Se fabrica en moderada y alta resistencia a los sulfatos. Estos cementos resultan más costosos que otras clases de cementos.

2.1.3.6 Cemento clase G y H. Comúnmente conocidos como cementos petroleros, son cementos básicos para emplearse desde la superficie hasta 2240 m. (8.000 pies). Pueden modificarse con aceleradores o retardadores de fragüe, para usarlos en un amplio rango de condiciones de presión y temperatura. Se fabrica en moderada y alta resistencia a los sulfatos.

En cuanto a su composición son similares a los cementos API Clase B. La composición química de los cementos clase G y H son esencialmente iguales. La principal diferencia radica en su área superficial, los cementos clase H son más gruesos que los cementos clase G, que se evidencia a través de sus diferentes requerimientos de agua. Los cementos clase G y H son los más usados hoy en día. Fueron desarrollados en respuesta a las mejoras de la tecnología de aceleramiento y retardación. El cemento más comúnmente usado es el G.

2.2 CEMENTACIÓN

La cementación comprende la preparación, bombeo y el desplazamiento de una lechada de cemento en un pozo, la cual se realiza para rellenar y sellar, una porción del espacio anular que se genera entre las paredes del hueco perforado con una broca de perforación y el revestimiento que se ha posicionado a la profundidad programada de acuerdo a las características del pozo, para colocar un tapón de desvío o *Sidetrack* con el fin de cambiar la dirección y/u orientación del pozo, o bombeo de tapones para que un pozo pueda ser abandonado parcial o totalmente, el abandono parcial se da cuando se desea aislar zonas o formaciones que ya no son de interés por su aporte de fluidos no deseados en la producción del pozo, cuando la compañía operadora decide dejar el completamiento para un futuro, así mismo ocurre en los pozos estratigráficos, los abandonos totales se dan cuando los pozos ya cumplieron un ciclo en el cual su producción no es suficiente para mantener el pozo y por ende se decide abandonar.

Dependiendo de la etapa en la que se encuentre el pozo se llevara a cabo el debido trabajo de cementación el cual puede ser:

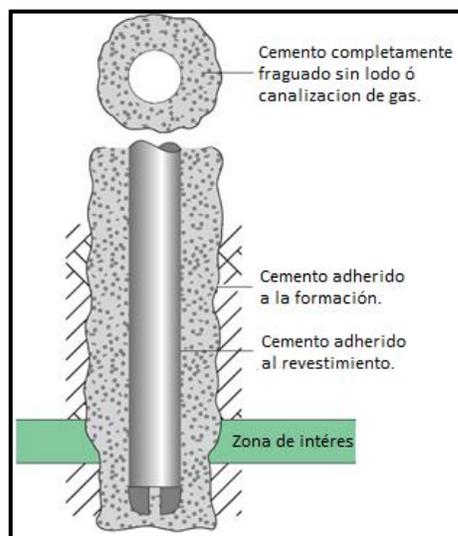
- Cementación primaria.
- Cementación secundaria.

2.2.1 Cementación primaria. La cementación primaria es el proceso de introducir cemento en el espacio anular entre el revestimiento y la cara de la formación expuesta al pozo (ver figura 5).

Desde su introducción en 1903, el mayor objetivo de la cementación primaria es el proveer un aislamiento en cada zona para pozos de petróleo, gas y agua, para que se excluya tanto agua como gas de una zona del petróleo. Para conseguir este objetivo, se requiere crear un sello hidráulico entre el revestimiento, el cemento y las formaciones, y al mismo tiempo prevenir la formación de canales de fluido en el cemento.

Este requerimiento hace de la cementación primaria la operación más importante realizada en el pozo. Sin el completo aislamiento en el pozo, el pozo puede que nunca alcance su potencial máximo de producción.

Figura 5. Cementación primaria



Fuente: Well cementing, Fig. P-1, objetivos de la cementación primaria.

Para el desarrollo de una satisfactoria operación de cementación primaria existen una serie de elementos a tener en cuenta, entre los cuales están:

Selección de la lechada: es un factor importante en la planificación de operaciones de cementación dado que una deficiente selección y falla en los cálculos desencadenaran drásticas consecuencias; tales como el aumento de los costos, riesgos de seguridad, afectación del medio ambiente y abandono del pozo. Es por esto que existen una serie de consideraciones para la selección de una lechada de cemento haciendo que varíe el diseño de cementación según el pozo, estas son:

- Densidad de la lechada
- Propiedades mecánicas y fuerza de compresión.
- Temperatura del pozo
- Aditivos del cemento
- Diseño de la lechada de cementación.

Durante la vida de un pozo productor de petróleo o gas la calidad del trabajo de cementación tiene un impacto directo sobre la longevidad del pozo desde el momento en que inicia su producción hasta su abandono. El diseño de la lechada de cementación que se implemente tendrá incidencia directa sobre la productividad del pozo de manera física y económica.

Mecanismos de colocación: El requerimiento más importante para un trabajo exitoso de cementación primaria es la buena remoción del lodo de perforación. Para llevar a cabo esta fase se cuenta con:

- Espaciadores y lavadores químicos: La mayoría de los fluidos de perforación y las lechadas de cementación son usualmente incompatibles, por esto se bombea una serie de fluidos denominados pre-flujos como intermedio para minimizar el contacto entre los dos; los pre-flujos pueden ser lavadores químicos que no contengan sólidos o espaciadores mezclados con otros aditivos con una densidad dada. Para estos, la compatibilidad química entre los fluidos bombeados en sucesión es sumamente crítica para el desplazamiento y remoción del lodo de perforación. Donde la selección de estos fluidos se debe realizar cuidadosamente para evitar problemas entre la fase de lodo - lavador/espaciador y lavador/espaciador – cemento.
- Centralización adecuada del revestimiento: Debido a la irregularidad del pozo el revestimiento nunca se encuentra totalmente en el centro del pozo; para minimizar esto se emplea una serie de collares articulados y fajas metálicas con formas de arco de caza conocidos como centralizadores con tal de mantener la tubería de revestimiento posicionada en el centro del pozo. En los casos donde la centralización del revestimiento no logra ser adecuada, se presentará una sección de espacio anular más amplio por donde circularán con mayor facilidad los fluidos comprometiendo cualquier estrategia para la remoción del lodo de perforación.

Control de pozo: cada pozo ofrece un rango de presiones el cual debe ser respetado para el diseño y la ejecución de un trabajo de cementación exitoso. Los límites de presión son normalmente la presión de poro en hueco abierto y los perfiles de presión de fractura, sin embargo, también es importante considerar las presiones de fractura de los tubulares para un adecuado diseño de una cementación y su

ejecución, buscando así conservar la integridad tanto de la formación como de la tubería de revestimiento.

Tubos en U: hace referencia a un conjunto de recipientes comunicados por su parte inferior y que tienen un líquido homogéneo, para el caso de una operación de cementación los recipientes intercomunicados son el revestimiento y el espacio anular a cementar, los fluidos en el revestimiento y el espacio anular tienden naturalmente a lograr un equilibrio de presión hidrostática durante el trabajo de cementación.

Preparación para el trabajo: una parte esencial del proceso de diseño es la revisión de los requerimientos de los equipos y su disponibilidad, su capacidad de almacenamiento, las facilidades del taladro, y la disponibilidad de espacio.

Durante la preparación para el trabajo de cementación, se considera el tipo de cemento adecuado para los requerimientos tanto del pozo como del cliente, así como varios aditivos, espaciadores mecánicos, químicos y reactivos, particularmente en locaciones donde la capacidad de almacenamiento y acceso a las localizaciones es limitada.

Se deben desarrollar pruebas de compatibilidad del cemento con las mezclas de cemento y con el agua de mezcla antes de llevar a cabo la operación para constatar que el desempeño de los materiales en la localización es consistente con los criterios de diseño desarrollados durante la fase de prueba piloto.

La empresa de servicios y la empresa operadora realizarán estrictos controles de calidad para asegurarse que los materiales en la localización se encuentran en perfectas condiciones y satisfagan los requerimientos de la operación en busca del mejor resultado para extender la vida del pozo.

2.2.2 Cementación Secundaria.²⁷ La cementación secundaria comprende todas aquellas operaciones en las que se emplean lechadas de cemento para solucionar problemas que se presenten en el pozo (en este caso infiltración de gas). Muchos problemas ocurren a lo largo de la vida productiva del pozo, es por esto que dependiendo de la causa del problema y finalidad se define en qué tipo de cementación remedial es necesario realizar.

²⁷ DACCOR, Gérard, DOMINIQUE, Guilliot, NILSSON, Frederik, Cementación de pozos, segunda edición, capítulo 14: Cementación remedial.

La cementación remedial se divide en:

- Tapón de cemento.
- Cementación forzada.

2.2.2.1 Tapón de cemento. Técnica de la cementación remedial secundaria, por la cual se bombea un volumen de lechada de cemento al pozo a través de una tubería de perforación, usualmente drill pipe y HWDP, de producción o con la ayuda de herramientas mecánicas como un tapón puente o Bridge Plug, Cement Retainer, en una zona determinada, en un hueco abierto o hueco revestido.

Su finalidad es proveer un sello contra el flujo vertical de los fluidos, proporcionar una plataforma o soporte para el desvío de la trayectoria del pozo y el abandono de pozos o zonas depletadas.

2.2.2.2 Cementación forzada. Proceso mediante el cual se fuerza una lechada de cemento a través de orificios en el revestimiento. Cuando la lechada se encuentra con una formación permeable, se filtran los sólidos de cemento hacia fuera de la lechada mientras la fase líquida ingresa forzada a la matriz de la formación en forma de filtrado de cemento. Una operación de cementación forzada diseñada de manera adecuada llenará los orificios y los vacíos relevantes con revoque de cemento que curará para formar una barrera impenetrable.²⁸

En algunos casos donde la lechada es colocada en intervalos fracturados, los sólidos del cemento deberán desarrollar un filtrado o puente en la fractura.

La cementación forzada tiene muchas aplicaciones durante las fases de perforación y terminación, las más comunes son:²⁹

- Reparar un trabajo de cementación primaria que tiene canalización o tiene una altura insuficiente en el espacio anular.
- Eliminar la intrusión de agua arriba y abajo del intervalo productor.
- Reducir la relación gas-aceite al aislar las zonas de gas de intervalos de aceite adyacentes.
- Reparar fugas de la tubería de revestimiento por corrosión o tubería ranurada.
- Abandono de zonas no productivas o agotadas.

²⁸ SCHLUMBERGER, OILFIELD GLOSSARY, Cementación a presión, Remediación e intervención de pozos. [citado el 30 de marzo de 2016]. Disponible en http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/s/squeeze_cementing.aspx

²⁹ GUERRERO HERNÁNDEZ, JUAN MANUEL, Opciones de taponamiento para abandono de pozos petroleros, cementación forzada, pág. 12.

- Sellar zonas de pérdida de circulación.
- Proteger las zonas productoras de la migración de fluidos.

2.3 MIGRACIÓN DE GAS EN LA CEMENTACIÓN.

“La migración es un fenómeno físico muy complejo que se identificó cuando se comenzaron a perforar pozos con mayor profundidad en donde existían mayores reservorios de gas³⁰ y depende del control de la densidad y la hidratación del cemento principalmente, generando el movimiento del gas que se produce en el reservorio en una zona de alta presión por medio de canales creados en el anular o espacios que quedaron sin cementarse llamados microanillos, entre las paredes ya sea cemento-formación o cemento-revestimiento.

Existen tres causantes de la migración de gas:

1. La presión hidrostática desciende a un nivel menor o igual a la presión de la formación.
2. Secciones sin cemento en el anular que permiten la entrada de gas.
3. Canales en el anular que permiten la migración de gas.

La comprensión y modelamiento del fenómeno de migración de gas son difíciles porque el conducto a través del cual el gas se canaliza (es decir, una columna anular llena de cemento, posiblemente con algún espaciador y fluido de perforación dejado en el pozo) evoluciona con el tiempo. El estado físico del cemento progresa de una mezcla líquida durante la colocación a un gel permeable durante un periodo estático limitado, a un sólido débil permeable y por último a un sólido impermeable después del fragüe. Es así que el proceso físico de la migración de gas se clasifica según lo que ocurre en la operación de cementación:

- **Migración inmediata de gas (durante la colocación):** se produce desde el inicio de la operación de cementación hasta su culminación. Durante este periodo de tiempo, la migración de gas resulta de la pérdida de presión hidrostática contra formaciones portadoras de gas. Uno de los pasos para evitar este tipo de migración es simplemente aumentar la densidad del fluido en el anular, pero esto puede ser peligroso porque el aumento resultante en la presión hidrostática permite conducir a la pérdida de la circulación o la formación de

³⁰ MARQUEZ F, Br. Evaluación de materiales cementantes para pozos de petróleo y/o gas con propiedades antimigratorias de gas. Trabajo especial de grado. Ingeniería Química; Universidad Central de Venezuela, 2002, p.53

fracturas. Debido a las diferentes densidades entre el lodo, el prefluo, el espaciador y la lechada (se pueden presentar fluctuaciones de densidad durante la cementación), la presión ejercida en la pared de la formación no es constante durante el trabajo, por ende, se debe realizar un diseño de cementación apropiado dando como resultado la colocación de una columna de cemento uniforme en el anular.

- **Migración de gas a corto plazo (post-colocación):** ocurre en unos minutos hasta unos días después del final de la operación de cementación. La migración de gas durante este periodo de tiempo es quizás la más compleja de entender, predecir e impedir. Se cree que el conductor primario para el acontecimiento de la migración durante esta etapa es el decaimiento de la presión anular, puede atribuirse a una combinación de varios factores: pérdida de fluido, encogimiento del cemento debido a la deshidratación, químicos libres y porosidad inherente de la mezcla. El camino de la migración es primero a través de cemento-filtrado cemento y luego a través de la permeabilidad de la matriz del cemento.
- **Migración de gas a largo plazo (fragüe):** la migración de gas a largo plazo ocurre en días, meses, o años después de la operación de cementación. El interés de la industria de predecir la migración a largo plazo se debe a preocupaciones ambientales por pozos de gas abandonados que pueden aportar gases al ambiente. La principal causa de este tipo de migración es la formación de canales en el cemento fraguado. Después del asentamiento del sistema de cementación pasa a ser sólido presentando una permeabilidad en el orden de microdarcys; por ende, el gas no puede migrar a través de los poros parcialmente saturados por agua de la matriz de cemento a cualquier velocidad. Esta migración puede darse por calanes existentes, canales de lodo, deshidratación del cemento; dejando de transmitir la presión hidrostática a través de las zonas de gas.

2.3.1 Factores que afectan la migración de gas.

- **Pérdida de fluido:** La pérdida de fluidos en sucesión afecta directamente las tres causas de la migración de gas, disminuyendo la presión anular debido a:
 - Puente anular
 - Aumento de los efectos de la gelificación por una reducción del contenido de agua de la lechada.
 - Una disminución en la altura de la columna hidrostática debido a la pérdida de volumen de la lechada.
 - Pérdidas de presión por fricción durante la compactación del cemento.

Debido a la disminución del volumen, la pérdida de fluido crea espacios dentro de la matriz del cemento estos espacios pueden ser ocupados por el gas. Es importante mencionar que un pobre control de pérdida de fluido a través de formaciones permeables más arriba del agujero puede también perjudicar la transmisión completa de la presión hidrostática a una zona de gas.

- **Desarrollo de la fuerza de gel estática.** Cuando la lechada de cemento se coloca en el anular en estado líquido transmite por completo la presión hidrostática en el hueco a medida que va transcurriendo el tiempo de fragüe y pasa por un tiempo de transición donde se comporta como un gel, “estructura que posee propiedades de cohesión que pertenecen al estado sólido así como la propiedad de fluir que pertenece al estado líquido”³¹ y es en ese punto donde la lechada pierde la capacidad de transmitir la presión hidrostática, debido a que comienza a cambiar de un fluido hidráulico que transmite completamente la presión hidrostática a un material sólido al cual se le puede medir la resistencia a la compresión.

En la determinación de los geles, el tiempo de transición es importante debido a que este es el intervalo en el cual la columna de lechada de cemento comienza a perder la capacidad para transmitir toda la presión hidrostática hasta que el cemento desarrolla la suficiente fuerza de gel para prevenir la entrada o migración de gas. Se ha determinado experimentalmente que el tiempo en el cual el desarrollo de geles de una lechada de cemento debe ser inferior a 30 minutos, a partir del cual se registra un valor en el punto de cedencia (YP) de 100 lb/100 ft², hasta que la fuerza requerida para poner en movimiento la lechada de cemento alcanza un valor de punto de cedencia de 500 lb/100 ft², partiendo de esta premisa es posible realizar el diseño de un espaciador con propiedades anti migratorias.

- **Contracción del cemento:** Reduce la presión anular proporcionando espacio para que el gas entre al pozo. Cuando el cemento entra en el periodo de asentamiento y la hidratación se acelera, las tensiones intergranulares aumentan debido al crecimiento de hidratos de silicato cálcico. La hidratación del cemento es responsable de una reducción absoluta del volumen de la matriz de cemento, también llamada contracción química del cemento. Cuando la suspensión de cemento comienza a fijarse, la presión hidrostática se aproxima

³¹ Ibid., p.59.

rápidamente a cero; en este punto, la columna de fluido anterior no puede restablecer la presión de poro.

- **Permeabilidad:** Guyvoronsky y Farukshin (1963) introdujeron por primera vez el concepto de la migración de gases a través de la estructura de poros de un cemento gelificado o muy permeable, así como también la percolación de gas dentro de la suspensión gelificante. Después de una ampliación inicial de los poros de cemento, se logra un estado pseudo-estacionario cuando se ha establecido comunicación en toda la columna de cemento y los canales de gas han alcanzado un tamaño estable. Concluyeron que, cuando una suspensión de cemento estable (es decir, con sedimentación de partículas insignificante) entra en el estado de transición, comienza a gelificarse, y la presión hidrostática disminuye en última instancia a la de su fase acuosa. Cuando comienza el ajuste inicial, esta presión (ahora una presión de poro) disminuye más.
- **Remoción del lodo.** “los microanillos pueden formarse en la interfase del cemento con la tubería o la formación. Estos microanillos se forman como resultado de oscilaciones en la temperatura o la presión al interior del pozo durante la cementación. En algunos casos, se pueden formar microanillos más grandes en la interface cemento-revestimiento, por canales formados debido a la mala remoción del fluido de perforación o lodo durante la adhesión del cemento al revestimiento a las paredes del pozo”.³²

En el cuadro 1, se resume los factores responsables para que haya una migración de gas. En la primera fila se encuentra la categoría de la migración que se explicó anteriormente, en la segunda columna son los factores que generan una presión hidrostática menor o igual a la presión de la formación, en la tercera columna se encuentran las brechas de migración de gas y por último la ruta de migración.

³² MONTOYA, Fabián. Conceptos básicos de cementación. Bogotá. Tucker Energy Services S.A., 2008.

Cuadro 1. Factores responsables de la migración.

CATEGORIA DE MIGRACIÓN	P Hidrostática \leq P formación	Espacio de entrada	Ruta de migración
Inmediata	Bajo balance hidrostático	Fluido desplazado del pozo	Fluido desplazado del pozo
Corto plazo	Pérdida de fluido	Perdida de fluido	Permeabilidad de la lechada
	Desarrollo de la fuerza de geles estaticos	Fluido libre	Permeabilidad de la lechada
	Encogimiento químico del cemento	Encogimiento químico del cemento	Permeabilidad del filtrado
	Puenteo anular	Porosidad de la lechada	Permeabilidad del filtrado
Largo plazo	Empaques anulares	Porosidad de la lechada	Permeabilidad del filtrado
	Encogimiento químico del cemento	Encogimiento químico del cemento	Microanillos
		Canal de loco	Canal de lodo
	Proceso de endurecimiento del cemento	Fluido libre	Canal del fluido libre
		Deshidratación del filtrado	Deshidratación del filtrado
		Encogimiento total del cemento	Encogimiento total del cemento
			Poco cemento en los topes
		Falla mecana del cemento	

2.4 ESPACIADORES ³³

Un espaciador es un fluido utilizado para separar los fluidos de perforación y las lechadas de cementación; prepara la tubería y la formación para un trabajo de cementación. Un espaciador puede ser diseñado para trabajar con cualquier fluido de perforación base agua o base aceite.

Se diferencian de un fluido lavador por el comportamiento que presentan frente al fluido de perforación; normalmente los lavadores diluyen el fluido de perforación y lo remueven a través de condiciones altas (flujo turbulento). Mientras que los espaciadores no recaen necesariamente en turbulencia, en vez de esto, los espaciadores pueden utilizar la viscosidad o la densidad para un desplazamiento eficiente, e inclusive por medio de un flujo laminar de ser necesario.³⁴

2.4.1 Principales compuestos de los Espaciadores. Los espaciadores en su composición cuentan con:

Viscosificadores³⁵: son necesarios para suspender el peso y controlar las propiedades reológicas. Estos se pueden subdividir en dos clases, polímeros solubles y arcillas.

- Poliacrilamidas.
- Derivados de celulosa.
- Varios biopolímeros, incluyendo:

³³ DACCOR GÉRARD, DOMINIQUE GUILLIOT, NILSSON FREDERIK, Cementación de pozos, segunda edición, capítulo 5: Remoción de lodo, Espaciadores p. 185-187

³⁴ PACHECO JIMÉNEZ, GUERRA G. Oscar Obed., Factores que determinan la selección y aplicación de los sistemas de fluidos lavadores y espaciadores en los trabajos de cementación primaria. Mexico D.F Ciudad Universitaria, 2012 [en línea]. p. 30, Disponible en:
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2203/TESIS%20AGOSTO%2021%20-III.pdf?sequence=1>

³⁵DACCOR GÉRARD, DOMINIQUE GUILLIOT, NILSSON FREDERIK, Cementación de pozos, segunda edición, capítulo 5: Remoción de lodo, Espaciadores p.186

- Goma xántica: Ha sido utilizada en la industria del petróleo como viscosificante y particularmente en fluidos de perforación.
- Escleroglucano: Este biopolímero tiene buenas propiedades de suspensión de partículas y por tanto es usado en espaciadores.
- Goma Welan: Se ha convertido en el más usado para espaciadores por que mejora la suspensión estática y dinámica. La goma Welan es un polímero bio-fermentado el cual es altamente compatible con los fluidos de perforación base agua o base aceite, y las lechadas de cemento.
- Goma Diutano: Esta recientemente introdujo las gomas solubles en agua, útiles en espaciadores, es un polímero bio-fermentado obtenido de una cepa bacteriana de origen natural del género Sphingomonas. Es un viscosificador más eficiente que la goma welan o goma de xantano y es estable a altas temperaturas.
- Arcillas: Como la bentonita, la atapulgita, kaolinita, y la sepiolita. La bentonita y la sepiolita son usadas comúnmente en Bio-polímeros.

Dispersantes: mejoran la compatibilidad del espaciador con lodos base agua y lechadas de cemento, reducen la viscosidad del espaciador lo que hace posible una presión más baja durante la fase de colocación.

Agente de control de pérdida de fluido: estos agentes son usualmente polímeros solubles en agua y se encargan de controlar la pérdida de fluido en la formación por efectos de filtración.

Durante la operación de cementación la pérdida de la fase acuosa del espaciador puede afectar considerablemente el desempeño del espaciador y la lechada, viéndose reflejado en el fraguado de ésta. La pérdida de fluido hacia la formación o sección de interés representa un alto riesgo de daño a la permeabilidad de la formación de cara al pozo.

Densificantes: son materiales en estado sólido que presentan una alta gravedad específica, implementados para aumentar la densidad del espaciador y así obtener el valor de densidad deseada.

Entre estos se encuentran el carbonato de calcio, la barita, hematita y el tetra óxido de magnesio.

Surfactantes: incrementan la compatibilidad de los espaciadores con lodos base aceite y dejan la superficie del revestimiento humectada al agua.

Opcionalmente el NaCl y el KCl son usados para proteger o prevenir la disolución masiva de la formación de sales o de lutitas mojadas por agua.

2.4.2 Funciones de un espaciador. Los espaciadores son de gran ventaja para mantener el fluido de perforación y compuestos de cementación separados. Los espaciadores también ayudan de manera efectiva a remover el lodo de perforación. Un espaciador es usado en operaciones de cementación para realizar las siguientes tareas:

- Separa el lodo de perforación de la lechada de cemento para eliminar la compatibilidad potencial y evitar su contaminación.
- Mejorar la eficiencia de desplazamiento al lograr flujo turbulento en rangos de bombeo razonables según sus propiedades reológicas.
- Remover el fluido de perforación y el enjarre (depósitos de sólidos contra la pared de la formación que se perforó).
- Proteger la formación controlando la presión de formación e inhibiendo zonas sensibles al agua.
- Con el objeto de completar estas tareas, el espaciador debe ser compatible con la lechada y con el fluido de perforación. La incompatibilidad en las interfaces donde los diferentes fluidos hacen contacto genera un efecto de alta viscosidad. Este efecto puede ser desastroso para la operación de cementación.

La incompatibilidad interfacial es un problema que un espaciador puede minimizar al encontrarse entre el fluido de perforación y la lechada y a su vez reduciendo la posibilidad de contaminación del cemento por parte del fluido de perforación. La contaminación no necesariamente puede ser un problema tan serio como la incompatibilidad interfacial, pero debe ser evitada porque afecta el desarrollo de esfuerzo compresivo y el tiempo de espesamiento de la lechada de cemento³⁶.

³⁶ PACHECO JIMÉNEZ, Guerra G. Oscar Obed., Factores que determinan la selección y aplicación de los sistemas de fluidos lavadores y espaciadores en los trabajos de cementación primaria. México D.F Ciudad Universitaria, 2012 [en línea]. p. 34 - 36, Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2203/TESIS%20AGOSTO%2021%20-III.pdf?sequence=1> [citado el 19 de octubre de 2015].

2.4.3 Clasificación de los espaciadores. Pueden ser divididos en dos categorías base agua y base aceite; en la actualidad los base agua son los más implementados con el fin de cumplir las normativas ecológicas vigentes de la industria petrolera, mientras unos pocos son de base aceite. Ambos sistemas tienen ventajas y desventajas. Los actuales espaciadores base aceite a menudo utilizan aceite sintético para evitar los problemas ambientales del aceite a base de hidrocarburos como en el caso del diésel. Los espaciadores base agua tienden a dejar el acero de la tubería de revestimiento humedecida con agua proporcionando mayor adherencia del cemento.

Para lodos densificados, los espaciadores deben diseñarse con materiales densificantes haciendo que el espaciador tenga mayor densidad que el lodo. Un espaciador con menor densidad dará como resultado una mala eficiencia de desplazamiento y remoción de lodo. La viscosidad de los espaciadores densificados puede modificarse para incrementar aún más el desplazamiento del lodo.³⁷

También existen espaciadores emulsionados, en donde la fase continua y la fase dispersa se eligen de acuerdo a las especificaciones del pozo; estos espaciadores pueden ser usados tanto con lodos base aceite como con lodos base agua, aunque su uso ha sido destinado principalmente para casos donde se ha trabajado con lodos base aceite. Se dividen en dos categorías, emulsión de agua en aceite y emulsión de aceite en agua.

Una emulsión estable de aceite (fase dispersa) en agua (fase continua) se implementa en casos donde se han adelantado trabajos de perforación con lodos base aceite, buscando minimizar la posibilidad que el contacto de la lechada con el lodo genere altos diferenciales de presión durante la cementación provocando un incremento en el daño a la formación; este tipo de espaciador emulsionado actúa como un solvente en la remoción del lodo base aceite, al ser la fase continua agua se permitirá dejar la superficie de la tubería a cementar y la de la formación humectadas al agua.

Se han realizado también estudios sobre emulsiones en donde la fase continua es el aceite y la dispersa es el agua, determinando experimentalmente que su interacción con el cemento resulta perjudicial en la operación de cementación, afectando de la misma manera que lo hace un lodo base aceite, en donde la

³⁷ *Ibíd*, p. 18-19

adherencia del cemento se ve reducida por la humectación, y se incrementa la pérdida de filtrado hacia la formación.

2.5 LAVADORES QUÍMICOS

Al igual que los espaciadores hacen parte de los pre-flujos, son fluidos con una densidad muy cercana a la densidad del agua la cual también es su fluido base, por lo que pueden ser bombeados en regímenes turbulentos con facilidad e implementados en secciones anulares pequeñas con una geometría regular del pozo. Son usados principalmente para generar un fluido turbulento en todas las secciones del espacio anular y así remover y diluir el lodo de perforación; en casos donde se han usado lodos base agua el lavador más sencillo puede ser el agua directamente, sin embargo, para una dilución y remoción del lodo de perforación es común que se le agregue a los lavadores dispersantes y surfactantes.

Los dispersantes utilizados en los lavadores químicos son similares a los implementados en las lechadas de cemento, poli-naftalenos sulfonatos, lignosulfonatos o algunos más amigables con el medio ambiente como los derivados de ácido poli-carboxílico.

Cuando una emulsión inversa es implementada como fluido de perforación, el lavador químico es una mezcla de agua, solvente mutuo y surfactantes que ayudan a limpiar residuos de aceite absorbidos en la superficie de los sólidos o un lavador de aceite seguido de un lavador químico base agua.

Los solventes mutuos son componentes que incorporaran compuestos base aceite o base agua en una sola fase, estos son agregados en una concentración entre el 1 y el 10 % en volumen, un solvente mutuo típico es el etilenglicol, el monobutilo y éter.

Los lavadores químicos deben cumplir con tres principales atributos que son:

1. Ser compatible tanto con el lodo de perforación como la lechada de cemento.
2. Presentar una óptima reología y densidad bajo condiciones de pozo para asegurar un buen desplazamiento de lodo de perforación.
3. Tener una composición química adecuada para limpiar las superficies y favorecer el desarrollo de una humectabilidad al agua.

Como valor agregado los pre-flujos tanto espaciadores como lavadores no deben incrementar el daño a la formación por un exceso de filtrado o por un cambio de la humectabilidad de la roca, en algunos casos un solo fluido no puede cumplir con todos los atributos por lo que es posible de ser necesario bombear múltiples pre-flujos en secuencia.

2.6 POLÍMEROS

Son macro moléculas generalmente orgánicas que están formadas por la unión de cientos de miles de moléculas más pequeñas de diferentes maneras llamadas monómeros; los monómeros son moléculas orgánicas formadas por átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno.

2.6.1 Clasificación de los polímeros. Los materiales de origen polimérico se clasifican de acuerdo a su comportamiento frente al calor, dependiendo de cómo están enlazadas las cadenas obtenemos tres grupos de materiales de naturaleza polimérica: termoplásticos, termoestables y elastómeros.

2.6.1.1 Termoplásticos. Para ser conformados este tipo de polímeros precisan de la aplicación de esfuerzos de manera previa al enfriamiento que les confiere la forma definitiva. Estos materiales pueden ser recalentados y reformados varias veces sin cambios significativos en sus propiedades. Obtienen su nombre debido que se ablandan y se plastifican. La estructura molecular es principalmente lineal.

Al solidificarse pueden dar lugar a un sólido cristalino o uno no cristalino, durante el proceso de enfriamiento presentan un comportamiento viscoso hasta llegar al punto que presentan un comportamiento de vidrio quebradizo.

Entre los termoplásticos de más interés en ingeniería encontramos lo que son:

Policloruro de vinilo (PVC): implementado para tuberías, válvulas, revestimientos de suelos, aislantes eléctricos, revestimientos de automóviles,

Polietileno: Existen dos tipos, el de baja densidad (LDPE) y el de alta densidad (HDPE). El de baja se caracteriza por tener una estructura de cadena ramificada de menor grado de cristalinidad y densidad, mientras que el de alta presenta generalmente una estructura de cadena lineal con mayor cristalinidad y más alta resistencia. Entre sus aplicaciones encontramos embalaje, aislantes eléctricos, artículos del hogar y botellas.

2.6.1.2 Termoestables. Presentan una estructura de tipo reticular con base de uniones covalentes con entrelazamiento transversal de cadenas, producidos por el calor o por una combinación de calor y presión durante la reacción de polimerización y se degradan por calentamiento a elevadas temperaturas.

La estructura altamente reticulada que poseen los materiales termoestables es la responsable directa de las altas resistencias mecánicas y físicas que presentan comparados con los materiales termoplásticos y elastómeros.

Los polímeros termoestables son obtenidos a menudo en forma de dos resinas líquidas; una contiene un agente de iniciación, endurecedores y plastificantes; la

otra contiene materiales de relleno y/o reforzantes que pueden ser orgánicos o inorgánicos.

La característica más representativa de los polímeros termoestables es el punto de gelificación, que hace referencia al momento en que se pasa de una manera irreversible de un estado líquido-viscoso a un estado sólido. Una vez superado dicho punto el material deja de fluir y no puede ser moldeado o procesado nuevamente por lo que una vez formados su estructura es permanente y generalmente se presentan duros y rígidos aún a temperaturas elevadas.

Uno de los aspectos negativos que presentan los materiales termoestables es su nula capacidad de reciclaje dado a que una vez solidificados es imposible volver a una fase líquida del material; los materiales termoestables tienen la propiedad de no fundirse o deformarse en presencia de temperatura o calor.³⁸

En general, las ventajas de los plásticos termoestables para aplicaciones en ingeniería son:³⁹

1. Alta estabilidad térmica.
2. Alta rigidez.
3. Alta estabilidad dimensional.
4. Resistencia a la termofluencia y deformación bajo carga.
5. Altas propiedades de aislamiento eléctrico y térmico.

Entre los polímeros termo estables encontramos lo que son las resinas fenólicas, las resinas epoxi, poliésteres insaturados, ureas, melaninas y siliconas.

2.6.1.3 Elastómeros. Los elastómeros o gomas se caracterizan por las extraordinarias deformaciones elásticas que experimentan al aplicar una fuerza sobre ellos, recuperando su forma original totalmente o casi totalmente cuando cesa la fuerza. Su estructura es reticulada, pero en menor extensión que en los materiales termoestables. Los cauchos natural y sintético son los ejemplos más comunes de elastómeros.

La cadena principal de este tipo de polímero se encuentra enrollada cuando se aplica un esfuerzo, ésta se alarga al desenredarse la cadena lineal. Cuando el

³⁸ Los adhesivos.com, Que es un termoestable, [en línea]. Disponible en: <http://www.losadhesivos.com/termoestable.html>

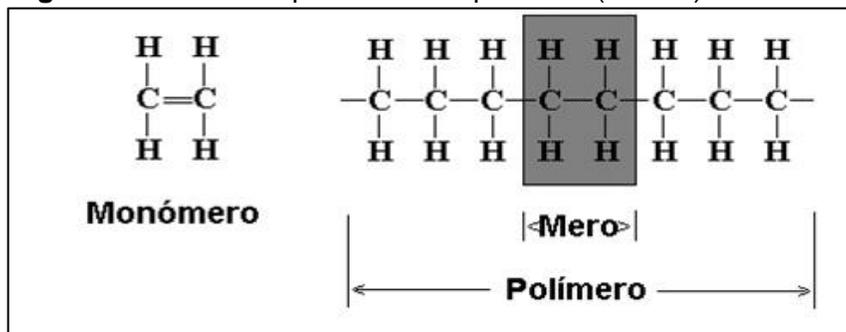
³⁹ Curso de Fundamentos de Ciencia de Materiales, Materiales Poliméricos y Compuestos, Polímeros termoestables, [en línea]. Disponible en: https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_6.html.

esfuerzo desaparece, las cadenas vuelven a enrollarse y el polímero regresa a su forma y tamaño originales.

Entre los elastómeros más representativos encontramos el poliisopreno utilizado para la fabricación de llantas; polibutadieno usado para la fabricación de neumáticos industriales y el aislamiento de vibraciones; y por último la silicona implementada para en algunos casos brindar sello en juntas o cierres.

2.6.2 Polimerización⁴⁰. Es una reacción química por la cual compuestos de bajo peso molecular forman enlaces entre sí, esto da lugar a una molécula de gran peso (macromolécula), ya sea esta de cadena lineal o de estructura tridimensional, denominada polímero.

Figura 6. Estructura química de un polímero (Etileno).



Fuente. MARIANO. Tecnología de los plásticos. Colombia. 2013. [en línea]. Disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2013/07/polimerizacion.html>.

Las categorías principales de polimerizaciones son:

- Polimerización por adición y condensación.
- Polimerización de crecimiento en cadena y en etapas.

Polimerización por adición y condensación: en la polimerización por adición, la molécula entera del monómero pasa a formar parte del polímero; en cuanto a la polimerización por condensación, parte de la molécula se pierde cuando pasa a

⁴⁰ MARIANO. Tecnología de los plásticos. Colombia. 2013. [en línea]. Disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2013/07/polimerizacion.html>. [citado el 29 de Octubre de 2015].

formar parte del polímero, dejando así moléculas pequeñas como agua o cloruro de hidrógeno.

Polimerización por adición:

Como se menciona anteriormente, en este proceso no hay pérdida de átomos, es decir la cadena resultante es igual a la suma de las composiciones químicas de los monómeros que la conforman. Un ejemplo es la síntesis del polietileno, donde se polimeriza el etileno para obtener el polietileno.

En esta las moléculas de monómero se activan por efecto de la temperatura, presión o catalizador generando el rompimiento de los enlaces dobles presentes y permitiendo las uniones en los monómeros completando las cadenas siempre que existan cadenas libres.

Polimerización por condensación:

En la polimerización por condensación se generan subproductos, se pierde una molécula pequeña en el proceso. Un ejemplo es el nylon 6,6 (poliamida) donde el cloruro de hidrógeno gaseoso es expulsado del proceso. En este proceso también se produce la activación por efecto de la temperatura, presión o catalizador, produciéndose la reacción de dos grupos activos que dan lugar a un tercero que se repite en la cadena polimérica.

Polimerización de crecimiento en cadena y en etapas: divide las reacciones de polimerización en dos categorías:

- Polimerizaciones por crecimiento de cadena.
- Polimerizaciones por crecimiento en etapas.

Polimerizaciones por crecimiento de cadena: se forma una cadena de monómero a monómero, uno a la vez. Un ejemplo es la polimerización aniónica por formación de un carbono- anión del estireno, para obtener poliestireno.

Polimerizaciones por crecimiento en etapas: las cadenas en crecimiento pueden reaccionar entre sí para formar cadenas aún más largas. Esto es aplicable a cadenas de todos los tamaños. En una polimerización por crecimiento de cadena sólo los monómeros pueden reaccionar con cadenas en crecimiento.⁴¹

⁴¹ MARIANO. Tecnología de los plásticos. Colombia. 2013. [en línea]. Disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2013/07/polimerizacion.html> [citado el 29 de Octubre de 2015]

La polimerización presenta tres fases⁴²:

- 1) **Iniciación.** Provocada por la acción de peróxidos orgánicos, estos mediante calor o radiación rompen su estructura para dar lugar a radicales libres (con electrones libres) que obligan al desdoblamiento del doble enlace.
- 2) **Propagación.** Se produce el crecimiento de la cadena de un modo espontáneo.
- 3) **Terminación.** El crecimiento de la cadena acaba cuando se produce la unión del extremo de la cadena en crecimiento con un radical libre (finalizador) o por la unión de los extremos de dos cadenas en crecimiento simultáneo.

2.6.3 Resinas poliméricas. Una resina polimérica es un líquido pre-acelerado que al ser mezclado con un catalizador da paso a el proceso de polimerización por medio del cual se convierte en un polímero, al activarse se produce una reacción de tipo exotérmico, es decir que libera calor.

Aquellas sustancias orgánicas segregadas por muchas plantas pueden ser consideradas como resinas en especial por árboles tipo conífera, que sufren un proceso de polimerización o secado dando lugar a productos sólidos siendo en primer lugar líquidas. Así, también se consideran resinas algunas sustancias sintéticas con propiedades semejantes a las resinas naturales.

De estas se destacan tres tipos de resinas base para la creación de polímeros:

Resinas Fenólicas: fueron las primeras en ser utilizadas e implementadas para el uso comercial en la obtención de polímeros sintéticos, la producción de papel lija, moldes de fundición, barnices y aislamientos térmicos. En 1907, gracias a la reacción del fenol con formaldehído se fabrica la primera sustancia plástica totalmente sintética, la baquelita nombrada así en honor a su creador el belga Leo Baekeland es de bajo costo y de excelentes propiedades aislantes, eléctricas y térmicas.

Las resinas fenólicas, presentan un olor característico que se intensifica al calentarlas. Los productos de resinas fenólicas se oscurecen con el tiempo al estar expuestas a la luz solar; la radiación ultravioleta es la principal responsable de la iniciación de procesos de degradación de polímeros (la capacidad de absorción del material es determinante, sólo será dañado por las radiaciones que absorbe; si la energía de estas radiaciones es suficiente para romper enlaces se producirán

⁴² Curso de Fundamentos de Ciencia de Materiales, Unidad 15. Materiales Poliméricos y Compuestos, 2. Estructura y mecanismos de polimerización, [Citado marzo, 2016] Disponible en: https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_2_1.html

efectos degradativos), dentro de las radiaciones UV se ha comprobado que las de longitud de onda larga son las responsables de las reacciones de fotooxidación, mientras que las de onda más corta producen la escisión directa de las cadenas poliméricas. Las resinas fenólicas a las que se les interrumpe el proceso de endurecimiento se comercializan líquidas como adhesivos.⁴³

Este tipo de resinas se obtiene a partir de reacciones de condensación, son líquidas a temperatura ambiente y deben curarse para alcanzar el estado sólido. El curado es un proceso en el que ocurre a nivel molecular transformaciones químicas y estructurales; se forman estructuras entrecruzadas o reticuladas realizándose por distintos métodos químicos a temperatura ambiente y/o calentamiento a temperaturas elevadas o radiaciones UV.

Para el curado de las mismas se precisan entre 120-177 °C y se suelen adicionar componentes de relleno que aumentan su peso desde un 50 a 80%, reduciendo la contracción, de esta manera se disminuyen costos y aumenta la resistencia.

Poliésteres: es una resina caracterizada por presentar resistencia a diversos agentes químicos y a la humedad, facilitando que se implemente en la fabricación de diversos productos entre los que están las cañerías, hilos, fibras, pinturas y envases; En función de su estructura química el poliéster puede ser un termoplástico o un plástico termoestable; sin embargo, los poliésteres más comunes son termoplásticos.

Entre los poliésteres termoplásticos encontramos el PET (Politereftalato de Etileno) el cual es resistente a la corrosión y el calor empleado para la producción de botellas y otras clases de recipientes. El PET también se caracteriza porque puede ser reciclado bien sea a través de un proceso químico o acción mecánica.

Entre los poliésteres termoestables encontramos los poliésteres insaturados, que se caracterizan por presentar un doble enlace de carbono muy reactivo. El enlace éster se produce por la reacción de un alcohol con un ácido orgánico; la resina poliéster se forma por la reacción de un diol (alcohol con dos grupos -OH) con un di-ácido que tiene un doble enlace muy reactivo. Estos presentan bajas viscosidades siendo susceptibles de mezclarse con grandes cantidades de materiales de relleno y reforzantes con hasta un 80% de fibra de vidrio; Son usados en la fabricación de paneles de automóvil y prótesis, tuberías, conductos etc.

⁴³ Revista Iberoamericana de Polímeros, Volumen 17(6), Noviembre de 2016, RESINAS TERMOESTABLES DE FENOL-FORMALDEHÍDO [Citado marzo, 2016] Disponible en: <http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/NOV16/covarrubias.pdf> [citado el 29 de enero de 2017]

Resinas Epóxicas o Epoxi: las resinas epoxi corresponden a un grupo de éteres cíclicos u óxidos de alqueno que poseen un átomo de oxígeno unido a dos átomos de carbono adyacentes. Las resinas epoxi más frecuentes son el producto de una reacción entre bisfenol-a y la epiclorohidrina; el bisfenol A que se obtiene de fenol y acetona. Pertenecen al grupo de los polímeros termoestable y están constituidas generalmente por dos componentes: una resina líquida y un agente endurecedor. Al ser mezclada la resina con un endurecedor o agente de iniciación reacciona y la convierte en un polímero de manera irreversible generando la solidificación de la resina.

En la polimerización de este tipo de resina no se da lugar a productos de reacción, además de presentar poca contracción estos se caracterizan por presentar una buena adherencia a otros materiales con buena resistencia química, propiedades mecánicas y buen comportamiento como aislante eléctrico. Suelen presentar un bajo peso molecular que en estado líquido proporciona una elevada movilidad; por si misma no presentan ninguna propiedad útil, por esto se mezcla en conjunto con otros productos para hacerle reaccionar y obtener así un polímero.

Todas las reacciones de las resinas epoxi son de tipo exotérmico, siendo la temperatura un factor decisivo en la velocidad de estas reacciones, de ahí que sea necesario un preciso control para evitar una degradación del material. Durante la polimerización se pueden dar algunas reacciones de los compuestos a temperatura ambiente, pero se requiere la aplicación de calor para que se alcance los enlaces entre monómeros. Algunas resinas requieren curación mediante oxidación con aire seco o mediante dobles enlaces con amino resinas (urea formaldehído, melamino-formaldehído) a elevadas temperaturas.

Los agentes de iniciación pueden ser divididos en dos grupos: Catalíticos y polifuncionales. Los catalíticos actúan como iniciadores de una homopolimerización de las resinas, mientras que los polifuncionales, en cantidades estequiométricas, actúan como reactivos o como monómeros dando lugar al entrecruzamiento de las moléculas de resina a través de ellos mismos. También pueden ser clasificados en función de su temperatura de trabajo; como se ha mencionado existen agentes de iniciación que trabajan a temperatura ambiente, aunque algunos toman demasiado tiempo en actuar hacen que el proceso tarde más de lo esperado por lo que existen agentes de iniciación en frío (temperatura ambiente) y agentes de iniciación en caliente. Por último, es de considerar el tiempo que tarda la resina en convertirse en polímero debido a que durante este tiempo la resina será manejable antes de solidificarse; a esto se le denomina como el tiempo de gel (tiempo de transición) y se encuentra en función de la formulación de la resina, se llevará a cabo la selección de la formulación más idónea de acuerdo con el tiempo que se requiera en un estado manejable la resina.

3. PARÁMETROS TÉCNICOS DEL DISEÑO DE UN ESPACIADOR

A continuación, se presentan los parámetros necesarios para llevar acabo el diseño de un espaciador.

3.1 TIPO DE ESPACIADOR

Para dar inicio a la fase de diseño de un espaciador, Tucker Energy Services S.A estipula que se debe de conocer primero bajo qué características y condiciones de pozo se va a trabajar, por esto se dividen los espaciadores en tres tipos de acuerdo a los requerimientos y necesidades de cada pozo.

3.1.1 Tipo 1. Corresponde a todos aquellos espaciadores que pueden ser utilizados en pozos donde la densidad de los fluidos debe de estar en un rango de 10 a 12 ppg, que no presenten propiedades anti-migratorias. Este tipo de espaciadores se dividen en tres.

- Carbonato de Calcio. Su uso es requerido cuando en el pozo se presentan pérdidas, se debe de controlar su densidad para no generar efectos negativos sobre el ECD del pozo y minimizar el daño a la formación.
- Goma Welan (Biozan). Es un espaciador ligeramente pesado con una densidad de 10 a 12 ppg, es necesario utilizarlo cuando se evidencian influjos de agua en el pozo durante la perforación, también se utiliza durante operaciones convencionales, al igual que el espaciador a base de CaCO_3 se debe de controlar su densidad para evitar efectos negativos sobre el ECD del pozo.
- Flow Check. Es un espaciador utilizado para sellar, minimizar y controlar pérdidas, consiste en una reacción rápida de cloruro de sodio (CaCl_2) con Silicato de sodio (Na_2SiO_3).

3.1.2 Tipo 2. Corresponde a los espaciadores que pueden ser utilizados en pozos de gas, donde sus densidades deben estar entre 14 y 17 ppg. Presentan propiedades anti-migratorias. Estos espaciadores son a base de Barita y se utiliza también Biozan en una proporción de 1 lb/bbl.

3.1.3 Tipo 3. Corresponde a los espaciadores que pueden ser utilizados en pozos que presentan producción de hidrocarburos líquidos y gaseosos, un alto o bajo grado de fractura, la densidad de estos espaciadores puede ser modificada de acuerdo a las condiciones del pozo con tal de brindar un sello de cara a la formación, es decir son anti-migratorios. En este tipo se encuentra el espaciador con base en una resina polimérica.

A continuación, en el **cuadro 2**, se resumen los tipos de espaciador.

Cuadro 2. Tipos de espaciador.

Tipo de Espaciador	Base	Descripción	Densidad de trabajo (ppg)
1	CaCO ₃	<ul style="list-style-type: none"> Usar cuando se presentan pérdidas en el pozo, no es antimigratorio 	10 a 12
	Biozan	<ul style="list-style-type: none"> Usar cuando se presentan influjos de agua, Ligeramente pesado, densidad de 10 a 12 ppg, 	
	Flow check	<ul style="list-style-type: none"> Usado para sellar y minimizar pérdidas de fluido, es una reacción rápida entre CaCl₂ y Na₂SiO₃. 	
2	Barita y Biozan	<ul style="list-style-type: none"> Para pozos de Gas, Es antimigratorio. Biozan es utilizado en una proporción de 1lb/bbl 	14 a 17
3	Resina Polimérica	<ul style="list-style-type: none"> Pozos que presentan producción de gas, antimigratorio. 	Adecuada según condiciones de pozo.

3.2 VOLUMEN DE ESPACIADOR

Luego de haber definido el tipo de espaciador, es necesario conocer el volumen de espaciador que se requiere, como se realiza en la **sección 5.1.2**, y determinar cuáles son las cantidades de cada uno de los reactivos a utilizar de acuerdo a la composición del espaciador, como se realiza en la **sección 5**.

Este volumen de espaciador bajo parámetros de control de pozo necesariamente proveerá por lo menos 1000 pies de altura en contacto con la pared de éste, y está definido por un diámetro de pozo con el mínimo de zonas lavadas.

Por otro lado, el volumen de espaciador debe ser suficiente para proveer 10 minutos de contacto con la formación.

Para conocer el requerimiento de volumen de espaciador y llevar a cabo un trabajo eficiente de cementación, primero se determina el volumen para el mínimo de 1000 pies y, posteriormente el volumen de espaciador para toda la sección a cementar.

3.3 DENSIDAD DEL ESPACIADOR

Hace referencia a la masa por unidad de volumen del espaciador. Por especificaciones pre-establecidas por parte de Tucker Energy Services S.A, el espaciador presentará una densidad con un valor mayor a la densidad del lodo de perforación de hasta una libra por galón.

El papel que juega la densidad es de suma importancia en la fase del diseño de un espaciador, al identificar el tipo de espaciador ya se conoce el rango de densidad de trabajo que requiere la operación de cementación. Para definir la densidad con la cual se realizará el diseño del espaciador se verifica la densidad que tienen tanto el lodo de perforación como el cemento y así definir el valor de densidad del espaciador en el rango de máximo 1 lb/gal mayor a la densidad del lodo. Esto para evitar que los fluidos en sucesión (lodo, espaciador y cemento) se mezclen al ejercer presión durante su bombeo manteniendo así la jerarquía reológica del tren de fluidos.

También tiene influencia sobre la resistencia a la compresión del espaciador donde un valor de densidad bajo causara que el espaciador presente una baja resistencia y un valor alto causara que el espaciador presente una alta resistencia a la compresibilidad.

3.4 PRESIÓN

La presión en pozo es de suma importancia para el diseño de un espaciador por lo que limita el valor de la densidad para los espaciadores, haciendo que la presión hidrostática que ejerce el espaciador en función de su densidad sea menor a la presión de fractura en el pozo y mayor a la presión de poro.

Para tener una idea cercana del comportamiento que tendrá el espaciador mientras es bombeado en el pozo, se realiza una simulación bajo las condiciones que presenta el pozo de correlación con BHCT (**B**ottom **H**ole **C**irculating **T**emperature) y BHP (**B**ottom **H**ole **P**ressure). De no realizarse de esta manera, es decir bajo condiciones atmosféricas se obtendría el tiempo de bombeo simplemente para un caso de un sistema a baja presión y baja temperatura.

3.5 TEMPERATURA

Es la que mayor influencia presenta sobre el diseño de un espaciador; afectando la resistencia a la compresión que desarrolla éste luego del fraguado, conforme la temperatura aumenta el espaciador se deshidrata, lo que incrementa su resistencia. La temperatura afecta sustancialmente las propiedades reológicas (Viscosidad Plástica y Punto Cedente) tanto del espaciador como de cualquier otro fluido que se utilice en un pozo, el grado de afectación por parte de la temperatura es altamente dependiente de las concentraciones que se formulen y trabajen para cada fluido por la deshidratación que sufren en el pozo.

Para conocer como la temperatura afecta el espaciador se debe de realizar las medidas con los valores correspondientes a la temperatura circulante, la temperatura en el fondo y la estática.

3.5.1 Temperatura de Fondo. Es la temperatura existente en el pozo a su profundidad vertical verdadera y, se toma como la máxima temperatura a la que se va a trabajar durante el desarrollo de una operación de cementación, tanto como para la lechada de cemento como para el espaciador y el lavador. Generalmente es determinada respecto al gradiente geotérmico de la zona, o por medición de manera directa de la temperatura de un pozo luego de un periodo apreciable de producción o con una sonda de registros eléctricos.

3.5.2 Temperatura circulante. Corresponde al valor de temperatura bajo el cual el espaciador va estar sometido cuando se ubica en el interior del pozo y los fluidos están a condiciones dinámicas, de no tenerse el valor puntual se requiere de al menos tres temperaturas diferentes que cubran el rango con el cual el fluido va a interactuar durante el desarrollo de la operación y permitan conocer cómo se comportará la viscosidad plástica y el punto cedente con la temperatura.

3.5.3 Temperatura Estática. Corresponde a la temperatura sin perturbaciones en el fondo del pozo. Una vez finalizada la circulación de fluidos, la temperatura en el pozo se aproxima a la temperatura estática de fondo (BHST) original después de aproximadamente 24 horas. Es usualmente calculada haciendo uso de gradiente geotérmico de la zona. Los estándares del API estipulan que la resistencia a la compresión debe de ser evaluada bajo la temperatura estática, al igual que la Fuerza de geles estáticos, en la cual se mide la fuerza requerida para poner en movimiento un fluido, después de haber estado en condiciones estáticas durante un periodo determinado.

A continuación, en el **cuadro 3**, se mencionan los criterios correspondientes a cada uno de los parámetros para el diseño de un espaciador con excepción del tipo de espaciador que se encuentran ya expuestos en el **cuadro 3**.

Cuadro 3. Parámetros para el diseño de un espaciador.

Parámetro	Criterio de diseño
Volumen de espaciador	Debe de cubrir 1000 ft de longitud anular y/o proporcionar 10 minutos de contacto anular con la cara de la formación.
Densidad	Su valor deberá ser menor o igual a 1 ppg por encima de la densidad del lodo de perforación.
Presión de pozo	Define los límites de densidad, dato esencial en el estudio del tiempo de bombeabilidad.
Temperatura	-Circulante: para conocer la exposición a la que se somete el espaciador durante su circulación en el pozo. -Fondo: para conocer la máxima temperatura a la que el espaciador será sometido -Estática: con la cual se analiza la resistencia a la compresión por parte del espaciador y el tiempo que le toma al espaciador formar geles bajo condiciones estáticas.

3.6 CONDICIONES DE DISEÑO DE UN ESPACIADOR CON PROPIEDADES PARA CONTROL DE GAS

Para garantizar durante el desarrollo de una operación de cementación un espaciador que cumpla con remover y desplazar el lodo de perforación minimizando la posibilidad que se presente infiltración de gas, se ensayan diferentes diseños por medio de un grupo de pruebas con tal de encontrar aquel que presenta la mejor naturaleza bajo las condiciones de pozo; esta serie de pruebas son:

1. Resistencia a la compresión no destructiva: Esta hace referencia al desarrollo de resistencia a la compresión por parte del espaciador mientras se somete a una temperatura y presión, con esta se conoce qué diseños de espaciador resisten al interior del pozo sin fracturarse; de acuerdo con Schlumberger se recomienda que los cementos presenten una resistencia a la compresión mayor a 500 psi para que soporte esfuerzos sin llegar a comprometer sus propiedades mecánicas, esto se extrae a la evaluación del espaciador especial para que este garantice que una vez fraguado resista los diferentes esfuerzos a los que pueda ser sometido bajo condiciones de pozo.
2. Tiempo de bombeabilidad: Esta condición es el tiempo con el que se cuenta para desplazar el fluido desde superficie hasta la sección anular en la que se trabaja; el tiempo de bombeo del diseño debe ser mayor al tiempo que va durar el trabajo en el campo. Usualmente el tiempo tendrá que estar dentro una hora superior al tiempo fijado para el desarrollo de la operación y así mantener un margen de tiempo que brinde seguridad en el desarrollo de la operación de cementación con tal de evitar que exista un taponamiento de los equipos, las líneas, revestimiento y el espacio anular; en donde, tiempos inferiores al fijado para la operación el espaciador se encontrara fraguando temprano incrementando la posibilidad de generar un taponamiento durante el desplazamiento y, para tiempos de bombeabilidad mayores al máximo del margen el espaciador estará demorándose en fraguar y puede dar lugar al arribo de fluidos de la formación hacia la sección anular comprometiendo la operación de cementación
3. Fuerza de geles: es la condición más importante en la determinación de un espaciador para controlar gas, el desarrollo de la fuerza desde que se alcanza 100 lb/100pies² hasta una fuerza de 500 lb/100pies² debe desarrollarse en un tiempo menor a 30 minutos. De no ser así la migración de gas se genera y los resultados en el diseño del espaciador serian negativos debido a que no transmite por completo la presión hidrostática disminuyendo la resistencia a la presión de la formación.

4. Reología: para el diseño de la lechada de cemento y el espaciador es esencial presentar una jerarquía reológica la cual hace referencia a que cada fluido bombeado presente una mayor reología que el fluido en sucesión, estas corresponden a la viscosidad plástica (VP) y el punto cedente (YP) de los fluidos que hacen parte del desarrollo de una operación de cementación; en el caso del espaciador la viscosidad plástica deberá encontrarse en un rango limitado por la VP del lodo y la VP del cemento. El punto de cedencia del espaciador deberá superar al del lodo de perforación utilizado, garantizando el buen desplazamiento y remoción del lodo de perforación.

Como se mencionó, la prueba de mayor peso para un espaciador que ejerce control sobre el gas corresponde a la fuerza de geles, la cual es seguida por la resistencia a la compresión, estas en conjunto determinan si el espaciador es apto para implementarse, luego de haber cumplido con la reología y el tiempo de bombeabilidad.

4. ELABORACIÓN DEL PLAN DE PRUEBAS DE LABORATORIO CON BASE A LAS NORMAS API 10 A Y 10 B Y VARIACIÓN DE ADITIVOS SEGÚN LAS CONCENTRACIONES DE APLICABILIDAD

Para el diseño del espaciador que facilitará el control de gas en el Campo Chuirá, en este capítulo se presenta el producto base, las concentraciones de aplicabilidad de cada aditivo para el espaciador, los aditivos variables y fijos y por último el plan de pruebas a las que se someterán los diseños bajo las Normas API 10^a y 10B.

4.1 ESPACIADOR RESINA POLIMÉRICA

Una resina polimérica es un compuesto formado principalmente por dos componentes; una resina y un catalizador, es un líquido pre-acelerado que al ser mezclado con el catalizador sufre una reacción química que activa la polimerización.

El espaciador con base en una resina polimérica, es una resina especial tipo epoxi, donde este tipo de polímero se caracteriza por formar sólidos termoestables los cuales una vez solidificados tiene la propiedad de no fundirse o deformarse en presencia de calor.

Esta resina polimérica ha sido diseñada por Tucker Energy para aplicaciones en pozo, sobresaliendo entre otros espaciadores por su aplicabilidad en casos donde se requiere generar un sello de cara a la formación pudiendo ser implementada para aplicaciones en donde sea sometida hasta temperaturas de máximo de 230°F.

Las especificaciones para un espaciador de este tipo correspondientes a un bache de 700 ml son las siguientes.

Tabla 1.Tabla de concentraciones establecidas por Tucker Energy Services S.A.

Aditivo	Concentración (%)
Ultra Set Ras	100
Barita	7
Ultra Set Suspending Agent	2
Ultra Set Initiator	1
Ultra Set Stabilizer	2.75

Fuente: Tucker Energy Services S.A. mayo 2016

Cantidades de los componentes en gramos para el espaciador:

a. Ultra set base (RAS)	=	669.59 g
b. Barita	=	46.87 g
c. Ultra Set Suspending Agent	=	13.39 g
d. Ultra Set Initiator	=	6.70 g
e. Ultra Set Stabilizer	=	18.41g

4.2 CONCENTRACIONES DE APLICABILIDAD

A continuación, se expondrán los aditivos que hacen parte de la composición del espaciador y las concentraciones de aplicabilidad.

En la tabla 2, se muestra las concentraciones de aplicabilidad para un espaciador con base en una resina polimérica.

Tabla 2 . Concentraciones de aplicabilidad de los aditivos.

Aditivos	Rango Establecido	Notas
Ultra Set Initiator	0.1% - 1%	Iniciador de la polimerización.
Ultra Set stabilizer	0.1% - 3%	Surfactante.
Ultra Set Suspension Agent	2%	Viscosificante
Ultra Set Ras	100%	Dispersante.
Barita	0.1- *%	Densificante / La adición de este aditivo depende del peso deseado.

Cada uno de los aditivos del diseño original puede llegar a ser variado dependiendo del caso que lo requiera, para este caso en estudio se varían los dos aditivos que tienen efecto directo sobre el desarrollo del polímero a partir de la resina desarrollada por Tucker.

4.3 ADITIVOS VARIABLES Y FIJOS

En esta sección se presentan los aditivos variables y fijos correspondientes al espaciador, a partir de los cuales se plantean los diferentes diseños.

4.3.1 Aditivos variables. Los aditivos variables hacen referencia a los aditivos cuyas concentraciones fueron cambiadas para modificar las propiedades del espaciador. En este trabajo, los aditivos variables son el Ultra Set Initiator que varía de 0.5% a 1% y Ultra Set Stabilizer que varía de 2% a 1% con estos se busca trabajar sobre el tiempo de transición de polimerización de la resina polimérica.

4.3.1.1 Ultra Set Initiator. El ultra set Initiator es peróxido orgánico tipo b, tiene como sinónimos perbenzoato de ter-butilo o peroxibenzoato de ter-butilo, su fórmula es $C_{11}H_{14}O_3$ y tiene peso molecular de 194.23 g / mol; es una sustancia de reacción espontánea altamente volátil que experimenta descomposición exotérmica y de acuerdo a la temperatura a la que se someta se verá influenciada su descomposición ocasionando que se vea acelerada fácilmente; En la Figura 7, se presenta el Ultra Set Initiator utilizado en los diseños de espaciadores y en el Anexo A se encuentra la hoja de seguridad.

La polimerización tiene varios pasos, el primero es la iniciación; durante esta etapa se crean los radicales libres que originan las cadenas poliméricas, dichos radicales pueden producirse de varias formas, en este caso será por acción de compuestos productores de radicales libres y calor.

Se utiliza este agente para dar lugar a la iniciación del proceso de polimerización del espaciador, el cual es un compuesto inestable que fácilmente crea radicales libres. Gracias al efecto térmico, se genera una ruptura homolítica (se produce cuando cada átomo que se separa, tiene un electrón de los dos que constituye el enlace formando radicales libre), que da lugar a la formación de un monómero activado. Una vez disuelto el Ultra Set Initiator en su totalidad se da paso a la siguiente fase que es la propagación en la que se desarrollará el crecimiento de las cadenas hasta que se empieza a obtener la resina polimérica en estado sólido y por último llegando a la terminación en la que el polímero se solidifica por completo alcanzando la unión del extremo de las cadenas con un último radical libre.

Figura 7. Ultra Set Initiator



Fuente: Laboratorio Tucker Energy Services S.A.

4.3.1.2 Ultra Set Stabilizer. El Ultra Set Stabilizer es P-benzoquinona, es el agente estabilizador en el proceso de polimerización. Para dar lugar al espaciador se requiere de la adición de un estabilizante para ejercer control sobre el efecto de coalescencia y rompimiento de las moléculas, actuando como el responsable directamente de la determinación de la velocidad de reacción y descomposición del iniciador; estos efectos tienen lugar una vez se adiciona el Iniciador, el estabilizante controla la facilidad como se desarrolla el rompimiento de moléculas para generar iones libres activados y la tendencia con la que las cadenas en crecimiento se unen para dar paso a cadenas de mayores dimensiones en el proceso de polimerización de acuerdo a la cantidad que sea adicionada. En la **Figura 8**, Se presenta el Ultra Set Stabilizer utilizado en los diseños de espaciadores y en el **Anexo C**, se encuentra la hoja de seguridad.

Figura 8.Ultra ser Stabilizer



Fuente: Laboratorio Tucker Energy Services S.A.

4.3.2 Aditivos fijos. Los aditivos fijos son aquellos cuyas concentraciones no varían a lo largo de las pruebas, estos se fijan desde un principio para el caso en estudio, debido a que las propiedades sobre las que tienen influencia no son las que se desean modificar. Siguiendo de esta manera las concentraciones del diseño base se muestra en la tabla 3, los aditivos fijos.

Tabla 3 Concentraciones de aditivos fijos.

Aditivo	Concentración
Ultra Set Suspension Agent	2%
Ultra Set Ras	100%
Barita	*%

La concentración de barita se presenta como “*%” por lo que su concentración se define durante el primer diseño.

4.3.2.1 Ultra Set Suspension Agent. Este aditivo es el agente de carga del espaciador que actúa en la formulación como el agente viscosificador, durante la preparación del espaciador es de suma importancia evitar la formación de aglomeraciones de este material; las cuales pueden formar una red a través de la resina y ocluir la mientras esta se encuentra en estado líquido generando la reducción del desempeño del espaciador e incrementando la reología y dando un significativo aumento de la viscosidad. Por esto es necesario reducir el grado de aglomeración e incentivar la dispersión del agente de carga para que así contribuya a mantener un comportamiento reológico adecuado. Su concentración no es alterada por lo que no se busca alterar la influencia que tiene como viscosificador sobre el diseño base.

En la **Figura 9**, Se presenta el Ultra Set Suspension Agent utilizado en los diseños de espaciadores y en el **Anexo D**, se encuentra la hoja de seguridad.

Figura 9. Ultra Set Suspension Agent.



Fuente: Laboratorio Tucker Energy Services S.A.

4.3.2.2 Ultra Set Ras. Este aditivo es la resina base para la polimerización y tiene un efecto dispersante sobre los demás compuestos del espaciador; los dispersantes son sustancias químicas que tienen componentes de agentes de superficies llamados surfactantes. El Ultra Set Ras es de bajo peso, por lo tanto, de ser variado se ve directamente alterada la viscosidad del espaciador reduciéndola y mejorando así las características de flujo lo que ayuda a obtener regímenes de flujo turbulentos

con caudales de bombeo bajos (entre 3.5bpm y 4bpm). También ayuda al buen reparto e hidratación de los aditivos del espaciador. Su concentración no es alterada del diseño base por lo que no se busca ejercer influencia sobre la viscosidad del diseño original. En la **Figura 10**, se presenta el Ultra Set RAS utilizado en los diseños de espaciadores y en el **Anexo B**, se encuentra la hoja de seguridad.

Figura 10. Ultra Set RAS.



Fuente: Laboratorio Tucker Energy Services S.A.

4.3.2.3 Barita. Usado en la preparación del espaciador para dar peso (agente densificante del espaciador), con el cual alcanza densidades por encima de 18 ppg. Tiene una gravedad específica de 4,23, puede causar una reducción en la resistencia a la compresión y en el tiempo de bombeabilidad siendo esta la razón por la cual su concentración no es alterada luego de que se define durante el desarrollo del primer diseño de espaciador. En la **Figura 11**, se presenta la barita utilizado en los diseños de espaciadores y en el **Anexo E**, se encuentra la hoja de seguridad.

Figura 11. Barita

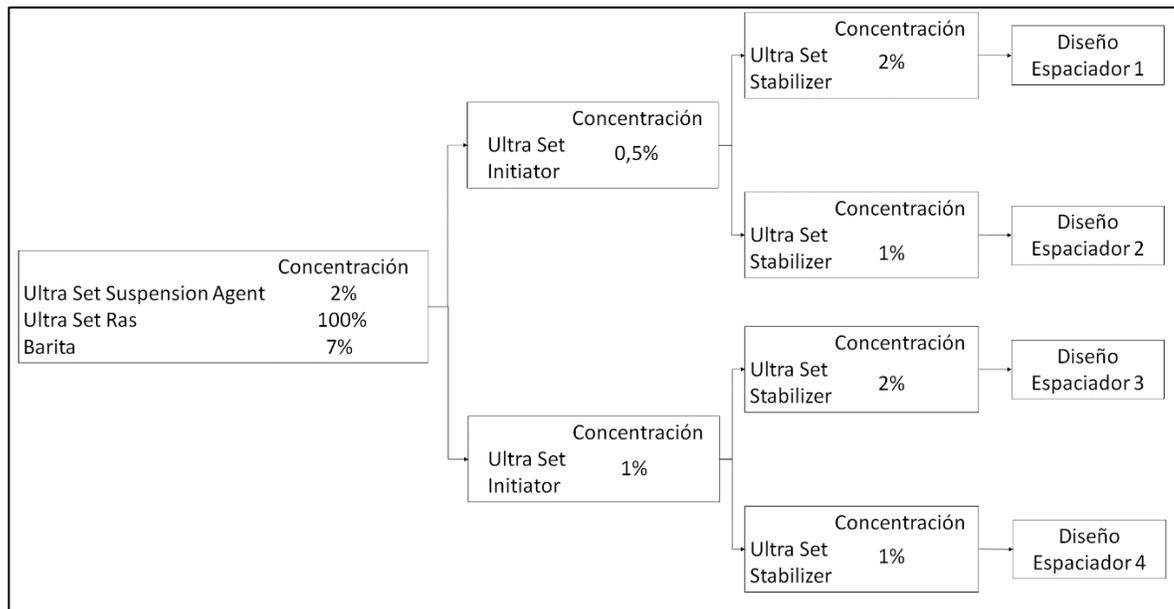


Fuente: Laboratorio Tucker Energy Services S.A. 2016.

4.4 VARIACIÓN DE ADITIVOS PARA LOS DISEÑOS DE ESPACIADORES

En la figura 12, se presenta las concentraciones para los cuatro diseños planteados, teniendo en cuenta los aditivos variables y fijos; la cual inicia de izquierda a derecha con los aditivos fijos, seguida de los aditivos variables en donde se enlazan cada variación de Ultra Set Initiator y Ultra Set Stabilizer correspondiente de cada diseño.

Figura 12. Variación de los aditivos.



4.4.1 Diseño de espaciadores. Con base a la variación de aditivos planteada anteriormente se crea una tabla en la cual se muestra la concentración de cada aditivo para cada diseño del espaciador, cabe recordar que la concentración de la barita se define durante la prueba de densidad para el primer diseño.

Tabla 4. Diseño de los espaciadores.

Diseño de Espaciador	Ultra Set Initiator (%)	Ultra Set Stabilizer (%)	Ultra Set Suspension Agent (%)	Ultra Set Ras (%)	Barita (%)
1	0.5	2	2	100	*
2	0.5	1	2	100	*
3	1	2	2	100	*
4	1	1	2	100	*

4.5 PLAN DE PRUEBAS

En esta sección se presentan las pruebas a las que se someten los diseños de espaciadores planteados, que son: densidad, tiempo de bombeabilidad, determinación de propiedades reológicas, fuerza de geles estáticas y fuerza a la compresión no destructiva; estas son llevadas a cabo en el orden en el que se enuncian.

Para dar inicio al plan de pruebas, primero se hace la preparación del espaciador de la siguiente manera:

1. Haciendo uso de una balanza electrónica (figura 13 costado derecho), se pesa cada uno de los aditivos químicos.
2. En una mezcladora de velocidad variable (ver figura 13 costado izquierdo) mezclar los componentes a excepción del Ultra Set Initiator:
 - Permitir que la lechada se mezcle formándose un vórtice en el centro de la lechada, aproximadamente entre los 2000 a 4000 RPM (revoluciones por minuto).
 - Mezclar hasta que la muestra sea homogénea, normalmente entre uno a tres minutos de mezcla toma esto.
 - Hacer uso de una espátula para ayudar en la mezcla rompiendo la tensión superficial en la superficie de la lechada
3. Retire el vaso de mezcla de la base del motor de la mezcladora.
4. Agregue los gramos de “Ultra Set Initiator” a la copa de mezcla.
 - Permitir que la muestra se mezcle formándose un vórtice en el centro del espaciador, aproximadamente entre los 2000 a 4000 RPM.

- Mezclar hasta que la muestra sea homogénea, normalmente entre uno y dos minutos de mezcla toma esto.
- Hacer uso de una espátula para romper la tensión superficial en y mantener el vórtice en la copa de mezcla.

Figura 13. Balanza electrónica y mezclador de muestra.

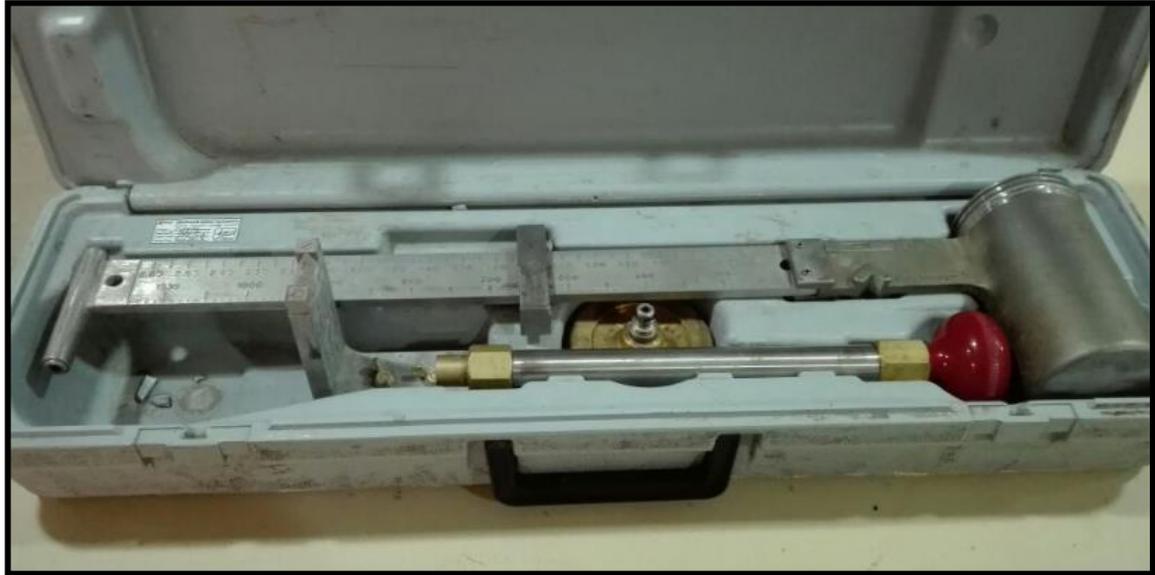


Fuente: Laboratorio Tucker Energy Services S.A.

4.5.1 Densidad. Según la norma API 10 B-2 literal 6, página 14, es una prueba de laboratorio donde se utiliza un equipo llamado balanza presurizada. El objetivo del equipo es determinar la densidad de cualquier fluido de perforación y cementación con un margen de error aproximadamente 0.1 ppg. La unidad de medida se reporta en ppg.

4.5.1.1 Descripción del equipo. Se compone de un vaso de volumen fijo y una tapa en un extremo con una barra graduada, junto con un contrapeso en el otro extremo. Una pesa deslizante puede ser movida a lo largo de la barra y una burbuja indica cuando la barra se encuentra a nivel. La lectura de la densidad se toma en el punto donde la pesa deslizante está posicionada cuando la barra se encuentra a nivel. La balanza para puede calibrarse con agua u otro líquido de densidad conocida ajustando el contrapeso. En la **Figura 14** se presenta una balanza presurizada para determinar la densidad del espaciador.

Figura14. Balanza presurizada.



Fuente: Laboratorio Tucker Energy Services S.A.

4.5.1.2 Método de calibración. En algunos casos, al tomar la prueba de densidad de cualquier fluido se pueden reportar datos erróneos, estos a causa de una mala calibración de la balanza; para evitar este tipo de problemas existe un proceso para calibrar el equipo, el cual se describe a continuación:

Cuadro 4. Procedimiento para la calibración de la balanza.

PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE LA BALANZA	
PASOS	DESCRIPCIÓN
1	Llenar el vaso con agua pura o destilada completamente.
2	Colocar la tapa y secar los residuos expulsados de agua.
3	Presurizar el vaso con el presurizado.
4	Colocar la balanza sobre el soporte.
5	El indicador de la balanza debe marcar 8.33 lb/gal con la burbuja de nivel centrada.

Fuente: Manual de procedimientos de laboratorio Tucker Energy Services S.A. mayo 2015.

4.5.1.3 Procedimiento. El procedimiento para realizar la prueba de densidad a un espaciador se realiza de la siguiente manera:

Cuadro 5. Procedimiento para determinar la densidad del espaciador.

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL ESPACIADOR	
PASOS	DESCRIPCIÓN
1	Llenar el vaso hasta causar rebose con la mezcla.
2	Poner la tapa y girarla, con el fin de que la mezcla salga por el orificio del espaciador.
3	Despresurizar el vaso.
4	Limpiar con una toalla el residuo de espaciador expulsado fuera del vaso.
5	Ubicar el brazo de la balanza sobre el punto de apoyo de la base.
6	Desplazar el indicador hasta que el nivel de la burbuja de aire este nivelada.
7	Leer la densidad del fluido (lb/gal) en el indicador.

Fuente: Manual de procedimientos de laboratorio Tucker Energy Services S.A. mayo 2015.

4.5.2 Tiempo de bombeabilidad. Según la norma API 10A literal 10, página 21, es una prueba que permite determinar cuánto tiempo la lechada de cemento (en este caso espaciador) permanece en estado fluido y bombeable a partir de condiciones dadas en el laboratorio como la presión de fondo de pozo (BHP) y la temperatura circulante de fondo de pozo (BHCT). Para la realización de esta prueba de laboratorio, es necesario el uso de un consistómetro ya sea atmosférico o presurizado. Se recomienda para este tipo de pruebas, el uso de un consistómetro presurizado que permite simular las condiciones de pozo.

4.5.2.1 Descripción del equipo. El componente primario del consistómetro presurizado es la celda de ensayo de alta presión, la cual está fabricada a partir de una pieza sólida de aleación de acero. La tapa de la celda y el dispositivo de accionamiento magnético están sellados por medio de anillos metálicos especialmente diseñados para soportar pruebas de alta temperatura.

La muestra es vertida dentro del recipiente del dispositivo el cual gira a 150 rpm dentro de un baño de aceite que permite dar condiciones de temperatura y presión requeridas. Los materiales de construcción y las dimensiones del recipiente siguen los lineamientos de las normas API 10A. Dentro del recipiente hay una paleta que está conectada a un resorte, cuando la muestra gira a 150 rpm la paleta girará en sentido de la corriente, esto transmitirá un torque al resorte el cual se mide mediante un potenciómetro.

El consistómetro presurizado, reporta directamente las unidades de Bearden de consistencia. Cuando la muestra alcanza 100 unidades de consistencia (Bc) no puede ser bombeable. El tiempo de bombeabilidad es el tiempo transcurrido desde que es vertida la muestra en el consistómetro hasta que éste marque 100 unidades de consistencia (Bc).

Al finalizar el ensayo, la celda puede enfriarse fácilmente usando un sistema de enfriamiento. El sistema usa agua como medio de enfriamiento y está controlado por un solenoide eléctrico. La **Figura 15**, presenta un consistómetro presurizado para la prueba de tiempo de bombeabilidad/espaciamento/fraguado.

Figura15. Consistómetro presurizado.



Fuente: Laboratorio Tucker Energy Services S.A.

4.5.2.2 Procedimiento. El procedimiento para realizar la prueba de tiempo de bombeabilidad/espaciamento/fraguado a un espaciador, se realiza de la siguiente manera.

Inicio de la prueba. Pasos para dar inicio a la prueba de laboratorio.

Cuadro 6. Procedimiento para realizar la prueba de tiempo de bombeabilidad.

PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA PRUEBA DE TIEMPO DE BOMBEABILIDAD	
PASOS	DESCRIPCIÓN
1	Programar las rampas de temperatura y presión en el computador.
2	Llenar el vaso, cerrar la tapa, sacar el aire golpeando suavemente.
3	Ubicar y cerrar el tornillo de la tapa.
4	Con las pinzas, ubicar el vaso en la celda.
5	Encender el botón de motor (MOTOR).
6	Ubicar el potenciómetro observando que el pin se ajuste a este.
7	Cerrar la tapa del consistómetro hasta que los dientes coincidan.
8	Ubicar la termocupla, el tornillo interior no debe tener más de dos líneas de rosca.
9	Cerrar el tornillo de la termocupla dejando espacio para la purga.
10	Abrir la válvula de aire horizontal y cerrar la válvula de alivio vertical.
11	Cerrar la válvula de liberar presión.
12	Esperar a que salga un poco de aire por el tornillo de la termocupla y cerrar.
13	Oprimir el interruptor de caliente (HEATER).
14	Verificar que el botón de bomba esté ubicado en la posición automático (AUTO).
15	Dar inicio a la prueba desde el computador, que controla el funcionamiento.
16	Iniciar el cronómetro.
17	Escribir la información de la prueba en el computador.

Fuente: Manual de procedimientos de laboratorio Tucker Energy Services S.A. mayo 2015

Finalización y desmonte de la prueba. Pasos para dar finalización a la prueba de laboratorio.

Cuadro 7. Pasos para dar finalización a la prueba de tiempo de bombeabilidad.

PASOS PARA DAR FINALIZACIÓN A LA PRUEBA DE LABORATORIO	
PASOS	DESCRIPCIÓN
1	Detener la prueba desde el computador.
2	Poner en off el interruptor del motor y el de calentador.
3	Abrir completamente la válvula de liberar presión.
4	Cerrar la válvula de suministro de aire, esperar que la bomba termine la liberación de P.
5	Desatornillar la termocupla y sacarla.
6	Con la herramienta de golpe, dar un golpe a la tapa del equipo y ponerla en un lado.
7	Sacar el potenciómetro y limpiar.
8	Sacar el vaso con las pinzas y escurrir el aceite que se deposita.
9	Desarmar completamente el vaso y limpiar sin que quede rastros de espaciador.
10	Ensamblar nuevamente y dejar listo para la siguiente prueba.

Fuente: Manual de procedimientos de laboratorio Tucker Energy Services S.A. mayo 2015

4.5.3 Reología. Según la norma API 10B-2 literal 12, página 51, es una prueba que se realiza con el fin de conocer el comportamiento del espaciador a condiciones de temperatura de fondo de pozo (*BHCT*). La realización de esta prueba permite también describir la tasa de flujo y la presión necesaria a la cual se puede desplazar un determinado fluido, ya sea para fluidos de perforación de cementación.

4.5.3.1 Descripción del equipo. La determinación de las propiedades reológicas se realiza por medio del viscosímetro. Este aparato es de tipo rotacional, el cual se mueve por medio de un motor sincronizado a diferentes velocidades; esto permite obtener velocidades rotacionales de 300, 200, 100, 60, 30, 6 y 3 rpm (revoluciones por minuto).

Este equipo se compone por un cilindro exterior o rotor, el cual gira a una velocidad constante para cada ajuste de rpm, que por consiguiente es transmitido a la muestra del espaciador y ésta, a su vez, produce un cierto torque en un cilindro interior sobre el que actúa un resorte. La torsión que genere en el resorte se puede relacionar con la viscosidad del espaciador, la cual también se podrá medir de esta manera.

Las lecturas que se obtengan en la prueba se emplearán para la determinación de las propiedades reológicas, ya sea viscosidad plástica o punto cedente; pero una

de las propiedades más importantes que deben ser determinadas son; el índice de fluido o de comportamiento (n) y el índice de consistencia (k), las cuales son fundamentales para el cálculo de caudales críticos y la determinación del régimen de desplazamiento (turbulento, laminar o tapón) de las cementaciones. En la **Figura 16**, se presenta un viscosímetro rotacional para determinar las propiedades reológicas de los espaciadores.

Figura 16. Viscosímetro rotacional.



Fuente: Laboratorio Tucker Energy Services S.A.

4.5.3.2 Procedimiento. El procedimiento para realizar la prueba de reología a un espaciador se realiza de la siguiente manera:

Inicio de la prueba. Pasos para dar inicio de la prueba de laboratorio.

Cuadro 8. Procedimiento para realizar la prueba de reología.

PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA PRUEBA DE REOLOGÍA	
PASOS	DESCRIPCIÓN
1	Encender el interruptor ubicado en la parte posterior del equipo.
2	Acondicionar previamente el fluido a someter a prueba según el caso.
3	Ajustar el regulador de intensidad a la °T aproximada a la que se utilizara.
4	Ubicar el espaciador en el vaso del equipo con la chaqueta de calentamiento.
5	Ubicar la chaqueta en la base del equipo, ajustándolo en las respectivas ranuras.
6	Elevar la base hasta el punto adecuado y ajustarlo con la tuerca ubicada a la derecha.
7	Someter el fluido a las diferentes revoluciones mediante la perilla.

Fuente: Manual de procedimientos de laboratorio Tucker Energy Services S.A. mayo 2015.

Finalización y desmonte de la prueba. Pasos para dar finalización a la prueba de laboratorio.

Cuadro 9. Procedimiento para finalización de la prueba de reología.

PROCEDIMIENTO PARA FINALIZACIÓN DE LA PRUEBA DE LABORATORIO	
PASOS	DESCRIPCIÓN
1	Una vez finalizada la prueba, llevar la perilla a la posición apagada (<i>OFF</i>).
2	Desenroscar el tornillo.
3	Bajar la base, desenroscar el cilindro, sacar el tazón y el vaso para lavarlos.
4	Ensamblar las partes nuevamente y dejar preparado para la siguiente prueba.

Fuente: Manual de procedimientos de laboratorio Tucker Energy Services S.A. mayo 2015

4.5.4 Fuerza de geles. Según la Norma API 10B-2, literal 7, página 16, es una propiedad que se mide en (lb/100 ft²). Es la fuerza requerida para poner en movimiento un fluido (fluido de perforación, lechada de cemento, espaciadores) después de haber estado en condiciones estáticas durante un periodo determinado. Por lo tanto, es un indicador de la atracción existente entre los sólidos contenidos en el fluido a condiciones estáticas. Los geles pueden ser de naturaleza frágil si son fáciles de romper luego de determinado tiempo o progresivos si son difíciles de romper después de un tiempo determinado. Las resistencias de gel son medidas luego de intervalos de 10 segundos, 10 minutos, 30 minutos y 16 horas, pero pueden ser medidas para cualquier intervalo de tiempo.

4.5.4.1 Descripción del equipo. Es un dispositivo que emplea fuerza a un fluido mediante un par de paletas para acondicionar el espaciador en el interior de una celda de prueba a presión y de forma intermitente y mide la fuerza de gel estática a

condiciones de fondo de pozo. Al medir directamente las fuerzas necesarias para iniciar el movimiento de la muestra proporciona una manera precisa para determinar la resistencia de gel estática. Todos los datos de las pruebas y los resultados se transfieren a una computadora que ejecuta un programa de adquisición de datos para producir gráficos en tiempo real de los resultados de las pruebas. Además, permite realizar la prueba de resistencia a la compresión, puesto que cuenta con un sistema incorporado de análisis ultrasónico de cemento (*UCA-Ultrasonic Cement Analyzer*), el cual puede simular las condiciones de presión y temperatura de fondo de pozo. En la **Figura 17**, se presenta un analizador estático de fuerza de geles.

Figura 17. Analizador estático de fuerza de geles.



Fuente: Laboratorio Tucker Energy Services S.A.

4.5.4.2 Procedimiento. El procedimiento para realizar la prueba de fuerza de geles a un espaciador se realiza de la siguiente manera:

Inicio de la prueba. Pasos para dar inicio de la prueba de laboratorio.

Cuadro 10. Procedimiento para la prueba de fuerza de geles.

PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA DE FUERZA DE GELES	
PASOS	DESCRIPCIÓN
1	Programar la temperatura estática en el software del computador.
2	Oprimir el interruptor de alimentación de energía y programar BHCT y BHST.
3	Llenar y ubicar el vaso respectivo del equipo quedando adecuadamente ajustado.
4	Ubicar el vaso en la celda y conectar los cables de las tapas: tapa superior a conector de la parte posterior del equipo (<i>Top</i>) y tapa inferior a conector frontal (<i>Transducer</i>).
5	Activar los interruptores de energía 230V, suministro de energía, calentar y bomba.
6	Cerrar la válvula de liberar presión.
7	Ajustar la presión de la bomba de aire con la perilla de ajuste de presión de la bomba (Pump Pressure Adjust), hasta que el manómetro de la celda se ubique aproximadamente en 3000 lb/pulg ² .
8	Liberar la presión de la bomba de aire y apagar el interruptor de la bomba.
9	Ubicar los controladores en automático y de funcionamiento.
10	Indicar la prueba en el software del computador.

Fuente: Manual de procedimientos de laboratorio Tucker Energy Services S.A. mayo 2015

Finalización de la prueba. Pasos para dar finalización a la prueba de laboratorio.

Cuadro 11. Finalización de la prueba de fuerza de geles.

FINALIZACIÓN DE LA PRUEBA DE LABORATORIO	
PASOS	DESCRIPCIÓN
1	Detener la prueba desde el software del computador.
2	Oprimir sostenidamente el botón derecho del controlador hasta que se apague.
3	Oprimir el botón izquierdo del controlador para cambiar de automático a manual.
4	Apagar los interruptores de bombeo de agua (<i>Pump Water</i>) y de calentar (<i>HEATER</i>).
5	Abrir la válvula de liberar presión.
6	Oprimir el botón refrigerante hasta refrigerar el vaso.
7	Apagar los interruptores de alimentación de energía.
8	Desconectar los cables del vaso.
9	Sacar el vaso de la celda para ubicarlo y ajustarlo en la prensa.
10	Desarmar el vaso, retirar el bloque de cemento y limpiar en general.
11	Engrasar el vaso, limpio y dejarlo ubicado en la prensa para la siguiente prueba.

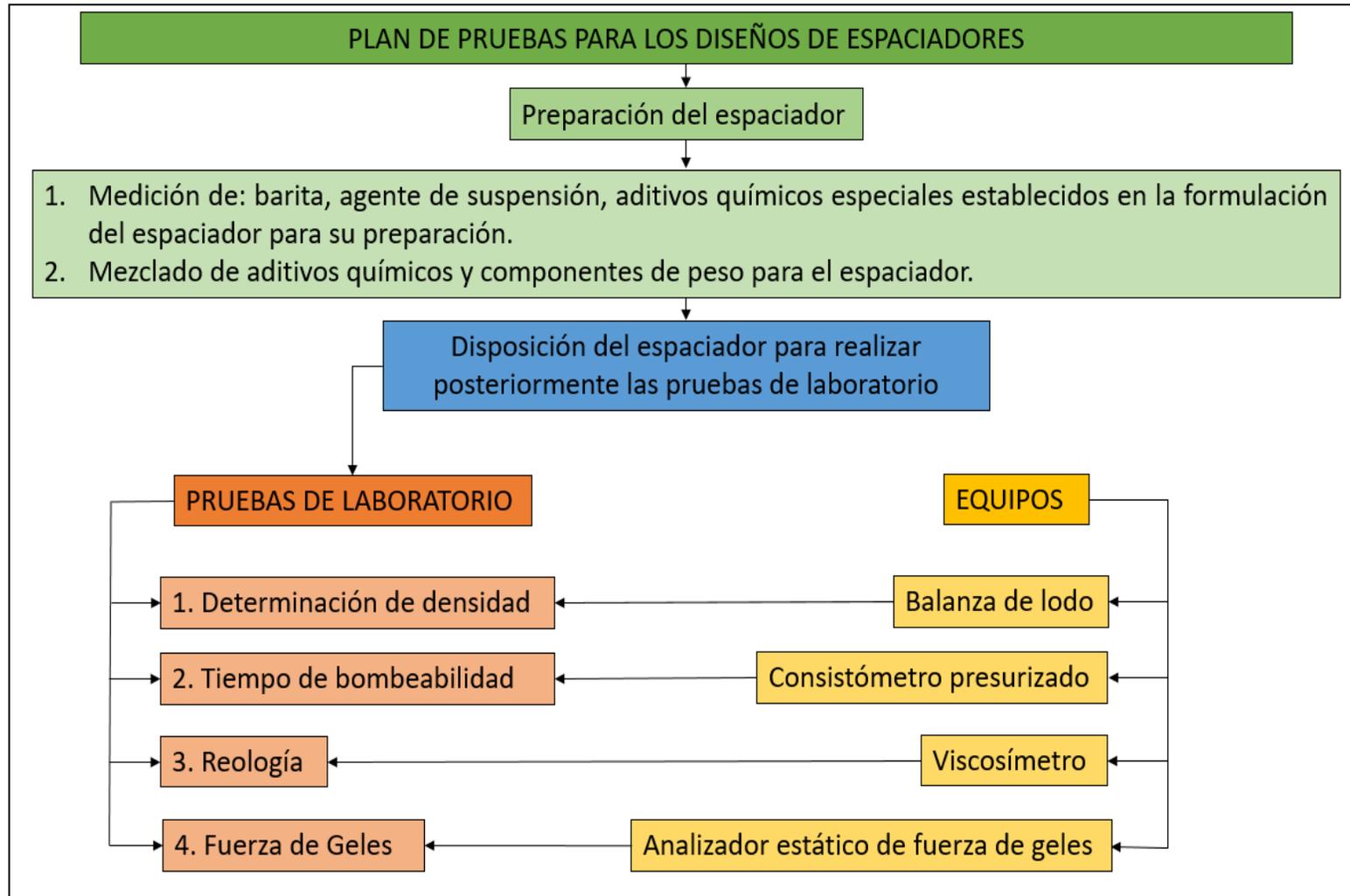
Fuente: Manual de procedimientos de laboratorio Tucker Energy Services S.A. Mayo 2015

4.5.5 Resistencia a la compresión no destructiva. Según la Norma API 10B-2 literal 8, página 26, esta prueba se realiza para ver cómo es el comportamiento del espaciador mientras está siendo sometido a una presión y a una temperatura. Se denomina no destructiva porque en ningún momento se pone la muestra del espaciador directamente sobre un esfuerzo de presión.

El equipo analizador estático de fuerza de geles, nos permite desarrollar esta prueba, debido a que contiene un analizador ultrasónico de cemento, el cual mide el cambio de las señales ultrasónicas que pasan a través de la muestra en tiempo real (tiempo de tránsito). Las ondas sónicas se propagan más lentamente en sustancias que se encuentran en estado líquido, por esto el tránsito cuando el espaciador se encuentra líquido va a ser mayor, pero en sustancias en estado sólido el tiempo de tránsito disminuirá. Gracias a la utilización de algoritmos, el analizador de fuerza de gel estático, pasa estos tiempos de tránsito a unidades de lb/plg^2 (unidades en las cuales se mide la resistencia a la compresión).

A continuación, en la Figura **18** se presenta en resumen el plan de pruebas a seguir para la evaluación de los diferentes diseños de espaciador.

Figura18. Plan de pruebas para los diseños de espaciadores.



5. DISEÑO DE UN ESPACIADOR AJUSTADO A LAS CONDICIONES DEL POZO DE CORRELACIÓN

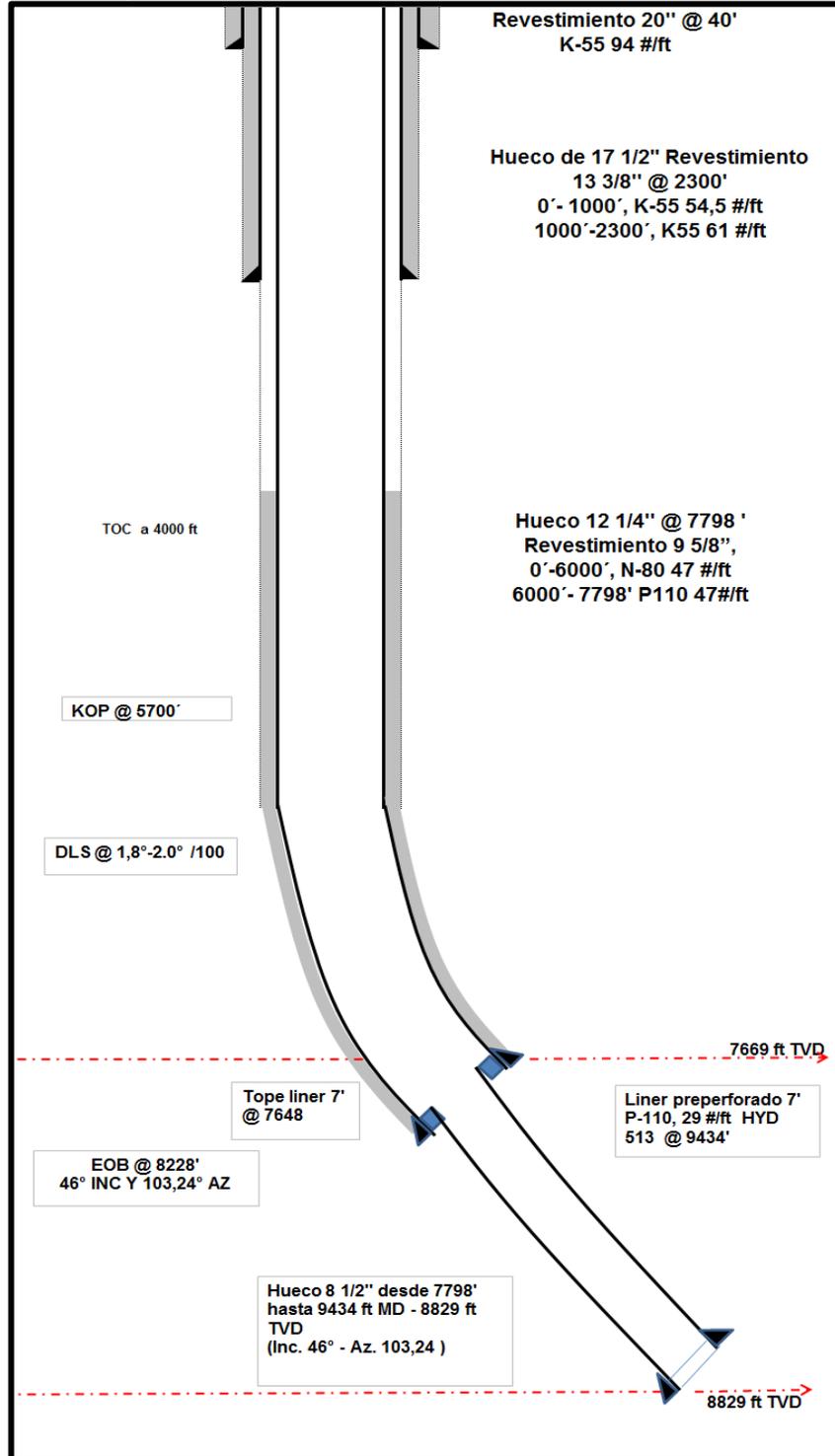
A continuación, se muestra la información del pozo de referencia, su estado mecánico, el cálculo del volumen requerido de espaciador y los diseños de espaciadores que van hacer evaluados posteriormente, bajo las condiciones del pozo de correlación.

5.1 INFORMACIÓN DE POZO DE REFERENCIA DE EL CAMPO CHUIRA

Se presenta información del pozo de referencia Chuirá 1, el cual se encuentra ubicado en el Campo Chuirá, como es el único pozo en el campo sus datos suministrados por Petróleos del Norte a Tucker son la base para los cálculos en el diseño del espaciador y demás variables a consideración en la escogencia del espaciador idóneo conforme al requerimiento del pozo, esto bajo condiciones ideales para efectos académicos.

5.1.1 Información del pozo de referencia. En la **Figura 19**, se presenta el estado mecánico del pozo de referencia y se resalta la sección de interés en rojo. En la **Tabla 5**, se presentan los principales datos del Pozo Chuirá 1, con los cuales se realizará el cálculo de volumen de espaciador para el Liner de 7 pulgadas.

Figura19. Estado mecánico del pozo de correlación.



Fuente: Tucker Energy Services S.A. junio 2015.

Tabla 5. Datos de pozo y revestimiento.

Criterio	Dato
Profundidad del pozo (MD) (pies)	9,434
Profundidad del pozo (TVD) (pies)	8,829
Diámetro del hueco (pulgadas)	8.5
Diámetro del revestimiento (pulgadas)	13.375
Grado – Peso	K-55 – 54.5 61 #/ft
Profundidad (pies)	2,300
Diámetro del revestimiento (pulgadas)	9.625
Grado – Peso	N-80 – P110- 47 #/ft
Diámetro Liner pre-perforado (pulgadas)	7"
Grado – Peso	P110 – 29 #/ft
Tope Liner (pies)	7,648
Profundidad (pies)	9,434
Grado – Peso	P110 – 29 #/ft
Densidad lodo de perforación (ppg)	10.5

Presión de fondo:

Ecuación 1. Presión de fondo.

$$P = 0.052 * h * \rho$$

Fuente: DACCOR, Gérard, DOMINIQUE, Guilliot, NILSSON, Frederik, Cementación de pozos, segunda edición. 2006. p 665.

- **P=** Presión de fondo expresado en psi.
- **h=** Profundidad de la columna hidrostática (TVD) en pies.
- **ρ =** densidad de lodo de perforación expresado en ppg.

Cálculo 1. Presión de fondo en el pozo Chuirá 1.

$$P (psi) = 0.052 * 8,829 ft * \frac{10.5Lb}{gal}$$
$$P = 4821psi$$

Temperatura de fondo:

Ecuación 2. Temperatura de Fondo.

$$T (^{\circ}\text{F}) = h * 1.2 \frac{^{\circ}\text{F}}{100\text{ft}}$$

Fuente: AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, Recommended practices for testing well cements (API RP 10B). Junio 1 del 2011. Pág. 41.

- **T** = Temperatura de fondo expresada en grados Fahrenheit.
- **h** = Profundidad de la columna hidrostática (TVD) en pies.
- **Gradiente de temperatura** = $1.2 \frac{^{\circ}\text{F}}{100\text{ft}}$

Cálculo 2. Temperatura de fondo en el Pozo Chuirá 1.

$$T (^{\circ}\text{F}) = 8829 \text{ ft} * 1.2 \frac{^{\circ}\text{F}}{100\text{ft}}$$

$$T (^{\circ}\text{F}) = 106$$

A la anterior temperatura se le suma la temperatura de superficie:

$$T (^{\circ}\text{F}) = 106 + 85 = 191^{\circ}\text{F}$$

Temperatura circulante: la temperatura circulante es el 15% de la temperatura estática, siendo la temperatura estática igual a la temperatura de fondo hallada anteriormente.

Cálculo 3. Temperatura circulante en el pozo Chuirá 1.

$$15\% * 191^{\circ}\text{F} = 29^{\circ}\text{F}$$

$$T_{\text{circulante}} (^{\circ}\text{F}) = 191 - 29 = 162^{\circ}\text{F}$$

5.1.2 Cálculo de volumen de espaciador. Teniendo en cuenta el estado mecánico del pozo de referencia y los datos anteriormente mencionados, se realiza el cálculo de espaciador necesario para la sección del Liner de 7 pulgadas; puesto que en esta sección del pozo es donde se presenta una infiltración de gas, teniendo en cuenta esto, solo en esta sección del pozo se posicionará el espaciador que servirá como sello. En la **Ecuación 3**, se presenta el cálculo para hallar el volumen anular en un pozo.

Ecuación 3. Cálculo para hallar el volumen anular en un pozo.

$$\text{Volumen del anular} = \frac{(\text{Diámetro del pozo})^2 - (\text{Diámetro externo de la tubería})^2}{1,029.4} \times \text{Prof}$$

Fuente: BAROID. Manual de fluidos de perforación. Houston. 2000. P. 422

- **Volumen anular** = Expresado en barriles.
- **Diámetro del pozo** = Expresado en pulgadas.
- **Diámetro externo de la tubería** = expresado en pulgadas.
- **1,029.4** = Factor de conversión desde diámetro de cilindro en pulgadas a barriles/pie
- **Profundidad** = expresado en pies.

En el **Cálculo 4**, se muestra el volumen total de espaciador para el Liner de 7 pulgadas, teniendo en cuenta que por especificaciones para espaciadores se tiene que mínimo un espaciador debe cubrir 1,000 pies de la sección del pozo.

Cálculo 4. Volumen total de espaciador de cemento para la sección del Liner de 7 pulgadas.

$$\text{Volumen del anular} = \frac{(8.5)^2 - (7)^2}{1029.4} \times 1000$$
$$\text{Volumen del anular} = 23 \text{ barriles}$$

$$\text{Volumen del anular} = \frac{(8.5)^2 - (7)^2}{1,029.4} \times 1,786$$
$$\text{Volumen del anular} = 41 \text{ barriles}$$

se toma la media entre el minimo valor a cubrir con el total de pies a cubrir y eso nos da 32 barriles de espaciador.

Tiempo de bombeo sección de 7”: de acuerdo a la información suministrada por Petróleos del Norte, el tiempo para la operación de cementación en la sección de 7” está fijado en seis horas. Aplicando lo expuesto en el numeral 3.6, el tiempo de bombeabilidad para los diseños deberá estar en un rango de seis a siete horas garantizando que la operación se realice de manera segura, en este tiempo se espera ejercer un correcto desplazamiento del lodo de perforación que cuenta con una densidad de 10.5 ppg, una viscosidad plástica de 80 cp y un punto de cedencia de 18 lb/100 pies² y por último el cemento que precede al espaciador será de una viscosidad plástica de mínimo 140 cp.

5.2 CONDICIONES PARA EL DISEÑO DE ESPACIADOR PARA CONTROL DE GAS

De acuerdo con lo expuesto en los capítulos anteriores y la información que se presenta del Pozo Chuirá 1, las propiedades de los diseños de espaciador planteados deben presentar en el desarrollo de las pruebas las siguientes condiciones para garantizar que exista un control de gas en la sección del liner de 7”.

Tabla 6 Parámetros de diseño de espaciadores.

Parámetro	Espaciador especial para control de gas
Resistencia a la compresión no destructiva (lb/plg ²) @ 24 horas.	>500 lb/plg ²
Tiempo de bombeabilidad (horas)	6-7
Fuerza de geles (100 a 500 lb/100 pies ²)	<30 minutos
Reología (viscosidad plástica) (cP) después de formación de geles.	80-140
Reología (punto cedente) (lb/100 pies ²)	>18

5.3 CONCENTRACIÓN DE ADITIVOS QUÍMICOS ESPECIALES PARA CADA DISEÑO

De acuerdo a las variaciones expuestas en el capítulo 4, se presenta los cálculos en gramos para cada uno de los diseños de espaciadores para ser evaluados.

5.3.1 Espaciador especial 1. Para este diseño se fijó el valor del el Ultra Set Initiator de 0.5% de concentración y para el ultra Set Stabilizer 2% de concentración; a partir de esto se procede a expresar cuanto corresponde en gramos partiendo del diseño base desarrollado por Tucker Energy services expuesto previamente en el numeral 4.

La cantidad en gramos para el Ultra Set Initiator se presenta en el cálculo 5.

Cálculo 5. Cantidad en gramos para el Ultra Set Initiator.

- *Concentración de Ultra Set Initiator diseño base: 1%*
- *Gramos de la concentración del diseño base: 6.7 g*
- *Concentración diseño espaciador especial 1: 0.5%*
- *Gramos de Ultra Set Initiator diseño 1 = $\frac{0.05 \cdot 6.7}{0.1} = 3.35g$*

La cantidad en gramos para el Ultra Set Stabilizer se presenta en el cálculo 6.

Cálculo 6. Cantidad en gramos para el Ultra Set Stabilizer.

- *Concentración de Ultra Set Stabilizer diseño base: 2.75%*
- *Gramos de la concentración del diseño base: 18.41 g*
- *Concentración diseño espaciador especial 1: 2%*
- *Gramos de Ultra Set Stabilizer diseño 1 = $\frac{0.2 \cdot 18.41}{0.275} = 13.38g$*

5.3.2 Espaciador especial 2. Para este diseño se fijó el valor del Ultra Set Initiator de 0.5% de concentración y para el ultra Set Stabilizer 1% de concentración; a partir de esto se procede a expresar cuanto corresponde en gramos partiendo del diseño base desarrollado por Tucker Energy Services expuesto previamente en el numeral 4.

La cantidad en gramos para el Ultra Set Initiator se presenta en el cálculo 7.

Cálculo 7. Cantidad en gramos para el Ultra Set Initiator.

- *Concentración de Ultra Set Initiator diseño base: 1%*
- *Gramos de la concentración del diseño base: 6.7 g*
- *Concentración diseño espaciador especial 2: 0.5%*
- *Gramos de Ultra Set Initiator diseño 2 = $\frac{0.05 \cdot 6.7}{0.1} = 3.35g$*

La cantidad en gramos para el Ultra Set Stabilizer se presenta en el cálculo 8.

Cálculo 8. Cantidad en gramos para el Ultra Set Stabilizer.

- *Concentración de Ultra Set Stabilizer diseño base: 2.75%*
- *Gramos de la concentración del diseño base: 18.41 g*
- *Concentración diseño espaciador especial 2: 1%*
- *Gramos de Ultra Set Stabilizer diseño 2 = $\frac{0.1 \cdot 18.41}{0.275} = 6.70g$*

5.3.3 Espaciador especial 3. Para este diseño se fijó el valor del Ultra Set Initiator de 1% de concentración y para el ultra Set Stabilizer 2% de concentración; a partir de esto se procede a expresar cuanto corresponde en gramos partiendo del diseño base desarrollado por Tucker Energy services expuesto previamente en el numeral 4.

La cantidad en gramos para el Ultra Set Initiator se presenta en el cálculo 9.

Cálculo 9. Cantidad en gramos para el Ultra Set Initiator.

- *Concentración de Ultra Set Initiator diseño base: 1%*
- *Gramos de la concentración del diseño base: 6.7 g*
- *Concentración diseño espaciador especial 3: 1%*
- *Gramos de Ultra Set Initiator diseño 3 = $\frac{0.1*6.7}{0.1} = 6.7g$*

La cantidad en gramos para el Ultra Set Stabilizer se presenta en el cálculo 10.

Cálculo 10. Cantidad en gramos para el Ultra Set Stabilizer.

- *Concentración de Ultra Set Stabilizer diseño base: 2.75%*
- *Gramos de la concentración del diseño base: 18.41 g*
- *Concentración diseño espaciador especial 3: 2%*
- *Gramos de Ultra Set Stabilizer diseño 3 = $\frac{0.2*18.41}{0.275} = 13.38g$*

5.3.4 Espaciador especial 4. Para este diseño se fijó el valor para el Ultra Set Initiator de 1% de concentración y para el ultra Set Stabilizer 1% de concentración; a partir de esto se procede a expresar cuanto corresponde en gramos partiendo del diseño base desarrollado por Tucker Energy services expuesto previamente en el numeral 4.

La cantidad en gramos para el Ultra Set Initiator se presenta en el cálculo 11.

Cálculo 11. Cantidad en gramos para el Ultra Set Initiator.

- *Concentración de Ultra Set Initiator diseño base: 1%*
- *Gramos de la concentración del diseño base: 6.7 g*
- *Concentración diseño espaciador especial 4: 1%*
- *Gramos de Ultra Set Initiator diseño 4 = $\frac{0.1*6.7}{0.1} = 6.7g$*

La cantidad en gramos para el Ultra Set Stabilizer se presenta en el cálculo 12.

Cálculo 12. Cantidad en gramos para el Ultra Set Stabilizer.

- *Concentración de Ultra Set Stabilizer diseño base: 2.75%*
- *Gramos de la concentración del diseño base: 18.41 g*
- *Concentración diseño espaciador especial 4: 1%*
- *Gramos de Ultra Set Stabilizer diseño 4 = $\frac{0.1 \cdot 18.41}{0.275} = 6.70g$*

A continuación, en la tabla 7, se expresa las cantidades en gramos que se obtienen de los cálculos desarrollados anteriormente y las cantidades en gramos de los aditivos químicos que no tienen variación durante el desarrollo de los cuatro diseños planteados anteriormente.

Tabla 7. Cantidades de aditivo base y aditivos químicos especiales para cada diseño de espaciadores especiales (base de cálculo 700mL).

Diseño	Ultra Set RAS (aditivo bas g)	Aditivo especial			
		Ultra Set Initiator (g)	Ultra Set Stabilizer (g)	Barita (g)	Agente de suspensión (g)
Espaciador especial 1	669.59	3.35	13.38	13.39	46.87
Espaciador especial 2	669.59	3.35	6.70	13.39	46.87
Espaciador especial 3	669.59	6.70	13.38	13.39	46.87
Espaciador especial 4	669.59	6.70	6.70	13.39	46.87

6. EVALUAR EL DISEÑO DEL ESPACIADOR CON BASE EN UNA RESINA POLIMÉRICA MEDIANTE PRUEBAS DE LABORATORIO

En el siguiente capítulo se evalúan los resultados de las pruebas que se le realizaron a los cuatro diseños de espaciadores bajo las normas API 10A y 10B, teniendo en cuenta las condiciones del Pozo Chuirá 1 y los parámetros establecidos por los investigadores para el control de gas.

6.1 DETERMINACIÓN DE DENSIDAD

De acuerdo a las especificaciones expuestas anteriormente, el espaciador debe presentar una densidad que sea mayor a la densidad del lodo utilizado, con un valor que se encuentre en un rango de hasta una libra por galón arriba de la densidad del lodo de perforación de esta manera los fluidos dentro del pozo no se mezclarán. La densidad del lodo de perforación es de 10.5 ppg.

6.1.1 Análisis de resultados. Durante el desarrollo de la prueba, se encontró que la cantidad de barita del diseño base aporta el peso suficiente para alcanzar la densidad requerida. Para todos los diseños de espaciadores se reporta la misma densidad de 11.5 ppg, dando cumplimiento a la premisa presentada en la sección 3.3 de que el espaciador tenga un valor que se encuentre en un rango de hasta una libra por galón por encima de la densidad del lodo de perforación.

6.2 DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE BOMBEABILIDAD

Como se había mencionado anteriormente, es la propiedad que establece el tiempo en el que un espaciador se encuentra en estado líquido bajo presión y temperatura simuladas de pozo en el que puede ser bombeado y desplazado hasta el anular antes de que se comience a fraguar. Este tiempo se debe encontrar en un rango de seis a siete horas. Las unidades de consistencia son las unidades Bearden (Bc) y cuando alcanzan las 100 Bc se termina la prueba, sin embargo, hasta 70 Bc se considera que el espaciador es bombeable. En la **Tabla 16**, se presentan los resultados de la prueba de tiempo de bombeabilidad para los diseños de espaciadores.

Tabla 8. Resultados de la prueba de tiempo de bombeabilidad para los diseños de espaciadores.

Prueba de tiempo de bombeabilidad para cementos especiales						
Espaciador 1			Espaciador 2			
Consistencia	Tiempo		Consistencia	Tiempo		
Bc	hrs	Min	Bc	hrs	min	
30	7	1	30	5	5	
50	7	15	50	5	59	
70	7	28	70	6	10	
Espaciador 3			Espaciador 4			
Consistencia	Tiempo		Consistencia	Tiempo		
Bc	Hrs	Min	Bc	Hrs	min	
30	6	5	30	5	5	
50	6	12	50	5	31	
70	6	20	70	5	50	

6.2.2 Análisis de resultados. De acuerdo a los resultados es posible afirmar que para variaciones de Ultra Set Stabilizer y Ultra Set Initiator, se debe encontrar un equilibrio entre éstos; si se tiene una relación uno a uno (diseño 4) el tiempo de bombeo que se presenta es inferior al tiempo de bombeo arrojado por una relación de concentración uno a cuatro (diseño 1), por consiguiente durante el proceso de polimerización el tiempo de transición del estado líquido a sólido puede ser muy alto o muy bajo y no se va alcanzar el rango establecido para que haya una operación segura de cementación.

Para los diseños evaluados se encontró que la relación que arroja el equilibrio entre el Ultra Set Stabilizer y Ultra Set Initiator es de uno a dos, es decir que el porcentaje en peso del Ultra Set Stabilizer sea el doble del porcentaje en peso del Ultra Set Initiator. Los diseños de espaciadores que cumplen con el parámetro del rango de tiempo de bombeabilidad (6-7 horas) son:

- Espaciador 2.
- Espaciador 3.

En el **Anexo G**, se presenta la gráfica de tiempo de bombeabilidad del Espaciador 1.

En el **Anexo H**, se presenta la gráfica de tiempo de bombeabilidad del Espaciador 2.

En el **Anexo I**, se presenta la gráfica de tiempo de bombeabilidad del Espaciador 3.

En el **Anexo J**, se presenta la gráfica de tiempo de bombeabilidad del Espaciador 4.

6.3 Determinación de reología. Esta prueba se realiza con la temperatura circulante del pozo (BHCT) calculada en el literal 5.1.1, con el objetivo de conocer el comportamiento del espaciador a condiciones de fondo de pozo la compañía requiere que la viscosidad plástica se encuentre en un rango de 80 a 140 cP y el punto cedente mayor a 18 lb/100 ft². Para los resultados de esta prueba se tomaron los datos de reología (L1 y L2) y posteriormente se realizó un promedio (Lp), con el objetivo de tener medidas más exactas. La **Tabla 9**, presenta los resultados de la prueba de reología para los diseños de los espaciadores.

Tabla 9. Resultados de la prueba de reología para los diseños de los espaciadores.

Prueba de reología para espaciadores especiales							
Espaciador 1				Espaciador 2			
Reología (rpm)	Temperatura circulante (BHCT) (°F)			Reología (rpm)	Temperatura circulante (BHCT) (°F)		
	L1 (cP)	L2 (cP)	Lp (cP)		L1 (cP)	L2 (cP)	Lp (cP)
300	125	125	125	300	180	180	180
200	103	91	97	200	165	140	153
100	78	65	72	100	112	100	106
60	55	44	50	60	81	54	68
30	35	29	32	30	45	31	38
6	15	11	13	6	25	21	23
3	10	8	9	3	15	12	14
Espaciador 3				Espaciador 4			
Reología (rpm)	Temperatura circulante (BHCT) (°F)			Reología (rpm)	Temperatura circulante (BHCT) (°F)		
	L1 (cP)	L2 (cP)	Lp (cP)		L1 (cP)	L2 (cP)	Lp (cP)
300	165	165	165	300	190	190	190
200	122	109	116	200	135	126	131
100	88	77	83	100	125	101	113
60	61	54	58	60	74	61	68
30	55	38	47	30	65	43	54
6	25	16	21	6	23	18	21
3	13	11	12	3	12	11	12

En la **Ecuación 4**, se presenta el cálculo para hallar la viscosidad plástica en lechadas de cemento mediante el modelo plástico de Bingham aplicado al espaciador.

Ecuación 4. Cálculo para hallar la viscosidad plástica.

$$\text{Viscosidad plástica (cP)} = (\theta_{300} - \theta_{100}) \times 1.5$$

Fuente: SCHLUMBERGER. Módulo CF17, Introducción a la reología. Año 1995. P 27.

- **θ300**= Lectura de reología a 300 rpm (expresado en cP).
- **θ100**= Lectura de reología a 100 rpm (expresado en cP).
- **1.5** = desviación aceptada para la lectura a 300 rpm.

En la **Ecuación 5**, se presenta el cálculo para hallar el punto cedente, mediante el modelo plástico de Bingham.

Ecuación 5. Cálculo para hallar punto cedente.

$$\text{Punto cedente} \left(\frac{lb}{100 \text{ pies}^2} \right) = (\theta_{300} - \text{Viscosidad plástica})$$

Fuente: SCHLUMBERGER. Módulo CF17, Introducción a la reología. Año 1995. P 27.

- **θ300**= Lectura de reología a 300 rpm (expresado en cP).

En el **Cálculo 13**, Se presenta los resultados de viscosidad plástica para los diseños de espaciadores.

Cálculo 13. Resultados de viscosidad plástica para los diseños de espaciadores.

$$\begin{aligned} \text{Espaciador 1} &= (125 \text{ cP} - 72 \text{ cP}) \times 1.5 = 79.5 \text{ cP} \\ \text{Espaciador 2} &= (180 \text{ cP} - 106 \text{ cP}) \times 1.5 = 111 \text{ cP} \\ \text{Espaciador 3} &= (165 \text{ cP} - 83 \text{ cP}) \times 1.5 = 123 \text{ cP} \\ \text{Espaciador 4} &= (190 \text{ cP} - 113 \text{ cP}) \times 1.5 = 115.5 \text{ cP} \end{aligned}$$

En el **Cálculo 14**, se presenta los resultados del punto cedente para los diseños de los espaciadores.

Cálculo 14. Resultados del punto cedente para los diseños de espaciadores.

$$\text{Espaciador 1} = (125 \text{ cP} - 79.5 \text{ cP}) = 45.5 \frac{\text{Lb}}{100 \text{ pies}^2}$$

$$\text{Espaciador 2} = (180 \text{ cP} - 111 \text{ cP}) = 69 \frac{\text{Lb}}{100 \text{ pies}^2}$$

$$\text{Espaciador 3} = (165 \text{ cP} - 123 \text{ cP}) = 42 \frac{\text{Lb}}{100 \text{ pies}^2}$$

$$\text{Espaciador 4} = (190 \text{ cP} - 115.5 \text{ cP}) = 75 \frac{\text{Lb}}{100 \text{ pies}^2}$$

6.3.1 Análisis de resultados. Para la viscosidad plástica y punto cedente todos los diseños cumplen con los parámetros exigidos, en donde la viscosidad debe encontrarse en un rango de 80 a 140 cP y el punto cedente mayor a 18 lb/100 ft².

De los valores obtenidos para los diseños se puede afirmar que los puntos cedentes de los cuatro diseños están por encima del punto cedente del lodo de perforación, dando como resultado una buena capacidad de remoción y desplazamiento del lodo cumpliendo con una jerarquía reológica de los fluidos bombeados en sucesión. En cuanto a la viscosidad plástica que es la fricción creada por el fluido se ve afectada por que se genera poco a poco una serie de partículas en estado de gel que se aglomeran durante el proceso de polimerización (efecto de coalescencia), esto se atribuye a la reacción alterada por cada una de las variaciones de los aditivos Ultra Set Stabilizer y Ultra Set Initiator, siendo el primero quien reduce y/o controla la formación y desarrollo del efecto de coalescencia en la polimerización.

6.4 DETERMINACIÓN DE FUERZA DE GELES

La tixotropía y gelificación de fluidos es relevante para la reducción de la presión hidrostática. Como se había mencionado anteriormente si se tiene una presión hidrostática menor o igual a la presión de la formación se tiene una migración de gas; por lo siguiente, el tiempo de transición que es el tiempo que se toma cuando se obtiene la primera fuerza de gel medible de 100 lb/100 ft² y termina cuando este alcanza las 500 lb/100 ft² momento donde el gas ya no podrá ingresar (percolarse) dentro del espaciador gelificado, con el fin de evitar la migración del gas, este valor debe ser menor a 30 minutos para que cumpla con los parámetros anti migratorios. En la **Tabla 10**, se presentan los resultados de la prueba de fuerza de geles para los diseños de espaciadores.

Tabla 10. Resultados de la prueba de fuerza de geles para los diseños de espaciadores.

Prueba de fuerza de geles para espaciadores				
	Espaciador 1	Espaciador 2	Espaciador 3	Espaciador 4
	Tiempo minutos	Tiempo minutos	Tiempo minutos	Tiempo minutos
Fuerza				
100 lb/100 ft²	51	41	15	28
500 lb/100 ft²				

6.4.1 Análisis de resultados. Siendo el tiempo menor a los 30 minutos, se garantiza que se minimice la posibilidad de la percolación del gas en el cemento (migración del gas en forma de burbujas macroscópicas invadiendo y elevándose a través del cemento) formando de esta manera canales migratorios, por lo que el espaciador con base en una resina polimérica se vuelve impermeable en la formación de geles y posteriormente se solidifica; para esta prueba, los espaciadores que cumplen son los diseños de espaciadores 3 y 4, cabe resaltar del tiempo obtenido por el diseño 4, que es muy cercano a los 30 minutos lo que se puede considerar como un factor de riesgo al calificar como una opción para ejercer control sobre la migración de gas .

En el **Anexo k**, se presenta la gráfica de fuerza de geles del espaciador 1.

En el **Anexo L**, se presenta la gráfica de fuerza de geles del espaciador 2.

En el **Anexo M**, se presenta la gráfica de fuerza de geles del espaciador 3.

En el **Anexo N**, se presenta la gráfica de fuerza de geles del espaciador 4.

6.5 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO DESTRUCTIVA

El parámetro establecido para pruebas de resistencia a la compresión no destructiva en diseños de espaciadores, debe estar por encima de las 500 lb/plg² en un tiempo de 24 horas. Estas condiciones son dadas, debido a que los diseños de espaciadores, luego de permanecer a condiciones de temperatura en fondo de pozo y demás factores, mantengan sus propiedades mecánicas para poder mantener la integridad del pozo en condiciones aceptables. En la **Tabla 11**, se presentan los resultados de la resistencia a la compresión no destructiva para los diseños de espaciadores.

Tabla 11. Resultados de la resistencia a la compresión no destructiva para los diseños de espaciadores.

Prueba de resistencia a la compresión no destructiva para espaciadores @ 24 horas

Duración de la prueba (horas)			
Diseño	8	12	24
Espaciador 1	175 lb/plg ²	231 lb/plg ²	441 lb/plg ²
Espaciador 2	301 lb/plg ²	331 lb/plg ²	405 lb/plg ²
Espaciador 3	54 lb/plg ²	268 lb/plg ²	502 lb/plg ²
Espaciador 4	301 lb/plg ²	502 lb/plg ²	758 lb/plg ²

6.5.1 Análisis de resultados. Desde el momento que tiene inicio el proceso de polimerización da lugar al endurecimiento de la mezcla, la cual en un principio se da forma rápida y a medida que transcurre el tiempo disminuye su velocidad. Para el caso de la resina polimérica de acuerdo a los resultados se atribuye el desarrollo de resistencia a la compresión a la cantidad de iones libres presentes que dependen de la formulación del Ultra set Intiator en donde los espaciadores que cumplen con el parámetro establecido son los diseños 3 y 4, que presentan una mayor concentración de iniciador en comparación con los diseños 1 y 2, siendo este el componente activo de la mezcla; por tanto, sus características y sobre todo su proporción dentro de la mezcla hace que haya una mayor liberación de radicales libres que serán base para que el polímero tenga una cadena más larga contribuyendo a la conservación de sus propiedades mecánicas; el espaciador 4 desarrolla una resistencia a la compresión no destructiva de manera temprana, en tanto el espaciador 3 desarrolla una resistencia a la compresión no destructiva en el tiempo estipulado.

En el **Anexo Ñ**, se presenta la gráfica a la compresión no destructiva del espaciador 1.

En el **Anexo O**, se presenta la gráfica a la compresión no destructiva del espaciador 2.

En el **Anexo P**, se presenta la gráfica a la compresión no destructiva del espaciador 3.

En el **Anexo Q**, Se presenta la gráfica a la compresión no destructiva del espaciador 4.

7. MATRIZ COMPARATIVA PARA LA SELECCIÓN DEL ESPACIADOR QUE SE ADECUA A LOS PARÁMETROS TÉCNICOS REQUERIDOS POR EL CAMPO CHUIRA

Para la selección del espaciador que se adecue a los parámetros técnicos requeridos por el campo Chuirá este capítulo se desarrolla con base a la metodología de la Matriz de Pugh para la comparación de los espaciadores; esta matriz es implementada en la toma de decisiones sobre un producto, por lo que se basa en la comparación de las diferentes propiedades del objeto en estudio y de esta forma permite determinar la opción que presenta las mejores características permitiendo que se elija aquella que pueda generar el mejor impacto y deshacerse de las opciones que sean menos indicadas.

Para una matriz de Pugh en la fila superior se posicionan los conceptos que se evalúan, en este caso los conceptos que se tienen en cuenta son la densidad, el tiempo de bombeabilidad, viscosidad plástica, el punto cedente, resistencia a la compresión no destructiva y la fuerza de geles estáticos; en una matriz de este estilo se le otorgan valoraciones a los conceptos o criterios de acuerdo a la base que alimente la matriz.

El capítulo anterior permitió conocer el comportamiento de cada uno de los espaciadores formulados durante el desarrollo de cada prueba y analizando de manera independiente el comportamiento presentado por los diseños; los resultados obtenidos en cada prueba son fundamentales para la matriz por lo que son aquellos que la sustentan para llegar a la selección del diseño que sea la mejor opción en los procesos de cementación de la sección de 7" minimizando la posibilidad de la migración de los fluidos presentes en el pozos, siendo la migración de gas en el espacio anular la de mayor cuidado, en el **capítulo 2** se estudiaron las causas más comunes que desencadenan este fenómeno durante la cementación y sus efectos de no ser minimizadas en lo posible.

Para la evaluación de cada uno de los conceptos que hacen parte de la matriz, los resultados de las pruebas que alimentan la matriz deben seguir los parámetros físicos mencionados anteriormente en la **sección 5**, por lo que son estos la base para discriminar entre los diseños y de acuerdo a esto se valoran; si el concepto cumple con el criterio de diseño para la evaluación obtiene el valor de '1', si el concepto no cumple con el criterio de diseño para la evaluación obtiene el valor de "0", si el concepto no cumple con el desarrollo de fuerza de geles estáticos obtiene el valor de "-1". Esta evaluación de cada concepto sirve para ponderar cada espaciador y es de considerar como esencial la valoración del desarrollo de fuerza de geles estáticos, por lo que es el de mayor peso entre los conceptos que se

evalúan, por esto, el espaciador que no cumple con este concepto es valorado en esta sección con -1 haciendo que el diseño se rechace automáticamente.

Para construir la matriz de comparación planteada, se tienen en cuenta los parámetros físicos que se presentan en la tabla 17, página 103, primero se agrupan todos los resultados obtenidos en cada una de las pruebas de laboratorio como se muestran en la tabla 23 para así poder valorar cada una de los conceptos como se muestra a continuación en la tabla 24, luego se suman todos los valores de los espaciadores y se determina la mejor opción la cual será la que tenga mayor puntuación y cumplimiento del parámetro de mayor peso como se muestra en la tabla 25.

El mejor diseño, será aquel que arroje una sumatoria de 5; de existir más de un diseño que clasifiquen se discriminará entre estos por el resultado obtenido en el tiempo que tome en formar geles bajo condiciones estáticas, siendo el de menor valor elegido de inmediato.

A continuación, se presenta en la **Tabla 12** la agrupación de todos los resultados obtenidos en los 4 diseños evaluados.

Tabla 12. Resultados de las pruebas de laboratorio realizadas a los diseños de espaciadores

Pruebas de laboratorio							
Diseño	Densidad (ppg)	Tiempo de bombeabilidad		Reología		Resistencia a la compresión (lb/plg ²)	Geles estáticos
		Horas	Minutos	Viscosidad plástica (cP)	Punto cedente (lb/100pies ²)	No destructiva	Fuerza (100-500 lb/100 ft ²) Minutos
Espaciador 1	11.5	7	28	79.6	45.5	441 lb/plg ²	51
Espaciador 2	11.5	6	10	111	69	405 lb/ plg ²	41
Espaciador 3	11.5	6	20	123	42	502 lb/ plg ²	15
Espaciador 4	11.5	5	50	115.5	75	758 lb/ plg ²	28

A continuación, en la **Tabla 13** se muestra el desarrollo de la matriz. Como se mencionó anteriormente el parámetro de mayor peso corresponde al desarrollo de geles estáticos, en donde los espaciadores 1 y 2 no cumplen con esta exigencia siendo estos lo peor valorados.

Tabla 13. Matriz de selección.

Diseño	Densidad	Tiempo de bombeabilidad	Reología	Resistencia a la compresión	Geles estáticos
Espaciador 1	1	0	1	0	-1
Espaciador 2	1	1	1	0	-1
Espaciador 3	1	1	1	1	1
Espaciador 4	1	0	1	1	1

Una vez valorados cada uno de los conceptos de la matriz se suman y se obtiene que la mejor opción entre los diseños es el espaciador 3, seguido por el espaciador 4 quien por su tiempo de bombeabilidad no logra clasificar por la seguridad de la operación, aunque es de resaltar que el espaciador 4 se presenta como un posible candidato para este caso, por lo que cumple con el desarrollo de la fuerza de geles estáticos y presenta una mejor resistencia a la compresión que el espaciador 3.

Tabla 14. Ponderación total de los diseños de espaciadores.

Diseño	Total
Espaciador 1	1
Espaciador 2	2
Espaciador 3	5
Espaciador 4	4

Diseño final

Como diseño final es elegido el espaciador número 3, basado en los resultados de la matriz, en los parámetros físicos que debe de cumplir el espaciador y teniendo en cuenta que este diseño presenta un mejor tiempo en la formación de geles estáticos en comparación con los otros diseños que fueron sometidos a evaluación por medio

de las diferentes pruebas. En la **Tabla 15** se presentan la concentración de cada uno de los aditivos del diseño elegido.

Tabla 15. Diseño de espaciador 3 que cumple con los parámetros para el control de gas.

Espaciador 3	
COMPONENTE	Cantidad en gramos
Ultra Set RAS	669.59
Ultra Set Initiator)	6.7
Ultra Set Stabilizer)	13.38
Barita	13.39
Agente de suspensión	46.87

8. ANÁLISIS FINANCIERO

En la actualidad, el Campo Chuirá se encuentra entre los bloques que representan en Colombia una gran posibilidad para aumentar la producción de hidrocarburos en los siguientes 10 años. Éste es un campo que presenta características especiales como la producción de gas en conjunto con hidrocarburos líquidos en donde la presencia de volúmenes de gas en las fases de perforación y cementación hace que sean necesarios procesos que permitan el mejor desarrollo de la vida productiva en los pozos que sean diseñados bajo los requerimientos que presenta el Campo Chuirá.

Hoy en día, el Campo Chuirá cuenta con un único pozo productor, el pozo Chuirá 1, en el cuál durante su fase de completamiento no se tomó la precaución de hacer uso de un proceso de cementación en donde fuese incluido un espaciador que se acomodara a los requerimientos de la sección de interés, con el objetivo de permitir un buen asentamiento del cemento, lo que resultó en una afectación en la cementación de la sección del Liner de 7 pulgadas que se destinó para dicha zona e hizo necesario operaciones adicionales para poder continuar la explotación.

Debido a lo anterior, se realizó el diseño de un espaciador con base en una resina polimérica la cual es un producto desarrollado previamente por Tucker donde se necesita brindar un sello de cara a la formación y trabajar hasta temperaturas de 230°F realizando variaciones de concentración sobre éste producto con el objetivo de determinar la mejor alternativa en el control del gas para los procesos de cementación de la sección del Liner de 7", teniendo en cuenta todas las especificaciones del pozo Chuirá 1 en dicha sección.

Bajo los resultados obtenidos durante las pruebas es necesario determinar la viabilidad financiera en la implementación de un espaciador con base en una resina polimérica, Tucker Energy Services S.A. pretende introducirlo en los procesos de cementación del campo como la posibilidad que mayor beneficio brindara para la operadora del campo tanto técnica como financieramente; es por esto que se debe de realizar la evaluación de dos escenarios, el escenario actual sin la implementación del espaciador con base en una resina polimérica y el escenario propuesto donde se hace uso del espaciador planteado para el control de gas en los procesos de cementación del Campo Chuirá.

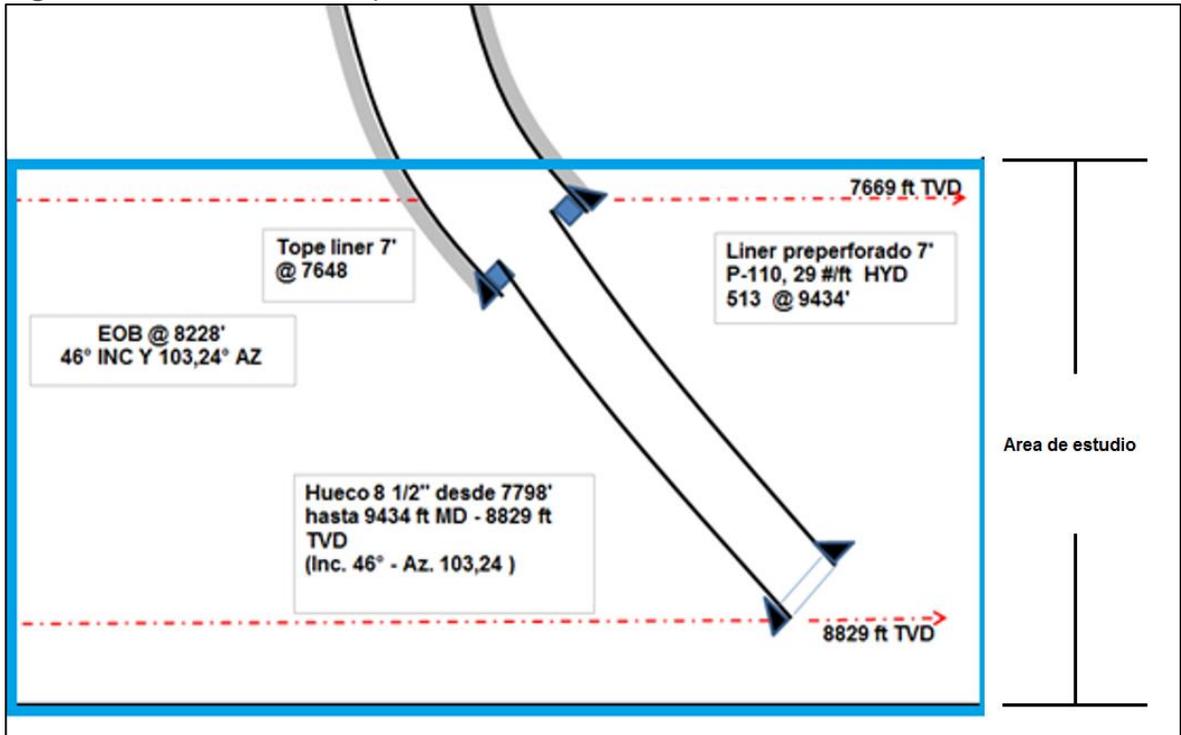
Para la evaluación financiera se tiene en cuenta, Como unidad monetaria de valor constante el Dólar Estadounidense (USD), un tiempo de evaluación fijado en 4 años y divididos en periodos anuales, se definió una tasa de interés de oportunidad (TIO) del 12% anual, como la tasa mínima a ganar por parte del inversionista en este proyecto mediante el indicador de relación beneficio costo. De acuerdo a lo anterior,

se realiza el análisis de los costos de inversión (CAPEX), el análisis de costos de operación (OPEX), y el análisis de ingresos.

8.1 COSTOS DE INVERSIÓN (CAPEX)

Son todas las inversiones de capital que se realizan para crear beneficios; para efectos académicos el Capex hace referencia a los costos generados en el proceso de cementación de la sección de interés, las cantidades de aditivos químicos especiales para la preparación del volumen total de espaciador, que se realizaron con base al estado mecánico original del pozo de referencia, en la **Figura 20**, se delimita el área de interés o de estudio en color azul. Esta cuenta con una profundidad vertical verdadera de 1.160 ft, y dentro de la cual también está el Liner de 7 pulgadas del pozo de correlación, donde se desea hacer uso del espaciador con base en una resina polimérica durante el proceso de cementación.

Figura 20. Estado mecánico pozo de correlación.



8.1.1 Escenario actual. En este escenario tienen lugar los costos de inversión generados por la cementación primaria de la sección de 7" sin hacer uso del espaciador con base en una resina polimérica. Para este, se plantea un daño generado en el pozo de correlación por problemas que se dan en la fase de completamiento atribuidos a la canalización del cemento en la sección de interés, los cuales surgen en el último periodo del horizonte de tiempo planteado de evaluación, generando la necesidad de incurrir en costos para llevar a cabo una operación de "Side-Track". Los daños limitan de manera considerable la producción de hidrocarburos, estos costos corresponden a los generados por un tapón de cemento para la sección dañada y la inversión en la renta del equipo de perforación necesario para la nueva zona.

A continuación, en la **Tabla 16**, se pueden observar los costos de la cementación primaria de la sección del liner 7" y que para efectos académicos se consideran igual en la cementación de la nueva sección de 7"; cabe aclarar que no aluden al espaciador utilizado inicialmente en el pozo.

Tabla 16. Costos para la Cementación del revestimiento de 7".

ITEM	QTY	UNIT	DESCRIPCIÓN	UN. PRICE	NET AMOUNT
1	1	UN	RENTA BATCH MIXER POR TRABAJO	2500	2,500
2	1	UN	CARGO POR CEMENTACION DE CSG 7	9000	9,000
3	40	BBL	ESPACIADOR FLOW CHECK	80	3,200
4	55	BBL	ESPACIADOR BIOZAN	85	4,675
5	10	DIA	RENTA AYUDANTES POR DIA	700	7,000
6	10	DIA	RENTA SUPERVISOR + OPERADOR STAND BY POR DIA	1000	10,000.00
7	0.33	MES	UNIDAD DE CEMENTACION ULT GEN	55000	18,150
8	5	GALON	ANTIESPUMANTE NF 51 L	45	225
9	1	UN	BAKER-LOK (SOLDADURA)	45	45
10	265	LIBRA	BENTONITA	0.5	132.5
11	566	SACO	CEMENTO CLASE "G"	28	15,848
12	26	UN	CENTRALIZADOR CENTEK 7"	320	8,320
13	320	LIBRA	CONTROLADOR DE FILTRADO FL 39 -	22	7,040
14	53	LIBRA	DISPERSANTE	11	583
15	1	UN	FLOAT SHOE 7" REAMER BTC	16000	16,000
16	1	UN	FLOAT COLLAR 7" BTC K55 STD- WTF	2000	2,000
17	1	GALON	GRASA REVESTIDOR	450	450
18	7	GALON	LATEX	35	245
19	160	LIBRA	R-65 RETARDADOR	13	2,080
20	214	LIBRA	CA-1 CARBON ACTIVADO	28	5,992
21	52	UN	STOP RING 7" TES	65	3,380
22	1	UN	TOP PLUG 7" STD-WTF	230	230
23	1	UN	BOTTOM PLUG 7" STD-WTF	450	450

Fuente: Tucker Energy Services S.A. agosto 2016 Modificada por los Autores.

En la **Tabla 25**, se muestran los costos asociados al tapón de cemento de la sección de 7".

Tabla 17. Costos para Tapón de cemento.

ITEM	QTY	Unidad	Descripción	Valor unitario.	Total (USD)
1	2	UN	Movilización inicial hasta la localización del pozo Tipo Dos	2,500	5,000
2	2	UN	Desmovilización Final, Desarme y transporte al finalizar Operación.	1,000	2,000
3	1	UN	Movilización/ Desmovilización - Equipo Adicional (Frac Tank)	1,500	1,500
4	1	UN	Cargo Básico por Operación de tapones de Abandono	2,500	2,500
5	1	UN	Cargo equipo de Cementación Secundaria (tapón de Abandono)	2,500	2,500
6	1	UN	Cargo Equipo de Cementación Batch mixer	1,500	1,500
7	44	BBL	Lechada De cemento de 14.5 PPG con control de Filtrado	87	3,828
8	24	BBL	Lechada de cemento de 15.6 PPG Con Acelerante para Tapón Ab	93	2,232
9	408	UN	Espaciador Mecánico Mezcla Biozan	31	12,648
10	6	DÍA	Ingeniero de Cementación y/o Supervisor Operador y Dos	700	4,200
11	6	DÍA	Cargo Alojamiento Y manutención por persona por día	300	1,800
				TOTAL	39,708

Fuente: Tucker Energy Services S.A. agosto 2016. Modificada por los autores.

Se muestra en la **Tabla 18**, los costos de inversión para la perforación de la nueva sección de 7”

Tabla 18. Costos equipo perforación de nueva sección de 7”.

Unidad	Descripción	Valor unitario.	QTY	Total (USD)
USD/ Día	Equipo para perforación nueva sección de 7” + personal.	15,000	10	150,000

Fuente: Tucker Energy Services S.A. agosto 2016. Modificada por los autores.

En la **Tabla 19**, se presenta los costos totales del escenario actual.

Tabla 19. Costos totales de inversión escenario actual.

Periodo (Años)	Descripción	USD
0	Cementación primaria sección de 7"	116,356
4	Tapón de cemento sección de 7"	39,708
	Equipo perforación nueva sección 7"	150,000
	Cementación primaria nueva sección de 7"	117,546
Total, periodo 4		307,253

Fuente: Tucker Energy Services S.A. agosto 2016 Modificada por los autores.

8.1.2 Escenario Propuesto. Para este caso se tienen en cuenta los costos generados únicamente por la cementación primaria de la sección de interés que se exponen en la **Tabla 20**, y se reemplaza el espaciador del escenario Actual que corresponde a los ítems 3 y 4 del escenario propuesto generando así la **Tabla 21**.

Tabla 20. Costos cementación revestimiento con el espaciador propuesto.

ITEM	QTY	UNIT	DESCRIPCIÓN	UN. PRICE	NET AMOUNT
1	1	UN	Renta batch mixer por trabajo	2,500	2,500
2	1	UN	Cargo por cementación de csg 7	9,000	9,000
3	32	BBL	Espaciador resina polimérica	250	8,000
4	10	DÍA	Rentas ayudantes por día	700	7,000
5	10	DÍA	Renta supervisor + operador	1,000	10,000
6	0.33	MES	Unidad de cementación ultima gen.	55,000	18,150
7	5	GALON	Antiespumante nf 51 l	45	225
8	1	UN	Baker-lok (soldadura)	45	45
9	265	LIBRA	Bentonita	0.5	132.5
10	566	SACO	Cemento clase "g"	28	15,848
11	26	UN	Centralizador centek 7"	320	8,320
12	320	LIBRA	Controlador de filtrado fl 39 -	22	7,040
13	53	LIBRA	Dispersante	11	583
14	1	UN	Float shoe 7" reamer btc	16,000	16,000
15	1	UN	Float collar 7" btc k55 std- wtf	2,000	2,000
16	1	GALON	Grasa revestidor	450	450
17	7	GALON	Latex	35	245
18	160	LIBRA	R-65 Retardador	13	2,080
19	214	LIBRA	CA-1 Carbon activado	28	5,992
20	52	UN	Stop ring 7" tes.	65	3,380
TOTAL					116,990.5

Fuente: Tucker Energy Services S.A. agosto 2016 Modificada por los autores.

Tabla 21. Costos totales de inversión para el escenario propuesto.

Periodo (Años)	Descripción	USD
0	Cementación primaria sección de 7"	116,990.5
	Total	116,990.5

8.2 COSTOS DE OPERACIÓN (OPEX)

Los costos de operación son todos aquellos costos continuos para el funcionamiento de un producto negocio o sistema. En esta variable se consideran los costos asociados a la producción de hidrocarburos a lo largo de los 4 años.

8.2.1 Producción Pozo de Correlación. Para conocer los volúmenes de hidrocarburos durante el periodo de evaluación, se han considerado los datos históricos de producción del Pozo Chuirá 1, y se realizó la predicción de la producción de crudo en barriles por día, mediante una declinación de tipo exponencial que permite exponer la proyección de la producción de crudo en el pozo durante el periodo de evaluación planteado. A continuación, la **cuadro 12**, muestra la predicción de la producción de crudo para el pozo de correlación.

En el **cuadro 12**, se espera que la producción de crudo se reduzca de los 250 BOPM a un valor de 157 BOPM. Los valores obtenidos en la proyección de producción de crudo son tenidos en cuenta en los dos escenarios que se evalúan.

Cuadro 12. Producción proyectada de crudo para el pozo de correlación.

Periodo	Fecha	Meses	Produccion Promedio mes (bopd)	Produccion acumulada anual (aceite) BLS
1	1/05/2016	1	250	85,399
	1/06/2016	2	248	
	1/07/2016	3	246	
	1/08/2016	4	243	
	1/09/2016	5	241	
	1/10/2016	6	238	
	1/11/2016	7	236	
	1/12/2016	8	234	
	1/01/2017	9	231	
	1/02/2017	10	229	
	1/03/2017	11	227	
	1/04/2017	12	224	
2	1/05/2017	13	222	75,742
	1/06/2017	14	220	
	1/07/2017	15	218	
	1/08/2017	16	216	
	1/09/2017	17	213	
	1/10/2017	18	211	
	1/11/2017	19	209	
	1/12/2017	20	207	
	1/01/2018	21	205	
	1/02/2018	22	203	
	1/03/2018	23	201	
	1/04/2018	24	199	
3	1/05/2018	25	197	67,177
	1/06/2018	26	195	
	1/07/2018	27	193	
	1/08/2018	28	191	
	1/09/2018	29	189	
	1/10/2018	30	187	
	1/11/2018	31	186	
	1/12/2018	32	184	
	1/01/2019	33	182	
	1/02/2019	34	180	
	1/03/2019	35	178	
	1/04/2019	36	177	
4	1/05/2019	37	175	59,581
	1/06/2019	38	173	
	1/07/2019	39	171	
	1/08/2019	40	170	
	1/09/2019	41	168	
	1/10/2019	42	166	
	1/11/2019	43	165	
	1/12/2019	44	163	
	1/01/2020	45	161	
	1/02/2020	46	160	
	1/03/2020	47	158	
	1/04/2020	48	157	

A continuación, en la **tabla 22**, se muestra la producción proyectada para cada periodo de evaluación a partir del **cuadro 12**.

Tabla 22. Producción proyectada.

Periodo Anual	Producción (BOPA)
1	85,399
2	75,742
3	67,177
4	59,581

8.2.2. Costos de levantamiento de petróleo. Son todos los costos generados por la producción de un barril de petróleo en dólares estadounidenses, Para cada uno de los escenarios los costos de levantamiento se han fijado en 14 USD/BL.

8.2.2.1 Escenario Actual. Los costos de operación de este escenario contemplan la producción proyectada en el pozo de correlación, y el cual para la proyección se ve interrumpida en el periodo 4 durante 23 días, producto del tiempo necesario para el tapón de cemento, la perforación de la nueva sección y la cementación de la nueva sección del liner de 7”.

En la **Tabla 23**, se muestra la producción para el escenario actual y costo de levantamiento de esta producción.

Tabla 23. Costos de operación escenario actual.

Periodo Anual	Producción (BOPA)	Costos de levantamiento (USD/BBL)	Total (USD)
1	85,399	14	1,195,586
2	75,742	14	1,060,388
3	67,177	14	940,478
4	59,461	14	832,454

8.2.2.2 Escenario Propuesto. En este escenario se espera que la producción sea igual a la producción proyectada a partir del pozo de correlación, los costos de levantamiento son expuestos en la **Tabla 24**.

Tabla 24. Costos de producción escenario Propuesto.

Periodo Anual	Producción (BOPA)	Costos de levantamiento (USD/BBL)	Total (USD)
1	85,399	14	1,195,586
2	75,742	14	1,060,388
3	67,177	14	940,478
4	59,581	14	834,134

8.3 ANÁLISIS DE INGRESOS

Estos hacen referencia a todas las cantidades de dinero obtenidas por parte de una empresa u organización por la venta de productos o servicios. Para los escenarios planteados en este proyecto los ingresos son el producto de las ventas de hidrocarburos líquidos del Campo Chuirá.

Para poder determinar los ingresos producto de la venta de hidrocarburos son necesarios los valores del volumen de regalías, los costos de transporte y el valor aproximado del ajuste de calidad.

8.3.1 Regalías. Son una contraprestación económica de propiedad del estado generada por la explotación de un recurso natural no renovable, la determinación del valor de las regalías se encuentra establecida en la ley 756 de 2002, donde para el Campo Chuirá por tener una producción inferior a los 5000 barriles diarios es del 8% de la producción bruta.

8.3.1.1 Escenario Actual. A continuación, en la **Tabla 25**, se muestran los volúmenes de regalías y el volumen de producción neta del Escenario Actual.

Tabla 25. Producción Neta escenario actual.

Periodo Anual	Producción (BOPA)	Regalías (8%)	Prod. Neta (BBL)
1	85,399	6,832	78,567
2	75,742	6,059	69,683
3	67,177	5,374	61,803
4	59,461	4,757	54,704

8.3.1.2 Escenario Propuesto. A continuación, en la **Tabla 26**, se muestran los volúmenes de regalías y el volumen de producción neta del Escenario Propuesto.

Tabla 26. Producción Neta escenario propuesto.

Periodo Anual	Producción (BOPA)	Regalías (8%)	Prod. Neta (BBL)
1	85,399	6,832	78,567
2	75,742	6,059	69,683
3	67,177	5,374	61,803
4	59,581	4,766	54,814

8.3.2 Precio crudo de referencia. Para el análisis financiero de los dos escenarios que se plantean, se tiene en cuenta el panorama del WTI y la ventana de precios con la que se sitúa en la actualidad, A continuación, la **Tabla 27**, presenta el precio del barril para los 4 periodos anuales de evaluación los cuales se encuentran con detalle en el **ANEXO W**.

Tabla 27. Predicción del precio del barril.

Periodo	Precio WTI (USD/ BBL)
1	47.64
2	40.62
3	37.94
4	36.32

8.3.3 Precio de venta. En esta variable se tiene en cuenta el precio para el WTI proyectado del cual se restan el precio de transporte y el valor de ajuste por concepto de calidad, para así, conocer cuánto se percibe en USD/BL de ganancias en la venta de petróleo.

El transporte de crudo del pozo de correlación tiene un valor de 1.1044 USD/BL y el ajuste por concepto de calidad 10.80 USD/BL, estos valores se encuentran con mayor de talles en el Anexo V.

En la **Tabla 28**, se muestra el precio de venta final para el petróleo del pozo de correlación.

Tabla 28. Precio de Venta Final.

Periodo Anual	WTI (USD/BBL)	Ajuste Calidad (USD/BBL)	Transporte (USD/BBL)	Total (USD/BBL)
1	47.64	10.80	1.10	35.74
2	40.62	10.80	1.10	28.72
3	37.94	10.80	1.10	26.04
4	36.32	10.80	1.10	24.41

8.3.4 Ingresos Netos. Hace referencia a los ingresos que efectivamente se recibirán en los años proyectados, en esta variable son tenidos en cuenta los volúmenes netos de hidrocarburos para cada uno de los escenarios mencionados en el numeral 8.3.1.

8.3.4.1 Escenario actual. A continuación, en la **tabla 29**, se presentan los ingresos netos en USD para el escenario actual.

Tabla 29. Ingresos escenario actual.

Periodo Anual	Precio de venta	Producción Neta (BOPA)	Total (USD)
1	35.74	78,567	2,807,984.58
2	28.72	69,683	2,001,295.76
3	26.04	61,803	1,609,350.12
4	24.41	54,704	1,335,324.64

8.3.4.2 Escenario Propuesto. A continuación, en la **tabla 30**, se presentan los ingresos netos en USD para el escenario Propuesto.

Tabla 30. Ingresos Escenario propuesto.

Periodo Anual	Precio de venta	Producción Neta (BOPA)	Total (USD)
1	35.74	78,567	2,807,984.58
2	28.72	69,683	2,001,295.76
3	26.04	61,803	1,609,350.12
4	24.41	54,814	1,338,009.74

8.4 EVALUACIÓN FINANCIERA

De acuerdo con toda la información expuesta en las secciones anteriores se procede a hacer uso del indicador Relación beneficio Costo.

8.4.1 Relación beneficio costo. Es la relación comprendida entre el valor presente de los ingresos sobre el valor presente 'VP' de los egresos de un proyecto utilizado para determinar los beneficios de cada escenario económico que sea analizado. Este procedimiento se apoya en el método del valor presente.

Ecuación 6. Relación beneficio costo

$$Relacion \frac{B}{C} = \frac{Valor\ Presente\ de\ los\ ingresos}{Valor\ presente\ de\ los\ Costos}$$

Fuente. BACA, Guillermo. Ingeniería económica. Octava Edición. Bogotá. 2005. p. 263

Si **B/C** < 1, el proyecto presenta ingresos menores que los costos, razón por la cual el proyecto no es atractivo.

Si **B/C** = 1, el proyecto tiene ingresos iguales a los costos, para este caso lo único que se puede obtener es la tasa por parte del inversionista, razón por la cual es indiferente financieramente realizar el proyecto o continuar realizando una inversión.

Si **B/C** > 1, el proyecto presenta los ingresos superiores a los costos, por tanto, el proyecto es atractivo.

Al utilizar la metodología de relación beneficio costo el resultado se interpreta como los beneficios/pérdidas por cada centavo que se invierte en el proyecto.

8.4.2 Valor presente. Es el método que permite evaluar la relación entre los beneficios de un proyecto y los costos de este, con una serie de flujos en efectivo llevándolos al presente.

El cálculo de los flujos en efectivo se presenta en la **Ecuación 7.**

Ecuación 7. Valor presente

$$VP = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t}$$

Fuente. BACA, Guillermo. Ingeniería económica. Octava Edición. Bogotá. 2005. p. 197.

V_t : Representa los flujos de caja en cada periodo t.

n : Es el número de periodos considerado.

k : Es el tipo de interés.

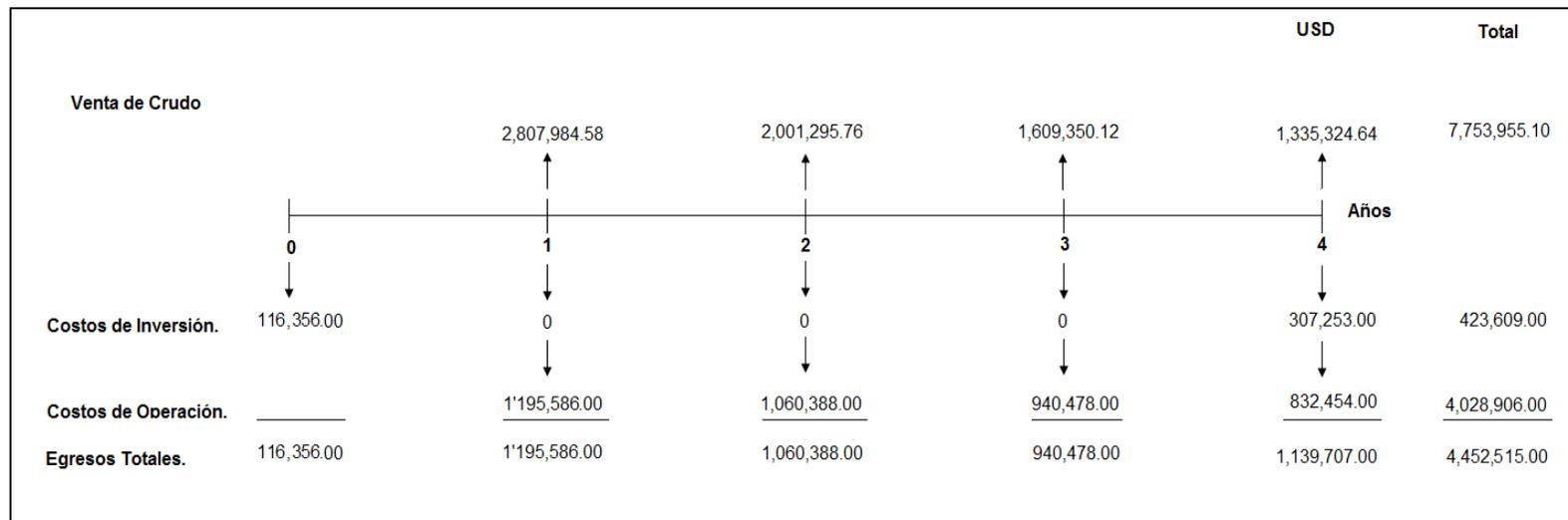
Cabe recordar que para los cálculos se tiene en cuenta la tasa de interés de oportunidad fijada en un 12 % anual y que los periodos de evaluación son anuales.

8.4.3 Flujos de caja. Teniendo en cuenta los costos de inversión, los costos operación y los ingresos netos expuestos anteriormente para cada uno de los escenarios se realizan los respectivos flujos de caja.

En las figuras 21 y 22, se muestran los flujos de caja de cada uno de los escenarios evaluados.

8.4.3.1 Escenario Actual. En la **Figura 21**, se muestra el diagrama de flujo para el escenario actual en donde se hace uso de un diseño de cementación en el que no se implementa un espaciador que pueda ayudar a controlar y prevenir la filtración del gas hacia el pozo, por lo que se incurre en costos durante el último periodo para poder continuar produciendo en el pozo de correlación.

Figura 21. Flujo de caja Escenario actual.



A partir del flujo de caja se realiza el cálculo del valor presente de los ingresos en el Cálculo 13 y el valor presente de los egresos en el Cálculo 15, para el escenario actual.

Se reemplazan en los datos de los ingresos en la **Ecuación 7**, para realizar el cálculo del VP, a la tasa TIO de 12% resultando el **Cálculo 15**.

Cálculo 15. Cálculo VP ingresos Escenario Actual.

$$VP \text{ ingresos} = \frac{2,807,984.58}{(1 + 0.12)^1} + \frac{2,001,295.76}{(1 + 0.12)^2} + \frac{1,609,350.12}{(1 + 0.12)^3} + \frac{1,335,324.64}{(1 + 0.12)^4}$$

$$VP \text{ ingresos} = 2,507,129.09 + 1,595,420.73 + 1,145,503.63 + 848,622.95$$

$$VP \text{ ingresos} = 6,096,676.39 \text{ USD}$$

En seguida en la **Ecuación 7** se reemplazan los datos correspondientes a los egresos mencionados anteriormente para poder determinar su VP, con una TIO de 12% resultando el **Cálculo 16**.

Cálculo 16. Cálculo valor presente egresos Escenario Actual.

$$VP \text{ egresos} = 116,356 + \frac{1,195,586.00}{(1 + 0.12)^1} + \frac{1,060,388.00}{(1 + 0.12)^2} + \frac{940,478.00}{(1 + 0.12)^3}$$

$$+ \frac{1,139,707.00}{(1 + 0.12)^4}$$

$$VP \text{ egresos} = 116,356.00 + 1,067,487.50 + 845,334.82 + 669,413.66$$

$$+ 724,304.40$$

$$VP \text{ egresos} = 3,422,896.39$$

A partir de los resultados obtenidos, se procede a realizar el cálculo de la relación beneficio costo para el escenario actual.

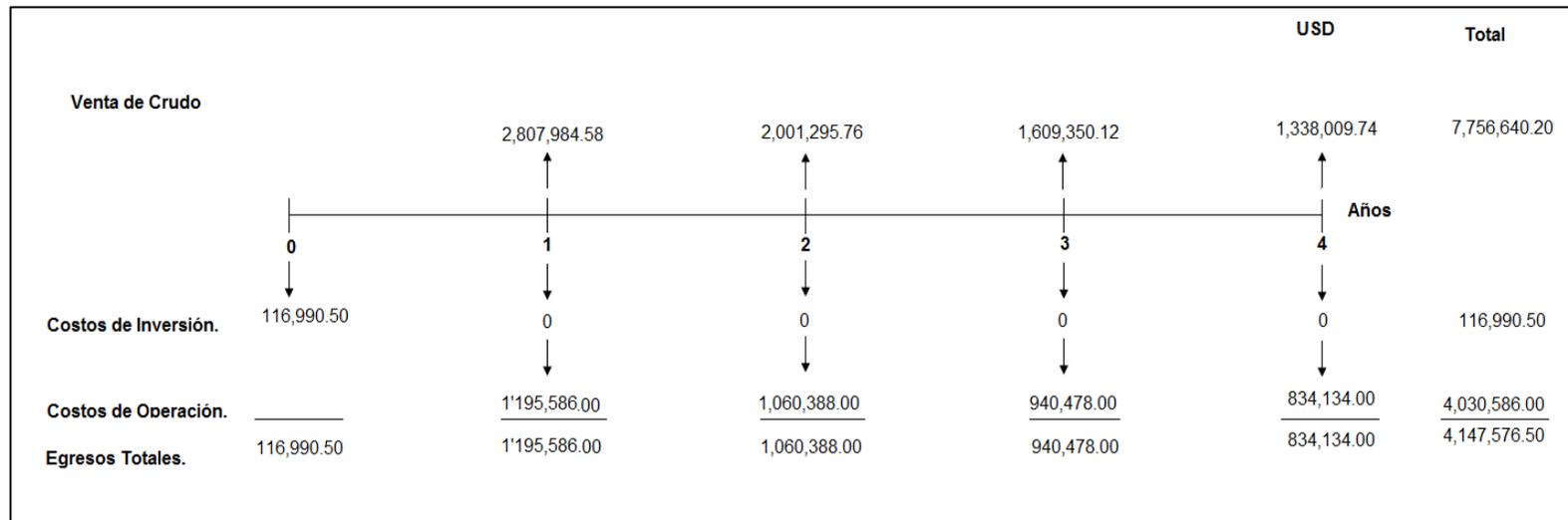
En el **Cálculo 17** se expresa la relación del valor presente de los beneficios sobre el valor presente de los egresos del Escenario Actual.

Cálculo 17. Cálculo relación beneficio costo Escenario Actual.

$$Relacion \text{ Beneficio Costo} = \frac{6,096,676.39 \text{ USD}}{3,422,896.39 \text{ USD}} = 1.7811$$

8.4.3.2 Escenario Propuesto. En la **Figura 22** muestra el flujo de caja correspondiente al escenario propuesto en donde se plantea la implementación de un espaciador con base en una resina polimérica.

Figura 22 Flujo de caja Escenario Propuesto.



A continuación, se presenta el cálculo del valor presente de los ingresos en el Cálculo 13 y de los egresos en el Cálculo 14 para el Escenario Propuesto.

Se reemplazan los datos de los ingresos en la **Ecuación 7**, para realizar el cálculo del VP, a la tasa TIO de 12% resultando la **Cálculo 18**.

Cálculo 18. Cálculo VP ingresos Escenario Propuesto.

$$VP \text{ ingresos} = \frac{2,807,984.58}{(1 + 0.12)^1} + \frac{2,001,295.76}{(1 + 0.12)^2} + \frac{1,609,350.12}{(1 + 0.12)^3} + \frac{1,338,009.74}{(1 + 0.12)^4}$$

$$VP \text{ ingresos} = 2,507,129.09 + 1,595,420.73 + 1,145,503.63 + 850,329.38$$

$$VP \text{ ingresos} = 6,098,382.82 \text{ USD}$$

En seguida en la **Ecuación 7**, se reemplazan los datos correspondientes a los egresos mencionados anteriormente para poder determinar su VP, con una TIO de 12% resultando la **Cálculo 19**.

Cálculo 19. Cálculo valor presente egresos Escenario Propuesto.

$$VP \text{ egresos} = 116,990.5 + \frac{1,195,586.00}{(1 + 0.12)^1} + \frac{1,060,388.00}{(1 + 0.12)^2} + \frac{940,478.00}{(1 + 0.12)^3}$$

$$+ \frac{834,134.00}{(1 + 0.12)^4}$$

$$VP \text{ egresos} = 116,990.5 + 1,067,487.50 + 845,334.82 + 669,413.66$$

$$+ 530,107.24$$

$$VP \text{ egresos} = 3,229,333.72 \text{ USD}$$

A partir de los resultados obtenidos, se procede a realizar el cálculo de la relación beneficio costo para el escenario propuesto.

El **Cálculo 20** muestra el cálculo de la relación del valor presente de los beneficios sobre el valor presente de los egresos del Escenario Propuesto.

Cálculo 20. Cálculo relación beneficio costo Escenario Propuesto.

$$Relacion \text{ Beneficio Costo} = \frac{6,098,382.82 \text{ USD}}{3,229,333.72 \text{ USD}} = 1.8884$$

8.5 ANÁLISIS DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA

Desde el punto de vista financiero, la mejor opción para la empresa operadora del campo es implementar en los procesos de cementación el espaciador con base en una resina polimérica por lo que representa una ganancia extraordinaria por cada dólar invertido superior en 13,73% (0.1046 USD), con respecto al escenario actual, originada en la disminución de intervenciones al pozo para continuar aprovechando el potencial de la sección de interés.

A continuación se muestra el cálculo para obtener el porcentaje de ganancia extraordinaria del 13.73%; Luego de conocerse el valor de la relación beneficio costo de cada escenario evaluado, lo que corresponde a la ganancia que se obtiene por parte del escenario propuesto frente al escenario actual, en el **Cálculo 21 y 22**, se presenta el cálculo para conocer a cuanto corresponde este porcentaje, para esto primero se resta la relación beneficio costo del escenario propuesto con el escenario actual como se muestra en el cálculo 19.

Cálculo 21. Diferencia relación beneficio costo entre escenarios.

$$\begin{aligned} & \text{R. beneficio costo escenario propuesto} - \text{R. beneficio costo escenario actual} \\ & = 1.8884 - 1.7811 = 0.1046 \end{aligned}$$

Posteriormente se procede a restarle 1 al valor de la relación beneficio costo obtenida para el escenario actual y sobre este se divide la diferencia de los escenarios obtenida en el cálculo 19, el valor restado es decir uno, corresponde al 100 por ciento de la inversión realizada que para los casos evaluados es recuperada, el valor resultante de esta diferencia hace referencia a las ganancias que se perciben por cada centavo de dólar invertido del escenario.

Cálculo 22. Porcentaje de ganancia extraordinaria.

$$\text{Porcentaje de ganancia extraordinaria} = \frac{0.1046}{(1.7811 - 1)} = 0.13395 = 13.73 \%$$

9. CONCLUSIONES

- La ventaja que proporciona implementar el espaciador con base en una resina polimérica en el programa de cementación, radica en obtener un sello de la sección de interés, el espaciador tres desarrolla geles de manera temprana en un tiempo de 15 minutos, reduciendo de esta manera la posibilidad de que el gas genere canales en el cemento mientras esta fragua.
- Con base en los resultados en las pruebas realizadas a los cuatro diseños de espaciadores, se concluye que el espaciador tres cumple con los parámetros de tiempo de bombeabilidad de seis a siete horas, una resistencia a la compresión no destructiva mayor a 500 lb/plg², desarrollo una fuerza de geles desde los 100 a 500 lb/100ft² en un tiempo inferior a 30 minutos, una viscosidad plástica en un rango de 80 a 140 cP y un punto cedente mayor a 18lb/100ft² requeridos para el caso estudiado, siendo éste el que ayudará a mitigar la infiltración de gas durante la fase de cementación.
- Al comparar las pruebas realizadas a los diseños planteados, se observa que a una mayor concentración del aditivo Ultra Set Initiator quien es el responsable de la formación de radicales libres, hace que sea necesario el aumento de la concentración del aditivo Ultra Set Stabilizer, responsable de estabilizar la polimerización, de esta forma se impide la solidificación temprana del espaciador. La relación más adecuada de estos dos aditivos es que, por cada 1% de concentración de Ultra Set Initiator se implemente el doble de la concentración del Ultra Set Stabilizer, es decir 2% de concentración.
- Mediante la matriz de selección, se evaluaron cuatro diseños de espaciadores para las condiciones dadas en el pozo Chuirá 1, siendo seleccionado el espaciador tres sobre el espaciador cuatro por cumplir con el tiempo de bombeabilidad; es de resaltar que el espaciador 4 se mantiene como un buen diseño candidato para ejercer control de gas donde resalta por cumplir de manera temprana el parámetro de las 500 lb/plg² en un tiempo de 12 horas para la prueba de la resistencia a la compresión.
- Adicional al beneficio financiero reflejado en la ganancia extraordinaria que representa la implementación del espaciador con base en una resina polimérica, se logra minimizar la necesidad de realizar intervenciones al pozo relacionadas a problemas por canalización del cemento en la sección de 7' durante la vida productiva de la sección de interés del pozo de referencia.

10. RECOMENDACIONES

- Para obtener resultados confiables en las pruebas realizadas al espaciador, se recomienda tener buena limpieza y calibración en los equipos de laboratorio con el fin de no contaminar la muestra de estudio, y conseguir precisión en el resultado de cada prueba.
- Constatar que en la preparación del espaciador, tanto en el laboratorio como en campo, se utilice las mismas concentraciones y adición de aditivos, para que no se alteren las propiedades del espaciador.
- Analizar con detenimiento el comportamiento que presenta el espaciador al estar en contacto con la formación de interés, haciendo uso de una muestra real de dicha formación.
- En la preparación del espaciador el aditivo químico Ultra Set Initiator debe ser agregado de último, debido a que este da lugar a la iniciación del proceso de polimerización para el espaciador.
- Extender los análisis desarrollados en este trabajo de grado al estudio de diferentes casos, donde se necesite proporcionar un sello bajo otras condiciones de pozo.
- Evaluar la viabilidad financiera de la implementación del espaciador una vez la el precio del barril del petróleo (WTI) sea superior de los 50 USD/Bbl, esto debido a que durante en la evaluación financiera se evidenció cómo el panorama actual de ésta variable reduce la ganancia extraordinaria adicional por cada dólar invertido.

BIBLIOGRAFÍA

ABC DE CEMENTACIÓN Y ESTIMULACIONES EN MEXICO, MC AGMM & GEMR, Composición del cemento para pozos petroleros.

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH), INFORME EJECUTIVO EVALUACIÓN DEL POTENCIAL HIDROCARBURÍFERO DE LAS CUENCAS COLOMBIANAS (2009),pdf.

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS Memorias al Congreso Periodo 2010-2011, [En línea] Disponible en: [http://www.anh.gov.co/la-anh/Informes%20de%20Gestin/Informe%20Memorias%20al%20Congreso%20Periodo%202010%20-%202011%20\(PDF\).pdf](http://www.anh.gov.co/la-anh/Informes%20de%20Gestin/Informe%20Memorias%20al%20Congreso%20Periodo%202010%20-%202011%20(PDF).pdf)

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS, Estadísticas del sector, Regalías, Estadísticas e informes, [En línea] Disponible en:<http://www.anh.gov.co/Operaciones-Regalias-y-Participaciones/Regalias/Estadisticas/Paginas/default.aspx>

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS, INFORME DE GESTION 2011, [En línea] Disponible en: [http://www.anh.gov.co/la-anh/Informes%20de%20Gestin/Informe%20de%20Gesti%C3%B3n%202011%20\(PDF\).pdf#search=ALL%28campo%20chuir%29%20%28DetectedLanguage%3D%22es%22%29](http://www.anh.gov.co/la-anh/Informes%20de%20Gestin/Informe%20de%20Gesti%C3%B3n%202011%20(PDF).pdf#search=ALL%28campo%20chuir%29%20%28DetectedLanguage%3D%22es%22%29)

ALEJANDRO SOTO, TERMOFLUENCIA. [En línea] Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/53916424/termofluencia>

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, Recommended practices for testing well AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, Specifications for cements and materials for well cementing cements (API RP 10A). Estados Unidos de América. 2011

BRICOBLOG, Todo sobre las resinas Epoxi o poliepóxido. [En línea] Disponible en: <https://www.bricoblog.eu/todo-sobre-las-resinas-epoxi-o-poliepoxido/cements> (API RP 10B). Estados Unidos de América. 2011

COLOMBIA, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [En línea] Disponible en: http://www.anla.gov.co/sites/default/files/res_0088_310113.pdf

DACCOR GÉRARD, DOMINIQUE GUILLIOT, NILSSON FREDERIK, Cementación de pozos, segunda edición.

DE PORTA, J. Léxico estratigráfico. Paris: Centre National de la Reserche Scientifique, 1974.

DEFINICIÓN.DE, Definición de Poliésteres. [En línea] Disponible en: <http://definicion.de/poliester/>

_____. Definición De Baquelita. [En línea] Disponible en: <http://definicion.de/baquelita/>

ECOPETROL S.a. TARIFAS DE TRANSPORTE POR OLEODUCTO. [En línea] Disponible en: http://www.ecopetrol.com.co/documentos/81846_Tarifas_Oleoductos_ECP_1Jul14_a_30Jun15def.pdf

GUERRERO HERNÁNDEZ, JUAN MANUEL, Opciones de taponamiento para abandono de pozos petroleros, cementación forzada. [En línea] Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2203/TESES%20AGOSTO%2021%20-III.pdf?sequence=1>

INGENIERIA DE CEMENTACIÓN PETROLERA, Unidad 1: Los cementos Petroleros y sus Propiedades. [En línea] Disponible en: <http://www.actiweb.es/marcus/archivo2.pdf>

INTRODUCCIÓN A LAS DISPERSIONES COLOIDALES DE POLÍMEROS SINTÉTICOS, [En línea] Disponible en: <http://www.gp.santafe-conicet.gov.ar/cursos/a/a.22.pdf>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Normas colombianas para presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Sexta actualización. Bogotá, D.C: ICONTEC 2008. NTC 1486.

_____. Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. Bogotá, D.C: ICONTEC 2008. NTC 5613.

_____. Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. Bogotá, D.C: ICONTEC 1998. NTC 4490.

JAIME MORILLAS BERLANGA, GENERALIDADES DE LAS RESINAS EPOXI, TIPOS DE AGENTES CURANTES. [En línea] Disponible en: <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso04-05/epoxi/pagina4.html>

JARDIN BOTANICO CONIFERAS. [En línea] Disponible en: <http://www.jardinbotanico.uma.es/jardinbotanico/index.php/colecciones-tematicas/coniferas>

JULIVERT, Manuel. Léxico Estratigráfico de Colombia. París. Centre National de la Reserche Scientifique: 1968.

LOS-ADHESIVOS.COM, Que es un termoestable. [En línea] Disponible en: <http://www.losadhesivos.com/termoestable.html>

MARIANO. Tecnología de los plásticos. Colombia. 2013. [en línea]. Disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2013/07/polimerizacion.html>.

MARQUEZ F, Br. Evaluación de materiales cementantes para pozos de petróleo y/o gas con propiedades antimigratorias de gas. Trabajo especial de grado. Ingeniería Química; Universidad Central de Venezuela, 2002.

_____. Mapa de ruta Bucaramanga – Pozo Chuirá 1, San Martín, Cesar y ruta Barrancabermeja – Pozo Chuirá 1, San Martín, Cesar [En línea]. Google Maps: Página Web http://www.bdcc.co.uk/Gmaps/II_grat_v3_demo.htm, modificado por autores.

PACHECO JIMÉNEZ, GUERRA G. Oscar Obed., Factores que determinan la selección y aplicación de los sistemas de fluidos lavadores y espaciadores en los trabajos de cementación primaria. México D.F Ciudad Universitaria, 2012. [En línea] Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2203/TESIS%20AGOSTO%2021%20-III.pdf?sequence=1>

PDCS Home, Matriz de Pugh: Ayuda a la toma de decisiones. [En línea] Disponible en: <http://www.pdcahome.com/2569/matriz-de-pugh-ayuda-a-la-toma-de-decisiones/>

PETRONORTE, Memoria de Sostenibilidad 2012. [En línea] Disponible en: https://issuu.com/petronorte/docs/sustainability_report_2012

PETRONORTE, Reporte de sostenibilidad 2011. [En línea] Disponible en: http://www.petronorte.com/archivos/Memoria_petronorte_Baja%2013-02-13.pdf

PETRONORTE. Cuenca Valle Medio Magdalena CVMM. Bloque Midas. [En línea] Disponible en: <http://www.petronorte.com/es/operaciones/cuenca-del-valle-medio-del-magdalena-cvmm>

REVISTA IBEROAMERICANA DE POLÍMEROS, Volumen 17(6), Resinas termoestables de fenol-formaldehído. [En línea] Disponible en <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/NOV16/covarrubias.pdf>

SCHLUMBERGER, OILFIELD GLOSSARY. [En línea] Disponible en <http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/c/cement.aspx>

SERGIO GARCÍA DIEZ, Revista Iberoamericana de Polímero, Volumen 14(2), marzo de 2013, resinas de poliéster + cargas de relleno. [En línea] Disponible en: <http://en.observatoriplastico.com/ficheros/articulos/47977549326040534.pdf>

_____. Spacers and flushers in cementing. [En línea] Disponible en: http://petrowiki.org/Spacers_and_flushers_in_cementing#Spacers

_____. Tecnología de los plásticos, Resina epoxi. [En línea] Disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/08/resina-epoxi.html>

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA, Curso de Fundamentos de Ciencia de Materiales, Unidad 15. Materiales Poliméricos y Compuestos, Polimerización por mecanismo de adición. [En línea] Disponible en: https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_2_1.html.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA, Curso de Fundamentos de Ciencia de Materiales, Unidad 15. Materiales Poliméricos y Compuestos, 2. Estructura y mecanismos de polimerización. [En línea] Disponible en: https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_2.html.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA, Curso de Fundamentos de Ciencia de Materiales, Unidad 15. Materiales Poliméricos y Compuestos, 6. Polímeros termoestables. [En línea] Disponible en: https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_6.html

ANEXOS

**ANEXO A.
HOJA DE SEGURIDAD ULTRA SET INITIATOR.**



Safety Data Sheet Version 4.3

Print Date 06/01/2014

1. PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

Product name : Ultra Set Initiator LT

Supplier : Tucker Energy Services
411 N. Sam Houston Pkwy E #300
Houston, TX 77060
USA

Telephone : +281-442-9095
Fax : +281-442-3811

3E COMPANY EMERGENCY CUSTOMER SUPPORT TELEPHONE NUMBERS		
CONTRACT NUMBER: 334072		
North & South America	1.866.519.4752	(+)1.760.476.3962

2. HAZARDS IDENTIFICATION

Emergency Overview

OSHA Hazards
Organic Peroxide, Irritant

GHS Classification
Organic peroxides (Type B)
Acute toxicity, Dermal (Category 5)
Acute toxicity, Oral (Category 5)
Skin irritation (Category 2)
Eye irritation (Category 2B)

GHS Label elements, including precautionary statements

Pictogram



Signal word

Danger

Hazard statement(s)

H241 Heating may cause a fire or explosion.
H303 + H313 May be harmful if swallowed or in contact with skin.
H315 + H320 Causes skin and eye irritation.

Precautionary statement(s)

P220 Keep/Store away from clothing/ combustible materials.
P280 Wear protective gloves/ protective clothing/ eye protection/ face protection.
P305 + P351 + P338 IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing.
P411 + P235 Store at temperatures not exceeding .? °C/ .? °F. Keep cool.

HMIS Classification

Health hazard: 2
Flammability: 1
Physical hazards: 1

NFPA Rating

Health hazard: 2
Fire: 1
Reactivity Hazard: 1
Special hazard.: OX

Potential Health Effects

Inhalation May be harmful if inhaled. Causes respiratory tract irritation.
Skin May be harmful if absorbed through skin. Causes skin irritation.
Eyes Causes eye irritation.
Ingestion May be harmful if swallowed.

3. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

Synonyms : tert-Butyl perbenzoate
tert-Butyl peroxybenzoate

Formula : C₁₁H₁₄O₃
Molecular Weight : 194.23 g/mol

Component	Concentration
tert-Butyl perbenzoate	
CAS-No.	614-45-9
EC-No.	210-382-2

4. FIRST AID MEASURES

General advice

Consult a physician. Show this safety data sheet to the doctor in attendance. Move out of dangerous area.

If inhaled

If breathed in, move person into fresh air. If not breathing, give artificial respiration. Consult a physician.

In case of skin contact

Wash off with soap and plenty of water. Consult a physician.

In case of eye contact

Rinse thoroughly with plenty of water for at least 15 minutes and consult a physician.

If swallowed

Never give anything by mouth to an unconscious person. Rinse mouth with water. Consult a physician.

5. FIREFIGHTING MEASURES

Suitable extinguishing media

Use water spray, alcohol-resistant foam, dry chemical or carbon dioxide.

Special protective equipment for firefighters

Wear self contained breathing apparatus for fire fighting if necessary.

Hazardous combustion products

Hazardous decomposition products formed under fire conditions. - Carbon oxides

Further information

Use water spray to cool unopened containers.

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Personal precautions

Use personal protective equipment. Avoid breathing vapors, mist or gas. Ensure adequate ventilation. Evacuate personnel to safe areas.

Environmental precautions

Prevent further leakage or spillage if safe to do so. Do not let product enter drains.

Methods and materials for containment and cleaning up

Contain spillage, and then collect with an electrically protected vacuum cleaner or by wet-brushing and place in container for disposal according to local regulations (see section 13).

7. HANDLING AND STORAGE

Precautions for safe handling

Avoid contact with skin and eyes. Avoid inhalation of vapour or mist.
Keep away from sources of ignition - No smoking. Keep away from heat and sources of ignition.

Conditions for safe storage

Store in original container. Keep container tightly closed in a dry and well-ventilated place. Containers which are opened must be carefully resealed and kept upright to prevent leakage. Store in cool place.

Recommended storage temperature: 2 - 8 °C

8. EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION

Contains no substances with occupational exposure limit values.

Personal protective equipment

Respiratory protection

Where risk assessment shows air-purifying respirators are appropriate use a full-face respirator with multi-purpose combination (US) or type ABEK (EN 14387) respirator cartridges as a backup to engineering controls. If the respirator is the sole means of protection, use a full-face supplied air respirator. Use respirators and components tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or CEN (EU).

Hand protection

Handle with gloves. Gloves must be inspected prior to use. Use proper glove removal technique (without touching glove's outer surface) to avoid skin contact with this product. Dispose of contaminated gloves after use in accordance with applicable laws and good laboratory practices. Wash and dry hands.

Eye protection

Face shield and safety glasses Use equipment for eye protection tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or EN 166(EU).

Skin and body protection

Complete suit protecting against chemicals, The type of protective equipment must be selected according to the concentration and amount of the dangerous substance at the specific workplace.

Hygiene measures

Handle in accordance with good industrial hygiene and safety practice. Wash hands before breaks and at the end of workday.

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Appearance

Form	clear, liquid
Colour	light yellow

Safety data

pH	no data available
Melting point/freezing point	no data available
Boiling point	75 - 76 °C (167 - 169 °F) at 0.3 hPa (0.2 mmHg) - lit.
Flash point	93.4 °C (200.1 °F) - closed cup
Ignition temperature	no data available
Autoignition temperature	no data available
Lower explosion limit	no data available

Upper explosion limit	no data available
Vapour pressure	4.48 hPa (3.36 mmHg) at 50 °C (122 °F)
Density	1.021 g/cm ³ at 25 °C (77 °F)
Water solubility	no data available
Partition coefficient: n-octanol/water	no data available
Relative vapour density	6.71 - (Air = 1.0)
Odour	pungent, unpleasant
Odour Threshold	no data available
Evaporation rate	no data available

10. STABILITY AND REACTIVITY

Chemical stability

Stable under recommended storage conditions.

Possibility of hazardous reactions

no data available

Conditions to avoid

Heat, flames and sparks.

Materials to avoid

Reacts violently with: Strong acids, Bases, Reducing agents, Oxidizing agents, Amines

Hazardous decomposition products

Hazardous decomposition products formed under fire conditions. - Carbon oxides

Other decomposition products - no data available

Thermal decomposition

60 °C

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

Acute toxicity

Oral LD50

LD50 Oral - rat - > 2,000 mg/kg

Inhalation LC50

no data available

Dermal LD50

LD50 Dermal - rabbit - > 2,000 mg/kg

Other information on acute toxicity

no data available

Skin corrosion/irritation

Skin - rabbit - Skin irritation - 5 d

Serious eye damage/eye irritation

Eyes - rabbit - Mild eye irritation - 24 h

Respiratory or skin sensitization

no data available

Germ cell mutagenicity

no data available

Carcinogenicity

Carcinogenicity - mouse - Unreported

Tumorigenic: Equivocal tumorigenic agent by RTECS criteria. Blood: Lymphomas including Hodgkin's disease.

IARC: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible or confirmed human carcinogen by IARC.

ACGIH: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as a carcinogen or potential carcinogen by ACGIH.

NTP: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as a known or anticipated carcinogen by NTP.

OSHA: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as a carcinogen or potential carcinogen by OSHA.

Reproductive toxicity

no data available

Teratogenicity

no data available

Specific target organ toxicity - single exposure (Globally Harmonized System)

no data available

Specific target organ toxicity - repeated exposure (Globally Harmonized System)

no data available

Aspiration hazard

no data available

Potential health effects

Inhalation	May be harmful if inhaled. Causes respiratory tract irritation.
Ingestion	May be harmful if swallowed.
Skin	May be harmful if absorbed through skin. Causes skin irritation.
Eyes	Causes eye irritation.

Synergistic effects

no data available

Additional Information

RTECS: SD9450000

12. ECOLOGICAL INFORMATION

Toxicity

no data available

Persistence and degradability

no data available

Bioaccumulative potential

no data available

Mobility in soil

no data available

PBT and vPvB assessment

no data available

Other adverse effects

no data available

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

Product

Burn in a chemical incinerator equipped with an afterburner and scrubber but exert extra care in igniting as this material is highly flammable. Offer surplus and non-recyclable solutions to a licensed disposal company. Contact a licensed professional waste disposal service to dispose of this material.

Contaminated packaging

Dispose of as unused product.

14. TRANSPORT INFORMATION**DOT (US)**

UN number: 3103 Class: 5.2 Packing group: II
 Proper shipping name: Organic peroxide type C, liquid (tert butyl peroxybenzoate)
 Marine pollutant: No
 Poison Inhalation Hazard: No

IMDG

UN number: 3103 Class: 5.2 EMS-No: F-J, S-R
 Proper shipping name: ORGANIC PEROXIDE TYPE C, LIQUID (tert butyl peroxybenzoate)
 Marine pollutant: No

IATA

UN number: 3103 Class: 5.2 (HEAT)
 Proper shipping name: Organic peroxide type C, liquid (tert butyl peroxybenzoate)

15. REGULATORY INFORMATION**OSHA Hazards**

Organic Peroxide, Irritant

SARA 302 Components

SARA 302: No chemicals in this material are subject to the reporting requirements of SARA Title III, Section 302.

SARA 313 Components

SARA 313: This material does not contain any chemical components with known CAS numbers that exceed the threshold (De Minimis) reporting levels established by SARA Title III, Section 313.

SARA 311/312 Hazards

Reactivity Hazard, Acute Health Hazard

Massachusetts Right To Know Components

	CAS-No.	Revision Date
tert-Butyl perbenzoate	614-45-9	1993-04-24

Pennsylvania Right To Know Components

	CAS-No.	Revision Date
tert-Butyl perbenzoate	614-45-9	1993-04-24

New Jersey Right To Know Components

	CAS-No.	Revision Date
tert-Butyl perbenzoate	614-45-9	1993-04-24

California Prop. 65 Components

This product does not contain any chemicals known to State of California to cause cancer, birth defects, or any other reproductive harm.

16. OTHER INFORMATION**Further information**

License granted to make unlimited paper copies for internal use only.

The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. The information in this document is based on the present state of our knowledge and is applicable to the product with regard to appropriate safety precautions. It does not represent any guarantee of the properties of the product. Tucker Energy Services shall not be held liable for any damage resulting from handling or from contact with the above product. See reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale

**ANEXO B.
HOJA DE SEGURIDAD ULTRA SET RAS.**



Ultra Set RAS – Material Safety
Data Sheet

Page: 1
Compilation date: 04/04/2012
Revision No: 1

Section 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

1.1. Product identifier

Product name: Ultra Set RAS

1.2. Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

1.3. Details of the supplier of the safety data sheet

Company: Tucker Energy Services
411 N. Sam Houston Pkwy E #300
Houston, TX 77060-3555

Phone: 281-442-9095

1.4. Emergency telephone number

3E COMPANY: 1.866.519.4752

Section 2: Hazards identification

2.1. Classification of the substance or mixture

Classification under CHIP: Xn: R20; Xi: R36/37/38; N R51/53

Most important adverse effects: Harmful by inhalation. Irritating to eyes, respiratory system and skin. Toxic to aquatic organisms, may cause long-term adverse effects in the aquatic environment.

2.2. Label elements

Label elements under CHIP:

Hazard symbols: Harmful.

Dangerous for the environment.



Risk phrases: R20: Harmful by inhalation.

R36/37/38: Irritating to eyes, respiratory system and skin.

R51/53: Toxic to aquatic organisms may cause long-term adverse effects in the aquatic environment.

Safety phrases: S61: Avoid release to the environment. Refer to special instructions / safety data sheets.

Ultra Set RAS – Material Safety
Data Sheet

Page: 2

2.3. Other hazards

PBT: This substance is not identified as a PBT substance.

Section 3: Composition/information on ingredients

3.2. Mixtures

Hazardous ingredients:

Proprietary Vinyl Monomer

EINECS	CAS	CHIP Classification	CLP Classification	Percent
-	28106-30-1	Xn: R20; Xi: R36/37/38; N: R51/53	-	50-70%

P-Benzoquinone

1203-405-2	1106-51-4	R23/25; Xi: R36/37/38; N: R50	-	<1%
------------	-----------	-------------------------------	---	-----

Section 4: First aid measures

4.1. Description of first aid measures

Skin contact: Remove all contaminated clothes and footwear immediately unless stuck to skin. Wash immediately with plenty of soap and water.

Eye contact: Bathe the eye with running water for 15 minutes. Consult a doctor.

Ingestion: Wash out mouth with water. Consult a doctor.

Inhalation: Remove casualty from exposure ensuring one's own safety whilst doing so. Consult a doctor.

4.2. Most important symptoms and effects, both acute and delayed

Skin contact: There may be irritation and redness at the site of contact.

Eye contact: There may be irritation and redness. The eyes may water profusely.

Ingestion: There may be soreness and redness of the mouth and throat.

Inhalation: There may be irritation of the throat with a feeling of tightness in the chest. Exposure may cause coughing or wheezing.

Delayed / immediate effects: Immediate effects can be expected after short-term exposure.

4.3. Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

Immediate / special treatment: Eye bathing equipment should be available on the premises.

Section 5: Fire-fighting measures

5.1. Extinguishing media

Extinguishing media: Suitable extinguishing media for the surrounding fire should be used. Use water spray to cool containers.

5.2. Special hazards arising from the substance or mixture

[conL]

Ultra Set RAS – Material Safety
Data Sheet

Exposure hazards: In combustion emits toxic fumes

Page: 3

Ultra Set RAS – Material Safety
Data Sheet

Page: 4

5.3. Advice for fire-fighters

Advice for fire-fighters: Wear self-contained breathing apparatus. Wear protective clothing to prevent contact with skin and eyes.

Section 6: Accidental release measures

6.1. Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

Personal precautions: Refer to section 8 of MSDS for personal protection details. If outside do not approach from downwind. If outside keep bystanders upwind and away from danger point Mark out the contaminated area with signs and prevent access to unauthorized personnel. Turn leaking containers leak-side up to prevent the escape of liquid.

6.2. Environmental precautions

Environmental precautions: Do not discharge into drains or rivers. Contain the spillage using bunding.

6.3. Methods and material for containment and clean up

Clean-up procedures: Absorb into dry earth or sand. Transfer to a closable, labelled salvage container for disposal by an appropriate method.

6.4. Reference to other sections

Reference to other sections: Refer to section 8 of SDS.

Section 7: Handling and storage

7.1. Precautions for safe handling

Handling requirements: Avoid direct contact with the substance. Ensure there is sufficient ventilation of the area. Do not handle in a confined space. Avoid the formation or spread of mists in the air.

7.2. Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Storage conditions: Store in cool, well ventilated area. Keep container tightly closed. The floor of the storage room must be impermeable to prevent the escape of liquids.

7.3. Specific end use(s)

Specific end use(s): No data available.

Section 8: Exposure controls/personal protection

8.1. Control parameters

Hazardous ingredients:

P-BENZOQUINONE

Ultra Set RAS – Material Safety
Data Sheet

Page: 5

Workplace exposure limits:			Respirable dust	
State	8 hour TWA	15 min. STEL	8 hour TWA	15 min. STEL
UK	0.45 mg/m ³	1.3 mg/m ³	-	-

8.2. Exposure controls

Engineering measures: Ensure there is sufficient ventilation of the area. The floor of the storage room must be impermeable to prevent the escape of liquids.

Respiratory protection: Self-contained breathing apparatus must be available in case of emergency.

Hand protection: Protective gloves.

Eye protection: Safety glasses. Ensure eye bath is to hand.

Skin protection: Protective clothing.

Section 9: Physical and chemical properties

9.1. Information on basic physical and chemical properties

State: Liquid

Viscosity: Oily

Flash point°C: 60-93

9.2. Other information

Other information: Not applicable.

Section 10: Stability and Reactivity

10.1. Reactivity

Reactivity: Stable under recommended transport or storage conditions.

10.2. Chemical stability

Chemical stability: Stable under normal conditions.

10.3. Possibility of hazardous reaction

Hazardous reactions: Hazardous reactions will not occur under normal transport or storage conditions.

Decomposition may occur on exposure to conditions or materials listed below.

10.4. Conditions to avoid

Conditions to avoid: Heat

10.5. Incompatible materials

Materials to avoid: Strong oxidising agents. Strong acids.

10.6. Hazardous decomposition products

Haz. decomp. products: In combustion emits toxic fumes.

[cont.]

Section 11: Toxicological information

11.1. Information on toxicological effects

Relevant effects for mixture:

Effect	Route	Basis
Acute toxicity (harmful)	INH	Hazardous: calculated
Irritation	OPT INH DRM	Hazardous: calculated

Symptoms / routes of exposure

Skin contact: There may be irritation and redness at the site of contact.

Eye contact: There may be irritation and redness. The eyes may water profusely

Ingestion: There may be soreness and redness of the mouth and throat

Inhalation: There may be irritation of the throat with a feeling of tightness in the chest. Exposure may cause coughing or wheezing.

Delayed / immediate effects: Immediate effects can be expected after short-term exposure.

Section 12: Ecological information

12.1. Toxicity

Ecotoxicity values: Not applicable.

12.2. Persistence and degradability

Persistence and degradability: Not biodegradable.

12.3. Bioaccumulative potential

Bioaccumulative potential: Bioaccumulation potential.

12.4. Mobility in soil

Mobility: Readily absorbed into soil.

12.5. Results of PBT and vPvB assessment

PST identification: This substance is not identified as a PBT substance.

12.6. Other adverse effects

Other adverse effects: Toxic to aquatic organisms. Toxic to soil organisms.

Section 13: Disposal considerations

13.1. Waste treatment methods

Disposal operations: Transfer to a suitable container and arrange for collection by specialised disposal company.

NB: The user's attention is drawn to the possible existence of regional or national regulations regarding disposal.

[conL]

**ANEXO C.
HOJA DE SEGURIDAD ULTRA SET STABILIZER.**



Material Safety Data Sheet

Ultra Set Stabilizer

Section 1 - Chemical Product and Company Identification

MSDS

Product Name: Ultra Set Stabilizer	Tucker Energy Services
Synonyms: none – proprietary formulation	411 N. Sam Houston Pkwy E #300
	Houston, TX 77060-3555
	281-442-9095
	Emergency Number: 3E COMPANY North & South America
	1.866.519.4752 Contract Number: 334072

Section 2 - Composition, Information on Ingredients

CAS#	Chemical Name	Percent	EINECS/ELINCS
106-51-4	p-Benzoquinone	20	
	Non Regulated Solvent	80.0	

Section 3 - Hazards Identification

EMERGENCY OVERVIEW

Warning! Vapors and spray mist harmful if inhaled. May cause central nervous system effects such as dizziness, headache, or nausea. May cause nose, throat, eye and skin irritation. Can be absorbed through the skin.

Target Organs: Eyes, skin.

Potential Health Effects

Eye: Contact may cause discoloration, redness, swelling, and formation of eye lesions. Vapor condensing on the eyes can produce serious disturbances in vision. All layers of the cornea are involved. May cause permanent injury.

Skin: Causes skin irritation. Depigmentation and skin lesions may occur. May cause discoloration, erythema (redness), swelling and skin burns including the formation of papules and vesicles (blisters). Prolonged contact may lead to necrosis.

Ingestion: May be fatal if swallowed. Ingestion may cause discomfort and irritation of the gastrointestinal tract, dizziness and shortness of breath.

Inhalation: May cause nose and throat irritation. May cause nervous system depression characterized by the following progressive steps: Headache, dizziness, nausea, staggering gait, confusion, unconsciousness. Reports have associated repeated and prolonged overexposure to solvents with permanent brain and nervous system damage.

Chronic: Prolonged or repeated exposure may cause permanent eye damage. Prolonged or repeated contact may cause skin necrosis and/or ulceration of the skin, lung injury, fluid in the lung and difficulty in breathing.

Section 4 - First Aid Measures

Eyes: Flush with water for at least 15 minutes, holding eyelids open. Get medical aid immediately. Do NOT allow victim to rub eyes or keep eyes closed.

Skin: Get medical aid. Flush skin with plenty of water for at least 15 minutes while removing contaminated clothing and shoes. Wash clothing before reuse.

Ingestion: If victim is conscious and alert, give 2-4 cupfuls of water. Never give anything by mouth to an unconscious person. Get medical aid immediately. Do not induce vomiting.

Inhalation: Remove from exposure and move to fresh air immediately. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen. Get medical aid.

Notes to Physician: Treat symptomatically. Treatment of overexposure should be directed at the control of symptoms and the clinical condition of the patient.

Section 5 - Fire

General Information: As in any fire, wear a self-contained breathing apparatus in pressure-demand, MSHA/NIOSH (approved or equivalent), and full protective gear. Use water spray to keep fire-exposed containers cool. Wear SCBA, water spray to cool containers, hot vapors are susceptible to spontaneous combustion dependent on pressure.

All parameters are based on Non Regulated Solvent

Extinguishing Media: Use water spray or dry chemical.

Flash Point: 196° F **Test Method:** COC

Auto ignition Temperature: 518°F

Explosion Limits, Lower: 9.5% V

Upper: 1.3% V

NFPA Rating: (estimated) Health: 3; Flammability: 2; Reactivity: 0

Section 6 - Accidental Release Measures

Procedures for cleaning up spills or leaks: Ventilate area. If heated above the flash point, remove sources of ignition. Prevent skin and eye contact and breathing of vapor. Wear a properly fitted air-purifying respirator with organic vapor cartridges (NIOSH approved TC-23C), eye protection, gloves and protective clothing. Confine, remove with inert absorbent, and dispose of properly.

Section 7 - Handling and Storage

Handling: If heated above the flash point, this must be handled as if it were a flammable liquid. Do not transfer contents to bottles or unlabeled containers. Wash thoroughly after handling and before eating or smoking. Do not freeze. Handle empty containers with care - residue may be combustible and burn if exposed to heat/sparks/open flame. In addition to the fire/explosion hazard, residual vapor and liquid may also be toxic. Keep container tightly closed when not in use. Keep away from heat, sparks, open flame, or any ignition source. Isolate, vent, drain, wash and purge systems or equipment

before maintenance or repair. Wear recommended personal protective equipment. Observe precautions pertaining to confined space entry.

Storage: Store away from heat, sparks, open flames, strong oxidizing agents and direct sunlight.

Section 8 - Exposure

Engineering Controls: Use process enclosure, local exhaust ventilation, or other engineering controls to control airborne levels below recommended exposure limits. Facilities storing or utilizing this material should be equipped with an eyewash facility and a safety shower.

Exposure Limits:

Chemical Name	ACGIH	NIOSH	OSHA - Final PELs
P-Benzoquinone	0.1 ppm TWA	0.1 ppm TWA; 0.4 mg/m ³ TWA 100 mg/m ³ IDLH	0.1ppm TWA; 0.4 mg/m ³ TWA

OSHA Vacated PELs: p-Benzoquinone: 0.1 ppm TWA; 0.4 mg/m³ TWA

Personal Protective Equipment:

Eyes: Wear appropriate protective eyeglasses or chemical safety goggles as described by OSHA's eye and face protection regulations in 29 CFR 1910.133 or European Standard EN166.

Skin: Wear appropriate protective gloves to prevent skin exposure.

Clothing: Wear appropriate protective clothing to prevent skin exposure.

Respirators: Do not breathe vapors or mists. Wear an appropriate, properly fitted NIOSH approved respirator during application and until all vapors and spray mists are exhausted unless air monitoring demonstrates vapor/mist levels are below applicable limits. If respirators are required, use a properly fitted air-purifying respirator with organic vapor cartridges (NIOSH approved TC-23C) and particulate filter (NIOSH TC-84A). In confined spaces, or in situations where continuous spray operations are typical, or if proper air-purifying respirator fit is not possible, wear a positive pressure, supplied-air respirator (NIOSH TC-19C). In all cases, follow respirator manufacturer's directions for respirator use.

Section 9 - Physical and

Physical State: Liquid

Appearance: Dark brown

Odor: Aromatic chlorine odor

pH: N/A

Vapor Pressure (mm Hg): .32 @ 20°C (68°F)

Vapor Density: 3.4 (air=1) 15.5-32.2°C

Evaporation Rate: .03

Viscosity: Not Tested

Boiling Point: 396°F

Solubility: Not Tested

Specific Gravity (H₂O=1) 1.1

Section 10 - Stability and Reactivity

Chemical

Conditions to Avoid: High temperatures, moisture, ignition sources.

MSDS Ultra Set Stabilizer Revised:
2/09/2015

Page 3 of 6

Incompatibilities with Other Materials: Strong oxidizing agents, acids, exothermic reaction.

Hazardous Decomposition Products: Carbon monoxide, carbon dioxide.

Hazardous Polymerization: Will not occur.

Sensitivity to static discharge: If heated above the flash point, solvent vapors in air may explode if static grounding and bonding is not used during transfer of the product.

Section 11 -

RTECS#:

CAS# 106-51-4: DK2625000

LD50/LC50:

CAS# 106-51-4:

Oral, mouse: LD50 = 25 mg/kg;

Oral, rat: LD50 = 130 mg/kg; <BR.

Carcinogenicity:

CAS# 106-51-4: Not listed by ACGIH, IARC, NTP, or CA Prop 65.

Non Regulated Solvent: Listed CA Prop 65

Epidemiology: No data available.

Teratogenicity: No information found.

Reproductive Effects: No information found.

Mutagenicity: Sister chromatid exchange, human lymphocyte cells, 5 umol/L. DNA Adduct, human bone marrow: 100 umol/L.

Neurotoxicity: No information found.

Section 12 - Ecological Information

For CAS# 106-51-4:

Ecotoxicity: Fish: Rainbow trout: LC50 = 0.125 mg/L; 96 Hr.; Unspecified Fish: Fathead Minnow: LC50 = 0.045 mg/L; 96 Hr.; Unspecified Bacteria: *Phytobacterium phosphoreum*: EC50 = 2.09 mg/L; 5-30 minutes; Microtox test No data available.

Environmental: There is a high potential to affect some aquatic organisms. All of the materials are readily biodegraded and are not likely to bioconcentrate.

Physical: No information available.

Other: No information available.

Section 13 - Disposal Considerations

Chemical: Waste generators must determine whether a substance is listed as a hazardous waste. US EPA guidelines for the classification determination are listed in 40 CFR Part 261.3. Additionally, waste generators must consult state and local hazardous waste regulations to ensure complete and accurate classification.

RCRA P-Series: None listed.

RCRA U-Series:

CAS# 106-51-4: waste number U197.

Section 14 - Transport Information

	US DOT	Canada TDG
Shipping Name:	Toxic Liquid, Organic, NOS (Benzoquinone)	Toxic Liquid, Organic, NOS (Benzoquinone)
Hazard Class:	6.1	6.1
UN Number:	UN2810	UN2810
Packing Group:	II	II

Section 15 - Regulatory Information

US FEDERAL

TSCA

CAS# 106-51-4 and Proprietary Chemical #1 are listed on the TSCA inventory.

Health & Safety Reporting List

CAS# 106-51-4: Effective 10/4/82, Sunset 10/4/92

Chemical Test Rules

None of the chemicals in this product are under a Chemical Test Rule.

Section 12b

None of the chemicals are listed under TSCA Section 12b.

TSCA Significant New Use Rule

None of the chemicals in this material have a SNUR under TSCA.

CERCLA Hazardous Substances and corresponding RQs

CAS# 106-51-4: 10 lb final RQ; 4.54 kg final RQ

SARA Section 302 Extremely Hazardous Substances

None of the chemicals in this product have a TPQ.

SARA Codes

CAS # 106-51-4: acute, chronic, flammable.

Section 313

This material contains Quinone (CAS# 106-51-4, 20%), which is subject to the reporting requirements of Section 313 of SARA Title III and 40 CFR Part 373.

Clean Air Act:

CAS# 106-51-4 is listed as a hazardous air pollutant (HAP).

This material does not contain any Class 1 Ozone depleters.

This material does not contain any Class 2 Ozone depleters.

Clean Water Act:

None of the chemicals in this product are listed as Hazardous Substances under the CWA.

None of the chemicals in this product are listed as Priority Pollutants under the CWA.

None of the chemicals in this product are listed as Toxic Pollutants under the CWA.

OSHA:

None of the chemicals in this product are considered highly hazardous by OSHA.

STATE:

CAS# 106-51-4 can be found on the following state right to know lists: California, New Jersey, Pennsylvania, Minnesota, Massachusetts.

Non Regulated Solvent – MA, PA

California Prop 65

Non Regulated Solvent is a chemical known to the state of California to cause cancer and birth defects or other reproductive harm.

European/International Regulations**European Labeling in Accordance with EC Directives****Hazard Symbols:**

T N

Risk Phrases:

R 23/25 Toxic by inhalation and if swallowed.

R 36/37/38 Irritating to eyes, respiratory system and skin.

R 50 Very toxic to aquatic organisms.

Safety Phrases:

S 26 In case of contact with eyes, rinse immediately with plenty of water and seek medical advice.

S 45 In case of accident or if you feel unwell, seek medical advice immediately (show the label where possible).

S 28A After contact with skin, wash immediately with plenty of water.

S 61 Avoid release to the environment. Refer to special instructions/safety data sheets.

WGK (Water Danger/Protection)

CAS# 106-51-4: 2

Canada - DSL/NDSL

CAS# 106-51-4 is listed on Canada's DSL List.

Canada - WHMIS

CAS# 106-51-4 has a WHMIS classification of D1A, D2B, B3.

Canadian Ingredient Disclosure List

CAS# 106-51-4 is listed on the Canadian Ingredient Disclosure List.

Section 16 - Additional Information

This document is generated for the purpose of distributing health, safety, and environmental data. It is not a specification sheet nor should any displayed data be construed as a specification. The information on this MSDS was obtained from sources which we believe are reliable. However, the information is provided without any warranty, expressed or implied, regarding its correctness. Some information presented and conclusions drawn herein are from sources other than direct test data on the substance itself. The conditions or methods of handling, storage, use and disposal of the product are beyond our control and may be beyond our knowledge. For this and other reasons, we do not assume responsibility and expressly disclaim liability for loss, damage, or expense arising out of or in any way connected with handling, storage, use or disposal of this product. If the product is used as a component in another product, this MSDS information may not be applicable.

**ANEXO D.
HOJA DE SEGURIDAD AGENTE DE SUSPENSIÓN.**



Health	1
Fire	0
Reactivity	0
Personal Protection	E



Material Safety Data Sheet

Ultra Set Suspending Agent

Section 1: Chemical Product and Company Identification							
Product Name: Ultra Set Suspending Agent RTECS: VV7310000 TSCA: TSCA 8(b) inventory: Aerosil 200 CI#: Not available. Chemical Name: Silicon Dioxide Chemical Formula: SiO2	Contact Information: Tucker Energy Services 411 N. Sam Houston Pkwy E #300 Houston, TX 77060-3555 281-442-9095 Emergency Number: 3E COMPANY North & South America 1.866.519.4752 Contract Number: 334072						
Section 2: Composition and Information on Ingredients							
Composition:							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Name</th> <th>% by Weight</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ultra Set Suspending Agent</td> <td align="center">83.3</td> </tr> <tr> <td>Organic Particulates</td> <td align="center">16.7</td> </tr> </tbody> </table>	Name	% by Weight	Ultra Set Suspending Agent	83.3	Organic Particulates	16.7	
Name	% by Weight						
Ultra Set Suspending Agent	83.3						
Organic Particulates	16.7						
Toxicological Data on Ingredients: Not applicable.							
Section 3: Hazards Identification							
Potential Acute Health Effects: Slightly hazardous in case of skin contact (irritant), of eye contact (irritant), of ingestion, of inhalation. Potential Chronic Health Effects: CARCINOGENIC EFFECTS: 3 (Not classifiable for human.) by IARC. MUTAGENIC EFFECTS: Not available. TERATOGENIC EFFECTS: Not available. DEVELOPMENTAL TOXICITY: Not available. Repeated or prolonged exposure is not known to aggravate medical condition.							
Section 4: First Aid Measures							

Eye Contact:

Check for and remove any contact lenses. In case of contact, immediately flush eyes with plenty of water for at least 15 minutes. Get medical attention if irritation occurs.

Skin Contact: Wash with soap and water. Cover the irritated skin with an emollient. Get medical attention if irritation develops.

Serious Skin Contact: Not available.

Inhalation:

If inhaled, remove to fresh air. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen. Get medical attention.

Serious Inhalation: Not available.

Ingestion:

Do NOT induce vomiting unless directed to do so by medical personnel. Never give anything by mouth to an unconscious person. Loosen tight clothing such as a collar, tie, belt or waistband. Get medical attention if symptoms appear.

Serious Ingestion: Not available.

Section 5: Fire and Explosion Data

Flammability of the Product: Non-flammable.

Auto-Ignition Temperature: Not applicable.

Flash Points: Not applicable.

Flammable Limits: Not applicable.

Products of Combustion: Not available.

Fire Hazards in Presence of Various Substances: Not applicable.

Explosion Hazards in Presence of Various Substances:

Risks of explosion of the product in presence of mechanical impact: Not available. Risks of explosion of the product in presence of static discharge: Not available.

Fire Fighting Media and Instructions: Not applicable.

Special Remarks on Fire Hazards: Not available.

Special Remarks on Explosion Hazards:

Heating a mixture of powdered magnesium and silica (later found not to be absolutely dry) cause a violent explosion rather than the vigorous reaction anticipated.

Section 6: Accidental Release Measures**Small Spill:**

Use appropriate tools to put the spilled solid in a convenient waste disposal container. Finish cleaning by spreading water on the contaminated surface and dispose of according to local and regional authority requirements.

Large Spill:

Use a shovel to put the material into a convenient waste disposal container. Finish cleaning by spreading water on the contaminated surface and allow to evacuate through the sanitary system. Be careful that the product is not present at a concentration level above TLV. Check TLV on the MSDS and with local authorities.

Section 7: Handling and Storage

Precautions:

Do not ingest. Do not breathe dust. If ingested, seek medical advice immediately and show the container or the label.

Storage: Keep container tightly closed. Keep container in a cool, well-ventilated area. Do not store above 23°C (73.4°F).

Section 8: Exposure Controls/Personal Protection

Engineering Controls:

Use process enclosures, local exhaust ventilation, or other engineering controls to keep airborne levels below recommended exposure limits. If user operations generate dust, fume or mist, use ventilation to keep exposure to airborne contaminants below the exposure limit.

Personal Protection: Safety glasses. Lab coat. Dust respirator. Be sure to use an approved/certified respirator or equivalent. Gloves.

Personal Protection in Case of a Large Spill:

Splash goggles. Full suit. Dust respirator. Boots. Gloves. A self contained breathing apparatus should be used to avoid inhalation of the product. Suggested protective clothing might not be sufficient; consult a specialist BEFORE handling this product.

Exposure Limits:

TWA: 6 (mg/m³) [United Kingdom (UK)] Inhalation Total. TWA: 2.4 (mg/m³) [United Kingdom (UK)] Inhalation Respirable. TWA: 6 (mg/m³) from NIOSH [United States] [1997] Inhalation TWA: 2 (mg/m³) [Australia] Inhalation Respirable. Consult local authorities for acceptable exposure limits.

Section 9: Physical and Chemical Properties

Physical state and appearance: Solid. (Powdered solid.)

Odor: Odorless.

Taste: Tasteless.

Molecular Weight: Not available.

Color: White.

pH (1% soln/water): Not available.

Boiling Point: Not available.

Melting Point: 1610°C (2930°F)

Critical Temperature: Not available.

Specific Gravity: 1.97 (Water = 1)

Vapor Pressure: Not applicable.

Vapor Density: Not available.

Volatility: Not available.

Odor Threshold: Not available.

Water/Oil Dist. Coeff.: Not available.

Ionicity (in Water): Not available.

Dispersion Properties: Not available.

Solubility: Not available.

Section 10: Stability and Reactivity Data

Stability: The product is stable.
Instability Temperature: Not available.
Conditions of Instability: Not available.
Incompatibility with various substances: Not available.
Corrosivity: Not considered to be corrosive for metals and glass.
Special Remarks on Reactivity:
Incompatible with Fluoride, oxygen, difluoride, chlorine trifluoride. Vinyl acetate vapor may react vigorously in contact with silica gel.
Special Remarks on Corrosivity: Not available.
Polymerization: Will not occur.

Section 11: Toxicological Information

Routes of Entry: Inhalation. Ingestion.
Toxicity to Animals: Acute oral toxicity (LD50): 3160 mg/kg [Rat].
Chronic Effects on Humans: CARCINOGENIC EFFECTS: 3 (Not classifiable for human.) by IARC.
Other Toxic Effects on Humans: Slightly hazardous in case of skin contact (irritant), of ingestion, of inhalation.
Special Remarks on Toxicity to Animals: Not available.
Special Remarks on Chronic Effects on Humans: Not available.
Special Remarks on other Toxic Effects on Humans:
Acute Potential Health Effects: Skin: May cause irritation and drying of the skin. Eye: Dust may cause eye irritation and discomfort. Inhalation: Dust may cause respiratory tract irritation and discomfort. Ingestion: Not expected to be very toxic.
Chronic Potential Health Effects: No chronic (long term) effects are known for humans.

Section 12: Ecological Information

Ecotoxicity: Not available.
BOD5 and COD: Not available.
Products of Biodegradation:
Possibly hazardous short term degradation products are not likely. However, long term degradation products may arise.
Toxicity of the Products of Biodegradation: The product itself and its products of degradation are not toxic.
Special Remarks on the Products of Biodegradation: Not available.

Section 13: Disposal Considerations

Waste Disposal:

Section 14: Transport Information

DOT Classification: Not a DOT controlled material (United States).
Identification: Not applicable.

Section 15: Other Regulatory Information

Federal and State Regulations:

Pennsylvania RTK: Aerosil 200 Florida: Aerosil 200 Minnesota: Aerosil 200 Massachusetts RTK: Aerosil 200 New Jersey: Aerosil 200 California Director's List of Hazardous Substances (8 CCR 339): Aerosil 200 TSCA 8(b) inventory: Aerosil 200

Other Regulations: EINECS: This product is on the European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances.

Other Classifications:

WHMIS (Canada): Not controlled under WHMIS (Canada).

DSCL (EEC):

This product is not classified according to the EU regulations. S24/25- Avoid contact with skin and eyes.

HMS (U.S.A.):

Health Hazard: 1

Fire Hazard: 0

Reactivity: 0

Personal Protection: E

National Fire Protection Association (U.S.A.):

Health: 1

Flammability: 0

Reactivity: 0

Specific hazard:

Protective Equipment:

Gloves. Lab coat. Dust respirator. Be sure to use an approved/certified respirator or equivalent. Safety glasses.

Section 16: Other Information

References: Not available.

Other Special Considerations: Not available.

Created: 06/01/2014

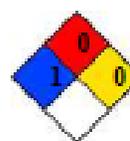
Tucker Energy Services urges each customer or recipient of this SDS to study it carefully and consult appropriate expertise, as necessary or appropriate, to become aware of and understand the data contained in this SDS and any hazards associated with the product. The information herein is provided in good faith and believed to be accurate as of the effective date shown above. However, no warranty, express or implied, is given. Regulatory requirements are subject to change and may differ between various locations. It is the buyer's/user's responsibility to ensure that his activities comply with all federal, state, provincial or local laws. The information presented here pertains only to the product as shipped. Since conditions for use of the product are not under the control of the manufacturer, it is the buyer's/user's duty to determine the conditions necessary for the safe use of this product. Due to the proliferation of sources for information such as manufacturer-specific SDSs, we are not and cannot be responsible for SDSs obtained from any source other than ourselves. If you have obtained an SDS from another source or if you are not sure that the SDS you have is current, please contact us for the most current version.

ANEXO E. HOJA DE SEGURIDAD BARITA.



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Nombre del Producto: SULFATO DE BARIO
 Fecha de Revisión: Mayo 2014. Revisión N°3



NFPA

SAUD	1
INFLAMABILIDAD	0
REACTIVIDAD FÍSICA	0
PRECAUCIONES ESPECIALES	X

HMIS

SECCION 1 : IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑIA

PRODUCTO

Nombre Químico: SULFATO DE BARIO - BaSO4
 Número CAS: 7727-43-7
 Sinónimos: Sal del bario; baritina; barita

COMPANIA: GTM

Teléfonos de Emergencia

México : +52 9831 7900 – SETIQ, 01 800 00 214 00
 Guatemala: +502 6628 3838
 El Salvador: +503 2231 7700
 Honduras: +504 2340 2320
 Nicaragua: +505 2269 0361 – Toxicología MINSAs: +505 22897393
 Costa Rica: +506 2337 0010 – Emergencias 9-1-1. Centro Intoxicaciones +506 2223-1028
 Panamá: +507 512 6182 – Emergencias 9-1-1
 Colombia: +018000 916012 Cisproquim / (571) 2 88 60 12 (Bogotá)
 Perú: +511 614 63 00
 Ecuador: +593 2382 6250 – Emergencias (ECU) 9-1-1
 Argentina +54 115 031 1774

SECCION 2 : COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES

SULFATO DE BARIO	CAS: 7727-43-7	97-100%
------------------	----------------	---------

SECCION 3 : IDENTIFICACION DE PELIGROS

Clasificación ONU:	No aplica		
Clasificación NFPA:	Salud: 1	Inflamabilidad: 0	Reactividad: 0
Clasificación HMIS:	Salud: 1	Inflamabilidad: 0	Físico: 0



EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

Inhalación: No se espera que sea un peligro para la salud.

Ingestión: No se espera que sea un peligro para la salud.

Contacto con la Piel: No se esperan efectos adversos.

Contacto con los Ojos: No se esperan efectos adversos pero los polvos pueden causar irritación mecánica.

Exposición Crónica: La inhalación por largo tiempo del polvo puede conducir a la deposición de éste en los pulmones en cantidades suficientes para producir *baritosis* - una *neumoconiosis* benigna. Esto produce una imagen radiológica, aunque no existan síntomas o signos anormales.

SECCION 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Contacto Ocular: Lave bien los ojos inmediatamente al menos durante 15 minutos, elevando los párpados superior e inferior ocasionalmente para asegurar la remoción del químico. Busque atención médica si persiste la irritación.

Contacto Dérmico: Lave la piel inmediatamente con abundante agua por lo menos durante 15 minutos mientras se retira la ropa y zapatos contaminados. Lave la ropa antes de usarla nuevamente. Busque atención médica si persiste la irritación.

Inhalación: Trasladar a la víctima al aire fresco. Si la respiración es difícil, suministrar oxígeno. Si la respiración se ha detenido, dar respiración artificial. Buscar atención médica inmediatamente.

Ingestión: ¡No induzca el vomito! Administre grandes cantidades de agua. Buscar atención médica si se ingerieron grandes cantidades de producto.

SECCION 5: MEDIDAS PARA EXTINCION DE INCENDIOS

Incendio: No considerado como peligro de fuego.

Explosión: No considerado como peligro de explosión.

Medios Extintores de Incendio: Utilice cualquier medio apropiado para extinguir fuego alrededor.

Información Especial: En el evento de un fuego, use vestidos protectores completos y aparato respiratorio autónomo con mascarilla completa operando en la demanda de presión u otro modo de presión positiva.

SECCION 6: MEDIDAS PARA FUGAS ACCIDENTALES

Ventile el área donde ocurrió la fuga o derrame. Use apropiado equipo protector personal como se especifica en la Sección 8. Derrames: Limpie y envase para recuperación o desecho. Se puede aspirar o limpiar en húmedo para evitar la dispersión del polvo.

SECCION 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Guarde en un envase cerrado herméticamente. Proteja contra los daños físicos. Almacene en área fresca, seca y bien ventilada, lejos de las fuentes de calor, de la humedad y de productos incompatibles. Los recipientes de este material pueden ser peligrosos al vaciarse puesto que retienen residuos del producto (polvo, sólidos); observe todas las advertencias y precauciones listadas para el producto.

SECCION 8: CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL

Limites de Exposición Aérea:

OSHA Permissible Exposure Limit (PEL): 15 mg/m³ total dust, 5 mg/m³ respirable dust

ACGIH Threshold Limit Value (TLV): 10 mg/m³ total dust containing no asbestos and < 1% crystalline silica

Sistema de Ventilación: En general, la ventilación de dilución es un control satisfactorio del peligro para la salud para esta sustancia. Sin embargo, si las condiciones de uso crean incomodidad al trabajador, debe considerarse un sistema de aspiración local.

Respiradores Personales (Aprobados por NIOSH): Si se excede el límite de exposición, y no hay disponibilidad de controles de ingeniería, se puede usar un respirador para particulado que cubre media cara, (filtros de NIOSH tipo N95 o mejores) sobrepasando, como máximo, diez veces el límite de exposición o la máxima concentración de uso especificada por la agencia reguladora apropiada o por el fabricante del respirador, lo que sea inferior. Si se excede el límite de exposición o la máxima concentración de uso especificada por la agencia reguladora apropiada o por el fabricante del respirador (lo que sea inferior) en 50 veces, se debe usar un respirador para particulado que cubre toda la cara (filtros de NIOSH tipo N100). Si hay presencia de partículas aceitosas (como lubricantes, fluidos de corte, glicerina, etc.), use un filtro de NIOSH tipo R o P.

Protección de la Piel: Use guantes protectores y vestimenta limpia para cubrir cuerpos.

Protección para los Ojos: Utilice gafas protectoras contra productos químicos. Mantener en el área de trabajo una instalación destinada al lavado, remojo y enjuague rápido de los ojos.

SECCION 9: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Aspecto:	Polvo fino, blanco.
Olor:	Sin olor.
Solubilidad:	Insoluble en agua.
Peso Específico:	4.5 @ 15 (39F)
pH:	5% en agua es neutro al tornasol.
% de Volátiles por Volumen @ 21C (70F):	0
Punto de Ebullición:	1600C (2912F) Se descompone.
Punto de Fusión:	1580C (2876F)

SECCION 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad: Estable en condiciones ordinarias de uso y almacenamiento.

Productos Peligrosos de Descomposición: Cuando se quema puede producir óxido de azufre.

Polimerización Peligrosa: No ocurrirá.

Incompatibilidades: Aluminio, Fósforo.

Condiciones a Evitar: Polvo e incompatibles.

SECCION 11: INFORMACION TOXICOLOGICA

No se obtuvo información sobre las LD50/LC50 relacionadas con las rutas normales de exposición ocupacional.

SECCION 12: INFORMACION ECOLOGICA

Suerte Ecológica: Este material se puede bioacumular en cierto grado.
Toxicidad Ambiental: No se encontró información.

SECCION 13: CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICION

Lo que no se pueda conservar para recuperación o reciclaje debe ser manejado como desecho peligroso y enviado a una instalación aprobada para desechos. Debe tenerse presente la legislación ambiental local vigente relacionada con la disposición de residuos para su adecuada eliminación. Deseche el envase y el producto no usado de acuerdo con las normas locales o nacionales vigentes.

SECCION 14: INFORMACION SOBRE TRANSPORTE

No regulado.

SECCION 15 : INFORMACION REGLAMENTARIA

Esta hoja de seguridad cumple con la normativa legal de:

México: NOM-018-ST5-2000

Guatemala: Código de Trabajo, decreto 1441

Honduras: Acuerdo Ejecutivo No. STSS-053-04

Costa Rica: Decreto Nº 28113-S

Panamá: Resolución #124, 20 de marzo de 2001

Colombia: NTC 445 22 de Julio de 1998

Ecuador: NTE INEN 2 266:200

SECCION 16 : INFORMACION ADICIONAL

Clasificación HMIS: (Aplicable para usuarios que manipulen directamente el producto)

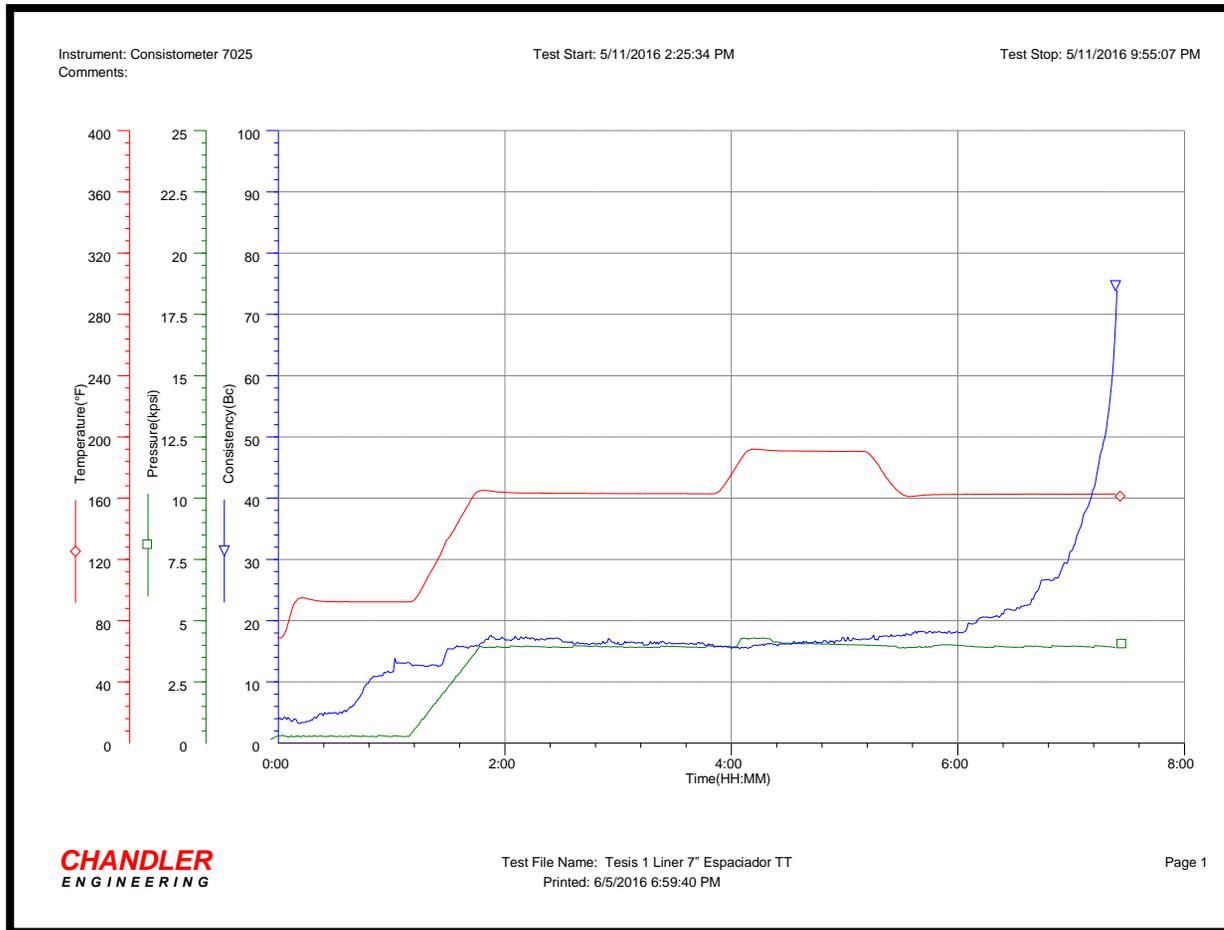
Nombre del Producto	PELIGROS: Puntuación de GHS		Corrosión Ambiental
SAZUO	2	2	Corrosión Leve
AMPLIBUSQUENO	2	2	Corrosión Moderada
PLUENO (Poco)	2	2	Corrosión Severa
PLUENO (Mucho)	2	2	Corrosión Severa

La información indicada en ésta Hoja de Seguridad fue recopilada y respaldada con la información suministrada en las Hojas de Seguridad de los proveedores. La información relacionada con este producto puede ser no válida si éste es usado en combinación con otros materiales o en otros procesos. Es responsabilidad del usuario la interpretación y aplicación de esta información para su uso particular. La información contenida aquí se ofrece solamente como guía para la manipulación de este material específico y ha sido elaborada de buena fe por personal técnico. Esta no es intencionada como completa, incluso la manera y condiciones de uso y de manipulación pueden implicar otras consideraciones adicionales.

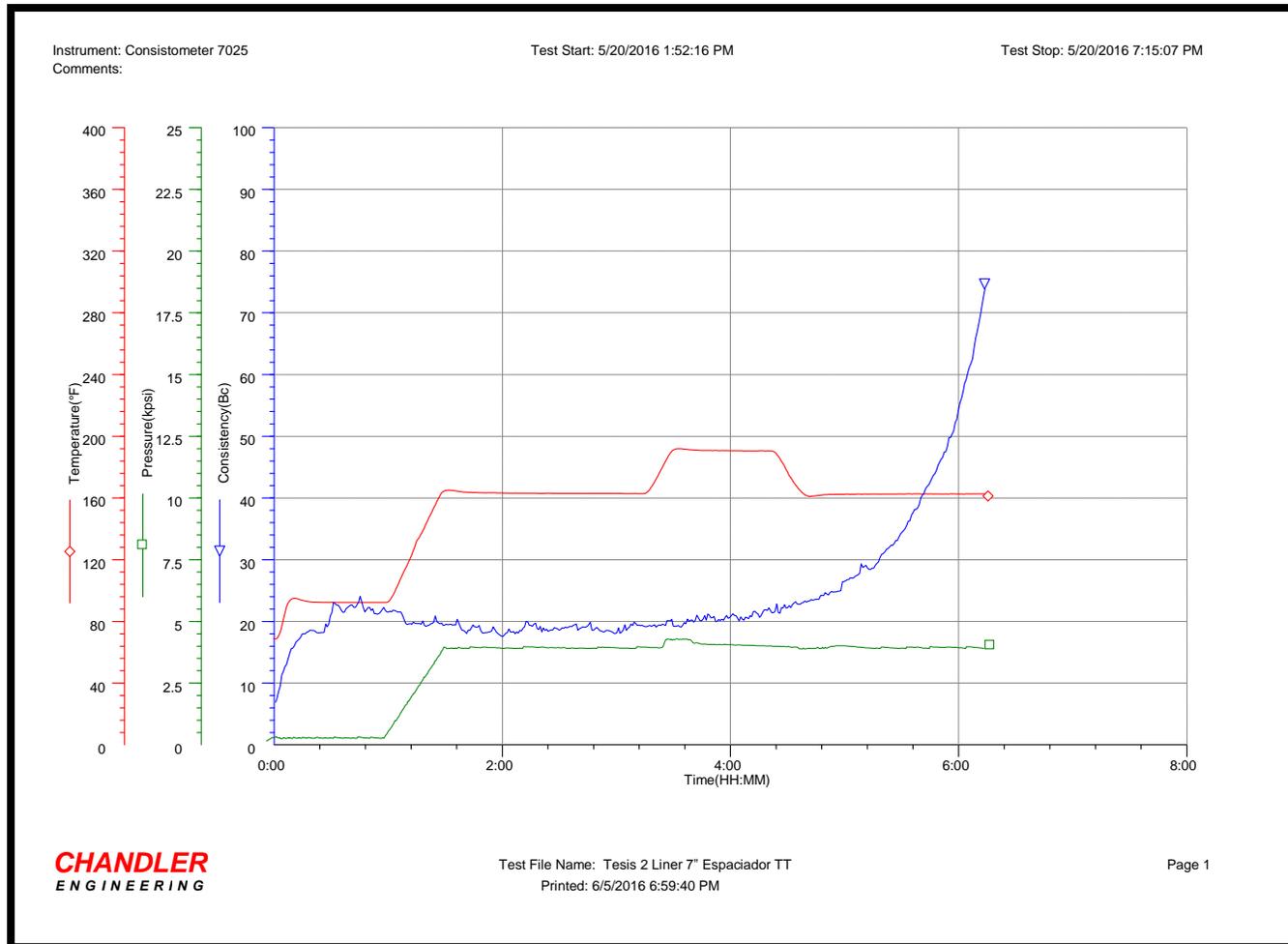
CONTROL DE REVISIONES Y CAMBIOS DE VERSIÓN:

Mayo 2014. Se actualizan las secciones 1, 3, 13 y 16.

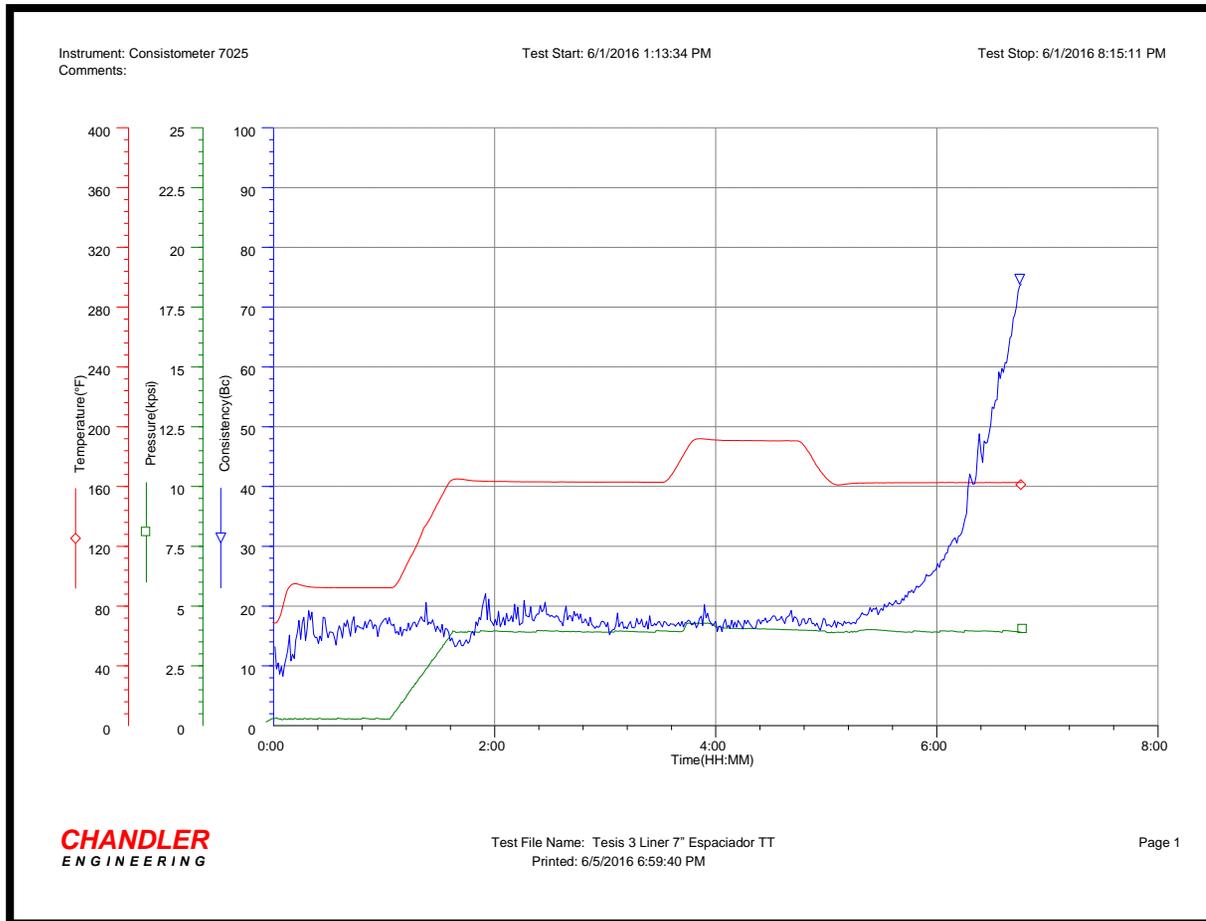
ANEXO F. GRÁFICA TIEMPO DE BOMBEABILIDAD DISEÑO DE ESPACIADOR 1.



ANEXO G. GRÁFICA TIEMPO DE BOMBEABILIDAD DISEÑO DE ESPACIADOR 2.



ANEXO H. GRÁFICA TIEMPO DE BOMBEABILIDAD DISEÑO DE ESPACIADOR 3.

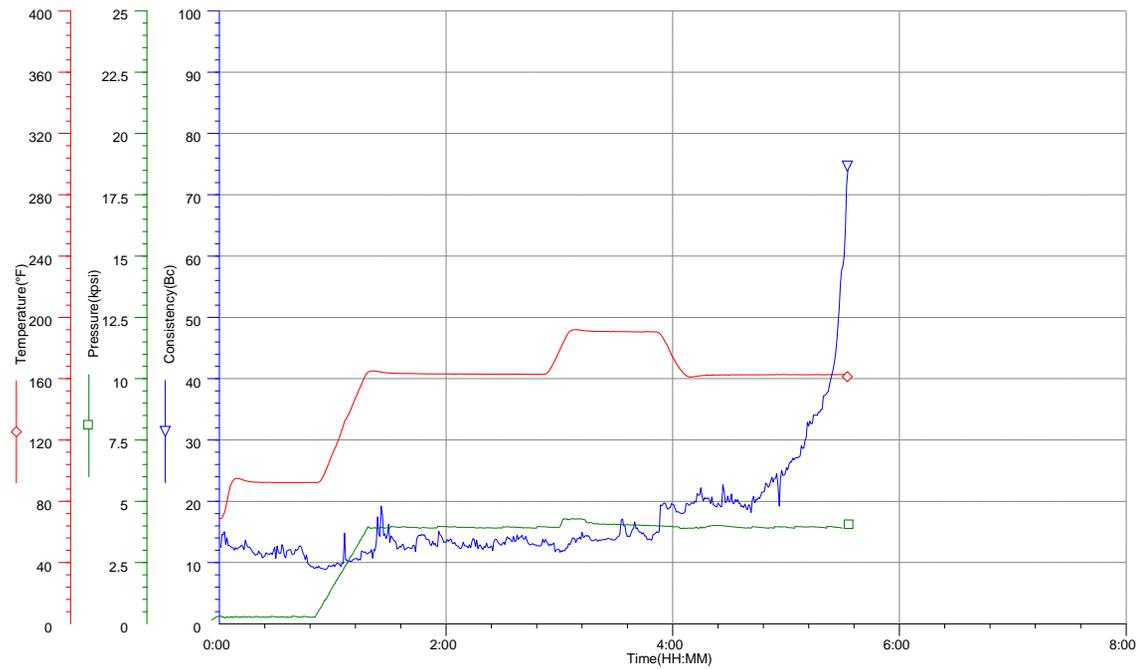


ANEXO I. GRÁFICA TIEMPO DE BOMBEABILIDAD DISEÑO DE ESPACIADOR 4.

Instrument: Consistometer 7025
Comments:

Test Start: 5/23/2016 11:59:34 AM

Test Stop: 5/23/2016 5:46:07 PM



CHANDLER
ENGINEERING

Test File Name: Tesis 4 Liner 7" Espaciador TT
Printed: 6/6/2016 6:59:40 PM

Page 1

ANEXO J. GRÁFICA DE FUERZA DE GELES DISEÑO DE ESPACIADOR 1.

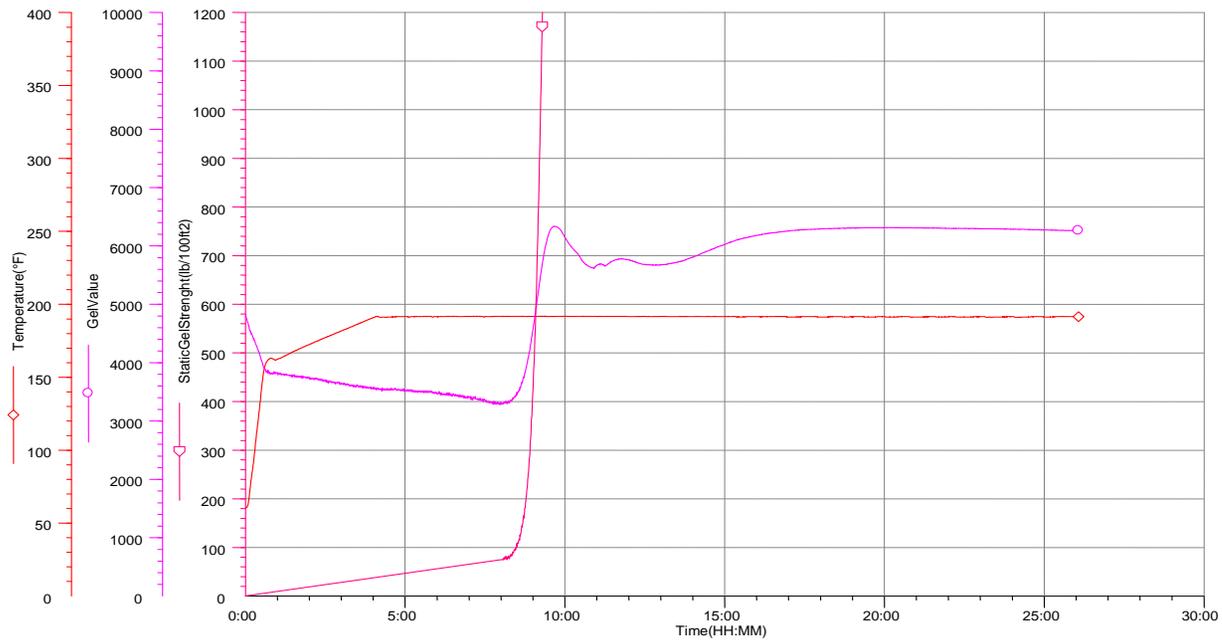
Instrument: SGSA 2 763

Test Start: 6/3/2016 7:52:50 AM

Test Stop: 6/4/2016 9:57:26 AM

Algorithm: (CurveType:Compressive Strength)

Comments:



CHANDLER
ENGINEERING

Test File Name: Tesis 1 Espaciador Liner 7" Fuerza de Geles
Printed: 6/8/2016 11:26:00 AM

Page 1

ANEXO K. GRÁFICA DE FUERZA DE GELES DISEÑO DE ESPACIADOR 2.

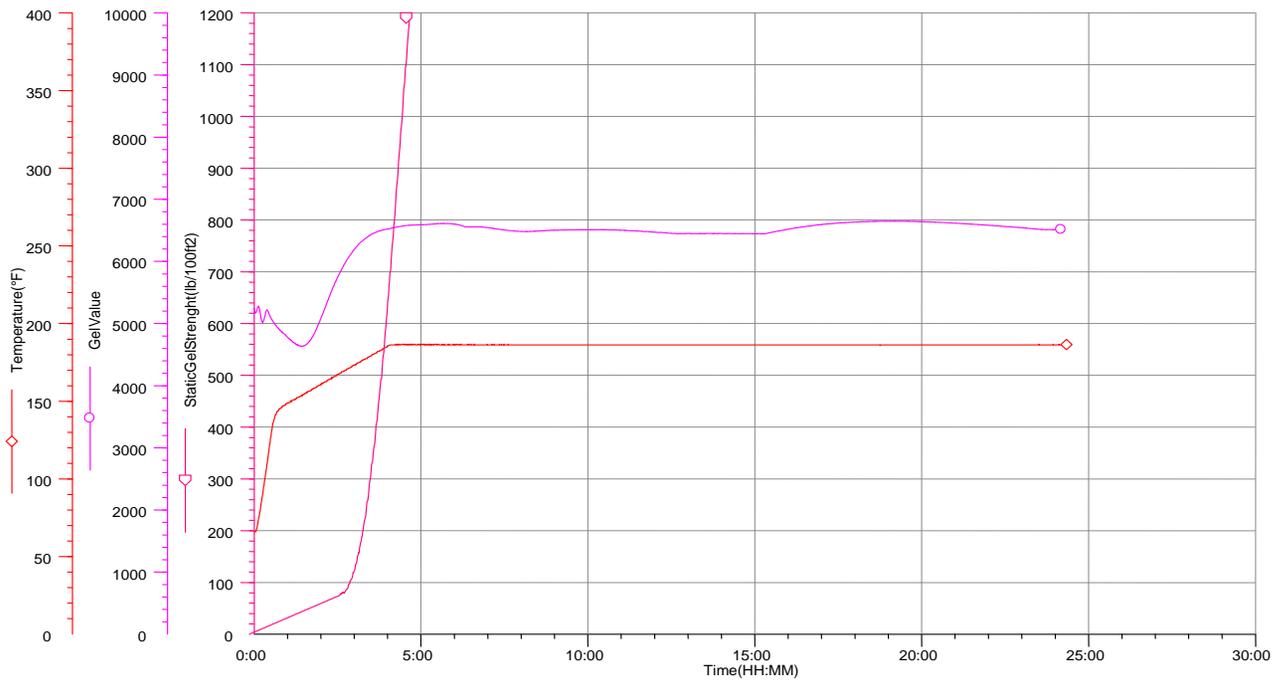
Instrument: SGSA 1 249

Test Start: 4/21/2016 1:31:18 PM

Test Stop: 4/22/2016 1:41:58 PM

Algorithm: (CurveType:Compressive Strength)

Comments:



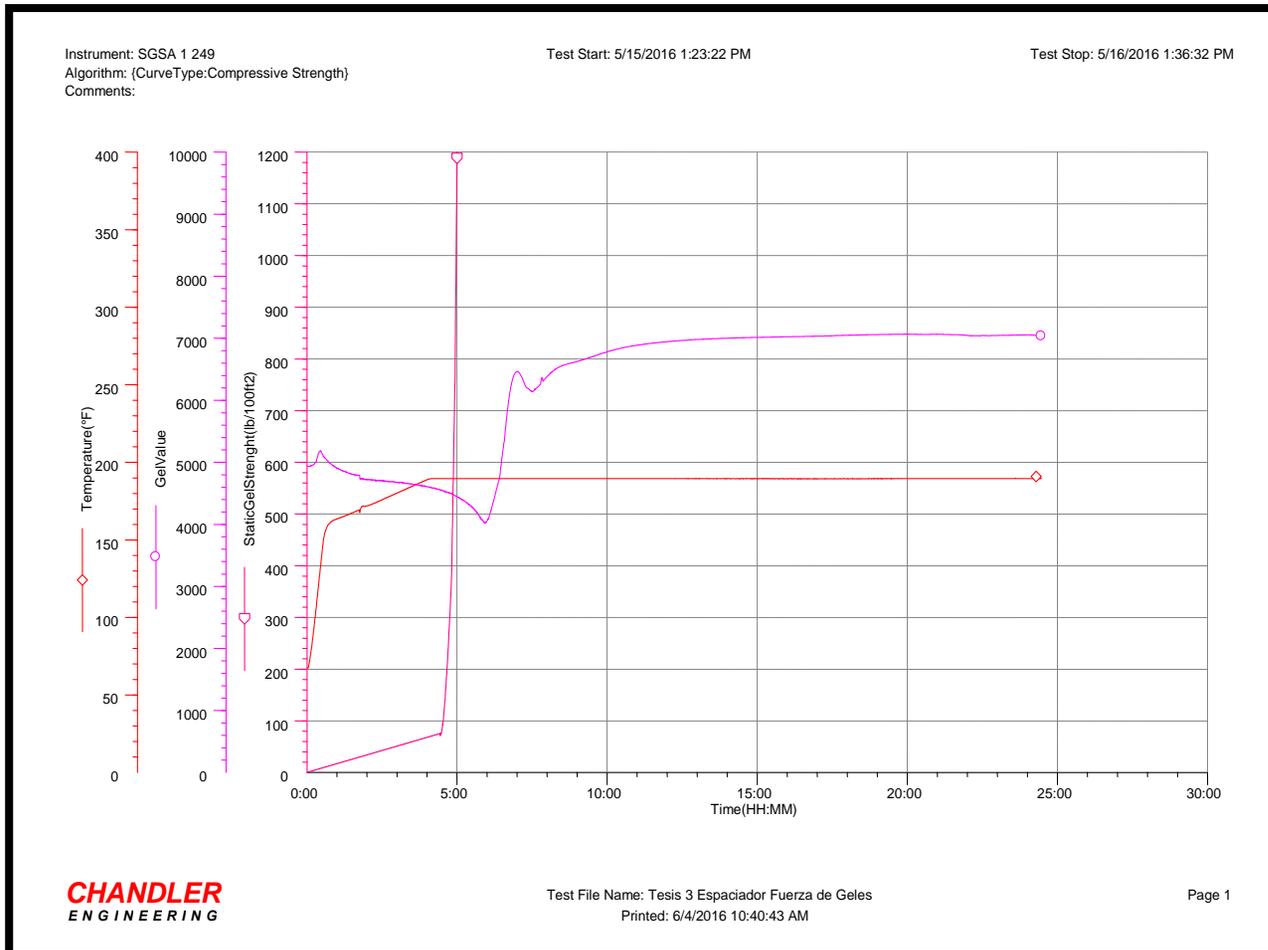
CHANDLER
ENGINEERING

Test File Name: Tesis 2 Espaciador Fuerza de Geles

Printed: 6/8/2016 11:27:37 AM

Page 1

ANEXO L. GRÁFICA DE FUERZA DE GELES DISEÑO DE ESPACIADOR 3.



ANEXO M. GRÁFICA DE FUERZA DE GELES DISEÑO DE ESPACIADOR 4.

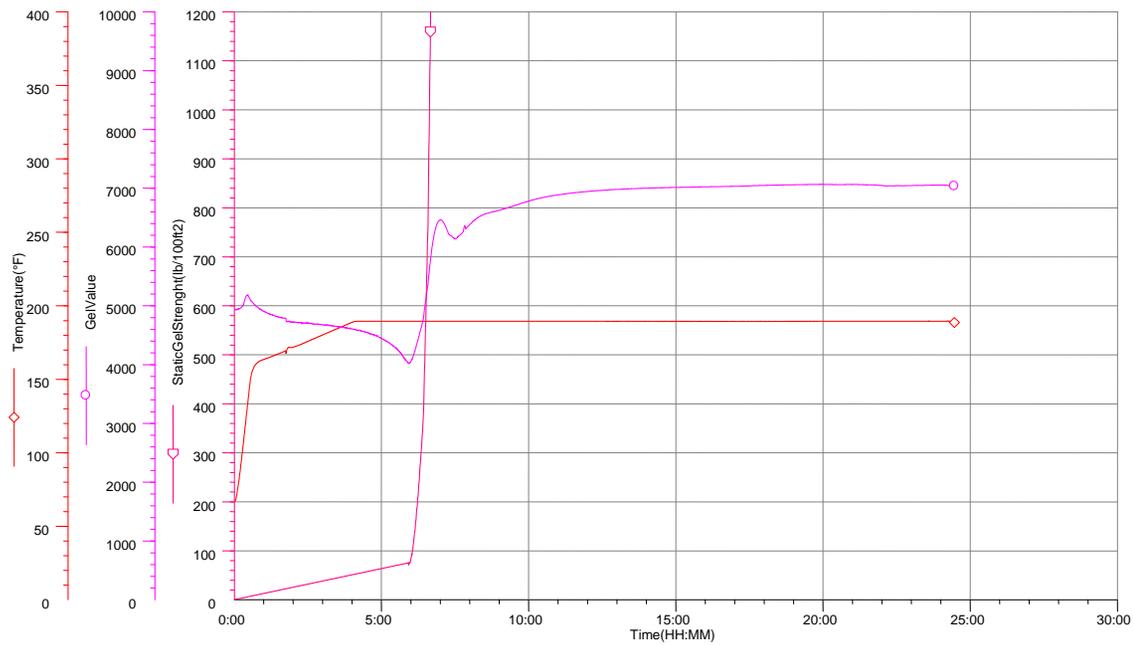
Instrument: SGSA 1 249

Test Start: 5/22/2016 2:48:01 PM

Test Stop: 5/23/2016 3:16:27 PM

Algorithm: (CurveType:Compressive Strength)

Comments:



CHANDLER
ENGINEERING

Test File Name: Tesis 4 Liner 7" Espaciador Fuerza de Geles
Printed: 6/4/2016 8:40:43 AM

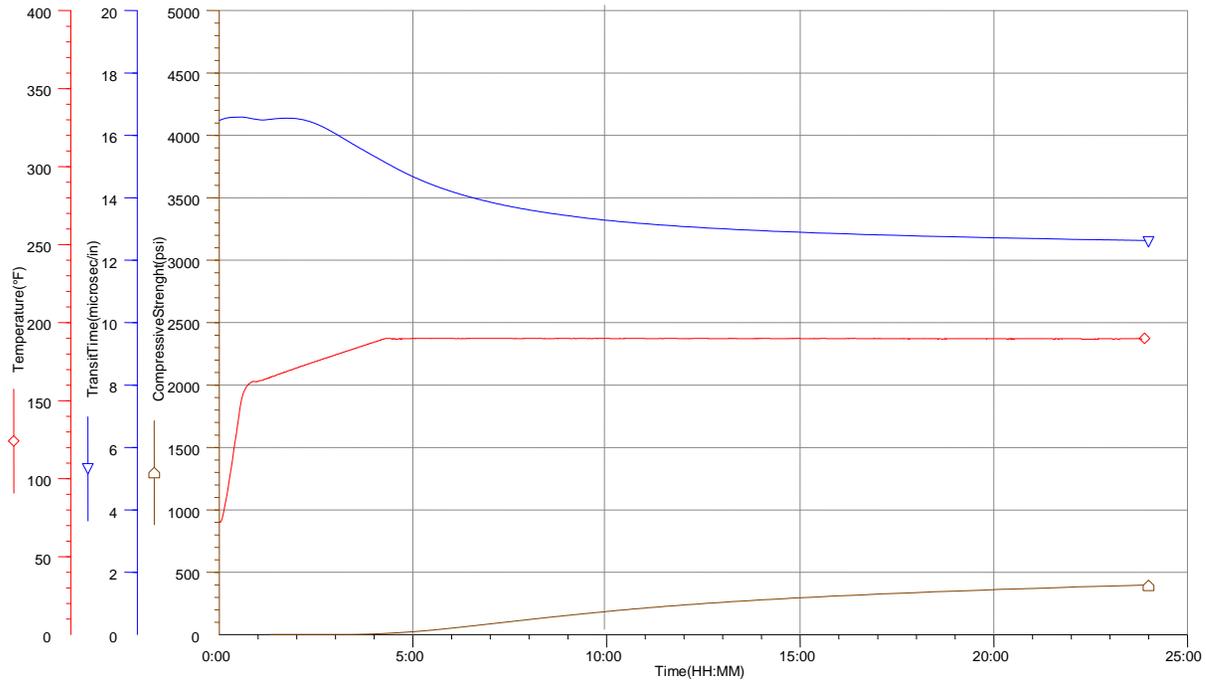
Page 1

ANEXO N. GRÁFICA COMPRESIÓN NO DESTRUCTIVA DISEÑO ESPACIADOR 1.

Instrument: SGSA 1 249
 Algorithm: (CurveType:Compressive Strength)
 Comments:

Test Start: 6/1/2016 8:43:18 AM

Test Stop: 6/2/2016 8:47:18 AM

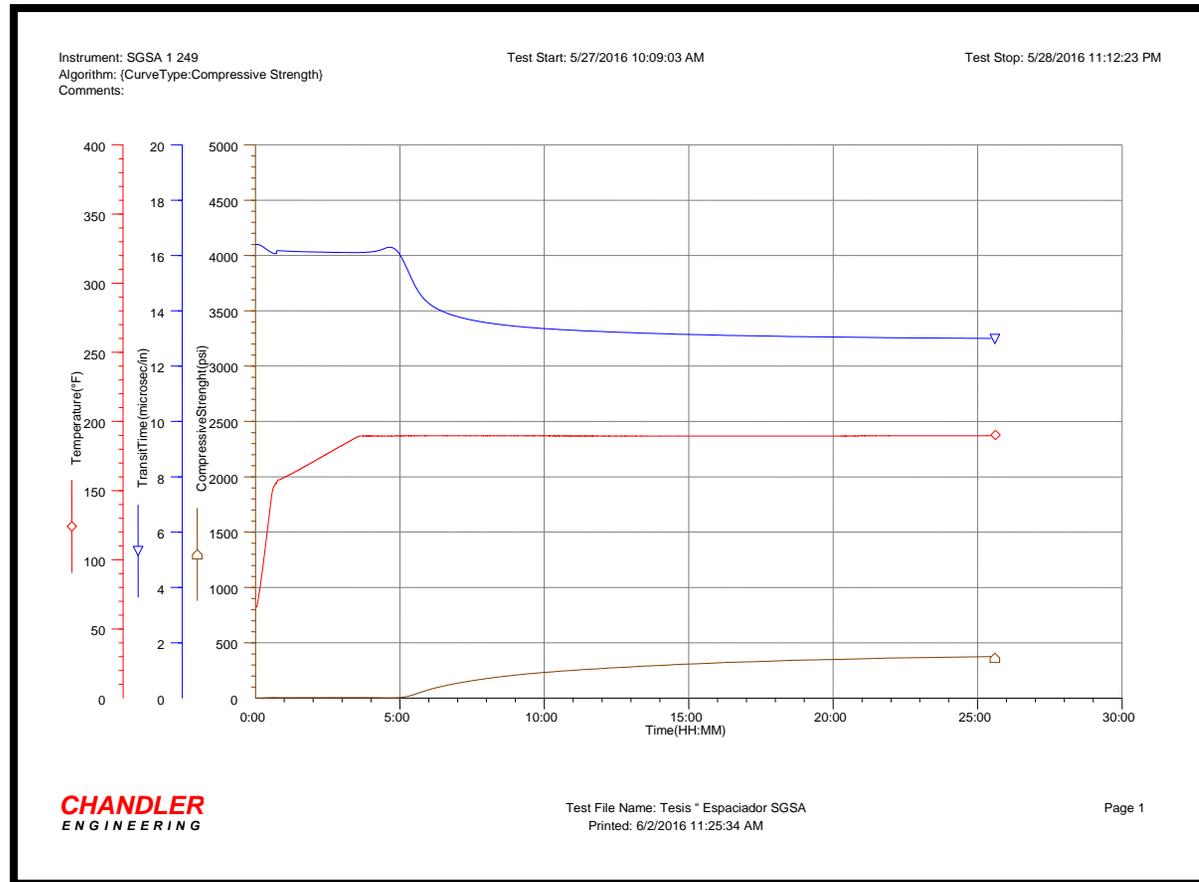


CHANDLER
ENGINEERING

Test File Name: Tesis 1 Espaciador SGSA
 Printed: 6/8/2015 11:32:47 AM

Page 1

ANEXO O. GRÁFICA COMPRESIÓN NO DESTRUCTIVA DISEÑO ESPACIADOR 2.

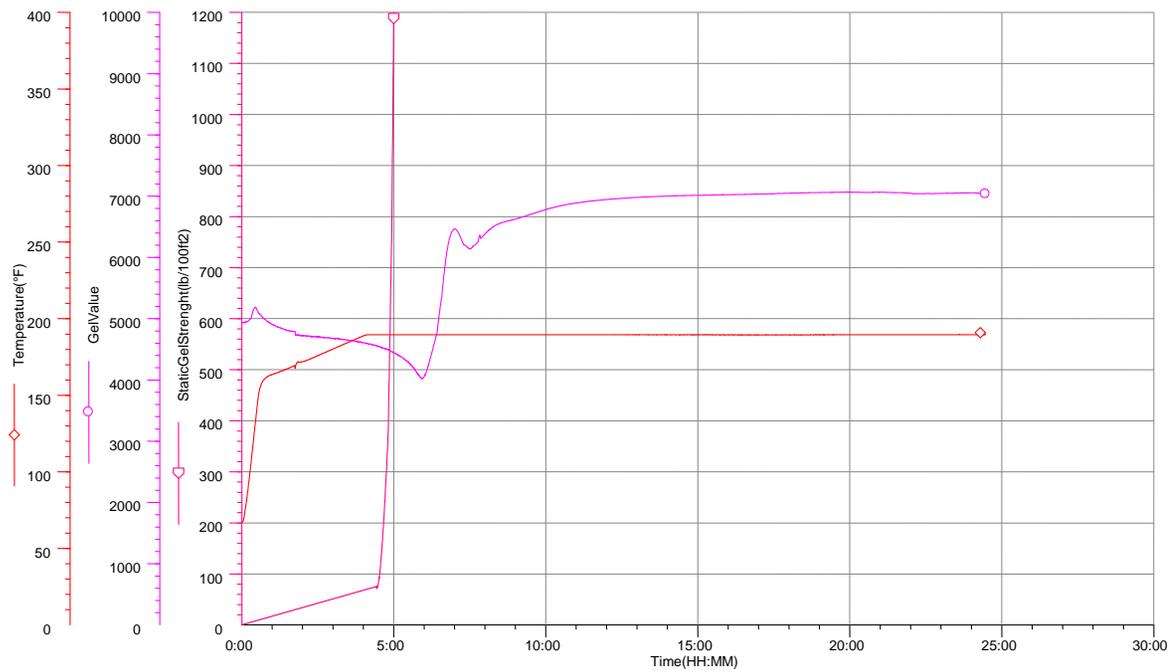


ANEXO P. GRÁFICA COMPRESIÓN NO DESTRUCTIVA DISEÑO ESPACIADOR 3.

Instrument: SGS A 1 249
Algorithm: (CurveType:Compressive Strength)
Comments:

Test Start: 5/15/2016 1:23:22 PM

Test Stop: 5/16/2016 1:36:32 PM

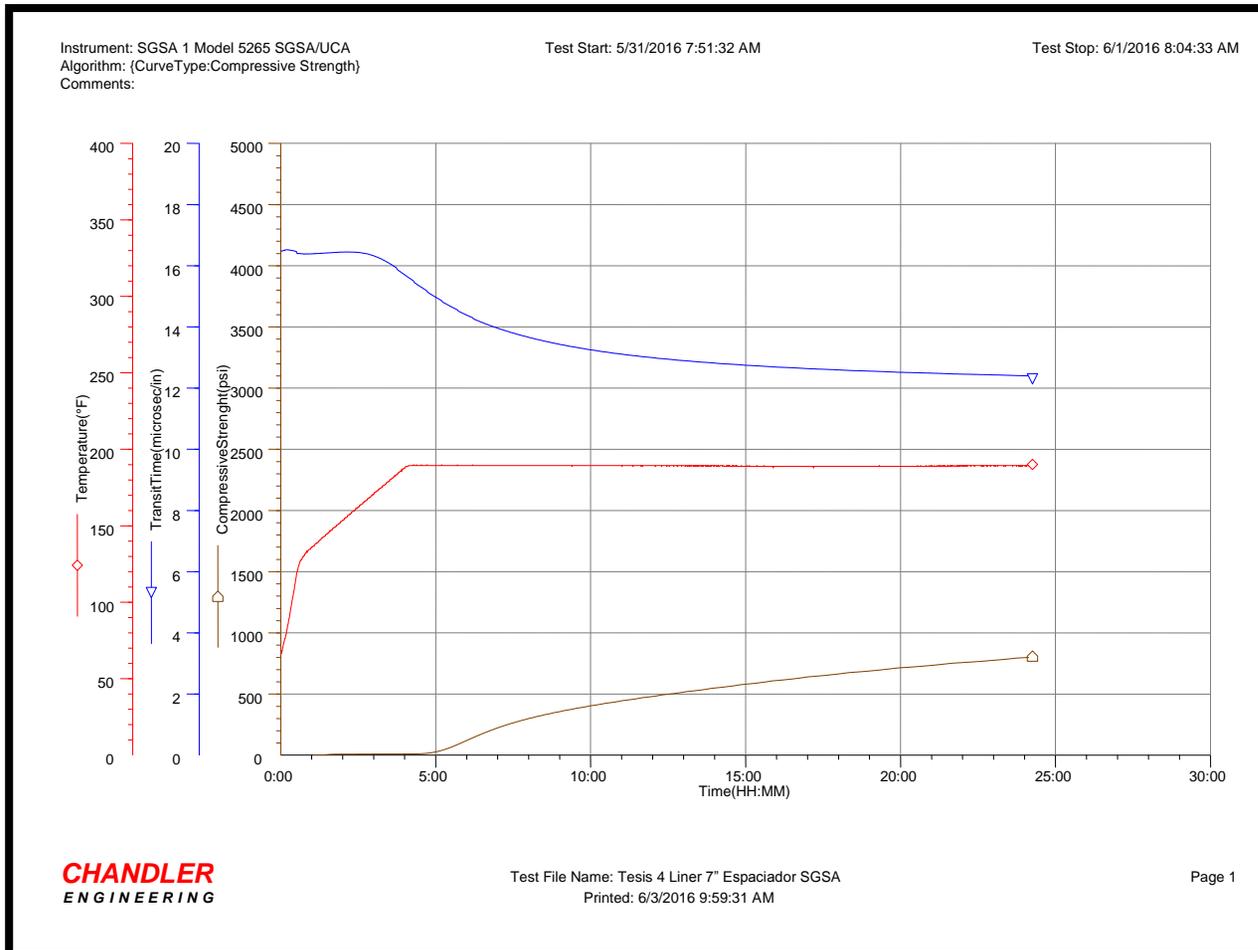


CHANDLER
ENGINEERING

Test File Name: Tesis 3 Espaciador Fuerza de Geles
Printed: 6/4/2016 10:40:43 AM

Page 1

ANEXO Q. GRÁFICA COMPRESIÓN NO DESTRUCTIVA DISEÑO ESPACIADOR 4.



ANEXO R. INFORME LABORATORIO DISEÑO ESPACIADOR 1.

		REPORTE DE DISEÑO DE LECHADA										
PRUEBA		INFORMACION GENERAL			CLIENTE							
Numero de Reporte	TESIS 1	Locacion		Compañia	PetroNorte							
Fecha de Prueba	24/5/2016	Campo	Chura									
Descripcion	Liner 7"	Pozo		Solicitado por								
Tipo de Lechada	Pesada	Taladro										
DATOS DE LA PRUEBA OBTENIDOS												
INFORMACION GENERAL				PARAMETROS CONSIDERADOS								
Fecha de Realizacion	24/5/2016			Temperatura Estatica (BHST)[°F]:	187							
Numero	TESIS 1			Temperatura circulante (BHCT)[°F]:	159							
Reporte dirigido a	Est. Natalia Cetina-Sergio			Presion (BHP)[psi]:	4641							
Comentarios	BARITA			Gradiente de Temperatura [°F]:	1.2							
				Profundidad [ft]:	TVD	8500						
				Tiempo de mezcla [min]:	0.58							
				Tiempo de alcance de condiciones [min]:	25							
COMPOSICION Y DISEÑO DE LECHADA												
Producto	Nomenclatura	Lote	Concentracion			Peso						
			%	lbs/sk	gal/sks	(g)						
Ultra Set Base	RAS	N/A	100			669.59						
Agente de Suspensión	Ultra Set Suspending	N/A	2			13.39						
BARITA	Barite	N/A	7			46.87						
Iniciador	N/A	N/A	0.5			3.39						
Estabilizador	Ultra Set Stabilizer	N/A	1			6.70						
Densidad (ppg):						11.5						
RESULTADOS DE PRUEBA DE LABORATORIO												
REOLOGIA												
	3	6	30	60	100	200	300	MODELO REOLOGICO		Formacion de Geles		
	rpm	rpm	rpm	rpm	rpm	rpm	rpm	Bingham	Ley de Potencia		Lbf/100 ft ²	
L1	10	15	35	55	78	103	125	Vp:	80	N'	0,508474458	10 seg:
L2	8	11	29	44	65	91	125					
Lp	9	13	32	50	72	97	125	Pc:	45	K'	0,055859465	10 min
Resistencia a la compresion			Gel estatico fuerza		tiempos tiempo de espesam			Perdida de fluido				
Metodo			(100lbs/100ft² - 500lbs/100ft²)		Consistencia			API Fluid loss:				
No Destructivo					Bc			Inclinacion				
Tempo	psi				DcV			Temperatura				
(Hrs)	175				Hrs			Volumen				
8	231				min			(ml)				
12	441				7			(Grade)				
24					15			(° C)				
					28			T. Ambiente				
					100			0				
Miqhen Valera			Gustavo Urbina									
Firma Ing. Laboratorio			Aprobado por									
ELABORADO POR			REVISADO POR			APROBADO POR			Codigo: Q-PR-731-FO-05			
Diana Cardenas						Hernan Camacho			Fecha: Diciembre de 2010			
Asistente de Calidad						Gerente General			Fecha anterior N/A			
									Revision N° 0			
									Pagina 1 de 1			

ANEXO T. INFORME LABORATORIO DISEÑO ESPACIADOR 3.

	REPORTE DE DISEÑO DE LECHADA										
PRUEBA	INFORMACION GENERAL	CLIENTE									
Numero de Reporte	TESIS 3	Locacion									
Fecha de Prueba	24/5/2016	Campo									
Descripcion	Liner 7"	Pozo									
Tipo de Lechada	Pesada	Taladro									
		Compañia									
		PetroNorte									
		Solicitado por									
DATOS DE LA PRUEBA OBTENIDOS											
INFORMACION GENERAL		PARAMETROS CONSIDERADOS									
Fecha de Realizacion	24/5/2016	Temperatura Estatica (BHST)(°F) :	187								
Numero	TESIS 3	Temperatura circulante (BHCT)(°F) :	159								
Reporte dirigido a	Est. Natalia Cetina-Sergio	Presion (BHP)[psi]:	4641								
Comentarios	BARITA	Gradiente de Temperatura (°F):	1.2								
		Profundidad [ft]:	TVD 8500								
		Tiempo de premezcla[min]:	0.58								
		Tiempo de alcance de condiciones [min]:	25								
COMPOSICION Y DISEÑO DE LECHADA											
Producto	Nomenclatura	Lote	Concentracion % lbs/sk gal/sks	Peso (g)	Densidad (ppg): 11.5						
Ultra Set Base	RAS	N/A	669.59	669.59							
Agente de Suspensión	Ultra Set Suspending	N/A	2	13.39							
BARITA	Barite	N/A	7	46.87							
Iniciador		N/A	1	6.70							
Estabilizador	Ultra Set Stabilizer	N/A	1	6.70							
RESULTADOS DE PRUEBA DE LABORATORIO											
REOLOGIA											
	3	6	30	60	100	200	300	MODELO REOLOGICO		Formacion de Geles	
	rpm	rpm	rpm	rpm	rpm	rpm	rpm	Bingham	Ley de Potencia		Lbf/100 ft ²
L1	13	25	55	61	88	122	165	Vp: 124	N'	0,630929754	10 seg:
L2	11	16	38	54	77	109	165				
Lp	12	21	47	58	83	116	165	Pc: 41	K'	0,034356603	10 min
Resistencia a la compresion											
Metodo			Gel estatico fuerza		tiempos tiempo de espesamiento				Perdida de fluido		
No Destructivo			(100lbs/100ft ² - 500lbs/100ft ²)		Consistencia		Tiempo		API Fluid loss: N/A ml		
(Hrs) psi			15 min		Bc		DcV		Inclinacion		Temperatura
8 54			15 min		30		Hrs min		(Grade)		(°C)
12 268			15 min		50		6 5		0		T. Ambiente
24 502			15 min		70		6 12				Volumen
			15 min		100		6 20				(ml)
			15 min								0
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								
			15 min								

**ANEXO V.
COSTOS PARA EL TRANSPORTE Y AJUSTE DE CALIDAD.**

Transporte. Para el transporte de los hidrocarburos producidos en el Campo Chuirá se hace uso del oleoducto Caño Limón-Coveñas, el cual de acuerdo con las tarifas de Ecopetrol vigentes desde el 1 de julio de 2014 el valor es de 1,1044 USD/BL, de acuerdo a esto continuación se muestra en la **Tabla 31** los precios de transporte para para la producción de cada uno de los escenarios.

Escenario Actual. Los costos de transporte para este escenario se muestran en la **Tabla 31**.

Tabla 31. Costos de Transporte Escenario Actual.

Periodo	Producción (BL)	Costos de transporte(USD/BL)	Total (USD)
1	85,399	1.1044	94,314.62
2	75,742	1.1044	83,649.56
3	67,177	1.1044	74,190.51
4	59,461	1.1044	65,668.52

Fuente: Autores.

Escenario Propuesto. A continuación, se muestran los costos de transporte para este escenario en la **Tabla 32**.

Tabla 32. Costos Transporte Escenario propuesto.

Periodo	Producción (BL)	Costos de transporte(USD/BL)	Total (USD)
1	85,399	1.1044	94,314.62
2	75,742	1.1044	83,649.56
3	67,177	1.1044	74,190.51
4	59,581	1.1044	65,801.08

Fuente: Autores.

Ajuste Calidad. De acuerdo con la información disponible en la ANH, en promedio el precio de venta de los hidrocarburos sufrió un ajuste por calidad de 10.80 USD/BL durante el año 2015, en la **Tabla 33** se muestra la diferencia entre el WTI con el precio para hidrocarburos líquidos en cada mes, y el ajuste al precio que se efectúa sobre el WTI en la venta de los hidrocarburos del Campo Chuirá.

Tabla 33. Valor Ajuste por calidad.

Mes	Precio WTI (USD)	Precio Hdr. (USD)	Diferencia (USD)	Ajuste Calidad (USD)
Enero	47.37	34.84	12.53	10.80
Febrero	50.83	33.78	17.05	
Marzo	47.85	35.41	12.44	
Abril	54.63	46.75	7.88	
Mayo	59.37	52.39	6.98	
Junio	59.83	53.44	6.39	
Julio	51.19	39.62	11.57	
Agosto	42.89	31.84	11.05	
Septiembre	45.49	29.39	16.1	
octubre	31.78	29.72	2.06	
Noviembre	30.62	24.34	6.28	
Diciembre	37.33	18.03	19.3	

Fuente: AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS, estadísticas del sector, Regalías, Estadísticas e informes, [en línea]. [Citado 22 octubre 2016]: Disponible en: <http://www.anh.gov.co/Operaciones-Regalias-y-Participaciones/Regalias/Estadisticas/Paginas/default.aspx>, modificado por autores.

Para efectos académicos se hará uso del valor 10,80 USD/BL de ajuste a lo largo de los 4 periodos anuales planteados de evaluación.

ANEXO W. PRECIO DE VENTA DEL CRUDO.

Precio de Venta del Crudo. Teniendo en cuenta el panorama actual del crudo y la ventana de precios con la que se sitúa en la actualidad, se graficaron los precios de los últimos 18 meses del WTI y con base en estos datos se obtuvo una función que permite predecir el precio a futuro del WTI, basándose en las situaciones que presentó en su pasado, La **Tabla 34** muestra el precio histórico del WTI resaltando el comportamiento del precio del barril WTI. Para las fechas desde el 12-2014 al 05-2016.

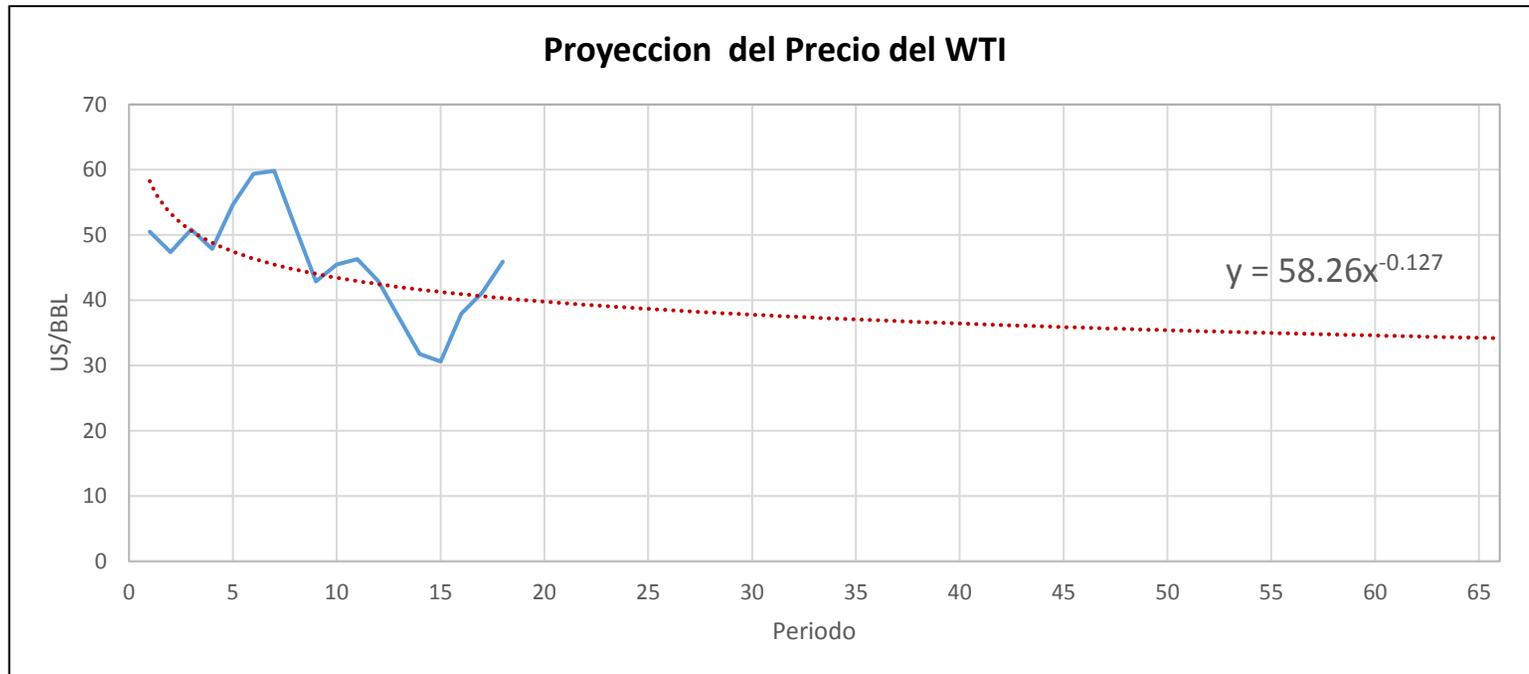
Tabla 34. Precio histórico WTI.

PERIODO	PRECIO WTI (USD/BL)
2015-01	47.37
2015-02	50.83
2015-03	47.85
2015-04	54.63
2015-05	59.37
2015-06	59.83
2015-07	51.19
2015-08	42.89
2015-09	45.49
2015-10	46.29
2015-11	42.92
2015-12	37.33
2016-01	31.78
2016-02	30.62
2016-03	37.96
2016-04	41.13
2016-05	45.90

Fuente: DolarWeb.com. Precio del barril de petróleo WTI vigente para hoy [En línea]. (25 de mayo de 2016)
Disponible en: <http://dolar.wilkinsonpc.com.co/petroleo-wti.html>.

La **Figura 23** presenta la proyección del precio del WTI en dólares por barril y periodos mensuales, en la cual, primero se grafican los datos de la tabla 36 que cubren los primeros 17 periodos mensuales de la gráfica en color azul, posteriormente se traza una línea de tendencia de tipo exponencial mediante el uso de las herramientas de Excel y se obtienen los valores de los siguientes 48 meses a partir de la línea de tendencia exponencial, la Figura 24 también muestra la ecuación para determinar el valor del WTI para el periodo mensual que se desee.

Figura 23. Proyección del precio WTI hasta el año 2020



Fuente: Autores.

A partir de la línea de tendencia de la **Figura 23 se obtienen** los precios para el WTI, a continuación, en la **Tabla 35** se muestran los precios mensuales y su valor para cada periodo anual de evaluación.

Tabla 35. Precios WTI.

Periodo Anual	Mes	Precio mes	Precio Periodo
1	1	45.90	47.64
	2	58.26	
	3	53.35	
	4	50.67	
	5	48.85	
	6	47.49	
	7	46.40	
	8	45.50	
	9	44.74	
	10	44.07	
	11	43.49	
	12	42.96	
2	1	42.49	40.62
	2	42.06	
	3	41.67	
	4	41.31	
	5	40.97	
	6	40.65	
	7	40.36	
	8	40.08	
	9	39.82	
	10	39.58	
	11	39.34	
	12	39.12	
3	1	38.91	37.94
	2	38.71	
	3	38.52	
	4	38.33	
	5	38.16	
	6	37.99	
	7	37.82	
	8	37.67	
	9	37.52	
	10	37.37	
	11	37.23	
	12	37.09	
4	1	36.96	36.32
	2	36.83	
	3	36.71	
	4	36.59	
	5	36.47	
	6	36.35	
	7	36.24	
	8	36.13	
	9	36.03	
	10	35.93	
	11	35.83	
	12	35.73	

Fuente: Autores.

A continuación, la **Tabla 36** presenta el precio del barril para los 4 periodos anuales de evaluación, estos obtenidos a partir de la **Figura 23**.

Tabla 36. Predicción del precio del barril.

Periodo	Precio WTI (USD/ BL)
1	47.64
2	40.62
3	37.94
4	36.32

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES

Nosotros **Sergio Andres Mutis Peña, Natalia Lucía Roperó Cetina**, en calidad de titulares de la obra **Diseño a nivel de laboratorio de un espaciador con base en una resina polimérica para el control de gas en los procesos de cementación para la sección del liner de 7” en el Campo Chuirá**, elaborada en el año 2016, autorizamos al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que nos corresponden y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autores manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autores establecemos las siguientes condiciones de uso de nuestra obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:

	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

	Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	<input type="checkbox"/>
	Atribución - no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	<input checked="" type="checkbox"/>
	Atribución - no comercial - compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	<input type="checkbox"/>

Licencias completas: http://co.creativecommons.org/?page_id=13

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a sus autores.

De igual forma como autores autorizamos la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

AUTORIZAMOS	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	X	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	X	

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicará (indicaremos), en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		X

Para constancia se firma el presente documento en la ciudad Bogotá D.C, a los 13 días del mes de Mayo del año 2017.

LOS AUTORES:

Autor 1

Nombres	Apellidos
Sergio Andres	Mutis Peña
Documento de identificación No	Firma
1020785442	

Autor 2

Nombres	Apellidos
Natalia Lucia	Ropero Celina
Documento de identificación No	Firma
1020788516	