

**EVALUACIÓN TÉCNICO-FINANCIERA DE LA DOSIFICACIÓN QUÍMICA PARA
EL AUMENTO DE LA EFICIENCIA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
FLUIDOS DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER DEL CAMPO CASTILLA**

**JORGE MARIO MOLANO GARCÍA
ANDRÉS PÉREZ ESCOBAR**

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

**EVALUACIÓN TÉCNICO-FINANCIERA DE LA DOSIFICACIÓN QUÍMICA PARA
EL AUMENTO DE LA EFICIENCIA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
FLUIDOS DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER DEL CAMPO CASTILLA**

**JORGE MARIO MOLANO GARCÍA
ANDRÉS PÉREZ ESCOBAR**

**Proyecto integral de grado para optar el título de
INGENIEROS DE PETRÓLEOS**

**Director
Andrea Carolina García
Ingeniera Química**

**Codirector
Jaime Amariz
Ingeniero de Petróleos**

**Asesor
Alejandro Contreras Garzón
Ingeniero de Petróleos**

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

Nota de aceptación

Ing. Alexander López

Ing. Jaime Amariz

Ing. Alejandro Contreras

Bogotá D.C., agosto de 2017

DIRECTIVAS FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

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 Postgrados

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Secretario General

JUAN CARLOS POSADA GARCÍA-PEÑA

Decano Facultad de Ingeniería

Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa Ingeniería de Petróleos

Ing. JOSÉ HUMBERTO CANTILLO SILVA

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.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa ATP Ingeniería S.A.S. por brindarnos su apoyo en el desarrollo de nuestro trabajo de grado.

Al Ingeniero Efraín Pérez Morales, por abriarnos las puertas de la empresa y brindarnos la oportunidad de realizar el trabajo de grado.

A la Ingeniera Andrea García por el apoyo y soporte en el desarrollo del proyecto.

A los trabajadores de la Planta El Recreo, de las diferentes áreas que tuvieron que ver con el desarrollo del proyecto.

Al Ingeniero Alejandro Contreras por su tiempo y apoyo en la realización del trabajo de grado.

Al Ingeniero Jaime Amariz por su tiempo y apoyo en el desarrollo del proyecto.

DEDICATORIA

Para empezar, quiero dedicar este trabajo a mi madre María Patricia Escobar por el apoyo incondicional que siempre nos ha brindado a mi hermano y a mí. Por todo ese esfuerzo que durante años hizo para ser de mí el hombre que hoy día soy, todos aquellos valores inculcados, de enseñarme que en la vida lo más importante es ser un buen ser humano sin importar en lo que creas. De ti aprendí a ser una persona disciplinada, fuerte y autentica.

También quiero agradecer a mi padre Gustavo Luis Pérez que a pesar que no siempre estuvo a mi lado, sé que me acompañaba en este camino de alma y corazón. Papá, sé que tenemos diferentes maneras de pensar ante muchos temas de la vida, en especial los relacionados con la religión, pero también sé que sin importar cuan alejados estemos de llegar a un consenso al respecto, siempre querrás lo mejor para mí y te lo agradezco. De ti aprendí alguno de los valores más significativos de mi vida, ser honrado, solidario, humilde y sencillo.

A mi hermano Juan Luis Pérez, mi ejemplo y modelo a seguir. Cuando nuestro padre no estuvo presente, tu si lo estuviste en todo momento. Me acompañaste en los buenos momentos, pero aún más en aquellos con gran dificultad. Sé que podemos tener nuestras discusiones y diferencias, pero nunca serán lo suficientemente grandes como para separarnos. De ti aprendí a tener más confianza en mí, en ser una persona más extrovertida y en nunca darme por vencido.

Por último, pero no menos importante quiero agradecerle a mi familia, porque sin ellos nada de esto sería posible. A mis tías, tíos, primos y abuelos, de ellos y cada uno he aprendido grandes cosas y no me alcanzan las palabras para describir cuan agradecido estoy.

P.D: Mientras redactaba estas palabras un mar de recuerdos de cada uno de ustedes se cruzaba por mi mente, y las lágrimas que se escurrían por mis ojos acompañaban ese sentimiento. ¡Los quiero mucho!

*Andrés Pérez Escobar
Ingeniero de Petróleos*

DEDICATORIA

"Gran parte de lo mejor que hay en nosotros está ligado a nuestro amor a la familia, que sigue siendo la medida de nuestra estabilidad porque mide nuestro sentido de la lealtad. Todos los otros pactos de amor o temor derivan de ella y se modelan sobre ella" Haniel Long.

Dedico este proyecto de grado a todas las personas que siempre han creído en mí, aquellas que con su cariño y amor han logrado darme las fuerzas necesarias y el apoyo incondicional para la realización de este trabajo.

A mi madre por ser la mujer más maravillosa de este mundo, por ser el amor de mi vida, por apoyarme en cada decisión y proyectos de mi vida. Gracias a ti mamá por demostrarme lo hermosa que es la vida y por dejarme vivirla. Gracias a tus aportes de amor, bondad y apoyo, me has permitido culminar con excelencia el desarrollo de esta tesis.

A mi padre por darme el mejor ejemplo de padre, hijo y amigo que se puede tener, por sus consejos, sus valores y motivación constante para ser de mí una mejor persona. Tú me has enseñado a luchar por mis sueños, a ser perseverante, a ser un hombre fuerte, lleno de valores para salir adelante y cumplir mis metas. Gracias padre por tu cariño, amor y confianza depositada en mí.

A mi hermana por ser la mejor compañía, por estar siempre en los buenos y malos momentos de mi vida. Gracias por la confianza y apoyo que siempre me das. Gracias a ti hermana por tantas enseñanzas.

Por último, no menos importantes a todos aquellos que de alguna forma participaron directa e indirectamente en la elaboración de esta tesis. ¡Solo me queda decirles Gracias!

*Jorge Mario Molano García
Ingeniero de Petróleos*

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	24
OBJETIVOS	25
1. GENERALIDADES DEL CAMPO CASTILLA	26
1.1 HISTORIA DEL CAMPO CASTILLA	26
1.2 LOCALIZACIÓN	27
1.3 HISTORIA DE LA PRODUCCIÓN DEL CAMPO	28
1.3.1 Método de producción	29
1.3.2 Número de pozos	30
1.3.3 Tiempo de producción	30
1.4.4 Gráfica de producción Acumulada	30
2. DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE FLUIDOS DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER USADOS HABITUALMENTE EN LAS OPERACIONES EN EL CAMPO CASTILLA	32
2.1 ¿QUÉ ES COMPLETAMIENTO?	32
2.2 ¿QUÉ ES WORKOVER?	32
2.2.1 Fluidos de completamiento y workover	33
2.2.2 Tipos de Salmuera	35
2.3 CARACTERIZACIÓN FLUIDO DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER DEL CAMPO CASTILLA	36
3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO Y LOS PRODUCTOS QUÍMICOS UTILIZADOS EN LA PLATA EL RECREO	39
3.1 COAGULACIÓN	39
3.1.1 ¿Qué es la coagulación?	39
3.1.2 Mecanismo de desestabilización	39
3.1.3 Reactivos coagulantes y floculantes más comunes	41
3.1.4 Factores que Influyen en la coagulación	44
3.1.5 Etapas o Fases de la coagulación	45
3.2 FLOCULACIÓN	45
3.2.1 ¿Qué es la floculación?	45
3.2.2 Floculantes	47
3.3 TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO	49
3.3.1 Proceso de tratamiento químico convencional	51
3.3.2 Proceso de tratamiento avanzado	56
3.4. PRODUCTOS QUÍMICOS UTILIZADOS PARA EL TRATAMIENTO DE FLUIDOS DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER	58
3.4.1 Reactivos propuestos	58
3.4.2 Floculantes	59

4. PLAN DE PRUEBAS PARA LA OBTENCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN OPTIMA DE FLOCULANTE Y COAGULANTE	60
4.1 APLICACIÓN	60
4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS DISEÑOS EXPERIMENTALES	61
4.2.1 Análisis de varianza ANOVA	61
4.2.2 Homogeneidad de varianzas	61
4.2.3 ANOVA para grupos desiguales.	62
4.2.4 Prueba de normalidad.	62
4.2.5 Bloques completos y aleatorizados	62
4.2.6 Diseño de cuadros latinos	62
4.2.7 Contraste y comparaciones	62
4.2.8 Diseño factorial	63
4.2.9 Diseño factorial mixto	63
4.2.10 Diseño bifactorial en un DAB (diseño de bloques aleatorios)	63
4.3 PLAN DE PRUEBAS	64
4.4 TEST DE JARRAS	65
4.4.1 Objetivo	66
4.4.2 Materiales y equipos necesarios	66
4.4.3 Preparación de solución de coagulantes y polímero para los ensayos de test de jarra	66
4.4.4 Plan de desarrollo del test de jarras	67
5. DESARROLLO EXPERIMENTAL DE ENSAYOS DE TEST DE JARRAS A NIVEL DE LABORATORIO	70
5.1 EQUIPOS UTILIZADOS	71
5.2 CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL FLUIDO DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER	72
5.2.1 Selección parámetros a analizar.	73
5.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PRUEBAS DE LABORATORIO	73
5.3.1 Selección del coagulante	74
5.3.2 Preparación coagulante y floculante	78
5.3.3 Desarrollo test de jarras	78
5.3.4 Clasificación índice de Willcomb	79
5.4 PRIMER TEST DE JARRAS	80
5.5 SEGUNDO TEST DE JARRAS	86
5.6 TERCER TEST DE JARRAS	91
5.7 CONDICIONES FINALES DEL AGUA TRATADA Y ANALISIS DE RESULTADOS	96
5.8 ANÁLISIS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL	98
6. ANÁLISIS FINANCIERO	103
6.1 INTRODUCCIÓN	103
6.2 ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN (OPEX)	103
6.2.1 Escenario A	104
6.2.2 Escenario B	105

6.3 EVALUACIÓN FINANCIERA	106
6.3.1 Valor presente neto (VPN)	106
6.3.2 Tasa de interés de oportunidad (TIO)	107
6.3.3 Flujo de caja.	108
6.4 CONCLUSIONES DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA	110
7. CONCLUSIONES	111
8. RECOMENDACIONES	112
BIBLIOGRAFÍA	113
ANEXOS	116

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Localización y ruta al Campo Castilla	28
Figura 2. Fases de la Coagulación	45
Figura 3. Floculación	46
Figura 4. Vista general de las piscinas de almacenamiento.	49
Figura 5. Ubicación de los sistemas de tratamiento de aguas dentro de la Planta El Recreo	51
Figura 6. Planta de tratamiento químico convencional	56
Figura 7. Sistema de Tratamiento Avanzado de Aguas.	57
Figura 8. Evolución de la calidad del agua sometida a los procesos de tratamiento	57
Figura 9. Tanque de almacenamiento de agua tratada antes del vertimiento	58
Figura 10. Caño Chichimene a la altura del vertimiento actual	58
Figura 11. Soluciones de Sulfato de Aluminio y Polímero	78
Figura 12. Resultados coagulación Sulfato de Aluminio.	79
Figura 13. Resultados primer test de jarras floculante L-1648, 2 mL (200 ppm)	80
Figura 14. Resultados segundo test de jarras floculante L-1648, 3 mL (300 ppm)	86
Figura 15. Resultados tercer test de jarras floculante L-1648, 4 mL (400 ppm)	91
Figura 16. Diseño Factorial Completo	98
Figura 17. Parámetros diseño factorial	99
Figura 18. Flujo de caja escenario A (tratamiento físico-químico actual)	108
Figura 19. Flujo de caja escenario B (dosificación química propuesta)	109

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Producción Acumulada de petróleo en el Campo Castilla.	31
Gráfica 2. Comportamiento DBO, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 2 mL (200 ppm)	81
Gráfica 3. Comportamiento DQO, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 2 mL (200 ppm)	82
Gráfica 4. Comportamiento Bario, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 2 mL (200 ppm)	82
Gráfica 5. Comportamiento pH, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1644, 2 mL (200 ppm)	84
Gráfica 6. Comportamiento sulfatos, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 2mL (200 ppm)	84
Gráfica 7. Comportamiento sólidos suspendidos totales, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 2 mL (200 ppm)	85
Gráfica 8. Comportamiento DBO, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 3 mL (300 ppm)	87
Gráfica 9. Comportamiento DQO, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 3 mL (300 ppm)	87
Gráfica 10. Comportamiento bario, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 3 mL (300 ppm)	88
Gráfica 11. Comportamiento sulfatos, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 3 mL (300 ppm).	88
Gráfica 12. Comportamiento sólidos suspendidos totales, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 3 mL (300 ppm)	89
Gráfica 13. Comportamiento pH, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 3 mL (300 ppm)	90
Gráfica 14. Comportamiento DBO, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 4 mL (400 ppm)	92

Gráfica 15. Comportamiento DQO, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 4 mL (400 ppm)	93
Gráfica 16. Comportamiento bario, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 4 mL (400 ppm)	93
Gráfica 17. Comportamiento sulfatos, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 4 mL (400 ppm)	93
Gráfica 18. Comportamiento sólidos suspendidos totales, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 4 mL (400 ppm)	94
Gráfica 19. Comportamiento pH, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 4 mL (400 ppm)	95
Gráfica 20. Contorno de bario (concentración coagulante vs concentración floculante)	99
Gráfica 21. Contorno de sulfatos (concentración coagulante vs concentración floculante)	100
Gráfica 22. Contorno de pH (concentración coagulante vs concentración floculante)	100
Gráfica 23. Contorno de SST (concentración coagulante vs concentración floculante)	101
Gráfica 24. Contorno de DQO (concentración coagulante vs concentración floculante)	101
Gráfica 25. Contorno de DBO (concentración coagulante vs concentración floculante)	102

LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
Diagrama 1. Diagrama de flujo: Test de jarras.	68
Diagrama 2. Diagrama de flujo: operación espectrofotómetro.	69

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Tipos de salmuera	36
Tabla 2. Caracterización fluidos de completamiento y workover en el Campo Castilla	36
Tabla 3. Formulaciones evaluadas	65
Tabla 4. Descripción cantidades coagulante y floculante	67
Tabla 5. Comparación decreto 1594 y resolución 0631	70
Tabla 6. Caracterización del fluido de completamiento y workover	72
Tabla 7. Condiciones para el test de jarras	74
Tabla 8. Dosificación coagulante Sulfato de Aluminio	79
Tabla 9. Resultados primer test de jarras floculante L-1648, 2 mL (200 ppm)	81
Tabla 10. Resultados segundo test de jarras floculante L-1648, 3 mL (300 ppm)	86
Tabla 11. Resultados tercer test de jarras floculante L-1648, 4 mL (400 ppm)	91
Tabla 12. Resultados análisis de fluido tratado	96
Tabla 13. Costos diarios de operación (Escenario A)	104
Tabla 14. Costos de operación tratamiento escenario A	105
Tabla 15. Costos diarios de operación (Escenario B)	106
Tabla 16. Costos de operación tratamiento escenario B	106

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Tecnologías de tratamiento	50
Cuadro 2. Capacidad de tratamiento diaria	50
Cuadro 3. Especificaciones técnicas de la planta de tratamiento químico convencional de aguas residuales	53
Cuadro 4. Propiedades Sulfato de Aluminio	59
Cuadro 5. Propiedades Policloruro de Aluminio.	59
Cuadro 6. Descripción producto L-1648.	59
Cuadro 7. Equipos utilizados.	71
Cuadro 8. Ventajas vs desventajas sulfato de aluminio.	74
Cuadro 9. Ventajas vs desventajas policloruro de aluminio.	74
Cuadro 10. Criterios de selección y rango de calificación.	75
Cuadro 11. Evaluación de criterios de selección para sulfato de aluminio y policloruro de aluminio.	76
Cuadro 12. Matriz de selección.	77
Cuadro 13. Clasificación índice de Willcomb.	80

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Volumen coagulante.	97
Ecuación 2. Cantidad coagulante.	97
Ecuación 3. Volumen floculante.	97
Ecuación 4. Cantidad floculante.	98
Ecuación 5. Costos operación escenario A.	104
Ecuación 6. Valor Kg/Día sulfato de aluminio escenario B.	105
Ecuación 7. Valor Kg/Día polímero L-1648 escenario B.	105
Ecuación 8. Costos operación escenario B.	106
Ecuación 9. Valor presente neto (VPN).	107
Ecuación 10. Conversión de TIO.	107
Ecuación 11. TIO.	108
Ecuación 12. Calculo VPN escenario A.	109
Ecuación 13. Calculo VPN escenario B.	109

LISTA DE ABREVIATURAS

°C	Grados Celsius
atm	Presión atmosférica
Bbl	Barriles
BPD	Barriles por día
COP	Unidad monetaria colombiana
D.A.F	Flotación de aire disuelto
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
Ec	Electrocoagulación
KBAPD	Miles de barriles de agua por día
KBPPD	Miles de barriles de petróleo por día
Kg	Kilogramo
L	Litro
m	Metro
m²	Metro cuadrado
m³	Metro cúbico
m³/s	Metro cubico por segundo
mg	Miligramos
mL	Mililitro
NA	No aplica
Nf	Nano Filtración
NTU	Unidad nefelométrica de turbidez

OPEX	Costos de operación
P.R.F.V	Plástico Reforzado con fibra de vidrio
pH	Potencial de hidrógeno
PPG	Libras por galón
ppm	Partes por millón
Ro	Osmosis inversa
s	Segundos
SST	Sólidos suspendidos totales
TIO	Tasa interna de oportunidad
TIR	Tasa Interna de Retorno
Udt	Unidad de desorción térmica
Uf	Ultrafiltración
VPN	Valor Presente Neto

GLOSARIO

AGENTE COAGULANTE: sustancia que permite la desestabilización de las cargas eléctricas de coloides, generalmente son sales metálicas.

AGUAS RESIDUALES: aguas las cuales han perdido sus características iniciales y calidad por diferentes usos teniendo una combinación de aguas y residuos.

COAGULACIÓN: técnica de tratamiento de aguas que permite la neutralización de cargas eléctricas de los coloides por medio de un agente coagulante.

DBO: indica la cantidad de materia orgánica biodegradable, mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión.

DQO: parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida.

FILTRACIÓN: proceso de separación de partículas sólidas de un líquido utilizando un material poroso llamado filtro. La técnica consiste en verter la mezcla sólido-líquido que se quiere tratar sobre un filtro que permita el paso del líquido pero que retenga las partículas sólidas.

SEDIMENTACIÓN: separación por gravedad de la fase sólida y líquida de una suspensión diluida, para obtener una suspensión concentrada y un líquido claro.

FLOCULACIÓN: técnica para el tratamiento de aguas que consiste en agrupar sustancias suspendidas en el agua por medio de un agente floculante para poder ser retiradas de esta.

FLÓCULO: conjunto de partículas pequeñas aglutinadas en partículas más grandes y con mayor capacidad de sedimentación que se obtiene mediante tratamiento químico, físico o biológico.

FRAC TANK: tanques utilizados para el almacenamiento de fluidos (lodos, agua, hidrocarburos, entre otros). Posee válvulas de entrada y salida que permiten llenar y vaciar el tanque sin derramar el producto. Cuenta con aberturas de acceso al interior del tanque para facilitar la limpieza. El interior ha sido revestido con pinturas epoxicas resistentes a los ácidos y el petróleo, existen móviles y fijos.

NEUTRALIZACIÓN: proceso de aumento o disminución del pH con la adición de componentes químicos como Soda o Ácido, para obtener un rango de pH óptimo para un proceso de tratamiento posterior.

OSMOSIS INVERSA: proceso en el cual se fuerza al agua a pasar a través de una membrana semi-permeable desde una solución más concentrada en sales disueltas

u otros contaminantes a una solución menos concentrada, mediante la aplicación de presión.

PLANTA DE TRATAMIENTO: instalación donde a los fluidos se les retiran los contaminantes, para hacer de ellos un fluido sin riesgos a la salud y/o medio ambiente al disponerla en un cuerpo receptor natural (mar, ríos o lagos) o por su reúso en otras actividades cotidianas con excepción del consumo humano.

TEST DE JARRAS: estudio para determinar los productos químicos, las dosificaciones y las condiciones requeridas para lograr resultados óptimos en el tratamiento del agua.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: conjunto de procesos o el proceso (físico, químico y/o biológico) que se les realiza a las aguas residuales para reducir y /o eliminar los contaminantes que contienen.

TURBIDEZ: falta de transparencia de un líquido debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el líquido, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua, cuanto más turbia, menor será su calidad.

ULTRAFILTRACIÓN: tipo de filtración que utiliza membranas para separar diferentes tipos de sólidos y líquidos. El tamaño de poro no es tan fino, y tampoco requiere tanta energía para efectuar la separación, es de pequeño tamaño.

VERTIMIENTO: cualquier descarga líquida hecha a un cuerpo de agua o a un alcantarillado.

WELL KILLING: operación de colocar una columna de fluido pesado en un pozo para evitar el flujo de fluidos del mismo hacia superficie, sin la necesidad de un equipo de control de presión.

RESUMEN

TÍTULO: EVALUACIÓN TÉCNICO-FINANCIERA DE LA DOSIFICACIÓN QUÍMICA PARA EL AUMENTO DE LA EFICIENCIA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE FLUIDOS DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER DEL CAMPO CASTILLA.

En el siguiente trabajo, se evaluó la viabilidad técnico-financiera de la dosificación química para el aumento de la eficiencia de una planta de tratamiento de fluidos de completamiento y workover del Campo Castilla, con el fin de minimizar los costos de tratamiento y cumplir con la Resolución 0631 (17 marzo 2015). La evaluación se realizó en dos etapas, una técnica y otra financiera; en primer lugar, se determinó la dosificación química requerida para el tratamiento de los fluidos, mientras que la evaluación financiera fue desarrollada utilizando la metodología del valor presente neto (VPN).

Se llevó a cabo el diseño de un plan de pruebas con diferentes concentraciones de coagulante y floculante seleccionados para definir la mejor combinación de ejecución experimental y de proceso. Se caracterizaron los fluidos de completamiento y workover con el fin de establecer la diferencia de los fluidos antes y después del tratamiento. Posteriormente, se realizaron varios test de jarras con el propósito de determinar las concentraciones mínimas de coagulante y floculante necesarias para tratar los fluidos anteriormente mencionados.

Finalmente, se determinó la viabilidad financiera del proyecto, dando resultados positivos para la empresa ATP Ingeniería S.A.S, debido a que se le logra un ahorro en la dosificación de los reactivos para coagulación y floculación en el proceso químico convencional para el tratamiento del fluido de completamiento y workover de 21.67%. Se redujeron las concentraciones de aquellos parámetros que excedían el valor máximo permitido por la norma, a excepción de la concentración de sulfatos presentes al finalizar el tratamiento, el cual aumento debido a la utilización de sulfato de aluminio como coagulante. No obstante, dicho parámetro disminuyo con relación a la concentración final obtenida con la dosificación que la empresa ATP Ingeniería S.A.S. se encuentra utilizando de coagulante, lo que a su vez generaría una reducción en los costos en el proceso de tratamiento avanzado, debido a que la concentración de sulfatos es menor.

PALABRAS CLAVE:

- Eficiencia
- Planta tratamiento
- Fluido workover
- Fluido completamiento
- Cuenca Llanos Orientales

INTRODUCCIÓN

ATP Ingeniería S.A.S. es una empresa reconocida por prestar servicios de asesoría técnica para los sectores petrolero, químico, industrial y ambiental, asegurando un servicio de alta calidad mediante el Sistema Integral de Gestión HSEQ, teniendo en cuenta los estándares ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 y el manual del Programa de Salud Ocupacional y Medio Ambiente de Contratistas del Sector Hidrocarburos – RUC.

Durante los procesos de completamiento y workover se emplean una gran cantidad de fluidos especialmente acondicionados para dichas actividades. Estas aguas residuales procedentes de las diferentes actividades de completamiento y workover presentan concentraciones elevadas de demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), fenoles, grasas, aceites, sólidos, entre otros), que de no realizarse un debido proceso de tratamiento, generarían un gran impacto al medio ambiente al momento de su disposición final.

La unidad de tratamiento de aguas de la Planta El Recreo de ATP ingeniería S.A.S, pretende aumentar la eficiencia de remoción de contaminantes de los fluidos de completamiento y workover provenientes del Campo Castilla de Ecopetrol S.A con respecto a la Resolución 0631 del 17 marzo de 2015, donde se establecen los límites máximos permisibles para vertimiento a cuerpos de agua puntuales, la cual se aplica a partir del 2020.

Para dar solución a esta problemática, se propuso un plan de pruebas de “test de jarras”, mediante el cual, utilizando los reactivos seleccionados a diferentes concentraciones, se determina la dosificación mínima necesaria para el proceso de tratamiento de fluidos de completamiento y workover proveniente del Campo Castilla, de modo que se obtengan los valores exigidos por la normativa para vertimiento a cuerpos de agua puntuales.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

Evaluar técnica y financieramente la dosificación química para el aumento de la eficiencia de una planta de tratamiento de fluidos de completamiento y workover del Campo Castilla.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Describir generalidades del Campo Castilla.
2. Describir los tipos de fluido de completamiento y workover usados habitualmente durante las operaciones en el Campo Castilla.
3. Describir el sistema de tratamiento y los productos químicos utilizados actualmente durante el tratamiento de los fluidos de completamiento y workover, en la Planta El Recreo.
4. Diseñar un plan de pruebas con diferentes concentraciones de coagulantes y floculantes utilizados para el tratamiento actual de los fluidos en estudio.
5. Realizar la caracterización físico-química de los fluidos de completamiento y workover, antes y después del tratamiento actual.
6. Realizar pruebas de laboratorio de acuerdo al plan definido.
7. Analizar los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio, determinando la concentración óptima de cada uno de los productos químicos utilizados para el tratamiento.
8. Determinar la viabilidad del proyecto por medio de la metodología del Valor Presente Neto (VPN).

1. GENERALIDADES DEL CAMPO CASTILLA

El siguiente capítulo expone la descripción de las generalidades del Campo Castilla, el cual se encuentra ubicado en la Cuenca de los Llanos Orientales; incluyendo la historia, localización y la historia de producción.

1.1 HISTORIA DEL CAMPO CASTILLA

En el año de 1945, se iniciaron los trabajos de exploración en la zona de la Cuenca de los Llanos Orientales, pero no fue sino hasta el año de 1969 que la compañía petrolera Chevron Corporation, bajo el contrato de Concesión Cubarral N° 1820, inició la perforación del Pozo Castilla 1 comprendiendo un área de 97.450 hectáreas. Con este se logró una profundidad de 7.347ft con presencia de hidrocarburos y en la cual la extracción no se inició inmediatamente debido a las características del petróleo hallado (°API 10 – 13,7) y a la falta de infraestructura y transporte. Hasta el año de 1977, se dieron inicio a las actividades de producción de crudo pesado de las Formaciones Guadalupe, Mirador y Une, pero se decidió que la Formación Mirador no se completaría ni se exploraría comercialmente hasta que las reservas de las Formaciones Une y Gachetá se agotaran¹.

Para el año 1975, se firma el primer contrato de asociación en Colombia con la perforación del Pozo Castilla Norte entre las partes Chevron Corporation y la compañía Ecopetrol S.A., el cual tuvo una duración total de 25 años. Durante este periodo, la asociada desarrolló el campo alcanzando importantes volúmenes de producción, aproximadamente se extrajeron 94 millones de barriles de crudo, correspondientes al 4% de las reservas del campo².

Durante los años de 1988 y 1989, Ecopetrol S.A. perforó tres pozos los cuales, en los mismos años, definieron el campo en dos partes; Campo Castilla Norte y Castilla Este. La operación de explotación estuvo a cargo de Chevron. Al término del contrato el día 30 de enero de 2000, la compañía continuó con las operaciones del campo durante 6 meses más hasta el 31 de julio del año 2000, donde Ecopetrol S.A. asumió las operaciones en su totalidad del Campo Castilla, Castilla Norte y Castilla Este³.

¹ QUINTERO, Diana; LEAL, Cesar Andrés. JUSTIFICACIÓN DE LA PERFORACIÓN DEL CLUSTER 87, POZOS CA356, CA357, CA358, CA359, CA360, CA361, CA423 y CA446. ECOPETROL S.A. (ene. 2014). [citado en 23 de enero de 2017]

² ECOPETROL S.A. El próximo año se venderán 10.000 barriles de crudo emulsionado por día: Castilla, recargado. En: Carta petrolera [en línea]. Ed. 107 (nov. 2003 – en. 2004). <http://www.ecopetrol.com.co/especiales/carta_petrolera/empresa.htm> [citado en 23 de enero de 2017]

³ REINOSO RODRÍGUEZ, Guillermo. Se revierte primer contrato de asociación de petróleo. En: El Tiempo [en línea]. (19 de abr., 2000). Disponible en: <<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1211777>> [citado en 23 de enero de 2017]

Actualmente, el Campo Castilla continúa bajo la operación de Ecopetrol S.A., y se encuentra activo y produciendo. Cuenta con tres estaciones de recolección: Estación Castilla Uno, Estación Castilla Dos y Estación Acacias.

1.2 LOCALIZACIÓN

El Campo Castilla se encuentra localizado en Colombia, en la Cuenca de los Llanos Orientales, en el Departamento del Meta, Municipio de Castilla La Nueva, a 30 km al sur de Villavicencio y a 156 km de Bogotá.

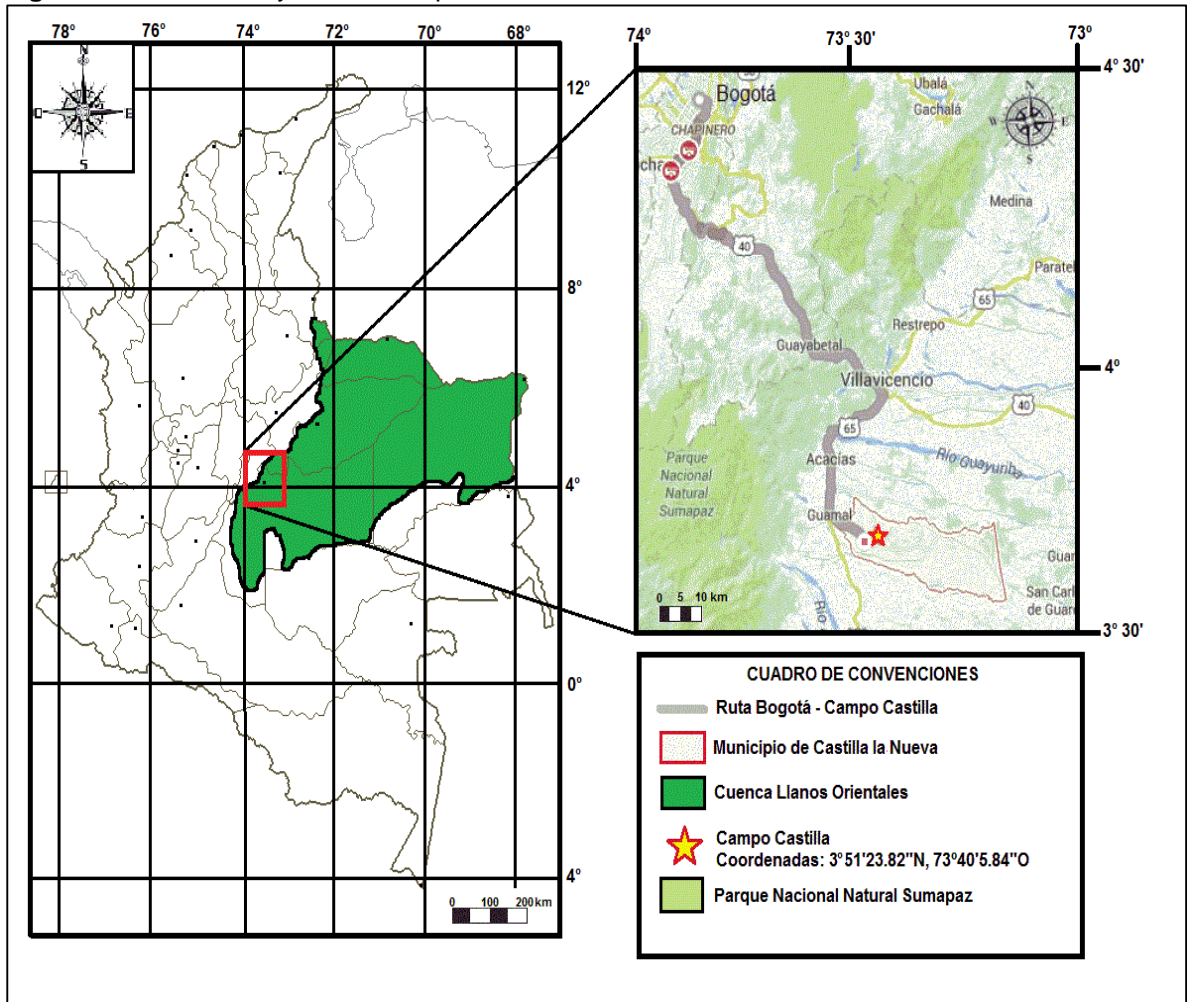
Su ruta principal de acceso vía terrestre desde la ciudad de Bogotá es el siguiente:

Se debe tomar la Avenida Boyacá sentido norte sur hasta salir de Bogotá, pasando por la localidad de Usme, tomando la Carretera 40 (Vía Bogotá-Villavicencio), pasando por los municipios de Chipaque, Abasticos, Monterredondo, Guayabetal hasta el Parque de los Fundadores en Villavicencio, recorriendo aproximadamente 86.7 km. Desde allí, se toma la Carrera 33 o Avenida Fundadores avanzando cerca de 1,7 Km. Posteriormente, se toma la Carretera 65 hasta la Vía Chichimene en Acacias, Meta, avanzando 32,9 Km. Por último, se continúa por la vía a Chichimene hasta llegar al Campo Castilla recorriendo 18,4 Km. En total es necesario recorrer una distancia de 52 Km y en promedio el tiempo de llegada a partir del punto de referencia mencionado para la ruta es de 3 horas y 20 minutos aproximadamente y sin realizar paradas durante el trayecto. Ver **Figura 1**.

Su ruta de acceso vía aérea desde la ciudad de Bogotá es la siguiente:

Se llega al aeropuerto internacional El Dorado y se toma un vuelo hasta el aeropuerto Vanguardia en la ciudad de Villavicencio. Desde allí se toma la ruta terrestre descrita anteriormente desde el Parque de los Fundadores.

Figura 1. Localización y ruta al Campo Castilla.



Fuente: Google Maps, febrero 5 de 2017.

1.3 HISTORIA DE LA PRODUCCIÓN DEL CAMPO

La explotación del Campo Castilla se inició en el año 1975, donde la empresa Chevron, obtuvo alrededor de 94 millones de barriles de crudo (°API 12,5) con un porcentaje de recobro alrededor del cuatro por ciento de las reservas del campo, hasta el año 2000, año en el cual Ecopetrol S.A. tomó la operación del campo, donde se reportó una producción de crudo cerca de los 20,000 BbPD hasta el año 2003. Para el año 2004 la producción incrementó respecto a los años anteriores, llegando a 32.400 BPD de crudo.

Se terminó el primer pozo horizontal en febrero del año 2001. A principios del año 2005, una segunda campaña de perforación se inició con pozos direccionales

utilizando un diseño específico para aumentar la exposición del yacimiento y retrasar el efecto del agua del acuífero⁴.

Su producción ha contemplado los escenarios objetivo de 30, 40 y 60 KBPPD. Se han instalado 48 BES (bombas electrosumergibles) y se han aumentado las facilidades de producción para manejar 60 de KBPPD y 190 KBAPD⁵.

La producción de crudo mostró un incremento significativo los siguientes 6 años, llegando en el año 2010 a una producción de 90.000 BPD, evidenciando un incremento superior al 500% hasta ese mismo año. Para el mes de febrero del año 2013 la producción de crudo alcanzó aproximadamente los 122.711 BPD de crudo, notándose un aumento respecto al mes de enero, el cual tuvo una producción de crudo de 119.098 BPD.

Además, en el año 2015, se mantuvo la mayor producción del país, con un promedio diario de 122.855 barriles de crudo en mayo y de 124.137 barriles en junio, para finales de 2015 Castilla alcanzó un nuevo récord de producción al llegar a los 125.699 barriles de petróleo, contribuyendo al incremento de la producción de crudo del país. Asimismo, ha integrado 17 mil barriles diarios de petróleo frente a una producción promedio de 104.405 BPD en 2014, lo anterior resalta la importancia de Castilla como el mayor Campo productor de Ecopetrol S.A. a nivel nacional, el cual aportaba alrededor del 12% de la producción del país y el 21% de la producción directa de Ecopetrol S.A.

Finalmente, para el mes de junio del año 2016, el Campo Castilla alcanzo una producción de 80.271 BPD de petróleo⁶.

1.3.1 Método de producción. El Campo Castilla es un yacimiento de aceite negro sub-saturado, cuyo mecanismo de producción es empuje de agua fuerte, soportado por un acuífero regional de gran tamaño, pero con poca energía para transportar los fluidos a superficie, por tal motivo se realizaron cañoneos, recañoneos y aislamientos, de la misma manera que el rediseño del sistema de levantamiento.

⁴ FIPKE, Steven R, MERCADO, Orlando y VÉLEZ, Enrique. Multilaterals Wells in the Castilla Field of Eastern Colombia: A Case History of the Guadalupe Reservoir. Amsterdam, En: SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition (2009: Ámsterdam). Ámsterdam: Society of Petroleum Engineers, 2009. 8 p.

⁵ OSORIO LOTERA, Gabriel. Desarrollo Petrolero Departamento del Meta [en línea]. <http://static.iris.net.co/semana/upload/documents/Doc-1464_2007619.pdf> [citado en 25 de enero de 2017].

⁶ ASOCIACIÓN COLOMBIANA DEL PETRÓLEO. Informe estadístico petrolero. Hoja Prod x campo bpd [en línea]. <<https://www.acp.com.co/index.php/es/publicaciones-e-informes/informe-estadistico-petrolero-iep>> [citado en 25 de enero de 2017].

En Castilla se trabajó en un principio con sistema de bombeo mecánico, pero a mayo de 2017 se está implementando el sistema de bombeo electro sumergible con el propósito de incrementar la tasa de extracción de hidrocarburos⁷.

1.3.2 Número de pozos. Se ha incrementado la perforación de pozos en Campo Castilla pasando de 17 en el año 2000 a 70 con que se esperó terminar el año 2007⁸. Además, se han perforado 105 pozos de los cuales 55 pertenecen al área de Castilla, 47 al área de Castilla Norte, Castilla 6 y Castilla 15 que pertenecieron al área de Castilla Este; ya que el primero se perdió durante la perforación y el segundo fue abandonado por su alto corte de agua⁹.

Hacia el año 2016 se planeó la perforación de 80 pozos de desarrollo de los cuales 35 fueron planeados para Campo Castilla, de esta forma se otorga un poco más de 500 pozos al campo¹⁰.

1.3.3 Tiempo de producción. El Campo Castilla cuenta con un tiempo de producción de aproximadamente 40 años, comenzando con su hallazgo en el año 1969 y el inicio de la producción en el año 1976, hasta la fecha.

1.4.4 Gráfica de producción Acumulada. En la **Gráfica 1**, se muestra la producción acumulada por año del Campo Castilla iniciando en el año 2000, año en el cual la empresa Ecopetrol S.A. tomó la operación del campo, hasta el año 2016. Para el primer año, se obtuvo una producción de 21.200 BPD la cual disminuyó hasta el año 2002, en el año 2004 la producción aumentó significativamente respecto a los años anteriores.

Por otro lado, se evidenció un aumento en la producción entre los años 2007 y 2011, teniendo este último una producción de crudo de 68,390 BPD, para los tres siguientes años la producción disminuyó hasta el año 2014, para finalmente alcanzar en el año 2016 una producción acumulada de crudo de 83,294 BPD.

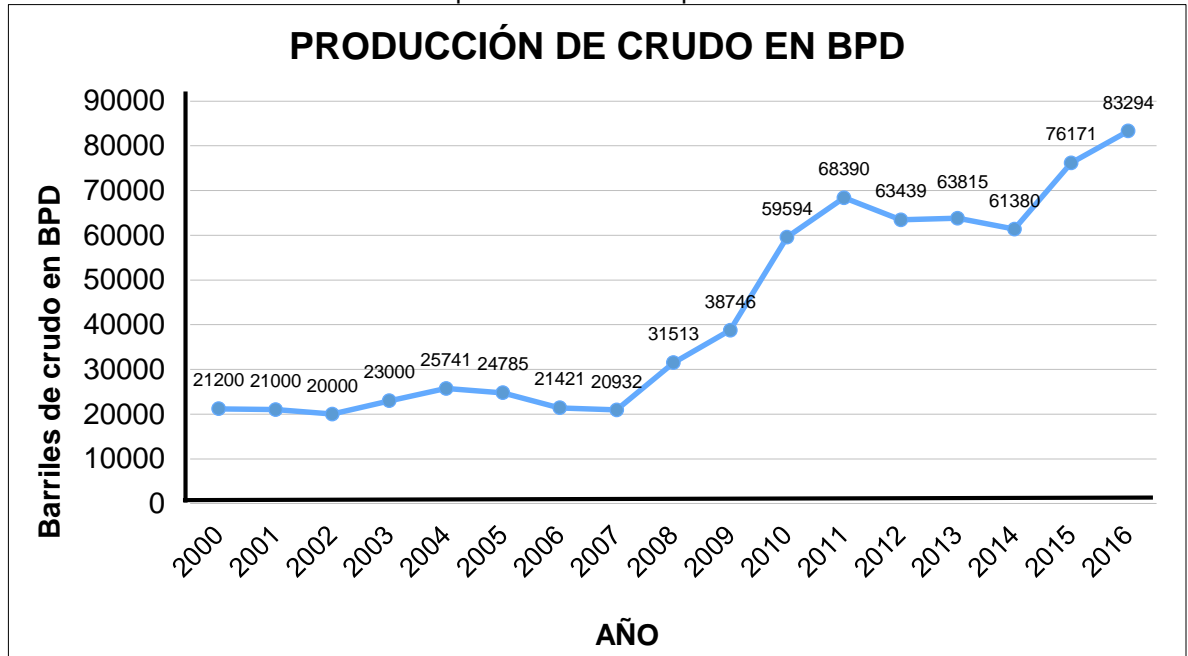
⁷ REUTERS. Ecopetrol perforará 80 pozos en lo que resta del año: de los nuevos pozos, 35 se perforarán en el campo Rubiales, 35 en Castilla y los restantes estarán divididos en otros campos. En: Portafolio [en línea]. (17 de ago., 2016). Disponible en: <<http://www.portafolio.co/negocios/empresas/ecopetrol-perforara-80-pozos-en-lo-que-resta-del-2016-499632>> [citado en 3 de febrero de 2017]

⁸ OSORIO LOTERA, Op. Cit., 28 p.

⁹ ECOPETROL S.A., Op Cit.

¹⁰ REUTERS, Op Cit.

Gráfica 1. Producción Acumulada de petróleo en el Campo Castilla.



Fuente: ASOCIACIÓN COLOMBIANA DEL PETRÓLEO. Informe estadístico petróleo (IEP y de Taladros. Hoja Informe Estadístico Petróleo [en línea] [citado enero 9 de 2017]. Disponible en internet: <https://www.acp.com.co/index.php/es/publicaciones-e-informes/informe-estadistico-petroleo-iep>. Modificado por los autores.

2. DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE FLUIDOS DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER USADOS HABITUALMENTE EN LAS OPERACIONES EN EL CAMPO CASTILLA

En esta sección se encuentran descritos los diferentes tipos de fluidos de completamiento y workover que usualmente son utilizados en las operaciones del Campo Castilla; además, se describirán las operaciones de completamiento y workover y el tipo de fluido usado en cada una de ellas.

2.1 ¿QUÉ ES COMPLETAMIENTO?

Se define como el diseño, la selección e instalación de tuberías, empaques y demás herramientas u equipos dentro del pozo con el propósito de producir el pozo de manera controlada, segura y rentable.

Esta etapa es el resultado de diferentes estudios realizados al pozo, empezando por la exploración hasta la evaluación del pozo en flujo algún tiempo después de haber sido perforado.

2.2 ¿QUÉ ES WORKOVER?

Son aquellas operaciones y/o procesos que se realizan en pozos productores, inyectoros, entre otros, para mantenimiento, remediación, restablecer o aumentar su producción. Un reacondicionamiento puede hacerse para lavar la arena, acidificar, llevar a cabo fracturamientos hidráulicos, reparaciones mecánicas, o por otras razones. En muchos casos, workover implica la retirada y el reemplazo de la sarta de tubería de producción después de que el pozo ha sido controlado y una plataforma de workover se ha colocado en la ubicación. Las operaciones de workover por medio del tubo, usando tubería flexible (coiled tubing), snubbing o equipo slickline, se llevan a cabo rutinariamente para completar tratamientos o actividades de servicio de pozo que evitan un workover completo donde se retira la tubería. Esta operación ahorra tiempo y gastos considerables¹¹.

¹¹ NATIONAL GROUND WATER ASSOCIATION. Illustrated Glossary of Ground Water Industry Terms: Hydrogeology, Geophysics, Borehole, Construction, and Water Conditioning. Ed. 1, 2003. p 69. ISBN 978-1-56034-103-1.

2.2.1 Fluidos de completamiento y workover. Los fluidos de completamiento y workover son cualquier fluido usado en una operación de completamiento o workover. Estos fluidos van desde gases de baja densidad, tales como nitrógeno a los lodos de alta densidad y fluidos de completamiento. Las aplicaciones y exigencias varían para cada fluido. Una operación de completamiento puede incluir^{12 13}:

- Perforar el casing.
- Colocar la tubería y bombas.
- Cementar el casing.

Los fluidos de workover son fluidos utilizados durante el reacondicionamiento de un pozo después de su terminación inicial. Pueden ser gases como el nitrógeno o el gas natural, aguas de salmuera, o lodos. Son utilizados en operaciones de “well killing”, en la limpieza del pozo, en la perforación de un nuevo intervalo de producción, y para conectarlo de nuevo con el propósito de completar un intervalo de menor profundidad.

Los fluidos de completamiento se utilizan durante el proceso de establecer contacto final entre la formación y el pozo. Pueden ser un lodo a base de agua, nitrógeno, lodo base aceite, salmuera libre de sólidos, o el sistema soluble en ácido. El requisito más importante es que el fluido no debe dañar la formación productora y no perjudica el rendimiento de la producción de hidrocarburos¹⁴.

Algunos de los diferentes tipos de fluidos utilizados en las operaciones de completamiento y workover son:

1. Fluidos base aceite
 - a. Crudo
 - b. Diesel
 - c. Aceite mineral
2. Fluidos base agua
 - a. Agua salada de formación
 - b. Agua de mar

¹² BHARAT, Patel. Composition and process for stabilizing viscosity or controlling water loss of polymer-containing water based fluids. En: Free Patents Online [en línea]. US Patent 5576271 (1996) <<http://www.freepatentsonline.com/5576271.html>> (Bartlesville, OK) [citado en 4 de febrero de 2017]

¹³ ELWARD-BERRY, Julianne. Water based high temperature well servicing composition and method of using same. En: Google Patents [en línea]. US Patent 5620947 (1997) <<https://www.google.ch/patents/US5620947> > (Houston, TX) [citado en 4 de febrero de 2017]

¹⁴ LORENZ, Michael D., LYONS, William C. y PLISGA, Gary J. Standard Handbook of Petroleum and Natural Gas Engineering, 3rd ed. Waltham, MA: Elsevier, 2016. p. 152-154. ISBN 978-0-12-383846-9.

- c. Agua salada preparada.
3. Lodo convencional base agua
4. Lodo base aceite o emulsión inversa

Los fluidos de completamiento y workover pueden ser clasificados en:

1. Fluidos base agua que contienen partículas orgánicas solubles en aceite
2. Ácido soluble y biodegradable
3. Base agua con sólidos solubles en agua
4. Emulsiones de aceite en agua
5. Fluidos base aceite

Tres tipos de fluidos de completamiento y workover son:

1. Líquidos limpios (soluciones salinas densas)
2. Suspensiones pesadas que contienen carbonato de calcio, un agente para aumentar la densidad por encima de las soluciones saturadas
3. Emulsiones de agua en aceite a base de emulsificantes para lodos base aceite

Los líquidos claros no tienen sólidos en suspensión y pueden ser referidos como fluidos libres de sólidos. Los fluidos pesados son fluidos con sólidos en suspensión para añadir densidad. Para fluidos libre de sólidos, el agua puede ser utilizada en conjunto con un antiespumante, viscosificante, estabilizado de coloides orgánicos, y por lo general un inhibidor de la corrosión. Los fluidos de workover libre de sólidos tienen densidades que van de 7,0 a 19,2 libras por galón (PPG) (0,84 - 2.3 SG).

Los fluidos sólidos cargados pueden estar compuestos de agua, sal, antiespumante, agente de suspensión, estabilización coloidal orgánica, estabilizador de pH, y un agente densificante.

2.2.1.1 Selección de fluidos. Un buen enfoque para seleccionar un fluido de completamiento y workover es decidir qué funciones debe desempeñar el fluido y luego seleccionar el fluido base y los aditivos que harán el trabajo efectivamente. La primera decisión en la selección de un fluido es la identificación de las funciones o propiedades requeridas. El siguiente paso es la selección del tipo de fluido a utilizar. Las propiedades o funciones del fluido dictan el tipo de fluido a utilizar. Si la decisión se toma en orden inverso, es probable que se produzca un mal desempeño.

Además, se deben tener en cuenta los siguientes criterios de selección¹⁵:

¹⁵ Ibid., p 156.

- Determinar el volumen de salmuera necesario para el trabajo, incluyendo desplazamientos y posibles pérdidas.
- Determinar la densidad de fluido requerida en base a la presión del fondo del pozo y la verdadera profundidad vertical.
- Determinar la verdadera temperatura de cristalización de la salmuera seleccionada y ajustarla según sea necesario.
- Determinar los problemas de compatibilidad que puedan surgir: corrosión, sensibilidad a la arcilla, incompatibilidades de salmuera / formación, etc.

Para la perforación en aguas profundas, los criterios de selección deben ser abordados de manera diferente. Además de los criterios anteriores, se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

- Densidad necesaria para controlar la presión de formación y la capacidad de modificar la densidad sin efectos adversos sobre la cristalización y la inhibición de los hidratos.
- Punto de cristalización a temperatura del fondo marino a la presión máxima prevista.
- Inhibición de hidratación a temperatura del fondo marino y presión máxima prevista.
- Compatibilidad con la formación, tanto de la roca del yacimiento como de las laminaciones de esquisto.
- Compatibilidad con los fluidos del yacimiento: agua de formación e hidrocarburos.
- Compatibilidad de fluidos entre la salmuera de terminación y lo siguiente:
 - Paquetes de grava o fluidos de frac pack, productos químicos de estimulación y ácidos
 - Inhibidores de la corrosión y aditivos para líquidos de empaçado.
 - Materiales de control de pérdida de fluido.
- Compatibilidad con fluidos de control submarinos y juntas elastoméricas.

2.2.2 Tipos de Salmuera. En la **Tabla 1**, se presentan los diferentes tipos de salmueras utilizadas en las operaciones de completamiento y workover, con su respectiva formula y su rango de densidad en libras por galón.

Tabla 1. Tipos de salmuera.

TIPO DE SALMUERA	FORMULA	RANGO DE DENSIDAD (PPG)
Sal de Cloruro	NaCl	8.4 – 10.0
Sal de Cloruro	KCl	8.4 – 9.7
Sal de Cloruro	NH ₄ Cl	8.4 – 8.9
Sal de Bromuro	NaBr	8.4 – 12.7
Mezcla	NaCl/NaBr	8.4 – 11.1
Formiato de Sodio	NaHCO ₂	8.4 – 13.3
Formiato de Potasio	KHCO ₂	13.0 – 20.0
Formiato de Cesio	CsHCO ₂	13.0 – 20.0
Mezcla	KHCO ₂ /CsHCO ₂	8.4 – 20.0
Mezcla	NaHCO ₂ /KHCO ₂	8.4 – 13.1
Sal de Cloruro	CaCl ₂	8.4 – 11.3
Sal de Bromuro	CaBr ₂	8.4 – 15.3
Mezcla	CaCl ₂ /CaBr ₂	8.4 – 15.1
Sal de Bromuro	ZnBr ₂	12.0 – 21.0
Mezcla	ZnBr ₂ /CaBr ₂	12.0 – 19.2
Mezcla	ZnBr ₂ /CaBr ₂ /CaCl ₂	12.0 – 19.1

Fuente: W. Ott, J. Woods, Modern Sandface Completion Practices Handbook.

2.3 CARACTERIZACIÓN FLUIDO DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER DEL CAMPO CASTILLA

Actualmente la empresa Ecopetrol S.A., emplea en el Campo Castilla como fluido de completamiento y workover el agua de formación, debido a que se considera un fluido inerte a la formación, cuya caracterización se puede observar en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Caracterización fluidos de completamiento y workover en el Campo Castilla.

PUNTO	Fe PPM Fe2+	SULFATO PPM SO4-	BARIO PPM Ba2+	PH UNID	CLORURO PPM Cl-	D. TOTAL PPM CaCO3	D. CÁLCICA PPM CaCO3	CALCIO PPM Ca	TURBIDEZ NTU	CONDUCTIVIDAD μs/cm
Castilla Sur	0.10	2	1	7.6	210	185	134	54	8	0.527
Castilla Norte	0.07	4	2	7.9	275	195	124	50	7	0.434

Fuente: Ecopetrol S.A.

Es un fluido acuoso, cargado con sales, comúnmente utilizado en operaciones de completamiento y workover.

- **Hierro:** el contenido de hierro presente en Castilla Sur es de 0.10 ppm y en Castilla Norte es de 0.07 ppm, siendo estos valores bajos, normales en el agua de formación, donde valores elevados representan problemas de corrosión.
- **Sulfato:** el contenido de sulfatos es bajo, teniendo Castilla Sur un total de 2 ppm y Castilla Norte 4 ppm; cuando se tienen valores elevados llegan a formar

incrustaciones insolubles, las aguas los adquieren por oxidación de los sulfuros o dilución del yeso y de la anhidrita.

- **Bario:** Castilla Sur y Castilla Norte presentan concentraciones de 1ppm y 2 ppm de bario respectivamente, siendo el bario un elemento poco común en el agua de formación, pero al estar en mínimas cantidades ocasiona problemas serios por la tendencia a formar sulfato de bario.
- **pH:** en cuanto al pH se tienen valores de 7.6 para Castilla Sur y 7.9 para Castilla Norte, Generalmente el agua de formación tiene un pH entre 4 y 9, estando el fluido de Castilla en dicho rango, es decir, tiene un pH básico y no va a tener problemas mayores de corrosión, cuando está sobre 7.6 el ácido disuelto en el agua se precipita visiblemente, enturbia el agua y le da un aspecto blanquecino y viscoso.
- **Cloruros:** es el ion más predominante en el agua de formación, se consideran perjudicial si superan las 5000 ppm, en este caso Castilla Norte cuenta con una concentración de 275 ppm y Castilla Sur con una concentración de 210 ppm teniendo una carga de cloruros inferior a 5000 ppm, siendo este un parámetro poco importante.
- **Dureza total:** en este caso el agua de formación tiene dos tipos de dureza, la total y la de calcio, donde la total para Castilla Norte es de 195 ppm y para Castilla Sur es de 185 ppm y la cálcica es de 134 ppm para Castilla Sur y de 124 ppm para Castilla Norte.
- **Calcio:** es el mayor constituyente del agua de formación, en ocasiones dichas concentraciones pueden llegar a tener valores tan altos de 30000 mg/L, mientras Castilla Norte tiene una concentración de 50 ppm y Castilla Sur de 54 ppm siendo esta concentración insignificante comparadas con el tope normalmente encontrado en el agua de formación.
- **Turbidez:** es causada por materia sólida formada por partículas en suspensión y materia coloidal, Castilla Norte reporta una turbidez de 7 NTU y Castilla Sur de 8 NTU. En este caso, se evidencia una anomalía en los datos de turbidez del agua de formación que se utiliza actualmente en el campo en operaciones de completamiento y workover, debido a que el valor reportado en la **Tabla 2** es insignificante considerando que el agua de formación debe tener un valor de turbidez alto por la gran cantidad de sales que normalmente se encuentran disueltas en dicho fluido.
- **Conductividad:** La salinidad total de las aguas de formación y su composición dependen de una serie de procesos subterráneos controlados por diversos factores naturales. Debido a los diferentes procesos de formación y evolución

del contenido de sal, las aguas subterráneas en diferentes campos de petróleo y gas difieren significativamente en sus características. El principal componente del agua de formación en la mayoría de los campos petrolíferos es el cloruro de sodio. Así, la salinidad del agua depende principalmente del contenido de aniones de cloro o cationes de sodio¹⁶.

La conductividad es un parámetro cuyo valor es proporcional a la cantidad de sales disueltas en el agua de formación, es por ello que los valores presentes en la **Tabla 2** no coinciden con la caracterización de un agua de formación, ya que por su naturaleza esta debería contener gran cantidad de sales disueltas, por lo tanto, los datos reportados en Castilla Sur y en Castilla Norte son demasiado bajos para considerarse dicho fluido agua de formación.

Desde el punto de vista técnico y teniendo en cuenta que el mecanismo de producción de dicho campo es empuje de agua fuerte, soportado por un acuífero regional de gran tamaño, da una posible explicación a la baja concentración de sales que presenta el agua de formación. Lo mencionado hasta aquí supone que el agua que produce Castilla puede estar en contacto con un acuífero regional, en otras palabras, el agua del acuífero que por su naturaleza se considera agua dulce al hacer contacto con el agua de formación estaría disminuyendo la concentración de sales que esta presenta. Por tal razón, es posible decir que la caracterización que se muestra en la **Tabla 2**, sí corresponde a agua de formación usada en las operaciones de completamiento y workover en el Campo Castilla.

¹⁶ CHILINGAR, George V. *Geology and Geochemistry of Oil and Gas*. 1 Ed. Ámsterdam: Elsevier, 2005. p. 237. ISBN 978-0-444-52053-1.

3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO Y LOS PRODUCTOS QUÍMICOS UTILIZADOS EN LA PLANTA EL RECREO

La empresa ATP Ingeniería S.A.S. es una empresa colombiana reconocida por prestar servicios de asesoría técnica profesional para los sectores: Petrolero, químico, industrial y ambiental. Fue fundada en 1995, con sede en el departamento del Huila.

La Planta El Recreo, se encuentra ubicada en el Departamento del Meta, en el Municipio de San Carlos de Guaroa en la Vereda La Patagonia.

Antes de empezar con la descripción de los diferentes sistemas de tratamiento con los que la planta cuenta, es necesario entrar en contexto y conocer que procesos químicos suceden durante las operaciones del tratamiento de fluidos de completamiento y workover.

3.1 COAGULACIÓN

3.1.1 ¿Qué es la coagulación? Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado.

La coagulación es el tratamiento más eficaz pero también es el que representa un gasto elevado cuando no está bien realizado. Es igualmente el método universal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas y de peso de materia que son eliminados al menor costo, en comparación con otros métodos.

El proceso de coagulación mal realizado también puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua y representa gastos de operación no justificadas. Por lo tanto, se considera que la dosis del coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de decantación y que es imposible de realizar una clarificación, si la cantidad de coagulante está mal ajustada¹⁷.

3.1.2 Mecanismo de desestabilización. La desestabilización se puede obtener por los mecanismos físico-químicos siguientes¹⁸:

¹⁷ ANDÍA CÁRDENAS, Yolanda. Tratamiento de agua: Coagulación y floculación [en línea]. (Abr., 2000) <http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154> [citado en 2 de marzo de 2017]

¹⁸ BINNIE, Chris y KIMBER, Martin. Basic water treatment, 5 ed. Londres: ICE Publishing, 2013, p. 65-67. ISBN 978-0-7277-5816-3

- **Compresión de la doble capa:** esto implica la adición de un electrolito al agua para aumentar las concentraciones de iones. Este tiene el efecto de disminuir el espesor de la doble capa eléctrica que rodea cada partícula coloidal. Esto permite que las partículas se muevan más cerca unas de otras, lo que significa que las fuerzas atractivas tienen más posibilidades de superar las fuerzas eléctricas que los mantienen separados. La eficacia del coagulante depende del cambio en la concentración iónica y también exponencialmente de la carga sobre los iones añadidos. Por lo tanto, iones con una carga de +3 son alrededor de 1000 veces más eficaces que los iones con una carga de +1. Hay tres puntos a tener en cuenta. En primer lugar, este método de desestabilización sólo funciona cuando están presentes iones y, por lo tanto, cuando se añade una sal metálica que posteriormente precipita como flóculo, el efecto sólo está presente antes de que se forme el hidróxido insoluble. En segundo lugar, el efecto es independiente de la concentración de material coloidal. Finalmente, el efecto es proporcional al cambio en la concentración iónica.
- **Adsorción y neutralización de cargas:** la adición de iones con una carga opuesta a la de las partículas coloidales puede conducir a la adsorción de los iones sobre el material coloidal y la reducción de la carga superficial. Esto reduce las fuerzas eléctricas manteniendo las partículas separadas y permite una aglomeración más fácil. Hay dos puntos a tener en cuenta: la dosis necesaria es proporcional a la cantidad de material coloidal presente y puede ser posible, con algunos coloides, sobredosis, dando lugar a una inversión de carga sobre la materia coloidal. Donde se produce la inversión de la carga, el coloide no se desestabiliza.
- **Atrapamiento de partículas en un precipitado:** si el aluminio soluble o sales de hierro se agregan al agua al valor de pH correcto, se precipitarán como flóculos de hidróxido. Si los coloides están presentes entonces el hidróxido tiende a precipitarse usando partículas coloidales como núcleos, formando un flóculo alrededor de las partículas coloidales. Una vez que el floculo se ha formado puede atrapar físicamente otras partículas coloidales, particularmente durante la floculación posterior. El punto a tener en cuenta es que a menudo existe una relación inversa entre la concentración de material coloidal a eliminar y la dosis de coagulante requerida. Esto se explica por el concepto de que a altas concentraciones coloidales las partículas coloidales actúan como núcleos sobre los cuales se precipita el coagulante. Sin embargo, a bajas concentraciones de coloides se requiere un exceso de coagulante precipitado para atrapar las partículas coloidales. El valor óptimo de pH de la coagulación depende de las características de pH / solubilidad del coagulante utilizado.
- **Adsorción y puente:** las moléculas orgánicas grandes con cargas eléctricas múltiples son a menudo eficaces como coagulantes. En el tratamiento del agua, tales productos químicos se denominan normalmente polímeros aniónicos o

catiónicos. Se cree que funcionan mediante el puente entre las partículas. Es interesante observar que a menudo se encuentra que tanto los polímeros aniónicos como los catiónicos son capaces de coagular partículas coloidales cargadas negativamente. Los polímeros también se usan a menudo durante la floculación para ayudar a la formación de partículas cuando se denominan coadyuvantes coagulantes. La agitación excesiva de los flóculos formados usando un coagulante polímero puede conducir a la fragmentación de los flóculos.

3.1.3 Reactivos coagulantes y floculantes más comunes.

- **Coagulantes metálicos**

Históricamente, los coagulantes metálicos, sales de hierro y aluminio, han sido los más utilizados en la clarificación de aguas y eliminación de DBO y fosfatos de aguas residuales. Tienen la ventaja de actuar como coagulantes-floculantes al mismo tiempo. Forman especies hidratadas complejas cargadas positivamente.

Sin embargo, tienen el inconveniente de ser muy sensibles a un cambio de pH. Si éste no está dentro del intervalo adecuado la clarificación es pobre y pueden solubilizar Fe ó Al y generar problemas. A continuación, vemos los más utilizados¹⁹²⁰:

- Sulfato de Alúmina: conocido como alumbre, es un coagulante efectivo en intervalos de pH entre 5 y 7. Produce un flóculo pequeño y esponjoso por lo que no se usa en precipitación previa de aguas residuales por la alta carga contaminante del agua. Sin embargo, su uso está generalizado en el tratamiento de agua potable y en la reducción de coloides orgánicos y fósforo.
- Sulfato Férrico: funciona de forma estable en un intervalo de pH entre 4 y 11, uno de los más amplios conocidos. Producen flóculos grandes y densos que decantan rápidamente, por lo que está indicado tanto en la precipitación previa como en la coprecipitación de aguas residuales urbanas o industriales. Se emplea también en tratamiento de aguas potables, aunque en algún caso puede producir problemas de coloración.
- Cloruro Férrico: es similar al anterior, aunque de aplicación muy limitada por tener un intervalo de pH más corto. Es enérgico, aunque puede presentar problemas de coloración en las aguas.

¹⁹ UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA. Tema 5. Coagulación-Floculación [en línea]. <http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis_procesos/tema5.pdf> [citado en 4 de marzo de 2017]

²⁰ BRATBY, John. Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment. 2 ed. Londres: IWA Publishing, 2006. p 243.

- Aluminato sódico: se emplea poco. Su uso más habitual es eliminar color a pH bajo. Además, se puede usar en el ablandamiento de agua con cal.
- Cloruro de Aluminio: se suministra normalmente en forma de solución que contiene 10,5% de Al con un pH y densidad de aproximadamente 2,5 y 1300 kg/m³, respectivamente. Ha sido ampliamente utilizado para el acondicionamiento de lodos, y ha sido a menudo descrito como un buen acondicionador de uso general.
- Sulfato Ferroso: el sulfato ferroso (FeSO₄) está disponible como cristales o gránulos que contienen 20% de Fe, los cuales son fácilmente solubles en agua. El sulfato ferroso reacciona bien con alcalinidad natural o alcalinidad añadida para formar hidróxido ferroso, Fe(OH)₂, pero como el hidróxido ferroso es relativamente soluble, debe ser oxidado a hidróxido férrico para ser útil. A valores de pH superiores a 8,5, la oxidación puede lograrse por aireación, por el oxígeno disuelto en el agua o por adición de cloro. Con la excepción del cloro, se debe añadir Cal para obtener alcalinidad suficiente.
- Sulfato Ferroso Clorado: en contraste con los altos valores de pH requeridos para la oxidación por oxígeno, el cloro reaccionará sobre un amplio rango de pH para oxidar el hidróxido ferroso obtenido a partir de sulfato ferroso.

En la práctica, el sulfato ferroso y el cloro se alimentan por separado y generalmente se mezclan justo antes de la entrada en el sistema de coagulación. La reacción con cloro produce sulfato férrico y cloruro férrico, y cada mg/L de sulfato ferroso teóricamente requiere 0,13 mg/L de cloro, aunque generalmente se añade un exceso de cloro para asegurar una reacción completa y proporcionar cloro para fines de desinfección.

La coagulación con sulfato ferroso clorado es especialmente útil cuando se requiere precloración. Tiene la ventaja adicional sobre el sulfato ferroso en que se puede obtener coagulación en una amplia gama de valores de pH: de 4,0 a 11,0.

- **Coadyuvantes de la floculación**

Las dificultades que pueden presentar algunos coloides desestabilizados para formar flóculos pesados que sedimentan bien han dado lugar a la búsqueda de sustancias que ayudan a la formación de estos flóculos²¹.

Entre las dificultades que se pueden presentar en un proceso de floculación están:

- Formación de flóculos pequeños de lenta sedimentación.
- Formación lenta de flóculos.
- Flóculos frágiles que fragmentan en los procesos de acondicionamiento del lodo.
- Formación de microflóculos que pasan por los filtros.

Para eliminar estas dificultades y lograr flóculos grandes y bien formados de fácil sedimentación se han utilizado sustancias y procedimientos muy variados. Los más usados son los siguientes²²:

- Oxidantes: como la percloración, que en parte oxida la materia orgánica y rompe enlaces en los coloides naturales, ayudando a una mejor floculación posterior.
- Adsorbentes: las aguas muy coloreadas y de baja mineralización en que los flóculos de aluminio ó hierro tienen muy poca densidad, coagulan muy bien al añadir arcilla que da lugar a que se adsorba y origine flóculos pesados de fácil sedimentación. Otros adsorbentes son la caliza pulverizada, sílice en polvo y carbón activo.
- Sílice activa: algunos compuestos inorgánicos pueden ser polimerizados en agua para formar polímeros floculantes inorgánicos. Este es el caso de la sílice activa que presenta una alta efectividad como auxiliar del tratamiento con Alumbre.

- **Polielectrólitos**

Son polímeros orgánicos con carga eléctrica. Inicialmente se utilizaron los de origen natural, como almidón, celulosa, gomas de polisacáridos, etc. Hoy se usan una gran variedad de polielectrólitos sintéticos. Pueden actuar solos o como coadyuvantes para floculación²³.

²¹ UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA, Op. cit., p. 7.

²² Ibid., p. 8.

²³ Ibid., p. 8.

Los polielectrólitos pueden clasificarse en:

- Catiónicos: cargados positivamente.
- Aniónicos: cargados negativamente.
- No iónicos: no son polielectrólitos en sentido estricto, aunque exhiben en disolución muchas de las propiedades floculantes de los anteriores.

3.1.4 Factores que Influyen en la coagulación. Se deben tener en cuenta los siguientes factores con el fin de llevar a cabo un proceso óptimo²⁴:

- **pH:** para cada coagulante hay por lo menos una zona de pH óptima, en la cual una buena floculación ocurre en el tiempo más corto y con la misma dosis de coagulante.
- **Valencia:** entre mayor sea la valencia del ion, más efectivo resulta como coagulante.
- **Capacidad de cambio:** es una medida de la tendencia a remplazar cationes de baja valencia por otros de mayor valencia, provocando la desestabilización y aglomeración de partículas en forma muy rápida.
- **Tamaño de las partículas:** las partículas deben poseer el diámetro inferior a una micra. Las partículas con diámetro entre una y cinco micras, sirven como núcleos de flóculo, en cambio de diámetro superior a cinco micras, son demasiado grandes para ser incorporadas en el flóculo.
- **Temperatura:** la temperatura cambia el tiempo de formación del flóculo, entre más fría el agua, la reacción es más lenta y el tiempo de formación del mismo es mayor.
- **Relación cantidad-tiempo:** la cantidad de coagulante es inversamente proporcional al tiempo de formación del flóculos.
- **Alcalinidad:** la alcalinidad guarda la relación con el pH y por lo tanto el contenido de alcalinidad del agua es uno de los factores por considerar en la coagulación.

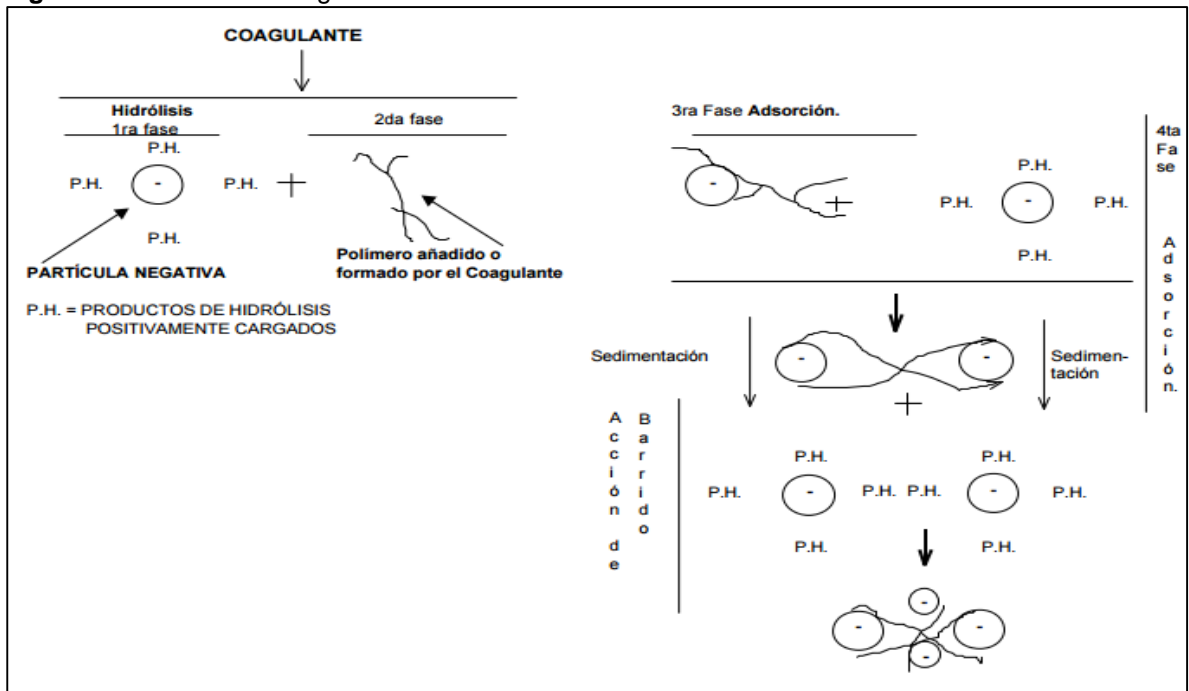
La interrelación entre cada uno de ellos permite predecir cuáles son las cantidades de los coagulantes a adicionar al agua.

²⁴ RODRÍGUEZ, Carlos. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 1995. p. 115.

3.1.5 Etapas o Fases de la coagulación. El proceso de coagulación se desarrolla en un tiempo muy corto (casi instantáneo), en el que se presenta las siguientes etapas²⁵ (Fig. 2).

- Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas en suspensión.
- Formación de Compuestos químicos poliméricos.
- Adsorción de cadenas poliméricas por los coloides. - Adsorción mutua de coloides. Acción de barrido.

Figura 2. Fases de la Coagulación.



Fuente: CÁRDENAS, Yolanda Andía. "TRATAMIENTO DE AGUA: COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN". {10 octubre de 2016}

3.2 FLOCULACIÓN

3.2.1 ¿Qué es la floculación? La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad.

Estos flóculos inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar.

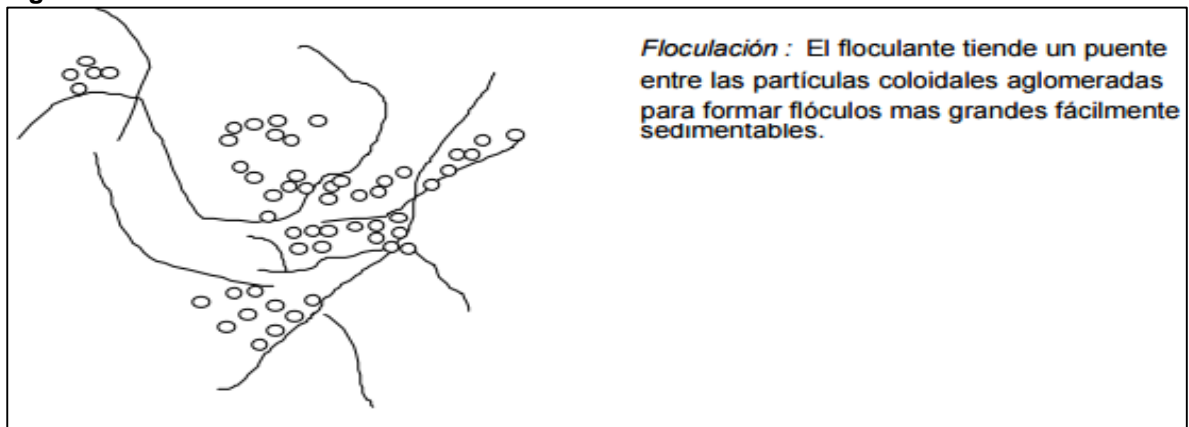
²⁵ ANDIA CÁRDENAS, Op. cit., p. 25.

Sucede que los flóculos formados por la aglomeración de varios coloides no sean lo suficientemente grande como para sedimentar con rapidez deseada, por lo que el empleo de un floculante es necesario para reunir en forma de red, formando puentes de una superficie a otra enlazando las partículas individuales en aglomerados, tal como se muestra en la **Figura 3**.

La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos. La floculación no solo incrementa el tamaño de las partículas del flóculo, sino que también aumenta su peso.

La floculación puede ser mejorada por la adición de un reactivo de floculación o ayudante de floculación²⁶.

Figura 3. Floculación.



Fuente: CÁRDENAS, Yolanda Andía. "TRATAMIENTO DE AGUA: COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN". {10 octubre de 2016}

3.2.1.1 Tipos de floculación. Existen 2 tipos de floculación, las cuales se presentan a continuación^{27 28}:

- **Floculación Pericinética:** es producido por el movimiento natural de las moléculas del agua y está inducida por la energía térmica, este movimiento es conocido como el movimiento browniano.

Von Smoluchowski (1916, 1917) desarrolló un modelo para la floculación pericinética donde la frecuencia de colisiones se obtuvo a partir del flujo difusional de partículas hacia una única partícula estacionaria. Asumió que las partículas se difundían hacia la partícula estacionaria en una dirección radial. El

²⁶ Ibid., p. 33.

²⁷ Ibid., p. 33.

²⁸ BRATBY, Op. cit., p. 241.

número de partículas que difunden radialmente hacia adentro a través de la superficie de una esfera centrada en la partícula estacionaria es proporcional al coeficiente de difusión browniano de las partículas, al área superficial de la esfera y al gradiente de concentración de partículas en dirección radial. Puesto que se supone que la difusión es radial, el número de partículas que difunden radialmente hacia adentro es igual al número de colisiones con la partícula central.

- **Floculación Ortocinética:** se basa en las colisiones de las partículas debido al movimiento del agua, el que es inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico²⁹.

Una vez que se ha completado la floculación pericinética, la única manera en la que se puede promover un contacto apreciable entre las partículas es inducir movimiento de cizallamiento en el líquido. Esto se logra induciendo gradientes de velocidad mediante los cuales las partículas consiguen contacto mutuo por movimiento con el líquido circundante.

Cuanto mayores son los gradientes de velocidad inducidos en el líquido, más contactos de partícula habrá dentro de un tiempo dado. Sin embargo, cuanto más grandes sean los gradientes de velocidad, menor será el tamaño final del flóculo debido a una interrupción continua de los flóculos mayores. Por lo tanto, para un gradiente de velocidad dado, habrá un tiempo de floculación límite más allá del cual las partículas de flóculos no crecerán. Cuanto menor sea el gradiente de velocidad, más largo será el tiempo necesario para alcanzar el tamaño óptimo del flóculo, pero mayor será el tamaño del flóculo final³⁰.

3.2.2 Floculantes. Son polímeros o polielectrólitos con pesos moleculares muy elevados, moléculas orgánicas solubles en agua formadas por bloques denominados monómeros, repetidos en cadenas larga utilizados para la desestabilización de las partículas coloidales en suspensiones. Estos floculantes pueden ser de dos tipos³¹:

- **Sales inorgánicas:** se refieren más frecuentemente a coagulantes y se basan en las sales hidrolizables de iones de aluminio, principalmente sulfato de aluminio [alumbre, $Al_2(SO_4)_3$] y cloruro férrico ($FeCl_3$).
- **Materiales poliméricos orgánicos:** Los floculantes poliméricos sintéticos han reemplazado a los floculantes inorgánicos en la mayoría de las aplicaciones, excepto en la clarificación del agua donde el alumbre sigue siendo utilizado. Los

²⁹ ANDIA CÁRDENAS, Op. cit., p. 34.

³⁰ BRATBY, Op. cit., p. 243.

³¹ ANURADHA, Mishra y CLARK, James H. Green Materials for Sustainable Water Remediation and Treatment. Cambridge: RSC Pub., 2013. p. 56-57. ISBN 978-1-84973-621-3

floculantes poliméricos son macromoléculas orgánicas solubles en agua capaces de desestabilizar y flocular materiales suspendidos. Los floculantes poliméricos son de tres tipos:

- Floculantes poliméricos naturales: Los floculantes derivados naturalmente (de plantas, animales, bacterias, hongos, etc.) se llaman floculantes naturales. Los pesos moleculares dependen de la fuente y los métodos de procesamiento, pero puede ser tan alto como varios millones. La goma guar y sus derivados son ejemplos de floculantes poliméricos naturales. Los floculantes actuales derivados de productos naturales incluyen almidón, derivados de almidón, gomas y mucílagos de plantas, extractos de algas marinas, derivados de celulosa, proteínas y taninos.
- Floculantes minerales: son sustancias coloidales, donde la adsorción y neutralización de cargas hacen parte del mecanismo de floculación. Ellas son:
 - ✓ Sílice activa.
 - ✓ Ciertas arcillas coloidales (tales como bentonita).
 - ✓ Ciertos hidróxidos metálicos con una estructura polimérica (alumbre, hidróxido férrico).
- Floculantes orgánicos de síntesis: los Poli(acrilamidas) son los más comunes, el cual es un polímero no iónico. Su efecto se debe al puente entre partículas por cadenas de polímero.

Los polímeros pueden tener carácter aniónico copolimerizando acrilamida con ácido acrílico. Los polímeros catiónicos se preparan copolimerizando acrilamida con un monómero catiónico. Todos los polímeros a base de acrilamida disponibles tienen una cantidad específica de monómero iónico que da un cierto grado de carácter iónico.

Tienen un peso molecular promedio específico (es decir, longitud de cadena) y una distribución molecular dada.

Para cada suspensión, es beneficioso un cierto grado de carácter aniónico, catiónico o no iónico. Usualmente, el poder floculante intrínseco aumenta con el peso molecular.

Las poli(acrilamidas) tienen el peso molecular más alto entre los productos químicos industriales sintetizados en el rango de 10-20 millones. Otros polímeros presentan propiedades específicas y se usan bajo condiciones específicas³².

³² FLOCCULANTS.INFO. Flocculants | Polymers | Coagulants [en línea]. <<http://www.flocculants.info/>> [citado en 11 de julio de 2017]

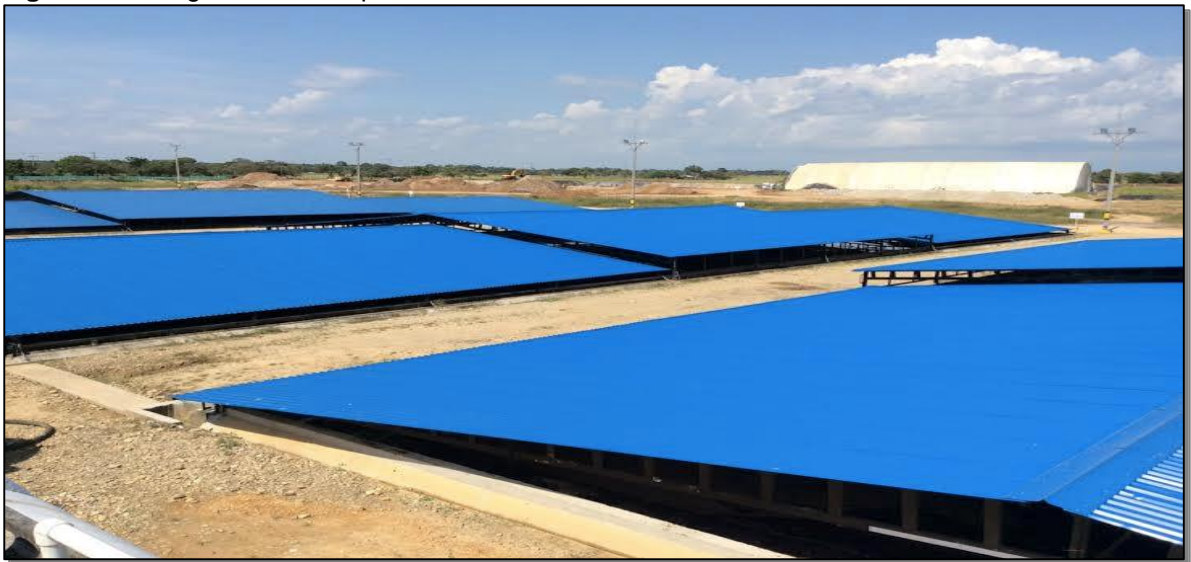
En su mayoría son:

- ✓ Polietileno-aminas
- ✓ Poliamidas-aminas
- ✓ Poliaminas
- ✓ Óxido de polietileno
- ✓ Compuestos sulfonados

3.3 TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO

Los fluidos que se reciben para tratamiento en la Planta El Recreo (fluidos acuosos, fluidos aceitosos, salmueras y fluidos salinos), y las aguas de los distintos procesos de la planta, son dispuestos en las piscinas de recepción de fluidos. Estas piscinas tienen una capacidad útil de almacenamiento de 10.000 Bbl cada una (1.590 m³) y cuentan con una cubierta entre rieles con el fin de ejercer control de niveles durante los periodos de lluvia que se presentan en la región, las cuales se observan en la **Figura 4**. Cabe aclarar que todas las unidades de almacenamiento tienen las condiciones apropiadas de impermeabilización de acuerdo a cada tipo de residuo, el volumen a almacenar, la tasa de producción de residuos, los métodos de tratamiento y disposición final, el tiempo de almacenamiento estimado, la naturaleza de los desechos y los métodos de transporte y transferencia de éstos.

Figura 4. Vista general de las piscinas de almacenamiento.



Fuente: ATP Ingeniería S.A.S.

Para el tratamiento de los fluidos se utilizan las tecnologías de tratamiento descritas en el **Cuadro 1**, las cuales se clasifican de acuerdo al tipo de fluido.

Cuadro 1. Tecnologías de tratamiento.

TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO PARA FLUIDOS		
TIPO	ORIGEN	TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO
Fluido acuoso residual	<ul style="list-style-type: none"> - Aguas residuales industriales. - Aguas negras. - Aguas grises. 	Tratamiento físico-químico, ultrafiltración (UF), electrocoagulación (EC), nano filtración (NF) y osmosis inversa (RO) / evaporación al vacío.
Fluido aceitoso residual	Residuos líquidos contaminados con aceites y sólidos	Tratamiento físico-químico, UF, EC, NF y RO / evaporación al vacío, biorremediación y/o unidad de desorción térmica (UDT) para la fase sólida.
Salmueras y fluidos salinos	<ul style="list-style-type: none"> - Lodos salinos. - Píldoras salinas. - Salmueras de completamiento de pozo. - Salmueras de control de pozo. - Salmueras usadas en estimulación de pozo. 	Tratamiento físico-químico, ultrafiltración (UF), electrocoagulación (EC), nano filtración (NF) y osmosis inversa (RO) / evaporación al vacío.

Fuente: ATP Ingeniería S.A.S

Las tecnologías presentadas anteriormente tienen una capacidad de tratamiento diaria, que se menciona en el **Cuadro 2**:

Cuadro 2. Capacidad de tratamiento diaria.

CAPACIDAD DIARIA DE TRATAMIENTO			
TIPO RESIDUO	TECNOLOGIA DE TRATAMIENTO	CAPACIDAD DE TRATAMIENTO (BPD)	CAPACIDAD DE TRATAMIENTO (m³/día)
Fluido acuoso residual	Tratamiento físico-químico, ultrafiltración (UF), electrocoagulación (EC), nano filtración (NF) y osmosis inversa (RO) / evaporación al vacío.	1.600	254,3
Fluido aceitoso residual	Tratamiento físico-químico, UF, EC, NF y RO / evaporación al vacío, biorremediación y/o unidad de desorción térmica (UDT) para la fase sólida.		

Cuadro 2. (Continuación)

CAPACIDAD DIARIA DE TRATAMIENTO			
TIPO RESIDUO	TECNOLOGIA DE TRATAMIENTO	CAPACIDAD DE TRATAMIENTO (BPD)	CAPACIDAD DE TRATAMIENTO (m ³ /día)
Salmueras y fluidos salinos	<ul style="list-style-type: none"> Tratamiento físico-químico, ultrafiltración (UF), electrocoagulación (EC), nano filtración (NF) y osmosis inversa (RO) / evaporación al vacío. Limpieza de salmueras 	1.600	254,3

Fuente: ATP Ingeniería S.A.S

3.3.1 Proceso de tratamiento químico convencional. Una vez almacenados los fluidos en las piscinas de recibo, sufren un proceso de decantación física, el cual consiste en la separación de mezclas heterogéneas las cuales pueden ser líquidas o sólidas basándose en la diferencia de densidades entre los dos componentes, terminada la decantación los fluidos son transportados mediante bombas neumáticas a la Unidad de Tratamiento de Aguas para el proceso químico convencional, y el posterior proceso de tratamiento avanzado.

La localización de estos dos sistemas de tratamiento dentro del área de la Planta El Recreo se presenta en la **Figura 5**.

Figura 5. Ubicación de los sistemas de tratamiento de aguas dentro de la Planta El Recreo (a) Tratamiento Químico y (b) Tratamiento Avanzado.



Fuente: ATP Ingeniería S.A.S.

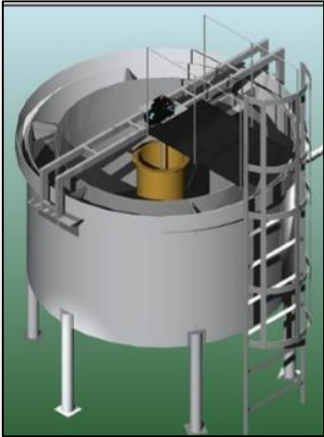

El primer sistema de tratamiento que se muestra en la **Figura 5**, cuenta con dos trenes de tratamiento que permiten lograr una capacidad total de tratamiento de 1.600 BPD, capacidad suficiente para el volumen de aguas generado en la planta. Este sistema de tratamiento consiste en un proceso de tratamiento químico que garantiza la eliminación de grasas y aceites, remoción de sólidos sedimentables y

remoción de sólidos suspendidos. El sistema de tratamiento se compone de 5 etapas de tratamiento, cada una con su respectiva función:

- **Sistema de separación por flotación:** debido a la diferencia de densidades permite la eliminación de grasas y aceites presentes en el fluido a tratar.
- **Reactor de oxidación química:** es la segunda etapa en el tratamiento para la disminución de la concentración de grasas y aceites, además de perder materia orgánica por medio de la reducción química a partir de la cual un átomo, ion o molécula cede electrones aumentando su estado de oxidación.
- **Tanque de clarificación, floculación y sedimentación:** en el tanque de floculación se forman los flóculos mediante la agitación suave de suspensiones líquidas con la ayuda de productos químicos, una vez formados los flóculos, se dejan sedimentar en el tanque de clarificación lo cual beneficia la separación de la materia orgánica al igual que la reducción de sólidos suspendidos.
- **Filtros de cascarilla de nuez y filtros de carbón activado/zeolita:** el contaminante se remueve utilizando cascara de nuez como medio filtrante al igual que el carbón activado reduciendo la materia coloidal.
- **Tanque de desinfección final:** por último, los tanques de desinfección tienen el propósito de reducir el material biológico al igual que la inhibición de microorganismos patógenos.

3.3.1.1 Especificaciones técnicas de la planta de tratamiento químico convencional de aguas residuales. En la Tabla 5, se describen las diferentes unidades que comprenden el tratamiento químico convencional, también se especifica la forma, las dimensiones, la carga superficial, entre otras características significativas de cada unidad.


Cuadro 3. Especificaciones técnicas de la planta de tratamiento químico convencional de aguas residuales.

SISTEMA DE TRATAMIENTO	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD
<p align="center">Separador de grasas tanque D.A.F</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de separación por aire disuelto. • Número total de unidades: dos (2). • Forma: cilíndrico vertical con fondo cónico. Sistema de barrido y recolección con paletas y rotor. • Tiempo de retención: 0,8 horas. • Dimensiones generales: <ul style="list-style-type: none"> - Diámetro:2,0m - Altura:2,0m • Sistema de presión: 3 a 5 atm. • Caudal de recirculación: 15–30%. • Carga superficial: 60–230 m³/m². • Relación aire/sólidos: 0.005–0.08 kg/kg. 	
<p align="center">Tanque de oxidación</p>	<p>Reactor en donde se hace el primer proceso de oxidación con la inyección de producto químico y oxígeno Material de construcción.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio (P.R.F.V.) • Forma: cilíndrico vertical. • Número total de unidades: cuatro (4) • Capacidad unitaria: 28m³ • Dimensiones unitarias: <ul style="list-style-type: none"> - Diámetro: 2,8m - Altura: 4,6m 	

Cuadro 3. (Continuación)

SISTEMA DE TRATAMIENTO	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD
<p align="center">Precipitación química (Clarifloculador)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Material de construcción: P.R.F.V. • Forma: cilíndrico vertical con fondo cónico. • Número total de unidades: dos (2). • Tiempo de retención: 3,5 horas. • Dimensiones: <ul style="list-style-type: none"> - Diámetro: 2,8m. - Altura total: 4,0m. • Sistema de agitación para disolución de productos químicos con paletas de agitación. • Cámara de floculación: <ul style="list-style-type: none"> - Tipo: Floculación Hidráulica con distintos gradientes de velocidad. - Pantallas de floculación. • Cámara de Sedimentación: <ul style="list-style-type: none"> - Tipo: de alta tasa. - Módulos: tipo colmena 60°. 	
<p align="center">Filtros lentos (Cascarilla de filtro de nuez)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Filtro de funcionamiento hidráulico ascendente Material de construcción: P.R.F.V. • Número total de unidades: cuatro baterías de filtración por cada tren. La primera unidad es un filtro ascendente y la segunda unidad es un filtro descendente. • Dimensiones: <ul style="list-style-type: none"> - Diámetro: 1,0m - Altura total: 2,0m • Material de contacto: Cascarilla de nuez. 	

Cuadro 3. (Continuación)

SISTEMA DE TRATAMIENTO	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD
Tanque pulmón	<ul style="list-style-type: none"> • Tanque para acumulación de agua en proceso y bombeo para el último proceso de filtración a presión. • Material de construcción: P.R.F.V. • Número de unidades por tren: una (1). • Dimensiones: <ul style="list-style-type: none"> - Diámetro: 1,6m. - Altura total: 2,0m. 	
Filtro a presión	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de reducción de contaminación final en donde se retendrán las partículas y compuestos más pequeños que puedan quedar presentes en el agua luego de los tratamientos anteriores. • Material: lámina de acero al carbón. • Número de unidades por tren: dos (2). • Dimensiones: <ul style="list-style-type: none"> - Diámetro: 30". - Altura: 1,5m. • Con funcionamiento hidráulico y válvulas para retrolavado del material de contacto Material de contacto: zeolita natural y carbón activado. 	

Fuente: ATP Ingeniería S.A.S

Este sistema de tratamiento garantiza obtener un efluente del cual se ha removido el 50% de la carga de sólidos sedimentables y 50% de sólidos suspendidos. La remoción de DQO (Demanda Química de Oxígeno) está alrededor del 40%. En términos de grasas y aceites se obtienen remociones del 80% de la carga inicial.

En la **Figura 6**, se logra observar de manera clara la unidad de tratamiento químico convencional y cada una de las unidades descritas anteriormente.

Figura 6. Planta de tratamiento químico convencional.



Fuente: ATP Ingeniería S.A.S.

3.3.2 Proceso de tratamiento avanzado. La salida de fluido del tratamiento convencional, es sometida a un segundo sistema de tratamiento con el fin de obtener un efluente de calidad semi-potable. El término de calidad semi-potable se refiere a que la remoción de contaminantes es muy fina a tal punto que remueve iones divalentes y monovalentes, sales, minerales, sólidos disueltos y microorganismos. De tal forma, que el efluente de éste proceso sea utilizado para fines potables deberá remineralizarse pues se elimina la gran parte de los constituyentes del agua dejando un agua de salida completamente transparente con capacidad de ser reutilizada.

Este segundo sistema de tratamiento (**Figura 7**) se cataloga como un sistema avanzado compuesto de 4 etapas, cada una con su objetivo particular:

- **Etapas de electro-coagulación:** permite la aglomeración del material orgánico que se encuentre en suspensión, la aglomeración se efectúa por medio de la aplicación de corriente eléctrica. Aquí se elimina cualquier traza de grasa y aceite.
- **Etapas de Ultrafiltración:** consiste en una filtración fina que permite eliminar todo el material con tamaño mayor a 1 μm ; es decir se eliminan a cabalidad los sólidos suspendidos, se eliminan los virus y microorganismos con tamaño superior a 1 μm .
- **Etapas de electro-oxidación:** se oxidan los contaminantes con el propósito de disminuir compuestos iónicos y reducir la concentración de sales transformándolas a especies oxidadas que pueden ser removidas del agua.

- **Etapa de nano filtración y osmosis inversa:** última etapa donde se realiza la filtración extra-fina del agua, en ésta etapa se eliminan todos los componentes de tamaños superiores a 1 nm. Lo que se traduce en eliminar virus remanentes de las etapas anteriores, eliminar sustancias muy pequeñas que hayan causado color a las aguas como colorantes, sales disueltas e incluso remueve compuestos como pesticidas.

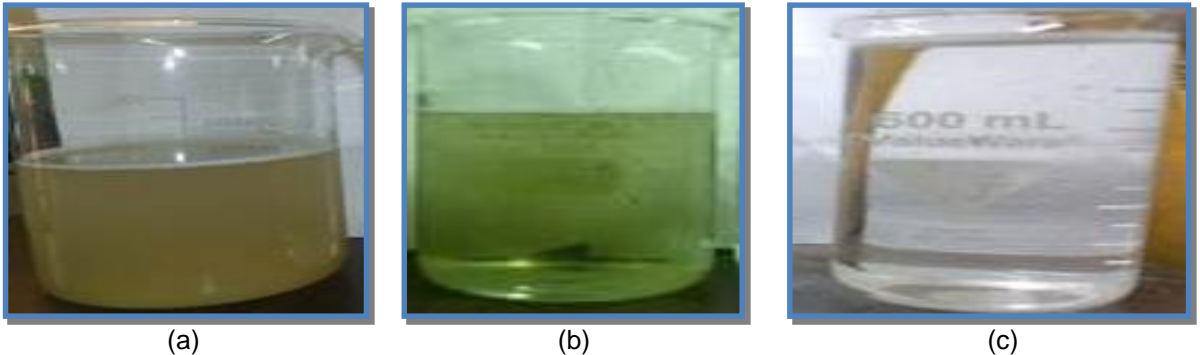
Figura 7. Sistema de Tratamiento Avanzado de Aguas.



Fuente: ATP Ingeniería S.A.S.

La **Figura 8**, presenta evidencia fotográfica de la aplicación de los dos sistemas de tratamiento donde se constata la evolución de la calidad del agua como resultado del tratamiento químico y del tratamiento avanzado hasta obtener el efluente final.

Figura 8. Evolución de la calidad del agua sometida a los procesos de tratamiento. (a) Agua de proceso para ser tratada, (b) Efluente del Tratamiento Químico y (c) Efluente del Tratamiento Avanzado.



Fuente: ATP Ingeniería S.A.S.

El efluente final de la implementación de los dos sistemas de tratamiento es depositado en tanques de almacenamiento (**Figura 9**), donde se establece un punto de control interno para el monitoreo de la calidad del agua antes del vertimiento al Caño Chichimene. La calidad de agua de vertimiento supera a la calidad del agua del caño Chichimene. Esta última se visualiza en la **Figura 10**.

Figura 9. Tanque de almacenamiento de agua tratada antes del vertimiento.



Fuente: ATP Ingeniería S.A.S.

Figura 10. Caño Chichimene a la altura del vertimiento actual.



Fuente: ATP Ingeniería S.A.S.

3.4 PRODUCTOS QUÍMICOS UTILIZADOS PARA EL TRATAMIENTO DE FLUIDOS DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER

Para el tratamiento del fluido de completamiento y workover proveniente del Campo Castilla se presentan los diferentes tipos de reactivos, los cuales se consideraron para el mejoramiento de la planta de tratamiento, teniendo en cuenta la disponibilidad de los mismos en la empresa ATP Ingeniería S.A.S., la eficiencia que presentan bajo las condiciones climáticas y de operación de los reactivos y el conocimiento y manejo por parte del personal de la planta.

3.4.1 Reactivos propuestos.

3.4.1.1 Coagulante:

- **Sulfato de aluminio:** es una sal sólida de color blanco. Generalmente usada en la industria como coagulante en la purificación de agua potable y en la industria del papel. Sus principales ventajas radican en la alta disponibilidad del reactivo, su bajo costo y la flexibilidad de uso en diferentes tipos de agua. El sulfato de aluminio se obtiene al reaccionar un mineral aluminico (caolín, bauxita, hidrato de aluminio) con ácido sulfúrico a temperaturas elevadas. Una vez que se obtiene el sulfato de aluminio, este se tiene en dos presentaciones: sólido y líquido, con dos especificaciones, estándar y libre de hierro. Algunas de sus propiedades se encuentran en el **Cuadro 4**.

Cuadro 4. Propiedades Sulfato de Aluminio.

Parámetro	Descripción
Fórmula química	$Al_2(SO_4)_3$
Color	Blanco
Concentración de óxido de aluminio	9.9 a 10.3 como Al_2O_3
Basicidad (% Al_2O_3 libre)	No mayor de 0.2
Acidez (% Al_2O_3 libre)	No mayor de 0.2
Fierro total (% Fe_2O_3)	No mayor de 0.35
Residuo insoluble (%)	No mayor de 1%
Densidad	1.3 a 1.35 g/cc

- **Policloruro de aluminio:** es un coagulante inorgánico a base de sales de aluminio polimerizadas, es ampliamente utilizado en un sinnúmero de procesos industriales. Además, es utilizado para remover color y materia coloidal en sistemas acuosos, plantas potabilizadoras, clarificación de efluentes industriales y como reemplazo de sulfato de aluminio, cloruro de aluminio, cloruro férrico, sulfato férrico y otras sales inorgánicas convencionales no polimerizadas.

Las propiedades físicas y químicas (**Cuadro 5**), pueden variar significativamente; Este producto se encuentra en solución acuosa, cuyo rango de color varía desde incoloro a ámbar y de apariencia clara a turbia.

Cuadro 5. Propiedades Policloruro de Aluminio.

Parámetro	Descripción
Fórmula química	$[Al(OH)_mCl_{3-m}]_n$
Densidad a 25 °C, g/ml	1.23 ± 0.05
pH a 25 °C	2.5 ± 0.3
% Al_2O_3	10.5 ± 0.5
Relación de Basicidad	70% min

3.4.2 Floculantes:

- **Producto L-1648:** de la empresa LIPESA S.A.: En el **Cuadro 6**, se encuentra la descripción del Producto L-1648.

Cuadro 6. Descripción producto L-1648.

Producto	Descripción
L-1648	Es un polímero floculante sólido catiónico y de alto peso molecular, de color blanco e inodoro que actúa en un rango de pH de 3.00 – 5.00 al 0.1%. Además, su densidad se encuentra en un rango de 600 – 900 kg/m ³ .

3. PLAN DE PRUEBAS PARA LA OBTENCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN OPTIMA DE FLOCULANTE Y COAGULANTE

El presente capítulo corresponde al plan de pruebas propuesto, con el fin de encontrar la metodología para llevar a cabo las pruebas de laboratorio para realizar el tratamiento del fluido de completamiento y workover; teniendo en cuenta los tipos de coagulantes, el tipo de floculante y sus respectivas cantidades. Por otro lado, se encuentra descrita la preparación de los coagulantes y floculante a ser usados, la cual deberá ser realizada previo al tratamiento del fluido.

El diseño experimental es una herramienta de gran importancia en el mundo de la ciencia y la ingeniería para mejorar los procesos. Los componentes críticos de estas actividades están en el nuevo diseño y desarrollo de procesos de fabricación y en la gestión de procesos. Las técnicas de diseño experimental en el desarrollo del proceso pueden³³:

- Mejorar el rendimiento de proceso.
- Disminuir la variabilidad y mayor conformidad con los requisitos nominales u objetivos.
- Reducir el tiempo de desarrollo.
- Reducir costos generales.

Los métodos de diseño experimental también son de importancia en las actividades de diseño de ingeniería, donde se desarrollan nuevos productos y se mejoran los ya existentes. Algunas aplicaciones de diseño experimental en diseño de ingeniería incluyen:

- Evaluación y comparación de las configuraciones básicas de diseño.
- Evaluación de alternativas materiales.
- Determinación de los parámetros clave del diseño que afectan el rendimiento del proceso.
- Formulación de nuevos procesos.

4.1 APLICACIÓN

El diseño de experimentos tiene múltiples aplicaciones, además de que permite responder si ciertos factores influyen en una variable de interés o no. Algunas de sus aplicaciones son:

- Mediante los experimentos se puede conocer el funcionamiento de un sistema o proceso.

³³ MONTGOMERY, Douglas C. Design and Analysis of Experiments. 8 Ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2013. p. 237. ISBN 978-1-118-14692-7.

- Permite llevar el sistema a un desarrollo en la validación, a lo más cercano de acuerdo con las necesidades planteadas.
- De igual manera, produce máximos beneficios cuando se aplica al diseño de los productos, ya que las mejoras son casi ilimitadas.
- Destina el diseño o desarrollo de productos.
- Se aplica también a la investigación científica con algunas diferencias.

4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS DISEÑOS EXPERIMENTALES

Existen distintos tipos de diseños experimentales. La selección del diseño adecuado para un experimento consiste en identificar el número de variables a estudiar. Si se desea manipular una sola variable, el experimento deberá usar un diseño experimental básico.

Por otro lado, si el experimentador desea investigar varios niveles de variables independientes o estudiar los efectos de la interacción de dos o más variables independientes, el experimento va a requerir un diseño experimental más complejo o estadístico. A continuación, se presentan algunos diseños experimentales:

4.2.1 Análisis de varianza ANOVA.

- El análisis de varianza nos permite contrastar más de dos grupos.
- Nos permite observar en una sola prueba si hay una diferencia o no.
- En esta prueba paramétrica se comparan varianzas.
- Hay una variable dependiente cuantitativa y una variable independiente cualitativa.

4.2.2 Homogeneidad de varianzas. La prueba para determinar la igualdad de las varianzas se conoce como prueba de homogeneidad de varianzas. Para probar la hipótesis de homogeneidad existen varios procedimientos. Los más conocidos son:

- Prueba F-Max de Hartley:
 - Involucra el coeficiente entre varianzas mayor y menor.
 - Exige normalidad en los datos.
 - Exige independencias de los errores.
- Prueba de Bartlett
 - La prueba de Bartlett es muy sensible a la no normalidad de los datos.
 - Exige independencia de los errores.
 - Se recomienda que las repeticiones no sean menores que 3.
- Prueba de Burr-Foster
 - Admite grupos pequeños y desiguales.

- Simple de aplicar.
- Robusta a la carencia de normalidad.
- Valores grandes de q implican el rechazo de la hipótesis de varianzas poblacionales iguales.

4.2.3 ANOVA para grupos desiguales.

- El análisis se centra en determinar de forma correcta, factor, nivel y respuesta.
- Tiene una distribución de tipo F.

4.2.4 Prueba de normalidad.

- La Prueba de normalidad genera una gráfica de probabilidad normal y realiza una prueba de hipótesis para examinar si las observaciones siguen o no una distribución normal.
- Sus hipótesis prueban si los datos siguen una distribución normal o no.

4.2.5 Bloques completos y aleatorizados.

- Se usa cuando el tamaño de las unidades experimentales es grande.
- Utilizar bloques es una forma de reducir y controlar la varianza del error experimental para tener mayor precisión.
- Agrupa las unidades experimentales en sub conjuntos homogéneos. (Bloques)
- Se aplica cuando el efecto de un tratamiento a comparar depende de otros factores que pueden influir en el resultado de experimento y que deben de tomarse en cuenta para anular su posible efecto.
- El diseño de bloques completamente al azar permite disminuir el error experimental por un factor adicional.

4.2.6 Diseño de cuadros latinos.

- Utiliza el principio de la formación de bloques.
- Cuando se tienen dos factores perturbadores.
- Es un arreglo de cuadro y los tratamientos se denotan por letras latinas A, B, C, D, E.
- Se usa para eliminar dos fuentes de variabilidad perturbadora.
- Permite hacer la formación de bloques sistemática en dos direcciones.

4.2.7 Contraste y comparaciones.

- Se interesa en conocer qué tratamientos concretos producen mayor efecto o cuáles son los tratamientos diferentes entre sí.
- Realiza comparaciones adicionales entre grupos de medias de los tratamientos.

- Cada contraste debe tener una prueba de hipótesis.
- Las sumatorias de comparaciones y contrastes son iguales a cero.
- Se puede formular cualquier pregunta.

4.2.8 Diseño factorial.

- Los tratamientos son combinaciones de dos o más niveles de factores diferentes.
 - Factor: variable independiente que se evalúa en la investigación.
 - Niveles de factores: Cada uno de los atributos o estados en que se descompone un factor principal.
- Involucra más de un factor, y cada factor tiene dos o más niveles.
- No mira tratamientos individuales.
- Busca estudiar todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores y se llaman usualmente combinaciones de tratamientos.
- Es mucho más amplio ya que evalúa más de un factor.
- En el diseño factorial simétrico los factores tienen igual número de niveles.
- Si los factores no tienen el mismo número de niveles, se llaman diseño factorial asimétrico.
- Este diseño factorial nos permite estudiar no solo efectos individuales sino también el efecto conjunto o combinado de los factores.

4.2.9 Diseño factorial mixto.

- A diferencia del diseño factorial común, éste diseño consta de un factor A fijo y un factor B aleatorio.
 - Factor aleatorio: Se toman las variables de forma aleatoria.
 - Factor fijo: Se fija el valor del nivel y siempre se toman los datos a ese mismo nivel.
- El diseño factorial con una observación por celda se aplica cuando sólo se puede hacer una repetición por tratamiento y cuando hay una interacción entre los niveles de sus factores.

4.2.10 Diseño bifactorial en un DAB (diseño de bloques aleatorios).

- Se estudia la interacción entre los factores y entre los bloques.
- Se aplica cuando se tienen dos factores que van cambiando con los diferentes niveles.
- Con la formación de bloques se busca reducir el error experimental.
- Permite realizar varias repeticiones al mismo tiempo.
- Supone que no hay interacción entre bloques y tratamientos, o en el caso que exista, será pequeña y se considerará confundida con el error experimental.

4.3 PLAN DE PRUEBAS

Para realizar el test de jarras fue conveniente implementar un diseño factorial, el cual cuenta, para este caso con cuatro factores y sus respectivos niveles, dicho diseño se implementó debido a que permite obtener la máxima información de un sistema. Adicionalmente, determina los efectos de cada factor en particular y los efectos de la interacción entre los distintos factores presentes. Para esto, es necesario plantear los factores o variables independientes y los niveles de cada uno de ellos requeridos para este método como se muestra a continuación:

Factores y niveles

1. Tipo de coagulante
 - Sulfato de Aluminio
 - Policloruro de aluminio

2. Tipo de floculante
 - Polímero L-1648

3. Cantidad añadida de coagulante
 - 5mL [1000 ppm]
 - 10mL [2000 ppm]
 - 15mL [3000 ppm]
 - 20mL [4000 ppm]

4. Cantidad añadida de floculante
 - 2mL [200 ppm]
 - 3mL [300 ppm]
 - 4mL [400 ppm]

En el presente estudio, el tipo de coagulante (sulfato de aluminio) se mantendrá constante variando los diferentes niveles de los factores presentes. La **Tabla 3**, ilustra las formulaciones evaluadas con cada una de las diferentes corridas que se llevarán a cabo.

Tabla 3. Formulaciones evaluadas.

Floculante	Coagulante	Cantidad coagulante (mL)	Cantidad floculante (mL)		
			2	3	4
L-1648	POLICLORURO DE ALUMINIO	5	C ₁	C ₂	C ₃
		10	C ₄	C ₅	C ₆
		15	C ₇	C ₈	C ₉
		20	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂
	SULFATO DE ALUMINIO	5	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅
		10	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈
		15	C ₁₉	C ₂₀	C ₂₁
		20	C ₂₂	C ₂₃	C ₂₄

Donde C_i equivale a la combinación del coagulante a diferentes concentraciones con el floculante a diferentes concentraciones, siendo i el subíndice de cada combinación.

4.4 TEST DE JARRAS

El test de jarras es una técnica de laboratorio que pretende realizar la simulación del proceso de clarificación del agua que se lleva a cabo en la planta, de manera que permite evaluar a escala y de manera rápida la acción que ejerce sobre el proceso de clarificación, la variación de los diferentes parámetros como velocidad y tiempo de agitación, gradientes de velocidad producidos, dosificación de diversos compuestos químicos solos o en combinaciones³⁴.

El test de jarras se usa para:

- Evaluar, determinar y optimizar las variables químicas del proceso de coagulación y/o floculación, es decir, medir el desempeño de uno o varios productos químicos dados, coagulante, floculante, entre otros, y encontrar la dosificación adecuada, tanto en términos de calidad del fluido obtenido, como en términos financieros.
- Determinar la concentración de la solución de coagulante más apropiada para utilizar en la planta.
- Encontrar el punto o etapa de dosificación adecuado para el producto que se ensaya.

³⁴ EMPRESAS MUNICIPALES DE CALIEMCALI E.I.C.E E.S.P. Prueba de Jarras [en línea]. <<https://es.scribd.com/doc/39353489/Manual-Jarras-y-Pruebas>> [citado en 6 de mayo de 2017]

- Evaluar y comparar el desempeño de una combinación de productos frente a:
 - La forma y secuencia de dosificación óptima de cada uno de ellos.
 - El punto o etapa ideal de dosificación.
 - La influencia en el proceso de la concentración de los químicos dosificados.
 - La determinación del pH óptimo de coagulación.
 - La operación para tomar decisiones rápidas sobre la dosificación de químicos a utilizar de acuerdo a las variaciones en la calidad del agua cruda.
 - La evaluar los efectos de modificaciones en las condiciones de operación de la planta sobre el proceso de clarificación.

4.4.1 Objetivo. Determinar las variables físicas y químicas de los procesos de coagulación; floculación y sedimentación; como selección del coagulante; selección del pH óptimo; gradientes y tiempos de mezcla rápida y floculación y correlación de las velocidades de sedimentación y la eficiencia de remoción³⁵.

4.4.2 Materiales y equipos necesarios.

- Agitador múltiple o floculador.
- Espectrofotómetro.
- pHmetro.
- Reactivos

4.4.3 Preparación de solución de coagulantes y polímero para los ensayos de test de jarra. El método que se describe a continuación, se utilizará para la preparación de los químicos necesarios para el proceso de coagulación y floculación antes de llevar a cabo el test de jarra.

- **Coagulantes:** el coagulante utilizado es líquido. Se realizará una solución al 10% de policloruro de aluminio y sulfato de aluminio, para lo que se pesará 50 g de cada uno en una balanza electrónica. Se adicionará a un beaker y se diluirá con 500 mL de agua. Luego, con el floculador se debe agitar hasta que la solución quede completamente homogénea.
- **Floculantes:** se realizará una solución al 1% de producto L-1648 de la empresa LIPESA S.A., para lo se deben pesar 5g de polímero en una balanza electrónica. Luego se adiciona los 5g pesados en un beaker y se diluye con 500 mL de agua. Con el floculador se agita hasta que la solución quede completamente homogénea.

En la **Tabla 4**, se presentan las cantidades de coagulante y floculante utilizados para la preparación de los reactivos.

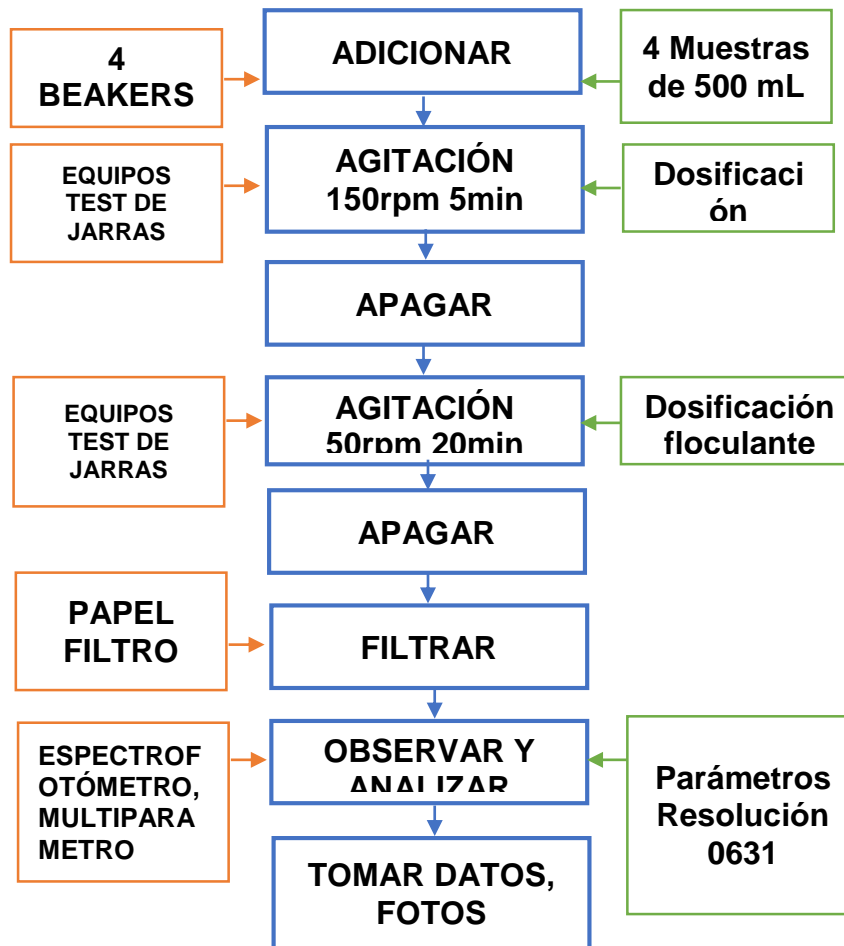
³⁵ ANDIA CÁRDENAS, Op. cit., p. 39.

Tabla 4. Descripción cantidades coagulante y floculante.

Parámetro \ Reactivos	Sulfato de aluminio (10%)	Policloruro de aluminio (10%)	Polímero L-1648 (1%)
Cantidad (gr)	50	50	5
Volumen agua (mL)	500	500	500

4.4.4 Plan de desarrollo del test de jarras. El test de jarras se realiza siguiendo el procedimiento descrito en el **Diagrama 1**, mientras que en el **Diagrama 2**, se describe de forma detallada el paso a paso a seguir para el manejo del equipo espectrofotómetro, el cual será de suma importancia debido a que permitirá determinar la caracterización de los diferentes parámetros contenidos en el fluido de completamiento y workover.

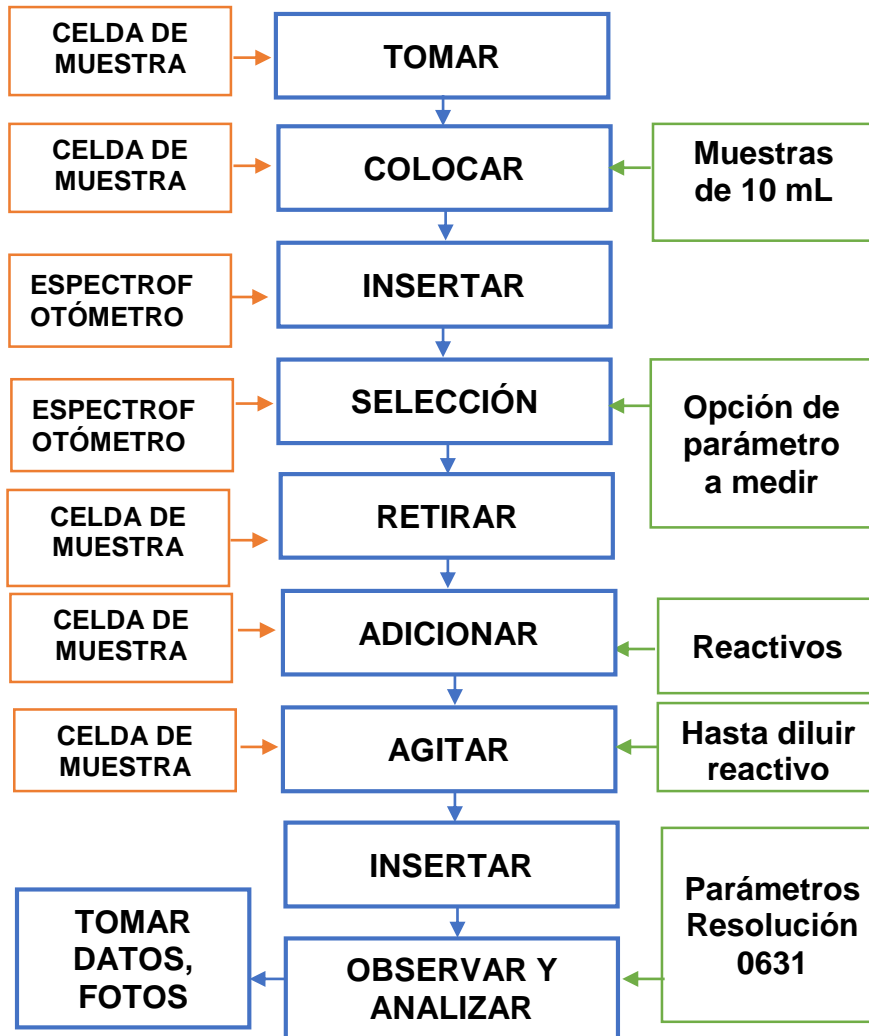
Diagrama 1. Diagrama de flujo: Test de jarras.



PASOS PARA EL PROCEDIMIENTO DE TEST DE JARRAS

1. Colocar los 4 beakers en el equipo de test de jarras
2. Colocar 500 mL de muestra en cada Beaker
3. Agregar la dosificación de coagulante indicada en cada Beaker
4. Agitar por 5 minutos a 150 rpm
5. Apagar equipo de test de jarras
6. Agregar la dosificación de floculante indicada en cada Beaker
7. Agitar por 20 minutos a 50 rpm
8. Apagar equipo de test de jarras
9. Filtrar la muestra de cada beaker con papel filtro
10. Observar resultados y analizar mediante equipo de Espectrofotómetro y multiparametro pH, temperatura, hierro, cobre, bario, sólidos suspendidos totales y sulfatos
11. Tomar datos y fotos del procedimiento

Diagrama 2. Diagrama de flujo: operación espectrofotómetro.



PASOS PARA MEDICIÓN DE DATOS EN EL ESPECTOFOTÓMETRO

1. Tomar una celda de muestra del Espectrofotómetro
2. Colocar 10 mL de muestra en cada celda de muestra del Espectrofotómetro
3. Insertar la celda de muestra en el Espectrofotómetro
4. Seleccionar la opción de parámetro que se desea medir y tomar punto de referencia
5. Retirar la celda de muestra del Espectrofotómetro
6. Adicionar el reactivo correspondiente para la determinación del parámetro seleccionado de la marca Hach a la celda de muestra
7. Agitar la celda de muestra hasta diluir el reactivo
8. Insertar la celda de muestra con el reactivo en el Espectrofotómetro
9. Realizar la medición y tomar datos (hierro, cobre, bario, sólidos suspendidos totales y sulfatos)
10. Tomar datos y fotos del procedimiento

4. DESARROLLO EXPERIMENTAL DE ENSAYOS DE TEST DE JARRAS A NIVEL DE LABORATORIO

En esta sección, se seleccionan los coagulantes por medio de una matriz teniendo en cuenta los diferentes parámetros que influyen en el tratamiento del fluido y su efectividad para eliminar aquellas impurezas que la normativa actual (Resolución 0631 de 2015) exige (metales y metaloides, iones, compuestos de nitrógeno y fósforo e hidrocarburos, entre otros). Por otra parte, se seleccionan aquellos parámetros cuyos valores sobrepasen el límite máximo permitido en la Resolución 0631 de 2015.

Finalmente, se llevarán a cabo los test de jarras con el fin de encontrar la dosificación química de los productos seleccionados para el tratamiento del fluido. Adicionalmente, se presentan los análisis de laboratorio realizados al fluido teniendo en cuenta las dosificaciones utilizadas, seleccionando la más adecuada para la propuesta de tratamientos de fluidos de completamiento y workover.

Es importante conocer la normatividad que regula actualmente la calidad del agua para vertimiento a cuerpos superficiales, ya que en esta se encuentran estipulados los valores máximos permisibles para cada parámetro.

Tabla 5. Comparación decreto 1594 y resolución 0631.

DECRETO 1594 DE 1984 (ANTIGUO)	RESOLUCIÓN 0631 DE 2015 (NUEVA)
Usuarios nuevos, existentes	No distingue entre usuarios.
Temperatura $\leq 40^{\circ}\text{C}$	Temperatura $< 40^{\circ}\text{C}$. Diferencia temperatura $\leq 5^{\circ}\text{C}$.
pH 5 a 9 unidades	pH 6 a 9 unidades: cuerpos de agua pH 5 a 9 unidades: alcantarillado
Remoción en carga (eficiencia %) (Kg/día) DBO5, SST, aceites y grasas.	Concentración final (mg/L). 56 parámetros. Balance de materia (agua).
6 parámetros cuerpos de agua 7 parámetros al alcantarillado 22 sustancias de interés sanitario	56 parámetros: fisicoquímicos, metales y metaloides, iones, compuestos de nitrógeno y fósforo, hidrocarburos

Fuente: Resolución 0631 de 2015.

En la **Tabla 5**, se pueden observar los principales cambios que se realizaron a los valores máximos permisibles para vertimiento a cuerpos puntuales de agua, donde el más importante de estos tiene que ver con la concentración final de los diferentes parámetros contenidos, ya que pasó de exigir un porcentaje de remoción de carga en (Kg/día) a exigir una concentración máxima permisible final en (mg/L).

5.1 EQUIPOS UTILIZADOS

Para el desarrollo experimental, se utilizaron diferentes equipos de laboratorio los cuales se presentan en el **Cuadro 7**.

Cuadro 7. Equipos utilizados.

Equipo	Descripción
<p data-bbox="375 478 708 506">ESPECTOFOTOMETRO</p>  A photograph of a Hach DR 3900 spectrophotometer. It is a dark grey, boxy device with a large, color LCD screen on top displaying a menu interface. The Hach logo is visible on the front panel.	<p data-bbox="797 575 1463 737">Marca Hach en la referencia dr 3900. Equipo utilizado para la medición de los diferentes parámetros (hierro, cobre, sólidos suspendidos totales, bario, sulfatos) de las muestras de fluido de completamiento y workover.</p>
<p data-bbox="329 842 753 869">MEDIDOR MULTIPARAMETRO</p>  A photograph of a Hanna HI 991300 multiparameter meter. It is a small, grey handheld device with a digital display showing '7.12' and '25.0'. It has two circular buttons and a probe attached to the side.	<p data-bbox="797 926 1463 1066">Marca Hanna en la referencia hi991300. Equipo utilizado para la medición de pH y lectura de temperatura de las muestras de fluido de completamiento y workover.</p>
<p data-bbox="440 1199 643 1226">FLOCULADOR</p>  A photograph of a laboratory flocculation apparatus. It consists of a black metal frame with two vertical glass cylinders. A digital display on top shows '25.00°C'. There are various tubes and components attached to the cylinders. A beaker and a bottle are visible on the table in front of the apparatus.	<p data-bbox="797 1373 1463 1444">Es el equipo utilizado en el laboratorio para realizar pruebas de coagulación y floculación.</p>

5.2 CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL FLUIDO DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER

Para el proceso de caracterización de los fluidos de completamiento y workover a tratar en la Planta El Recreo, se realizó una toma de muestra de fluido contenido en Frac Tanks. Cabe resaltar que los fluidos provenientes del Campo Castilla Norte y Castilla Sur se encuentran mezclados.

Para este proceso se tomó aproximadamente 40 L necesarios para realizar las diferentes pruebas de laboratorio, estas muestras se agitaron previamente para evitar la sedimentación y decantación de los diferentes materiales contenidos en el fluido, y de esta manera obtener una muestra sin alterar sus propiedades. Al tener la muestra, se trasladó al laboratorio de la planta El Recreo para realizar las diferentes pruebas con el fin de determinar los componentes presentes en el fluido de completamiento y workover (hierro, bario, SST, pH, cloruros, sulfato, cobre).

En la **Tabla 6**, se presentan los resultados de la composición del fluido a tratar. Las muestras tomadas fueron enviadas al laboratorio ChemiLab en la ciudad de Bogotá, donde se realizaron diferentes pruebas para determinar los componentes presentes en el fluido de completamiento y workover, de aquellos parámetros que no pudieron ser determinados en los laboratorios de la planta El Recreo debido a la falta de reactivos y equipo necesario para la obtención de los mismos.

Tabla 6. Caracterización del fluido de completamiento y workover.

PARÁMETRO	VALOR	RESOLUCIÓN 631 DE 2015
Antimonio (Sb)	<0.0025 mg/L	0.30 mg/L
Arsénico (As)	<0.0025 mg/L	0.10 mg/L
Bario (Ba)	6.0 mg/L	1.0 mg/L
Cadmio (Cd)	<0.01 mg/L	0.01 mg/L
Cianuro	<0.011 mg/L	0.10 mg/L
Cloruros	200 mg/L	250.0 mg/L
Cobalto (Co)	<0.10 mg/L	0.10 mg/L
Cobre (Cu)	0.44 mg/L	1.0 mg/L
Cromo (Cr)	0.066 mg/L	0.10 mg/L
DBO	423 mg/L	50 mg/L
DQO	1106 mg/L	150 mg/L
Fenoles	0.80 mg/L	0.20 mg/L
Fluoruros	<0.10 mg/L	5.0 mg/L
Grasas y aceites	3.82 mg/L	10.0 mg/L
Hierro (Fe)	0.61 mg/L	1.0 mg/L
Mercurio (Hg)	<0.001 mg/L	0.092 mg/L
Níquel (Ni)	<0.10 mg/L	0.10 mg/L
pH	11.12	6 a 9
Plata (Ag)	<0.05 mg/L	0.20 mg/L

Tabla 6. (Continuación)

PARÁMETRO	VALOR	RESOLUCIÓN 631 DE 2015
Plomo (Pb)	<0.1 mg/L	0.10 mg/L
Selenio (Se)	<0.0025 mg/L	0.20 mg/L
Sólidos sedimentables	0.8 mg/L	1.0 mg/L
Sólidos suspendidos totales (SST)	672 mg/L	50 mg/L
Sulfato	22 mg/L	250 mg/L
Vanadio (V)	<0.01 mg/L	1.0 mg/L

Fuente: ATP Ingeniería S.A.S.

5.2.1 Selección parámetros a analizar. Se realiza el análisis teniendo en cuenta los valores presentados en la **Tabla 6**, de aquellos parámetros que se encuentran por encima de los límites que estipula la norma (**Anexo A**), donde se presenta un contenido de 6 mg/L para bario, por lo que será un parámetro a considerar en la selección y dosificación de los coagulantes y floculantes.

Además, el fluido presenta un pH elevado, el cual sobrepasa el rango estipulado en la Resolución 0631, por lo tanto, se considera que el fluido a tratar corresponde a una solución de tipo básica.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) también se encuentran por encima de los límites establecidos, con una concentración inicial de 423 y 1106 mg/L respectivamente.

Con respecto al parámetro de sulfato, el cual presenta un valor de 22 mg/L, se encuentra dentro de los límites exigidos por la resolución, aunque se debe considerar y analizar debido a que el uso de coagulante (sulfato de aluminio) podría incrementar la concentración de este parámetro ocasionando que el dato anteriormente reportado sobrepase el límite permitido.

Por último, debe señalarse que la Resolución 0631 de 2015 solo exige, para el resto de los parámetros, un análisis y reporte de los mismos, por lo cual, no se tendrán en cuenta para el estudio de la selección de la dosificación de coagulante y floculante.

5.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PRUEBAS DE LABORATORIO

Al momento de desarrollar este proceso se deben tener en cuenta las distintas condiciones requeridas, dentro de estas se encuentra el número de agitaciones por minuto, tiempo de mezclado y filtrado, las cuales se establecen en la **Tabla 7**.

Tabla 7. Condiciones para el test de jarras.

Condiciones		Valor
Coagulante (Mezcla rápida)	Número de agitaciones	150 RPM
	Tiempo de agitación	5 min
Floculante (Mezcla lenta)	Número de agitaciones	50 RPM
	Tiempo de agitación	20 min

5.3.1 Selección del coagulante. Luego de ser descritos los coagulantes a tener en cuenta, presentes en el capítulo 3, a continuación, en los **Cuadros 8 y 9**, se presentan las ventajas y desventajas que cada uno de ellos pueden presentar en el proceso de tratamiento del fluido de completamiento y workover. Esta comparación se realiza para seleccionar el coagulante que mejor se adecue a los requerimientos tanto de la empresa como de la normativa vigente.

Cuadro 8. Ventajas vs desventajas sulfato de aluminio.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Conocido, buena disponibilidad. • Planta diseñada para su uso. • El personal capacitado y conoce su comportamiento. • Autoridades no cuestionan su uso. • Forma flóculo blanco casi invisible. • Buen comportamiento en climas con temperaturas altas y húmedos • Precio por kg bajo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere normalmente un control del pH. • El rango de trabajo de pH muy limitado. • Muchas veces requiere un ayudante de floculación (polimero) para flocular. • Problemas con alto contenido de Aluminio residual.

Cuadro 9. Ventajas vs desventajas policloruro de aluminio.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Normalmente no requiere un ajuste del pH • Buen comportamiento en fluidos fríos. • Aluminio residual bajo. • Menos consumo de polímero. • Rango de trabajo de pH amplio. • Velocidad de reacción alta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Un pH demasiado alto para la coagulación puede bajar la remoción de sustancia orgánica. • Precio por kg alto. • El personal no está capacitado y no conoce su comportamiento. • Problemas con alto contenido de cloruros.

Para realizar la selección del coagulante adecuado para el tratamiento de fluido de completamiento y workover en la planta El Recreo, se necesita de una matriz de selección ponderada donde se evalúan y califican diferentes criterios que son relevantes tanto para la empresa como para el proceso de tratamiento.

El **Cuadro 10**, presenta los criterios de selección y el rango de calificación en el que será evaluado.

Cuadro 10. Criterios de selección y rango de calificación.

CRITERIO	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN	%
Factibilidad	Con relación a la infraestructura existente, a las condiciones climatológicas y al proceso que se realiza en la planta, se busca que el reactivo se adecue y complemente los procesos que se llevan a cabo.	0-5	20
Costos implicados	Se evalúa con relación a los costos generados en la implementación del reactivo. Se busca que no requiera una alto inversión económica.	0-5	20
Remoción de sustancias	Es el porcentaje de remoción teórico de cada sustancia con el fin de cumplir con la normatividad vigente para vertimiento a cuerpos de agua puntuales. Se busca que cumpla con los parámetros contemplados en la normatividad.	0-5	20
Mantenimiento	Se refiere a la necesidad de mantenimiento de los equipos con relación a cada reactivo. Se busca que no necesite gran cantidad de equipos para evitar altos costos de mantenimiento.	0-5	10
Necesidades químicas	Se refiere a la necesidad de agentes químicos para el tratamiento. Se busca que el reactivo no requiera de varios agentes químicos.	0-5	15
Personal	Se refiere al conocimiento y manejo con que el personal de planta cuenta al respecto del reactivo. Se busca que el reactivo a ser utilizado no requiera de capacitación del personal para su utilización.	0-5	15

Fuente: FORIGUA MEDIA, Margarita M. DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE MEJORAMIENTO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA DE NITRATO DE AMONIO EN FERTILIZANTES COLOMBIANOS FERTICOL S.A. Bogotá, 2016, 169 p. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Fundación Universidad de América. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Química. p. 69.

5.3.1.1 Evaluación de criterios de selección. Teniendo en cuenta los criterios mencionados anteriormente en el **Cuadro 10**, a continuación, en el **Cuadro 11**, se presenta el resultado con relación a los dos coagulantes planteados para el proceso que se llevara a cabo en la planta de tratamiento.

Cuadro 11. Evaluación de criterios de selección para sulfato de aluminio y policloruro de aluminio.

Criterio	Sulfato de aluminio	Policloruro de aluminio
Factibilidad	Para este reactivo no es necesario la implementación de un nuevo sistema de tratamiento dado que la empresa cuenta con los equipos necesarios, además de presentar un buen comportamiento con respecto las condiciones climatológicas donde se encuentra la planta (26-30°C y humedad relativa 70-100%).	Para este reactivo no es necesario la implementación de un nuevo sistema de tratamiento dado que la empresa cuenta con los equipos necesarios, pero presenta un bajo comportamiento con respecto a las condiciones climatológicas donde se encuentra la planta (26-30°C y humedad relativa 70-100%).
Costos implicados	Para este reactivo los costos por kg del mismo son bajos y además son de fácil obtención.	Para este reactivo los costos por kg del mismo son altos.
Remoción de sustancias	Es efectivo en la reducción de la concentración de coloides orgánicos y al mismo tiempo forma un flóculo blanco casi invisible, cuando se adiciona al fluido en un rango de pH de 5 a 7, pero aumenta el contenido de aluminio residual.	La remoción de sustancias orgánicas es alta, además de poseer un rango amplio de pH para la aplicación al fluido. Si el fluido a tratar posee un pH demasiado alto puede bajar la remoción de sustancias orgánicas.
Mantenimiento	El mantenimiento es bajo debido a que las instalaciones se encuentran adecuadas para su uso (tanques en acero inoxidable y tubería PVC). No es tóxico, venenoso, explosivo ni cancerígeno.	Es un material corrosivo al igual que el sulfato de aluminio. Dado que las instalaciones de la planta se encuentran adecuadas su mantenimiento es bajo. Para su almacenamiento se requiere evitar temperaturas altas

Cuadro 11. (Continuación)

Criterio	Sulfato de aluminio	Policloruro de aluminio
Necesidades químicas	Se requiere la adición de un neutralizante previo a la dosificación de sulfato de aluminio. Requiere la adición de un coadyuvante de la floculación.	Si el fluido a tratar posee un pH alto, se requiere la adición de un neutralizante previo a la dosificación del policloruro de aluminio. Requiere de un coadyuvante de la floculación en menor concentración que el sulfato de aluminio.
Personal	El personal se encuentra capacitado en el manejo y comportamiento del sulfato de aluminio.	El personal no se encuentra capacitado para el manejo del policloruro de aluminio.

5.3.1.2 Calificación de la matriz.

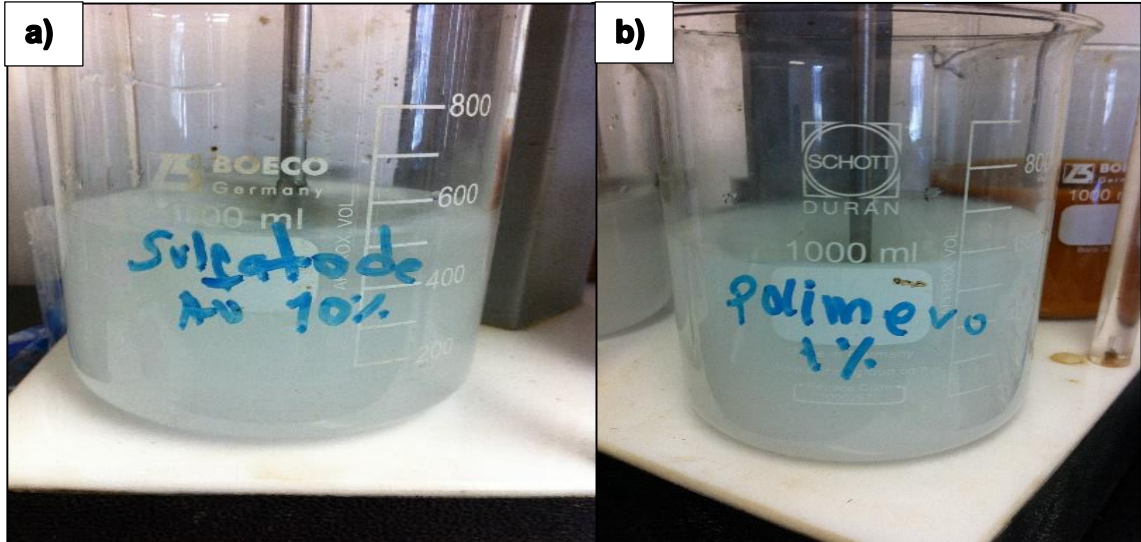
Cuadro 12. Matriz de selección.

Criterios	Coagulantes	
	Sulfato de aluminio	Policloruro de aluminio
Factibilidad	5	3
Costos implicados	5	2
Remoción de sustancias	4	5
Mantenimiento	4	3
Necesidades químicas	2	4
Personal	5	2
Total ponderado	4.25	3.2

Como se observa en la matriz de selección (**Cuadro 12**), el coagulante que obtuvo una mayor calificación fue el sulfato de aluminio, debido a los buenos puntajes obtenidos en los puntos más importantes que contaron con una ponderación más alta, como lo son los costos, factibilidad y remoción de sustancias. Con relación al policloruro de aluminio, este presenta buenos valores de remoción de sustancias y bajos requerimientos químicos, pero debido a la factibilidad, costos implicados y personal, los cuales presentaron calificación baja, su ponderación total fue baja con respecto al sulfato de aluminio. Por lo anterior, el coagulante seleccionado para el proceso de tratamiento de fluido de completamiento y workover es el sulfato de aluminio.

5.3.2 Preparación coagulante y floculante. Se realizó la preparación de las soluciones de coagulante y floculante según lo establecido en el diseño del plan de pruebas presente en el capítulo 4. El resultado de estas se puede observar en la **Figura 11.**

Figura 11. Soluciones de Sulfato de Aluminio y Polímero. (a) Sulfato de Aluminio al 10%. (b) Polímero al 1%



5.3.3 Desarrollo test de jarras. Teniendo los reactivos ya preparados, el siguiente paso fue realizar los test de jarra de la siguiente manera:

5.3.3.1 Neutralización. Como se mencionó anteriormente el fluido de completamiento y workover a tratar presenta un pH de 11.12 el cual se encuentra fuera del rango de operación del coagulante sulfato de aluminio, es por esta razón que se debe neutralizar el fluido antes de llevar a cabo las pruebas con el fin de disminuir el pH para obtener un valor entre 5-9, rango en el cual el coagulante seleccionado cumple su objetivo.

Para la neutralización se decidió utilizar el ácido cítrico ($C_6H_8O_7$) al 10%, adicionando 0.5 mL del mismo a 1L de la muestra de fluido de completamiento y workover, equivalente a 50 ppm dando como resultado un pH de 8.32.

5.3.3.2 Dosificación coagulante. En cuatro beakers de 1000 mL cada uno, se adicionan 500 mL de la muestra del fluido de completamiento y workover, se agrega sulfato de aluminio como coagulante y se agita, teniendo en cuenta el número y tiempos de agitación mencionados en la **Tabla 7.** En la **Tabla 8,** se observan las cantidades que se adicionaron de coagulante.

Tabla 8. Dosificación coagulante Sulfato de Aluminio.

Coagulante	Beaker 1	Beaker 2	Beaker 3	Beaker 4
Sulfato de Aluminio	5 mL [1000 ppm]	10 mL [2000 ppm]	15 mL [3000 ppm]	20 mL [4000 ppm]

En la **Figura 12**, se observa el resultado de la coagulación con el sulfato de aluminio.

Figura 12. Resultados coagulación Sulfato de Aluminio.



5.3.3.3 Dosificación floculante. Se procede a adicionar el floculante polímero L-1648, en cada beaker previamente dosificado con coagulante, con el fin de observar el comportamiento del floculante y el coagulante. Esta prueba se llevó a cabo tres veces más, utilizando las concentraciones de sulfato de aluminio mencionadas en la **Tabla 20**, y se cambiaron las concentraciones de polímero. Los volúmenes y concentraciones que se utilizaron de polímero L-1648 fueron de 2 mL (200 ppm), 3 mL (300 ppm) y 4 mL (400 ppm).

5.3.3.4 Filtración. Al finalizar todo el proceso, se filtró cada muestra mediante el uso de papel filtro y se procedió a tomar una parte de las muestras filtradas para realizar la caracterización del fluido tratado. Esta caracterización se llevó a cabo mediante el uso de un Espectrofotómetro, y se tomaron lectura de hierro, cobre, bario, sulfato y sólidos suspendidos totales. Mediante un equipo multiparametro se tomaron lectura de pH y temperatura de las muestras tratadas. Para los parámetros de DBO y DQO las muestras se enviaron al laboratorio de la empresa ATP Ingeniería S.A.S. en la ciudad de Bogotá.

5.3.4 Clasificación índice de Willcomb. Para determinar que coagulante y/o floculante es el adecuado para el proceso se necesita calificar la formación del flóculos, la velocidad de sedimentación, la aglomeración del flóculos y la sedimentación del mismo; para ello, se utiliza el índice de Willcomb que presenta

una calificación según la eficiencia de los parámetros anteriormente mencionados. Éste consiste de observaciones visuales de tipo cualitativas y dependen del criterio de quien realiza los ensayos. El **Cuadro 13**, muestra la clasificación del flóculos según índice de Willcomb.

Cuadro 13. Clasificación índice de Willcomb.

NO. DE ÍNDICE	DESCRIPCIÓN
0	Ningún signo de aglutinamiento
2	Flóculos muy pequeño, casi imperceptible
4	Flóculos que sedimenta muy lentamente o no sedimenta
6	Flóculos de tamaño relativamente grande, esponjoso, que sedimenta con lentitud
8	Flóculos de sedimentación fácil, aunque deja algo de turbiedad en el agua
10	Flóculos de muy buena sedimentación que deja agua cristalina

Fuente: GALVIS, Nubia. Ensayos de tratabilidad del agua, una herramienta concluyente para el diseño de plantas de potabilización. Trabajo de grado maestría en desarrollo sostenible y medio ambiente. Manizales, Colombia. Universidad de Manizales. Facultad de ciencias contables económicas y administrativas. 2014.

5.4 PRIMER TEST DE JARRAS

La **Figura 13**, muestra los resultados visuales del primer test de jarra para el floculante L-1648, con un volumen 2 mL y concentración de 200 ppm.

Figura 13. Resultados primer test de jarras floculante L-1648, 2 mL (200 ppm).



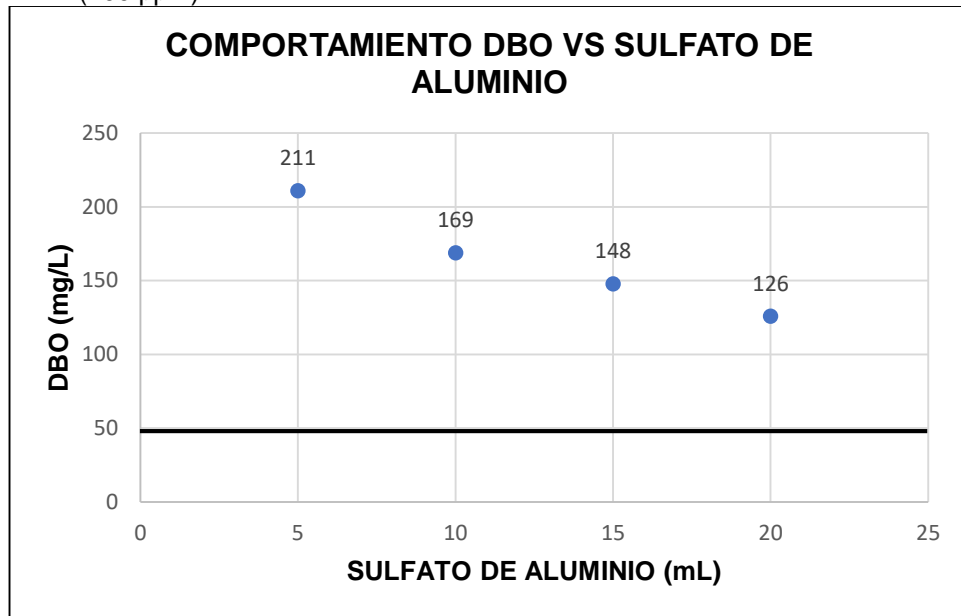
Tabla 9. Resultados primer test de jarras floculante L-1648, 2 mL (200 ppm).

L-1648	Beaker 1	Beaker 2	Beaker 3	Beaker 4
Coagulante (mL) (Sulfato de aluminio al 10%)	5	10	15	20
Floculante (mL) (L-1648 al 1%)	2	2	2	2
Bario (mg/L)	6	5	5	3
Sulfatos (mg/L)	390	700	1010	1160
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	274	148	90	8
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (mg/L)	211	169	148	126
Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg/L)	497	442	387	331
pH	8.05	7.82	5.6	4.16
Temperatura (°C)	27.3	27.3	26.7	27.1
Índice de Willcomb	2	8	6	6

Como se observa en la **Tabla 9**, el índice de Willcomb, mencionado anteriormente, clasifica el flóculo generado en el proceso, el cual, para este primer test, oscila entre 2 y 8. En el beaker 1 se dio una baja puntuación debido a que el flóculo que presenta es muy pequeño y casi imperceptible y no sedimenta rápidamente. Por el lado opuesto, están los beakers 3 y 4 que presentan un flóculo de 6 en la escala de Willcomb por su tamaño, velocidad de sedimentación y aglomeración del flóculo. En cuanto al beaker 2, el flóculo que presenta es de tamaño considerable, aunque deja algo de turbiedad en el agua.

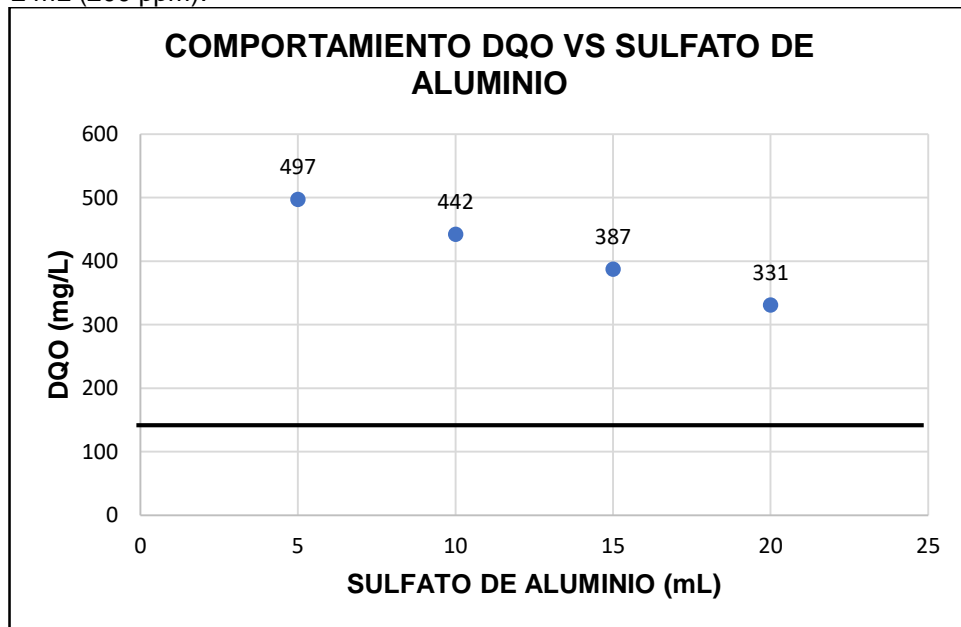
En la **Gráfica 2**, se observa el comportamiento que presenta el DBO según la dosificación de sulfato de aluminio como coagulante y manteniendo una dosificación de floculante L-1648 de 2 mL (200 ppm). Se obtuvo que para una dosificación de 5 mL (1000 ppm) de coagulante, el DBO obtenido fue de 211 mg/L; para la siguiente cantidad de coagulante, 10 mL (2000 ppm), fue de 169 mg/L. Con relación a los dos últimos beakers, se observa que el DBO disminuye según la cantidad y concentración de coagulante utilizado, obteniendo el beaker 4 la menor cantidad, el cual, se le suministro la dosificación más alta de coagulante, 20 mL (4000 ppm).

Gráfica 2. Comportamiento DBO, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 2 mL (200 ppm).

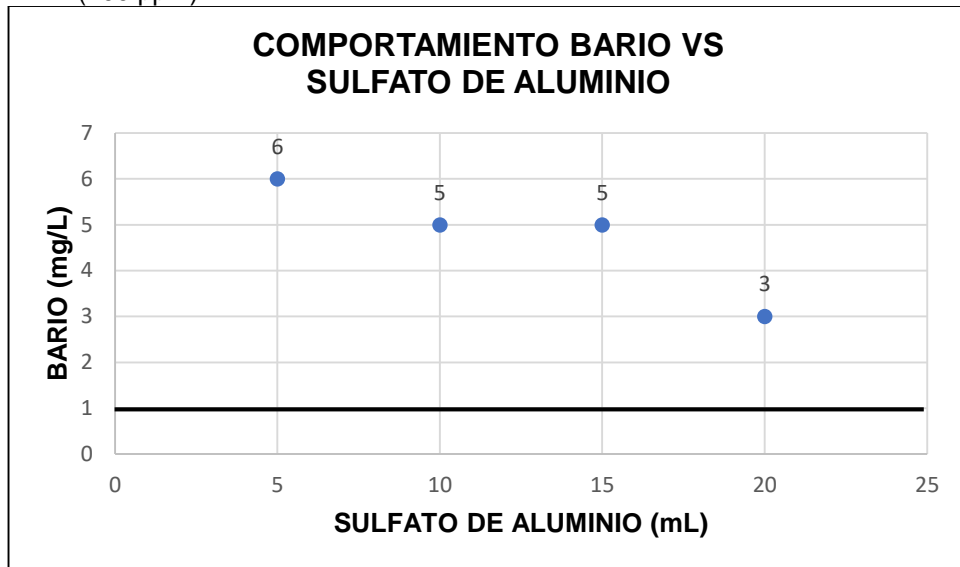


En cuanto al comportamiento para el DQO, se puede observar que este es similar al del DBO, con tendencia a disminuir su valor de concentración de acuerdo al incremento de la dosificación de coagulante. Esto se puede apreciar en la **Gráfica 3**.

Gráfica 3. Comportamiento DQO, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 2 mL (200 ppm).



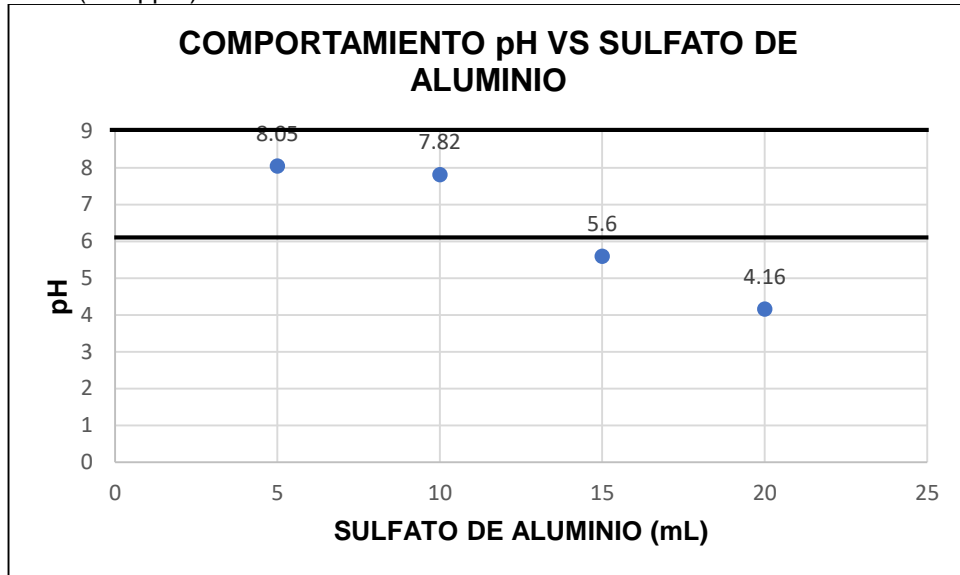
Gráfica 4. Comportamiento Bario, coagulante Sulfato de Aluminio, floculante L-1648, 2 mL (200 ppm).



La **Gráfica 4**, muestra el comportamiento del bario en donde se observa que para el beaker 1 no hubo un cambio en la concentración del parámetro con respecto al valor inicial de 6 mg/L. Para los beakers 2 y 3 se observa una reducción mínima del parámetro y también se muestra que a pesar que el beaker 3 posee una mayor dosificación de coagulante, esta remueve en la misma proporción la cantidad de bario que con una dosificación de 10 mL (2000 ppm) de coagulante sulfato de aluminio. En el beaker 4 se puede apreciar una mayor remoción del bario, aunque esté no llega a cumplir con el valor máximo permitido por la Resolución 0631 de 2015.

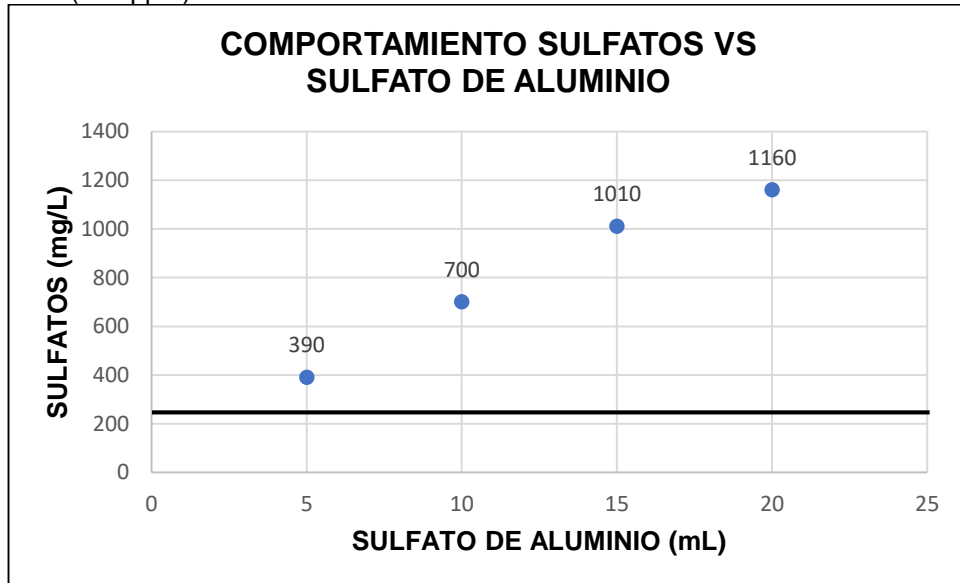
Adicionalmente se observa un cambio de pH con relación a la dosificación, estos resultados se presentan en la **Gráfica 5**.

Gráfica 5. Comportamiento pH, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1644, 2 mL (200 ppm).



Como se muestra en la **Gráfica 5**, el pH va cambiando según la dosificación de coagulante adicionada en cada beaker, para una dosificación de 5 mL (1000 ppm), se obtuvo un pH de 8.05; para la siguiente dosificación de coagulante, 10 mL (2000 ppm) se obtuvo un pH de 7.82, el cual entra en el rango del valor de pH permitido por la Resolución 0631. Para las siguientes dos concentraciones, se observa que el pH disminuye, acidificando el fluido, ocasionado que estos se encuentren por debajo del límite máximo permitido por la norma.

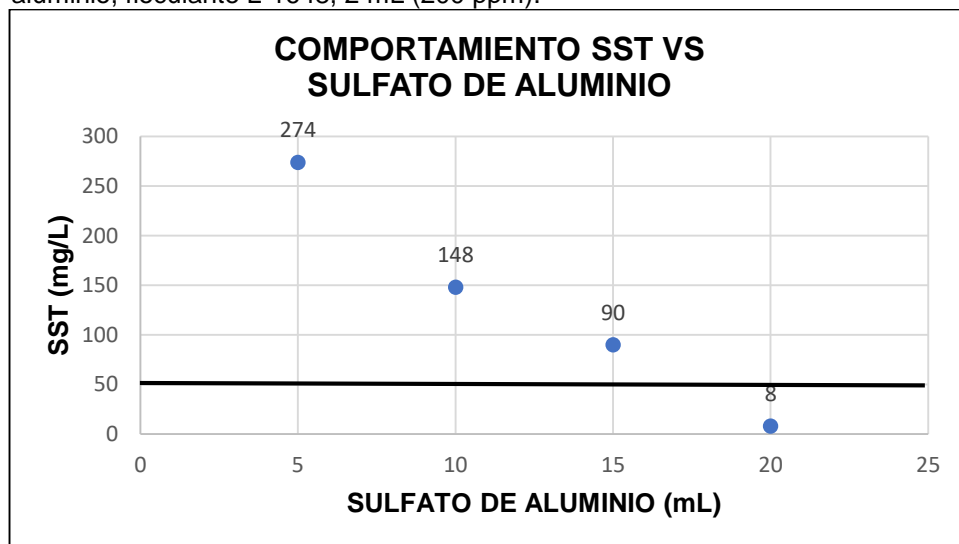
Gráfica 6. Comportamiento sulfatos, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 2mL (200 ppm).



Como se muestra en la **Gráfica 6**, el comportamiento que presentan los sulfatos es contrario al que se necesita, ya que este aumenta de forma exponencial según aumenta la dosificación de coagulante sulfato de aluminio, lo que ocasiona que dicho parámetro exceda los límites establecidos.

En la **Gráfica 7**, se observa como los sólidos suspendidos totales disminuyen conforme la dosificación de coagulante aumenta. En el beaker 1 se obtuvo un valor de 274 mg/L de sólidos suspendidos totales; para las siguientes dosificaciones de 10 mL (2000 ppm) y 15 mL (3000 ppm) de sulfato de aluminio se obtuvieron valores por 148 mg/L y 90 mg/L respectivamente. Para el beaker 4 se apreció un valor de 8 mg/L y fue la única dosificación que dio como resultado un valor menor al límite establecido de 250 mg/L.

Gráfica 7. Comportamiento sólidos suspendidos totales, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 2 mL (200 ppm).



En cuanto al parámetro de temperatura, se puede observar en la **Tabla 9**, que este oscila entre 26.7°C y 27.3°C en los cuatro beakers y por lo tanto cumple con el valor límite permitido menor a 40°C.

Este procedimiento se realizó de la misma manera con los otros dos test, los resultados de estas pruebas se presentan en las **Tablas 10 y 11**.

5.5 SEGUNDO TEST DE JARRAS

La **Figura 14**, muestra los resultados visuales del segundo test de jarras, en el cual se utilizó polímero L-1648 a una dosificación de 3 mL (300 ppm).

Figura 14. Resultados segundo test de jarras floculante L-1648, 3 mL (300 ppm).



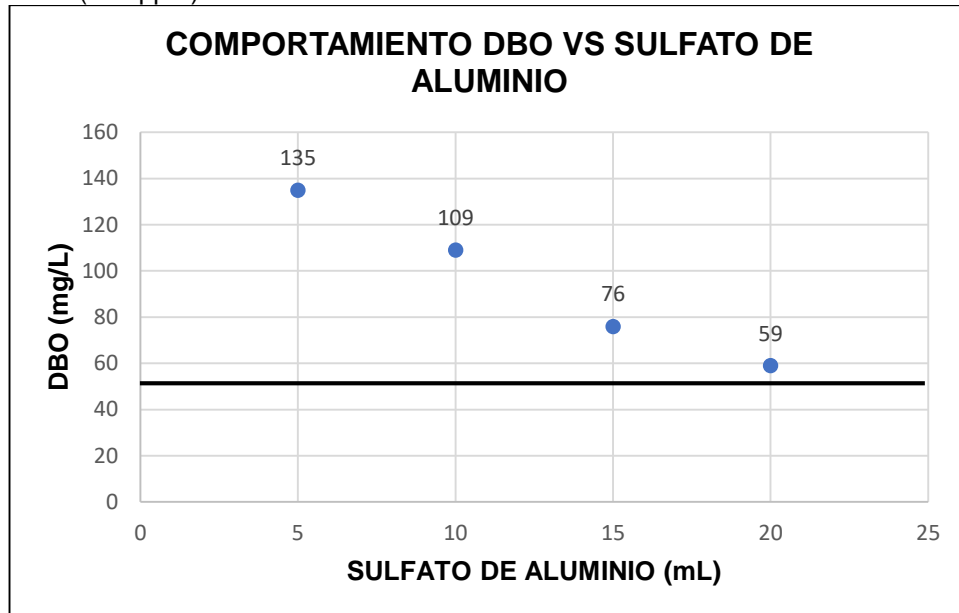
Tabla 10. Resultados segundo test de jarras floculante L-1648, 3 mL (300 ppm).

L-1648	Beaker 1	Beaker 2	Beaker 3	Beaker 4
Coagulante (mL) (Sulfato de aluminio al 10%)	5	10	15	20
Floculante (mL) (L-1648 al 1%)	3	3	3	3
Bario (mg/L)	5	2	0	0
Sulfatos (mg/L)	410	700	1000	1200
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	120	70	5	4
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (mg/L)	135	109	76	59
Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg/L)	353	287	199	154
pH	7.87	7.25	5.01	4.34
Temperatura (°C)	26.2	26.2	26.1	26.2
Indice de Willcomb	2	4	6	4

Del mismo modo como se procedió con el primer test de jarras, se observa que el índice de Willcomb para la segunda prueba de test de jarras oscila entre 2 y 6. Para el beaker 1 la formación de flóculo fue muy pequeña y casi imperceptible, dejando gran turbiedad en el fluido. En los casos de beakers 2 y 4, se clasificó con un índice de 4 debido a que, a pesar de haber aglutinamiento, éste se sedimenta muy

lentamente. Por último, el beaker 3 muestra el mejor flóculo de la prueba, con un flóculo de tamaño relativamente grande, esponjoso, pero que sedimenta con lentitud.

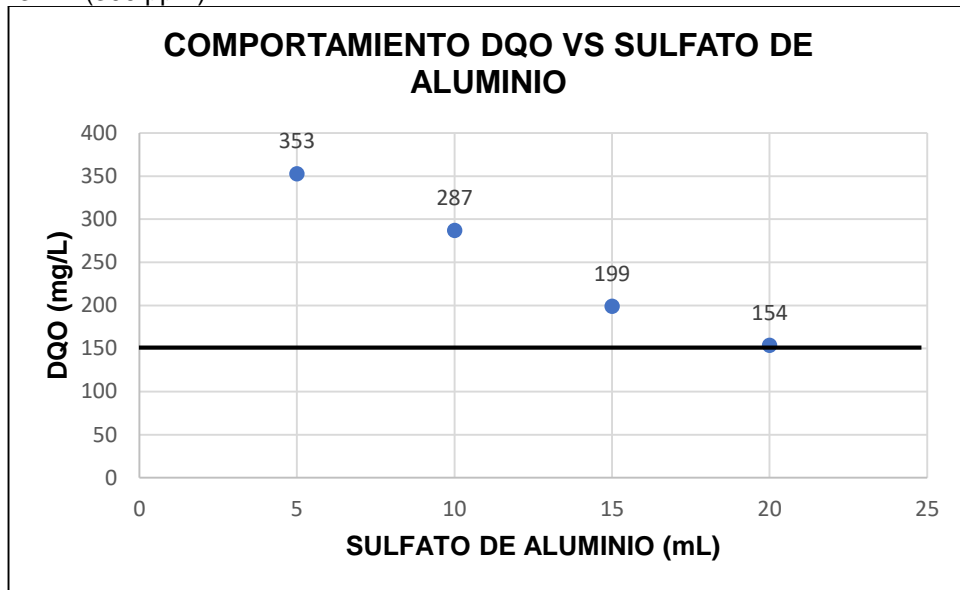
Gráfica 8. Comportamiento DBO, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 3 mL (300 ppm).



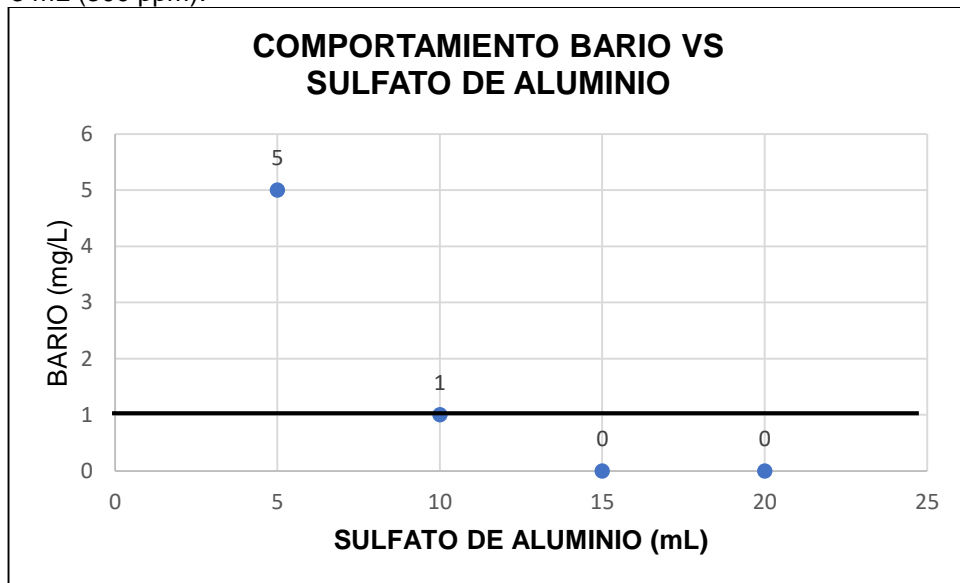
En la **Gráfica 8**, se observa el comportamiento que presenta el DBO según la dosificación de sulfato de aluminio como coagulante y manteniendo una dosificación de floculante L-1648 de 3 mL (300 ppm). Se obtuvo, que para una dosificación de 5 mL (1000 ppm) de coagulante, el DBO obtenido fue de 135 mg/L; para la siguiente cantidad de coagulante, 10 mL (2000 ppm), fue de 109 mg/L. La tendencia que se aprecia es la disminución de la concentración de DBO con el aumento de la dosificación de sulfato de aluminio. El valor más bajo obtenido fue de 59 mg/L, el cual se presentó en el beaker 4, excediendo el límite máximo permitido.

En las **Gráficas 9 y 10**, al igual que en el primer test, los parámetros de DQO y bario presente en el fluido de completamiento y workover tratado, disminuyeron de manera exponencial. Esto quiere decir que, a mayor cantidad de coagulante presente, se registra menor valor de DBO y bario. En el caso del bario, se observa como en los beaker 3 y 4, la remoción en el fluido es del 100%, y en el beaker 2, la cantidad que se obtuvo es la máxima permitida por la norma.

Gráfica 9. Comportamiento DQO, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 3 mL (300 ppm).

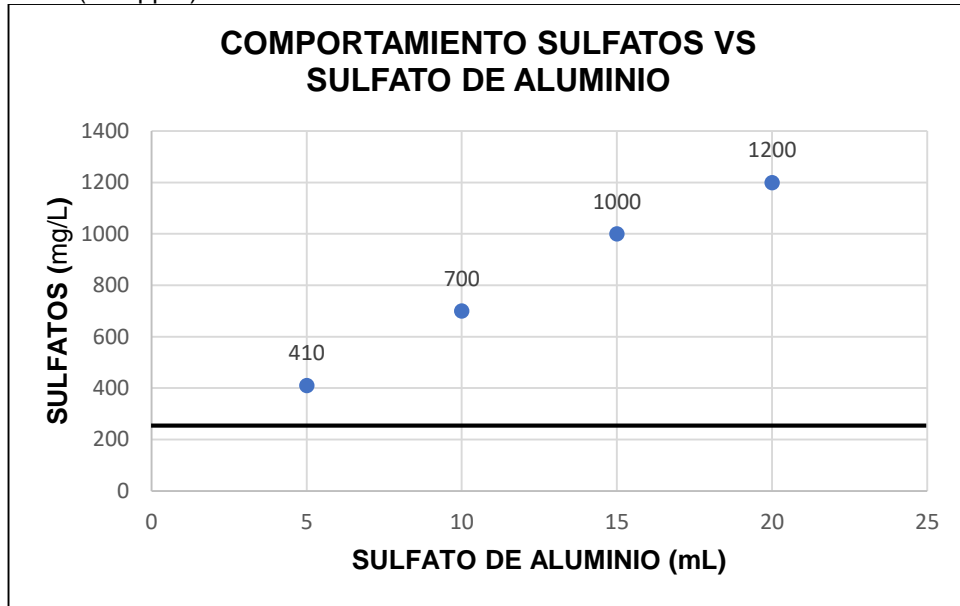


Gráfica 10. Comportamiento bario, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 3 mL (300 ppm).



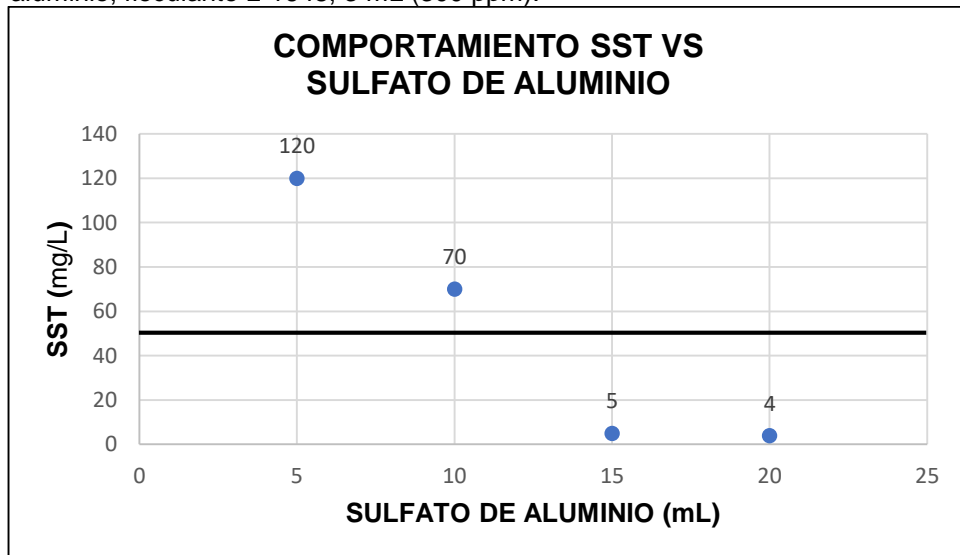
El comportamiento de los sulfatos, como se muestra en la **Gráfica 11**, es similar a la observada en el primer test de jarras (**Gráfica 6**), lo que permite deducir que este parámetro se ve afectado por la dosificación de coagulante sulfato de aluminio, y no por la cantidad de coagulante L-1648 presente en la prueba.

Gráfica 11. Comportamiento sulfatos, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 3 mL (300 ppm).



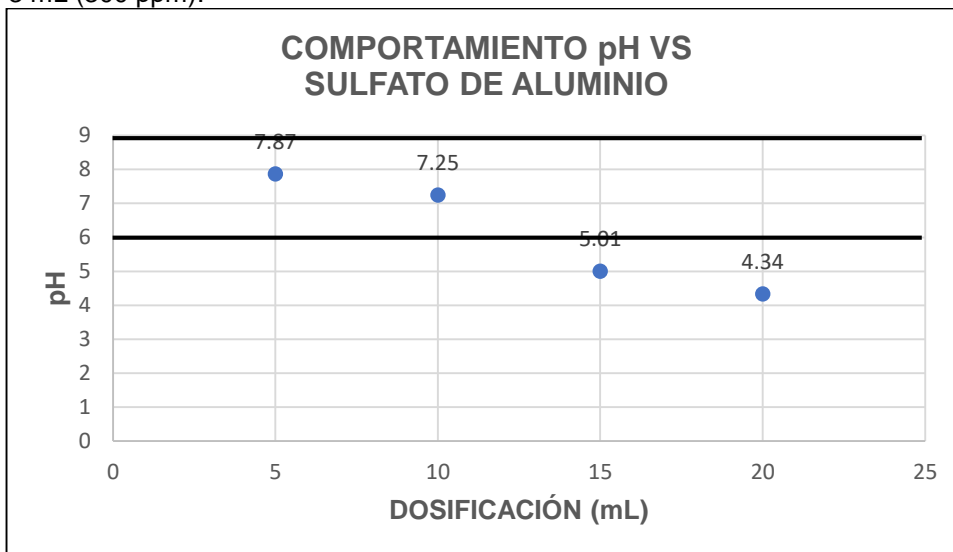
La **Gráfica 12**, indica un comportamiento a disminuir en la concentración de sólidos suspendidos totales al aumentar la cantidad de coagulante. En comparación con los resultados obtenidos en la primera prueba (**Gráfica 7**), los valores obtenidos fueron menores en la segunda prueba de test de jarra, debido a la aplicación de una mayor dosificación de coagulante L-1648.

Gráfica 12. Comportamiento sólidos suspendidos totales, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 3 mL (300 ppm).



De igual manera como se manifestó en el primer test de jarras, se presenta un cambio de pH según la cantidad de coagulante añadido, con la particularidad de que, al haber aumentado la dosificación de floculante, se obtuvo que el pH disminuye en mayor proporción que el registrado inicialmente. Para el beaker 1 y 2, se registra un pH de 7.87 y 7.25 respectivamente, los cuales se encuentran dentro del rango de la norma. En definitiva, en la prueba anterior el valor de pH mínimo observado fue de 4.16, mientras que el valor en esta prueba fue de 4.34.

Gráfica 13. Comportamiento pH, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 3 mL (300 ppm).



Por último, la temperatura registrada osciló entre 26.2°C y 26.3°C. Dado que la temperatura de este test es similar a las del primer test, se puede decir que el comportamiento de este parámetro no depende de la dosificación química de coagulante y/o floculante, sino de las condiciones climáticas.

5.6 TERCER TEST DE JARRAS

La **Figura 15**, muestra los resultados visuales del tercer test de jarras, en el cual se utilizó polímero L-1648 a una dosificación de 4 mL (400 ppm).

Figura 15. Resultados tercer test de jarras floculante L-1648, 4 mL (400 ppm).

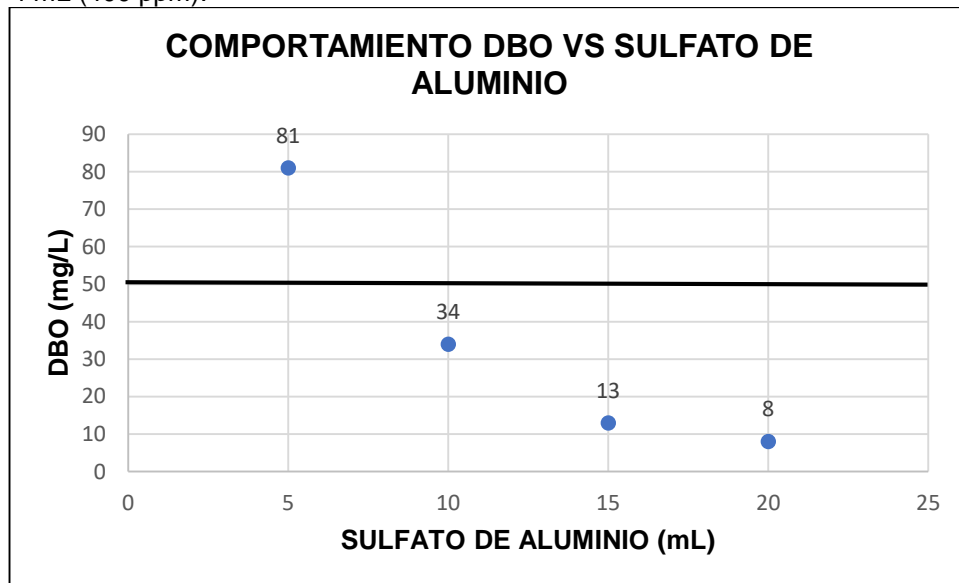


Tabla 11. Resultados tercer test de jarras floculante L-1648, 4 mL (400 ppm).

L-1648	BEAKER 1	BEAKER 2	BEAKER 3	BEAKER 4
Coagulante (mL) (Sulfato de aluminio al 10%)	5	10	15	20
Floculante (mL) (L-1648 al 1%)	4	4	4	4
Bario (mg/L)	4	3	1	0
Sulfatos (mg/L)	400	760	1090	1300
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	190	1	1	0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (mg/L)	81	34	13	8
Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg/L)	210	89	33	12
pH	7.5	6.19	5.62	4.53
Temperatura (°C)	25.6	25.6	25.2	25.6
Índice de Willcomb	2	6	4	4

Para esta última prueba, con una dosificación de 4 mL (400 ppm) de floculante L-1648, se observa que el índice de Willcomb fue bajo, ya que el promedio obtenido fue de 4. Para el beaker 1, el índice es de 2, debido al tamaño del floculo el cual es muy pequeño y casi no se percibe. En los beaker 3 y 4 se dio una baja puntuación debido a que el floculo que se presenta no sedimenta rápidamente; además no presenta un gran aglutinamiento, y por ello el fluido en los beakers se ve disuelto. Para el beaker 2, se observó un buen tamaño de floculo, el cual sedimenta a una velocidad baja.

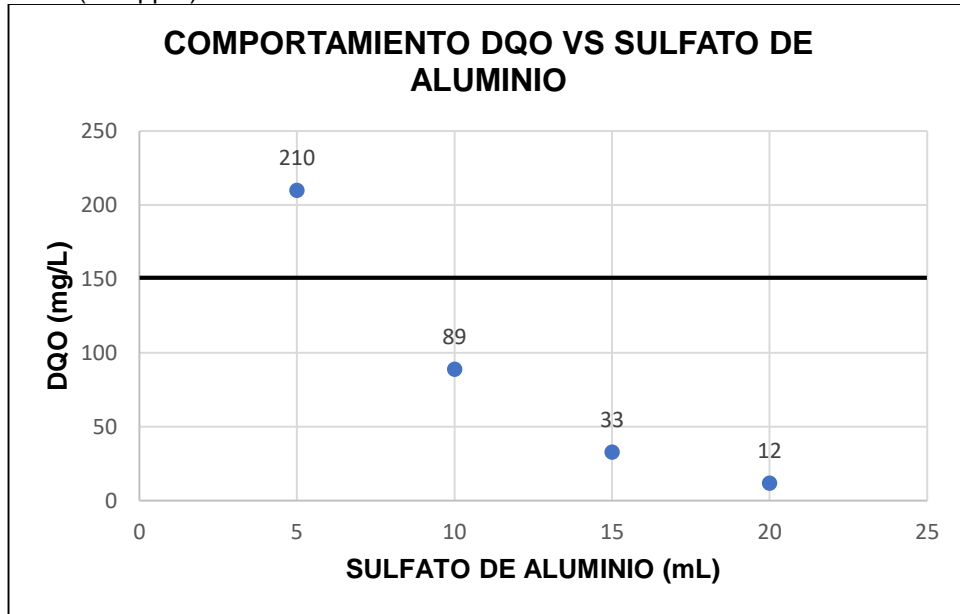
Gráfica 14. Comportamiento DBO, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 4 mL (400 ppm).



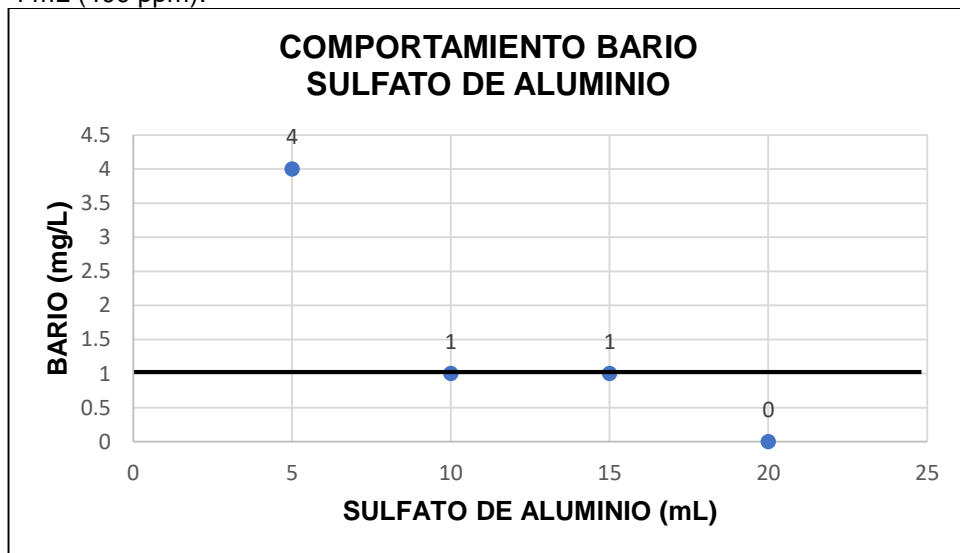
Del mismo modo como se observó en los test anteriores, la remoción del DBO fue directamente proporcional a la cantidad de coagulante y floculante adicionado a los beakers. Estos resultados se pueden apreciar en la **Gráfica 14**.

En las **Gráficas 15** y **16** se muestran los comportamientos de DQO y bario respectivamente. A diferencia del segundo test, donde el bario del beaker 3 (**Gráfica 10**) es removido en su totalidad, en esta última prueba la tendencia es diferente, y a esa misma cantidad de coagulante, 15 mL (3000 ppm), no se removió en su totalidad este parámetro, sino que se obtuvo un valor de 1 mg/L. Los beakers 2, 3 y 4 se encuentran dentro del rango de valor permitido por la Resolución 631 de 2015.

Gráfica 15. Comportamiento DQO, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 4 mL (400 ppm).

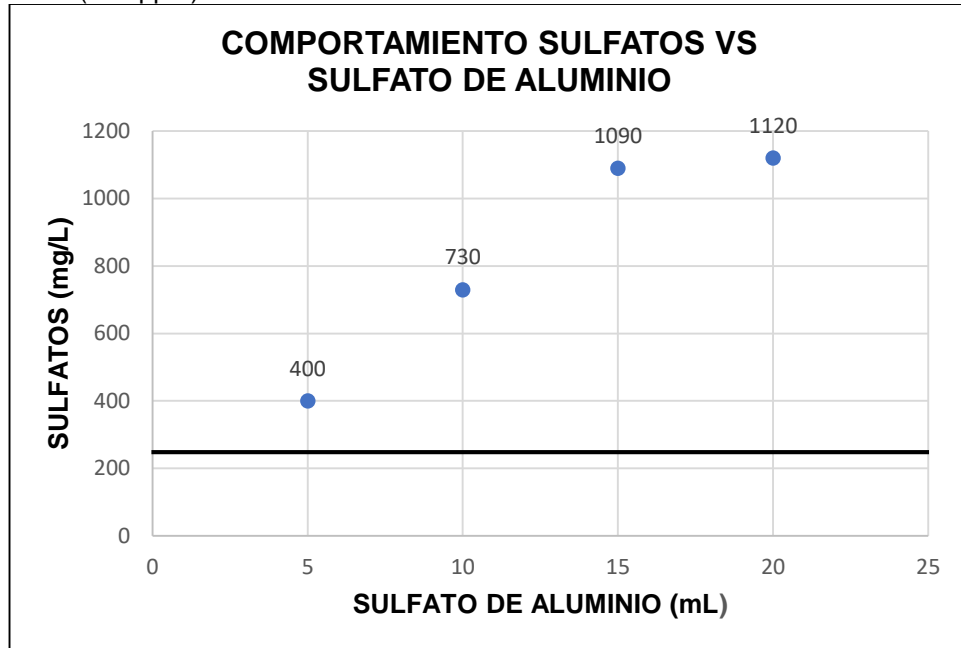


Gráfica 16. Comportamiento bario, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 4 mL (400 ppm).

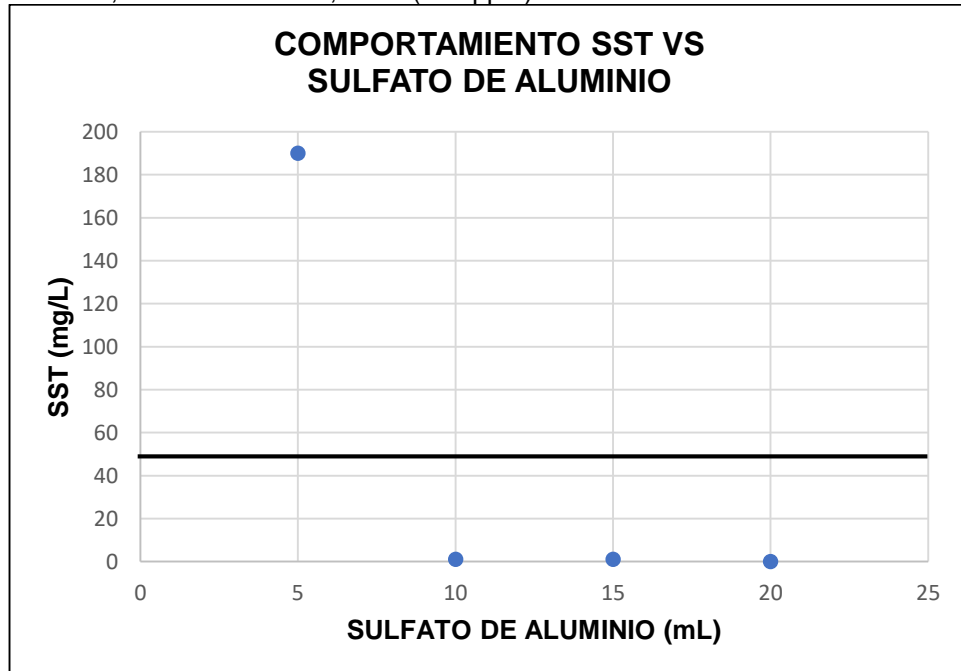


Al igual que en los anteriores test, se observa que la cantidad de sulfatos contenidos en el los beakers luego del tratamiento es proporcional a la cantidad de sulfato de aluminio adicionado. Estos resultados se pueden observar en la **Gráfica 17**.

Gráfica 17. Comportamiento sulfatos, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 4 mL (400 ppm).



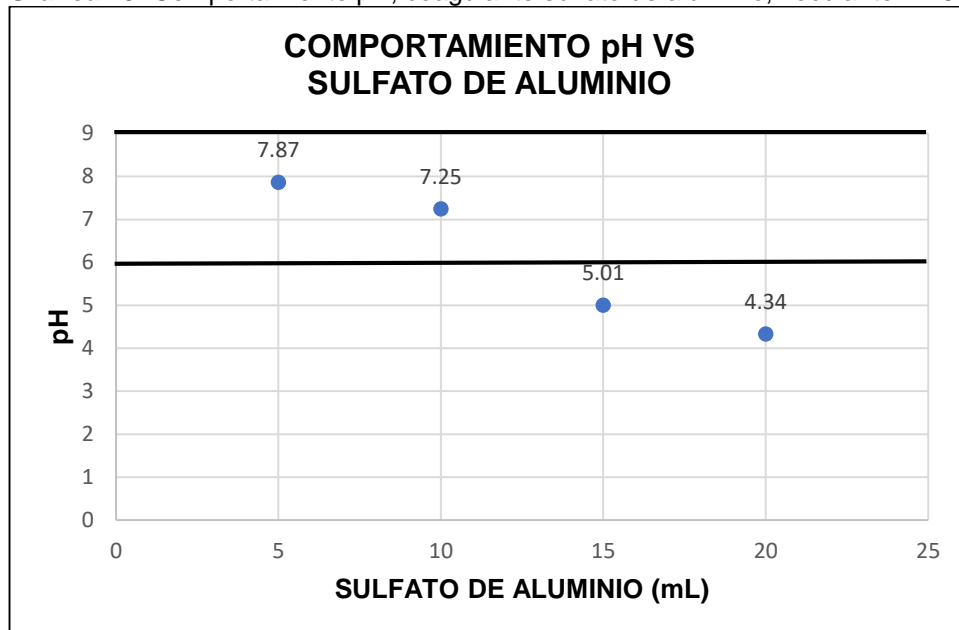
Gráfica 18. Comportamiento sólidos suspendidos totales, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 4 mL (400 ppm).



En la **Gráfica 18**, se aprecia como en los beakers 2, 3 y 4 los sólidos suspendidos totales son removidos casi en su totalidad, lo que indica que a mayor dosificación de floculante L-1648, mayor será la remoción de dicho parámetro.

Adicionalmente, se observa un cambio en el pH dependiente de la dosificación realizada. Al igual que en los casos anteriores se observa que es inversamente proporcional a la dosificación. Estos resultados se pueden apreciar en la **Gráfica 19**.

Gráfica 19. Comportamiento pH, coagulante sulfato de aluminio, floculante L-1648, 4 mL.



Comparando los resultados obtenidos para la selección de la dosificación de coagulante sulfato de aluminio, se determinó que la dosificación para el tratamiento de fluidos de completamiento y workover es de 10 mL (2000 ppm), con una dosificación de floculante L-1648 de 4 mL (400 ppm). Esto se debe a que los parámetros bajaron, el DBO de 423 a 34 mg/L, el DQO de 1106 a 89 mg/L, el bario de 6 a 1, los sólidos suspendidos totales de 672 a 1 y el pH de 11.12 a 6.19, los cuales se encuentran dentro de los límites de la normatividad vigente.

Con relación a los resultados obtenidos de sulfatos, se observa que al aumentar la dosificación de coagulante sulfato de aluminio aumenta la cantidad de este parámetro, por lo tanto, en las tres pruebas realizadas el valor obtenido después del tratamiento se encuentra por encima del límite permitido.

En cuanto al índice de Willcomb, éste fue de 6, por lo que se considera que el flóculo que se produjo posee un tamaño adecuado para la aglomeración y sedimentación del mismo, lo que produce una buena clarificación del fluido.

5.7 CONDICIONES FINALES DEL AGUA TRATADA Y ANALISIS DE RESULTADOS

Después del proceso descrito en los numerales anteriores, se realizó una comparación entre el fluido sin tratar y posteriormente del tratamiento.

La **Tabla 12**, presenta la comparación de los resultados de los análisis desarrollados en laboratorio, para una dosificación de coagulante sulfato de aluminio a 10 mL (2000 ppm) y una dosificación de floculante L-1648 a 4 mL (400 ppm).

Tabla 12. Resultados análisis de fluido tratado.

Parámetro	Valor fluido sin tratar	Valor fluido tratado	Resolución 0631 de 2015
Bario (mg/L)	6	1	≤1.0
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	672	1	≤50.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (mg/L)	423	34	≤50.0
Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg/L)	1106	89	≤150.0
pH	11.12	6.19	6.00 A 9.00
Sulfatos (mg/L)	22	730	≤250.0

Como se muestra en la tabla anterior, el nivel de DBO paso de 423 a 34 mg/L cumpliendo con la normatividad vigente, resolución 0631 de 2015; con relación a los sólidos suspendidos, la cantidad paso de 672 a 1 mg/L, lo que indica la eliminación de estos para poder verter el fluido en la fuente hídrica.

El cambio en la acidez total se debe al ajuste de pH por medio de la neutralización ocasionada por el coagulante que nos arroja un valor de pH de 6.19 estando este valor dentro de los límites de la norma actual.

Finalmente, los sulfatos contenidos aumentaron debido a la cantidad de sulfato de aluminio adicionado, por lo que se debe implementar la utilización de una tecnología de ultrafiltración y/o el uso de osmosis inversa.

En resumen, los reactivos y las concentraciones seleccionadas para el tratamiento de un barril de fluido de completamiento y workover para ser vertida en fuente hídrica se presentan en las **Ecuaciones 1, 2, 3 y 4**.

Ecuación 1. Volumen coagulante.

$$\begin{array}{l} 10 \text{ mL Sulfato de aluminio al } 10\% \rightarrow 500 \text{ mL de fluido} \\ x \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \rightarrow 159000 \text{ mL de fluido} \\ \\ x = 3180 \text{ mL Al}_2(\text{SO}_4)_3 \text{ al } 10\% \\ x = 3.18 \text{ L Al}_2(\text{SO}_4)_3/\text{Bbl} \end{array}$$

Donde:

X = Volumen de sulfato de aluminio al 10% necesario para el tratamiento de un (1) barril de fluido de completamiento y workover del Campo Castilla.

Ecuación 2. Cantidad coagulante.

$$\begin{array}{l} 50 \text{ g Sulfato de aluminio} \rightarrow 500 \text{ mL} \\ x \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \rightarrow 3180 \text{ mL} \\ \\ x = 318 \text{ g Sulfato de aluminio} \\ x = 0.318 \text{ Kg Al}_2(\text{SO}_4)_3/\text{Bbl} \end{array}$$

Donde:

X = Cantidad de sulfato de aluminio necesario para el tratamiento de un (1) barril de fluido de completamiento y workover del Campo Castilla.

Son necesarios 0.318 Kg de sulfato de aluminio para tratar un barril de fluido de completamiento y workover.

Ecuación 3. Volumen floculante.

$$\begin{array}{l} 4 \text{ mL Polímero L - 1648 al } 1\% \rightarrow 500 \text{ mL de fluido} \\ x \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \rightarrow 159000 \text{ mL de fluido} \\ \\ x = 1272 \text{ mL de Polímero L - 1648 al } 1\% \\ x = 1.272 \text{ L L - 1648/Bbl} \end{array}$$

Donde:

X = Volumen de polímero L-1648 al 1% necesario para el tratamiento de un (1) barril de fluido de completamiento y workover del Campo Castilla.

Ecuación 4. Cantidad floculante.

$$\begin{array}{rcl} 5 \text{ g Polímero L - 1648} & \rightarrow & 500 \text{ mL} \\ x & & \rightarrow 1272 \text{ mL} \\ \\ x = 12.72 \text{ g Polímero L - 1648} \\ x = 0.01272 \text{ Kg L - 1648/BBL} \end{array}$$

Donde:

X = Cantidad de polímero L-1648 necesario para el tratamiento de un (1) barril de fluido de completamiento y workover del Campo Castilla.

Son necesarios 0.01272 Kg de sulfato de aluminio para tratar un barril de fluido de completamiento y workover.

5.8 ANÁLISIS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Por medio de la herramienta Minitab®, se creó el diseño factorial descrito anteriormente en el plan de pruebas. Debido a que en las pruebas realizadas se descartó el uso del policloruro de aluminio como floculante, el diseño experimental se redujo a dos factores (cantidad añadida de coagulante sulfato de aluminio y floculante polímero L-1648).

De acuerdo a lo anterior, los parámetros relevantes del diseño factorial arrojados por Minitab® se pueden observar en la **Figura 16**.

Figura 16. Diseño Factorial Completo.

Resumen del diseño			
Factores:	2	Diseño de la base:	2; 4
Corridas:	4	Réplicas:	1
Bloques:	1	Puntos centrales (total):	0

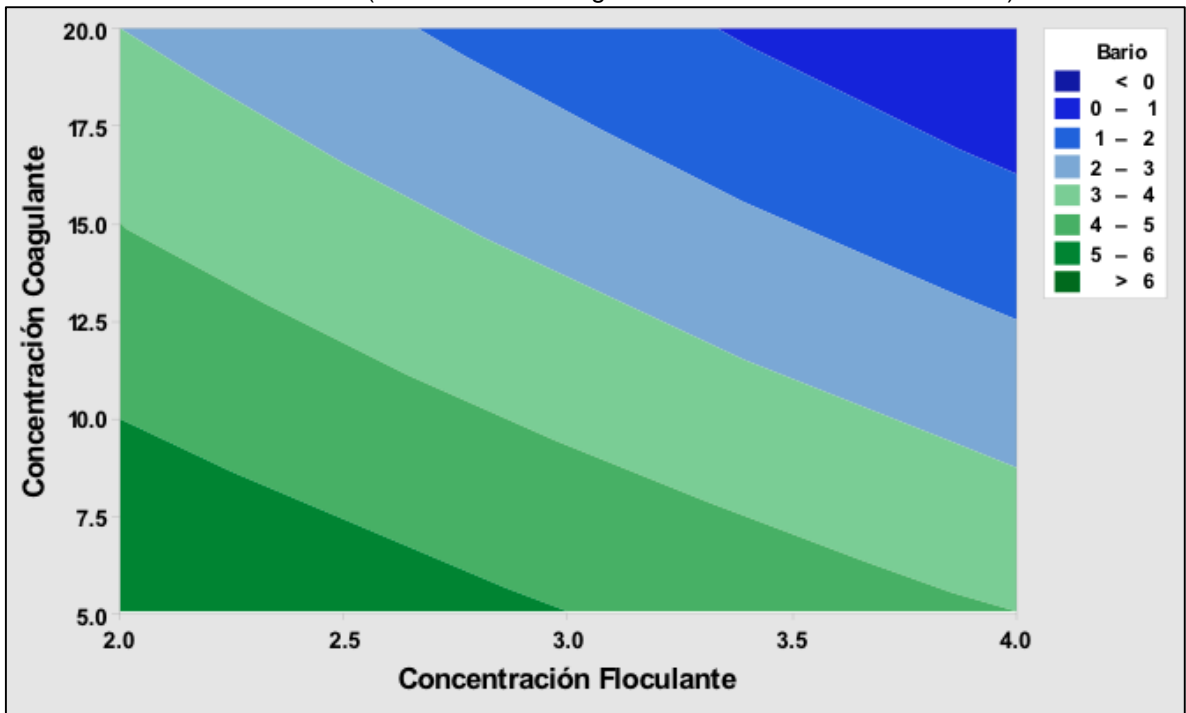
Finalmente, para el diseño fue necesario incorporar ciertas variables de respuestas por lo que se tuvo en cuenta los valores de aquellos parámetros del fluido de completamiento y workover que excedían los valores máximos permitidos por la Resolución 0631 de 2015. Los parámetros utilizados fueron: bario, sulfatos, sólidos suspendidos totales, pH, DBO, DQO. En la **Figura 17**, se observa la tabla correspondiente a los parámetros utilizados para realizar el diseño factorial.

Figura 17. Parámetros diseño factorial.

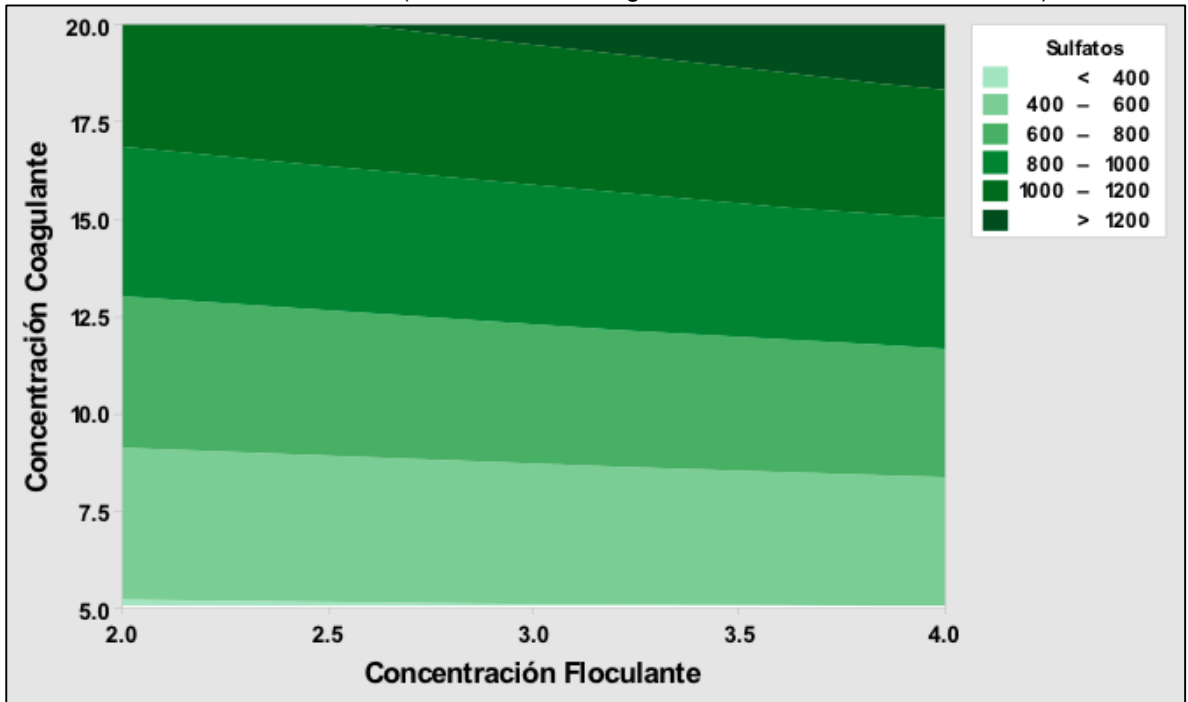
+	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
	OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	Concentración Floculante	Concentración Coagulante	Bario	Sulfatos	pH	Sólidos Suspendidos Totales	DBO	DQO
1	1	1	1	1	2	5	6	390	8.05	274	211	497
2	3	2	1	1	2	20	3	1160	4.16	8	126	331
3	4	3	1	1	4	20	0	1300	4.53	0	8	12
4	2	4	1	1	4	5	4	400	7.50	190	81	210
5												

A continuación, en las **Gráficas 20, 21, 22, 23, 24 y 25** se presentan los contornos de las combinaciones entre los factores y niveles en el diseño factorial.

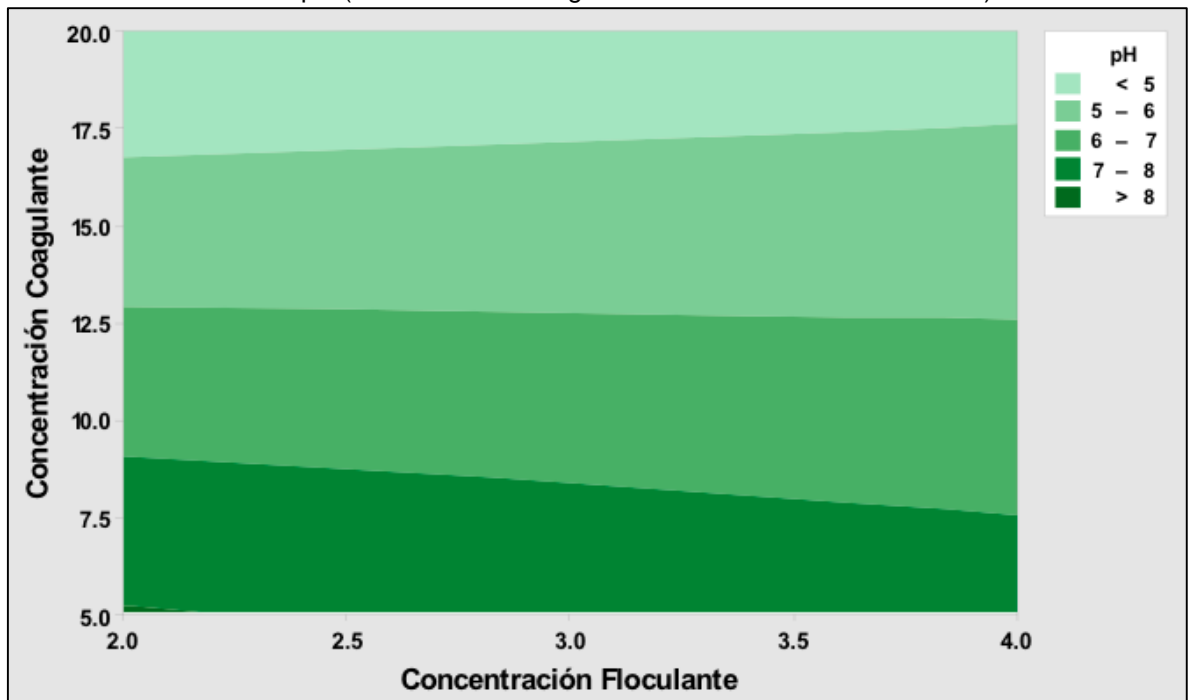
Gráfica 20. Contorno de bario (concentración coagulante vs concentración floculante)



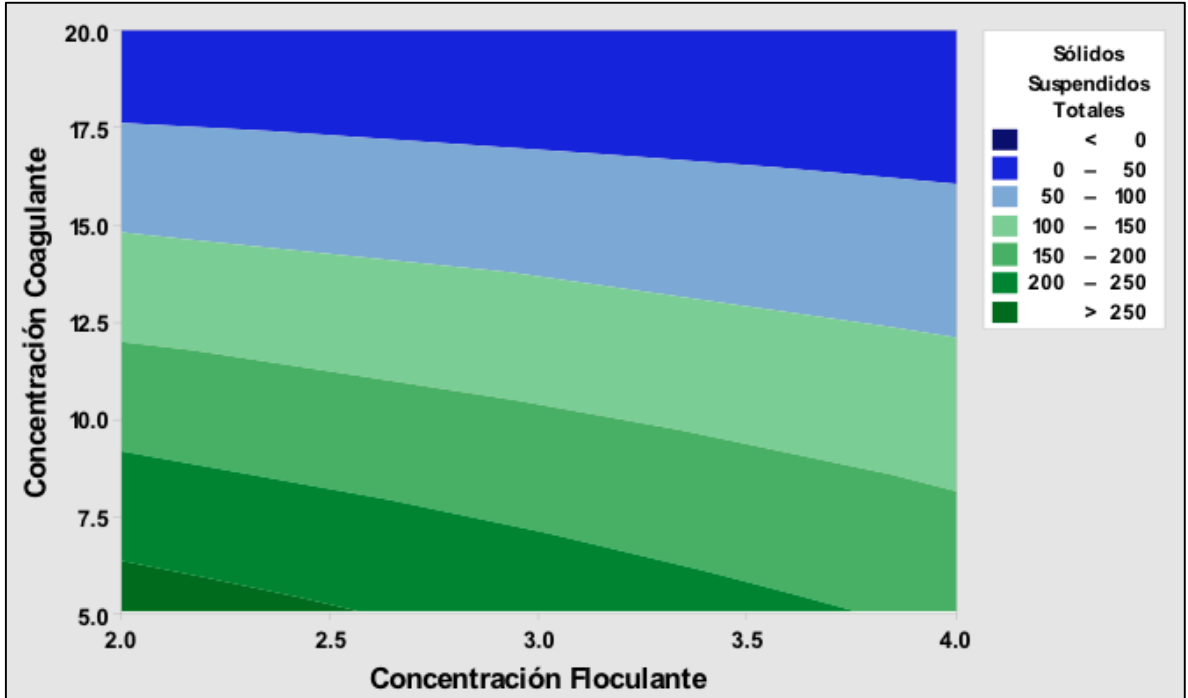
Gráfica 21. Contorno de sulfatos (concentración coagulante vs concentración floculante)



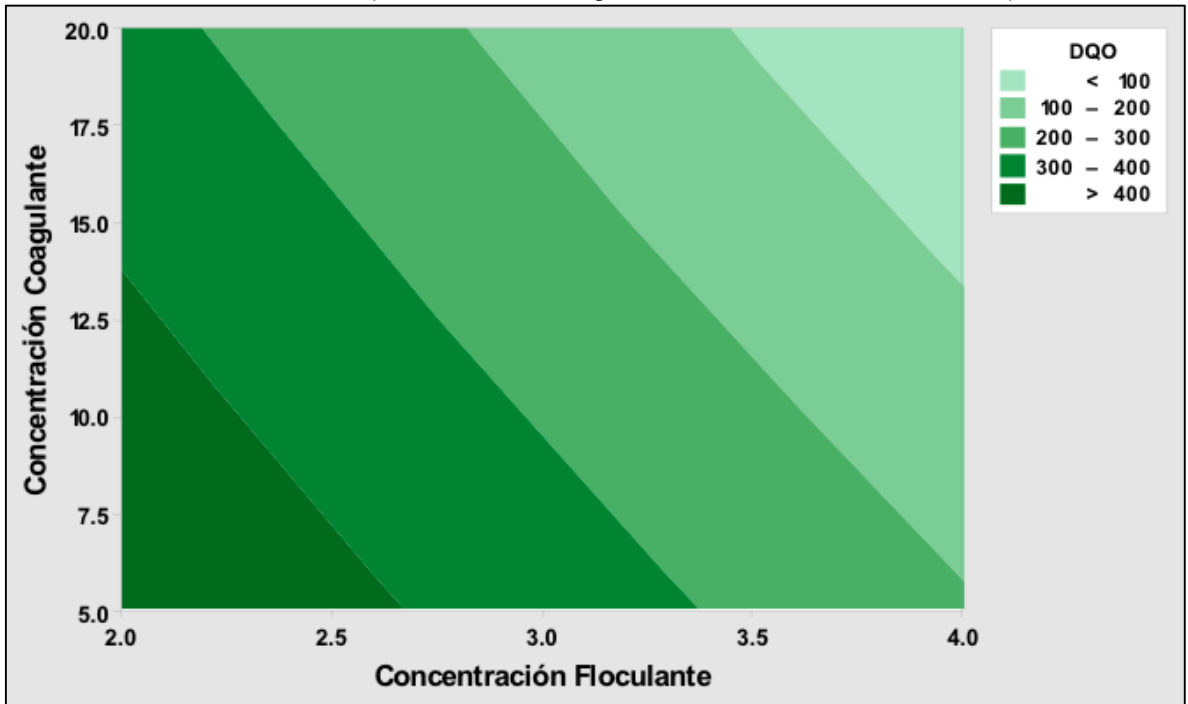
Gráfica 22. Contorno de pH (concentración coagulante vs concentración floculante)



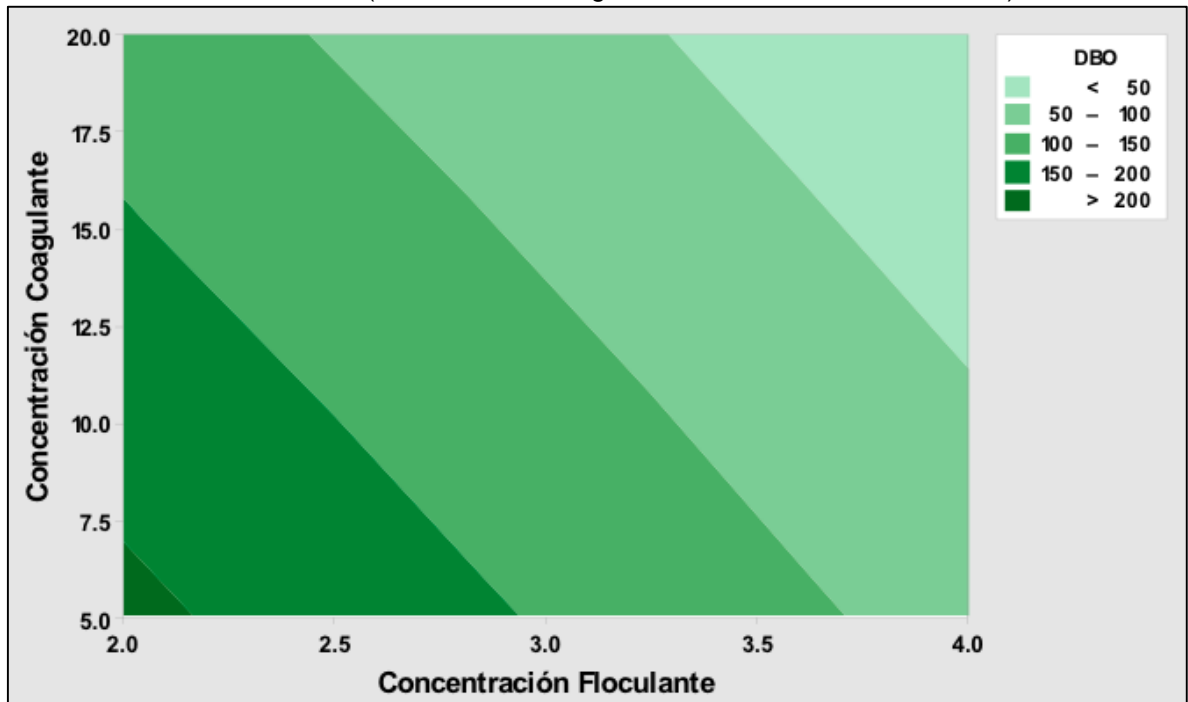
Gráfica 23. Contorno de SST (concentración coagulante vs concentración floculante)



Gráfica 24. Contorno de DQO (concentración coagulante vs concentración floculante)



Gráfica 25. Contorno de DBO (concentración coagulante vs concentración floculante)



En las gráficas anteriores, se observa el comportamiento de los parámetros seleccionados para el diseño factorial, cuyos valores son los obtenidos en los diferentes test de jarras, donde en el eje “y” se encuentra la concentración de coagulante sulfato de aluminio y en el eje “x” se encuentra la concentración de floculante polímero L-1648. Para leer la gráfica se debe seleccionar la concentración de coagulante y floculante al cual se desea estimar el valor del parámetro, cortando la gráfica y leyendo, según el color en el que se encuentra el punto de corte, el rango de valor descrito en las convenciones de cada gráfica.

Según las pruebas de laboratorio realizadas, la combinación de coagulante y floculante que mejor se ajusta al valor de los parámetros presentes en la Resolución 0631 y que favorece el tratamiento del fluido de completamiento y workover en la Planta El Recreo, corresponde a la combinación C18 del diseño experimental, la cual se encuentra presente en la **Tabla 3**.

Por otro lado, cabe resaltar que el diseño experimental propuesto de acuerdo a unos niveles y factores no es congruente con el desarrollo experimental que se llevó a cabo.

5. ANÁLISIS FINANCIERO

6.1 INTRODUCCIÓN

Para la industria petrolera es indispensable implementar programas para la disposición del agua residual. Estos deben incluir el tratamiento y monitoreo tanto de aquellas aguas que se dispondrán para la descarga como de las receptoras, todo ello con la finalidad de minimizar el impacto generado en el medio ambiente y, además, cumplir con los valores permisibles contemplados en la legislación colombiana sobre protección ambiental en el caso de actividades con hidrocarburos. El proyecto a desarrollar pretende minimizar los costos de tratamiento y aumentar la eficiencia de la planta de fluidos de completamiento y workover, cumpliendo con la normatividad actual.

En la actualidad la empresa ATP Ingeniería S.A.S cuenta con una capacidad para tratar un máximo de 1,600 barriles de fluido por día, La unidad de tratamiento de aguas de la planta El Recreo presenta baja eficiencia en el tratamiento de los fluidos de completamiento y workover respecto a la Resolución 0631 (17 marzo 2015). Por lo tanto, se propone aumentar la eficiencia de la planta por medio de la dosificación adecuada de químicos para el tratamiento de fluidos. Con lo anterior, se espera una disminución de los tiempos de tratamiento, reducción del número de personas o eliminación del turno noche, reducción de costos asociados a la compra de insumos, mayor eficiencia en el tratamiento de los fluidos y cumplimiento con la legislación ambiental vigente.

Para realizar la evaluación financiera de este proyecto se utilizó la metodología del Valor Presente Neto (VPN) desde el punto de vista de la compañía prestadora de servicios ATP Ingeniería S.A.S. Se utilizó como unidad monetaria de valor corriente, el peso colombiano (COP). La tasa de Interés de Oportunidad (TIO) de la compañía es del 13 % efectivo anual con un horizonte de tiempo de un año dividido en 12 periodos mensuales.

El proyecto requiere el análisis de costos de operación (OPEX), teniendo en cuenta dos escenarios, el escenario A, el cual hace referencia al tratamiento físico-químico y el escenario B, el cual hace referencia a la dosificación química propuesta.

6.2 ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN (OPEX)

Son los costos incurridos en el lanzamiento de un producto, un negocio o una empresa. Serían los costos del día a día en los que incurre la compañía, que irían desde los costos por ventas, administración, mantenimiento, producción, hasta los

de publicidad, salarios, materia prima o suministros, entre otros. En definitiva, serían la suma de costos operativos de una empresa³⁶.

6.2.1 Escenario A. Para este escenario se tendrá en cuenta la cantidad de sulfato de aluminio y polímero L-1648 en Kg/Bbl utilizados por la empresa ATP Ingeniería S.A.S. para el tratamiento de fluidos de completamiento y workover, debido a que dichos insumos fueron los seleccionados para optimizar el tratamiento del fluido.

Actualmente la empresa ATP Ingeniería S.A.S. recibe en su planta El Recreo un volumen promedio de 3,000 Bbl mensuales de fluido de completamiento y workover proveniente del Campo Castilla. Para efectos de los cálculos, un periodo de un mes constará de 30 días.

Para este escenario, la empresa ATP Ingeniería S.A.S. utiliza 1.7 Kg/Día de polímero L-1648 y 39.7 Kg/Día de sulfato de aluminio para el tratamiento de 100 BPD.

Tabla 13. Costos diarios de operación (Escenario A).

Costos diarios de operación	
Insumos	\$COP
Polímero L-1648 (1.7 Kg)	40,109
Sulfato de aluminio (39.7 Kg)	79,400
TOTAL	119,509

Fuente: ATP Ingeniería S.A.S

En la **Tabla 13**, se en listan los insumos utilizados para el tratamiento con sus respectivos costos diarios para un total de \$COP 119,509/Día.

Se tiene entonces que el costo de operación para el escenario A es de:

Ecuación 5. Costos operación escenario A.

$$\frac{\$3'585.270 \text{ Mes (30 días)}}{3,000 \text{ Bbl Promedio}} = COP 1195.09/BBL$$

El número de periodos de tratamiento al año es de 12 dado que se realizará mensualmente. A continuación, en la **Tabla 14**, se presentan los costos para el escenario A.

³⁶ BACA CURREO, Guillermo. Ingeniería económica, 8 ed. Bogotá: Fondo Educativo Panamericano, 2007, p. 197.

Tabla 14. Costos de operación tratamiento escenario A.

Costos de operación tratamiento			
Periodos (mes)	Costo de tratamiento (\$COP/Bbl)	Volumen tratado (Bbls)	Total (\$COP)
1	1195.09	3,000	3'585.270
2	1195.09	3,000	3'585.270
3	1195.09	3,000	3'585.270
4	1195.09	3,000	3'585.270
5	1195.09	3,000	3'585.270
6	1195.09	3,000	3'585.270
7	1195.09	3,000	3'585.270
8	1195.09	3,000	3'585.270
9	1195.09	3,000	3'585.270
10	1195.09	3,000	3'585.270
11	1195.09	3,000	3'585.270
12	1195.09	3,000	3'585.270

6.2.2 Escenario B. Los costos de los insumos para el proceso de tratamiento de fluidos de completamiento y workover con la dosificación de sulfato de aluminio y polímero L-1648 que se propone, se presentan en la **Tabla 15**, teniendo en cuenta que para este escenario se utilizan 1.272 Kg/Día de polímero L-1648 y 31.8 Kg/Día de sulfato de aluminio para el tratamiento de 100 Bbls del fluido.

El coagulante (sulfato de aluminio) viene en una presentación de 25 Kg con un costo de \$COP 50,000. Realizando la siguiente conversión obtenemos el valor por Kg de coagulante por día:

Ecuación 6. Valor Kg/Día sulfato de aluminio escenario B.

$$\frac{0.318 \text{ Kg sulfato de aluminio}}{\text{Bbl}} * 100 \text{ Bbl} * \frac{1 \text{ Bulto}}{25 \text{ Kg}} * \frac{\$50,000}{1 \text{ Bulto}} = \$63,600/\text{Kg}$$

Para el floculante Polímero L-1648 viene en una presentación de 25 Kg con un costo de \$COP 589,836. Realizando la siguiente conversión obtenemos el valor por Kg de floculante por día:

Ecuación 7. Valor Kg/Día polímero L-1648 escenario B.

$$\frac{0.01272 \text{ Kg polímero L - 1648}}{\text{Bbl}} * 100 \text{ BBL} * \frac{1 \text{ Bulto}}{25 \text{ Kg}} * \frac{\$589,836}{1 \text{ Bulto}} = \$30,011/\text{Kg}$$

En la **Tabla 15**, se en listan los insumos utilizados durante el tratamiento con sus respectivos costos diarios para un total de \$COP 93,611/Día.

Tabla 15. Costos diarios de operación (Escenario B).

Costos diarios de operación	
Insumos	\$COP
Polímero L-1648 (1.272 Kg)	63,600
Sulfato de aluminio (31.8 Kg)	30,011
TOTAL	93,611

Se tiene entonces que el costo de operación para el escenario B es de:

Ecuación 8. Costos operación escenario B.

$$\frac{\$93,611}{\text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{100 \text{ Bbl}} = \$936.11/\text{Bbl}$$

En la **Tabla 16**, se presentan los costos de operación para el escenario B el cual representa los valores de tratamiento con la dosificación de coagulante y floculante propuesto.

Tabla 16. Costos de operación tratamiento escenario B.

Costos de operación tratamiento			
Periodos (Mes)	Costo de tratamiento (\$COP/Bbl)	Volumen tratado (Bbls)	Total (\$COP)
1	936.11	3,000	2'808.330
2	936.11	3,000	2'808.330
3	936.11	3,000	2'808.330
4	936.11	3,000	2'808.330
5	936.11	3,000	2'808.330
6	936.11	3,000	2'808.330
7	936.11	3,000	2'808.330
8	936.11	3,000	2'808.330
9	936.11	3,000	2'808.330
10	936.11	3,000	2'808.330
11	936.11	3,000	2'808.330
12	936.11	3,000	2'808.330

6.3 EVALUACIÓN FINANCIERA

En este capítulo se determina la viabilidad financiera de este proyecto utilizando la metodología del Valor Presente Neto (VPN), teniendo en cuenta dos escenarios (Escenario A y escenario B)

6.3.1 Valor presente neto (VPN). El valor presente neto, VPN, pone en pesos de hoy tanto los ingresos futuros como los egresos futuros, lo cual facilita la decisión

desde el punto de vista financiero, de realizar o no un proyecto. Como se está utilizando la metodología del Valor Presente Neto (VPN) su resultado se interpreta como a pesos de hoy cuánto cuesta el proyecto³⁷.

La **Ecuación 9**, se utiliza para calcular el valor presente neto.

Ecuación 9. Valor presente neto (VPN).

$$VPN_{(i)} = \sum_{n=1}^n F_n (1+i)^{-n} = F_0 + F_1 (1+i)^{-1} + F_2 (1+i)^{-2} + \dots + F_n (1+i)^{-n}$$

Fuente: G. Baca Currea, ingeniería económica, 8th ed. Bogotá: fondo Educativo Panamericano, 2007, p. 197.

Donde:

VPN corresponde al valor presente neto.

F_0 corresponde al costo inversión inicial.

F_n corresponde al flujo de caja del periodo n .

i corresponde a la tasa de interés de oportunidad.

n corresponde al número de periodos

6.3.2 Tasa de interés de oportunidad (TIO). Es la tasa de interés más alta que un inversionista sacrifica con el objetivo de realizar un proyecto³⁸. La evaluación financiera se realizó utilizando una tasa de interés de oportunidad (TIO) del 13% anual, la cual fue sugerida por la empresa ATP Ingeniería S.A.S. Es necesario convertir la TIO utilizando la **Ecuación 10**, debido a que el proyecto se evaluó en periodos mensuales.

Ecuación 10. Conversión de TIO.

$$TIO_A = (1 + TIO_n)^n - 1$$

Fuente: G. Baca Currea, ingeniería económica, 8th ed. Bogotá: fondo Educativo Panamericano, 2007, p. 197. Modificado por autores.

Dónde:

n corresponde a la cantidad de periodos en un año.

TIO_n corresponde a la tasa de interés de oportunidad mensual.

TIO_A corresponde a la tasa de interés de oportunidad anual.

Para determinar la tasa de interés mensual, se requiere despejar de la **Ecuación 5**, la tasa de interés mensual quedando de la siguiente manera.

³⁷ Ibid., p. 197.

³⁸ Ibid., p. 198

Ecuación 11. TIO.

$$TIO_n = \sqrt[n]{(1 + TIO_A)} - 1$$

Remplazando con $n = 12$ que hace referencia a los periodos de evaluación y una tasa de interés de oportunidad mensual igual al 13% se tiene:

$$TIO_{\text{mensual}} = \sqrt[12]{(1 + 0.13)} - 1$$

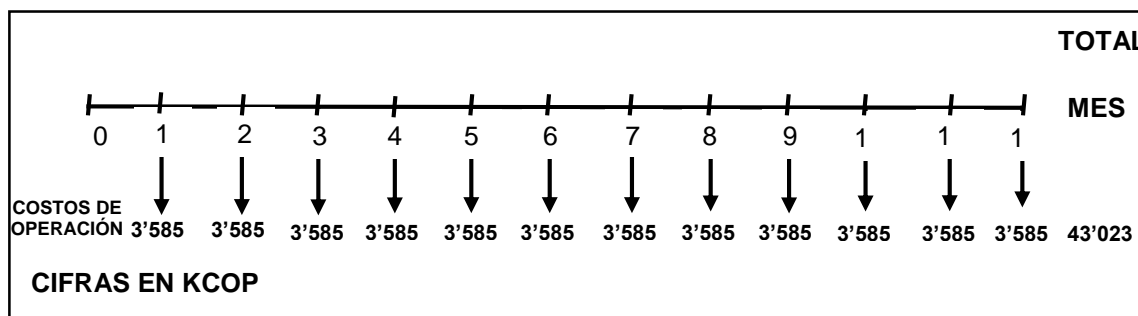
Dando como resultado una TIO mensual igual a:

$$TIO_{\text{mensual}} = 1.024\%$$

6.3.3 Flujo de caja. El flujo de caja es una representación gráfica del proyecto, que presenta un detalle de ingresos y egresos de dinero que tiene una empresa en un período dado. Algunos ejemplos de ingresos son los ingresos por venta, el cobro de deudas, alquileres, el cobro de préstamos, intereses. Ejemplos de egresos o salidas de dinero, son el pago de facturas, pago de impuestos, pago de sueldos, préstamos, intereses, amortizaciones de deuda, servicios de agua o luz, entre otros.

6.3.3.1 Escenario A (tratamiento físico-químico actual). La **Figura 18**, ilustra el flujo de caja para el tratamiento físico-químico realizado actualmente en la compañía para el tratamiento de los fluidos de completamiento y workover.

Figura 18. Flujo de caja escenario A (tratamiento físico-químico actual).



En la **Ecuación 12**, se observa el cálculo del Valor Presente Neto para el escenario A, teniendo en cuenta el flujo de caja anteriormente realizado.

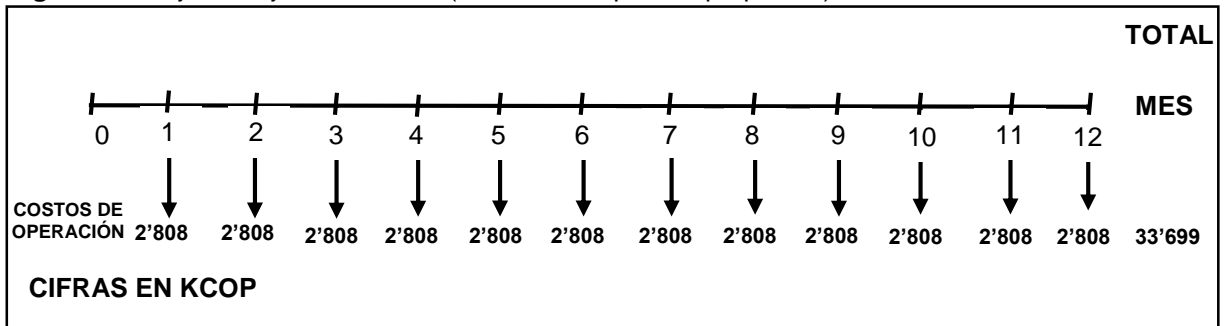
Ecuación 12. Calculo VPN escenario A.

$$\begin{aligned} \text{VPN}_{(0.01024)} = & 0 - (3'585.270 * (1 + 0.01024)^{-1}) - (3'585.270 * (1 + 0.01024)^{-2}) \\ & - (3'585.270 * (1 + 0.01024)^{-3}) - (3'585.270 * (1 + 0.01024)^{-4}) \\ & - (3'585.2700 * (1 + 0.01024)^{-5}) - (3'585.270 * (1 + 0.01024)^{-6}) \\ & - (3'585.270 * (1 + 0.01024)^{-7}) - (3'585.270 * (1 + 0.01024)^{-8}) \\ & - (3'585.270 * (1 + 0.01024)^{-9}) - (3'585.270 * (1 + 0.01024)^{-10}) \\ & - (3'585.270 * (1 + 0.01024)^{-11}) - (3'585.270 * (1 + 0.01024)^{-12}) \end{aligned}$$

$$\text{VPN} = \$\text{COP } -13'156.339$$

6.3.3.2 Escenario B (dosificación química propuesta). La **Figura 19** representa el flujo de caja para el tratamiento propuesto de los fluidos de completamiento y workover.

Figura 19. Flujo de caja escenario B (dosificación química propuesta).



En la **Ecuación 13**, se observa el cálculo del Valor Presente Neto para el escenario B, teniendo en cuenta el flujo de caja anteriormente realizado.

Ecuación 13. Calculo VPN escenario B.

$$\begin{aligned} \text{VPN}_{(0.01024)} = & 0 - (2'808.330 * (1 + 0.01024)^{-1}) - (2'808.330 * (1 + 0.01024)^{-2}) \\ & - (2'808.330 * (1 + 0.01024)^{-3}) - (2'808.330 * (1 + 0.01024)^{-4}) \\ & - (2'808.330 * (1 + 0.01024)^{-5}) - (2'808.330 * (1 + 0.01024)^{-6}) \\ & - (2'808.330 * (1 + 0.01024)^{-7}) - (2'808.330 * (1 + 0.01024)^{-8}) \\ & - (2'808.330 * (1 + 0.01024)^{-9}) - (2'808.330 * (1 + 0.01024)^{-10}) \\ & - (2'808.330 * (1 + 0.01024)^{-11}) - (2'808.330 * (1 + 0.01024)^{-12}) \end{aligned}$$

$$\text{VPN} = \$\text{COP } -10'305.317$$

6.4 CONCLUSIONES DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA

Desde el punto de vista financiero la mejor opción para la compañía ATP Ingeniería S.A.S. para el año 2018 es utilizar la dosificación química propuesta para el tratamiento de los fluidos de completamiento y workover, dado que representa un ahorro en los costos de insumos (sulfato de aluminio y polímero L-1648) a pesos de hoy del 21.67% (COP 2'851.022) con respecto a la dosificación química que actualmente se emplea en la compañía.

7. CONCLUSIONES

- Técnicamente la dosificación propuesta no cumple en su totalidad con la norma actual (Resolución 0631 de 2015), donde se establecen los límites máximos permitidos para el vertimiento de fluidos a cuerpos de agua.
- Según el análisis de resultados obtenido, se encuentra que el fluido tratado con la dosificación propuesta, presenta un incremento de sulfatos de 708 mg/L debido al coagulante utilizado en el tratamiento. Por lo tanto, la Planta el Recreo no cumple con el parámetro de sulfatos presentes en la Resolución 0631 de 2015 donde se establecen los límites máximos permitidos para el vertimiento a cuerpos de agua.
- El pH del fluido tratado disminuye al aumentar la dosificación de sulfato de aluminio, pero al adicionar el polímero L-1648, se observa una neutralización de la muestra tratada, cumpliendo con los requerimientos establecidos en la Resolución 0631.
- Existe una diferencia en los parámetros del fluido de completamiento y workover usualmente utilizado en el Campo Castilla respecto a los valores determinados en el laboratorio de la planta El Recreo, por lo que se deduce que el fluido que llega a la planta se encuentra posiblemente contaminado con otro tipo de fluido.
- Mediante la experimentación de test de jarras, la cantidad de coagulante y floculante seleccionado para el tratamiento del fluido de completamiento y workover es: coagulante, sulfato de aluminio al 10%: 0.318Kg/Bbl; floculante, polímero L-1648 al 1%: 0.01272Kg/Bbl.
- La remoción de sólidos suspendidos totales, DBO y DQO después del tratamiento propuesto fue de 99.85%, 91.96% y 91,95% respectivamente.

8. RECOMENDACIONES

- Implementar el uso de la tecnología de ultrafiltración para la remoción de los sulfatos contenidos al final del proceso de tratamiento fluidos de completamiento y workover del Campo Castilla.
- Caracterizar los fluidos de completamiento y workover antes del tratamiento en la planta debido a que la caracterización proporcionada por Ecopetrol S.A. difiere de los valores obtenidos en el laboratorio de la planta El Recreo al momento del recibo del fluido.
- Realizar pruebas de jarras utilizando los coagulantes y el floculante propuesto a diferentes concentraciones.
- Aplicar otra herramienta estadística para la realización del diseño experimental.

BIBLIOGRAFÍA

ANDÍA CÁRDENAS, Yolanda. Tratamiento de agua: Coagulación y floculación [en línea]. (Abr., 2000)

<http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154>

ANURADHA, Mishra y CLARK, James H. Green Materials for Sustainable Water Remediation and Treatment. Cambridge: RSC Pub., 2013. ISBN 978-1-84973-621-3

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DEL PETRÓLEO. Informe estadístico petrolero. Hoja Prod x campo bpdc [en línea].

<<https://www.acp.com.co/index.php/es/publicaciones-e-informes/informe-estadistico-petrolero-iep>>

BACA CURREO, Guillermo. Ingeniería económica, 8 ed. Bogotá: Fondo Educativo Panamericano, 2007.

BHARAT, Patel. Composition and process for stabilizing viscosity or controlling water loss of polymer-containing water based fluids. En: Free Patents Online [en línea]. US Patent 5576271 (1996)

<<http://www.freepatentsonline.com/5576271.html>> (Bartlesville, OK)

BINNIE, Chris y KIMBER, Martin. Basic water treatment, 5 ed. Londres: ICE Publishing, 2013. ISBN 978-0-7277-5816-3

BRATBY, John. Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment. 2 ed. Londres: IWA Publishing, 2006.

CHILINGAR, George V. Geology and Geochemistry of Oil and Gas. 1 Ed. Amsterdam: Elsevier, 2005. p. 237. ISBN 978-0-444-52053-1.

ECOPETROL S.A. El próximo año se venderán 10.000 barriles de crudo emulsionado por día: Castilla, recargado. En: Carta petrolera [en línea]. Ed. 107 (nov. 2003 – en. 2004).

<http://www.ecopetrol.com.co/especiales/carta_petrolera/empresa.htm>

ELWARD-BERRY, Julianne. Water based high temperature well servicing composition and method of using same. En: Google Patents [en línea]. US Patent 5620947 (1997) <<https://www.google.ch/patents/US5620947> > (Houston, TX)

EMPRESAS MUNICIPALES DE CALIEMCALI E.I.C.E E.S.P. Prueba de Jarras [en línea]. <<https://es.scribd.com/doc/39353489/Manual-Jarras-y-Pruebas>>

FIPKE, Steven R, MERCADO, Orlando y VÉLEZ, Enrique. Multilaterals Wells in the Castilla Field of Eastern Colombia: A Case History of the Guadalupe Reservoir. Amsterdam, En: SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition (2009: Ámsterdam). Ámsterdam: Society of Petroleum Engineers, 2009.

FLOCCULANTS.INFO. Flocculants | Polymers | Coagulants [en línea]. <<http://www.flocculants.info/>>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Documentación. Presentación de tesis trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Sexta actualización, Bogotá: en instituto. 2008.

LORENZ, Michael D., LYONS, William C. y PLISGA, Gary J. Standard Handbook of Petroleum and Natural Gas Engineering, 3rd ed. Waltham, MA: Elsevier, 2016. ISBN 978-0-12-383846-9.

MONTGOMERY, Douglas C. Design and Analysis of Experiments. 8 Ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2013. ISBN 978-1-118-14692-7.

NATIONAL GROUND WATER ASSOCIATION. Illustrated Glossary of Ground Water Industry Terms: Hydrogeology, Geophysics, Borehole, Construction, and Water Conditioning. Ed. 1, 2003. ISBN 978-1-56034-103-1.

OSORIO LOTERA, Gabriel. Desarrollo Petrolero Departamento del Meta [en línea]. <http://static.iris.net.co/semana/upload/documents/Doc-1464_2007619.pdf>

QUINTERO, Diana; LEAL, Cesar Andrés. JUSTIFICACIÓN DE LA PERFORACIÓN DEL CLUSTER 87, POZOS CA356, CA357, CA358, CA359, CA360, CA361, CA423 y CA446. ECOPETROL S.A. (ene. 2014).

REINOSO RODRÍGUEZ, Guillermo. Se revierte primer contrato de asociación de petróleo. En: El Tiempo [en línea]. (19 de abr., 2000). Disponible en: <<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1211777>>

REUTERS. Ecopetrol perforará 80 pozos en lo que resta del año: de los nuevos pozos, 35 se perforarán en el campo Rubiales, 35 en Castilla y los restantes estarán divididos en otros campos. En: Portafolio [en línea]. (17 de ago., 2016). Disponible en: <<http://www.portafolio.co/negocios/empresas/ecopetrol-perforara-80-pozos-en-lo-que-resta-del-2016-499632>>]

RODRÍGUEZ, Carlos. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 1995.

UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA. Tema 5. Coagulación-Floculación [en línea]. <http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis_procesos/tema5.pdf> [citado en 4 de marzo de 2017]

ANEXOS

ANEXO A

**TABLA VALORES MÁXIMOS PERMITIDOS PARA VERTIMIENTOS
PUNTUALES A CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES EN LA RESOLUCIÓN
0631 DE 2015**

PARÁMETRO	UNIDADES	VALORES LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
Generales		
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	150,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	50,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	50,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	ml/L	1,00
Grasas y Aceites	mg/L	10,00
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	mg/L	Análisis y Reporte
Fenoles Totales	mg/L	0,20
Formaldehído	mg/L	Análisis y Reporte
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte
Hidrocarburos		
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	10,00
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	mg/L	Análisis y Reporte
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	mg/L	Análisis y Reporte
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	mg/L	Análisis y Reporte
Compuestos de Fósforo		
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno		
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/L	Análisis y Reporte
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte
Iones		
Cianuro Total (CN ⁻)	mg/L	0,10
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	250,00
Fluoruros (F ⁻)	mg/L	5,0
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	250,0
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L	1,00
Metales y Metales		
Aluminio (Al)	mg/L	Análisis y Reporte
Antimonio (Sb)	mg/L	0,30
Arsénico (As)	mg/L	0,10
Bario (Ba)	mg/L	1,00
Berilio (Be)	mg/L	Análisis y Reporte
Boro (Bo)	mg/L	Análisis y Reporte
Cadmio (Cd)	mg/L	0,01
Cinc (Zn)	mg/L	3,00
Cobalto (Co)	mg/L	0,10
Cobre (Cu)	mg/L	1,00
Cromo (Cr)	mg/L	0,10
Estaño (Sn)	mg/L	2,00
Hierro (Fe)	mg/L	1,00
Litio (Li)	mg/L	Análisis y Reporte
Manganeso (Mn)	mg/L	Análisis y Reporte
Mercurio (Hg)	mg/L	0,002
Molibdeno (Mo)	mg/L	Análisis y Reporte
Níquel (Ni)	mg/L	0,10
Plata (Ag)	mg/L	0,20
Plomo (Pb)	mg/L	0,10
Selenio (Se)	mg/L	0,20
Titanio (Ti)	mg/L	Análisis y Reporte
Vanadio (V)	mg/L	1,00
Otros Parámetros para Análisis y Reporte		
Acidez Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Dureza Cálcica	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Color Real		
Medidas de absorción a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620	m ⁻¹	Análisis y Reporte

ANEXO B
FICHA TÉCNICA SULFATO DE ALUMINIO

| FICHA TÉCNICA SULFATO DE ALUMINIO

1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO

Nombre Químico	Sulfato de aluminio
Formula química	$Al_2(SO_4)_3$
Peso Molecular	342.3
Sinónimos	Alumbre

2. DESCRIPCIÓN

Cristales o en solución.

Soluble en agua, insoluble en alcohol, tiene sabor dulce.

Estable en el aire.

El sulfato de aluminio, conocido como tipo B, se produce a partir de bauxita o arcilla, con un alto contenido de alúmina.

Grados especiales de sulfato de Aluminio, como utilizado en la industria del papel, se producen utilizando materias primas de alta pureza, libres de hierro, como la alúmina hidratada, en lugar de bauxita y ácido sulfúrico en un grado especial. Así se obtiene un producto blanco, con un contenido de óxido de Fe, de sólo 0.005% a 0.01%. El alumbre libre de hierro, es importante en la manufactura de papeles, en los cuales la presencia de hierro causa problemas de color.

3. ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

PROPIEDAD	TIPO A	TIPO B	TIPO A	TIPO B
	SÓLIDO	SÓLIDO	LÍQUIDO	LÍQUIDO
Al_2O_3 , %	17 mín.	15 mín.	8 mín.	7.3 mín.
Fe_2O_3 , %	1.0 máx.	1.5 máx.	0.5 máx.	1.2 máx.
Insolubles, %		0.5 máx.	10 máx.	0.2 máx. 0.1 máx.

4. PROPIEDADES

	TIPO A	TIPO B	TIPO A	TIPO B
	SÓLIDO	SÓLIDO	LÍQUIDO	LÍQUIDO
Color	Blanco	Café	Transparente	Café
Densidad	1.1 aparente	1.1 aparente	1.33 a 20°C	1.33 a 20°C
pH al 1%	3.5	3.5	2.4	1.3
Granulometría	100% pasa la malla 4, Menos del 10% inferior a		Solución al 48.2% del	Solución al 48.6% del



malla 100

sólido de A sólido de B

5. APLICACIONES

Uno de los principales usos del sulfato de aluminio, es el tratamiento de aguas, para consumo humano y para fines industriales

También se utiliza en la fabricación de papel en conjunto con unas resinas llamadas encolantes, proporcionándole al papel resistencia a la penetración por el agua y unas buenas condiciones para fijar los colores.

Como coagulante en la manufactura de caucho sintético

Para la fabricación de sales dobles, sulfatos de amonio y aluminio, y potasio y aluminio

Para la purificación de la glicerina y como retardante del fuego.

6. EFECTOS SOBRE LA SALUD

Efectos potenciales sobre la salud

Peligroso en caso de contacto con los ojos (irritante)

Inhalación:

El producto líquido presenta poca presión de vapor. No se conocen datos de irritación.

Ingestión:

La ingestión puede causar daño al tracto digestivo

Contacto con la piel:

El contacto directo con la piel puede causar daños a ella, el contacto con una herida no es peligroso, pero si es irritante fuerte

Contacto con los ojos:

El contacto con los ojos puede ocasionar lesiones graves, incluso la pérdida de la visión.

7. MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

En caso de inhalación: trasladar a la víctima al aire fresco, tranquilizarla y colocarla en posición medio sentada, llevarla inmediatamente al hospital.

En caso de contacto con la piel: retirar inmediatamente la ropa contaminada y lavar con abundante agua. Consultar con un médico.



En caso de contacto con los ojos: lavar inmediatamente con abundante agua, también sobre los párpados durante 15 minutos. Consulta al médico.

En caso de Ingestión: no inducir al vómito. Beber agua como precaución. Consultar al médico.

8. EXPLOSIVIDAD E INCENDIO

El producto en si arde cuando se ve involucrado en un incendio, se deben tomar las medidas necesarias según el incendio del entorno, enfriar los envases y depósitos lindantes con agua pulverizada.

Para atacar el incendio se puede utilizar agua, polvo químico seco, dióxido de carbono

9. MEDIDAS PARA ATENDER DERRAMES

Si se ha producido un derrame o una fuga, se deberán tomar las siguientes medidas:

Evacuar o aislar el área de peligro.

Restringir el acceso de personas innecesarias y sin la debida protección.

No incorporar a la canalización o desagüe. Recoger el líquido procedente de una fuga en recipientes herméticos, neutralizar con precaución con solución cáustica (carbonato de sodio), sólo bajo la responsabilidad de un experto o eliminar el residuo con abundante agua.

10. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

El producto se debe almacenar en zona ventilada, a temperaturas frescas, no muy superiores a la temperatura ambiente, alejado de fuentes de calor y de ignición. Se debe evitar que el producto entre en contacto con los ojos, nariz y piel.

11. MEDIDAS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- | | |
|--------------------------------------|---|
| a. Protección Respiratoria | En caso de ventilación insuficiente tener un aparato de respiración |
| b. Protección de Manos | Guantes a prueba de ácido |
| c. Protección de los ojos | Anteojos de seguridad, o careta |
| d. Protección de la piel y el cuerpo | Ropa de protección, tal como guantes, delantal de caucho, chaquetas y zapatos de seguridad. |



12. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad: Estable a temperaturas y presiones normales.

Peligros por descomposición: Oxidos de azufre, metales alcalis. La solución en agua es un medio fuertemente ácido.

Incompatibilidad: Agentes fuertemente oxidantes. Reacciona con álcalis y ataca a muchos metales en presencia de agua.

Condiciones a evitar: Materiales incompatibles y condiciones contaminantes.

13. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Los sulfatos no son tóxicos aunque pueden producir irritación nasal suave. El sulfato de aluminio no es peligroso manejarlo, pero como se trata de una sal ácida, debe ser manejado con cuidado, ya que irrita los ojos, la piel y las mucosas.

14. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Si el producto es liberado al ambiente tanto en agua como en tierra se biodegrada rápidamente, formando sulfatos y aluminosilicato.

15. DISPOSICIÓN FINAL

La disposición final debe realizarse de acuerdo a la normatividad de los organismos de control del distrito, no descargar en drenajes. ¡Riesgo de explosión!

16. CLASIFICACIÓN DE SEGURIDAD Y TRANSPORTE

No transportar con alimentos y piensos.

El sulfato de aluminio debe ser transportado en tambores o tanques herméticamente sellados, para evitar derrames.

NFPA

Peligro para la salud	2
Peligro de inflamabilidad	0
Peligro de reactividad	0
Disposiciones especiales de reactividad	Ninguna

INFORMACIÓN ADICIONAL



Los datos proporcionados en esta hoja, son tomados de fuentes confiables y representan la mejor información conocida actualmente sobre la materia, este documento debe utilizarse solo como guía para la manipulación del producto con la precaución adecuada, **DISTRIBUIDORA DE QUÍMICOS INDUSTRIALES** no asume responsabilidad alguna por reclamos, pérdidas o daños que resulten del uso inapropiado de la mercancía y/o de un uso distinto para el que fue concebida. El usuario debe hacer sus propias investigaciones para determinar la aplicabilidad de la información consignada en la presente hoja según sus propósitos particulares

BIBLIOGRAFIA

Diccionario de Química y de Productos Químicos. Gessner G. Hawley
http://www.proquimsaec.com/PDF/HojaSeguridad/HS_Sulfato_de_Aluminio_Liquido.pdf
http://www.isquisa.com/site/files/productos/Datos_de_Seguridad_Sulfato_de_Aluminio_Liquido_Libre_de_Fierro.pdf

ANEXO C
FICHA TÉCNICA POLÍMERO L-1648



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE PRODUCTOS QUÍMICOS

FDL013	F. APROB. FORM	REV.
	29/11/11	10
F. APROB. HDS	F. REV.HDS.	N°REV. HDS
09/06/14	13/07/16	1
GRE ASOCIADA: NO REGULADO		PÁG. 1/6

PRODUCTO: LIPESA 1648 (L-1648)

1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA EMPRESA

NOMBRE DEL PRODUCTO: LIPESA 1648
CÓDIGO: L-1648
USO: POLÍMERO CATIONICO
No debe ser empleado en aplicaciones diferentes al uso especificado

FABRICANTE:

LIPESA DO BRASIL LTDA.: Calçada dos Manacás, 26 Centro Comercial Alphaville 06453-037 Barueri, SP CEP.
 Teléfono de emergencia: 55 11 4191-2940

LIPESA COLOMBIA S.A.S.: Carretera Central Bogotá – Tunja. Km. 30. Frente a Bavaria. Tocancipa – Colombia. Teléfono: PBX (571) 878.6600
 Fax: ext 102. Teléfono de emergencia: (57-311) 876.8578.

LIPEQSA ECUADOR: Calle "D" No. 63-253 y Nazacota Puento. Teléfono 253.2351. Teléfono de emergencia: 098911370 / 2532351

LIPESA DEL PERÚ SAC: Calle El Estaño Mz B lote 11 Urb. Industrial Infantas Los Olivos. Tel.: 552-3110 / 552-3255.
 Teléfono de emergencia: 973870018

Página web:
www.lipesa.com

2. COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN SOBRE LOS INGREDIENTES

SUSTANCIA O MEZCLA: MEZCLA

Nombre químico / sinónimo	Nº CAS / EINECS	Concentración (%)
Poliacrilamida catiónica	69418-26-4	≤ 70

3. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

PELIGROS A LA SALUD:

Irritante ocular. El polvo puede provocar irritación cutánea localizada en los pliegues de la piel o bajo los tirantes de la ropa.

PELIGROS AMBIENTALES:

Nocivo para los organismos acuáticos, puede provocar efectos adversos a largo plazo en el medio ambiente acuático.

MEDIDAS DE SEGURIDAD:

Las soluciones acuosas o el polvo, crean superficies extremadamente resbalosas. Usar los equipos de protección personal recomendados en el apartado 8.

PELIGROS ESPECÍFICOS:

CONTACTO CON LOS OJOS: Irritante por contacto prolongado.
CONTACTO CON LA PIEL: Puede causar irritación localizada y resequedad.
INHALACIÓN: Sin riesgos especiales que requieran medidas de primeros auxilios.
INGESTIÓN: No ingerir. El producto no se considera toxico basado en pruebas de laboratorio con animales.

4. MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

INHALACIÓN: Sin riesgos especiales que requieran medidas de primeros auxilios. Se recomienda retirar al individuo de la zona de exposición y trasladar a un lugar ventilado.
CONTACTO CON LA PIEL: Lavar con abundante agua, durante 20 minutos aproximadamente, continúe enjuagando con abundante agua si es necesario. En caso de irritación persistente consulte a un médico.
CONTACTO CON LOS OJOS: Lavar con abundante agua durante 20 minutos aproximadamente, levantar los párpados para lograr una limpieza profunda. Si la irritación persiste consulte a un médico.
INGESTIÓN: No induzca al vomito. En caso de malestar acudir al médico.
NOTAS PARA EL MÉDICO: Tratamiento sintomático.



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE PRODUCTOS QUÍMICOS

FDL013	F. APROB. FORM	REV.
	29/11/11	10
F. APROB. HDS	F. REV.HDS.	N°REV. HDS
09/08/14	13/07/16	1
GRE ASOCIADA: NO REGULADO		PÁG. 2/6

PRODUCTO: LIPESA 1648 (L-1648)

5. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y COMBATE DE INCENDIOS

PELIGROS / RIESGOS ESPECÍFICOS:

No es inflamable.

AGENTE DE EXTINCIÓN:

En caso de incendio utilizar agua pulverizada, polvo químico seco, espuma estándar, dióxido de carbón.

MEDIOS NO ADECUADOS:

No se conoce ninguno.

MÉTODOS ESPECÍFICOS:

No son necesarias medidas especiales. Use equipo de respiración aprobada por NIOSH o equivalente y ropa de protección adecuada. Emplee agua en forma de rocío para enfriar los contenedores.

PROTECCIÓN DE LOS BOMBEROS:

Compruebe que utiliza respiradores certificados / aprobado o un equipo equivalente, trajes contra incendios.

6. MEDIDAS DE CONTROL PARA DERRAMES

PRECAUCIONES PERSONALES:

El producto derramado genera con agua o humedad superficies extremadamente resbalosas. Usar equipo de protección personal. Mantener alejadas a las personas sin protección.

PRECAUCIONES AMBIENTALES:

Evitar la dispersión del material derramado a los desagües y alcantarillas y/o cuerpos de aguas superficiales.

MÉTODOS DE LIMPIEZA:

No rociar o lavar con agua. Si el sólido se ha derramado en grandes cantidades, recogerlo inmediatamente amontonando o aspirándolo. Después de limpiar, eliminar las trazas con agua. Eliminar de acuerdo a las disposiciones locales. Ver apartado 13.

Colombia: según decreto 4741 del 2005, reglamenta la prevención y el manejo de los residuos peligrosos

7. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

MANEJO:

Evitar contacto con piel y ojos. Evitar la formación de polvo. No respirar el polvo. Utilizar guantes de protección PVC u otro material plástico Lávese completamente después del manejo

ALMACENAMIENTO:

Almacene en áreas ventiladas y frescas. Manténgase el recipiente bien cerrado, alejado de fuentes de calor y de ignición. El congelamiento afectará las propiedades físicas y el material puede resultar dañado. Tiempo de vida útil: 24 meses a partir de la fecha de fabricación indicada en el envase (si el producto es guardado en un depósito a temperatura estable situada entre 5 ° y 30 °C. No fumar en sitios de almacenamiento.

8. CONTROL DE EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN PERSONAL

ESTANDARES DE CONTROL (LÍMITES):

Nombre Químico Ingrediente de riesgo	Límite máximo permitido (TLV)
ninguno	-

CONTROLES DE INGENIERÍA PARA REDUCIR EXPOSICIÓN:

Disponga de sistemas de ventilación de escape general o local.

EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL:

PROTECCIÓN RESPIRATORIA:

Se recomienda usar respirador con filtro para polvo, donde la concentración de polvo sea superior a 10 mg/m³. Elija equipo aprobado por NIOSH.

PROTECCIÓN DE LOS OJOS:

Protección ocular industrial certificada. Se considera usar lentes de seguridad con protección lateral. No usar lentes de contacto cuando se utilice este producto.



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE PRODUCTOS QUÍMICOS

FDL013	F. APROB. FORM	REV.
	29/11/11	10
F. APROB. HDS	F. REV.HDS.	N°REV. HDS
09/08/14	13/07/16	1
GRE ASOCIADA: NO REGULADO	PÁG. 3/6	

PRODUCTO: LIPESA 1648 (L-1648)

PROTECCIÓN DE LAS MANOS,
PIEL Y CUERPO:

Guantes de (PVC u otro material plástico), ropa con mangas largas (camisas, pantalones, batas), botas de seguridad.

RESPECTAR LAS SEÑALES DE SEGURIDAD, SOBRE EL USO DE EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL



MEDIDAS DE HIGIENE PERSONAL:

- No almacenar, usar, y/o consumir alimentos durante el trabajo o manejo de este producto.
- Retirar los equipos de protección y lavarlos cuidadosamente.
- Lavar las manos y cara cuidadosamente antes de realizar cualquier otra actividad.
- Respetar y cumplir las mejores prácticas de seguridad e higiene personal.

9. PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS

ESTADO FÍSICO:	Sólido granular
COLOR:	Blanco
OLOR:	Característico
pH a 25 °C:	3,00 - 5,00 al 0,1%
PUNTO INICIAL DE EBULLICIÓN (°C):	ND
PUNTO FINAL DE EBULLICIÓN (°C):	ND
PUNTO DE FUSIÓN (°C):	ND
TEMPERATURA DE DESCOMPOSICIÓN (°C):	ND
PUNTO DE INFLAMACION (°C):	NA
TEMPERATURA DE AUTOIGNICION (°C):	NA
PROPIEDADES EXPLOSIVAS:	NA
DENSIDAD DE VAPOR:	NA
DENSIDAD (kg/m ³):	600 - 900
SOLUBILIDAD EN AGUA:	ND
COEFICIENTE DE PARTICION OCTANO-AGUA:	<0
% ACTIVO:	≤ 70
VISCOSIDAD DINÁMICA (cP):	≤ 150 al 0,1%

*Valores medios indicativos. Seleccionar los equipos de disolución sobre la base de una viscosidad 10 veces mayor (fluido no Newtoniano)

NA: NO APLICA

ND: NO DETERMINADO

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD:

Estable bajo las condiciones de manejo y almacenamiento descritas en la sección 7

CONDICIONES A EVITAR:

Altas temperaturas y humedad.



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE PRODUCTOS QUÍMICOS

FDL013	F. APROB. FORM	REV.
	29/11/11	10
F. APROB. HDS	F. REV.HDS.	N°REV. HDS
09/05/14	13/07/16	1
GRE ASOCIADA: NO REGULADO		PÁG. 4/6

PRODUCTO: LIPESA 1648 (L-1648)

MATERIALES A EVITAR:

Agentes oxidantes, pueden causar reacciones exotérmicas.

POLIMERIZACIÓN:

Estable. La polimerización peligrosa no ocurre.

PRODUCTOS PELIGROSOS DE DESCOMPOSICIÓN:

No se descompone si se almacena y aplica como se indica. La descomposición térmica puede producir: gas de cloruro de hidrógeno, óxidos de nitrógeno y óxidos de carbono.

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

TOXICIDAD AGUDA:

Información del producto tal como se suministra:

LD₅₀ Oral (Rata) > 5.000 mg/kg

LD₅₀ Cutánea (rata) > 5.000 mg/kg

Los resultados de pruebas de laboratorio en conejos mostraron que este material no es tóxico aún en altas dosis.

EFFECTOS LOCALES:

Pruebas realizadas de acuerdo a la técnica Draize demostraron que el material no produce efecto en la córnea o en el iris, sólo ligeros efectos conjuntivos similares a los ocasionados por cualquier material granular.

SENSIBILIZACIÓN:

Pruebas de laboratorio en conejillos de indias mostraron que el material no ocasiona sensibilización

TOXICIDAD CRÓNICA:

Los resultados de pruebas de laboratorio en conejos mostraron que este material no es tóxico aún en altas dosis.

Este producto no contiene ninguna sustancia que sea considerada por OSHA como un probable o sospechado carcinógeno humano.

12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

MOVILIDAD:

Datos no disponibles

PERSISTENCIA / DEGRADACIÓN EN AGUA, AIRE Y TIERRA:

Fácilmente biodegradable. A pH natural (pH >6) el polímero se degrada debido a la hidrólisis en más del 70% en 28 días. Los productos de la hidrólisis no son dañinos a los organismos acuáticos.

BIOACUMULACIÓN:

No se espera que el producto se bioacumule

Coefficiente de reparto (LogPow) < 0

ECOTOXICIDAD:

Información del producto tal como se suministra:

LC₅₀ (peces) Danio Rerio= 5 – 10 mg/l, 96 horas (OECD 203).

EC₅₀ (Invertebrados) Daphnia magna= 20 – 50 mg/l, 48 horas (OECD 202).

Toxicidad para las algas: Las pruebas de inhibición de algas no son apropiadas. La característica floculantes del producto interfiere directamente con el medio de la prueba previniendo su distribución homogénea lo cual invalida la misma.

Otra información ecológica: Los efectos de este producto sobre los organismos acuáticos son rápida y significativamente reducidos por la presencia de carbono orgánico disuelto en el medio acuático.

FDL013	F. APROB. FORM	REV.
	29/11/11	10
F. APROB. HDS	F. REV.HDS.	N°REV. HDS
09/06/14	13/07/16	1
GRE ASOCIADA: NO REGULADO		PÁG. 5/6

PRODUCTO: LIPESA 1648 (L-1648)

13. CONSIDERACIONES SOBRE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL

MÉTODOS DE DISPOSICIÓN DE LOS DESECHOS:

Se disponen de acuerdo a las leyes locales, estatales o nacionales establecidas. Puede aplicar incineración o descargar en plantas de tratamiento de efluentes, en ambos casos, debe ser comprobada la vigencia de permisosología respectiva avalada por las autoridades ambientales competentes.

Si se realiza lavado del área, evitar llegada de aguas de lavado a cuerpos de agua superficial.

ELIMINACIÓN DE RECIPIENTES O/ CONTENEDORES:

Los envases o contenedores de los productos Lipesa con pesos menores a 500 kg, como tambores, carboyas, bidones y sacos no son retornables; es decir, forman parte del producto vendido al cliente, por lo tanto no serán devueltos a LIPESA "bajo ningún concepto". LIPESA se asegurará de que esos envases sean relacionados en el formulario FCS022 (reporte de manejo de desechos) una vez dejados en las plantas o almacenes del cliente.

Queda entendido que el comprador o usuario final procederá a la eliminación de los envases de acuerdo a las normas y leyes vigentes de cada país; siendo conveniente que contacte a las autoridades ambientales para su disposición.

14. INFORMACIÓN DE TRANSPORTE

N° DE IDENTIFICACIÓN: NO REGULADO

Reglamentación Internacional	Nombre del Material	Clase	Grupo de Embalaje	Etiqueta
TERRESTRE (RID/DoT 49 CFR)	No Regulado	ND	NA	-
ACUÁTICO (ADNR)	No Regulado	ND	NA	-
MARÍTIMO (IMDG)	No Regulado	ND	NA	-
AÉREO (ATA-DGR, ICAO-IT)	No Regulado	ND	NA	-

15. REGLAMENTACIONES NACIONALES

REGLAMENTO SGA VIGENTE (Sistema Globalmente Armonizado)

Simbolo(s) peligroso(s):

Irritante

PICTOGRAMA



Atención (Irritante)

Indicaciones de peligros (Frases H):

H316 Provoca leve irritación cutánea

H320 Provoca irritación ocular

H402 Nocivo para organismos acuáticos

Consejos de prudencia (Frases P):

P264 Lavarse cuidadosamente después de la manipulación



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE PRODUCTOS QUÍMICOS

FDL013	F. APROB. FORM	REV.
	29/11/11	10
F. APROB. HDS	F. REV.HDS.	N°REV. HDS
09/03/14	13/07/16	1
GRE ASOCIADA: NO REGULADO		PÁG. 6/6

PRODUCTO: LIPESA 1648 (L-1648)

P273 No dispersar en el medio ambiente

P280 Usar guantes PVC u otro material plástico / Ropa de protección / lentes de seguridad con protección lateral / respirador con filtro para polvo/ Botas de seguridad

La etiqueta de éste producto está elaborada de acuerdo al sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de los productos químicos (SGA).

16. OTRA INFORMACIÓN

CLASIFICACIÓN NFPA 704:

TOXICIDAD: 1
 INFLAMABILIDAD: 0
 INESTABILIDAD: 0
 PELIGROS ESPECÍFICOS: -

ROMBO NFPA:



RIESGOS A LA SALUD:

0 = MÍNIMO
 1 = LIGERAMENTE PELIGROSO
 2 = MODERADAMENTE PELIGROSO
 3 = SERIAMENTE PELIGROSO
 4 = SEVERAMENTE PELIGROSO

El boletín técnico y la "guía de respuesta en caso de emergencia" por producto se entregan y notifica al transportista para que sirvan de adiestramiento y conocimiento de los riesgos asociados actividades, de carga / descarga de las sustancias.

* Por ser un producto no regulado no aplica número de guía de respuesta en caso emergencias.

"La aplicación o métodos de manejo, almacenamiento, uso y disposición del producto y/o sus envases están fuera de nuestro control, por lo tanto la empresa no asume y desconoce toda responsabilidad por pérdida, daño u otra situación que esté relacionada con el manejo, uso o disposición del producto y sus envases.
 La empresa no asume responsabilidad alguna por daños al comprador o a terceras personas causadas por uso anormal del material y/o sus envases, aun siguiendo procedimientos razonables de seguridad.
 Los datos suministrados fueron obtenidos de fuentes confiables, sin embargo, no se expresa ni se implica garantía alguna con respecto a la exactitud de estos datos o los resultados que se obtengan por el uso del material."



TARJETA DE EMERGENCIA

FR-SCP-015	F. APROB. FORM	REV.
	09/2009	0
F. APROB. TEF. REV. TE.		REV.
12/05/15	---	0
EDICIÓN N°:	1	PAG: 1/4

PRODUCTO: LIPESA 1648 (L- 1648)

1. IDENTIFICACION DE LA MERCANCIA PELIGROSA, LA COMPANIA Y LA CLASIFICACION DE LAS NACIONES UNIDAS

NOMBRE DEL PRODUCTO: LIPESA 1648
CÓDIGO DEL PRODUCTO: L-1648
USO: POLIMERO CATIONICO
NUMERO UN: NO REGULADO
FABRICANTE: LIMPIADORES INDUSTRIALES LIPESA, S.A.
RIF: J-08010339-4
DIRECCIÓN:

LIPESA, S.A: Av. Intercomunal, Zona Industrial Corpolindustria, Galpón F-6, El Tigre, Estado Anzoátegui – Venezuela. Teléfonos de emergencias: 0416-683.11.44 (24 horas) / 0414-8029121. Sistema integrado de emergencia: 171

LIPESA DO BRASIL LTDA: Calçada dos Manacás, 26 Centro Comercial Alphaville 06453-037 Barueri, SP CEP. Teléfono de emergencia: 55 11 41912940

LIPESA COLOMBIA, S.A.: Carretera Central Bogotá – Tunja. Km. 30. Frente a Bavaria. Tocancipa – Colombia. Teléfono: PBX (571) 8786600 Fax: ext 102. Teléfono de emergencia: (57-311) 8788578.

LIPESQA ECUADOR: Calle "D" No. 63-253 y Nazacota Puenlo. Telefono 2532351. Teléfono de emergencia: 098911370/2532351

LIPESA DEL PERÚ SAC: Calle El Estero Mz B lote 11 Urb. Industrial Infantas Los Olivos. Telf.: 552-3110 / 552-3255. Teléfono de emergencia: 973870018

Página Web:
www.lipesa.com

REGLAMENTO SGA VIGENTE (Sistema Globalmente Armonizado)

Símbolo(s) peligroso(s):

Irritante

PICTOGRAMA



Atención (Irritante)

Indicaciones de peligros (Frases H):

H316 Provoca leve irritación cutánea

H315 Provoca irritación cutánea

H413 Nocivo para los organismos acuáticos con efectos nocivos duraderos

Consejos de prudencia (Frases P):

P235 Mantener fresco

P403 Almacenar en un lugar bien ventilado

P302+P352 Lavar con abundante agua y jabón P305+P351 Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos.

2. IDENTIFICACION DE LOS PELIGROS

PELIGROS A LA SALUD:

Irritante ocular



TARJETA DE EMERGENCIA

FR-SCP-015	F. APROB. FORM	REV.
	09/2009	0
F. APROB. TEF. REV. TE.		REV.
12/05/15	—	0
EDICIÓN Nº:	1	PÁG: 2/4

PRODUCTO: LIPESA 1648 (L- 1648)

PELIGROS AMBIENTALES:

Nocivo para los organismos acuáticos, puede provocar efectos adversos a largo plazo en el medio ambiente acuático.

MEDIDAS DE SEGURIDAD:

Usar los equipos de protección personal recomendados

PELIGROS ESPECÍFICOS:

CONTACTO CON LOS OJOS: Irritante por contacto prolongado.

CONTACTO CON LA PIEL: Por contacto prolongado puede causar ligera irritación en personas susceptibles.

INHALACIÓN: No se conocen efectos por exposición.

INGESTIÓN: No ingerir. Puede causar irritación de la garganta. El producto no se considera tóxico, basado en pruebas de laboratorios con animales.

3. CONTROL DE EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN PERSONAL

ESTANDARES DE CONTROL (LÍMITES):

Nombre Químico Ingrediente de Riesgo	Límite Máximo permitido (TLV)
Ninguno	-

CONTROLES DE INGENIERÍA PARA REDUCIR EXPOSICIÓN:

Disponga de sistemas de ventilación de escape general o local

EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL:

PROTECCIÓN RESPIRATORIA: No se requieren medidas especiales de protección, si se trabaja en lugares cerrados use respirador contra vapores orgánicos. Elija equipo aprobado por NIOSH.

PROTECCIÓN DE LOS OJOS: Protección ocular industrial certificada. Se considera usar por lo menos lentes de seguridad con protección lateral.

PROTECCIÓN DE LAS MANOS,
PIEL Y CUERPO: Guantes (goma/ neopreno), ropa con mangas largas (camisas, pantalones, batas), botas de seguridad.

4. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD:

Estable bajo las condiciones de manejo y almacenamiento descritas.

CONDICIONES A EVITAR:

Altas temperaturas.

MATERIALES A EVITAR:

Oxidantes fuertes, pueden causar reacciones exotérmicas.

POLIMERIZACIÓN:

No ocurre.

PRODUCTOS PELIGROSOS DE DESCOMPOSICIÓN:

No se descompone si se almacena y aplica como se indica, la quema del material seco puede producir: gas de cloruro de hidrógeno, óxidos de nitrógeno, óxidos de carbono.



TARJETA DE EMERGENCIA

FR-SCP-015	F. APROB. FORM	REV.	
	09/2009	0	
	F. APROB. TE	F. REV. TE	REV.
12/05/15	—	—	0
EDICIÓN Nº: 1		PAG: 3/4	

PRODUCTO: LIPESA 1648 (L- 1648)

5. MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

INHALACIÓN:	No requiere medidas especiales de protección. Se recomienda retirar al individuo de la zona de exposición y trasladar a un lugar ventilado
CONTACTO CON LA PIEL:	Deshacerse de la ropa contaminada. Lavar con abundante agua y jabón, aproximadamente 20 minutos, continúe enjuagando con abundante agua si es necesario. En caso de irritación persistente consulte a un médico.
CONTACTO CON LOS OJOS:	Lavar con abundante agua por lo menos durante 20 minutos, levantar los párpados para lograr una limpieza profunda. Si la irritación persiste consultar a un médico.
INGESTIÓN:	No induzca al vomito. En caso de malestar acudir al médico.
NOTAS PARA EL MEDICO:	Tratamiento sintomático.

6. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y COMBATE DE INCENDIOS

PELIGROS/ RIESGOS ESPECÍFICOS:

No Combustible.

AGENTE DE EXTINCIÓN:

En caso de incendio utilizar polvo químico seco, espuma estándar, dióxido de carbono o agua pulverizada.

MEDIOS NO ADECUADOS:

No se conoce ninguno.

MÉTODOS ESPECÍFICOS:

No son necesarias medidas especiales. Use equipo de respiración aprobada por NIOSH o equivalente y ropa de protección adecuada. Emplee agua en forma de rocío para enfriar los contenedores.

PROTECCIÓN DE LOS BOMBEROS:

Compruebe que utiliza respiradores certificados/ aprobado o un equipo equivalente, trajes contra incendios.

7. MEDIDAS DE CONTROL PARA DERRAMES

PRECAUCIONES PERSONALES:

El producto derramado genera con agua o humedad gran peligro de resbalamiento. Usar equipo de protección personal. Mantener alejadas a las personas sin protección.

PRECAUCIONES AMBIENTALES:

Evitar la dispersión del material derramado a los desagües y alcantarillas y/o cuerpos de aguas superficiales.

MÉTODOS DE LIMPIEZA:

No usar agua. Contenga inmediatamente los derrames con materiales inertes (arena, aserrín, tierra, etc.). Después de la limpieza, puede utilizar agua para recoger los restos de producto. Eliminar de acuerdo a las disposiciones locales. Ver apartado 13 Colombia: según Decreto 4741 del 2005, reglamenta la prevención y el manejo de los residuos peligrosos.



TARJETA DE EMERGENCIA

FR-SCP-015	F. APROB. FORM	REV.
	09/2009	0
	F. APROB. TEF. REV. TE.	REV.
12/05/15	—	0
EDICIÓN N°: 1		PÁG: 4/4

PRODUCTO: LIPESA 1648 (L- 1648)

OTRA INFORMACION

CLASIFICACIÓN NFPA 704:

TOXICIDAD: 1
INFLAMABILIDAD: 0
REACTIVIDAD: 0
PELIGROS ESPECÍFICOS: -

ROMBO NFPA:



RIESGOS A LA SALUD:

0 = MÍNIMO
1 = LIGERAMENTE PELIGROSO
2 = MODERADAMENTE PELIGROSO
3 = SERIAMENTE PELIGROSO
4 = SEVERAMENTE PELIGROSO




LEY 55 DE Julio 2 de 1993

"Convenio número 170 y la Recomendación número 177 sobre la Seguridad en la Utilización de los Productos Químicos en el Trabajo", adoptados por la 77a. Reunión de la Conferencia General de la OIT, Ginebra, 1990

"La aplicación o métodos de manejo, almacenamiento, uso y disposición del producto y/o sus envases están fuera de nuestro control, por lo tanto la empresa no asume y desconoce toda responsabilidad por pérdida, daño u otra situación que esté relacionada con el manejo, uso o disposición del producto y sus envases.

La empresa no asume responsabilidad alguna por daños al comprador o a terceras personas causadas por uso anormal del material y/o sus envases, aun siguiendo procedimientos razonables de seguridad.

Los datos suministrados fueron obtenidos de fuentes confiables, sin embargo, no se expresa ni se implica garantía alguna con respecto a la exactitud de estos datos o los resultados que se obtengan por el uso del material."

	CERTIFICADO DE ENSAYO		FR-SIG-056		PÁG. 1/1
			F. APROB	F. REV.	No.
			03/02/2010	13/06/2016	2
			Tocancipá, 15 de febrero de 2017		
PRODUCTO: <u>L-1648</u> No. LOTE: <u>RGA4446</u> CANTIDAD Kg: <u>**</u> ** ORDEN DE PEDIDO		FECHA DE FABRICACION: <u>01/08/2015</u> FECHA DE VENCIMIENTO: <u>01/08/2017</u> No. O.C.: _____ *** FACTURACIÓN			
ENSAYO		NORMA	RANGO	RESULTADOS	
Estado Físico			SOLIDO	SOLIDO	
Color			BLANCO	BLANCO	
Gravedad Específica		MDL-035			
pHA 25°C	AL 100%	MDL-012			
	AL 0,1%	MDL-015	3,0 - 5,0	4,42	
	AL 5% EN AGUA	MDL-016			
Punto de Inflamación, °C/°F TCT		MDL-038			
Punto de Inflamación, °C/°F COC		MDL-041			
Densidad		MDL-035			
Viscosidad Cinemática, Centistoke		MDL-052			
Viscosidad Brookfield, (cps) Spindle 61 a 100 rpm		MDL-036	Máximo 150 cPs al 0,1%	30	
Humedad %					
RSN		MDL-009			
Solubilidad		MDL-014			
Contenido de Insolubles %					
Índice de Refracción, Nd		MDL-034			
Contenido Activo %					
ENSAYOS ESPECÍFICOS	Acidez				
	Saponificación	MDL-044			
	Amina Total	MDL-001			
	Otros				
					
REVISADO POR		FIRMA DEL ANALISTA			
ESTE CERTIFICADO NO PUEDE SER REPRODUCIDO TOTAL NI PARCIALMENTE SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL DPTO DE CALIDAD					
PLANTA LIPESA COLOMBIA: CARRETERA CENTRAL BOGOTÁ-TUNJA KM 30, TOCANCIPÁ. PBX: 8786600 EXT: 132 - 141					
www.lipesa.com					

ANEXO D
FICHA TÉCNICA POLICLORURO DE ALUMINIO

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Nombre del Producto: **POLICLORURO DE ALUMINIO LIQUIDO**

Fecha de Revisión: Febrero 2016. Revisión N°2



SECCION 1: IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑIA

PRODUCTO

Nombre Químico: Policloruro de Aluminio (PAC)
 Número CAS: 1327-41-9
 Sinónimos: Polihidroxicloruro de Aluminio, Clorhidrato de Aluminio, Cloruro Básico de Aluminio, Hidroxicloruro de Aluminio etc.

COMPAÑIA: GTM

Teléfonos de Emergencia

México : +52 55 5831 7905 – SETIQ 01 800 00 214 00
 Guatemala: +502 6628 5858
 El Salvador: +503 2291 7700
 Honduras: +504 2264 3434
 Nicaragua: +505 2269 0361 – Toxicología MINSA: +505 22897395
 Costa Rica: +506 2227 0010 – Emergencias 9-1-1. Centro Intoxicaciones: +506 2222-1022
 Panamá: +507 512 6182 – Emergencias 9-1-1
 Colombia: +018000 916012 Coproquim / (571) 2 88 60 12 (Bogotá)
 Perú: +511 614 65 00
 Ecuador: +593 2382 6250 – Emergencias (ECU) 9-1-1
 Argentina +34 113 091 1774
 Brasil: +55 21 3591-1868

SECCION 2: COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES

Óxido de Aluminio: 17 +/- 1% peso
 Familia: Sales Inorgánicas
 Número CAS: 1327-41-9

SECCION 3: IDENTIFICACION DE PELIGROS

Clasificación ONU: Clase 8 Corrosivo
 Clasificación NFPA: Salud: 1 Inflamabilidad: 0 Reactividad: 0

EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

Inhalación:	Produce dolor en el pecho, tos, dificultad para respirar, dolor de garganta.
Ingestión:	Causa irritación gastrointestinal, náuseas y vomito. Tomar abundante agua o leche, no inducir el vomito.
Contacto con los ojos:	Produce ardor, Irritación y enrojecimiento. Lavar inmediatamente.
Contacto con la piel:	Corrosivo. Produce ligera irritación o enrojecimiento. Lavar inmediatamente
Resumen para casos de emergencia:	Corrosivo. Irritante a los ojos, la piel, si se inhala o se ingiere. Estable a temperatura ambiente y en condiciones normales de uso. Reacciona con bases con desprendimiento de calor, Reacciona violentamente con oxidantes, Por descomposición térmica libera gases irritantes de Acido Clorhídrico

SECCION 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación:	Lleve la víctima a un sitio confortable, ventilado y fresco. Lavar nariz y boca con agua abundante y mantener en reposo y abrigado. Si no respira de respiración artificial, si su respiración es dificultosa suministre oxígeno. Consultar al médico lo más pronto posible.
Contacto Dérmico:	Lave de inmediato con abundante agua, bajo la ducha remueva la ropa contaminada y zapatos, se debe continuar con el lavado con agua y jabón durante 15 minutos. Si la irritación u enrojecimiento persiste acudir al médico.
Contacto Ocular:	Lave los ojos inmediatamente con agua corriente por un mínimo de 15 minutos. Mantenga los párpados abiertos durante el enjuague y gire los ojos. Si persiste la irritación, repita el lavado. Remita al médico inmediatamente.



SECCION 6: MEDIDAS PARA EXTINCION DE INCENDIOS

Agente de Extinción:	Use agua para mantener el contenedor refrigerado. Químico seco, o Dióxido de carbono.
Peligros específicos:	No combustible. Puede desprender gases muy irritantes por descomposición térmica a temperaturas elevadas (> 200°C).
Equipo de protección para la Emergencia:	Botas impermeables, guantes y gafas de protección, considere combatir el fuego desde un lugar distante seguro.

SECCION 6: MEDIDAS PARA FUGAS ACCIDENTALES

Medidas de emergencia a tomar Hay derrame del material:	Restrinja el área hasta que personal entrenado limpie completamente el derrame. Ventile el área.
Equipos de protección:	Use ropa adecuada y el equipo de protección personal recomendado, guantes, botas, traje de caucho (no use algodón ni cuero), casco, máscara de gases. No toque el producto derramado.
Precauciones a tomar para evitar daño al medio ambiente:	Detenga la fuga si es posible, construya un dique de arena. Absorba el producto en arena o un material absorbente del producto (Ej. Vermiculita), recójalo en un recipiente plástico, almacénelo, luego lave el lugar afectado y todas las herramientas usadas.
Método de control y limpieza:	Lave completamente.

SECCION 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Condiciones de almacenaje:	El área de almacenamiento debe estar adecuadamente ventilada con dique de protección, no compartida. Los recipientes deben permanecer bien cerrados y sin goteo cuando no están en uso. Los contenedores vacíos contienen residuos peligrosos. En esta área se debe contar con ducha y lavafijos. El área de almacenamiento y el sistema de iluminación deben construirse de materiales resistentes a la corrosión. . Almacénelo en un lugar bien ventilado, fresco, seco y alejado de sustancias incompatibles.
-----------------------------------	--

Otras Precauciones a tomar: Mantenga el equipo de emergencia siempre disponible. El personal debe estar bien entrenado en el manejo seguro del producto. Los recipientes deben estar debidamente etiquetados y alejados de fuentes de calor. Evite el contacto con los ojos o la piel, no lo ingiera. Evite sus neblinas, vapores o gases. Evite el contacto con ojos, piel y ropas.

SECCION 8: CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL

Protección respiratoria: Use respiradores con cartuchos para vapores.
Gautes de protección: Acrílico, nitrilo o caucho
Protección de la vista: Use gafas de protección química, careta.
Equipos de protección dérmica: Use traje, guantes, botas de caucho, neopreno o PVC y casco. No use implementos de cuero o algodón.
Otros equipos de protección: Manipular cerca de ducha y lava ojos y despeje el área.
Ventilación: Manipule en lugares con buena ventilación.
Límites de exposición: 2 mg/m³ máximo como AI

SECCION 9: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Estado físico: Líquido
Familia Química: Sal inorgánica
Apariencia y color: Color ámbar claro – oscuro
Olor: Ligeramente ácido
pH: Ácido, desde 0 hasta 4 unidades de pH
Solubilidad en agua: Completa
Solubilidad en otros: Insoluble en solventes orgánicos comunes.
Punto de ebullición: 110 – 120 °C
Punto de fusión y congelación: - 20 °C Aproximadamente
Peso específico: 1.1 – 1.4 (a 20 °C)

SECCION 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad: Estable a temperatura y presión normal.
Productos de descomposición peligrosos: Por descomposición térmica (pirólisis) libera gases irritantes de Ácido Clohídrico.
Condiciones a evitar: Evite temperaturas excesivamente altas. Evitar contactos con bases, reaccionan produciendo desprendimiento de calor, reacciona violentamente con oxidantes y productos que desprenden gases en medio ácido (Cloritos, Hipocloritos, Sulfitos, Sulfuros, etc.).
Compatibilidad: Es corrosivo a muchos metales.

SECCION 11: INFORMACION TOXICOLOGICA

DL50, oral ratón (mg/kg):	> 12.700
DL50, intraperitoneal ratón	No existen datos
TLV:	2 mg/m ³ como Al.

SECCION 12: INFORMACION ECOLOGICA

Algas:	1.75 +/- 0.25 mg/lit
--------	----------------------

El producto es una sal inorgánica, si se hidroliza se forman precipitados de Hidróxido de Aluminio con pH de 5 – 7 por lo que disminuye el pH del agua, si existen Fosfatos pueden formarse complejos de Fosfatos metálicos.

SECCION 13: CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICION

Sus residuos son considerados como no peligrosos, sin embargo no lo maneje como un desecho normal. No lo disponga en los drenajes, el suelo o fuentes de agua. Neutralizar con Cal o Carbonato de Sodio. Siga las regulaciones locales para su disposición.

SECCION 14: INFORMACION SOBRE TRANSPORTE

UN: 3264
Grupo embalaje/envasado: III

SECCION 16: 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. ST55-053-04

Costa Rica: Decreto N° 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 18: INFORMACION ADICIONAL

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.

 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



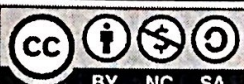
Nosotros **Andrés Pérez Escobar y Jorge Mario Molano García** en calidad de titulares de la obra **Evaluación técnico-financiera de la dosificación química para el aumento de la eficiencia de una planta de tratamiento de fluidos de completamiento y workover del Campo Castilla**, elaborada en el año 2016, 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	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 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 checked="" 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:

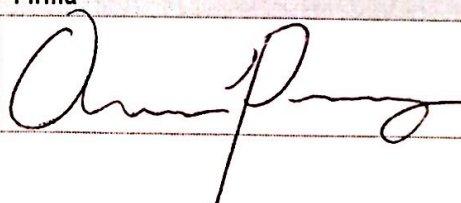
AUTORIZAMOS	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	X	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	X	

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 Bogotá, a los 3 días del mes de agosto del año 2017.

LOS AUTORES:

Autor 1

Nombres	Apellidos
Andrés	Pérez Escobar
Documento de identificación No	Firma
1067930136	

Autor 2

Nombres	Apellidos
Jorge Mario	Molano García
Documento de identificación No	Firma
1075277223	