

**PROPUESTA TÉCNICA Y FINANCIERA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE
PROCESOS DE CLARIFICACIÓN EN EL CAMPO ESTUDIO DE LOS LLANOS
ORIENTALES**

**REYES PEREZ BELTRAN
CESAR FABIAN CORDERO DAVILA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA**

2016

**PROPUESTA TÉCNICA Y FINANCIERA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE
PROCESOS DE CLARIFICACIÓN EN EL CAMPO ESTUDIO DE LOS LLANOS
ORIENTALES**

**REYES PEREZ BELTRAN
CESAR FABIAN CORDERO DAVILA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el título de
Especialista en Gerencia de Hidrocarburos**

**Director
NICOLAS SANTOS SANTOS
PhD en Ingeniería de Petróleos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

*A Dios por guiarme en todas las etapas vividas.
En honor a mi padre Alfonso que siempre considero el estudio
como la principal fuente de conocimiento.
A mi madre Angélica por sus consejos llenos de sabiduría.
A mis hermanos Lyda, Reimer y Hely que alegran mi vida.
A Yudy por ser el apoyo que siempre necesito y con quien
construiremos una hermosa familia.*

Cesar Fabián

*A mis Padres Reyes y Fidelina por la formación impartida.
A mi esposa Olga Lucía quien ha estado conmigo tanto en los
momentos buenos como en los difíciles luchando para alcanzar
estos logros
A mis hijos Rafael, Paula Lucía y Lina Lucía quienes me
alentaron y apoyaron todo el tiempo para que culminara esta
especialización.*

Reyes

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer de manera especial a:

A la compañía NalcoChampion Colombia quien nos brindó todo el apoyo tanto humano como económico para realizar con éxito este proyecto.

Al Ingeniero, John Jairo Ibagón por la gran colaboración durante todo el desarrollo de este documento.

A todos y cada una de las personas que brindaron parte de su tiempo para la ejecución de cada una de las etapas del proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. GENERALIDADES CAMPO ESTUDIO LLANOS ORIENTALES.....	16
1.1 GENERALIDADES CAMPO ESTUDIO LLANOS ORIENTALES.....	16
1.1.1 Proceso de recolección campo estudio	16
1.1.2 Proceso de tratamiento	17
2. GENERALIDADES PROCESO DE CLARIFICACION CAMPO ESTUDIO....	18
2.1 EQUIPOS.....	20
2.1.1 CPI's	20
2.1.2 Flotación de gas.....	21
2.1.3 Sistema de filtración.....	21
2.2 TRATAMIENTO QUÍMICO.....	22
2.2.1 Coagulación	22
2.2.2 Floculación.....	22
2.2.3 Descripción de productos químicos	23
2.3 MANEJO DE LODOS	24
2.3.1 Equipos.....	25
2.4 PRE-TRATAMIENTO EN SISTEMA DE RECOLECCIÓN	26
2.5 TRATAMIENTO EN ESTACIÓN DE PRODUCCIÓN.....	27
3. DESCRIPCION NUEVA TECNOLOGIA QUIMICA	28
4. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN NUEVA TECNOLOGIA QUIMICA.	29
4.1 EVALUACIÓN EN LABORATORIO	29
4.1.1 Rompedores inversos	29
4.1.2 Clarificadores	35
4.2 EVALUACIÓN EN CAMPO.....	38
5. EVALUACIÓN TÉCNICA DE LOS RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA PRUEBA PILOTO CON NUEVA TECNOLOGÍA QUÍMICA DE CLARIFICACIÓN EN CAMPO ESTUDIO	42

6. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA PRUEBA PILOTO	48
6.1 METODOLOGÍA DE CÁLCULO	48
6.1.1 Valor presente neto (VPN)	48
6.1.2 Retorno sobre la inversión (ROI)	49
6.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ECONÓMICO	50
7. CONCLUSIONES	51
BIBLIOGRAFÍA	53

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Separador de placas coalescentes (Corrugated Plate Separator)	20
Figura 2. Zona de movimiento celda de Flotación	21
Figura 3. Eficiencia Rompedor Inverso ZB-555	32
Figura 4. Eficiencia rompedor inverso ZB-582	33
Figura 5. Eficiencia Rompedor Inverso D-2328	33
Figura 6. Eficiencia Rompedor Inverso EC6064A.....	34
Figura 7. Fotografía acción EC6064A como inverso.....	36
Figura 8. Clarificadores Pre-seleccionados.	37
Figura 9. Agua a la entrada del STAP 2, alrededor 98% del aceite es libre.	43
Figura 10. Agua a la salida de la celda 4.	44

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Fisicoquímico básico campo estudio llanos orientales.....	16
Tabla 2. Resultados eficiencia rompedores inversos.....	30
Tabla 3. Resultados de calidad rompedores inversos	31
Tabla 4. Volúmenes de Lodo Campo Estudio.....	46
Tabla 5. Bases de cálculo.....	48
Tabla 6. Cálculos ROI y VPN.....	50

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Grafica 1. Comportamiento aceite y sólidos en agua entrada del STAP II	42
Gráfica 2. Comportamiento aceite y sólidos en agua a la salida del STAP II.	43
Grafica 3. Concentración de EC6019A en Campo estudio	44
Grafica 4. Dosificación de rompedor inverso ZB-555.....	45
Grafica 5. Dosificación de clarificador ZB-83	45
Grafica 6. Calidad de agua salida sistema de filtración campo estudio.	46

RESUMEN

TÍTULO: PROPUESTA TÉCNICA Y FINANCIERA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS DE CLARIFICACIÓN EN EL CAMPO ESTUDIO DE LOS LLANOS ORIENTALES*

AUTORES: REYES PEREZ BELTRAN
CESAR FABIAN CORDERO DAVILA**

PALABRAS CLAVES: Clarificador, Rompedor inverso, solidos suspendidos, aceite en agua, floculante.

DESCRIPCIÓN

Este trabajo tiene como objetivo presentar una nueva tecnología para el aseguramiento de calidad de agua en un campo estudio de los llanos orientales, que permita disminuir los volúmenes de sub-productos no deseados tipo lodos. En él se muestra un piloto exitoso realizado en un campo de los llanos orientales colombianos en donde se expone el efecto del producto químico (Clarificador y rompedor inverso) sobre la producción de agua de un sistema de agua de producción en particular y su efecto sobre la reducción de lodos en el proceso de eliminación de sobrenadantes en las celdas de flotación.

Como principio fundamental se tiene la modificación del floc generado en la celda de flotación así como la reducción de contaminantes (Solidos suspendidos y aceite en agua) en el fluido aplicados en procesos de separación primarios y secundarios permitiendo mejora en la calidad del agua y disminución de lodos para post tratamiento.

El piloto se divide en dos fases, la primera consiste en mejorar la calidad de agua en sistemas primarios de tratamiento como tanques de surgencia sin afectar las interfases crudo-agua, y la segunda consiste en realizar una aplicación de nuevos clarificadores que permitan eliminar productos tipo floculante que generan lodos de alta densidad de difícil tratamiento garantizando siempre la calidad final de agua a sistemas de inyección de agua y vertimiento.

Dentro del estudio realizado se presenta una evaluación financiera para cada una de las fases del piloto, así como la evaluación de eficiencias de porcentajes de remoción en equipos de tratamiento.

Finalmente se menciona como una de las conclusiones más contundentes que con la aplicación de nuevos clarificadores NO látex (NO floculante), es posible mantener la misma calidad de agua y disminuir el volumen total de lodos a tratar, garantizando un retorno a la inversión positivo para el proyecto.

* Trabajo de grado especialización

** Facultad de Ingenierías Físico – Químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Especialización en Gerencia de Hidrocarburos. Director: Nicolás Santos Santos.

ABSTRACT

TITLE: TECHNICAL AND FINANCIAL EVALUATION FOR OPTIMIZATION OF CLARIFICATION PROCESS IN STUDY FIELD OF LLANOS ORIENTALES*

AUTHOR: ENG. REYES PEREZ BELTRAN, CESAR FABIAN CORDERO DAVILA**

KEYWORDS: Clarifier, Reverse Emulsion Breaker, Suspended Solids, Oil in Water, flocculants.

DESCRIPTION

This work aims to present a new technology for assurances of water quality in a study field of eastern plains that allows reducing volumes of not wished sub-products type slugs. In it a successful pilot study in a field of Colombian eastern plains, where the effect of the chemical product (Clarifier and Reverse Emulsion Breaker) on the water production in water system treatment and it effect on reducing slugs in the process and elimination of sub-products in units of gas flotation.

A fundamental principle is the modification of the flocs generated in the units gas flotation as well as reduction of pollutants (Suspended Solids and Oil in water) in the fluids applied in primary and secondary separation processes allowing always an improvement of water quality and decreasing of slug for post-treatment.

The pilot is divided into two phases, the first phase consist of improving the water quality in primary systems treatment as surge tanks without affect crude-oil interfaces, and the second phase consist in realizing an chemical product application as new clarifiers and reverse emulsion breaker that allow eliminate flocculants products that generates slugs of high density and difficult treatment guaranteeing always the final water quality to water injection systems and water to the rivers.

In the study conducted, a financial assessment is presented for each of the phases of the pilot, as well as the evaluation of removal percentages in treatments equipment.

Finally it is mentioned as one of the strongest conclusions with the application of new clarifiers no latex (Not flocculants agents), is possible to support the same water quality and reduce the total volume of slugs for post treatment, guarantee a return of investment positive for the project.

* Work specialization degree

** Faculty of Physical Engineering - Chemical . School of Petroleum Engineering . Specialization in Management of Hydrocarbons. Director: Nicolas Santos Santos.

INTRODUCCIÓN

La producción de hidrocarburos tiene dentro de sus procesos el tratamiento de agua producida en los cuales intervienen diversos factores como equipos, operación y tratamiento químico.

Hace un tiempo se han evidenciado diversos síntomas que nos llevan a presentar una propuesta de optimización del proceso de clarificación como lo son generación de subproductos después del proceso de clarificación de difícil tratamiento, incrementos considerables de las dosis aplicadas de productos químicos para mantener los sistemas en control, incremento del volumen de lodos generado impactando el costo de transporte interno, tratamiento y disposición final, fallas en instrumentación de los equipos enviándolos constantemente a falla por bajo o alto nivel y crudo y agua fuera de especificaciones

Lo anteriormente mencionado se debe principalmente a incrementos de fluidos a tratar sobrepasando el límite de operación, no se cuenta con sistemas de filtración eficientes que permitan una menor remoción aguas arriba del proceso, uso de productos químicos tipo látex que dificultan el post tratamiento de lodos, sobredosificación de productos químicos de clarificación, operación manual de equipos por fuera de las ventanas operativas y en modo manual, recirculación de fluidos con alta concentración de aceite al sistema que impactan negativamente la calidad de interfases y deshidratación del crudo y recirculación de fluidos con alta concentración de sólidos al proceso de tratamiento de aguas que desestabilizan el buen funcionamiento del proceso.

El presente trabajo evalúa técnica y económicamente la implementación de la aplicación de nuevas tecnologías químicas que permitan reducir los subproductos generados, dada la necesidad de reducir costos por la situación actual del sector.

1. GENERALIDADES CAMPO ESTUDIO LLANOS ORIENTALES

1.1 GENERALIDADES CAMPO ESTUDIO LLANOS ORIENTALES

En la zona de los llanos orientales actualmente se encuentra la mayor área de producción de hidrocarburos la cual genera alrededor de 5 millones de barriles de agua por día asociados, este volumen de agua debe ser tratado y dispuesto vía vertimiento a ríos, sistemas de recuperación secundaria (Inyección de agua) y/o sistemas Disposal.

La calidad de agua para cualquiera de las formas de disposición debe cumplir con parámetros como sólidos suspendidos y aceite disuelto en agua que permitan garantizar la no afectación de cada uno de los sistemas a los cuales es enviado.

Para el caso estudio sobre el cual se basara esta monografía tenemos aguas dulces (< 400 ppm de Cloruros) y cortes de BS&W > 85% lo cual permite tratamientos desde el sistema de recolección.

A continuación se muestra un fisicoquímico básico de la calidad de aguas de producción para el campo estudio.

Tabla 1. Fisicoquímico básico campo estudio llanos orientales

TSS	Fe	Sulfato	Bario	PH	Cloruro	D. Total	D. Calcica	Calcio	ALK P	ALK M	Conductividad	Turbidez
ppm	ppm Fe ²⁺	ppm SO ₄ ⁻	ppm Ba ²⁺		ppm Cl ⁻	ppm CaCO ₃	ppm CaCO ₃	ppm Ca	ppm	ppm	ms/cm	FAU
335	2.91	52	2	6.82	356.8	500	200	80	0	125	3.33	280

1.1.1 Proceso de recolección campo estudio. El campo estudio utiliza como levantamiento artificial una Bomba Electro sumergible que opera actualmente a

frecuencias superiores de 50 Hz; el petróleo obtenido en superficie tiene una gravedad API de 11,5 a 12,4 °API y fluye desde cabeza de pozo hacia el manifold de producción. El fluido es enviado a la estación de tratamiento por medio por troncales con diámetros alrededor de 36". Una vez el fluido llega a la estación de tratamiento es direccionado por medio de una manifold principal hacia los sistemas de tratamiento compuestos por tanques de Surgencia y tanques de Lavado los cuales eliminan y entregan el agua libre a los procesos de clarificación.

1.1.2 Proceso de tratamiento. El proceso de tratamiento en campo estudio está dividido en zonas de eliminación de agua libre y disminución de BS&W en la fase crudo compuesto básicamente por tanques de surgencia (FWKO's), los cuales mediante tiempo de residencia y diferencia de densidades eliminando la mayor cantidad de agua asociada a la producción de crudo en un porcentaje aproximado del 90%.

El proceso de crudo se compone de un tanque de cabeza o tanque de compensación que regulan el flujo y la carga hacia los tanques de lavado en los cuales se finaliza con el proceso de deshidratación de crudo con porcentaje menores a 0.8% de BS&W.

En cuanto al proceso de clarificación campo estudio cuenta con sistemas de eliminación de sólidos y aceite libre como lo son los CPI's, en donde por medio de placas corrugadas y efectos netamente físicos se eliminan contaminantes del agua, aguas debajo de los CPI's contamos con celdas de flotación con inducción de aire en las cuales se retiran el mayor porcentaje de sólidos y grasas del agua de producción, a continuación el proceso presenta una serie de piscinas que se encargan de la eliminación de compuestos tipo fenólico mediante la oxidación del agua para finalmente ser dispuesta a vertimiento o agua de inyección en sistema Disposal.

2. GENERALIDADES PROCESO DE CLARIFICACION CAMPO ESTUDIO

Eventualmente cuanta más agua es producida junto con el aceite, las emulsiones son formadas. Incluso cuando los líquidos son inmiscibles, éstas emulsiones son formadas en fondo y llegan a superficie por medio del equipo de producción. Adicional la agitación del fluido por flujo turbulento y el paso por tubos y accesorios genera aumento de emulsiones. Toda esta energía rompe a ambos el aceite y el agua en muchas diminutas gotas. Los sólidos y los surfactantes estabilizan las gotas de agua resultando de esto una emulsión de aceite húmeda o Directa. La estabilización de las gotas de aceite crea agua sucia o emulsiones inversas.

- **Emulsiones Regulares o Directas:** Aceite húmedo o mezclas de agua en aceite.
- **Emulsiones Inversas:** Agua sucia o mezclas de aceite en agua.

Ambas emulsiones directas e inversas existen cuando la producción alcanza la superficie. Una muestra de emulsión inversa puede ser obtenida en la cabeza de pozo. Una compuesta de varios pozos puede ser obtenida en un punto de unión adelante del proceso.

La continua agitación hace difícil que las mezclas aceite-agua se separen antes de los sistemas de deshidratación. Sin embargo, la emulsión inversa se puede romper y hacer más fácil y rápida su separación. Los químicos usados en tratamiento de agua sucia emulsionada actualmente requieren agitación y trabajo tan lejos como sea posible de la batería de recolección.

Si la emulsión inversa está completamente rota antes de entrar al sistema de deshidratación, la mayoría del aceite será eficientemente removido en tanques de surgencia. Parte del aceite disperso estará remanente en el agua pero es removido en equipos más especializados para el tratamiento de clarificación. El

agua saliente de tanques de surgencia es direccionada a CPI's (Corrugated Plates inducer), o equipos de desnate de aceite y drenaje de sólidos.

Tipos de mezclas de aceite en agua

El residual de aceite dejado en la producción de agua es usualmente encontrado como una combinación de aceite libre, disperso y emulsionado.

- **Aceite Libre:** Aceite producido que automáticamente separa de la fase agua cuando la agitación es detenida o decrecida.
- **Aceite Disperso:** Pequeñas gotas de aceite producido que separa muy lentamente de la fase agua cuando la agitación es detenida.
- **Aceite Emulsionado:** Pequeñas gotas de aceite producido que están físicamente y químicamente estabilizadas en la fase agua.

El agua producida contiene:

- **Aceite Insoluble:** Aceite el cual puede ser removido con clarificadores de agua convencional.
- **Aceite Soluble:** Aceite el cual no es un verdadero hidrocarburo pero muestra en su espectro infrarrojo y gravimetría lecturas de aceite real.

El aceite soluble es una estructura de nafta y cadenas de ácidos carboxílicos que provienen de la fase aceite que no causan brillo sin importar el contenido de aceite soluble. El aceite soluble no causara que el agua se vuelva nublada u oscura. El agua puede tener apariencia de cristalina y al realizar un espectro infrarrojo contener aun 200 ppm.

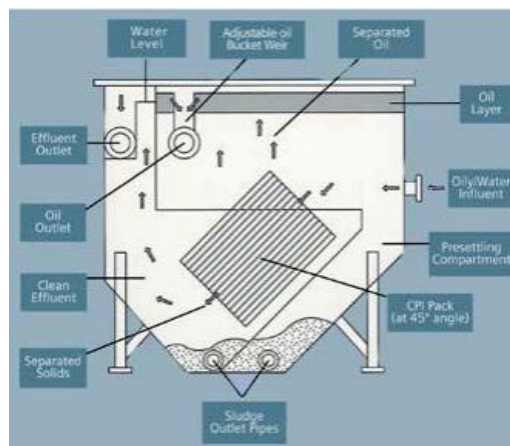
2.1 EQUIPOS

Los equipos de clarificación de agua varían de campo a campo e involucran una combinación de técnicas. Los métodos básicos de limpieza de aguas son realizados líneas abajo. Los métodos usados más frecuentemente son centrifugado y flotación de gas. Por supuesto la eficiencia de las técnicas o parte del equipo es mejorado con la adición de químicos.

El agua producida dentro de las vasijas permite a los contaminantes separar naturalmente. Los sólidos decantarán y los líquidos orgánicos flotarán donde la agitación del sistema es baja o reducida.

2.1.1 CPI's . Un CPI es un interceptor de plato corrugado. Este trabaja cuando el aceite en agua pasa entre los platos y las partículas de aceite libre aumentan hasta que son colectados y coalescen sobre el lado bajo del plato. El aceite viaja por la parte superior del flujo a lo largo del plato hasta que este es envidado a la superficie del agua donde este es retirado y colectado.

Figura 1. Separador de placas coalescentes (Corrugated Plate Separator)



Fuente: [http://www.energy.siemens.com/us/pool/hq/industries-utilities/oilgas/portfolio/water-solution/corrugated_plate_separator_\(CPS\)_en.pdf](http://www.energy.siemens.com/us/pool/hq/industries-utilities/oilgas/portfolio/water-solution/corrugated_plate_separator_(CPS)_en.pdf).

2.1.2 Flotación de gas. Los sistemas de flotación de gas, especialmente en sistemas inducidos y dispersos, son muy comúnmente usados. Las celdas de flotación tienen tres zonas típicas, una zona de alta turbulencia donde se produce la adhesión de la partícula con la burbuja en esta zona deben existir condiciones hidrodinámicas y fisicoquímicas que favorezcan este contacto, a continuación tenemos una zona intermedia o de relativa calma donde se favorece la migración de la burbuja hacia la superficie y luego una zona superior que corresponde a una fase espumosa que con ayuda de paletas mecánicas puede ser eliminada.

Figura 2. Zona de movimiento celda de Flotación



2.1.3 Sistema de filtración. Los sistemas de filtración son generalmente usados para la refinación de aguas de producción en los cuales se obliga al agua a pasar a través de un lecho filtrante a presiones cercanas a las 40 psi, los lechos filtrantes más comúnmente utilizados son de cascara de nuez y de arena. Mediante este

proceso es asegurar la calidad de los fluidos que posteriormente serán enviados a sistemas de inyección y/o vertimiento a cuerpos de agua.

2.2 TRATAMIENTO QUÍMICO

2.2.1 Coagulación. Coagulación es el proceso de ayudar a las gotas de aceite a coalescer para formar gotas alargadas que decanten más rápidamente. Como las gotas incrementan su talla, ellas se separan de la fase agua más fácilmente. En orden de promover la coagulación ahí varios factores que estabilizan que deben ser vencidos.

Neutralización de la carga. Usualmente las gotas de aceite y las partículas sólidas poseen una carga negativa, lo cual es el resultado de varios iones negativos y ácidos orgánicos disociados. Estas cargas resultan en una fuerza de repulsión a menudo medidas como Potencial Zeta. El crudo contiene variedad de ácidos orgánicos llamados ácidos naftenicos. Estos no solo incrementan el potencial Zeta, sino también incrementan la dispersabilidad de aceite en agua por un proceso conocido como estabilización surfactante. Los químicos son añadidos para neutralizar el potencial Zeta y disminuyen la estabilización surfactante, la coagulación se dificulta y se hace muy lenta.

2.2.2 Floculación. Para remover aceite de agua, nosotros debemos incrementar el tamaño de las gotas de aceite así como hacemos la coagulación o formar Flocs. Un Floc es una red de pequeñas gotas y sólidos que están sueltas y son atraídas unas a las otras.

Floculación es un proceso de aglomeración de pequeñas gotas y sólidos en forma de ramificaciones. Ambos métodos coagulación y floculación sirven para concentrar los contaminantes, los cuales ayudan a mejorar la velocidad de separación del agua.

2.2.3 Descripción de productos químicos. Los productos de clarificación de agua pueden ser divididos dentro de dos grupos, polímeros en solución y polímeros látex. La división está basada en si el químico es una solución base agua o como un suspensión bifásico llamada un látex. Las soluciones de polímero tienen bajo o medradamente alto peso molecular, mientras que los látex son polivinilos de extremadamente altos pesos moleculares.

Polímeros en Solución. Una solución de polímeros puede ser una mezcla de sales, solventes y agua soluble con un ingrediente activo. El material activo es a menudo una poliamida orgánica, pero una sal metálica puede ser usada sola. La mayoría de los productos de clarificación son polímeros en solución. Estos productos son de fácil fabricación y son de fácil uso en los campos.

Sales Metálicas. Las sales metálicas son excelentes opciones para neutralizar el potencial Zeta. Iones metálicos con una múltiple carga positiva son los más eficientes. Los cloruros de Zinc y aluminio son los más comunes ejemplos.

Poliamidas. Como las sales metálicas, las poliamidas ayudan a neutralizar el potencial Zeta y aumentan la velocidad de los procesos de coagulación. Las ventajas significativas de las poliamidas son la abundancia de aminas de carga positiva más el surfactante y la cantidad de polímero entrelazante que puede ser entrecruzado dentro del polímero. Los polímeros con densidad de alta carga pueden ser usados como alternativas para metales. En aplicaciones con filtración, poliamidas de alta carga fácilmente se añaden a los lechos de filtrado y permanecen con suficiente carga potencial para ayudar a remover aceite y solidos del agua. Polímeros en solución con alto peso molecular tienen la habilidad para ayudar en la floculación por polímeros entrelazantes, este tiene un grado de surfactancia no encontrada en sales metálicas, las cuales ayudan a reducir tensión superficial e incrementos en la humectabilidad de sólidos.

Látex externos en agua. Los polímeros látex externos en agua ofrecen una alternativa para hacer polímeros de alto peso molecular. El agua a diferencia del aceite es usado como la fase continua o externa de los procesos de látex. Los productos látex externos en agua dependen del uso de surfactantes para aislar la gota. Cuando el proceso de polimerización es completo, los surfactantes continúan estabilizando las gotas y previenen que las gotas se unan. Esta tecnología es menos común que los látex externos. Sin embargo, estos polímeros son fáciles para bombear, dispersan rápidamente en agua de producción y son a menudo preferidos para aplicaciones de campo.

2.3 MANEJO DE LODOS

Los lodos obtenidos de la industria petrolera son generados básicamente de tres formas, clarificación de agua, acumulación en equipos y acumulación en tuberías.

Hay que resaltar que en las borras se distinguen tres fases a saber:

- Fase aceite.
- Fase acuosa.
- Fase sólidos.

Y que además teniendo en cuenta la eficiencia y el grado de especialización, el tratamiento puede ser clasificado en tratamiento primario, secundario y terciario. Dentro de esta clasificación, los métodos aplicados pueden agruparse de la siguiente manera:

Métodos físicos

Métodos químicos.

Métodos térmicos.

Métodos Biológicos.

Actualmente en el campo estudio se están utilizando combinaciones de estos métodos para obtener lodos secos y recuperar el aceite impregnado en los lodos, la combinación de los métodos físicos con lo químicos son aquellos que permiten obtener una fase solida definida, una fase aceitosa y una fase acuosa con buenas calidades en cuento a contenido de agua para el caso del lodo y el aceite y solidos suspendidos para el caso de la fase acuosa.

2.3.1 Equipos. Como medio físico se utiliza un equipo centrifugo llamado Tricanter el cual permite obtener las tres fases por separado y agiliza el proceso de disposición del lodo rico en sólidos.

En los procesos de separación de tres fases hay dos fases de separación de líquidos y una de separación de sólidos. Las distintas densidades de los líquidos (inmiscibles) y de las sustancias sólidas permiten el desplazamiento simultáneo de las tres fases gracias a la fuerza centrífuga aplicada mediante el equipo.

Para que el proceso de separación se desarrolle correctamente, la fase de sólidos debe presentarse como la fase más pesada. De lo contrario, el tornillo sinfín no puede desplazar los sólidos de forma suficiente, lo que afectaría el resultado del proceso.

La estructura y el funcionamiento de una Tricanter es similar al de un decantador (proceso de separación en dos fases). La diferencia clave entre ambas máquinas radica en el guiado de los líquidos. En el caso de la Tricanter se dan dos fases líquidas: una primera fase con el líquido más "pesado" (de mayor densidad y expulsado bajo presión) y otra fase con el líquido más "ligero" (menor densidad y expulsado).

La expulsión de la fase líquida "pesada" tiene lugar mediante un rodete ajustable. Además, se puede regular la altura de la columna del líquido "pesado" de forma

sencilla y con el proceso en marcha. Existe un mecanismo de ajuste que permite modificar la posición del rodete, lo que produce también un cambio en la línea de separación de los fluidos. De este modo es posible intervenir en el aspecto técnico del procedimiento para alcanzar el resultado deseado en el proceso de separación.

Mediante el uso de tecnología Tricanter tenemos ventajas tales como:

- Mayor pureza posible de los líquidos sometidos al proceso gracias a la integración de un rodete.
- Permite prescindir de etapas adicionales del proceso, lo que supone un ahorro de costos.
- Continúa posibilidad de adaptación a circunstancias cambiantes (producto en el tubo de alimentación).

A pesar que la tecnología es muy eficiente el sobre costo de tratamiento de lodos es alto por lo cual nos enfocamos en la evaluación de nuestros procesos aguas arriba lo que nos permita tener menos fluidos a tratar en esta última etapa del proceso.

2.4 PRE-TRATAMIENTO EN SISTEMA DE RECOLECCIÓN

El pre-tratamiento inicia desde el sistema de recolección donde es aplicado un rompedor inverso para eliminación de emulsiones inversas, este producto genera ningún tipo de coagulación y clarificación en el agua lo cual permite obtener menores cantidades de aceites disueltos en agua en los equipos de tratamiento en la estación, define la interfase de los tanques de surgencia y permite que el sólido asociado al agua de producción se mantenga en la fase acuosa y que no genere interferencias aguas abajo en el tratamiento de crudo.

2.5 TRATAMIENTO EN ESTACIÓN DE PRODUCCIÓN

Una vez los fluidos del campo son recibidos en la estación de tratamiento se inicia con una nueva aplicación de rompedor inverso que garantice básicamente la definición de interfases y la calidad de agua en la salida de los tanques de tratamiento incluidos surgencia y lavado.

El agua eliminada en esta primera fase del proceso es recolectada y enviada por gravedad hacia los sistema de tratamiento de agua iniciando por los CPI's donde actualmente no se tiene inyección de ningún producto químico. El fluido proveniente de los CPI's es entregado a las celdas de flotación donde se tiene inyección de productos químicos tipo látex y donde inicia la generación de sub-productos no deseados como son los lodos sobrenadantes los cuales son eliminados del sistema y son entregados al procesamiento de tratamiento de lodos.

3. DESCRIPCION NUEVA TECNOLOGIA QUIMICA

Observando la tendencia actual de generación de sub-productos (Lodos), asociados netamente a los procesos de clarificación de agua. Mediante la aplicación de programas químicos específicos y especializados se logra una mejora sustancial generación de los lodos, de tal forma que la cantidad volumen sea menor y que estabilidad sea más baja de tal forma que su tratamiento sea más básico, generando un diferenciador económico importante en los costos de producción.

Para esta implementación en campo se realizaron análisis de laboratorio que permitieron la evaluación de rompedores inversos y clarificadores que permitieran la recirculación de fluidos al proceso así como el aprovechamiento de las facilidades instaladas como los son los filtros de cascara de nuez los cuales antes de iniciar el trabajo presentaban una baja eficiencia de remoción por las calidades tan bajas de contaminantes hacia esta parte del proceso.

Dentro de los desarrollos de la compañía de químicos se encontraron dos nuevas tecnologías químicas entre ellas un rompedor inverso y un clarificador base NO látex.

Con esto se buscó principalmente una mayor recuperación de aceite libre en los CPI's que pudiese ser devuelto al proceso sin generar alteración en las emulsiones o en la definición de interfase en equipos, generar una menor cantidad de sobrenadante en las celdas de flotación que pueda ser recirculada al proceso y la no alteración de la concentración de solidos suspendidos en el agua que garantice que no serán retornados por ningún rebose o sobrenadante y que sea retirado en los sistemas de filtración.

4. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN NUEVA TECNOLOGIA QUIMICA.

4.1 EVALUACIÓN EN LABORATORIO

4.1.1 Rompedores inversos. Para la evaluación final de los productos se toman como aditivos a probar los que tuvieron mayor performance en la revisión realizada con el grupo de R&D de la empresa de químicos, estos productos son los siguientes:

- ZB-308
- ZB-555
- ZB-302
- ZB-83
- EC6031A
- EC6020A

Como fase inicial se realiza pruebas de jarras a dosis de 1, 3, 5, 10 y 15 ppm con el fin de evaluar estabilidad y eficiencia en remoción, esta evaluación de los mejores productos se realiza de una manera cualitativa observando calidad de agua e interface. Dependiente de su calidad se entrega una calificación de 0 a 4 estrellas donde 0 es la calificación más baja y 4 la más alta.

Tabla 2. Resultados eficiencia rompedores inversos

11G		ZB-302		ZB-582	
Dosis	Calificacion	Dosis	Calificacion	Dosis	Calificacion
1	-	1	-	1	***
3	**	3	***	3	***
5	**	5	***	5	***
10	***	10	**	10	***
EC6664A		ZB-544		ZB-342	
Dosis	Calificacion	Dosis	Calificacion	Dosis	Calificacion
1	*	1	*	1	-
3	***	3	-	3	-
5	***	5	-	5	-
10	***	10	-	10	-
ZB-83		EC6031A		D2328	
Dosis	Calificacion	Dosis	Calificacion	Dosis	Calificacion
1	*	1	-	1	***
3	***	3	**	3	***
5	***	5	**	5	***
10	***	10	-	10	-
ZB-555		ZB-318		F0125	
Dosis	Calificacion	Dosis	Calificacion	Dosis	Calificacion
1	*	1	*	1	**
3	**	3	**	3	-
5	***	5	***	5	-
10	**	10	-	10	-

De esta evaluación preliminar tenemos como mejores productos los siguientes: D2328, ZB-342, 11G, ZB-555, ZB-83, ZB-582, F0125 y EC6664A los cuales fueron testeados en jarras y evaluados según grasa residual en agua, los contenidos de grasas son evaluados por medio del método HACH (Espectrofotometría).

Nota. Como agua cruda se toma fluido de cabeza de pozo del campo estudio.

A continuación se muestra tabla de resultados:

Tabla 3. Resultados de calidad rompedores inversos

D2328			ZB-342			11G		
Jarra	Dosis (ppm)	O/W (ppm)	Jarra	Dosis (ppm)	O/W (ppm)	Jarra	Dosis (ppm)	O/W (ppm)
1	0.2	150	1	0.2	170	1	0.2	176
2	0.4	73	2	0.4	124	2	0.4	143
3	0.6	142	3	0.6	87	3	0.6	120
4	1	27	4	1	79	4	1	128
5	3	58	5	3	274	5	3	133
6	5	99	6	5	248	6	5	49
7	10	235	7	10	138	7	10	53
ZB-555			ZB-83			ZB-582		
Jarra	Dosis (ppm)	O/W (ppm)	Jarra	Dosis (ppm)	O/W (ppm)	Jarra	Dosis (ppm)	O/W (ppm)
1	0.2	166	1	0.2	177	1	0.2	182
2	0.4	122	2	0.4	138	2	0.4	140
3	0.6	100	3	0.6	163	3	0.6	207
4	1	134	4	1	174	4	1	128
5	3	146	5	3	155	5	3	77
6	5	265	6	5	99	6	5	101
7	10	296	7	10	310	7	10	63
F0125			EC6664A					
Jarra	Dosis (ppm)	O/W (ppm)	Jarra	Dosis (ppm)	O/W (ppm)			
1	0.2		1	0.2	313			
2	0.4	240	2	0.4	240			
3	0.6	130	3	0.6	220			
4	1	463	4	1	195			
5	3		5	3	76			
6	5		6	5	86			
7	10		7	10	51			

Como se puede observar en la tabla los mejores resultados se obtienen en los productos ZB-555, ZB-582, EC6664A y D2328.

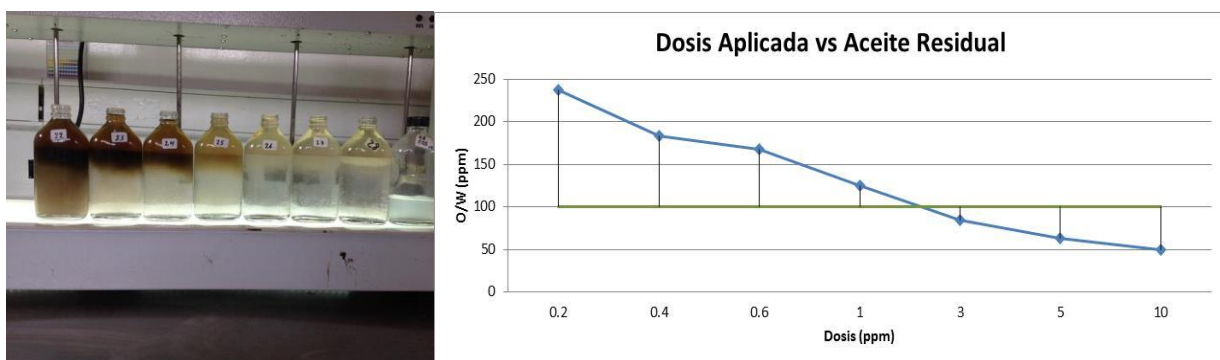
A continuación se muestran los resultados finales de las pruebas de confirmación de los 4 mejores productos, utilizando la misma agua cruda y graficas de estabilidad.

BLANCO

Se realiza medición de blanco (Agua Cruda) para evaluación de productos encontrándose una concentración de 1800 ppm de aceite en agua.

ZB-555

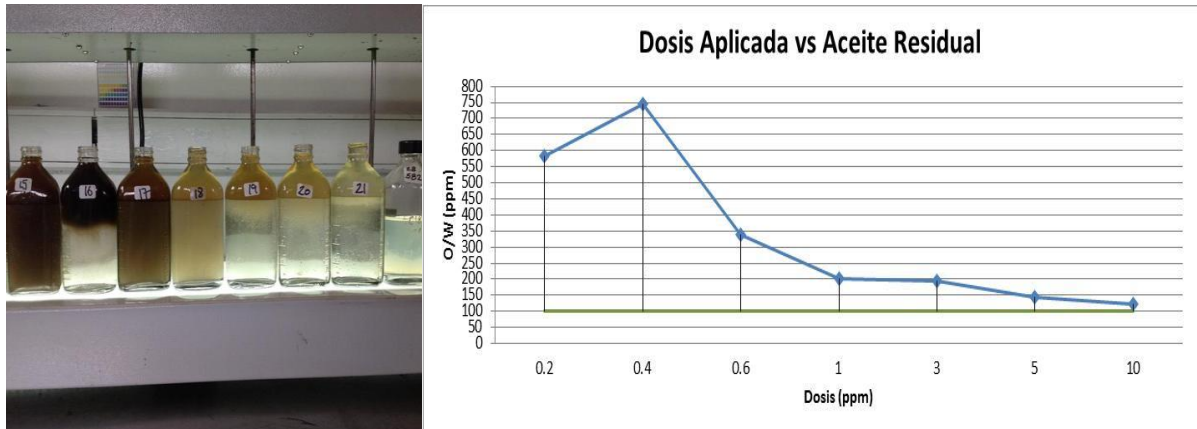
Figura 3. Eficiencia Rompedor Inverso ZB-555



Para determinar la eficiencia de los productos se toma como resultado óptimo una concentración menor o igual a 100 ppm de aceite residual en agua después de adicionado el aditivo. Como se puede observar en la gráfica el producto presenta buena eficiencia en el rango de 1 a 10 ppm lo cual permite manejabilidad de dosis en campo en el momento que se requiera, adicional no presenta incrementos de residual de aceite al final de la curva garantizando su estabilidad. A bajas concentraciones el producto deja aceite residual que no supera valores de 250 ppm.

ZB-582

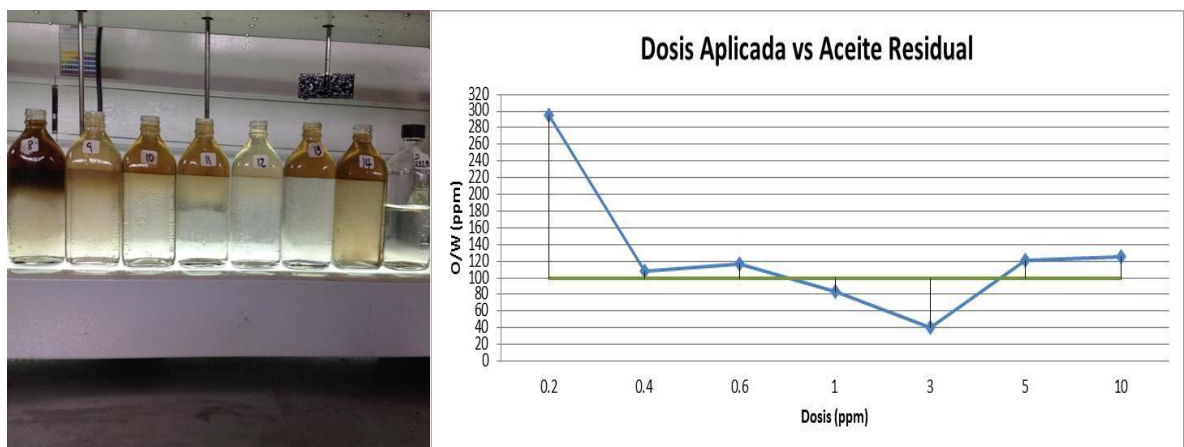
Figura 4. Eficiencia rompedor inverso ZB-582



El producto no presenta dentro del rango de dosis utilizado valores de aceite residual por debajo de 100 ppm, aunque presenta buena estabilidad de la curva desde 1 hasta 10 ppm. A bajas dosis el producto deja altas concentraciones de aceite lo cual no garantiza la estabilidad del proceso en falla de bombas de inyección.

D-2328

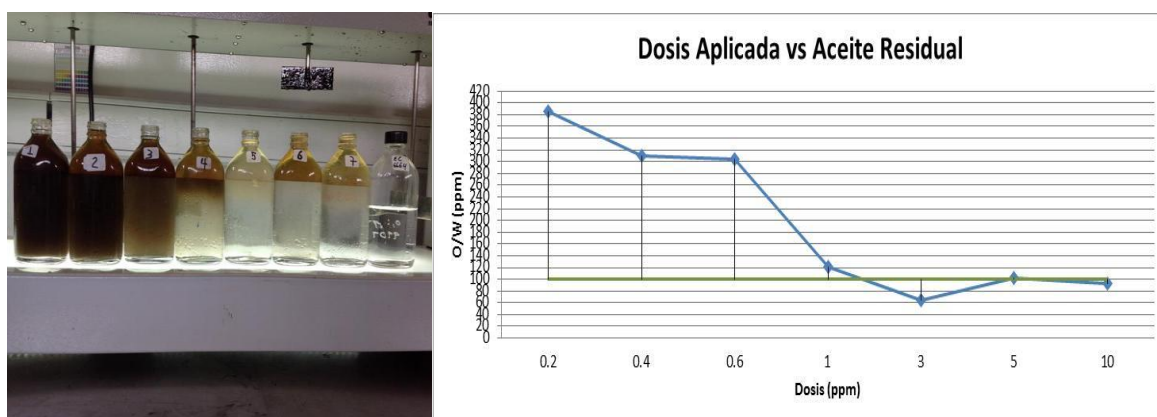
Figura 5. Eficiencia Rompedor Inverso D-2328



El producto presenta una excelente estabilidad en el rango de 0.4 a 10 ppm lo que garantiza estabilidad en el proceso, para concentración de 0.6 a 5 ppm presenta su mejor rendimiento logrando valores de 40 ppm de aceite residual. Cabe resaltar que a muy bajas dosis 0,4 ppm los resultados están muy cercanas al target (115 ppm).

EC6664A

Figura 6. Eficiencia Rompedor Inverso EC6064A



Como se puede observar en la gráfica el producto presenta buena eficiencia en el rango de 1 a 10 ppm lo cual permite manejabilidad de dosis en campo en el momento que se requiera, adicional no presenta incrementos de residual de aceite al final de la curva garantizando su estabilidad. A bajas concentraciones el producto deja aceite residual presenta altos valores lo cual hace necesario un continuo control de dosis para no ver afectada la calidad final de agua en el proceso.

Resultados y Conclusiones Rompedores Inversos

Los productos con la mejor eficiencia en remoción de aceites con D2328, ZB-555 y EC6664A en orden decreciente de resultados de calidad, se hace necesario

evaluación en campo para tomar decisión final del rompedor inverso a implementar.

Realizar pruebas de sinergia con productos de clarificación y deshidratación por medio de pruebas de jarras y Wemco Piloto.

Seleccionar nuevos productos de clarificación que permita la sustitución de productos polímeros tipo Látex que generen sobrenadantes que puedan ser recirculados al sistema.

Realizar corridas completas que simulen la inyección de rompedor directo e inverso en cabeza de pozo, entrada al proceso (Tk Surgencia), CPI's e inyección de clarificadores en entrada de celdas Wemco.

4.1.2 Clarificadores. Las primeras series de análisis se llevaron a cabo en botellas con el fin de realizar una evaluación rápida y definir familias de productos a usar en las corridas finales.

Resultados Pre-evaluación Clarificadores

Para la corrida inicial de los productos rompedores inversos fue tomada emulsión inversa de los pozos del área castilla norte. La habilidad del producto inverso para generar buena interface fue fundamental para la elección final, de tal forma que los productos fueron marcados por 1 estrella el de más bajo rendimiento y 5 estrellas el mejor comportamiento. La evaluación de clarificación se basó en la claridad y turbidez del agua generada por la formación de pequeños flocs que permanecieran en suspensión cerca a la interface y que no se acumularan en mezcla con el aceite residual, al igual que los rompedores inversos fueron calificados por estrellas.

Diferentes químicos fueron evaluados y probados contra el actual producto. Estas evaluaciones mostraron lo siguiente:

Productos con sales de aluminio o zinc muestran en general buen rendimiento como rompedor inverso y clarificador, sin embargo, muchos de estos productos fueron descartados porque eran sales inorgánicas que podrían afectar la interface. Los polímeros de alto peso molecular a pesar de mostrar un alto rendimiento fueron descartados por generación de sobrenadantes con alta concentración tanto de sólidos como de aceite.

Basados en esta información preliminar realizada en botellas se encontraron códigos de productos de mejor rendimiento y que fueron comparados contra los productos actuales 03VC057, EC6403A y EC6019A.

ZB-342	ZB-302	ZB-318	11G
EC6664A	ZB-308	F0125	D2328
ZB-83	ZB-582	EC6031A	ZB-544
ZB-555	ZB-83		

Los productos fueron probados a varias dosis desde 0.5 hasta 10 ppm para evaluar una posible sobredosificación, esto nos lleva a concluir que:

Figura 7. Fotografía acción EC6064A como inverso.

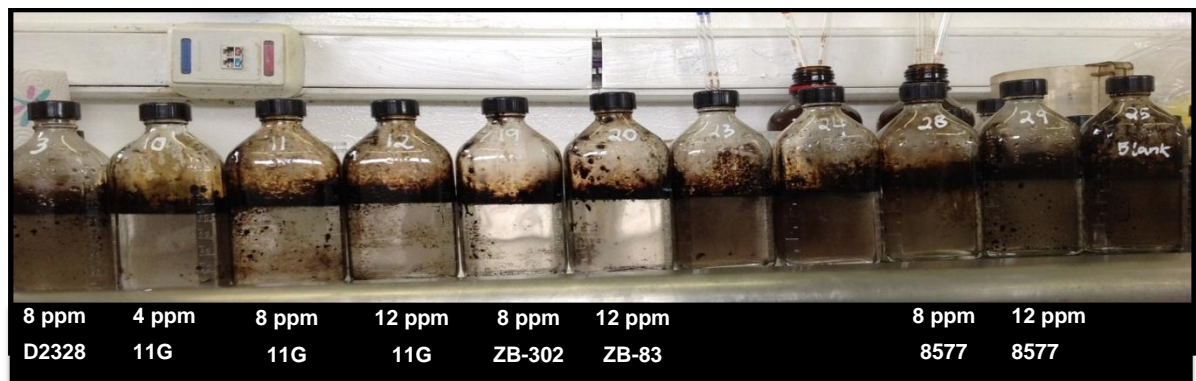


Con pruebas de jarras fueron corroborados los resultados obteniéndose valores de turbidez y dosis muy cercanos a los mostrados en botella. Para verificar la sinergia de los productos de deshidratación y clarificación de agua se montaron pruebas de botella en las cuales solo se llevaría seguimiento a la caída de agua y calidad de interface, para esto se dosifico el producto rompedor directo actual a 500ppm y dos diferentes dosis de los rompedores inversos 3 y 6 ppm, observándose la influencia positiva tanto de la fase acuosa como aceitosa.

Para evaluación de los clarificadores el agua fue tomada de la entrada de los CPI's del campo estudio. Una serie de preselecciones se hicieron sobre la gama de productos obteniéndose el D302, 11G, NALCO8577 y ZB-83 estos fueron comparados contra los incumbes EC6403A y EC6019A.

D302 y ZB-83 fueron seleccionados como los de mejor rendimiento de clarificación; Sin embargo con estos productos no se produjo la misma calidad de agua ya que los polímeros de alto peso molecular eliminan la mayor cantidad de sólidos y aceite en agua. Sin embargo basados en los resultados obtenidos podemos concluir que los productos probados presentaron mejor desempeño que el coagulante actual cuando es dosificado solo. Es definitivo que los productos con bajo peso molecular y baja densidad de carga deja dispersas partículas, lo cual no sucede con el incumbe EC6019A.

Figura 8. Clarificadores Pre-seleccionados.



Resultados y Conclusiones Clarificadores

Para las corridas realizadas con emulsión inversa del área Castilla Norte y Sur usando solo agua y agua crudo con aplicación de rompedor directo, se encontró que los productos de mayor rendimiento son EC6664A, ZB-342, ZB-83, ZB-302 y 11G.

Mediante las pruebas de botella y jarras realizadas con agua de los tanques de Surgencia se mostró que el mejor rendimiento se tiene con los productos ZB-302, ZB-83 y EC6037A, todos mostrando baja calidad de agua e interface que el incumbe EC6019A como era de esperarse, sin embargo en todos los casos, partículas finas están en suspensión en el agua (Estado deseado) y muestran mejor rendimiento que el EC6403A.

Se recomienda un análisis de fondo acerca de la procedencia de los sólidos con el fin de identificar si se tratan de material orgánico o inorgánico. Se recomienda realizar pruebas en Wemco piloto que nos corroboren la eficiencia de los clarificadores y similar el proceso con un cambio de rompedor inverso aguas arriba.

4.2 EVALUACIÓN EN CAMPO

Objetivos. Desarrollar una prueba de campo que permita sustituir el producto floculante utilizado en las celdas de flotación del STAP II del campo estudio.

Antecedentes. Actualmente el tratamiento químico de clarificación de agua se realiza mediante la aplicación de rompedor de ZB-555; con lo cual se han logrado cumplir con los KPI's de calidad de agua para disposición a los afluentes autorizados por la corporación ambiental obteniendo hasta el momento buenos resultados, sin embargo altas concentraciones de aceite en celdas de flotación

generan altos volúmenes de lodos los cuales requieren de un post-tratamiento lo cual impacta el costo de tratamiento global para cada una de las estaciones de recolección.

Actualmente el rompedor de emulsión inversa es aplicado en el manifold principal y pozos a una concentración promedio de 4.5 ppm en base al agua producida.

Para el caso tenemos porcentajes de válvulas abiertas en las alineaciones de troncales a tanques de Surgencia lo que no hace fácil la prueba en un solo tren que comprenda una troncal y un tanque de Surgencia sin embargo existe la posibilidad de probar en el STAP II al cual se encuentran alineados exclusivamente a dos tanques.

Se define iniciar prueba de campo con el producto ZB-83 como sustituto del EC6019A (Floculante), la nueva aplicación se propone debido a la buena eficiencia en remoción de aceite emulsionado en el agua generado desde tanques de surgencia.

Alcance. El objetivo primordial de la prueba está enfocado en reducir las altas concentraciones de aceite en agua a la salida de los CPI's lo cual impacta directamente el aceite residual que se obtendrá a la salida de las celdas de flotación, generando menores volúmenes de recirculación, menos generación de sobrenadantes. Si los resultados obtenidos en esta estación cumplen a satisfacción lo requerido se ampliaría la prueba a las demás estaciones de la Gerencia Castilla, de forma gradual teniendo en cuenta siempre la buena calidad de los fluidos tratados en cada batería.

Sistemas Involucrados. Sistema de tratamiento de clarificación de agua STAP II.

- CPI 5.
- Celda de Flotación 5.
- Tanques de Surgencia (ATK-7202B/3B).

Barriles de producción por día promedio a tratar con el nuevo rompedor inverso

BOPD 16.000

BWPD 79.000

BFPD 95.000

Duración de la prueba. La propuesta inicial es de 10 días, tiempo que se considera suficiente para evaluar resultados del producto ZB-555 en el sistema de recolección, tanques de surgencia y aplicación del ZB-83 en el sistema de clarificación de agua lo que nos permitirá disminuir paulatinamente la concentración de EC6019A (Polímero Látex).

Productos a probar: ZB-555 y ZB-83

Dosis de aplicación. Inicialmente se arrancara con una dosis de 5 ppm para el producto ZB-555 y 7 ppm para el ZB-83 lo cual se encuentra en el rango de operación del producto y nos permitiría tener dosis de clarificación que presente la mayor remoción de aceite posible. Una vez se tenga estabilidad en el proceso de desnate se iniciara un proceso de optimización de acuerdo a los resultados obtenidos durante los primeros días de la prueba. Para la evaluación de la prueba inicialmente se monitorearan las grasas en agua a la salida del CPI, si en este equipo tenemos na concentración < 150 ppm se iniciara el proceso de optimización del floculante EC6019A hasta que no tengamos la inyección de floculante hacia las celdas de flotación.

Puntos de inyección. A continuación se nombran los puntos de inyección actuales y los puntos propuestos a intervenir para la prueba

Rompedor de Emulsión Inversa:

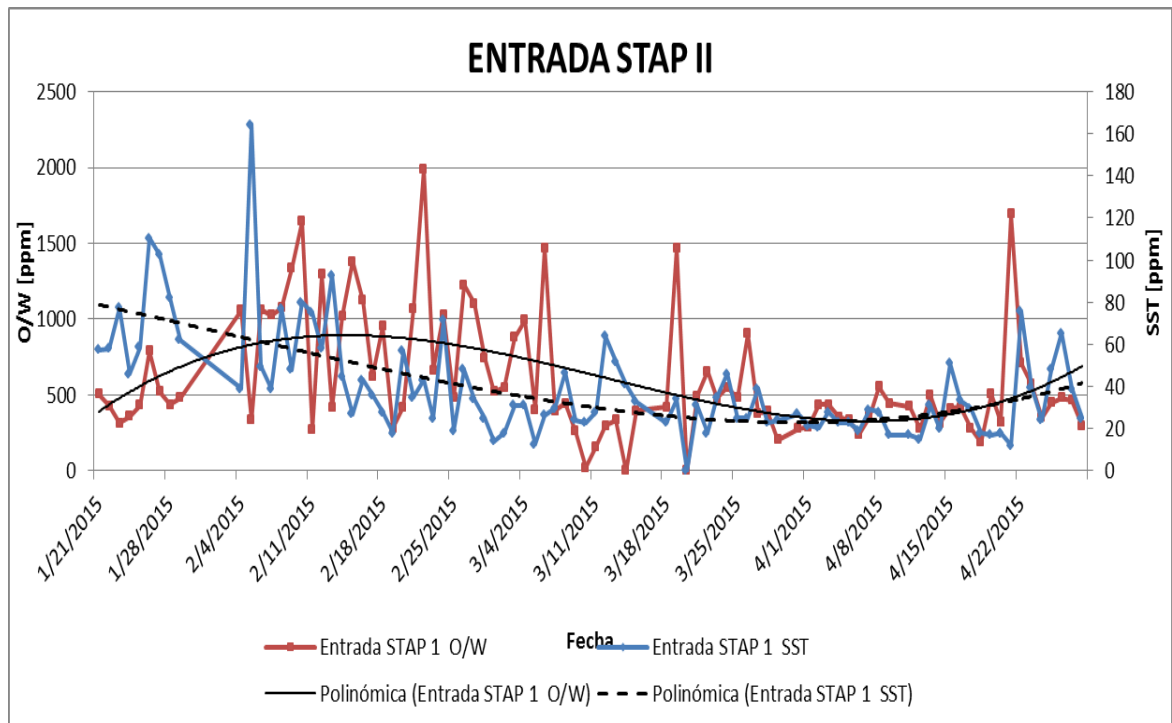
- Entrada CPI STAP II.
- Celda de Flotación STAP II.

Clarificador:

- Celda de Flotación STAP II

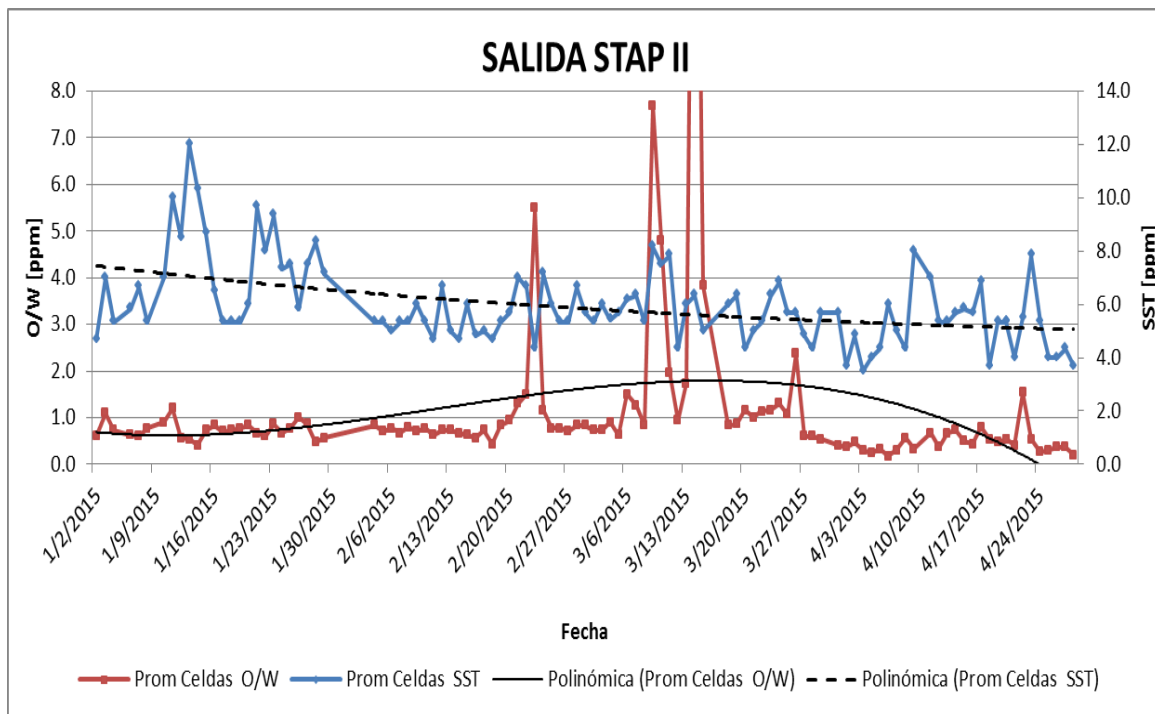
5. EVALUACIÓN TÉCNICA DE LOS RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA PRUEBA PILOTO CON NUEVA TECNOLOGÍA QUÍMICA DE CLARIFICACIÓN EN CAMPO ESTUDIO

Grafica 1. Comportamiento aceite y sólidos en agua entrada del STAP II



Como se puede observar en la Grafica 1, la concentración de aceite y grasas en el agua en la entrada del STAP II presenta un comportamiento a la baja con algunos picos que no superan las 2000 ppm de aceite en su mayoría (mayor a 94%) libre el cual puede ser retenido en los CPI. Un comportamiento similar se observa en los sólidos suspendidos en el agua a la entrada del STAP II en el que se puede ver una reducción paulatina y estabilización de estos.

Gráfica 2. Comportamiento aceite y sólidos en agua a la salida del STAP II.



Para la salida del STAP II se hizo un promedio de los parámetros analizados en la salida de las tres celdas de esta STAP. Lo que se puede observar es que el comportamiento de la concentración de grasas y aceites es estable y en general por debajo de 1 ppm salvo algunos días en los que puntualmente por problemas en la inyección de floculante la calidad del agua se ve afectada, sin embargo esta no es una constante. En referencia a los sólidos en la salida se nota una leve disminución en el promedio de estos, pasando de alrededor de 7 ppm a 5,6 ppm.

Figura 9. Agua a la entrada del STAP 2, alrededor 98% del aceite es libre.

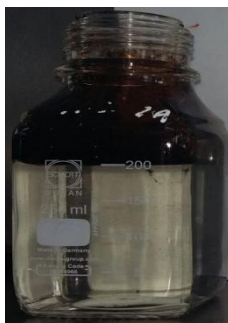
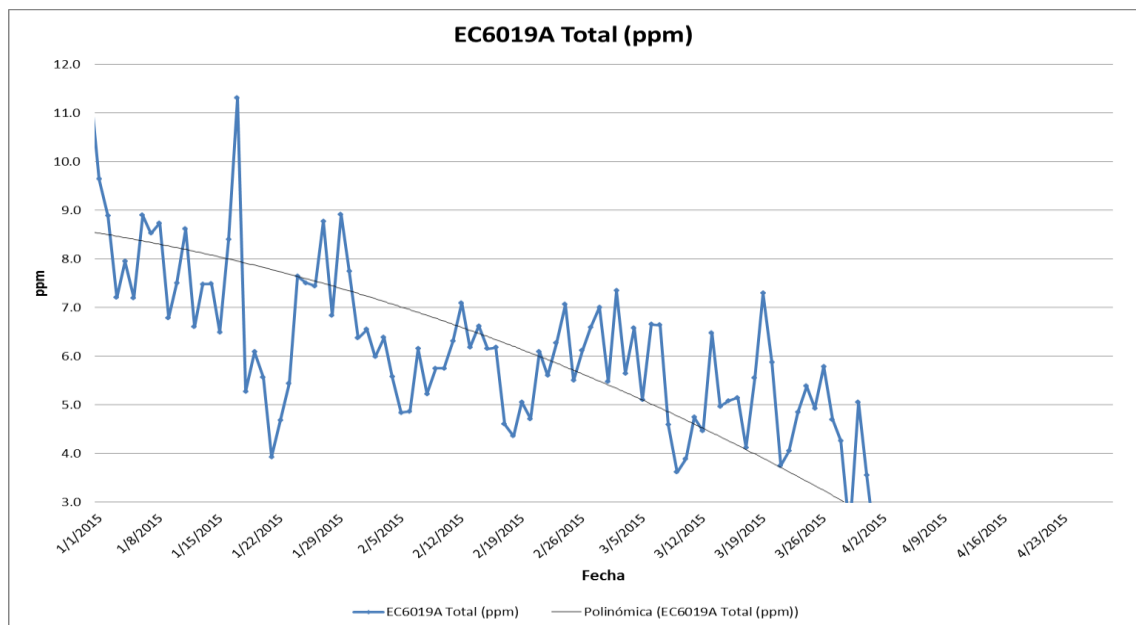


Figura 10. Agua a la salida de la celda 4.



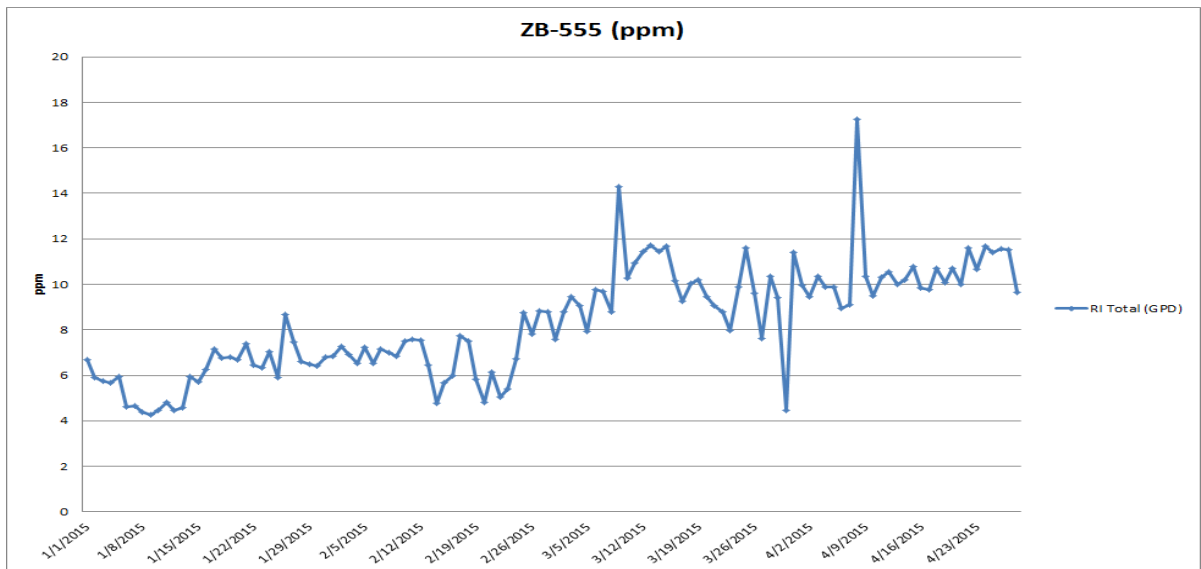
En general el sistema de tratamiento de agua tiende a mejorar continuamente, la calidad de los fluidos a la salida continua en parámetros aceptables, sin embargo se ha dado una reducción en la concentración de floculante aplicado al sistema durante los primeros cuatro meses del año en curso, lo cual se puede notar en la figura 6, en donde se ilustra la concentración de EC6019A en el tiempo, sobresaliendo que la inyección llega a cero partes por millón, todo esto sin afectar el tratamiento de clarificación de agua de producción, como se ve en las anteriores graficas anteriores.

Grafica 3. Concentración de EC6019A en Campo estudio

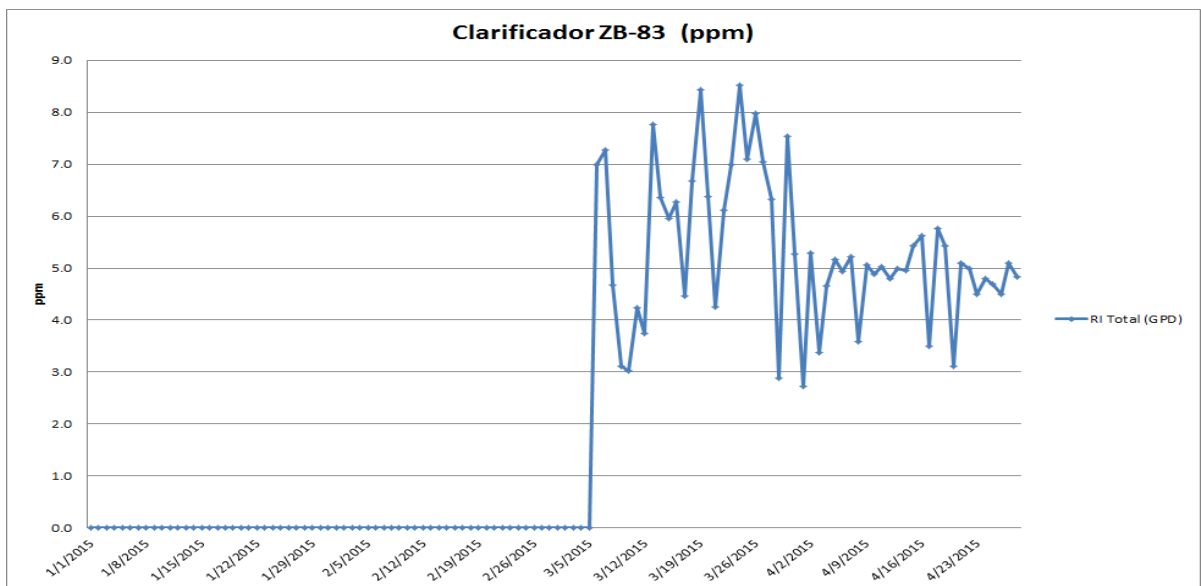


La concentración de productos de nueva tecnología se muestra en las gráficas a continuación.

Grafica 4. Dosificación de rompedor inverso ZB-555



Grafica 5. Dosificación de clarificador ZB-83



Como resultado del trabajo de eliminación de productos químicos base látex se presentan reducciones de hasta el 45% en el volumen de lodos a tratar y el porcentaje de aceite contenido en el lodo descendió a valores de 10% donde inicialmente el lodo era rico en aceite con porcentajes de hasta 60%.

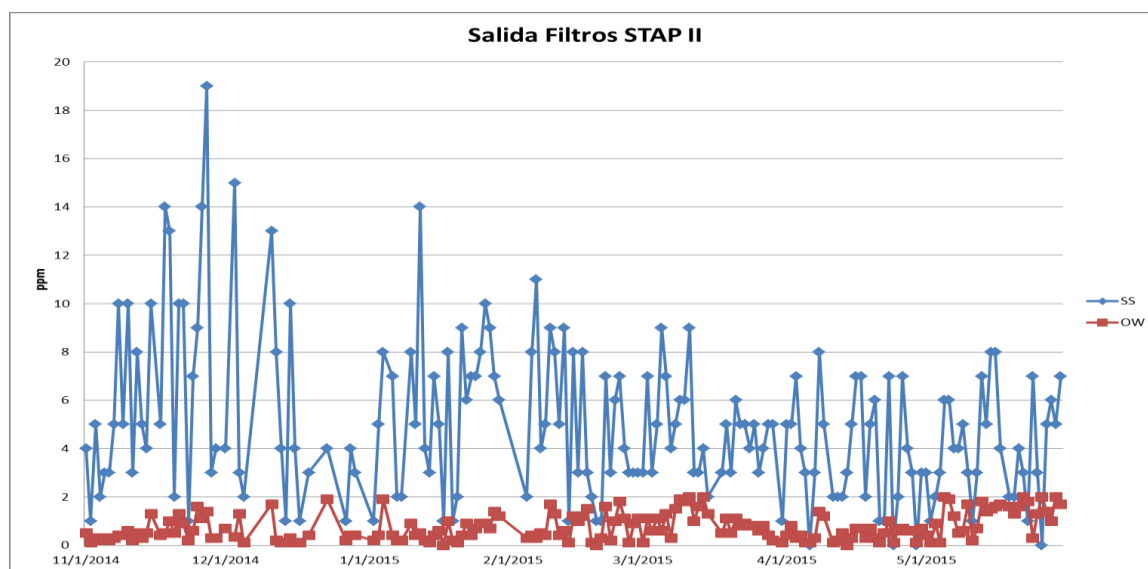
A continuación se relacionan los volúmenes descargados de lodos de tratamiento en la planta tipo Tricanter durante los meses de enero a abril del 2015.

Tabla 4. Volúmenes de Lodo Campo Estudio

FECHA	Total (Bls)	Aceite (Bls)	Agua (Bls)	Solido (Bls)
Enero-15	11415	4717.5	4517.15	2161.15
Febrero-15	7770	2518.6	4181.6	945
Marzo-15	5620	1600.3	3481.5	538.2
Abril-15	1400	433.8	787.4	178.8

Es importante verificar la calidad final del agua tratada en sistema de filtración ya que debemos garantizar la disminución de lodos sin afectación a cuerpos receptores o incrementos de presión o taponamiento de pozos inyectores y/o Disposal.

Grafica 6. Calidad de agua salida sistema de filtración campo estudio.



En la gráfica 6 se observa que la calidad de agua al final del proceso se mantiene, de hecho en los últimos meses se observa una leve mejora lo que indica que el material contaminante es mucho más fácil de eliminar del lecho filtrante adicional que la calidad de agua a la entrada del sistema de filtración es de mejor calidad.

6. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA PRUEBA PILOTO

En este capítulo se presentara la evaluación financiera del proyecto el cual mostrara el ahorro por tratamiento de lodos y recuperación de aceite libre al proceso que se verá reflejado en producción neta entregada a la operación. La evaluación financiera se realizara mediante el cálculo del valor presente neto, se asumirá el costo de los nuevos productos como inversión inicial y se calculara el ROI como retorno de la inversión del proyecto.

En la siguiente tabla se presentan los datos base para la evaluación financiera del proyecto.

Tabla 5. Bases de cálculo

Producción promedio agua @ 2015	850000 BBL/DÍA
Precio Rompedor Inverso ZB-555 @ 2015	4.74 USD/GAL
Precio Clarificador EC6019A @ 2015	7.2 USD/GAL
Precio Clarificador ZB-83 @ 2015	8.45 USD/GAL
Precio Tratamiento de Lodos	0.91 USD/BBL
Tasa de interés	3%

6.1 METODOLOGÍA DE CÁLCULO

Los métodos de análisis que se utilizan para el análisis de esta prueba piloto son:

- Valor Presente Neto (VPN)
- Retorno sobre la inversión (ROI)

6.1.1 Valor presente neto (VPN). Es la suma de los valores actualizados de todos los flujos de caja netos esperados del proyecto, deducido el valor de la inversión inicial. Es un indicador del valor del dinero actual (hoy) que va a recibir el proyecto

en el futuro, a una tasa de interés y período determinado, a fin de comparar este valor con la inversión inicial.

- Si un proyecto de inversión tiene un VPN positivo, el proyecto es rentable.
- Entre dos o más proyectos, el más rentable es el que tiene el VPN más alto.
- Un VPN nulo significa que la rentabilidad del proyecto es la misma que colocar los fondos en él invertidos en el mercado con un interés equivalente a la tasa de descuento utilizada.

En la siguiente fórmula se presenta el cálculo del VPN:

$$VPN = -A + \sum_{k=1}^n \frac{FNC_K}{(1+r)^k}$$

Donde:

FNC_K = flujo neto de caja del proyecto correspondiente al período K.

r = tasa de actualización o de descuento (% anual).

A = inversión inicial (USD).

N = período considerado en el flujo neto de caja.

6.1.2 Retorno sobre la inversión (ROI). El ROI es un valor que mide el rendimiento de una inversión, para evaluar qué tan eficiente es el gasto que estamos haciendo o que planeamos realizar. Existe una fórmula que nos da este valor calculado en función de la inversión realizada y el beneficio obtenido, o que pensamos obtener:

$$ROI = (\text{beneficio obtenido} - \text{inversión}) / \text{inversión}$$

6.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ECONÓMICO

Tabla 6. Cálculos ROI y VPN

Descripción	TRATAMIENTO ACTUAL					TRATAMIENTO CON NUEVA TECNOLOGIA QUIMICA				
	2015	2016	2017	2018	2019	2015	2016	2017	2018	2019
Produccion de Agua (KBBL/Año)	310250.0	346750.0	383250.0	438000.0	492750.0	310250.0	346750.0	383250.0	438000.0	492750.0
Consumo Rompedor Inverso ZB-555 (Gls/Año)	58636.1	65534.4	72432.8	82780.3	93127.9	136817.5	152913.7	169009.9	193154.1	217298.4
Precio Rompedor Inverso ZB-555 (\$US/Gal)	4.74	4.88	5.02	5.18	5.33	4.74	4.88	5.02	5.18	5.33
Consumo Rompedor Inverso EC6019A (Gls/Año)	91211.7	101942.5	112673.2	128769.4	144865.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Precio Clarificador EC6019A (\$US/Gal)	7.20	7.41	7.63	7.86	8.10	7.20	7.41	7.63	7.86	8.10
Consumo Rompedor Inverso ZB-83 (Gls/Año)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	65151.2	72816.0	80480.9	91978.2	103475.4
Precio Clarificador ZB-83 (\$US/Gal)	8.45	8.70	8.96	9.23	9.51	8.45	8.70	8.96	9.23	9.51
Costo Tratamiento Quimico	\$ 934,090.69	\$ 1,075,303.23	\$ 1,224,147.83	\$ 1,440,996.88	\$ 1,669,755.13	\$ 1,198,495.36	\$ 1,379,679.66	\$ 1,570,656.37	\$ 1,848,886.92	\$ 2,142,397.72
Volumen Entrada Aceite STAP II Actual (BBL/Año)	62048.8	69348.6	76648.5	87598.2	98548.0	31024.4	34674.3	38324.2	43799.1	49274.0
Volumen de Lodos Recibidos en PML (KBPA)	930750.0	1040250.0	1149750.0	1314000.0	1478250.0	775625.0	866875.0	958125.0	1095000.0	1231875.0
Precio Tratamiento de Lodos (\$US/BBL)	0.91	0.94	0.97	0.99	1.02	0.91	0.94	0.97	0.99	1.02
Costo Tratamiento de Lodos	\$ 846,982.50	\$ 975,026.33	\$ 1,109,990.50	\$ 1,306,617.38	\$ 1,514,042.89	\$ 705,818.75	\$ 812,521.94	\$ 924,992.08	\$ 1,088,847.82	\$ 1,261,702.41
% Recuperacion de Aceite en PML	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%
Volumen de Aceite Recuperado PML (BBL/Año)	43434.1	48544.0	53653.9	61318.8	68983.6	21717.1	24272.0	26827.0	30659.4	34491.8
Volumen Aceite Recuperado Total (BBL/Año)	43434.1	48544.0	53653.9	61318.8	68983.6	52741.4	58946.3	65151.2	74458.5	83765.8
Precio Barril Crudo (\$US/BBL)	45.00	46.35	47.74	49.17	50.65	45.00	46.35	47.74	49.17	50.65
Ahorro por Aceite Adicional Recuperado	\$ 1,954,535.91	\$ 2,250,015.75	\$ 2,561,465.30	\$ 3,015,210.58	\$ 3,493,875.26	\$ 2,373,365.03	\$ 2,732,161.98	\$ 3,110,350.72	\$ 3,661,327.13	\$ 4,242,562.81
Inversion	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 264,404.67	\$ 304,376.43	\$ 346,508.54	\$ 407,890.05	\$ 472,642.59
Ganancia Annual	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 295,588.21	\$ 340,274.19	\$ 387,375.30	\$ 455,996.07	\$ 528,385.44
ROI (Tratamiento de Lodos + Aceite Recuperado-Inversion)/Inversion	1.12									
VPN	27337.43									

7. CONCLUSIONES

- Es viable la implementación de la nueva tecnología de productos químicos en todos los sistemas de tratamiento de agua en el campo estudio buscando la optimización de los procesos y alternativas que vayan en pro de la reducción del costo de tratamiento de fluidos.
- Es importante iniciar con los tratamientos químicos desde el sistema de recolección asegurando así la calidad de agua en los tanques de tratamiento, de esta forma se garantiza baja concentración de contaminantes en equipos de clarificación.
- El desarrollo de nuevos productos basados en resinas no látex permiten variar las propiedades reológicas del crudo recuperado en los sistemas de clarificación de agua, permitiendo su retorno al sistema y disminuyendo la generación de subproductos no deseados tipo lodo que incrementan los costos de tratamiento.
- Debido a la excelente planificación para la realización de la prueba piloto de la aplicación de los nuevos productos químicos, se obtuvieron resultados importantes que reflejan las bondades de la aplicación de estos productos en términos de reducción de lodos y recuperación de aceite libre que finalmente entrara en la producción neta del campo.
- La aplicación de los productos químicos es viable económicamente pues el análisis económico presenta un valor presente neto positivo y un ROI mayor que cero que garantiza las bondades de la nueva tecnología.
- Es importante garantizar el mantenimiento preventivo de todos los equipos que intervienen en el proceso de clarificación (Tanques, CPI's, Celdas de

Flotación y sistemas de filtración) ya que bajo el nuevo esquema de proceso no se contara con productos látex que eliminan rápidamente las impurezas de los fluidos de producción.

- No se recomienda la implementación de estas nuevas tecnologías químicas en sistemas que no cuenten con sistemas de filtración ya que los sólidos suspendidos al final del proceso no podrán ser eliminados fácilmente a menos que se cuente con piscinas de estabilización que permitan la desestabilización de cargas y la floculación del contaminante.

BIBLIOGRAFÍA

FLYNN, Daniel J., The Nalco Water HandBook , NalcoCompany, Third Edition.

FORERO. J.R., DÍAZ. J. y BLANDÓN. V. R. Diseño de un nuevo sistema de flotación para tratamiento de aguas industriales. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ctyf/v1n5/v1n5a06.pdf>

NALCO ENERGY. Oil Field Chemicals Training Manual 3-15. Property of Nalco Energy Services, Confidential & Proprietary.

NATCO GROPU. NATCO Hiperfilter high efficiency, deep multi-bed filtration at high flux rates. Disponible en: <http://www.scomigroup.com.my/core/membranes/Hiperfilter%20Media%20Filter.pdf>

SIEMENS. Quadricell® Induced Gas Flotation Separators. Disponible en: http://www.energy.siemens.com/us/pool/hq/industries-utilities/oil-gas/portfolio/water-solution/quadricell_induced_gas_flotation_separators_en.pdf