

**ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN EN
PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA DE PRODUCCIÓN, EN EL CAMPO
JILGUERO, EMPLEANDO COMO LECHO FILTRANTE RESINA DE
POLIPROPILENO.**

YENI MILENA LEÓN CAMARGO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA
2016**

**ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN EN
PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA DE PRODUCCIÓN, EN EL CAMPO
JILGUERO, EMPLEANDO COMO LECHO FILTRANTE RESINA DE
POLIPROPILENO.**

YENI MILENA LEÓN CAMARGO

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de
ESPECIALISTA EN PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS**

Director

**EDISON ODILIO GARCIA NAVAS
INGENIERO DE PETROLEOS, M. Sc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA
2016**

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme permitido realizar esta especialización y poder sintetizar en ésta monografía, los conocimientos adquiridos.

A la Universidad Industrial de Santander, extensión Bogotá por abrirme las puertas para enriquecerme con nuevas experiencias y conocimientos.

A los diferentes docentes por transmitirme sus conocimientos y brindarme su apoyo y orientación para lograr la culminación exitosa de ésta especialización.

Al Gerente General William Ariza y al Gerente de Ingeniería y Proyectos Javier Fuentes de la empresa GALQUI S.A.S, compañía para la cual laboro, por haberme brindado su apoyo durante la especialización.

Al Ingeniero Edison García y a la Ingeniera Ana Jiménez por su apoyo y orientación en la realización de ésta monografía.

A mis compañeros de clase, porque aprendí de sus experiencias laborales y académicas.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de Monografía a mis Padres y hermanos que siempre han estado a mi lado apoyándome y brindándome su consejo oportuno para que siga creciendo personal y profesionalmente.

A personas tan especiales como Víctor Manuel quien también ha sido apoyo y guía en mi crecimiento académico y laboral.

Yeni Milena León Camargo

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	13
1. TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN.....	15
1.1 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL AGUA.....	15
1.1.1 Sabor.	16
1.1.2 Color.....	16
1.1.3 Olor.....	16
1.1.4 Turbidez.....	16
1.1.5 Temperatura.....	16
1.1.6 Sólidos.....	16
1.1.7 pH.....	17
1.1.8 Alcalinidad.....	18
1.1.9 Distribución del tamaño de partículas.....	18
1.1.10 Cationes.....	18
1.1.11 Aniones.....	19
1.1.12 Fenoles.....	20
1.1.13 Demanda bioquímica de oxígeno.....	20
1.1.14 Demanda química de oxígeno (DQO).....	20
1.1.15 Aceites.....	20
1.2 SÓLIDOS Y ACEITES EN EL AGUA	21
1.3 PROBLEMAS OCASIONADOS POR LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS Y EL ACEITE EN EL AGUA	22
1.4 PRINCIPIOS SOBRE EL TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN Y RESIDUALES	24
1.4.1 Principios de Separación.....	25
1.4.2 Tipos de sistemas para el tratamiento de agua de producción.....	28
2 GENERALIDADES DEL CAMPO JILGUERO	29
2.1 CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS DEL CAMPO	29
2.2 ESPECIFICACIONES DE PARÁMETROS IN-OUT AGUA DE PRODUCCIÓN.....	30

3. EQUIPOS QUE CONFORMAN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA EN EL CAMPO JILGUERO.	31
3.1 UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AGUA - UTA	31
3.2 TANQUE DE LODOS.....	32
3.3 SISTEMA DE FILTRACIÓN	32
3.4 DECANTADOR.....	33
3.5 TANQUE DE ACEITES.....	34
4. SISTEMAS DE FILTRACIÓN.....	39
4.1 RESINA DE POLIPROPILENO.....	40
4.2 CÁSCARA DE NUEZ	43
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL SEGUIMIENTO REALIZADO A LOS PARÁMETROS DEL AGUA DE PRODUCCIÓN PARA INYECCIÓN EN EL CAMPO JILGUERO.....	45
5.1 RESULTADOS Y ANÁLISIS LECHO FILTRATE CASCARA DE NUEZ. ...	45
5.2 RESULTADOS Y ANÁLISIS LECHO FILTRATE RESINA DE POLIPROPILENO.....	51
5.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS PARA EL RETROLAVADO DEL FILTRO.....	57
5.4 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS LECHOS FILTRANTES CASCARA DE NUEZ Y RESINA DE POLIPROPILENO.	64
6. CONCLUSIONES.....	70
7. RECOMENDACIONES	71
BIBLIOGRAFÍA.....	72

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Condiciones ambientales bloque Tiple y Ocarros	29
Tabla 2. Parámetros calidad de agua de producción a la entrada del proceso.	30
Tabla 3. Parámetros calidad de agua de inyección requeridos a la salida del proceso ⁶	30
Tabla 4. Especificación de Equipos ^x	34
Tabla 5. TSS y O/W afluente y efluente cascara de nuez enero.	46
Tabla 6. TSS y O/W afluente y efluente cascara de nuez febrero	47
Tabla 7. TSS y O/W afluente y efluente cascara de nuez marzo.....	48
Tabla 8. TSS Y O/W afluente y efluente resina de polipropileno Abril.	52
Tabla 9.TSS Y O/W afluente y efluente resina de polipropileno Mayo.....	53
Tabla 10.TSS Y O/W afluente y efluente resina de polipropileno Junio.....	54
Tabla 11. Determinación de retrolavado de los filtros lecho filtrante cascara de nuez.	58
Tabla 12. Determinación de retrolavado de los filtros lecho filtrante resina de polipropileno.....	61
Tabla 13. Valores comerciales y cantidades usadas de los lechos filtrantes.....	66

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema Sistema de Tratamiento aguas de producción campo Jilguero	38
Figura 2. Resultados TSS IN -cascara de nuez enero a marzo.	49
Figura 3. Tendencia TSS OUT -cascara de nuez enero a marzo.	49
Figura 4. Resultados O/W IN-cascara de nuez enero a marzo.	50
Figura 5. Tendencia O/W OUT cascara de nuez enero a marzo.	50
Figura 6. Tendencia TSS IN resina polipropileno abril a junio.	55
Figura 7. Tendencia TSS OUT resina polipropileno abril a junio.	55
Figura 8. Tendencia O/W IN resina polipropileno abril a junio.	56
Figura 9. Tendencia O/W OUT resina polipropileno abril a junio.	57
Figura 10. Curva retrolavado TSS lecho filtrante cascara nuez	59
Figura 11. Curva retrolavado O/W lecho filtrante cascara nuez.	59
Figura 12. Curva retrolavado TSS lecho filtrante resina de polipropileno.	62
Figura 13. Curva retrolavado O/W lecho filtrante resina de polipropileno.	62
Figura 14. Comparativo de tiempos de retrolavado.	63
Figura 15. Empaquetado del filtro con los lechos filtrantes resina de polipropileno y cáscara de nuez.	65
Figura 16. Costos de producción de un barril de petróleo de acuerdo a compañía operadora.	66
Figura 17. Costos de producción asociados al tratamiento de fluidos.	67
Figura 18. Costo de un barril de agua a través del filtro.	68

RESUMEN

TÍTULO: ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN EN PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA DE PRODUCCIÓN, EN EL CAMPO JILGUERO, EMPLEANDO COMO LECHO FILTRANTE RESINA DE POLIPROPILENO*.

AUTOR: LEÓN CAMARGO, YENI MILENA **.

PALABRAS CLAVES: Aguas de producción, sistemas de tratamiento, filtración, resina de polipropileno.

DESCRIPCIÓN

El tratamiento del agua asociada a la producción del petróleo es hoy en día un proceso de gran importancia en el sector de los hidrocarburos, pues su disposición final requiere el cumplimiento de ciertos parámetros establecidos por normatividad, dependiendo de su destino final, por lo tanto deben realizarse los procesos adecuados que permitan cumplir con estos requisitos y evitar posibles sanciones.

Para el tratamiento del agua e impurezas que ésta transporta, en la industria del petróleo, se hace uso de una serie de equipos de superficie. La forma de funcionamiento de estos equipos involucran mecanismos físicos como: decantación (tiempo de retención), flotación, filtración, coalescencia, sistemas de micro-burbujas, entre otras, siendo el proceso de filtración el de gran interés por los costos que implica.

El costo elevado de los materiales usados para el proceso de filtración, constituye un tema de relevancia y ha generado que se inicie la búsqueda de nuevas tecnologías de implementación para reducir costos y mejorar la eficiencia de remoción en el proceso. El campo Jilguero presenta un elevado costo de los sistemas de filtración, pérdida significativa del material filtrante, desgaste y saturación del material que constituye el lecho a través del tiempo.

El presente trabajo permite evaluar la efectividad y la eficiencia de la resina de polipropileno en los sistemas de filtración actualmente empleados en el campo Jilguero, de tal forma que se define la viabilidad de sustituir los materiales actualmente utilizados en el tratamiento de aguas de producción como lo es la cascara de nuez. Finalmente se realizará un estudio económico con el fin de analizar la rentabilidad del sistema.

* Monografía de Especialización.

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos, Director: M. Sc. Edison García.

ABSTRACT

TITLE: TECHNICAL-ECONOMIC STUDY OF A FILTRATION SYSTEM IN PRODUCTION WATER TREATMENT IN THE FIELD JILGUERO USING POLYPROPYLENE RESIN AS FILTER BED*.

AUTHOR: YENI MILENA LEÓN CAMARGO**.

KEY WORDS: Production water, treatment system, filtration, polypropylene resin.

DESCRIPTION:

Water treatment associated with oil production is nowadays a process of great importance in the hydrocarbon sector, its disposal must be compliance with certain parameters established by regulations, depending on their final destination, therefore must appropriate processes to meet these requirements and prevent possible penalties.

For the treatment of water and its impurities the oil industry uses different surface equipment. The operation of these devices involve physical mechanisms such as: decantation (retention time), flotation, filtration, coalescence, microbubbles systems, among others, being the filtration process the high interest because cost is relevant.

The high cost of the materials used for the filtration process , are a subject of interest in the search for new deployment technologies to reduce costs and improve removal efficiency in the process. Jilguero field presents high costs of filtration systems, significant loss, wear and saturation of the material constituting the filter bed over time.

In this work are presented the effectiveness and efficiency of the polypropylene resin in the filtration systems, also defined the feasibility of replacing the materials currently used in the treatment of produced water as are the nutshell. An economic study will also be conducted in order to study the profitability of the system.

* Specialization monograph.

** Physicochemical of Engineering Faculty. Petroleum Engineering School, Director: M.Sc. Edison García.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento del agua asociada a la producción del petróleo es hoy en día un proceso de gran importancia en el sector de los hidrocarburos, pues su disposición final requiere el cumplimiento de ciertos parámetros establecidos en la normatividad ambiental de acuerdo con su disposición final, ya sea reinyección, vertimiento, riego en vías o aspersión.

El tratamiento que se da al agua de producción para reinyección en las instalaciones, se las denomina planta de tratamiento de aguas y dependen del tipo de agua a tratar y de las características del yacimiento.

En estas plantas, se debe tener en cuenta los valores de calidad final de agua a partir de las características iniciales o a la entrada del sistema; que no es más que la concentración de sólidos suspendidos, trazas de grasas y aceites, concentración de bacterias y la tendencia del agua a ser corrosiva o incrustante.

Para el tratamiento del agua e impurezas que ésta transporta, en la industria del petróleo, se hace uso de una serie de equipos de superficie. La forma de funcionamiento de estos equipos involucran mecanismos físicos como: decantación (tiempo de retención), flotación, filtración, coalescencia, sistemas de micro-burbujas, entre otras.

Adicionalmente la eficiencia de las vasijas para tratar aguas es mejorada con la inyección de productos químicos tales como rompedores de emulsión, clarificadores y polímeros.

El elevado costo de los sistemas de filtración necesarios para la remoción de los sólidos en suspensión y comúnmente empleados en los procesos de tratamiento de aguas de producción y los problemas asociados a la selección del material utilizado para este fin, constituyen un tema de gran interés en la búsqueda de soluciones para la implementación de nuevas tecnologías y materiales, que pueden además de disminuir costos, presentar una alta eficiencia de remoción de material en el proceso.

El proceso de tratamiento de aguas de producción implementado en el campo Jilguero representa actualmente un elevado costo asociado principalmente al sistema de filtración, presentando pérdida significativa del material filtrante, además de desgaste y saturación del lecho.

Lo mencionado anteriormente se debe principalmente a la alta demanda de los materiales convencionales que hace elevado el costo de los mismos, el tamaño de partícula, la baja resistencia, la vulnerabilidad a la saturación, las características del fluido a la entrada del sistema y la dificultad para la regeneración de los lechos convencionales.

De continuar con ésta situación, se seguirán generando sobrecostos, pérdidas de material y daños a las formaciones receptoras en aquellos campos en que se realice el tratamiento de aguas de producción empleando sistemas de filtración y se disponga el agua tratada en pozos inyectoros.

El presente trabajo nos lleva a evaluar la efectividad del material desarrollado para retener las partículas sólidas del proceso, como lo es la resina de polipropileno, en el sistema de filtración para el campo Jilguero, de tal forma que se pueda definir la viabilidad de sustituir los materiales actualmente utilizados en el tratamiento de aguas de producción como lo son la cascara de nuez, de coco o de palma.

Se realizará además un estudio económico con el fin de estudiar la rentabilidad del sistema.

1. TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN

La mayoría de los campos petroleros maduros tienen algo en común, el agua producida en grandes cantidades. Globalmente, por cada barril de petróleo producido se generan como mínimo tres barriles de agua.

Aunque se disponga de las mejores técnicas de manejo en campo, tarde o temprano la producción de agua puede aumentar al punto de representar más del 90% del volumen de líquidos que se lleva a la superficie¹.

En los procesos de producción petrolera, el agua eliminada de la deshidratación del crudo (aguas de producción), es posteriormente tratada para su reutilización como agua de inyección para la recuperación de pozos o para ser usada con otros fines dentro de la industria petrolera.

Tradicionalmente, las técnicas para el tratamiento de las aguas de producción (aguas aceitosas) utilizan separadores API, separadores coalescentes, tratamiento químico con clarificadores y sistemas de filtración, entre otros, de tal forma que al final del proceso se logre remover las grasas y aceites, los sólidos suspendidos y la materia orgánica del agua producida.

1.1 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL AGUA²

Antes de seleccionar el equipo de tratamiento del agua residual para vertimiento, inyección o riego, es necesario llevar a cabo un análisis o caracterización de las aguas residuales o de producción; esto con el fin de determinar la calidad del agua requerida por las normas ambientales para el propósito que sea requerido.

¹ RICHARD, A.: Manejo de la producción de agua: De residuo a Recurso. *Oilfield review*, Schlumberger, 2010, 31p.

² JAIMES, Diana Marcela; PICO, María Isabel. "Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales y de producción evaluando las diferentes alternativas nacionales y extranjeras-aplicación Campo Colorado". Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga, 2009.

Recordemos que la calidad del agua en este caso, está definida generalmente en términos de los problemas que puedan llegar a ocasionar al ambiente, fauna y flora.

1.1.1 Sabor. Compuestos químicos presentes en el agua como fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas pueden dar olores y sabores muy fuertes al agua aunque estén en pequeñas concentraciones.

1.1.2 Color. El agua no contaminada suele tener colores rojizos, pardos, amarillentos o verdosos. Las aguas contaminadas pueden tener diversos colores, pero en general no se pueden establecer relaciones claras entre el color y el tipo de contaminación.

1.1.3 Olor. Las aguas residuales tienen un olor característico desagradable, mientras que las aguas residuales sépticas tienen un olor muy ofensivo, generalmente producido por H₂S proveniente de la descomposición anaerobia de los sulfatos o sulfuros.

Las aguas industriales residuales tienen a veces, olores característicos específicos del proceso industrial del cual provienen. Los olores de las aguas residuales constituyen una de las principales objeciones ambientales y su control en plantas de tratamiento es muy importante. Además del ácido sulfhídrico son causantes de olores ofensivos en aguas residuales los siguientes compuestos: aminas, amoníaco, di-aminas, mercaptanos y sulfuros orgánicos.

1.1.4 Turbidez. Es una medida del grado de oscuridad el agua. Indica que el agua no es clara por contener material insoluble tal como sólidos suspendidos, aceite disperso o burbujas de gas. Cuando el agua es muy turbia se puede presentar problemas de taponamiento.

1.1.5 Temperatura. La temperatura es un parámetro importante de control por su efecto en la vida acuática y en la aplicabilidad del agua a usos industriales.

1.1.6 Sólidos. Los sólidos pueden ser incorporados al agua por diversas actividades industriales y domésticas. La mayor parte de las partículas

presentes en las aguas residuales están en los rangos de $1 \cdot 10^{-7}$ milímetros en adelante. Las partículas sobre 10-3 milímetros pueden ser removidas por procesos de sedimentación o filtración, por debajo de estas medidas requieren ser removidas por procesos especiales.

Por esta razón las pruebas analíticas, son comúnmente divididas en sólidos: sedimentables, suspendidos y disueltos.

- **Sólidos sedimentables:** Son aquellos que sedimentan bajo la acción de la gravedad. La determinación se realiza generalmente en un cono *Imhoff* dejando la muestra en reposo durante una hora. EL resultado se reporta en ml/L.

Esta determinación evalúa la cantidad de sedimento que podría eventualmente ser lanzada a la fuente receptora; sirve además para dimensionar un sistema de remoción.

- **Sólidos suspendidos:** Pueden ser orgánicos e inorgánicos. Por lo general son partículas de óxido metálicos de la corrosión, hierro o manganeso presentes originalmente en el agua.

Otros sólidos suspendidos pueden ser los sedimentos, arena, arcilla o cuerpos bacterianos. En la práctica se identifican y se estima su tendencia al taponamiento haciendo uso de un filtro de membrana de 0.45 micras.

- **Sólidos disueltos:** Se consideran aquellos que pasan a través de la membrana de filtración.

1.1.7 pH. El valor de pH o potencial de hidrógeno es usado en cálculos de dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno y la tendencia a la formación de incrustaciones. Es importante resaltar que la presencia de H₂S y CO₂ disueltos en el agua tienden a disminuir el pH.

Un agua es neutra cuando su valor de pH es igual a 7 @ 25°C. La mayoría de las aguas en los campos petroleros presentan un pH que oscila entre 4 y 8.

Cuando el pH es mayor de 7 se dice que el agua es básica y entre más elevado es este valor se tiene una tendencia mayor a la incrustación.

Cuando el pH es menor de 7, se dice que el agua es ácida y entre más reducido sea el pH aumenta la posibilidad de corrosión. Los valores extremos de pH ya sean altos o bajos limitan la existencia de vida biológica.

1.1.8 Alcalinidad. La alcalinidad en el agua representa su habilidad para neutralizar ácidos. Las principales fuentes de alcalinidad en las aguas naturales son el ion hidróxido, ion carbonato y el ion bicarbonato.

Otros iones como fosfatos, boratos o iones silicatos están presentes en concentraciones muy bajas y por lo tanto no afectan la alcalinidad.

La alcalinidad se divide en alcalinidad P y M. La alcalinidad P es una medida del número de equivalentes ácidos requeridos para bajar el pH del agua a aproximadamente 8.3 y la alcalinidad M para bajar el pH a aproximadamente 4.5.

1.1.9 Distribución del tamaño de partículas. El conocimiento de la distribución del tamaño de partículas puede ser muy útil en la determinación de la selección para la filtración y el filtro.

1.1.10 Cationes.

- **Calcio:** El ion calcio es uno de los principales contaminantes de las aguas de los campos petroleros y puede presentarse en cantidades tan altas como 30000 mg/l.

El ion calcio es de gran importancia debido a que fácilmente combina con los iones sulfatos y carbonatos produciendo incrustaciones de carbonato de calcio CaCO_3 y sulfato de calcio CaSO_4 . También forma sólidos suspendidos.

- **Magnesio:** El ion magnesio usualmente está presente en concentraciones más bajas que el calcio. Sin embargo, el problema resultante es el mismo que con el calcio.

- **Sodio:** Es el mayor constituyente de las aguas de los campos, pero normalmente no causa ningún problema, con la única excepción de la precipitación de NaCl desde salmueras extremadamente saladas.
- **Hierro:** Su presencia en las aguas de inyección indica por lo general corrosión. El hierro puede estar presente en solución como ion férrico (Fe^{+3}) o ion ferroso (Fe^{+2}) o en suspensión como un compuesto de hierro precipitado.

El conteo de hierro se usa frecuentemente para controlar y monitorear la corrosión, los óxidos forman recubrimientos adherentes y pueden causar fallas en la tubería debido al sobrecalentamiento y deformación cáusticas. Es importante resaltar que el contenido normal de hierro en aguas de formación es bastante bajo.

- **Bario:** Al combinarse con el ion sulfato forman el sulfato de Bario $BaSO_4$, el cual es extremadamente insoluble y genera graves problemas por la dificultad de ser removido.
- **Estroncio:** El ion estroncio puede combinarse con el ion sulfato para formar sulfato de estroncio insoluble; aunque es más soluble que el del bario. Generalmente se encuentra mezclado en las incrustaciones con sulfato de Bario.

1.1.11 Aniones.

- **Cloro:** El ion cloruro es el principal constituyente de las aguas de los campos petroleros y las aguas frescas. La mayor fuente de los iones cloruros es el NaCl, por lo tanto este ion es utilizado para medir la salinidad del agua según su concentración se puede clasificar de la siguiente manera:

Agua dulce: 0 - 2000 ppm

Agua salubre: 2000 - 5000 ppm

Agua salada: 5000 - 40000 ppm

Salmuera: > 40000 ppm

El principal problema asociado con el ion cloruro es el incremento de la corrosividad a medida que la concentración de este ion aumenta.

- **Carbonatos y bicarbonatos:** estos iones son importantes debido a que pueden formar incrustaciones insolubles. La concentración de ion carbonato es conocida como alcalinidad P y la concentración de bicarbonato como alcalinidad M.
- **Sulfato:** El ion sulfato es un problema porque tiene habilidad para reaccionar con el calcio, bario y estroncio para formar sólidos insolubles.

1.1.12 Fenoles. Son compuestos aromáticos presentes en aguas residuales de la industria del petróleo, del carbón, plantas químicas, entre otros. Los fenoles causan problemas de sabores en aguas de consumo tratadas con cloro; en aguas residuales se consideran no biodegradables, pero se ha demostrado que son tolerables concentraciones hasta 500 mg/L.

1.1.13 Demanda bioquímica de oxígeno. Es una medida de la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para la oxidación bioquímica de la materia orgánica presente en el agua. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es el parámetro de polución orgánica más utilizado y aplicable a las aguas de producción, que supone la cantidad de oxígeno consumida por los microorganismos a condiciones de incubación, durante un lapso dado para alcanzar la oxidación biodegradable presente en el agua.

Los datos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se utilizan para dimensionar las estaciones de tratamiento y medir el rendimiento de algunos de estos procesos de tratamiento, evaluándose a la vez la velocidad a la que se requiera el oxígeno.

1.1.14 Demanda química de oxígeno (DQO). Corresponde a la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica y otras sustancias reductoras presentes en el agua. Su valor es más alto que la DBO, pero es correlacionable para un mismo sistema.

1.1.15 Aceites. Los efectos biológicos de los hidrocarburos por sus propiedades físicas generan contaminación física y sofocación, y por sus componentes químicos, efectos tóxicos e impregnación. Las aguas aceitosas deterioran

la vegetación, en especial la de los pantanos, ciénagas y manglares ya sea por obstrucción de las raíces o por cambios en el equilibrio de sales.

1.2 SÓLIDOS Y ACEITES EN EL AGUA ³

El agua asociada transporta consigo impurezas tales como: materiales sólidos en suspensión, gotas de aceite dispersas en la fase agua y sólidos humedecidos con petróleo.

Muchas de las aguas de producción poseen sólidos suspendidos cuyo tamaño están en el rango de 0.01 micrones a 100 micrones. Los sólidos suspendidos básicamente pueden estar compuestos por finos de formación, limos, arcillas, productos de corrosión como *scale* y *sludge* formados por bacterias, cuerpos de bacterias muertas, etc. Algunos de los más importantes son:

- **Oxido de hierro:** son dos las fuentes de hierro encontradas en las operaciones de producción: por producción natural y por precipitación de hierro (ferroso). El óxido de hierro que se produce no es muy común.
- **Sulfuro de hierro:** es un sólido bastante taponante, muchas veces producto de la corrosión del H₂S con el hierro disuelto en el agua o con el hierro de las estructuras de acero.
- **Arena y limo:** Son encontrados en más del 90% de las aguas tratadas en los campos petroleros. La cantidad en la cual ocurren es variada y frecuentemente son tan altas como 50-60% del total de los sólidos contenidas en el agua. El tamaño de estas partículas se encuentra en el rango de 7 hasta 150m micras.

Muchos equipos de superficie excluidos los filtros, remueven partículas de 50 micras o más grandes. Partículas de este rango estarán normalmente impregnadas con aceite y tienden a permanecer en suspensión debido a las velocidades de flujo o turbulencia en el sistema. El uso de surfactantes aumenta el remojo de agua de estas partículas y facilita su asentamiento.

³ Programa de capacitación personal de producción. Modulo 2: circuito del agua. Perenco Colombia. 2000.

Para tratar el agua y eliminar las impurezas que el agua transporta, en la industria del petróleo, se hace uso de una serie de equipos de superficie, entre los cuales podemos enunciar: el *oil skimmer*, la IGF (Flotadores de Gas Inducido), el *skim tank*, los filtros, entre otros.

La forma de funcionamiento de estos equipos involucran mecanismos físicos tales como: la decantación (tiempo de retención), la flotación por medio de la inyección de gas, la filtración, etc.

Dentro del objetivo principal del tratamiento del agua en el campo Jilguero, se encuentran la necesidad de realizar el tratamiento principalmente de los Sólidos suspendidos y las grasas y aceites presentes en ella, esto debido a que se encuentran fuera de los límites establecidos por CEPSA para su disposición final (reinyección).

De acuerdo con los resultados del análisis de laboratorio realizado en campo (valores suministrados por CEPSA y realizados por espectrofotometría), el sistema de tratamiento recibirá un agua de formación con un promedio de 500 ppm de O/W y 300 ppm de TSS, así mismo y luego de la aplicación del tratamiento propuesto, se espera cumplir con los parámetros de O/W y TSS a la salida de 3ppm y 5 ppm respectivamente. Estos parámetros corresponden a los criterios establecidos por CEPSA teniendo en cuenta principalmente el cuidado de la formación, dado que la normatividad ambiental (Decreto 1594 de 1984) establece porcentajes de remoción en carga en términos de vertimiento como disposición final, el cual no es el caso del campo Jilguero.

1.3 PROBLEMAS OCASIONADOS POR LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS Y EL ACEITE EN EL AGUA⁴

Cuando el agua a disponer no cumple con los parámetros exigidos por la normatividad ambiental (Resolución 0631 de marzo de 2015, Decreto 1594 de 1984 y Res. 3930 de 2010, donde se establecen los criterios mínimos para el vertimiento del agua a afluentes con el objetivo de brindar protección al medio ambiente en Colombia), el PMA específico del pozo inyector y la licencia ambiental del bloque, se puede presentar:

⁴ Programa de capacitación personal de producción. Modulo 2: circuito del agua. Perenco Colombia. 2000.

- Incremento en la presión de inyección y disminución de las ratas de inyección, ocasionada por el taponamiento de la cara de la formación.
- Incrustaciones en tuberías y equipos
- Obstrucciones en la formación
- Perdidas de producción ocasionadas por el cierre de pozos productores con alto BSW debido a la imposibilidad de disponer del agua asociada al crudo.
- Excesivos costos en el tratamiento químico del agua asociada a la producción ya sea para inyectarla y/o usarla para vertimiento.
- Aumento del costo por barril de agua utilizada de otras fuentes cuando las mismas contienen elevadas cantidades de sólidos suspendidos totales SST.
- Desgaste excesivo de las piezas de las bombas de inyección de agua ya sea por abrasión de los sólidos o por sobre-esfuerzos cuando la presión de inyección se incrementa.
- Cuando un agua está demasiado emulsionada, esta puede llegar a transportar grandes cantidades de crudo, conllevando a pérdidas de aceite.
- Mayor gasto energético y disminución de la vida útil de los equipos
- Incremento en el número de mantenimientos y servicios a pozos.
- Disminución de los tiempos entre retro lavados de los filtros, para lograr mantener la calidad del agua.
- Aumentos de los tiempos de retro-lavado de los filtros para lograr una buena limpieza de los mismos. Implementación del uso de varsol y/o jabones para descontaminar los medios filtrantes de los trenes de filtración.
- Necesidad de perforar o acondicionar nuevos pozos inyectores para mantener los volúmenes de agua inyectada.
- Cierres definitivos o parciales de los pozos inyectores debido a daños severos en la formación.

- Perturbación de la calidad del tratamiento del crudo ocasionado por:
 - Acumulación de grumos en las interfaces de las facilidades de producción.
 - Recuperación excesiva de crudo en los desnates de las vasijas de tratamiento de agua, lo que ocasiona agitación en la entrada de los fluidos a los equipos.
 - Acumulación de sólidos (óxido de hierro y sulfuro de hierro) en la interface agua-aceite lo que obstruye la normal separación de las fases y el funcionamiento de los productos químicos como rompedores.
- Afectación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de cuerpos de agua
- Alteración de los ecosistemas
- Afectación de la flora y la fauna

Es importante mencionar que este tipo de inconvenientes, consecuencia de la ausencia de un sistema de tratamiento de agua o en su defecto un tratamiento deficiente, se traducen en incrementos de costos de operación que incluyen desde el valor de los servicios a pozo que deben realizarse para reactivar el sistema y los costos de almacenamiento del agua producida que no se puede disponer, hasta la parada de un campo en el peor de los casos.

1.4 PRINCIPIOS SOBRE EL TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN Y RESIDUALES⁵

En operaciones de producción, con frecuencia es necesario utilizar equipos tratadores de agua, donde se relaciona el agua producida con el crudo, el agua de lluvia y el agua de lavado.

⁵ JAIMES, Diana Marcela; PICO, María Isabel. "Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales y de producción evaluando las diferentes alternativas nacionales y extranjeras-aplicación Campo Colorado". Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga, 2009.

El agua se debe manejar eficientemente para garantizar que no viole los criterios sobre control ambiental.

El agua producida requiere con frecuencia un tratamiento primario antes de su eliminación. Este tratamiento puede constar de un tanque desnatador, recipiente desnatador, interruptor de platos corrugados (CPI), o un separador de flujo transversal. Todos estos equipos emplean técnicas de separación gravitacional.

Si con el anterior tratamiento no se obtiene la calidad de agua deseada se debe hacer un tratamiento secundario utilizando una unidad de flotación. En actividades costa afuera la eliminación se realiza por medio de una pila desnatadora. El agua después de haber sido tratada se podrá reinyectar, evaporar o regar en vías.

1.4.1 Principios de Separación. Una de las principales funciones de los equipos tratadores de agua es separar las gotas de aceite que están sujetas a una dispersión durante el recorrido ascendente en el pozo, a través de los estranguladores en superficie, líneas de flujo, válvulas de control y equipos procesadores.

En el instante de colocar una alta cantidad de energía dentro del sistema, las gotas se dispersan en pequeños tamaños. Cuando la energía impuesta es baja, las pequeñas gotas colisionan y coalescen.

Para separar las gotas de aceite se usan varios procesos dentro de los cuales encontramos los siguientes:

- **Separación por Gravedad:** Las gotas de aceite se separan por diferencia de densidades. Viajan a la superficie del agua y se acumulan formando una nata que posteriormente se retirará.

Entre mayor sea el tamaño de la gota de aceite, esta ascenderá con mayor velocidad, lo que significa que el aceite se podrá retirar en menor tiempo. Entre más alta sea la temperatura, más baja es la viscosidad del agua y de esta manera es más grande la velocidad vertical; por ende es más fácil tratar el agua.

$$V_o = 1.78 \cdot 10^6 (\Delta SG) \cdot (d_m^2) / \mu_w$$

Ec- 1

“Ley de Stokes”

Donde:

V_o , Velocidad final de ascenso (ft/seg)

ΔSG , Diferencia de gravedades específicas

d_m , Diámetro gota de aceite (μm)

μ_w , Viscosidad del agua (cp).

- **Dispersión:** Una gota de aceite llega a ser inestable u oscilante cuando la energía cinética es suficiente para compensar la diferencia en la energía superficial entre una sola gota y las dos más pequeñas formadas a partir de ella.

Al mismo tiempo las gotas más pequeñas se juntan presentándose la coalescencia. Entre más grande sea la caída de presión y las fuerzas de cizallamiento que el fluido experimenta en un periodo de tiempo mientras fluye, más pequeño es el diámetro máximo de la gota de aceite.

$$D_{max} = 432 * (Tr / \Delta P)^{2/5} (\sigma / \rho_w)^{3/5}$$

Ec- 2

Donde:

D_{max} , Diámetro máximo gota de aceite para el cual el agua puede contener un

5% en volumen de aceite (μm)

σ , Tensión superficial (dinas/cm²),

ρ_w , Densidad del agua (g/cm³)

ΔP , Perdida de presión (psia)

Tr , Tiempo de retención (min)

Entre mayor sea la caída de presión, y el esfuerzo cortante que el fluido experimente en el periodo de tiempo dado mientras fluye a través de los tratadores, menor será el diámetro máximo de la gota de aceite.

Esto quiere decir que la mayor caída de presión ocurrida en una pequeña distancia a través del estrangulador, válvulas de control, desarenadores etc.

da como resultado gotas más pequeñas; sin embargo, aún cuando ocurran grandes pérdidas de presión todas las gotas mayores que el diámetro máximo pueden dispersarse instantáneamente.

- **Coalescencia:** Es la unión de pequeñas gotas para formar gotas de mayor tamaño. A mayor tiempo de retención mayor coalescencia, y por tanto más eficiente es el tratamiento al agua. Normalmente se usan paneles coalescedores que ayudan a la agrupación de las gotas.
- **Flotación:** Este proceso mejora la separación de las gotas de aceite de la fase continua.

Este objetivo es alcanzado por el incremento de la diferencia entre la densidad de los dos fluidos al juntar las burbujas de gas con las de aceite. Este proceso disminuye el proceso de retención en los equipos.

- **Floculación:** La floculación es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutina las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado.

Los compuestos que pueden estar presentes en el agua pueden ser:

Sólidos en suspensión.

Partículas coloidales (menos de 1 micra).

Sustancias disueltas.

El proceso de floculación es precedido por la coagulación, por eso muchas veces se habla de los procesos de coagulación-floculación. Estos facilitan la retirada de las sustancias en suspensión y de las partículas coloidales.

La floculación es la aglomeración de partículas desestabilizadas en micro-flóculos y después en los flóculos más grandes que tienden a depositarse en el fondo de los recipientes construidos para este fin, denominados sedimentadores.

Los factores que pueden promover la coagulación-floculación son el gradiente de la velocidad, el tiempo y el pH. El tiempo y el gradiente de velocidad son importantes al aumentar la probabilidad de que las partículas se unan y da más tiempo para que las partículas desciendan, por efecto de la gravedad, y así se acumulen en el fondo.

Por otra parte el pH es un factor prominente en acción desestabilizadora de las sustancias coagulantes y floculantes.

- **Coagulación:** La coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico llamado coagulante el cual, neutralizando sus cargas electrostáticas, hace que las partículas tiendan a unirse entre sí y la sustancia que se coagula vaya al fondo para su posterior retiro.

1.4.2 Tipos de sistemas para el tratamiento de agua de producción. Los dos tipos de sistemas conocidos en la industria petrolera son los descritos a continuación:

- **Sistemas Cerrados:** Se conocen como sistemas cerrados los diseñado para evitar el contacto del agua con el oxígeno. La finalidad de este sistema es minimizar la captación de oxígeno que se disuelve en el agua y así evitar la oxidación de minerales como el hierro.
- **Sistemas Abiertos:** En un sistema abierto no se excluye el oxígeno y por el contrario se busca airear el agua con el propósito de remover H₂S y/o CO₂, y se adicionan químicos para mantener los remanentes de oxígeno en estado de equilibrio.

2 GENERALIDADES DEL CAMPO JILGUERO

EL campo Jilguero ubicado en el municipio de Tauramena en el Departamento del Casanare, cuenta no solo con unidades de almacenamiento y despacho de crudo sino también con un sistema integrado para el tratamiento del agua producida.

Debido al volumen de fluidos, particularmente de agua producida (20.000 BWPD) y a los criterios para realizar la reinyección de la misma a la formación, se adquirió una planta con el fin de realizar el tratamiento y disposición final del agua en sitio.

Las condiciones climatológicas del campo y su ubicación específica son las descritas en la tabla 1.

2.1 CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS DEL CAMPO

Tabla 1. Condiciones ambientales bloque Tiple y Ocarros⁶

TEMPERATURA	19 – 40°C.
TEMPERATURA PROMEDIO	26 °C
PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24h	200 mm
CARACTERÍSTICAS DEL VIENTO	2.4 - 4.5 m/s dirección predominante SE (Sureste al Noroeste)*.
HUMEDAD RELATIVA	65-95%
PRESIÓN ATMOSFÉRICA	Promedio: 14.4 psi
NIVEL DE RUIDO EN EL SECTOR	35-50 dB
LOCALIZACIÓN	Coordenadas de facilidades: 988231N, 1172395 E. Elevación de Tauramena respecto al nivel del mar: 160 msnm – 180 msnm.

* Para el diseño de estructuras, la velocidad del viento promedio se tomará igual a 120 km-h según recomendación de la NSR-10 (reglamento colombiano de construcción sismo resistente).

Fuente: bases y criterios CEPOLSA

⁶ CEPOLSA, Estudio de impacto ambiental del bloque Tiple y Ocarros, Agosto 2008.

2.2 ESPECIFICACIONES DE PARÁMETROS IN-OUT AGUA DE PRODUCCIÓN.

En la tabla 2 se muestra las especificaciones de calidad de entrada del agua a la unidad paquete del STAP (sistema de tratamiento de aguas de producción), datos tenidos en cuenta para el diseño y desarrollo del sistema, establecidos directamente por la empresa contratista:

Tabla 2. Parámetros calidad de agua de producción a la entrada del proceso.

ESPECIFICACIÓN	VALOR
Grasas y Aceites (G&A)	500 ppm
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	Hold ppm
Temperatura mínima	140 °F
Temperatura máxima	170 °F máx.
Presión	2psi o la requerida

Fuente: Strycon SAS

A la salida del tratamiento, como mínimo se debe obtener los siguientes resultados de calidad, cumpliendo el requerimiento contractual directamente establecido por la compañía operadora, en este caso CEPCOLSA:

Tabla 3. Parámetros calidad de agua de inyección requeridos a la salida del proceso⁶

ESPECIFICACIÓN	SALIDA PARA INYECCIÓN
Grasas y Aceites (G&A)	Máximo 3ppm
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	Máximo 5ppm
Temperatura máx. de salida	170 °F máx.

Fuente: Strycon SAS

3. EQUIPOS QUE CONFORMAN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA EN EL CAMPO JILGUERO⁷.

La función principal del tratamiento de acuerdo con la caracterización del agua del campo Jilguero, es remover el contenido de aceite y sólidos suspendidos en las aguas provenientes del proceso de producción. De ésta forma se garantiza una calidad de agua óptima para su disposición, que en este caso es la reinyección.

El agua asociada a la producción de hidrocarburos en el campo Jilguero se considera dulce y con bajo contenido de sales, por lo cual, tratamientos terciarios con tecnologías como osmosis inversa, ultrafiltración o intercambio iónico no son considerados dentro del sistema seleccionado.

Los equipos que conforman el sistema de tratamiento de agua son:

3.1 UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AGUA - UTA

En esta unidad se realiza en una primera etapa (celda 1) la remoción de aceite libre empleando la tecnología de flotación por micro burbujas combinada con el efecto coalescedor de placas inclinadas. Esta tecnología hace uso de la diferencia de densidades entre dos fluidos y el efecto de coalescencia entre las gotas dispersas, lo que permite la separación de los mismos.

Para la generación de las micro burbujas se emplean bombas de turbina regenerativa, las cuales saturan el agua con gas (para este caso aire comprimido). El agua saturada con gas se recircula a la unidad de tratamiento, donde se distribuye en su interior para lograr el efecto de separación. Los aceites recuperados son retornados al proceso de deshidratación de crudo de la estación.

En una segunda etapa (celda 2) dentro de la misma unidad de tratamiento se realiza el tratamiento de los sólidos suspendidos, donde se emplean productos

⁷ LEÓN, Y. Filosofía de Control, Ampliación planta de tratamiento de agua industrial de producción para el campo Cravo Viejo- estación Bastidas, 3-9p, Oct 2014.

químicos (coagulantes) con el fin de llevar a cabo la remoción de los mismos mediante un proceso de clarificación.

Los flóculos formados (borras) en la etapa de clarificación son llevados a un tanque de lodos para su tratamiento y disposición final.

3.2 TANQUE DE LODOS

Deshidrata por tiempo de permanencia y por efecto de los productos químicos remanentes el lodo generado producto del proceso de clarificación de la unidad de tratamiento. Una vez se deshidratan se almacenan para su disposición final, el agua de la deshidratación se recircula a la unidad de tratamiento.

3.3 SISTEMA DE FILTRACIÓN

Está compuesto por dos filtros cada uno de 25.000 BWPD de capacidad, cuya operación es controlada por medidores de presión diferencial y por válvulas automáticas que se comunican con el sistema de bombeo de filtración. El medio filtrante empleado para este estudio fue resina de polipropileno a una presión de operación 60 Psi.

Al proceso de regeneración del lecho se le llama retro lavado, el cual se realiza automáticamente de acuerdo con los siguientes criterios

- Tiempo: es determinado de acuerdo con las curvas de eficiencia teniendo en cuenta los parámetros a la entrada y la salida del filtro.
- Presión diferencial: se establece como criterio una presión diferencial de máximo 16 Psi.

Las etapas del ciclo de retro lavado se ejecutan de acuerdo a los tiempos establecidos a través de un controlador. El sistema de filtración realiza principalmente tres procesos: filtración, retrolavado y normalización.

Durante la filtración el agua ingresa al equipo por la parte superior pasando a través del lecho, retirando del agua las impurezas de acuerdo con el tamaño de partícula, finalmente el agua limpia sale por la parte inferior del mismo y se dispone de acuerdo con lo establecido en la licencia o plan de manejo ambiental del bloque.

Durante el retrolavado el agua tratada (limpia) ingresa por la parte inferior del filtro, atravesando en contracorriente el lecho y saliendo el por la parte superior hacia el tanque decantador.

La etapa de Normalización se realiza de manera similar a la filtración, pero a diferencia de ésta, el fluido que sale se dirige hacia el decantador, dado que está aún contaminado por el asentamiento y estabilización del lecho.

Los criterios que el controlador tiene en cuenta para que se realice el Retrolavado del filtro son:

- Volumen disponible en el decantador: se requiere contar con espacio en el tanque para que pueda recibir el fluido producto del retrolavado.
- Volumen en el tanque de micro burbujas (agua tratada): se requiere contar con agua limpia en el tanque para realizar la limpieza del lecho mediante los retrolavados.

3.4 DECANTADOR

Recibe el fluido producto del proceso de retrolavado y normalización de los filtros, el agua que por tiempo de permanencia se separa se retorna a la unidad de tratamiento, el lodo decantado se envía al tanque de lodos y los sólidos aceitosos flotantes se envían también al tanque de lodos.

Instrumentación: cuenta con un transmisor de nivel tipo diferencial por columna.

3.5 TANQUE DE ACEITES

Recibe el aceite recuperado en la primera etapa de separación en la unidad de tratamiento, por tiempo de residencia se deshidrata y se envía al proceso de deshidratación de crudo de la estación.

A continuación en la tabla 4 se presentan las especificaciones de los equipos descritos anteriormente, los cuales conforman el sistema de tratamiento de aguas instalado en el campo Jilguero.

Tabla 4. Especificación de Equipos

ITEM	EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	ESPECIFICACIONES
1	Unidad de tratamiento de agua	EA	1	<p>Unidad de tratamiento de agua de capacidad nominal de 760 BBL. Dimensiones: Largo 13.5 m, Ancho 3m, Alto 3.2 m. Presión de diseño: Atm @ 240°F. Temperatura de operación/diseño: 140°F / 240 °F. Caudal de diseño: 437 gpm @ 0 Psi.</p> <p>Cuenta con un transmisor de nivel y dos switches de nivel en cada uno de los bolsillos.</p>
2	Filtro de Cascarilla de nuez	EA	2	<p>Medio filtrante cascarilla de nuez, PLC para control de procesos de filtración, con capacidad de tratamiento de 20.000 BWPD c/u.</p> <p>Presión de diseño: 40 Psi/80 Psi. Temperatura de operación/diseño: 140°F / 240 °F. Caudal de diseño: 219 gpm @40 Psi.</p> <p>Retrolavado y normalización; escalera de ascenso, trabajadero, todos los certificados estructurales y pruebas de resistencia y funcionamiento. Componentes internos en acero inoxidable, sistema de platinas y tubos ranurados, Sistema de retrolavado interno.</p> <p>Cuenta con un transmisor de presión diferencial (DPIT), un indicador de presión (PI), un transmisor de presión y una válvula de alivio de presión (PSV)</p>

ITEM	EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	ESPECIFICACIONES
	Tanque Decantador	EA	1	Tipo Cónico vertical, escalera de ascenso, estructuras y pruebas de resistencia y funcionamiento, identificación. Capacidad nominal de 300 BBL, aforado. Diámetro: 2.5m, Alto 9 m. Presión de diseño: Atm @ 240°F. Temperatura de operación/diseño: 140°F / 240 °F. Sistema de alarmas de alto y bajo nivel. Las entradas y salidas de los dos decantadores se comunican, por lo que sólo uno de ellos cuenta con la instrumentación: un transmisor de Nivel y un Switch de Nivel.
4	Tanque de Lodos	EA	1	Tipo horizontal, estructuras y pruebas de resistencia y funcionamiento, identificación. Dimensiones: largo 10 m, Ancho 2.7 m, Alto: 3 m. Capacidad nominal: 250 BBL, aforado. Presión de diseño: Atm @ 240°F. Temperatura de operación/diseño: 140°F / 240 °F. Caudal de diseño: 437 gpm @ 0 Psi. Para el nivel cuenta con un visor de nivel de tipo magnético.
5	Tanque de aguas aceitosas	EA	1	Tipo Cilíndrico horizontal, con visor de nivel magnético, escalera de ascenso, , barandas, identificación y capacidad. Capacidad de 170 BBL, aforado. Diámetro: 2.5m, Alto 5.5 m. Presión de diseño: Atm @ 240°F. Temperatura de operación/diseño: 140°F / 240 °F. Sistema de alarma por alto nivel. Cuenta con un transmisor de Nivel y un Switch de Nivel.

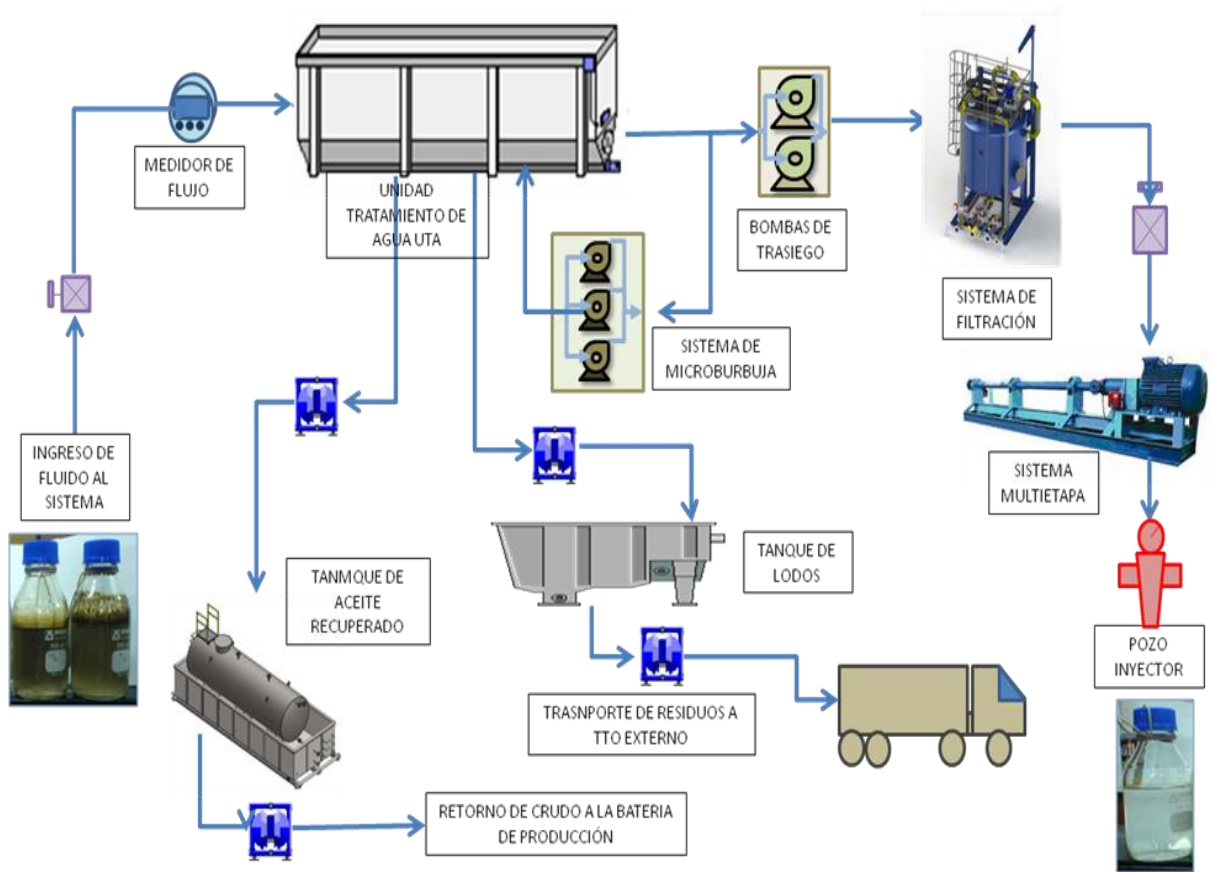
ITEM	EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	ESPECIFICACIONES
6	Bombas de filtración	EA	3	Electrobomba: Motor 220/440V, 60 Hz, intemperie, 50 HP, Clase I, División 2. Arrancador suave, Bomba 730 gpm, para manejo de agua, temperatura de 80 a 185 grados F, presión de descarga 60 psi. Succión con filtro tipo Y válvula, descarga con cheque y válvula. Botonera local de arranque y parada, sistema de guardas para el acople motor-bomba.
7	Bombas para retrolavado	EA	2	Electrobomba: Motor 220/440V, 60 Hz, intemperie, 50 HP, Clase I, División 2. Arrancador suave, Bomba 3000 gpm, para manejo de agua, temperatura de 80 a 185 grados F, presión de descarga 20 psi. Succión con filtro tipo Y válvula, descarga con cheque y válvula. Botonera local de arranque y parada, sistema de guardas para el acople motor-bomba.
8	Bombas de Trasiego de aceites desde UTA	EA	2	Electrobomba: Motor 220/440V, 60 Hz, intemperie, 2 HP, Clase I, División 2. Arrancador suave, Bomba 50 gpm, para manejo de agua, temperatura de 80 a 185 grados F, presión de descarga 20 psi. Succión con filtro tipo Y válvula, descarga con cheque y válvula. Botonera local de arranque y parada, sistema de guardas para el acople motor-bomba
9	Bombas de trasiego de Lodos desde UTA	EA	3	Bombas neumáticas de doble diafragma, dos para para la Unidad de tratamiento y una de back up, Presión de operación: 15-120 Psi. Consumo de aire 50 SCFM.
10	Bombas de Trasiego de aceites desde tanque de aceites	EA	2	Electrobomba: Motor 220/440V, 60 Hz, intemperie, 2 HP, Clase I, División 2. Arrancador suave, Bomba 50 gpm, para manejo de agua, temperatura de 80 a 185 grados F, presión de descarga 20 psi. Succión con filtro tipo Y válvula, descarga con cheque y válvula. Botonera local de arranque y parada, sistema de guardas para el acople motor-bomba

ITEM	EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	ESPECIFICACIONES
11	Bombas de microburbuja	EA	3	Bomba de turbina regenerativa: Motor 220/440V, 60 Hz, intemperie, 5HP, Clase I, División 2. Arrancador suave, Bomba 30 gpm, para manejo de agua, temperatura de 80 a 185 grados F, presión de descarga 70 psi. Succión con filtro tipo Y válvula, descarga con cheque y válvula. Botonera local de arranque y parada, sistema de guardas para el acople motor-bomba
12	Compresor de Aire	EA	2	Con motor eléctrico, capacidad para mínima de 100 scfm a 100 psi, válvulas de seguridad, alivio y control, tanque pulmón de mínimo 35 pies cúbicos. Botonera local de arranque y parada, sistema de guarda de poleas.
13	Contenedor CCM	EA	1	Alimentación a 480V, con barrajes y sistema de braker de entrada y salida, transformadores, tableros auxiliares, control eléctrico para todos los equipos, arrancadores suaves de los motores de las bombas, sistema iluminación, aire acondicionado de 12000 MBTU, extintores de 50 libras de polvo químico seco tipo purpura K. Sistema centralizado de puesta a tierra del contenedor y componentes.

Fuente: Propuesta técnica Campo Jilgero

A continuación en la figura 1 se presenta un esquema del sistema de tratamiento del agua de producción en el campo Jilguero, con las líneas y dirección que sigue el proceso, así como su destino al pozo inyector.

Figura 1. Esquema Sistema de Tratamiento aguas de producción campo Jilguero



4. SISTEMAS DE FILTRACIÓN⁸.

Los sistemas de filtración tienen como finalidad la optimización de la calidad del agua, para que sea lo más compatible con las formaciones a las que va a ser inyectada o vertida. Una parte importante en un proceso de tratamiento de aguas de producción es la existencia de las unidades de filtración.

La operación de filtración puede definirse como un proceso de pasaje de un líquido conteniendo material suspendido a través de un medio capaz de retener la mayor parte del material. Un filtro es un tamiz pero en tres dimensiones.

Durante el proceso de filtración el agua entra cerca a la parte superior de la unidad, y los flujos bajan a través del lecho filtrante. El agua filtrada fluye a través del lecho, y salen cerca de la base del filtro, mientras que las gotas de aceite y partículas sólidas se quedan atrapadas dentro del lecho.

El medio filtrante está constituido por un recipiente relleno de material granulado confinado en el mismo. El material de relleno crea un medio poroso similar a la roca reservorio (pero sin cemento inter-clástico).

Los filtros se operan a caudal constante o a presión constante y periódicamente deben lavarse por fluido en contracorriente lo cual obliga a tener filtros en paralelo.

Existen muchos materiales de relleno para los filtros: cerámica porosa, arena, antracita (carbón), grafito, cáscara de nuez, de coco y otros. El material filtrante debe seleccionarse según las características del influente.

Si encuentran petróleo y/o material inorgánico los filtros tienen tendencia a colmatarse. Si se emplea arena por ejemplo el petróleo se adhiere y deben lavarse con agua y surfactantes.

⁸ Estudios y servicios petroleros S.R.L, pdf [en línea]. Buenos Aires, 2015 [citado en 7 de Febrero de 2015] Disponible en http://www.oilproduction.net/files/GPA_NOTA_%20TECNICA_52.pdf.

Un filtro de arena gradada (sin químicos previos) puede solo remover partículas hasta 10 –20 μm , más pequeñas se adhieren entre sí, aglomeran y cementan, eventualmente canalizan.

Durante muchos años se emplearon filtros de carbón (es *oil-wet*) para remover petróleo suspendido. La filtración de lecho profundo con gránulos de cáscara de nuez es muy empleada en la actualidad para aguas de purga. La cáscara de nuez es preferentemente mojable por agua (*water – wet*).

El influente viaja desde arriba por el lecho a presión haciendo que atravesase los micro espacios inter-granulares y quedan retenidos (filtros por gravedad).

Los filtros (de arena) se han usado históricamente en el “pulido” del agua potable de río luego de tratar esta con coagulación y floculación y se usan *on shore* para filtrar agua de wat.

Actualmente están dando muy buen desempeño los filtros rellenos con cáscara de nuez debido a que suministra muy buen desempeño al filtro por su propiedad coalescedora además de retener sólidos en sus poros. Los filtros (de cáscara de nuez) se emplean actualmente en el “pulido” del agua de purga luego de tratar esta en la unidad de flotación con/sin floculantes.

4.1 RESINA DE POLIPROPILENO

El polipropileno se inventó a principios de la década de los 50's cuando se intentaban polimerizar las olefinas, primeramente *Paul Hogan* y *Robert Banks* lograron polimerizarlas, pero ni el catalizador, ni las propiedades de éste eran óptimas para uso industrial. Posteriormente después de varios intentos el alemán *Karl Ziegler* obtuvo polietileno de alta densidad, con sus catalizadores organometálicos.

Éstos por su excelente uso fueron bautizados con el nombre de catalizadores *Ziegler* y a finales de 1953 se produjo el polipropileno. En 1954 el Italiano *Giulio Natta* produjo PP Isotáctico Sólido utilizando los catalizadores *Ziegler*.

Este polímero se obtiene a partir del propeno y por sus características permite su uso en diferentes aplicaciones⁹.

El polipropileno es un homopolímero isotácico, que posee características de gran importancia para aplicaciones en el tratamiento de aguas como:

- **Rigidez:** a temperatura ambiente la rigidez del polipropileno es comparable con la del polietileno, pero a temperaturas mayores el polipropileno muestra una marcada ventaja. A una temperatura a la que el polietileno ya ha fundido, el polipropileno posee todavía una rigidez que lo hace útil para su uso.
- **Dureza:** los productos fabricados con polipropileno tienen una terminación superficial excelente, con una elevada dureza (90-95 Dureza Rockwell escala R).
- **Resistencia a la Oxidación:** La elevada temperatura de fusión y las excelentes propiedades físicas del polipropileno a altas temperaturas, permite utilizar este material bajo condiciones extremas. Sin embargo, para que puedan aprovecharse las ventajas de su buen desempeño a dichas temperaturas, es necesario proteger los polímeros de la degradación producida por la oxidación
- **Resistencia Química:** el polipropileno se caracteriza por tener una excelente resistencia al ataque de todo tipo de productos o reactivos químicos. Entendemos por productos cualquier elemento simple o combinado que entra en una formulación y que está en contacto con un determinado material¹⁰.

En el transcurso de los últimos años el volumen de negocio del polipropileno ha ido creciendo de manera significativa, tanto en el mundo como dentro del grupo.

⁹ El polipropileno [en línea]. México, *Packsys*, 2015 [citado en Enero de 2015]. Disponible en <http://www.packsys.com/blog/el-polipropileno/>

¹⁰ BOIN Claudio, CIANCIO Fernando y LÓPEZ, Luciano. "materiales no convencionales: polipropileno homopolímero isotácico". Monografía. Universidad Nacional de Rosario, Departamento de Mecánica Aplicada y Estructuras. Facultad de Ciencias Exactas, ingeniería y agrimensura. 2002.

Las características de la resina de polipropileno empleada como empaque filtrante en el sistema de tratamiento de aguas del campo jilguero son las suministradas por el proveedor que corresponden a la figura 2, su presentación puede observarse en la figura 3.

Figura 2. Ficha técnica Resina de polipropileno.



Impulsamos su crecimiento con Tecnología y Servicio

Boletín Técnico

Tipo:	Homopolimero
Nombre del producto:	PROPILCO 01H41

Características: Polipropileno homopolimero de baja fluidez con excelentes propiedades mecánicas y color; excelente control del espesor y alta resistencia en estado fundido

Recomendado para: Fabricación de zunchos; extrusión de laminas, Cartonplast; extrusión termoconformado; envases soplados; inyección de tacones; extrusión e inyección de artículos propósito general donde se requieran estas características

Propiedades	Unidades	Unidades	Método
	Tradicional	SI	ASTM
Índice de Fluidez (230 °C/2.16 Kg.)	1.4 g/10 min.	1.4 g/10 min.	D 1238 00 B
Resistencia máxima a la tracción (50 mm/min.)	4900 psi	34 MPa	D 638 01
Elongación al punto de cedencia (50 mm/min.)	10.5 %	10.5 %	D 638 01
Módulo de Flexión 1% secante (1.3 mm/min.)	210000 psi	1448 MPa	D 790 00 1A
Impacto Izod con ranura (73 °F /23 °C)	0.75 pié-lb/pulg	40.3 J/m	D 256 00 A

@ Espécimen 1 de 3.2 mm de espesor inyectados de acuerdo al ASTM D 4101 00. Los valores indicados son promediados y no deben ser interpretados como especificaciones del producto. Estos valores podrían ajustarse con los datos adicionales acumulados; bajo ninguna responsabilidad estará PROPILCO S.A. de notificar a usted cualquier cambio a las especificaciones.

¡IMPORTANTE! La presente información corresponde a valores típicos y debe entenderse como una guía en el comportamiento y aplicabilidad de nuestras resinas. En vista de los muchos factores que pueden afectar el proceso y aplicación, esta información no exonera al procesador de llevar a cabo sus propios análisis y experimentos; tampoco implica alguna manifestación de responsabilidad legal de ciertas propiedades y uso para un propósito específico. Es responsabilidad de aquellos a quienes suministramos nuestros productos asegurarse que los derechos de propiedad y leyes vigentes sean cumplidos. Propilco declina toda responsabilidad derivada directa o indirectamente de la utilización de la misma. Al igual no se garantiza ni debe suponerse ausencia de protección de patentes.

AVISO: RESTRICCIONES PARA APLICACIONES MÉDICAS: PROPILCO S.A. no recomienda cualquier producto o muestra de producto de Propilco para uso en (A) alguna aplicación en desarrollo o comercial la cual su intención es para estar en contacto con los fluidos internos del cuerpo humano o tejidos del cuerpo, sin tener en cuenta el tiempo en el cual va a estar en uso. (B) en cualquier aplicación de un equipo de prótesis cardíaca sin tener en cuenta el tiempo que va a estar en uso, incluyendo sin limitaciones, marcapasos y sus accesorios, corazones artificiales, válvulas coronarias, vejigas intraorticas y sus sistemas de control, equipos de ayudas a bypass ventriculares. (C) como un componente crítico de cualquier equipo médico que soporte o mantenga la vida humana y (D) especialmente en mujeres embarazadas o en cualquier aplicación diseñada concretamente para promover o interferir en la reproducción humana.

Recomendaciones antes de usar un producto de Propilco: Sugerimos que cuando utilice un PP de PROPILCO S.A. por primera vez, realice ensayos en cantidades industriales adecuados para que examine las posibilidades de usar nuestros productos en todas las etapas de su proceso. Es responsabilidad del cliente obtener toda la información necesaria relacionada con materiales de terceras partes y asegurarse que los productos de Propilco cuando son usados en conjunto con esos materiales son adecuados para el propósito particular del cliente. Ninguna responsabilidad legal puede ser aceptada con respecto al uso de los productos de PROPILCO S.A. en conjunción con otros materiales.

Nota: Para productos que van a contener alimentos y/o son sometidos a algún tipo de tratamiento tales como, esterilización, ozonización, estará debe requerir el certificado FDA a través de www.propilco.com, o comunicándose con servicio al cliente. Bajo ninguna responsabilidad estará PROPILCO S.A. de notificar a usted cualquier cambio a las regulaciones.

Almacenamiento: Un almacenamiento mayor a 6 meses puede causar una influencia negativa en la calidad del producto final (por ejemplo brillo). En general se recomienda convertir todos los materiales dentro del un periodo de 6 meses después de producidos.

El producto debe ser almacenado en condiciones secas y temperaturas por debajo de los 50 °C, protegiéndolo de la luz UV.

Un Almacenamiento no adecuado puede iniciar su degradación, resultando en generación de olor y cambios de color y posiblemente proporcionando efectos negativos en las propiedades físicas del producto. Si el polímero es almacenado en condiciones de alta humedad o temperaturas variables entonces la humedad atmosférica puede condensarse dentro del empaque. Si esto sucede es recomendable secar los pellets antes de usarlo. Durante su almacenamiento el polipropileno no debe ser expuesto a la radiación de los rayos ultravioletas. El productor no asume responsabilidad por los daños causados por un mal almacenamiento.

POLIPROPILENO DEL CARIBE S.A. · Cra 10a. No. 28-49 Piso 27 Bogotá, D.C · Colombia
<http://www.propilco.com> · PBX. (571) 596 0220 · Fax. (571)560 1593 · Nit. 800.059.470-5
 Certificados ISO 9001:2000 y 14001.Homopolímeros y Copolímeros Random e Impacto. ICONTEC CO-028-1/AA017-1

Fuente: Proveedor Polipropileno del Caribe.

Figura 3. Resina de Polipropileno



4.2 CÁSCARA DE NUEZ

La cáscara de nuez ha sido utilizada en diferentes actividades que van desde filtros para el agua, hasta manualidades sencillas para niños, pero estos son solo algunos usos que se le pueden dar a la cáscara de nuez ya que ésta tiene distintos beneficios.

Entre sus propiedades reduce los dolores reumáticos y musculares, es depurativa y diurética, por lo que la cáscara de nuez va mucho más allá de un simple desecho.

Las propiedades fisicoquímicas de la cáscara de nuez¹¹ son:

- Dureza 2.5 Mohs¹²
- Peso específico: 0.95 kg/l

¹¹ Moliendas Chana [en línea]. [Citado en 16 de febrero de 2015]. Disponible en <http://www.moliendaschana.com/Productos.htm>

¹² Escala de dureza de minerales.

- Es biodegradable
- Es seguro para la salud
- Durante su combustión produce dióxido de carbono.
- Color: marrón.
- No es soluble en agua
- Su pH es neutro
- No combustiona a temperaturas menores de 270°C
- El manejo de la cáscara molida requiere el uso de máscaras con filtro.

Los filtros de lecho filtrante cáscara de nuez se usan comúnmente en el tratamiento del agua producida para reducir el contenido de petróleo y de sólidos en el agua antes de la inyección para la recuperación mejorada de petróleo (Enhanced Oil Recovery — EOR) o antes de su tratamiento posterior como el ablandamiento del agua para la alimentación de generadores de vapor utilizados en la producción de crudo pesado.

Sin embargo, el petróleo residual y los sólidos en suspensión que están presentes en los filtros cáscara de nuez causan problemas operativos corriente abajo.

Los filtros convencionales de cáscara de nuez retienen partículas significativas en el rango de tamaños de 0 a 10 micras.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL SEGUIMIENTO REALIZADO A LOS PARÁMETROS DEL AGUA DE PRODUCCIÓN PARA INYECCIÓN EN EL CAMPO JILGUERO.

El presente estudio se realizó en el bloque Tiple y Ocarros, campo Jilguero. Para el presente estudio se mantuvieron constantes las variables operativas y de proceso como vasijas, equipos, parámetros, presiones, temperaturas, productos químicos y tiempos de residencia, entre otros.

Para evaluar la eficiencia del tratamiento empleando resina de polipropileno como lecho filtrante, se realizó seguimiento al sistema durante tres meses a partir del cambio del lecho, pues se venía operando el sistema de filtración con cascara de nuez, sin obtener los resultados esperados por la compañía de acuerdo con la licencia y plan de manejo ambiental del bloque.

Los datos respecto a la concentración de aceite y sólidos suspendidos durante los primeros tres meses de operación empleando cáscara de nuez como lecho filtrante, fueron suministrados por el personal de la estación con el objeto de poder evaluar la eficiencia de la resina frente a la eficiencia de la cascara de nuez.

5.1 RESULTADOS Y ANÁLISIS LECHO FILTRATE CASCARA DE NUEZ.

Los parámetros para el estudio, suministrados por el personal operativo de la estación campo Jilguero, como sólidos suspendidos TSS y contenido de aceite en agua OW, tanto del afluente (salida de la Unidad de Tratamiento UTA) como del efluente (salida del filtro directo a reinyección) durante los primeros tres meses de operación, enero, febrero y marzo, donde se uso como lecho filtrante cascara de nuez, son los mostrados en las tablas 4, 5 y 6:

Tabla 5. TSS y O/W afluente y efluente cascara de nuez enero.

CALIDAD DE AGUA PLANTA DE TRATAMIENTO				
	UTA		UNIDA DE FILTRACION	
ENERO	SALIDA		SALIDA	
DIA	TSS [ppm]	O/W [ppm]	TSS [ppm]	O/W [ppm]
1	89,0	51,3	15,4	28,0
2	74,3	46,5	8,3	5,8
3	82,3	45,5	7,2	8,7
4	94,0	56,7	5,1	8,6
5	89,0	54,9	7,1	12,7
6	88,7	44,9	6,2	11,1
7	92,0	49,3	4,9	8,4
8	109,7	42,2	4,4	12,2
9	82,0	48,3	3,8	15,0
10	128,7	54,8	5,3	6,5
11	98,4	55,8	4,1	3,2
12	80,7	49,9	3,5	3,1
13	88,0	51,2	3,2	3,5
14	123,8	47,9	3,9	6,2
15	98,7	45,1	3,7	18,1
16	81,3	46,2	4,3	12,7
17	93,6	51,8	2,4	5,9
18	80,5	48,2	2,7	6,2
19	92,0	55,0	2,5	6,4
20	124,7	59,2	2,9	6,8
21	96,4	52,5	3,1	5,8
22	89,6	46,1	3,4	7,2
23	132,8	56,0	4,6	7,2
24	123,9	54,8	8,7	4,9
25	89,4	45,8	2,9	5,8
26	77,7	57,1	3,5	7,1
27	85,0	64,2	2,6	6,0
28	95,4	43,8	2,9	8,5
29	88,3	64,8	3,1	10,5
30	89,5	48,3	2,1	7,5
31	121,7	53,6	2,4	8,7
PROM	96,2	51,3	4,5	8,7

Tabla 6. TSS y O/W afluente y efluente cascara de nuez febrero

CALIDAD DE AGUA PLANTA DE TRATAMIENTO				
	UTA		UNIDA DE FILTRACION	
FEBRERO	SALIDA		SALIDA	
DIA	TSS [ppm]	O/W [ppm]	TSS [ppm]	O/W [ppm]
1	149,0	48,1	3,6	7,4
2	154,3	57,8	2,2	10,3
3	150,3	66,7	5,2	5,3
4	131,0	75,6	4,8	14,4
5	148,3	57,9	3,7	12,3
6	128,7	64,4	3,5	10,9
7	153,4	71,0	5,4	2,7
8	126,7	56,0	5,6	7,7
9	126,3	46,3	4,1	5,5
10	133,2	51,4	7,9	7,5
11	142,1	64,0	5,3	3,7
12	143,7	72,2	4,0	3,2
13	140,7	56,0	3,3	4,9
14	131,2	46,0	2,9	8,2
15	127,4	53,9	2,3	4,2
16	129,6	61,0	3,8	8,3
17	127,9	66,1	4,9	2,6
18	135,0	53,7	4,3	2,8
19	148,4	48,0	3,4	2,9
20	133,5	65,0	2,6	3,6
21	122,7	55,0	2,2	5,2
22	138,5	63,4	1,8	6,6
23	136,7	52,9	2,3	2,5
24	127,4	64,9	3,2	4,9
25	146,9	44,9	2,2	3,2
26	124,3	61,3	2,3	2,9
27	139,3	73,4	2,4	5,1
28	126,8	64,7	4,8	4,8
PROM	136,5	59,3	3,7	5,8

Tabla 7. TSS y O/W afluente y efluente cascara de nuez marzo.

CALIDAD DE AGUA PLANTA DE TRATAMIENTO				
	UTA		UNIDA DE FILTRACION	
MARZO	SALIDA		SALIDA	
DIA	TSS [ppm]	O/W [ppm]	TSS [ppm]	O/W [ppm]
1	147,7	78,7	4,2	2,7
2	153,0	81,0	3,5	5,6
3	175,3	92,3	2,2	6,2
4	153,3	98,8	1,8	5,8
5	156,0	87,1	1,5	4,7
6	166,7	90,8	3,4	4,9
7	144,8	86,9	3,1	6,9
8	139,7	98,6	4,6	12,7
9	143,7	81,4	4,2	10,3
10	148,9	87,6	3,8	10,6
11	150,7	91,8	3,1	12,4
12	179,3	91,3	4,9	11,5
13	153,3	85,8	2,6	10,9
14	149,3	87,5	3,7	11,6
15	154,7	90,5	2,5	11,2
16	155,3	96,8	3,9	10,1
17	149,7	87,6	7,3	9,2
18	157,0	96,4	4,1	9,9
19	145,0	87,0	4,6	8,4
20	151,0	90,6	5,6	8,7
21	145,7	96,9	5,3	9,3
22	169,0	87,6	4,7	2,8
23	151,3	89,6	7,8	1,9
24	147,7	92,4	7,2	10,3
25	139,7	90,8	6,8	7,9
26	158,7	94,1	4,7	8,2
27	146,7	85,8	4,4	8,7
28	149,8	90,5	4,1	9,4
29	133,0	89,7	5,8	7,8
30	145,9	95,1	4,6	8,7
31	145,7	89,6	4,2	9,5
PROM	151,9	90,0	4,3	8,3

Figura 2. Resultados TSS IN -cascara de nuez enero a marzo.

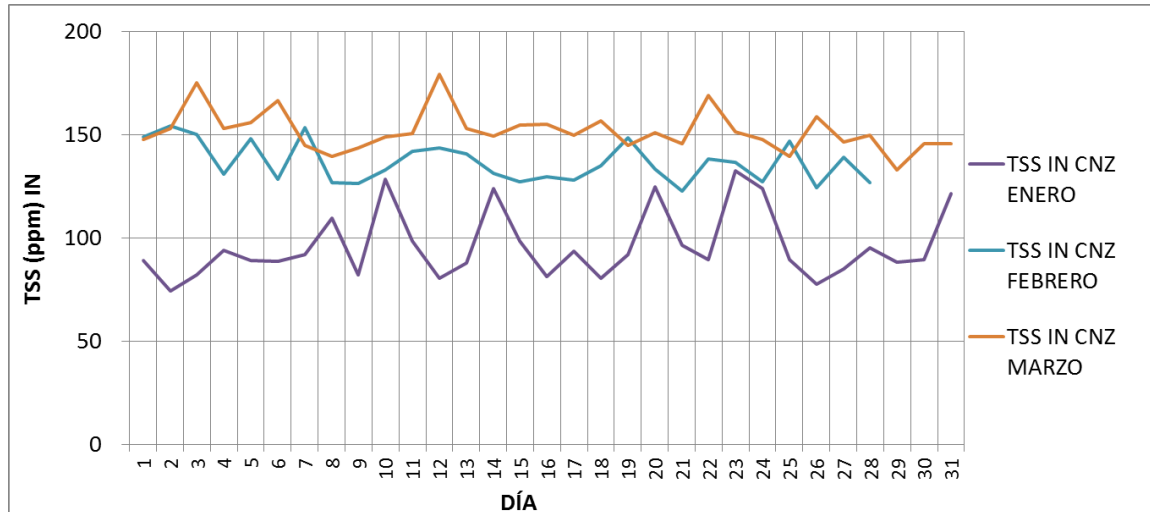
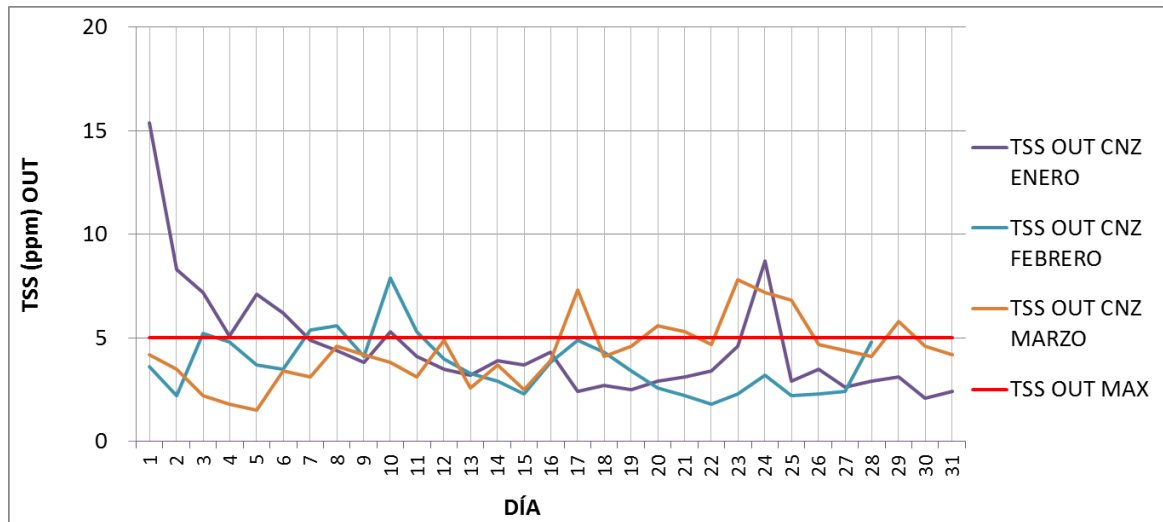
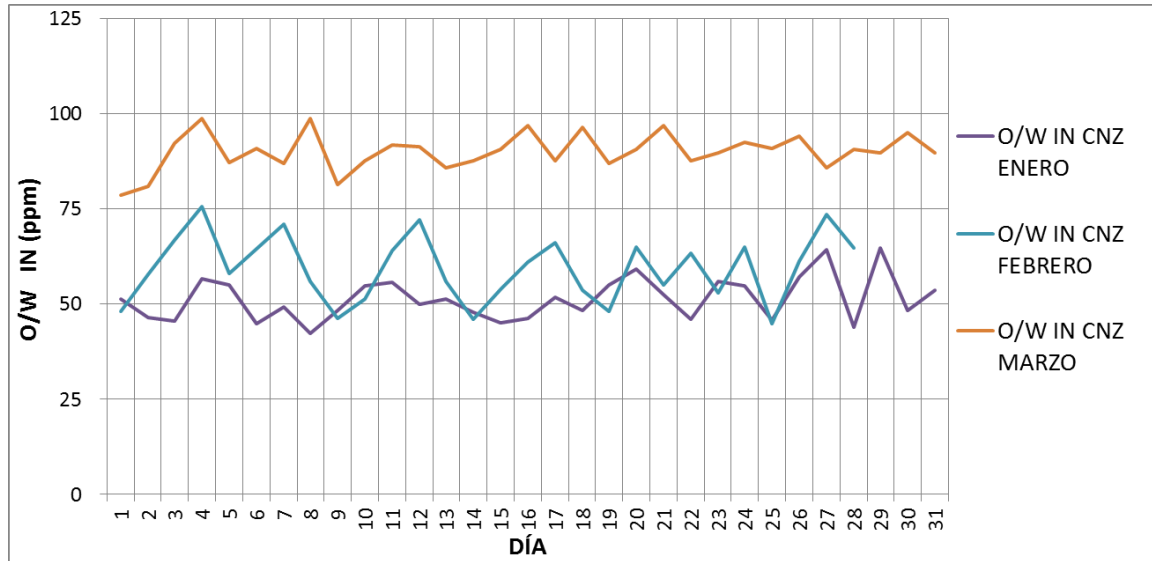


Figura 3. Tendencia TSS OUT -cascara de nuez enero a marzo.



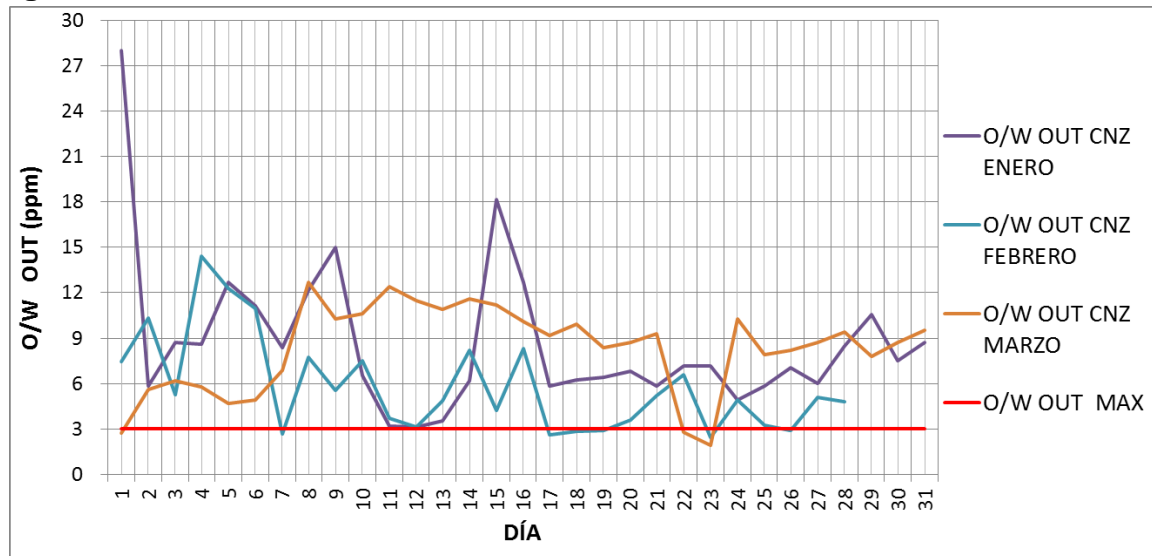
En las figuras 1 y 2 se observa que con la cascara de nuez como lecho filtrante, el total de sólidos suspendidos TSS del afluente se mantiene constante en los dos primeros meses, y en marzo tiene una alza significativa, así como el TSS del efluente conserva un rango entre 1 ppm y 8 ppm, superando el límite establecido a la salida del sistema (5ppm)

Figura 4. Resultados O/W IN-cascara de nuez enero a marzo.



Como se observa en la figura 3 los meses de enero y febrero se mantuvieron constantes en cuanto al parámetro de aceite en agua O/W, sin embargo, en marzo se presentó una variación de altas concentraciones de aceite en el afluente, como se observa los rangos fueron relativamente bajos, se mantuvieron en la escala de 50 ppm a menos de 100 ppm.

Figura 5. Tendencia O/W OUT cascara de nuez enero a marzo.



Como se observa en la figura 4, el contenido de O/W en el efluente (agua para inyección a la salida del filtro) superó el límite establecido por la compañía contratista de 3 ppm, obteniendo normalmente un agua fuera de especificaciones con destino al pozo inyector.

5.2 RESULTADOS Y ANÁLISIS LECHO FILTRANTE RESINA DE POLIPROPILENO

Durante los siguientes tres meses, abril, mayo y junio se utilizó como lecho filtrante resina de polipropileno cuya ficha técnica se muestra en la Figura 3, además se evaluaron los parámetros de total de sólidos suspendidos TSS y contenido de aceite en agua O/W, al igual que en los meses donde se utilizó cáscara de nuez, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 8. TSS Y O/W afluente y efluente resina de polipropileno Abril.

CALIDAD DE AGUA PLANTA DE TRATAMIENTO				
	UTA		UNIDA DE FILTRACION	
ABRIL	SALIDA		SALIDA	
DIA	TSS [ppm]	O/W [ppm]	TSS [ppm]	O/W [ppm]
1	146,9	102,4	2,9	2,8
2	121,4	98,5	3,7	2,7
3	132,5	96,8	3,0	2,0
4	134,6	106,0	2,8	2,6
5	105,6	88,1	3,5	2,8
6	102,0	96,3	3,9	3,1
7	128,0	90,4	3,0	2,1
8	136,4	101,7	3,7	3,3
9	138,9	98,9	3,2	2,3
10	134,8	96,2	4,9	2,6
11	134,7	89,7	3,6	2,7
12	140,6	90,8	3,2	2,4
13	132,6	91,7	2,2	2,8
14	125,7	97,1	2,7	2,7
15	143,6	98,6	2,1	1,9
16	134,7	98,7	2,8	1,8
17	129,7	88,9	2,5	2,5
18	147,8	90,5	3,8	2,2
19	139,7	92,6	3,4	2,7
20	148,9	98,5	3,4	2,4
21	122,6	92,2	4,1	2,9
22	136,9	96,7	4,7	2,0
23	126,8	97,4	3,3	1,8
24	148,9	96,4	4,2	2,1
25	127,9	94,7	5,1	1,5
26	146,2	96,3	4,4	1,7
27	136,9	97,2	4,2	2,2
28	123,8	87,9	3,4	2,5
29	143,2	99,5	3,6	1,4
30	148,9	106,9	3,5	1,2
31				
PROM	134,0	95,9	3,5	2,3

Tabla 9.TSS Y O/W afluente y efluente resina de polipropileno Mayo.

CALIDAD DE AGUA PLANTA DE TRATAMIENTO				
	UTA		UNIDA DE FILTRACION	
MAYO	SALIDA		SALIDA	
DIA	TSS [ppm]	O/W [ppm]	TSS [ppm]	O/W [ppm]
1	139,7	92,9	3,4	1,8
2	147,6	103,0	2,3	1,4
3	142,8	98,7	3,5	2,2
4	145,3	101,7	2,3	1,7
5	136,0	97,6	4,4	2,7
6	151,7	99,7	4,2	3,6
7	137,7	105,8	4,2	3,7
8	154,7	98,7	3,5	2,4
9	136,9	102,7	4,3	2,7
10	143,8	96,7	3,4	2,4
11	139,2	99,2	3,6	2,5
12	146,8	98,4	3,3	3,2
13	154,3	98,2	2,2	2,1
14	132,7	103,6	3,2	3,1
15	139,7	101,2	4,3	2,4
16	141,2	89,4	4,6	2,8
17	138,4	97,8	3,3	2,7
18	142,8	99,2	5,2	2,3
19	125,8	100,8	5,4	2,4
20	147,9	99,5	4,1	2,1
21	150,0	97,3	4,2	2,3
22	143,8	99,1	5,6	2,7
23	148,5	105,2	3,8	3,8
24	135,7	98,5	3,6	2,7
25	145,9	101,2	3,5	2,9
26	137,5	106,7	4,2	3,0
27	129,8	98,9	3,3	2,4
28	143,6	99,8	3,4	2,8
29	135,8	99,3	4,4	2,7
30	145,9	102,3	4,1	3,2
31	138,6	104,7	4,3	3,9
PROM	141,9	99,9	3,8	2,7

Tabla 10.TSS Y O/W afluente y efluente resina de polipropileno Junio.

CALIDAD DE AGUA PLANTA DE TRATAMIENTO				
	UTA		UNIDA DE FILTRACION	
JUNIO	SALIDA		SALIDA	
DIA	TSS [ppm]	O/W [ppm]	TSS [ppm]	O/W [ppm]
1	149,0	90,4	2,4	2,9
2	144,0	98,6	2,6	2,4
3	135,8	109,7	2,7	2,7
4	136,9	102,9	3,4	2,6
5	146,2	99,5	2,7	2,8
6	153,0	99,1	3,3	4,1
7	149,5	99,0	3,6	2,4
8	144,2	101,5	3,8	2,2
9	134,7	110,8	4,5	2,5
10	132,9	98,7	3,9	3,2
11	142,8	98,9	3,4	2,8
12	150,6	99,7	4,1	3,1
13	145,6	99,4	3,4	2,7
14	148,3	113,0	3,8	2,4
15	151,8	92,7	3,6	2,8
16	137,9	115,2	3,4	2,5
17	148,5	98,7	3,5	2,9
18	147,3	99,4	4,1	2,9
19	139,8	99,2	4,5	2,7
20	142,7	105,6	5,6	2,9
21	148,4	97,8	5,3	2,4
22	139,8	99,3	4,5	2,9
23	147,7	111,7	3,2	3,3
24	149,7	102,5	4,4	2,8
25	135,6	98,6	4,9	2,5
26	141,6	99,4	5,2	2,9
27	139,6	97,9	4,2	2,7
28	132,5	104,8	4,4	2,8
29	146,8	107,0	5,6	3,5
30	144,6	102,0	5,4	3,0
PROM	143,6	101,8	4,0	2,8

Figura 6. Tendencia TSS IN resina polipropileno abril a junio.

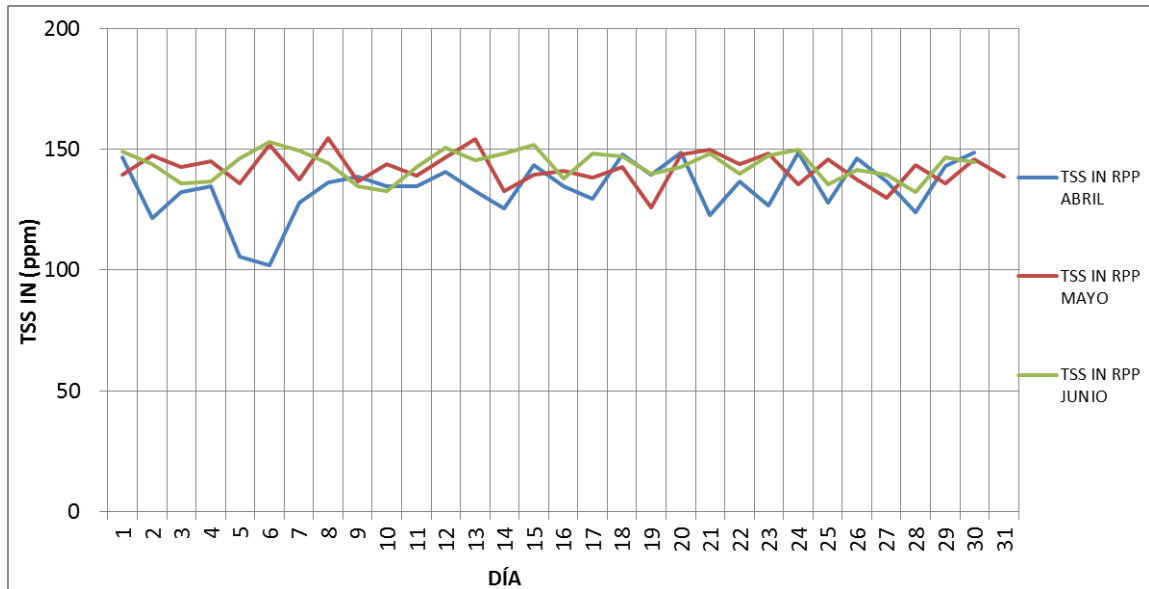
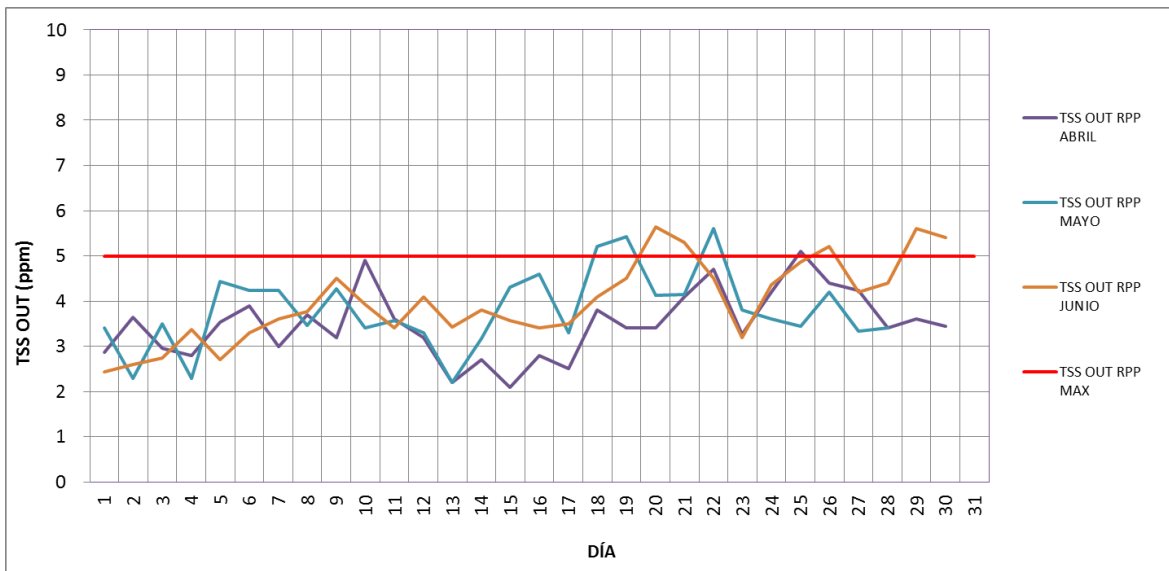


Figura 7. Tendencia TSS OUT resina polipropileno abril a junio.

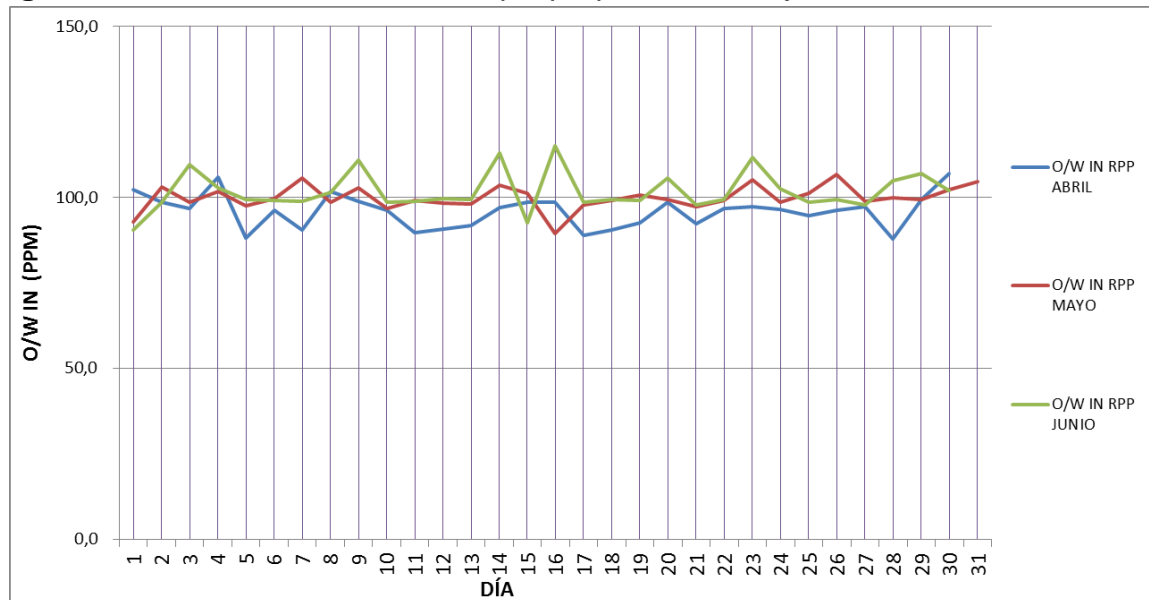


Se observa que durante los tres meses (Abril-Mayo-Junio) la concentración de sólidos suspendidos del afluente se mantiene dentro de los mismos rangos en los que se encontraba operando la cáscara de Nuez (130-140 ppm), sin embargo, a diferencia de lo ocurrido con la cáscara de nuez, a la salida del sistema de

filtración con Resina de polipropileno los valores de TSS se mantuvieron por debajo del límite máximo establecido por la compañía, garantizando que el efluente cumple a cabalidad con las especificaciones establecidas para su respectiva reinyección.

Es importante tener en cuenta que para efectos de comparación de los empaques filtrantes, se debe considerar que de acuerdo con la información suministrada por el personal operativo del campo, la cáscara de nuez llevaba un tiempo de operación de aproximadamente un año, mientras que la resina se está evaluando nueva (no se obtuvieron datos de seguimiento completos y significativos de los primeros meses de operación de la cáscara de nuez).

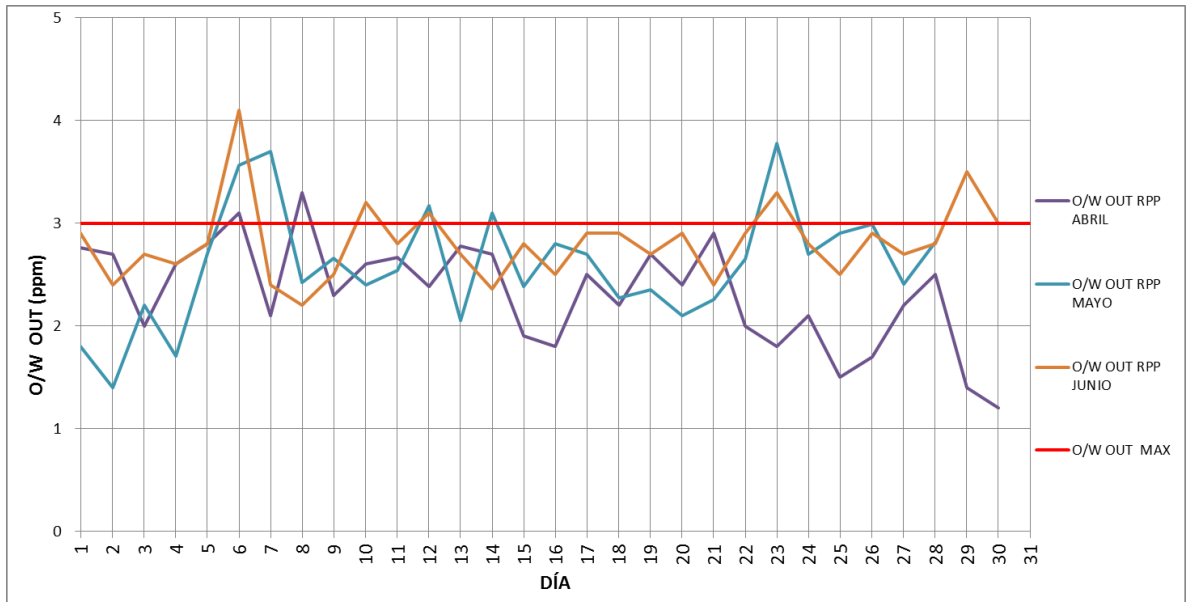
Figura 8. Tendencia O/W IN resina polipropileno abril a junio.



Como se observa en la figura 7, las concentraciones de O/W en el afluente en comparación con los meses en que se usó la cáscara de nuez, aumento significativamente, encontrándose en un rango de 90 ppm a 100 ppm.

Sin embargo, a la salida del sistema de filtración figura 8, con resina de polipropileno los valores de O/W se mantuvieron por debajo del límite máximo establecido por la compañía, garantizando que el efluente cumple a cabalidad con las especificaciones establecidas para su respectiva reinyección.

Figura 9. Tendencia O/W OUT resina polipropileno abril a junio.



5.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS PARA EL RETROLAVADO DEL FILTRO.

Para la determinación de la frecuencia de los retrolavados del sistema de filtración, se realizó un muestreo cada mes, hora a hora, durante 24 horas del efluente, se elaboraron las figuras presentadas a continuación y se determinaron los tiempos de retrolavado en los puntos en donde la concentración ya sea de sólidos suspendidos o de aceite, presentaban un incremento considerable que evidenciara el inicio de una saturación del empaque filtrante.

En enero y marzo se determinó la necesidad de realizar el retrolavado cada 9 horas, mientras que en febrero se realizó cada 10 horas.

Tabla 11. Determinación de retrolavado de los filtros lecho filtrante cascara de nuez.

CALIDAD DE AGUA PLANTA DE TRATAMIENTO								
	UNIDA DE FILTRACION			UNIDA DE FILTRACION			UNIDA DE FILTRACION	
ENERO	SALIDA		FEBRERO	SALIDA		MARZO	SALIDA	
DIA 1	TSS [ppm]	O/W [ppm]	DIA 1	TSS [ppm]	O/W [ppm]	DIA 1	TSS [ppm]	O/W [ppm]
Hora1	2,6	4,2	Hora1	2,9	4,6	Hora1	3,1	3,9
Hora2	2,9	4,8	Hora2	2,5	4,2	Hora2	2,4	3,6
Hora3	3,1	5,5	Hora3	3,3	4,9	Hora3	2,9	4,9
Hora4	3,7	5,3	Hora4	3,7	4,1	Hora4	3,3	4,5
Hora5	4,2	6,1	Hora5	4,1	3,8	Hora5	3,5	4,8
Hora6	4,1	8,2	Hora6	4,6	4,9	Hora6	4,2	6,2
Hora7	4,3	7,6	Hora7	4,3	6,2	Hora7	4,6	6,6
Hora8	5,7	9,9	Hora8	4,1	7,3	Hora8	6,1	9,2
Hora9	6,8	10,4	Hora9	6,8	8,1	Hora9	9,2	10,2
Hora10	3,5	9,1	Hora10	8,2	10,2	Hora10	2,9	5,6
Hora11	3,9	4,6	Hora11	5,1	3,7	Hora11	3,2	4,1
Hora12	4,5	3,8	Hora12	2,3	3,1	Hora12	3,6	4,7
Hora13	4,3	6,1	Hora13	3,1	4,1	Hora13	3,4	6,2
Hora14	2,6	5,7	Hora14	3,7	4,5	Hora14	3,9	6,5
Hora15	2,9	5,9	Hora15	3,5	4,2	Hora15	4,7	6,8
Hora16	3,1	8,4	Hora16	3,9	5,1	Hora16	4,9	8,3
Hora17	6,4	10,3	Hora17	4,2	4,9	Hora17	5,2	9,5
Hora18	8,3	12,9	Hora18	4,5	7,2	Hora18	5,5	11,3
Hora19	4,2	7,5	Hora19	3,9	7,8	Hora19	3,2	6,2
Hora20	2,8	3,9	Hora20	4,7	9,2	Hora20	3,6	5,9
Hora21	2,7	4,6	Hora21	3,1	4,2	Hora21	3,7	6,1
Hora22	3,4	5,1	Hora22	2,1	2,5	Hora22	4,1	7,2
Hora23	5,1	5,4	Hora23	2,7	2,8	Hora23	4,6	7,4
Hora24	7,2	9,2	Hora24	3,9	3,4	Hora24	4,9	9,3
PROM	4,3	11,1	PROM	4,0	5,2	PROM	4,2	6,6

Figura 10. Curva retrolavado TSS lecho filtrante cascara nuez

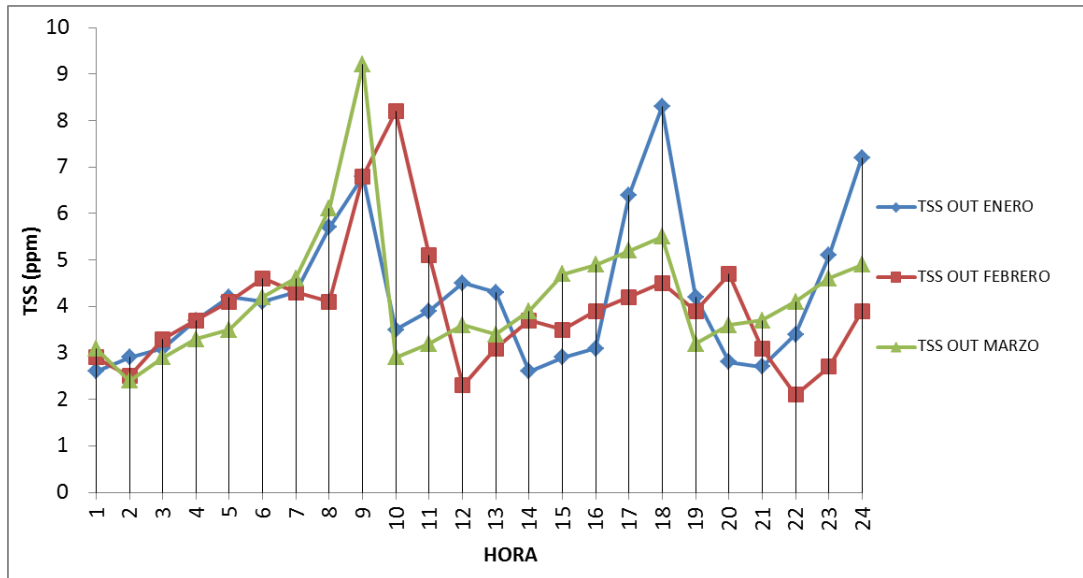
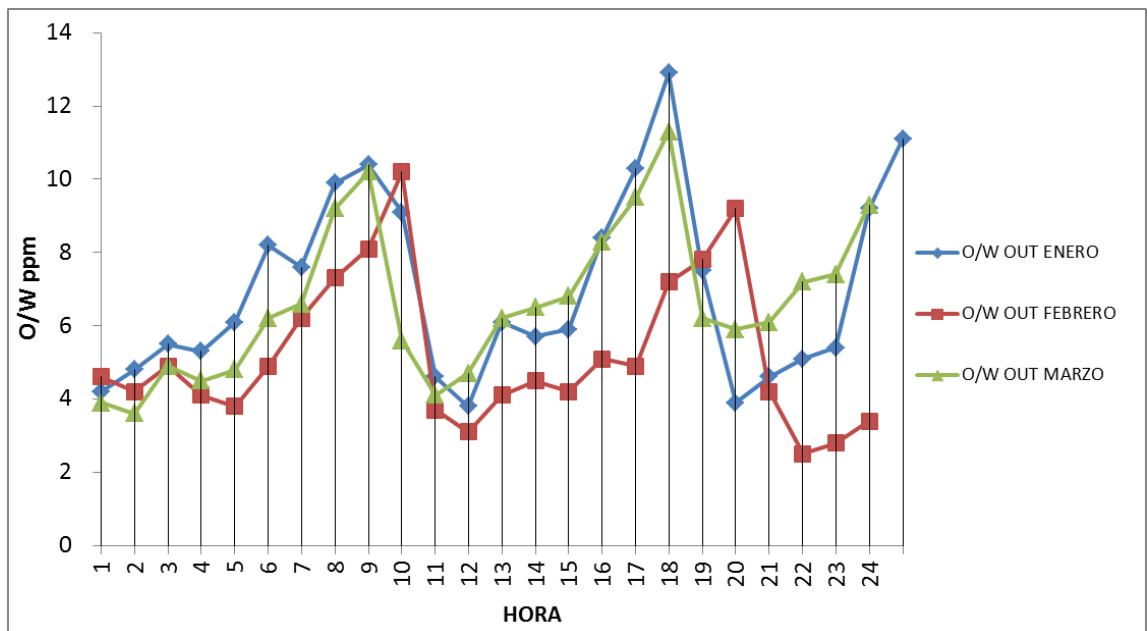


Figura 11. Curva retrolavado O/W lecho filtrante cascara nuez.



Para la determinación de la frecuencia de los retrolavados del sistema de filtración con resina de polipropileno, se realizó el mismo procedimiento que se había realizado con la cascara de nuez para determinar la frecuencia de ésta operación

se realizó un muestreo cada mes, hora a hora, durante 24 horas del efluente, se elaboraron las figuras presentadas a continuación y se determinaron los tiempos de retrolavado en los puntos en donde la concentración ya sea de sólidos suspendidos o de aceite, presentaban un incremento considerable que evidenciara el inicio de una saturación del empaque filtrante.

En abril se determinó la necesidad de realizar el retrolavado cada 16 horas (acerca del doble del tiempo del requerido por la cáscara de nuez). En Mayo se realizó cada 20 horas y en Junio bajó a 14 horas, teniendo en cuenta que la concentración de aceites a la entrada fue superior a los meses anteriores.

Tabla 12. Determinación de retrolavado de los filtros lecho filtrante resina de polipropileno.

CALIDAD DE AGUA PLANTA DE TRATAMIENTO								
	UNIDA DE FILTRACION			UNIDA DE FILTRACION			UNIDA DE FILTRACION	
ABRIL	SALIDA		MAYO	SALIDA		JUNIO	SALIDA	
DIA 1	TSS [ppm]	O/W [ppm]	DIA 1	TSS [ppm]	O/W [ppm]	DIA 1	TSS [ppm]	O/W [ppm]
Hora1	1,5	1,1	Hora1	2,1	1,3	Hora1	1,9	1,9
Hora2	1,7	1,4	Hora2	2,6	1,5	Hora2	2,2	1,3
Hora3	2,1	1,7	Hora3	2,3	1,9	Hora3	2,8	1,6
Hora4	2,6	1,5	Hora4	1,9	1,6	Hora4	2,4	1,2
Hora5	1,9	2,0	Hora5	2,6	2,1	Hora5	3,1	2,2
Hora6	2,3	2,3	Hora6	2,9	2,4	Hora6	2,6	1,8
Hora7	2,6	1,9	Hora7	2,5	1,8	Hora7	3,5	2,1
Hora8	2,2	1,6	Hora8	2,7	1,5	Hora8	3,1	2,2
Hora9	2,9	2,1	Hora9	3,1	2,4	Hora9	2,9	2,7
Hora10	2,7	2,5	Hora10	2,9	2,8	Hora10	3,0	3,1
Hora11	3,2	2,8	Hora11	3,4	2,1	Hora11	3,3	3,7
Hora12	3,6	2,6	Hora12	3,1	2,5	Hora12	4,5	4,2
Hora13	3,9	3,0	Hora13	2,8	3,4	Hora13	5,8	7,7
Hora14	4,4	3,7	Hora14	3,6	2,9	Hora14	6,3	7,9
Hora15	4,8	4,5	Hora15	3,9	3,3	Hora15	2,4	2,4
Hora16	6,2	5,2	Hora16	3,7	4,3	Hora16	1,8	1,3
Hora17	4,1	3,2	Hora17	4,1	3,8	Hora17	1,3	1,5
Hora18	1,6	1,4	Hora18	4,6	4,5	Hora18	4,9	1,8
Hora19	1,9	1,1	Hora19	6,1	6,1	Hora19	5,1	1,4
Hora20	1,7	2,3	Hora20	7,3	6,8	Hora20	3,9	2,6
Hora21	2,1	1,8	Hora21	3,5	2,8	Hora21	3,3	2,4
Hora22	1,5	1,6	Hora22	1,8	1,1	Hora22	4,9	3,5
Hora23	2,3	2,4	Hora23	1,4	1,6	Hora23	4,7	3,1
Hora24	2,5	2,6	Hora24	1,9	1,3	Hora24	5,2	3,7
PROM	2,8	2,3	PROM	3,2	2,7	PROM	3,5	2,8

Figura 12. Curva retrolavado TSS lecho filtrante resina de polipropileno.

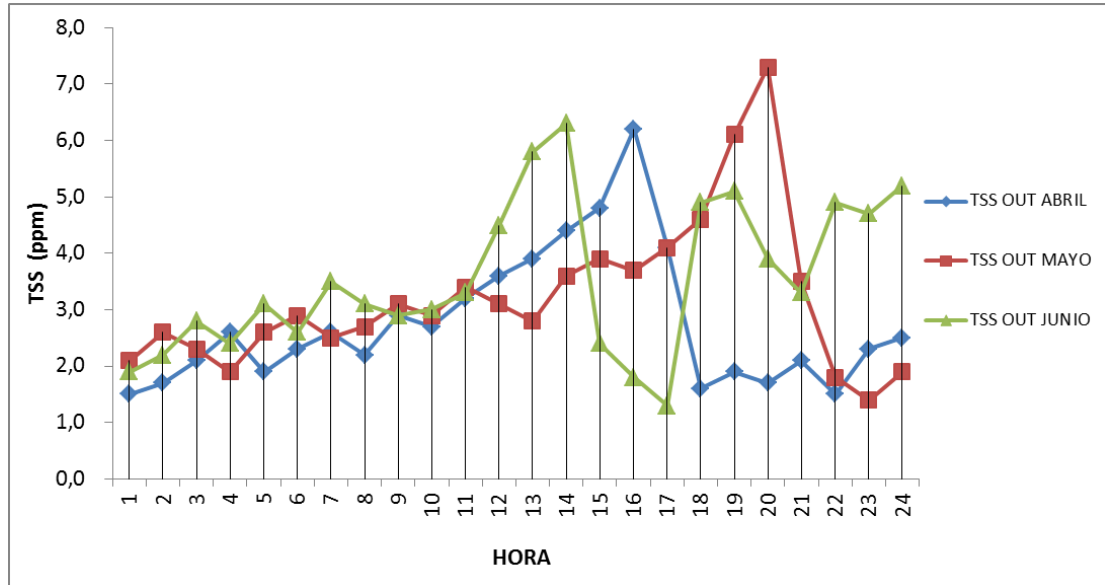


Figura 13. Curva retrolavado O/W lecho filtrante resina de polipropileno.

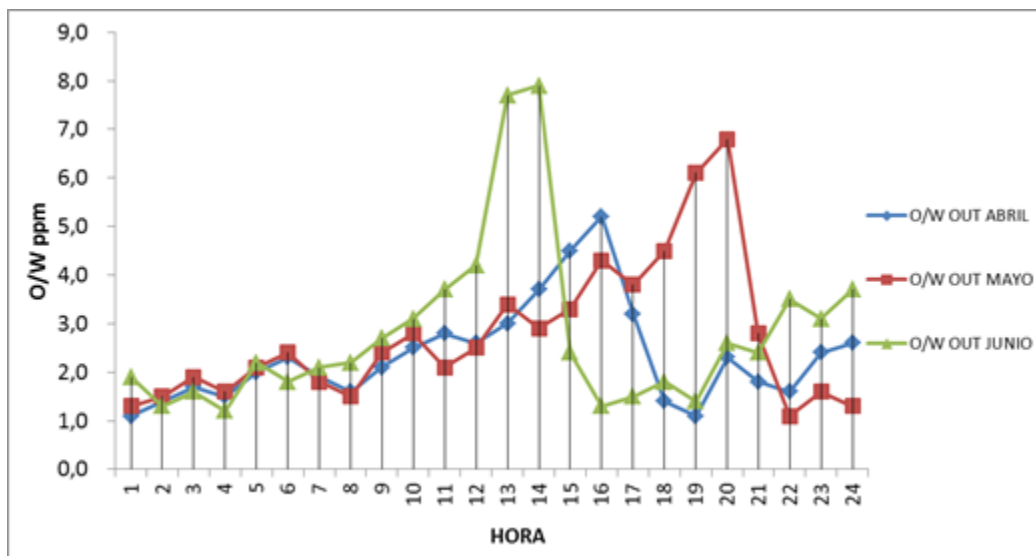
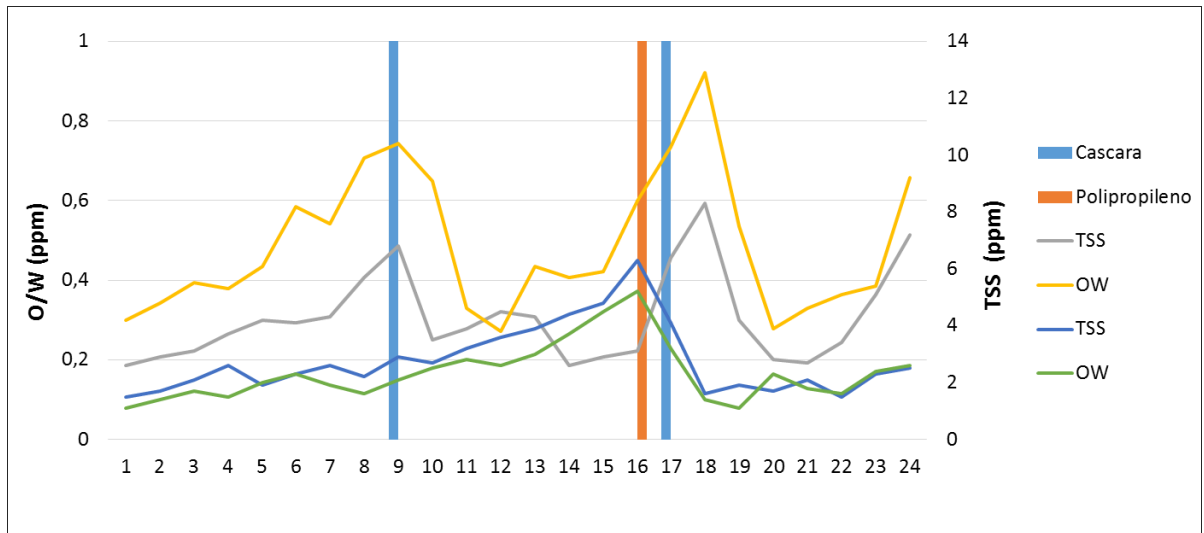


Figura 14. Comparativo de tiempos de retrolavado.



Las barras azules indican las horas en las que fue necesario realizar el lavado del empaque filtrante basados en los análisis hora a hora.

Las tendencias amarilla y gris indican que con la cascara de nuez, aunque el lavado del empaque filtrante se realizó, este no es lo suficientemente eficiente en la remoción del aceite en agua ya que debe pasar en algunos casos debe pasar por lo menos una hora después del retrolavado para que se aprecie los efectos de la limpieza del empaque filtrante.

Por el contrario la barra naranja que indica el momento del retrolavado del empaque filtrante de polipropileno muestra que posterior a este momento los datos del análisis de calidad de agua arrojan valores que satisfacen los requerimientos para la inyección del fluido y se mantienen así en el tiempo lo que hace que sean necesarios menos retrolavados en un término de 24 horas comparado con el empaque de cáscara de nuez.

La limpieza del empaque filtrante de polipropileno además de hacerse únicamente una vez en 24 horas fue mucho más eficiente comparada con la limpieza del empaque filtrante de cascara de nuez, pues las calidad de agua a la salida del

sistema pudo mantenerse con mejores características de sólidos en suspensión (línea azul) y aceites en agua (línea verde).

Ventaja adicional o implícita de este comportamiento es que entre menos retrolavados se realice al empaque filtrante, mayor capacidad de manejo de agua de producción se tendrá en con el sistema; pues mientras se ejecuta el proceso retrolavado el sistema de filtración deja de hacer su trabajo, lo que ocasiona que se retengan fluidos aguas arriba del sistema y que se convierta este paso en un cuello de botella para todo el sistema de la estación.

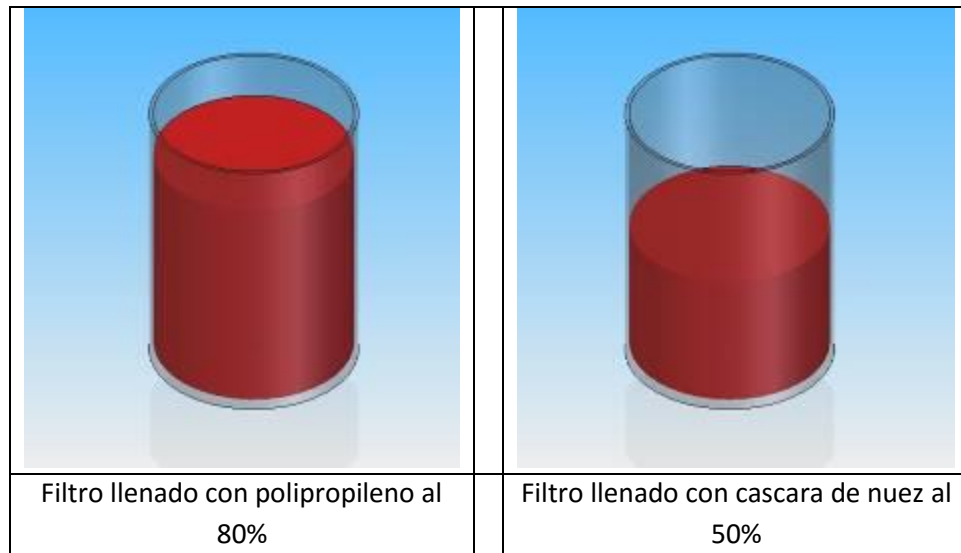
5.4 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS LECHOS FILTRANTES CASCARA DE NUEZ Y RESINA DE POLIPROPILENO.

Para los dos lechos filtrantes: cáscara de nuez y resina de polipropileno, se utilizaron diferentes cantidades de material, teniendo en cuenta que para cada empaque se utiliza un porcentaje de llenado diferente.

De acuerdo con la información suministrada por el área de producción de la compañía, el Proveedor de la cáscara de nuez inicialmente recomendó empaquetar el filtro hasta un 50% de su volumen, dado que con éste porcentaje de llenado se consigue una óptima fluidización del lecho durante los retrolavados.

Para el caso de la resina de polipropileno, basados en las condiciones operativas del filtro y la recomendación del fabricante, se empaquetó hasta un 80% del volumen del equipo, pues no requiere fluidez para la operación de retrolavado ya que el lecho no pasa por las bombas, éste se hace en flujo vertical ascendente sin sacar la resina del filtro.

Figura 15. Empaquetado del filtro con los lechos filtrantes resina de polipropileno y cáscara de nuez.



Teniendo en cuenta que el volumen del filtro es de 14,928 m³, los costos asociados al llenado del filtro con el empaque filtrante de resina de polipropileno serían:

El 80% del volumen total del filtro son 11,942 m³ que corresponden a 190 bultos de acuerdo con las dimensiones del mismo, la presentación de estos bultos es de 25 Kilos a un costo por kilo de \$4600 (cuatro mil seiscientos pesos); lo que determina un costo total de \$21.850.000 (veintiún millones ochocientos cincuenta mil pesos).

Por otra parte, los costos asociados al llenado del filtro con el empaque de cáscara de nuez de palma africana serían:

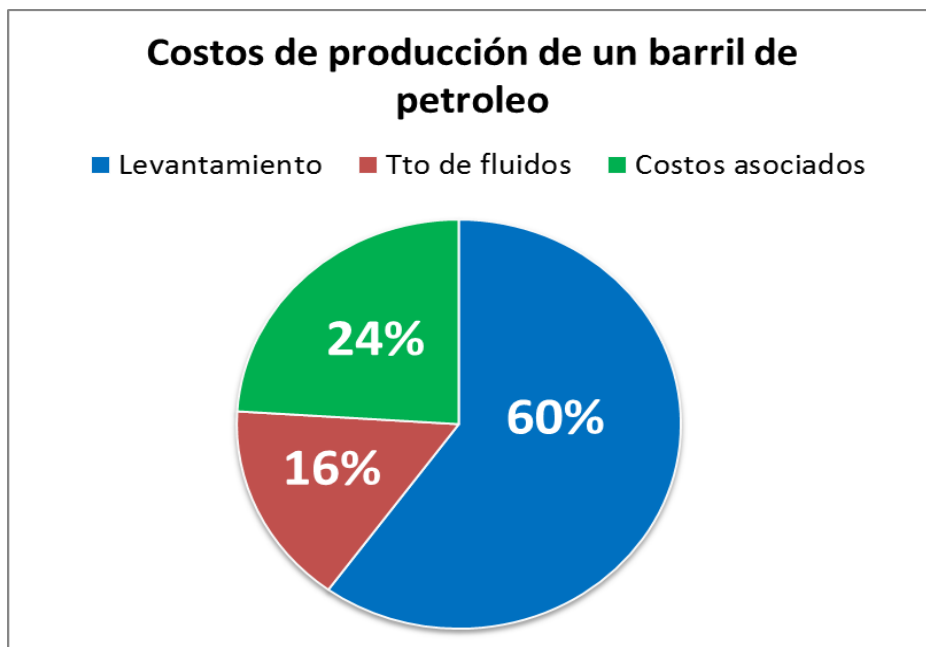
El 50% del volumen del filtro son 7,464 m³ lo que corresponden a 160 bultos de acuerdo con las dimensiones del mismo, la presentación de estos bultos es de 25 Kilos a un costo por kilo de \$6500 (seis mil quinientos pesos); lo que determina un costo total de \$26.000.000 (veintiséis millones de pesos).

Tabla 13. Valores comerciales y cantidades usadas de los lechos filtrantes.

LECHO FILTRANTE	Kg Por Bulto	LLENADO (%)	Volumen de Llenado (m3)	BULTOS USADOS	Kg TOTAL	VALOR POR Kg (\$)	VALOR TOTAL
casara nuez de palma africana	25	50	7464	160	4000	6500	\$ 26.000.000
resina polipropileno	25	80	11942	190	4750	4600	\$ 21.850.000

De acuerdo con el último Informe de la Gerencia de Producción de la compañía operadora, los costos asociados a la producción de un barril de petróleo en un campo maduro, dentro del panorama actual, se pueden resumir como se presenta en el siguiente diagrama:

Figura 16. Costos de producción de un barril de petróleo de acuerdo a compañía operadora.



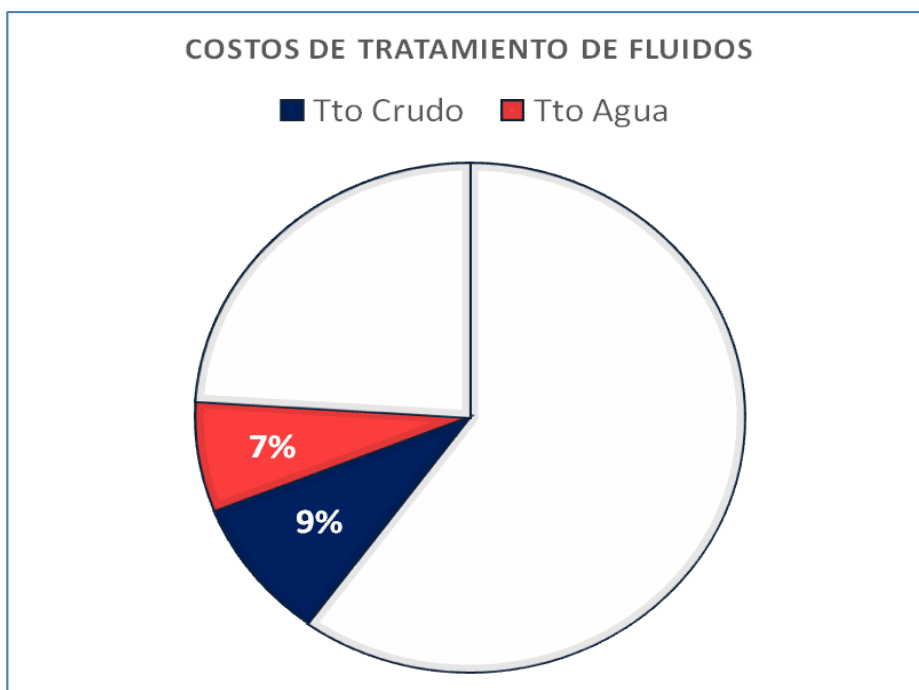
Fuente: Compañía operadora producción campo Jilguero.

El 60% del costo asociado a la producción de un barril de petróleo se atribuye a los sistemas de levantamiento e inyección (principalmente combustible), el 24% son los llamados “costos asociados”, que hacen referencia al transporte interno, arrendamientos, servicio técnico entre otros.

El 16% corresponde a los costos asociados al tratamiento de fluidos (Agua y Crudo).

Profundizando aún más en el tema de fluidos, lo cual es útil para el presente análisis económico, de éste 16% del costo del tratamiento de los mismos, un 9% corresponde al tratamiento del crudo y un 7% corresponde al tratamiento del agua como se puede observar a continuación:

Figura 17. Costos de producción asociados al tratamiento de fluidos.



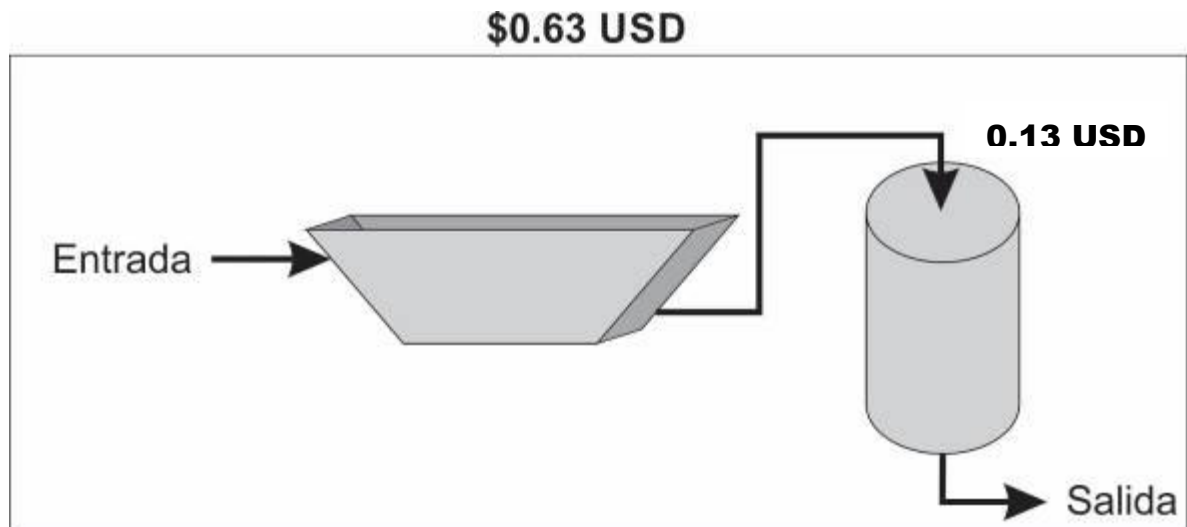
Fuente: Compañía operadora producción campo Jilguero.

Teniendo en cuenta que actualmente el costo promedio de producción de un barril de petróleo “Lifting Cost” es de 9 USD (sin incluir el valor del transporte externo) y de acuerdo con el porcentaje asociado al tratamiento del agua (7%), el costo de dicho tratamiento sería de 0,63 USD. Inicialmente se creería que la diferencia entre el tratamiento del crudo y el agua no es significativa, sin embargo, teniendo

en cuenta la relación promedio de producción crudo/agua en el país, 1/13 correspondientemente, y para el caso particular del campo Jilguero 1/25, cualquier disminución en estos valores, representa un ahorro significativo traducido en ganancia para la compañía operadora¹³.

Teniendo en cuenta que del costo de un barril tratado de agua, el 20% está asociado al sistema de filtración¹⁴, el paso de un barril de agua a través del filtro con cascara de nuez cuesta \$0,13 (0.63*0.2) USD como se representa a continuación:

Figura 18. Costo de un barril de agua a través del filtro con Cascara de nuez.



Teniendo en cuenta la capacidad de la planta de tratamiento de agua (25.000 BWPD) y el valor del tratamiento de un Barril en el sistema de filtración (0.13 USD), el valor total de pasar éste volumen a través del filtro es de 3.150 USD.

Para determinar la tasa de ahorro empleando la resina de polipropileno, inicialmente se calcula la depreciación del costo de la cascara de nuez a un año,

¹³ LEÓN, Y., Estudio Económico, Ampliación planta de tratamiento de agua industrial de producción para el campo Cravo Viejo- estación Bastidas, 18-28p, Octubre 2014.

¹⁴ Análisis de Precios Unitarios, APU de las plantas de tratamiento GALQUI S.A.S.

$\$26.000.000/365$, dando como resultado un valor de $\$71.232$ COP/Día, equivalente a $\$21$ USD/día con un TRM de $\$3.300$.

Realizando la misma depreciación para el caso de la resina de polipropileno a un año, $\$21.850.00/365$, el costo es de $\$59.863$ COP/Día, equivalente a $\$18$ USD/día.

Para efectos de comparación se aplica una regla de tres y obtenemos que si el costo de tratamiento de un barril es de $\$0.13$ USD, depreciando la resina con un costo de $\$21$ USD, para una depreciación de $\$18$ USD arroja un resultado de $\$0,11$ USD; este sería el costo de tratar un barril de agua utilizando resina de polipropileno.

Recalculando el costo de tratamiento de 25000 BWPD a este nuevo valor de $\$0,11$ USD, se tiene que el nuevo valor es de $\$2.647$ USD; $\$502$ USD/Día menos que si se trataran éstos mismos barriles utilizando como empaque filtrante la cascara de nuez.

6. CONCLUSIONES

- Se evidencia que a pesar de que en el segundo trimestre los valores de TSS y O/W se mantuvieron altos respecto a los valores promedio del primer trimestre a la entrada del filtro, la resina de polipropileno usada como empaque filtrante, tiene una mayor eficiencia, ya que los valores de los parámetros de salida fueron más bajos en comparación con los obtenidos con la cascara de nuez.
- Finalizado el seguimiento a los parámetros del afluente y efluente con los diferentes empaques filtrantes (cáscara de nuez y resina de polipropileno), se evidencia que con la resina se logra estabilizar la concentración de TSS y O/W a la salida del sistema dentro de las especificaciones iniciales requeridas por la compañía: 5 ppm de TSS y 3 ppm de O/W.
- La resina de polipropileno tiene una alta resistencia a la saturación, ya que a pesar de recibir altas cargas de O/W en el afluente, los valores de los parámetros (TSS y O/W) a la salida fueron más bajos comparados con los obtenidos con la cascara de nuez.
- La alta resistencia a la saturación de la resina de polipropileno, hace que se requieran menos retrolavados en el proceso, lo que lleva a tener un proceso más óptimo y eficiente.
- De acuerdo con el análisis económico y los costos asociados al tratamiento de los fluidos en la actualidad, empleando la resina de polipropileno se podría optimizar el costo del tratamiento del agua, pasando de 3150 USD/Día empleando como empaque filtrante cáscara de nuez a 2647 USD/Día empleando como empaque filtrante la resina de polipropileno. La diferencia en un mes de operación es de 15084 USD, por lo cual, el uso de lechos sintéticos como la resina de polipropileno es una alternativa económicamente atractiva y viable.
- Basado en los requerimientos de calidad del efluente y teniendo en cuenta los costos de los empaques filtrantes, la viabilidad del uso del polipropileno amerita que sea el seleccionado en éste proceso.

7. RECOMENDACIONES

- El empaque filtrante de cascara de nuez se satura con mayor rapidez, lo que conlleva a realizar retrolavado del filtro con mayor frecuencia, y por ende la probabilidad de tener una mayor pérdida del lecho, sin embargo, como fue considerado dentro del análisis, la cáscara de nuez fue evaluada después de llevar aproximadamente 9 meses de operación, por lo que la necesidad de realizar con más frecuencia los retrolavados puede deberse también al desgaste del material o pérdida del mismo durante el tiempo que llevaba operando.

Para poder sustentar y realizar una comparación sobre ésta condición, se debe realizar la misma evaluación y seguimiento del sistema de filtración con de la resina, cuándo ésta lleve aproximadamente nueve meses de operación y así poder comparar con la cáscara de nuez.

BIBLIOGRAFÍA

Cascara de nuez [en línea] <http://bawercom.com/detalle-de-producto/product/cascara-de-nuez.html>.

El polipropileno [en línea] <http://www.packsys.com/blog/el-polipropileno/> [consultado 19 septiembre de 2015]

Estudios y servicios petroleros S.R.L [en línea] [http://www.oilproduction.net/files/GPA_NOTA %20TECNICA 52.pdf](http://www.oilproduction.net/files/GPA_NOTA_%20TECNICA_52.pdf), [citado en 7 de Febrero de 2015]

JAIMES, Diana Marcela; PICO, María Isabel. “Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales y de producción evaluando las diferentes alternativas nacionales y extranjeras- aplicación Campo Colorado”. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga, 2009.

Laboratorio Químico de Monitoreo Ambiental LAQMA Ltda., “Caracterización de las propiedades de adsorción física de la cascarilla de palma africana y de la cascarilla de pecan utilizadas como filtro en el proceso de descontaminación de las aguas residuales del petróleo”. Bogotá, 2009

LEÓN, Y., Filosofía de Control, Ampliación planta de tratamiento de agua industrial de producción para el campo Cravo Viejo- estación Bastidas, 3-9p, Octubre 2014.

LEÓN, Y., Estudio Económico, Ampliación planta de tratamiento de agua industrial de producción para el campo Cravo Viejo- estación Bastidas, 18-28p, Octubre 2014.

Moliendas Chana [en línea] <http://www.moliendaschana.com/Productos.htm> [citado en 16 de febrero de 2015]

RICHARD, A., Manejo de la producción de agua: De residuo a Recurso. *Oilfield review*, Schlumberger, 2010, 31p.

RICHARD, Arnold; BURNET, David; ELPHICK, John. Manejo de la producción de agua: De residuo a recurso. *Oilfield Review* [PDF], otoño de 2004. [citado en 16 de febrero de 2015].

Tratamiento de agua de producción, filtración y soluciones [en línea]
http://www.twinfiler.com/app_files/fileinstances/download/428/en-gb/published/producedwatertreatmentperpagesmall.pdf