

**EVALUACIÓN INTEGRAL DE LA DISPOSICIÓN DEL AGUA DE PRODUCCIÓN
DE LOS CAMPOS DE EQUIÓN ENERGÍA EN EL ÁREA DE CASANARE**

**ROGER BEYLON MUÑOZ TRUJILLO
COD. 2127574**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA
2015**

**EVALUACIÓN INTEGRAL DE LA DISPOSICIÓN DEL AGUA DE PRODUCCIÓN
DE LOS CAMPOS DE EQUIÓN ENERGÍA EN EL ÁREA DE CASANARE**

**ROGER BEYLON MUÑOZ TRUJILLO
COD. 2127574**

**Proyecto de grado para optar el título de
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS**

Director: Ing. Harving Díaz Consuegra

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

2015

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. OBJETIVOS	12
1.1 OBJETIVO GENERAL	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2. JUSTIFICACIÓN	13
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
4. MARCO TEÓRICO	15
5. GENERALIDADES	19
5.1 CONTEXTO HISTÓRICO EQUION	19
5.2 UBICACIÓN Y OPERACIÓN CAMPOS FLOREÑA Y RECETOR	20
6. HISTÓRICOS DE PRODUCCIÓN DE AGUA PRODUCIDA	31
6.1. ESTUDIO 1	31
6.1.1. Producción Actual de Agua en EPF- Floreña.	31
6.1.2. Manejo actual de las Aguas de Producción.	32
6.2. PRUEBA PILOTO PARA TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN EN EPF FLOREÑA	35
6.2.1 Alcance.	35
6.2.2. Variables de Proceso y de calidad de agua.	35
6.2.3. Resultados de Remoción Monitoreo.	37
7. TECNOLOGÍAS DE IMPLEMENTACIÓN PARA TRATAMIENTO DE AGUAS PRODUCIDAS	42
7.1 ALTERNATIVA 1. Flotación por Aire Disuelto-FAD	42
7.1.1 Mecanismo.	43
7.1.2 Ventajas.	44
7.1.3 Desventajas.	45
7.2 ALTERNATIVA 2. TECNOLOGÍA DE ÓSMOSIS Y FILTRACIÓN POR MEMBRANAS	45
7.2.1 Nanofiltración.	47

7.2.2 Equipos de la Línea de Tratamiento.	49
7.2.3 Impacto de la solución.	49
7.2.4. Facilidad de actualización tecnológica.	49
7.3 ALTERNATIVA 3. SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS PRODUCIDAS POR PROCESOS CTA INGENIERÍA S.A.S	50
7.3.1 Consideraciones generales.	50
7.3.2 Descripción del Proceso de Tratamiento.	51
7.4 EVALUACIÓN DE LAS OPCIONES TECNOLÓGICAS	52
7.5 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA LÍNEA DE TRATAMIENTO SELECCIONADA	54
7.5.1 Costos Asociados.	54
8. CONCLUSIONES	61
9. RECOMENDACIONES	62
BIBLIOGRAFÍA	63

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Variables adicionales de proceso y calidad que serán monitoreadas durante la prueba.	36
Tabla 2. Resultados Monitoreo Prueba 1	38
Tabla 3. Resultados Remoción Monitoreo Prueba 2.	39
Tabla 4. Características de las Membranas de Nanofiltración Modernas.	48
Tabla 5. Criterios a evaluar en las opciones tecnológicas	53
Tabla 6. Partidas de costos para un sistema de tratamiento de 3.000 barriles/día de agua producida y con calidad para su uso o vertimiento.	57
Tabla 7. Resumen de indicadores de costos para un sistema de tratamiento de 3.000 barriles/día de agua producida y con calidad para su uso o vertimiento.	60

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Asociaciones de Equión Energía en Colombia	20
Figura 2. Esquema proceso EPF Floreña	22
Figura 3. Esquema CPF Cupiagua	23
Figura 4. Esquema proceso de producción de crudo EPF- Floreña	31
Figura 5. Cantidad de agua de producción en el año 2013	32
Figura 6. Manejo de agua de producción en el EPF Floreña	33
Figura 7. Áreas de manejo de agua de producción en EPF-Floreña	33
Figura 8. Precipitación y Adhesión De Las Burbujas De Aire.	43
Figura 9. Elementos que conforman un FAD	44
Figura 10. Procesos De Separación Y Tamaños Relativos De Sustancias.	46
Figura 11. Características De Los Procesos De Membranas	46
Figura 12. Tanque de Electrocoagulación	51
Figura 13. Agua filtrada	52
Figura 14. Equipo de electroxidación	52

RESUMEN

TÍTULO: EVALUACIÓN INTEGRAL DE LA DISPOSICIÓN DEL AGUA DE PRODUCCIÓN DE LOS CAMPOS DE EQUIÓN ENERGÍA EN EL ÁREA DE CASANARE*

AUTOR: ROGER BEYLON MUÑOZ TRUJILLO **

PALABRAS CLAVE: Agua Producida, Hidrocarburos, Tecnologías de Tratamiento de Agua, Desalinización, Proceso Unitario, Disposición de Agua de Producción.

DESCRIPCIÓN

El sistema de tratamiento de agua producida que se maneja en los Campos Floreña y Recetor se caracteriza por estar estandarizado y poseer un esquema en el uso de equipos de filtración y desalinización, suministrados por proveedores definidos que cumplen con los requerimientos propios del proceso. Sin embargo, estas configuraciones son limitadas debido a la falta de flexibilidad y dependencia comercial, generando restricciones en la búsqueda de nuevas tecnologías, que por los tiempos de construcción prolongados, la ocupación de espacios licenciados de las configuraciones y tamaño de estos sistemas, ha impactado las expectativas de crecimiento de las facilidades para atender las necesidades de producción de agua.

La búsqueda de alternativas novedosas en pro del beneficio de la compañía, contribuye en gran medida, ya que se explora y evalúa detalladamente el mercado nacional e internacional, con el fin de conocer a fondo las últimas tendencias en el manejo y disposición del agua de producción, mejorando los sistemas de tratamiento actuales e incursionando en nuevos campos que amplíen su participación.

De igual manera, a través de esta monografía se intenta cambiar la ideología industrial acerca del tratamiento del agua producida, para darle valor como un recurso fundamental usado en otros sectores productivos. Por lo tanto, es necesario hacer una adecuada caracterización del agua de producción, eliminando correctamente los componentes sobrantes y contaminantes para darles una disposición favorable a estos residuos.

* Monografía

** Especialización en Gerencia de Hidrocarburos, Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos, Universidad Industrial de Santander. Director: Ing. Harving Díaz Consuegra.

ABSTRACT

TITLE: COMPREHENSIVE EVALUATION OF THE WATER PRODUCTION PROVISION OF EQUION ENERGY FIELDS IN THE CASANARE AREA.*

AUTHOR: ROGER BEYLON MUÑOZ TRUJILLO**

KEYWORDS: Produced Water, Hidrocarbon, Water Treatment Technologies, Desalination Process, Unitary Process, Production Water Provision.

DESCRIPTION

The treatment system produced water is handled in the Floreña and Recetor Fields is characterized by be standardized and have a schema using filtration and desalination equipment, supplied by defined suppliers that meet the specific requirements of the process.

However, these configurations are limited due to the lack of flexibility and trade dependence, creating restrictions in the search for new technologies, which by the prolonged time of construction, the occupation of licensed spaces configurations and size of these systems has impacted growth expectations for the facilities to meet the needs of water production.

The search for new alternatives in benefit of the company, contributes greatly, as it explores and evaluates in detail the domestic and international market, in order to get to know the latest trends in the management and disposal of produced water improving current treatment systems and entering new fields to broaden their participation.

Similarly, through this monograph you try to change the industrial ideology about treating produced water, to give value as a fundamental resource used in other productive sectors. Therefore, it is necessary to make a proper characterization of produced water, properly removing the excess and polluting components to give a favorable disposition to these waste.

* Monograph

** Especialización en Gerencia de Hidrocarburos, Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos, Universidad Industrial de Santander. Director: Ing. Harving Díaz Consuegra.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el agua que resulta como subproducto del procesamiento de crudo, no tiene el tratamiento adecuado para su posterior disposición, por lo cual se hace necesario buscar alternativas que permitan mejorar la infraestructura en el manejo de aguas. Este trabajo representa un aporte técnico y práctico para la empresa EQUION donde se evaluará la efectividad de los procesos de tratamiento del agua de producción en los campos de Floreña y Recetor en el departamento de Casanare y con la oferta tecnológica presente en el mercado, se plantearán y evaluarán opciones viables para el tratamiento del agua sin impactar el medio ambiente, cumpliendo requisitos de calidad y garantizando un beneficio socio-económico para la región.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el proceso de disposición y proponer alternativas tecnológicas para el óptimo tratamiento de las aguas de producción en los campos de Floreña y Recetor en el departamento de Casanare.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar históricos de generación de agua producida para los campos de Recetor y Floreña y proyectarla a los años 2016 y 2021 respectivamente.
- Identificar y priorizar las diferentes opciones tecnológicas de acuerdo al esquema de proceso de EQUION y a las regulaciones ambientales.
- Evaluar las diferentes opciones tecnológicas para el manejo y disposición del agua de producción.
- Evaluar económicamente las opciones aplicables al proceso de agua producida.

2. JUSTIFICACIÓN

Debido a los altos cortes de agua que se vienen presentando en los campos de Recetor y Floreña y la limitada capacidad de tratamiento con que cuenta el EPF Cupiagua, es necesario que se investiguen y adopten nuevas tecnologías para el tratamiento y disposición final del agua de producción de los campos mencionados. De no tomar acción en el mediano y largo plazo se podría presentar restricción en la producción de aceite y gas en aquellos pozos con alta racionalización de agua e incremento de costos operacionales para el tratamiento y transporte del agua de producción fuera de las actuales instalaciones de producción.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La producción de agua en Floreña es en promedio 2500 Barriles por día y aunque esta producción se ha mantenido baja, los modelos de ingeniería del yacimiento hechos para los futuros proyectos, predicen a largo plazo un incremento de hasta 12000 Barriles por día. Actualmente el petróleo crudo se produce en dos trenes de separación de agua, y esta agua de producción es desgasificada y desnatada, para luego ser almacenada como agua de producción en el tanque de almacenamiento; desde este Tanque es tomada por las bombas de transferencia y enviada hacia Cupiagua por la línea multifásica de Volcaneras.

La producción actual de agua del campo de Recetor es de 3000 barriles de agua por día y según los modelos de ingeniería del yacimiento, predicen un incremento hasta 6000 barriles diarios de agua. El campo de Cupiagua operado por Ecopetrol tiene un manejo actual de agua de 8000 barriles día y su proyección de igual forma es al incremento.

Con los números descritos anteriormente se tiene actualmente un flujo de agua entre los campos de Floreña, Recetor y Cupiagua de 13000 barriles de agua diaria y el manejo máximo de agua en el CPF de Cupiagua es de 16000 barriles diarios, por lo cual en este momento se trabaja con el 81% de la capacidad total de la misma.

El pronóstico de incremento de agua de acuerdo a los estudios de yacimientos en cada uno de los campos, presenta una situación en la cual se debe buscar opciones de mejoramiento para evitar impactos ambientales, sociales y en producción, ya que, se podría incumplir con compromisos ambientales dados en la licencia de vertimiento; e impactar en la producción de aceite y gas para minimizar el agua de producción.

4. MARCO TEÓRICO

El mayor producto de desperdicio en la producción de petróleo y gas, y durante la vida de casi todos los pozos y yacimientos es el agua. Este subproducto es conocido como salmuera de yacimiento petrolífero, agua salada, agua producida, etc. La producción de agua, históricamente, ha promediado seis veces la producción de petróleo durante la vida de todos los pozos petroleros. Todos los días deben manejarse grandes cantidades de barriles de agua, conteniendo grandes cantidades de sales disueltas, sólidos en suspensión, metales pesados e hidrocarburos dispersos y disueltos¹

El agua producida puede ser tratada y eliminada por varios métodos, la mayoría de los cuales ya han sido probados y muchos de ellos aún se usan en varias partes del mundo.

En 1995, el Instituto Estadounidense del Petróleo (API), hizo su recomendación sobre la mejor tecnología disponible para la gestión del agua producida sobre las instalaciones petrolíferas y de gas en alta mar. El informe identificó los siguientes factores que contribuyen a la toxicidad del agua producida: muy pequeñas partículas, salinidad (9% o superior), compuestos volátiles, materiales orgánicos extraíbles (ácido, básico, neutral), amoníaco y sulfuro de hidrógeno. Seis de las tecnologías de tratamiento de agua, ya probadas en tierra, fueron evaluados y calculados.²

¹ De Viana, Javier, Arpel Disposición y Tratamiento del agua producida

² <http://vwt.jimdo.com/membranas-vibratorias-vsep/agua-pozo-petrolero/>

Método de Tratamiento	Ventajas	Desventajas	Costo
Absorción de Carbono Sistemas modulares de carbono granular activado.	Elimina hidrocarburos y ácido, compuestos bases y neutrales; bajo consumo energético; mayor capacidad de producción que otros tratamientos (excepto biológicas); trata una amplia gama de contaminantes; muy eficiente en eliminar alto MW Orgánicos.	Ensuciamiento de gránulos de carbono es un problema; produce residuos de carbono y repercusión; requiere algún pretratamiento del flujo de agua producida.	Moderado
Extracción con Aire Torre de embalados con aire burbujeante mediante el fluido de agua producida.	Elimina el 95% de VOCs así como benceno, tolueno, naftaleno y fenoles; H2S y amoníaco puede ser despojado con la adaptación de pH; la mayor temperatura mejora la eliminación de semi-volátiles; pequeño tamaño; bajo peso y necesidades energéticas baja.	Puede ser ensuciado por petróleo; riesgo de hierro y formación de escala de calcio; genera un flujo de residuos de gas, que pueden requerir tratamiento; requiere algunos pretratamiento de flujo de agua producida.	Baja capital y gastos de funcionamiento; el tratamiento cuestan hasta \$0.10/1,000 gal más \$1.50/k gal si se controla el off-gas por carbón activado
Filtración por Membranas Membranas poliméricas de Nanofiltración y Osmosis Inversa.	Retirada efectiva de partículas y aceite emulsionado y dispersado; huella pequeña, bajo peso y bajo consumo de energía; ratio alto de rendimiento.	No elimina los volátiles o componentes de bajo peso molecular. Petróleo, sulfuros o bacterias pueden ensuciar la membrana, que exige limpieza diaria; rechazo puede contener materiales radiactivos; requiere pretratamiento de alimentación.	Bajos costos de operación
Luz ultravioleta Irradiación por las lámparas ultravioletas.	Destruye los componentes orgánicos disueltos y orgánicos volátiles y no volátiles, incluso orgánicos biocidas; no genera flujo de residuos adicionales; manejo molesto o condiciones de carga alta.	No tratar amoníaco, petróleo dispersado, metales pesados, o la salinidad; relativamente altas necesidades de energía; las lámparas UV (ultravioleta) pueden llegar a ser viciado; los residuos pueden ser tóxicos si se utiliza peróxido; requiere algunos pretratamiento de flujo de agua producida.	Similares los costos de capital a la oxidación química con ozono, pero los gastos de funcionamiento menores porque no flujos de residuos.
Oxidación química Oxidación de Ozono y/o de peróxido de hidrógeno.	Elimina H2S y partículas; trata hidrocarburos, ácido, orgánicos bases y neutrales, volátiles y no volátiles; necesidad energética baja si se utiliza el sistema peróxido; fácil de operar.	Entradas de alta energía para el sistema de ozono; el petróleo puede ensuciar el catalizador; puede producir lodos y residuos tóxicos; requiere algún tratamiento previo de flujo de agua producida.	Moderados costos de operación
Tratamiento biológico Sistema aeróbico con una capa de biotower fija o crecimiento suspendido (por ejemplo eje profundo).	Trata hidrocarburos biodegradables y compuestos orgánicos, H2S, algunos metales y, en algunas condiciones, amoníaco; las necesidades de energía moderadas; maneja cargas variables, si aclimatada.	Grandes, maquinaria pesada necesaria para largo tiempo residiendo; la acumulación de aceite y hierro obstaculiza la actividad biológica; la aireación hace que la escala de calcio se forme; produce gas y requiere tratamiento de lodo; requiere pretratamiento de alimentación.	Similares los costos de capital a la oxidación química con ozono, pero los costes de explotación menor porque no flujos de residuos.

Conclusiones del Informe del Instituto Americano del Petróleo sobre la mejor tecnología disponible para la Gestión y Tratamiento del Agua Producida, 1995

Fuente: <http://vwt.jimdo.com/membranas-vibratorias-vsep/agua-pozo-petrolero/>

Agua Producida

“Agua producida” es un término general utilizado para todo tipo de agua extraída de pozos de petróleo o gas.³

Es el agua que llega a la superficie con petróleo y gas que está compuesta por elementos químicos como: Sal, toxicidad de aditivos químicos, aceite y grasa, y

³ Estudio de Caso Pacific Rubiales Energy. <http://www.rwlwater.com/estudio-de-caso-campo-petrolifero-pacific-rubiales/?lang=es>

algunos materiales que contienen oxígeno⁴. Sus características propias pueden variar, a menudo, implica una composición inexacta y desconocida⁵

Fuente de Agua Producida

El agua producida proviene de dos fuentes importantes, pozo petrolero y pozo de gas, en el primero se presenta un volumen inicial bajo e incrementa su capacidad a varias veces la cantidad de petróleo, mientras que en el segundo el volumen es relativamente bajo debido a que estos no son dados para la inyección de agua, lo que hace que el manejo de hidratos sea difícil. Generalmente el agua extraída mediante deshidratadores de los pozos de gas, se evapora durante el ciclo de regeneración del equipo.⁶

Tratamiento y disposición de Agua Producida

El agua producida puede ser tratada y eliminada por varios métodos, los cuales han sido probados y algunos usados actualmente en el mundo. Estos modelos hacen una descripción del agua, analizan sus componentes, muestran el impacto ambiental potencial, sugieren formas de minimización de volúmenes, recomiendan métodos a usar para la preservación ambiental y los tratamientos previos a su eliminación.

Métodos de Disposición recomendados

Reciclado

⁴ Opciones para gerenciar el agua producida. No existe método único
<http://www.spe.org/dl/docs/2009/VeilSpanish..pdf>.

⁵ Glosario Schlumberger. Agua Producida.
http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/p/produced_water.aspx

⁶ Disposición y tratamiento de aguas producidas
http://www.oilproduction.net/files/tratamiento_de_aguas_producidas.pdf

La recuperación de hidrocarburos puede ser mejorada con la inyección de agua al yacimiento, sea en el acuífero (mantenimiento de presión) o en toda la zona para barrer al petróleo hacia los pozos (inundación de agua). Esta reinyección también tiene menor impacto ambiental.

Se debe tener en cuenta que no todos los pozos son aptos para la inyección de agua, por lo cual se requiere realizar un estudio detallado de sus propiedades y componentes, para no causar el abandono prematuro del pozo y pérdidas económicas importantes.

Disposición en pozo profundo

Consiste en la inyección, a través de un pozo de inyección, a una zona con profundidad mayor de 2000 pies o 600 m, que no sea la zona productora. Cada pozo profundo de disposición deberá contar con el respectivo permiso, en el que se describirá la zona a la que se le bombardeará agua, como la autoridad otorgada a la empresa responsable de la actividad.

Tratamiento requerido antes de la disposición

Los procedimientos requeridos para el tratamiento de fluidos producidos dependen de su origen, condición y el método de descarga elegido para la salmuera. Los tratamientos comunes incluyen separadores de agua libre, separadores de tres fases y tratadores para quitar el agua del aceite y establecer una corriente de agua primaria. Se proponen además el uso de técnicas nuevas como el uso de centrifugadoras y filtrado por membranas, pero estas no han sido probadas ni están en el mercado⁷

⁷ *Ibíd.*

5. GENERALIDADES

5.1 CONTEXTO HISTÓRICO EQUION

En 1986, BP Exploration adquirió una participación en el Contrato de Asociación Santiago de las Atalayas, junto con las empresas Ecopetrol, Total y Triton Energy. Las operaciones comenzaron en Octubre de 1987 con la perforación del pozo Cusiana 1, en el departamento de Casanare. Con el hallazgo de petróleo y gas, se dio inicio a un periodo de hallazgos significativos y construcción de instalaciones para el procesamiento y transporte de hidrocarburos.

Con inversiones superiores a cuatro mil millones de dólares, BP representó uno de los mayores inversionistas extranjeros para impulsar el desarrollo petrolero de los últimos 25 años en Colombia.

El 24 de enero de 2011, BP vendió la totalidad de las acciones de la casa matriz de la sucursal de Colombia a Ecopetrol (51%) y Talisman (49%), transacción que dio paso a la nueva marca llamada Equión así como su vinculación a estos grupos empresariales.

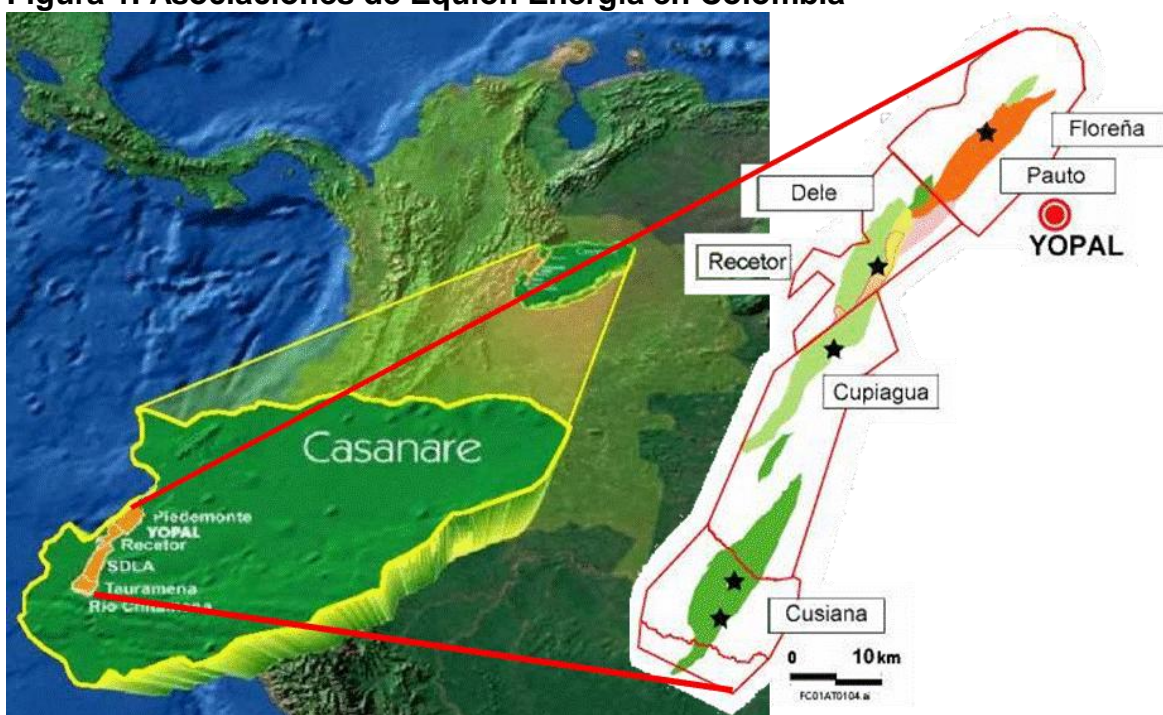
El periodo 2011-2012 fue especialmente retador para Equión y su equipo humano; se trató de una etapa centrada principalmente en atender el nacimiento formal de la compañía bajo un nuevo esquema de gobierno corporativo y con accionistas nuevos, mientras mantenía el ritmo de la operación concentrada en Casanare y abría el proyecto exploratorio costa afuera en el Caribe colombiano, a lo cual se sumaron las expectativas propias de un significativo ajuste empresarial.⁸

⁸ REPORTE DE SOSTENIBILIDAD EQUION ENERGIA LIMITED 2012 <http://www.equion-energia.com/rse/Documents/Reporte%20de%20Sostenibilidad.pdf>

5.2 UBICACIÓN Y OPERACIÓN CAMPOS FLOREÑA Y RECETOR

Hoy día, el EPF Floreña, EPF Recetor y el CPF Cupiagua se encuentran interconectados por una línea de 12" (Línea EPF – Volcanera) entre los dos primeros, fluyendo por esta agua y gas. Entre Recetor y el CPF Cupiagua se tiene una troncal de producción de 16" (Troncal YB) por donde fluye, producción de aceite, gas y agua del campo Recetor más los productos enviados desde Floreña.

Figura 1. Asociaciones de Equión Energía en Colombia



Fuente: Presentación Operación BP Colombia Casanare, Avendaño Raul, Cusiana, Octubre 2006

Método de Separación de Agua en Campos Floreña y Recetor

La descripción del proceso para la separación del agua de producción en el EPF Floreña es el siguiente:

El agua entrante de los procesos de tratamiento de crudo se descarga en el separador Flash de agua producida 30-V-110, a una presión cercana a 15 psig, la cantidad de crudo y gas presentes la determinan factores como la presión, la temperatura, las características químicas del crudo y el tratamiento previo que se le haya dado.

La separación líquido / gas comienza, cuando el fluido entra en las líneas de tubería, y se completa cuando entra al separador, donde se genera una expansión de la fase gaseosa lo que conduce a una separación de las fases.

El flujo ingresa al separador, proveniente de las líneas 2"-PW-B12-103, 4"-PW-B12-102 y 3"-PW-B12-110, la primera del separador de segunda etapa del tren dos (20-V-102), la segunda del Slug Catcher (20-V-100) y la tercera viene del separador de segunda etapa del tren uno.

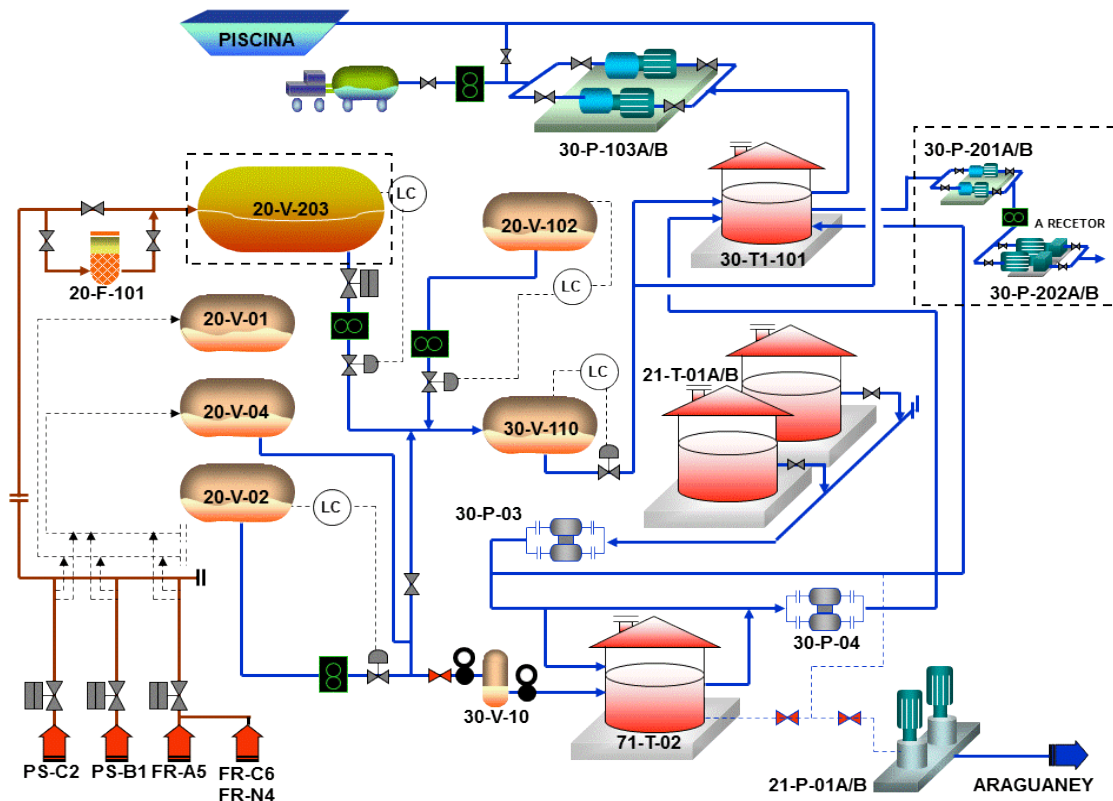
El separador Flash de agua producida posee un desviador de entrada (Inlet Baffle) que recibe el flujo causando un cambio brusco en su velocidad y dirección. Al producirse el choque, el líquido por gravedad se dirige hacia el fondo y el gas hacia la cima. Además cuenta con un vertedero para el crudo y una bota de 8" por donde sale el gas hacia la línea de succión de los compresores recuperadores de vapor 23-C-04 y 23-C-104. En la bota de gas posee un rompeolas (Vane Pack) que es una pantalla horizontal colocada perpendicular al flujo para evitar la formación o propagación de olas.

El agua libre de gas y de crudo va hacia el tanque colector de agua de producción 30-T-101 a través de la línea 8"-PW-B12-108.

El crudo que se separa del agua va hacia los tanques de almacenamiento de crudo 21-T-01 A/B.

El gas que se retira, sale por la cima del separador a la línea de tubería 2"-PG-B1-177 que luego se une al cabezal de succión de los compresores recuperadores de vapores 23-C-04 y 23-C-104. Esta línea tiene una válvula cheque de 2" para evitar un retro flujo proveniente de los tanques de crudo.⁹

Figura 2. Esquema proceso EPF Floreña



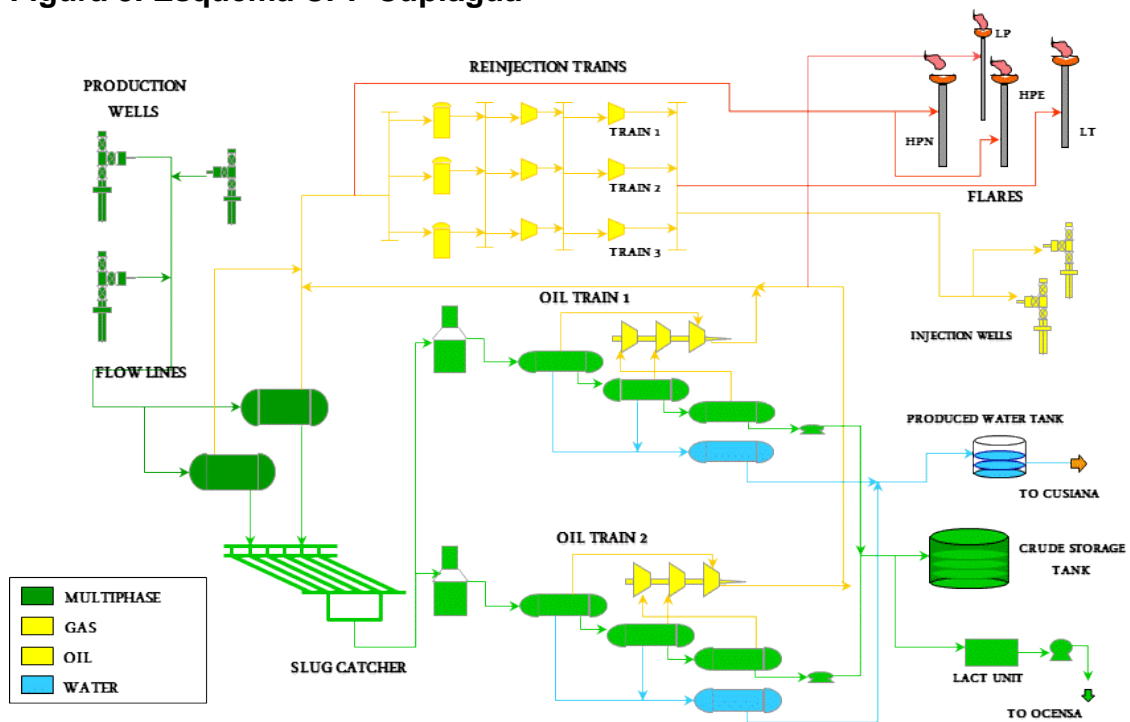
Fuente: Optimización EPF Floreña 2009, Operaciones Floreña.

En el EPF Recetor se realiza únicamente una separación bifásica (gas – líquidos), donde parte del gas es reinyectado a tres pozos inyectoros que ayudan al soporte de la presión del yacimiento y los líquidos (aceite y agua producidos del Campo Recetor mas agua producida del campo Floreña) son enviados por medio de bombas centrífugas hacia el CPF Cupiagua.

⁹Equión Energía. Documento número FL-MO-007 Disposición de agua de producción sistema 30. Conjunto documentos bases de diseño EPF Floreña perteneciente a Equión Energía,

Los líquidos y el gas en el CPF Cupiagua son separados por tres separadores (dos trifásicos y uno bifásico) adicionalmente el agua separada en los dos primeros separadores pasa por flash drum, donde se retira los últimos remanentes de gas y crudo aún presentes en el agua y finalmente son direccionados a un tanque de almacenamiento. Posteriormente el agua libre es bombeada aguas abajo de la unidad LACT, uniéndose con la corriente de aceite hacia el CPF Cusiana, a través de la línea interfield.

Figura 3. Esquema CPF Cupiagua



Fuente: CPF Cupiagua, J. G. Sanmiguel, bp Colombia, Febrero 2002

ANÁLISIS DEL AGUA PRODUCIDA¹⁰

El agua disolverá casi todos los compuestos inorgánicos, hasta cierto punto. Durante cientos de millones de años las aguas producidas han estado presentes

¹⁰Guía ambiental para la disposición y tratamiento del agua producida. <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/institucional/regionales/Publicaciones/GUIA%20HIDROCARBUR OS%20VI.pdf>

en el acuífero en asociación con el petróleo y el gas. El agua ha tenido amplio contacto con las diversas formaciones rocosas, habiendo disuelto ciertos compuestos. Para determinar el tratamiento óptimo antes de la aplicación del método de eliminación seleccionado, se requiere un análisis acucioso del agua producida. El análisis es nuestro medio principal para detectar los problemas presentes y los potenciales, debiendo realizarse rutinariamente en todas las aguas producidas.

En los procedimientos de muestreo se recomienda:

- ✓ Tomar las muestras en la cabeza del pozo, si es que ello es posible.
- ✓ Si un tanque es muestreado tomar las muestras a diferentes niveles dentro de la columna del fluido. Esto puede requerir equipos especiales, tal como un muestreador tipo ladrón.
- ✓ Tomar muestras cuando el sistema se encuentra operando normalmente. También es recomendable verificar el sistema en una zona anterior al punto de muestreo, antes y después de realizado éste, para asegurarnos que nada inusual sucedió o está sucediendo.
- ✓ Si se están muestreando aguas superficiales, como una fuente para la recuperación secundaria, o si se quiere determinar contaminantes, deberá recordarse que la composición del agua puede variar considerablemente durante el tiempo. Esto es especialmente importante, cuando se efectúan mediciones de turbidez, oxígeno disuelto y población microbiológica.
- ✓ El agua producida puede cambiar considerablemente con el tiempo. Los desechos de planta o aguas de purga son adicionados en ocasiones y pueden mostrar un cambio cíclico en su composición debido a los ciclos de regeneración del equipo de intercambio iónico y los ciclos de purgado. Es recomendable conversar al respecto con el personal de operación.

Análisis Cuantitativo de Aguas Producidas

En un análisis cuantitativo de las aguas producidas muchas de las propiedades que son de principal importancia pueden, por lo tanto, ser determinadas únicamente, a través de mediciones en el emplazamiento (en el campo). Es por esta razón que un análisis completo comprende tanto mediciones de laboratorio como de campo.

Es importante que todas las personas relacionadas con proyectos de agua producida tengan conocimiento de Los componentes del sistema de agua producida son de suma importancia para los métodos de eliminación que se utilizarán.

Los constituyentes normales y las propiedades medidas en el laboratorio son:

Cationes

Calcio (Ca⁺⁺)

Magnesio(Mg⁺⁺)

Sodio (Na⁺)

Hierro(Fe⁺⁺⁺)

Bario(Ba⁺⁺)

Estroncio(Sr⁺⁺⁺)

Radio(R⁺⁺⁺)

Aniones

Cloruro (Cl)

Carbonato (CO₃)

Bicarbonato (HCO₃)

Sulfato (SO₄)

Otras Propiedades

pH

Sólidos suspendidos - cantidad, tamaño, forma, composición química

Turbidez

Temperatura

Gravedad específica

Oxígeno disuelto

Dióxido de carbono

Adicionalmente, es normal medir los sólidos totales disueltos (STD) lo que simplemente representa la suma de las concentraciones de todos los iones individuales.

POSIBLES PROBLEMAS AMBIENTALES

El agua producida contiene sales disueltas y gases (CO, CO₂, H₂S). Pueden existir sólidos en suspensión, los cuales pueden contener en algunos casos vestigios de metales pesados y posiblemente radiación proveniente del estroncio y del radio. El agua producida antes de ser tratada contiene usualmente cantidades inaceptablemente altas de gotas de petróleo en suspensión o emulsión. Generalmente, las salmueras de los campos petrolíferos no son adecuadas para consumo humano o para uso animal.

Fuentes de Agua Potable

Uno de los principales problemas de la eliminación del agua producida es la contaminación de las fuentes de agua potable. La mayor cantidad de agua potable se encuentra ubicada en el subsuelo a pocos metros de la superficie o en ríos y riachuelos. La mayor parte de estos acuíferos de agua dulce se alimentan por percolación y son muy susceptibles a la contaminación. El agua producida es un contaminante ideal, esencialmente posee la misma gravedad específica que el acuífero, parte potencialmente de la alimentación del acuífero con una relación de

movilidad equivalente y se mezcla fácilmente con el agua dulce. Si un acuífero de agua dulce con un supuesto nivel de cloruro de 100 ppm fuese contaminado por la salmuera de un campo petrolífero con 180,000 ppm de cloruros, se requeriría un nivel de dilución de 1,200, con el fin de devolverle al agua un nivel aceptable de cloruros del orden de los 250 ppm.

Volumen

Cuando la producción de agua comienza, los volúmenes son usualmente bajos y es tentador descargar el fluido en una forma descontrolada. Esto es totalmente inaceptable. Los volúmenes no disminuirán; sin embargo, es posible que un trabajo de recompletación pueda demorar o diferir la producción. En la mayoría de las zonas la permeabilidad relativa de las capas rocosas hacia el agua asegura que una vez que el agua atraviesa la formación hasta el pozo no solamente continuará sino que se incrementará.

Resulta normal que la relación agua-petróleo se incremente rápidamente al inicio (por lo general en 1 o más.). Después de este acelerado incremento inicial de producción de agua, la relación de agua-petróleo aumenta más lentamente conforme la saturación del agua en los alrededores del pozo continúa incrementándose. Eventualmente, el costo de la manipulación, procesamiento y eliminación del agua, combinado con el nivel decreciente de producción de petróleo, resulta en que la operación del pozo se transforme en antieconómico. Sin embargo, durante la vida del pozo se producen considerables volúmenes de agua.

Sales y Sólidos en Suspensión

El agua producida contiene una amplia gama de sales disueltas (como cationes y aniones), gases y sólidos suspendidos. Algunos son simplemente objetables, mientras que otros son tóxicos y pueden concentrarse en la cadena alimenticia.

✓ Sodio y Cloruros

Los estándares para agua potable permiten hasta 250 miligramos por litro de sodio, 250 miligramos por litro de cloruros y un total de sólidos disueltos de 500 miligramos por litro, correspondiendo estas cifras a las Clasificaciones I y II. Se prohíben niveles superiores a los mencionados para el agua potable y los objetivos a seguir deben ser considerablemente menores, por ejemplo, alrededor de 100 miligramos por litro. El sodio en particular, afecta negativamente la calidad del agua especialmente donde ésta se utiliza para irrigación (Clasificación III-Reglamento de la Ley General de Aguas), ya que promueve la acumulación excesiva de sales y produce daño conforme se evapora el agua. El sodio en combinación con los sulfatos también causa problemas de salud (diarrea).

✓ Sólidos en Suspensión

Se refiere a la medida del material, cuyo tamaño excede al de los coloides. Estos sólidos interfieren con la autopurificación, estimulan la formación de depósitos de lodo, dañan las plantas pesqueras y son antiestéticos.

✓ Metales Pesados

El metal pesado que se encuentra en mayor cantidad en las aguas producidas es el bario, aunque también pueden hallarse vestigios de mercurio, arsénico y selenio. Estos elementos, en cantidades mínimas, son extremadamente tóxicos para los humanos y tienen la propiedad de ser concentrados por varios organismos, particularmente los moluscos.

✓ Sulfuros

Los sulfuros matan a los peces, producen sabor, olor y son perjudiciales para el proceso industrial. Se recomienda observar como límite máximo permisible 0,5 miligramos por litro.

✓ Aceites y Grasas

Los aceites y grasas son tóxicos para los peces, reducen la reaeración, producen mal sabor y son estéticamente inaceptables. Los límites para aceites en el agua producida, para su descarga al océano van desde 30 mg/l en Australia a 40 mg/l promedio en el Mar del Norte y aguas de los Estados Unidos.

✓ Radioactividad

Tanto el Radio 226 como el Estroncio 90 son radioactivos y a menudo se presentan en el agua producida. Ambos también son concentrados por los mismos organismos que concentran otros metales pesados. Los moluscos son especialmente significativos para los humanos. Los niveles máximos recomendables son 1 gros Beta de 1000 pCi por litro, radio 226 menos de 3 pCi por litro y estroncio 90 menos de 10 pCi por litro.

Concentración de Sales

La mayoría de las aguas producidas contienen altas concentraciones de sales. Los niveles de cloruros de 150,000 a 180,000 ppm (el agua de mar tiene alrededor de 35,000 ppm) son muy comunes. A estos niveles el agua producida es tóxica para casi todo tipo de vida. A menos que el agua producida retorne a la formación productora, debe considerarse que su dilución se realice mediante la descarga a corrientes de aguas de alto volumen, como por ejemplo el mar o por la adición de agua dulce para reducir el contenido de sal a un nivel aceptable (menos de 500 miligramos por litro). Debe tenerse presente que, aunque las aguas fueran descargadas al mar se creará una zona en los alrededores inmediatos al punto de descarga, donde las concentraciones serán muy altas y en donde se notará una marcada reducción de los organismos marinos. El área de la zona afectada estará en función de los volúmenes descargados, la concentración de sales y la forma en la cual se disperse el contaminante. Para cumplir con los reglamentos en el Perú, los niveles de cloruros deben ser menores de 250 partes por millón, medidas

aproximadamente a 500 metros del punto de descarga en una dirección determinada por las corrientes acuáticas.

Temperatura

Las temperaturas del reservorio se presentan en función de la profundidad, y las temperaturas de las aguas producidas reflejan las condiciones del reservorio. En el punto de eliminación, las aguas producidas se encuentran aún a temperaturas elevadas. Las descargas a aguas superficiales elevarán la temperatura y este cambio disminuirá los niveles de oxígeno disuelto, originará mortandad de peces, interferirá con la propagación y alimentación de las especies, incrementará las tasas de crecimiento de bacterias, organismos benéficos y perjudiciales, acelerará reacciones químicas y favorecerá la eutroficación.

Se recomienda que las aguas receptoras tengan una elevación máxima de temperatura del orden de 3°C sobre la temperatura base correspondiente a la estación.

6. HISTÓRICOS DE PRODUCCIÓN DE AGUA PRODUCIDA

6.1. ESTUDIO 1

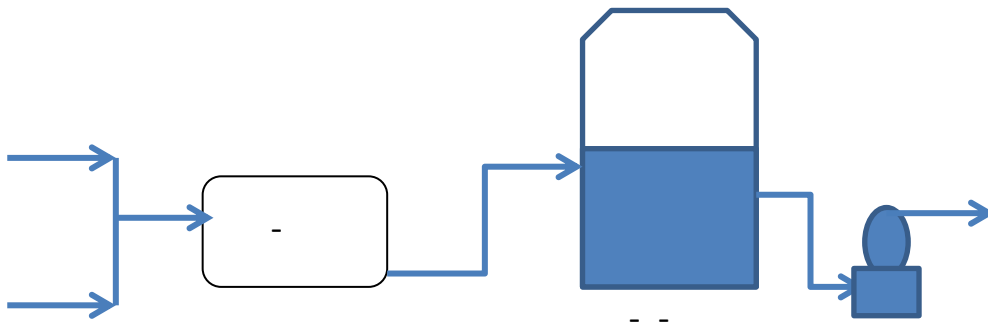
Estudio de Alternativas de Tratamiento y Disposición Final mediante Aprovechamiento o Vertimiento del Agua asociada a la producción de Hidrocarburos del Bloque Piedemonte.

6.1.1. Producción Actual de Agua en EPF- Floreña.

La producción de agua en Floreña es en promedio 2000 Barriles por día y a pesar de su bajo nivel, los modelos de ingeniería del yacimiento hechos para los futuros proyectos, predicen a largo plazo un incremento de hasta 12000 Barriles por día.

Actualmente el petróleo crudo se produce en dos trenes de separación de agua, y esta agua de producción es desgasificada y desnatada en la Vasija 30-V-110 para luego ser almacenada como agua de producción en el tanque de almacenamiento 30-T-101; desde este Tanque es tomada por las bombas de transferencia y enviada hacia Cupiagua por la línea multifásica de Volcaneras

Figura 4. Esquema proceso de producción de crudo EPF- Floreña



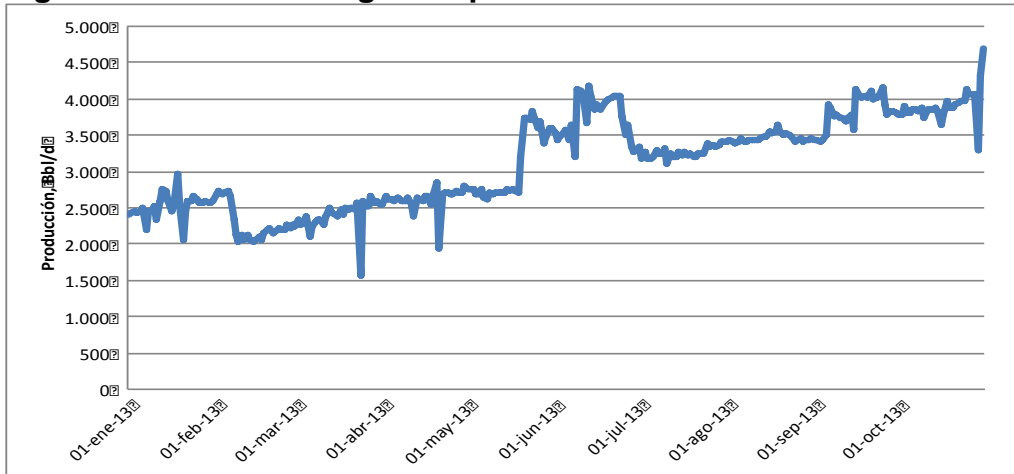
Fuente: EQUION Energía Limited

6.1.2. Manejo actual de las Aguas de Producción.

El agua asociada de producción objeto del presente estudio se genera en Bloque Piedemonte, el cual incluye los campos Floreña y Piedemonte. El agua se produce de la explotación del hidrocarburo y es un agua que viene asociada al aceite. En la Figura 4. Se presenta la producción de agua de enero a Octubre de 2013, siendo la producción actual de 4.200 Bbl/d, con tendencia a incrementarse en el tiempo.

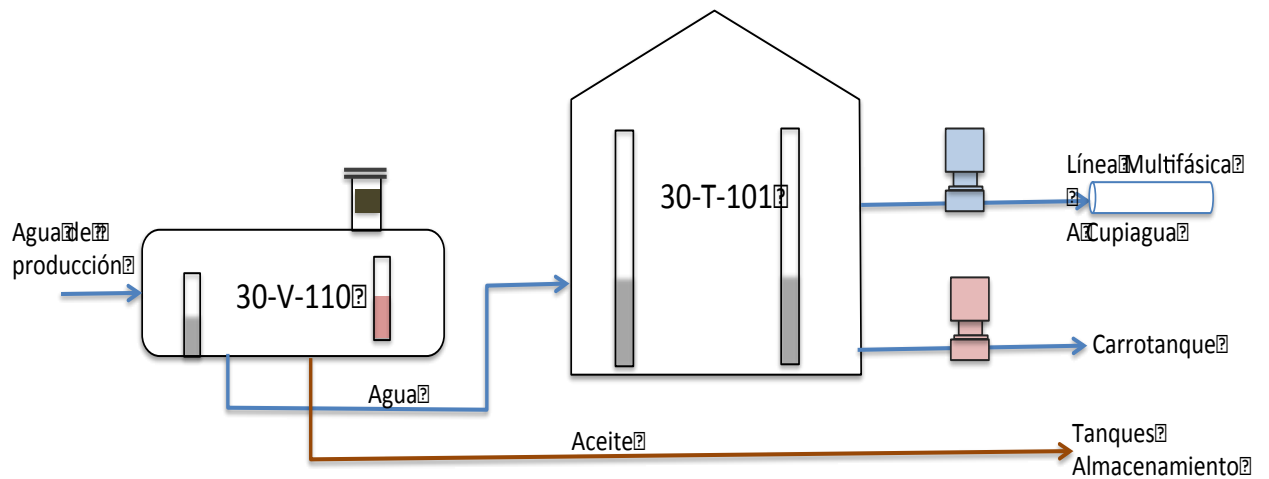
Actualmente el crudo que se produce en los pozos Floreña y Pauto es procesado en el EFP Floreña en dos trenes de separación, y el agua de producción separada es desgasificada y desnatada en una Vasija con la denominación 30-V-110 para luego ser almacenada en el tanque de almacenamiento con denominación 30-T-101 con capacidad de 8.000 barriles; desde este tanque el agua de producción es tomada y enviada por la línea multifásica de Volcaneras hacia al CPF de Cupiagua que se localiza en la vereda Cupiagua del municipio de Aguazul operado por ECOPETROL, y este desde allí, bombea el agua hasta Cusiana donde es inyectada al reservorio(Véase Figura 5 y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Figura 5. Cantidad de agua de producción en el año 2013



Fuente: EQUION. 2013.

Figura 6. Manejo de agua de producción en el EPF Floreña



Fuente: Adaptado por el Autor de información suministrada por EQUION. 2013.

Figura 7. Áreas de manejo de agua de producción en EPF-Floreña



A. Área de carga por carro-tanques B. Tanque de almacenamiento. C. Bombas de transferencia a línea Multifásica

En caso de contingencia, cuando no es posible enviar el agua de producción por la línea multifásica, se emplean carro-tanques con capacidad para 180 Bbls, para lo cual se realizan 23 viajes/d para transportar el agua hasta el CPF de Cupiagua ubicado en el municipio de Aguazul.¹¹

¹¹ La producción actual es de 4.200 Bbl/d.

Conclusiones y Recomendaciones del Tratamiento

1. La calidad del agua producida en el EPF de Floreña y almacenada en el tanque 30-T-101 no permite su uso directo en las actividades permitidas por el decreto 1594 de 1984.
2. Para usar el agua producida en el EPF de Floreña y almacenada en el tanque 30-T-101 en algunas de las actividades permitidas por el Decreto 1594 de 1984, se necesita implementar un tratamiento que remueva principalmente sales y grasas y aceites.
3. La línea de tratamiento propuesta para las aguas producidas en el EPF de Floreña y almacenada en el tanque 30-T-101, permitirá su uso en las actividades permitidas en los artículos Art. 40: Uso agrícola, Art. 41: Uso pecuario, Art 42: Uso recreacional – contacto primario, Art 43: Uso recreacional – contacto secundario y Art 45. Preservación de flora y fauna. O su descarga a los cuerpos de agua.
4. Los costos de inversión y tratamiento estimados para el primer año son de 24.224 Col \$/m³ equivalentes a 1,98 US\$/barril.
5. Los costos totales de tratamiento estimados sin incluir inversión de equipos y gastos de instalación, pero incluyendo costos directos e indirectos ascienden a 3.650 Col\$/m³, equivalente a 580,3 Col \$/barril o 0,298 US\$/barril.
6. El costo estimado de insumos y consumibles por cada barril de agua producida tratada es de 90,56 Col\$/barril equivalente a 0,0464 US\$/barril
7. Desde el punto de vista técnico, ambiental y social es posible estructurar un proyecto para el tratamiento de las aguas producidas en el EPF Floreña para su uso o vertimiento como alternativa a la conducción de agua hasta el CPF de Cusiana.

6.2. PRUEBA PILOTO PARA TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN EN EPF FLOREÑA

Actualmente se están buscando nuevas tecnologías para potabilizar el agua su total o parcialmente, poder reutilizarla y/o verterla cumpliendo con los parámetros establecidos en la reciente norma de vertimiento (Anexo1) y con previa autorización de las autoridades correspondientes.

6.2.1 Alcance.

Instalar facilidades temporales para realizar prueba de tratamiento de agua, complementario al existente durante un período de tiempo de 30 días, con un flujo representativo de 700 Barriles por día (BPD), que permita validar los datos para un tratamiento del total de producción de agua en el EPF Floreña. El agua de producción se tomará del Tanque de almacenamiento 30-T-101 y se hará pasar por la planta de prueba hasta obtener el agua en condiciones potables.

El agua tratada se almacenará en tanque portátil y de acuerdo a los resultados de los análisis de laboratorio se optará por reinyectarla al proceso o reutilizarla si cumple con la calidad esperada.

6.2.2. Variables de Proceso y de calidad de agua.

Adicional a los parámetros exigidos por la nueva norma de vertimiento, se deberán tomar lectura y registrar las siguientes variables de la Tabla 1. Donde se especifican las variables de separación con sus correspondientes señales o equipos de medición u operación que en principio se encuentran debidamente calibrados y en perfecto estado para garantizar una medición acorde a las necesidades del estudio.

Tabla 1. Variables adicionales de proceso y calidad que serán monitoreadas durante la prueba.

INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN DE LA SEÑAL
<i>Tren de Separación</i>		
	Nivel del Tanque de Almacenamiento 30-T-101	30-T-101
	Caudal de agua hacia la planta de prueba	Medidor de planta portátil
	Contenido de aceite en agua (ppm) de entrada y salida de la planta.	Laboratorio portátil en planta
	PH de entrada y salida de la planta.	Laboratorio portátil en planta
	Cloruros de entrada y salida de la planta.	Laboratorio portátil en planta
	Conductividad de entrada y salida de la planta.	Laboratorio portátil en planta
	Fenoles de entrada y salida de la planta.	Laboratorio portátil en planta
	Sólidos de entrada y salida de la planta.	Laboratorio portátil en planta
	Caudal de agua de rechazo o residual (si existe)	Laboratorio portátil en planta
	Calidad de agua de rechazo (si existe)	Laboratorio portátil en planta
	Volumen y calidad de sólidos residuales.	Laboratorio portátil en planta

Fuente: EQUION ENERGIA LIMITED

6.2.3. Resultados de Remoción Monitoreo.

Se definen dos pruebas de salida de agua producida después del tratamiento y se comparan los datos con los parámetros de la nueva norma de vertimiento, verificándose su cumplimiento. En las pruebas se realizaron los mismos procedimientos para el tratamiento del agua de producción utilizada en muestras de laboratorio. El desempeño de la prueba se evalúa desde las siguientes perspectivas: Cantidad y calidad de agua a la entrada de la planta, Cantidad y calidad de residuos líquidos, sólidos y gaseosos, estabilidad y complejidad del proceso, Cantidad de químicos usados.

Los resultados de cada prueba se muestran a continuación en la Tabla 2.

Es compromiso de la empresa encargada de la prueba piloto, la asignación de personal calificado para realizar el monitoreo de la calidad de agua de rechazo, tomando las muestras y evaluando el cumplimiento de los parámetro de la norma en cuestión.

Tabla 2. Resultados Monitoreo Prueba 1

AGUA DE PRODUCCION EPF FLOREÑA - TRATAMIENTO PRUEBA PILOTO - 22 Y 23 DE OCTBRE DE 2012						
PARAMETRO	Unidades	Agua sin tratar	Agua Tratada	Nueva Norma de Vertimiento	CUMPLE	NO CUMPLE
A-Aluminio ICP	mg/l	0,07	0,0414	0,50	X	
A-AOX Compuestos Halogenados Adsorbibles	mg/l	< 0.02	< 0.02	0,05	X	
A-Arsenico ICP	mg/l	0,0021	< 0.000535	0,10	X	
A-Bario ICP	mg/l	2,9225	0,0467	0,50	X	
A-Boro ICP	mg/l	4,715	1,9726	0,5		X
A-BTEX	mg/l	0,04	< 0.01	0,020	X	
A-Cadmio ICP	mg/l	0,00024	< 0.000042	0,010	X	
A-Cloruros (ISE)	mg/l	3411,6	91	100	X	
A-CN Total (ISE)	mg/l	0,24	< 0.05	0,10	X	
A-Cobalto ICP	mg/l	< 0.000341	< 0.000341	NA	X	
A-Cobre ICP	mg/l	< 0.0000067	< 0.0000067	0,50	X	
A-Conductividad (Campo) ®	µS/cm	10580	316	NA	X	
A-Cromo ICP	mg/l	0,0034	0,0046	0,20	X	
A-DBO5 (LBOD)	mg/l	402	30	30	X	
A-DQO Colorimétrico ®	mg/l	774	123	150	X	
A-Estaño ICP	mg/l	0,0041	0,0056	1,0	X	
A-Fenoles (Alto Rango) ®	mg/l	0,08	< 0.01	0,02	X	
A-Fluoruros (ISE)	mg/l	< 0.2	< 0.2	5,0	X	
A-Fosforo ICP	mg/l	2,7577	0,071	2,0	X	
A-Grasas y Aceites (Part Grav)	mg/l	3,8	< 0.5	10	X	
A-HAP (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos)	mg/l	64,6	< 0.0023	0,05	X	
A-Hidrocarburos Totales (TPH Grav)	mg/l	2,7	< 0.5	1,0	X	
A-Hierro ICP	mg/l	4,9046	0,07381	1,00	X	
A-Litio ICP	mg/l	2,0642	0,03156	0,10	X	
A-Magnesio ICP	mg/l	17,254	0,2273	NA	X	
A-Manganeso ICP	mg/l	0,3033	0,01137	0,10	X	
A-Material Flotante	mg/l	5	< 5	0,50	X	
A-Mercurio ICP	mg/l	0,0051	0,0034	0,01	X	
A-Molibdeno T	mg/l	< 0.15	< 0.15	0,01	X	
A-Niquel ICP	mg/l	< 0.000112	< 0.000112	0,50	X	
A-Nitratos ISE	mg/l	< 0.19	< 0.19	5,00	X	
A-Nitritos ®	mg/l	< 0.005	< 0.005	2,00	X	
A-Nitrógeno Amoniacal ISE	mg/l	5,1	0,41	5,00	X	
A-Nitrógeno Total	mg/l	12,3	0,7	10	X	
A-Pesticidas Organoclorados	µg/l	< 0.04	< 0.04	1,0	X	
A-Pesticidas Organofosforados	µg/l	< 0.01	< 0.01	1,0	X	
A-pH (Campo) ®	Unidades	5,96	6,46	6.0 - 8.5	X	
A-Plata ICP	mg/l	0,0019	0,0033	0,50	X	
A-Plomo ICP	mg/l	< 0.00000716	< 0.00000716	0,10	X	
A-Selenio ICP	mg/l	< 0.0000103	0,00022	0,10	X	
A-Sólidos Sedimentables Laboratorio ®	mg/l	< 0.1	< 0.1	1,0	X	
A-Sólidos Suspendidos Totales ®	mg/l	76	42	35		X
A-Sulfatos (Turb) ®	mg/l	< 1.2	6	250	X	
A-Sulfuros ISE	mg/l	0,178	0,016	1,0	X	
A-Temperatura Muestra	oC	34,7	33,2	NA	X	
A-Tensoactivos Aniónicos (S.A.A.M.) ®	mg/l	2,1	< 0.1	4,0	X	
A-Vanadio ICP	mg/l	< 0.00204	< 0.00204	0,50	X	
A-Zinc ICP	mg/l	0,1627	0,0265	NA	X	

Fuente: EQUION ENERGIA LIMITED

Tabla 3. Resultados Remoción Monitoreo Prueba 2.

AGUA DE PRODUCCION EPF FLOREÑA - TRATAMIENTO PRUEBA PILOTO - 18 A 22 DE DICIEMBRE 2012							ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE RECHAZO DEL			
PARAMETRO	Unidades	PIEDEMONTE -	INSTALACIONES	Nueva Norma de Vertimiento	CUMPLE	NO CUMPLE	PIEDEMONTE - EPF FLOREÑA - AGUA DE RECHAZO DE PRUEBA PILOTO CTA	Nueva Norma de Vertimiento	CUMPLE	NO CUMPLE
		EPF FLOREÑA- AFLUENTE STARI PLANTA CTA (CARGUE DE CARROTANQUES EPF)	ELOGY - EFLUENTE STARI PLANTA CTA							
A-Aluminio ICP	mg/l	0,0484	0,02628	0,50	X		0,086492	0,50	X	
A-AOX Compuestos Halogenados Adsorbibles	mg/l	< 0,02	< 0,02	0,05	X		< 0,02	0,05	X	
A-Arsenico ICP	mg/l	0,00126	< 0,000535	0,10	X		0,004396	0,10	X	
A-Bario ICP	mg/l	0,5756	0,032496	0,50	X		1,858425	0,50		X
A-Boro ICP	mg/l	2,5653	1,65732	0,5		X	5,168423	0,5		X
A-BTEX	mg/l	0,08	< 0,01	0,020	X		0,06	0,020	X	
A-Cadmio ICP	mg/l	0,0001	0,002849	0,010	X		0,015324	0,010		X
A-Cloruros (ISE)	mg/l	3011,38	79,98	100	X		3741,86	100		X
A-CN Total (ISE)	mg/l	0,2	< 0,05	0,10	X		< 0,05	0,10	X	
A-Cobalto ICP	mg/l	0,0005	0,000568	NA	X		0,000721	NA	X	
A-Cobre ICP	mg/l	< 0,0000067	0,0001214	0,50	X		0,000389	0,50	X	
A-Conductividad (Campo) @	µS/cm	9940	344	NA	X		19400	NA		X
A-Cromo ICP	mg/l	0,0044	0,002815	0,20	X		0,004956	0,20	X	
A-DBO5 (LBOD)	mg/l	468	35	30,0		X	460	30,0		X
A-DQO Colorimétrico @	mg/l	870	115	150	X		780	150		X
A-Estaño ICP	mg/l	0,0002	< 0,000198	1,0	X		0,002364	1,0	X	
A-Fenoles (Alto Rango) @	mg/l	0,07	< 0,01	0,02	X		0,07	0,02		X
A-Fluoruros (ISE)	mg/l	< 0,05	< 0,05	5,0	X		< 0,05	5,0	X	
A-Fosforo ICP	mg/l	2,5076	0,0589	2,0	X		3,1043	2,0		X
A-Grasas y Aceites (Part Grav)	mg/l	47,5	< 0,5	10	X		4,5	10	X	
A-HAP (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos)	mg/l	75,3	0,0023	0,05	X		19,5	0,05		X
A-Hidrocarburos Totales (TPH Grav)	mg/l	38,7	< 0,5	1,0	X		3,2	1,0		X
A-Hierro ICP	mg/l	4,1545	0,126142	1,00	X		5,162854	1,00		X
A-Litio ICP	mg/l	1,9702	0,0221	0,10	X		1,67496	0,10		X
A-Magnesio ICP	mg/l	16,5257	0,311548	NA	X		14,284563	NA	X	
A-Manganeso ICP	mg/l	0,4687	0,017145	0,10	X		0,284536	0,10		X
A-Material Flotante	mg/l	19	< 5	0,50	X		< 5	0,50		X
A-Mercurio ICP	mg/l	0,00439	< 0,00186	0,01	X		0,00468	0,01	X	
A-Molibdeno T	mg/l	0,002456	0,001849	0,01	X		0,003215	0,01	X	
A-Niquel ICP	mg/l	< 0,000112	0,000316	0,50	X		0,000642	0,50	X	
A-Nitratos ISE	mg/l	0,13	0,19	5,00	X		0,61	5,00	X	
A-Nitritos @	mg/l	< 0,02	< 0,02	2,00	X		< 0,02	2,00		X
A-Nitrógeno Amoniacal ISE	mg/l	6,41	0,49	5,00	X		3,4	5,00	X	
A-Nitrógeno Total	mg/l	10	0,8	10	X		4,2	10	X	
A-Pesticidas Organoclorados	µg/l	< 0,04	< 0,04	1,0	X		< 0,04	1,0	X	
A-Pesticidas Organofosforados	µg/l	< 0,01	< 0,01	1,0	X		< 0,01	1,0	X	
A-pH (Campo) @	Unidades	6,71	5,72	6,0 - 8,5	X		6,58	6,0 - 8,5	X	
A-Plata ICP	mg/l	0,0024	0,00451	0,50	X		0,00736	0,50	X	
A-Plomo ICP	mg/l	0,012493	0,008132	0,10	X		0,024556	0,10	X	
A-Selenio ICP	mg/l	0,001539	0,000315	0,10	X		0,001538	0,10	X	
A-Sólidos Sedimentables Laboratorio @	mg/l	< 0,1	< 0,1	1,0	X		< 0,1	1,0	X	
A-Sólidos Suspendedos Totales @	mg/l	62	< 5	35	X		< 5	35	X	
A-Sulfatos (Turb) @	mg/l	17,12	5,52	250	X		26,52	250	X	
A-Sulfuros ISE	mg/l	0,143	0,008	1,0	X		0,093	1,0	X	
A-Temperatura Muestra	oC	39,2	33,7	NA	X		34,7	NA	X	
A-Tensoactivos Aniónicos (S.A.A.M) @	mg/l	1,4	< 0,1	4,0	X		0,8	4,0	X	
A-Vanadio ICP	mg/l	< 0,00204	< 0,00204	0,50	X		< 0,00204	0,50	X	
A-Zinc ICP	mg/l	0,0463	0,039142	NA	X		0,214326	NA	X	

Fuente: EQUION ENERGIA LIMITED

De los resultados presentados, se puede afirmar que se tiene un cumplimiento del 96% para la primera prueba piloto, lo cual representa una aceptación del agua producida, tomando como referencia la nueva norma de vertimiento y los parámetros establecidos en ella. En cuanto a la segunda prueba se mantiene el cumplimiento, pero ahora los parámetros cambian y se analiza la calidad de agua de rechazo, obteniéndose finalmente respecto al parámetro de conductividad incumplimiento, por lo cual se debe tener una atención estricta en el proceso de tratamiento para que la calidad del agua producida sea la adecuada y se encuentre en el rango de aceptación para su potabilización estable.

1. Proyección de la Producción de Agua Producida

Según la tendencia identificada en el comportamiento de la producción de agua para los próximos años, la cual evidencia un aumento en el tiempo, se establece una proyección del 15% anual para los campos de Recetor y Floreña.

Para el año 2016 se estima que la producción de agua podría llegar a los 6000 barriles por día y para el año 2021 alcanzaría la barrera de los 10000 barriles diarios, lo cual supone un incremento importante que debe ser reusado para otros sectores productivos y dar abastecimiento a las comunidades beneficiadas con el proyecto de tratamiento y disposición de aguas producidas que adelanta EQUION con el fin de fortalecer su infraestructura para afrontar los retos que conlleva la potabilización del recurso hídrico como subproducto de la actividad petrolera en los campos de Floreña y Recetor del Piedemonte Llanero.

Para los campos Floreña y Pauto, el caudal máximo de agua que se espera producir es de 5.800 BPD, para el año 2010, donde el pronóstico incluye la perforación de dos pozos.

Para el Campo Cupiagua se realizó una proyección de la producción de agua tomando como base la información histórica. Dicha proyección se realizó de forma lineal, dando como resultado un volumen máximo de producción de 13.000 BPD (hacia el año 2010). Para el año 2016 se tendría una producción de 18.000 BPD.

Al sumar los pronósticos de producción de agua obtenido para cada uno de los campos y el estimado de producción de agua de cerca de 40.000 BPD, asociado al proyecto de GTL (Gas To Liquid), se tiene que el caudal de agua será del orden de 105.000 BPD, para finales del 2016.

7. TECNOLOGÍAS DE IMPLEMENTACIÓN PARA TRATAMIENTO DE AGUAS PRODUCIDAS

7.1 ALTERNATIVA 1. Flotación por Aire Disuelto-FAD

En años recientes se ha utilizado la flotación por aire disuelto (FAD) como una tercera vía para retirar los sólidos del seno de una mezcla líquida. Para separar los sólidos por flotación se utiliza la propiedad de adhesión a las partículas que tienen los gases cuando están disueltos en un líquido presurizado, el cual, al despresurizarse genera micro-burbujas. En este sentido los sólidos actúan como puntos de nucleación y las micro-burbujas modifican localmente la densidad de los sólidos y por tanto “flotan” en el medio líquido.

Como se indicó anteriormente, la separación se consigue introduciendo finas burbujas de gas, normalmente aire, en la fase líquida. Las burbujas se adhieren a las partículas, y la fuerza ascensional que experimenta el conjunto partícula-burbuja de aire (sólido/gas) hace que suban hasta la superficie del líquido. Una vez las partículas se hallan en superficie, pueden recogerse mediante un desnatado superficial.

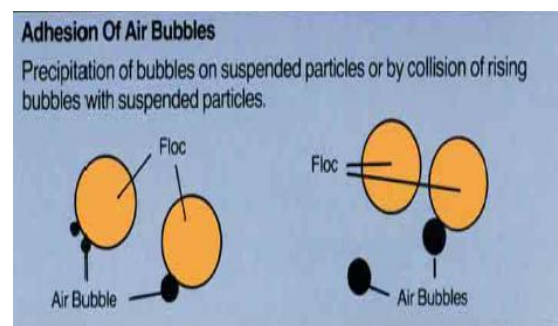
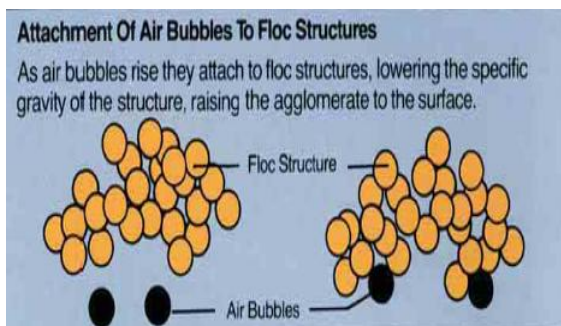
En el tratamiento de aguas residuales, la flotación se emplea para la eliminación de la materia suspendida y para la concentración de los lodos biológicos. La principal ventaja del proceso de flotación frente al de sedimentación consiste en que permite eliminar mejor y en menor tiempo las partículas pequeñas o ligeras cuya deposición es lenta.

7.1.1 Mecanismo.

El aire se disuelve en el agua residual a una presión de varias atmósferas, y a continuación se libera la presión hasta alcanzar la atmosférica. En las instalaciones de pequeño tamaño, se puede presurizar a 275-230 kPa mediante una bomba la totalidad del caudal a tratar, añadiéndose el aire comprimido en la tubería de aspiración de la bomba. El caudal se mantiene bajo presión en una cámara de presurización durante algunos minutos, para dar tiempo a que el aire se disuelva. A continuación, el líquido presurizado se alimenta al tanque de flotación a través de una válvula reductora de presión, lo cual provoca que el aire deje de estar en disolución y que se formen diminutas burbujas distribuidas por todo el volumen de líquido.

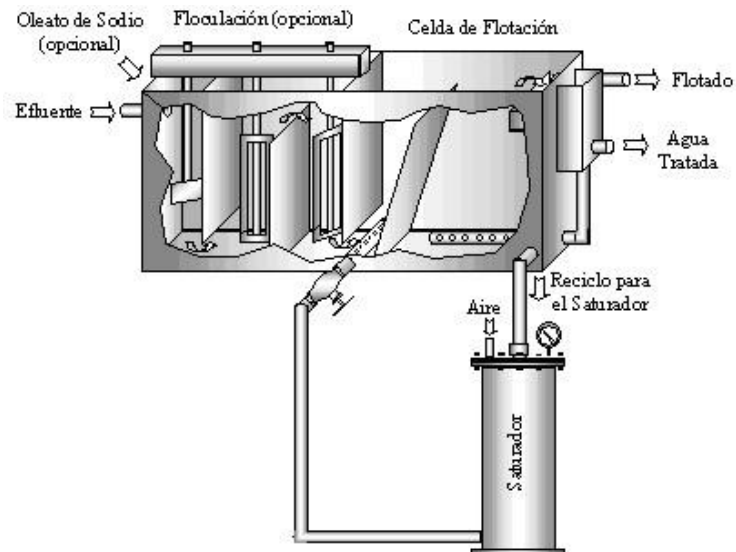
En las instalaciones de mayor tamaño, se recircula parte del efluente del proceso de FAD (entre el 15 y el 20 por ciento), el cual se presuriza y semi-satura con aire. El caudal recirculado se mezcla con la corriente principal sin presurizar antes de la entrada al tanque de flotación, lo que provoca que el aire deje de estar en disolución y entre en contacto con las partículas sólidas a la entrada del tanque. Las principales aplicaciones de la flotación por aire disuelto se centran en el tratamiento de vertidos industriales y en el espesado de lodos.

Figura 8. Precipitación y Adhesión De Las Burbujas De Aire.



Fuente: Dorr-Oliver. Eimco

Figura 9. Elementos que conforman un FAD



Fuente: Dorr-Oliver. Eimco

7.1.2 Ventajas.

- Alta eficiencia (incluyendo cinética) en la remoción de sólidos.
- Menor área requerida para instalación. El equipo de flotación ocupa apenas una fracción del área ocupada por unidades de sedimentación (para capacidades similares).
- Mayor eficiencia en la remoción de DBO que otros procesos de separación.
- Alta tasa de separación (o flujo superficial). Existen unidades FAD modernas con capacidad hasta de 40 m/h ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$). Esto permite su aplicación en efluentes voluminosos.
- Remoción de microorganismos y precipitados difíciles de sedimentar y filtrar.

7.1.3 Desventajas.

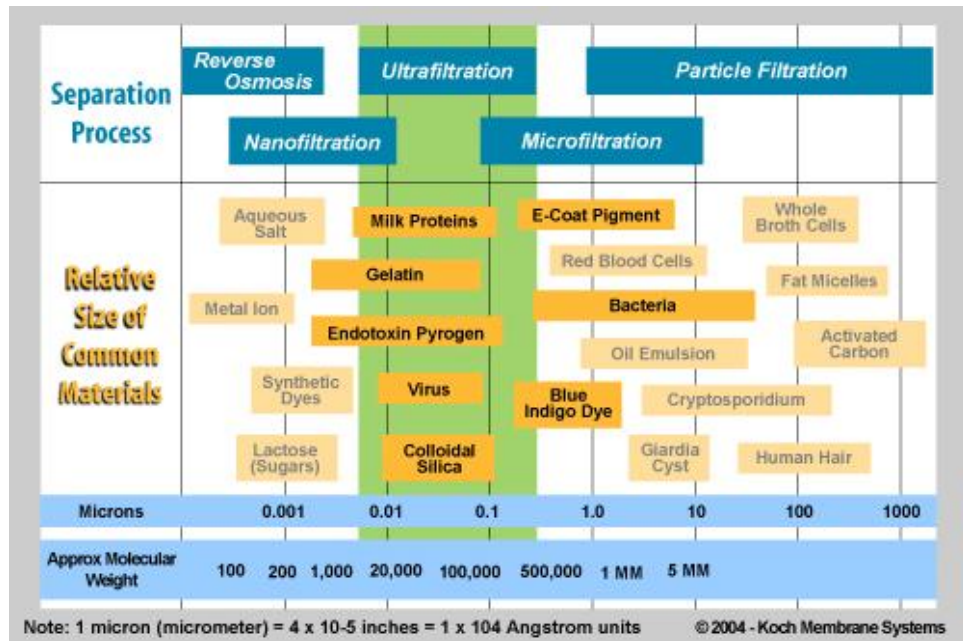
- Comparada con la sedimentación, la FAD es más sensible a las variaciones de temperatura, concentración de sólidos en suspensión (> 3-4%), recargas hidráulicas y principalmente a variaciones en las características químicas y físico-químicas de los sólidos en suspensión.
- Costo operacional alto, principalmente cuando existe necesidad de un riguroso control automático, de parámetros y dosis de reactivos.

7.2 ALTERNATIVA 2. TECNOLOGÍA DE ÓSMOSIS Y FILTRACIÓN POR MEMBRANAS

La ósmosis y filtración por membranas, son procesos de separación en la que un medio físico (membrana) retiene aquellas partículas mayores al tamaño del poro, esto conlleva a que el permeado o filtrado contenga un menor número de partículas, las cuales son más pequeñas que el tamaño del poro de la membrana.

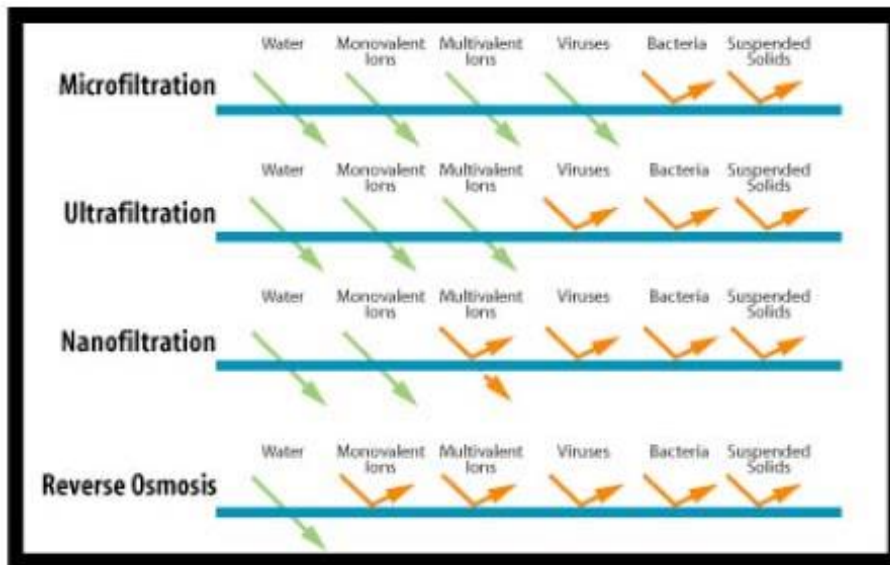
Las tecnologías de membrana implican el uso de procesos físicos de separación de sustancias disueltas en líquidos. En función de qué sustancias se hallen presentes, de su tamaño, y de qué resultado final se persiga, pueden utilizarse varios procesos de separación. Dentro de estas se encuentran la ósmosis inversa, la nanofiltración, la ultrafiltración y la microfiltración. En las figuras 10 y 11 se detalla el tamaño de las partículas y los procesos de separación por membrana más importantes que existen en el mercado.

Figura 10. Procesos De Separación Y Tamaños Relativos De Sustancias.



Fuente: Koch Membrane Systems

Figura 11. Características De Los Procesos De Membranas



Fuente: Koch Membrane Systems

Los desarrollos recientes en la tecnología de fabricación de membranas, permiten obtener membranas con alto poder de rechazo a bajas presiones y con bajo poder

incrustante. Todo esto redundaría en obtener un permeado a bajo costo y aumentar la vida útil de las membranas de última tecnología.

7.2.1 Nanofiltración.

Tradicionalmente la tecnología de membranas estaba dividida en 3 categorías:

- Microfiltración (MF),
- Ultrafiltración (UF)
- Ósmosis inversa (O.I.) difiriendo básicamente entre ellas, el tamaño de material que separan.

Desde hace unos años se ha incorporado una cuarta categoría, la NANOFILTRACIÓN (NF) que se encuadra por sus características entre la ultrafiltración (UF) y la ósmosis inversa (OI).

En la Nanofiltración existen tres corrientes de flujo: alimentación, rechazo, y producto. Las membranas pertenecen a la familia de película delgada y son, usualmente, de configuración en espiral. En términos generales se puede afirmar que Nanofiltración es un proceso de filtración por membranas operadas bajo presión en la que solutos de bajo peso molecular (1000 daltons) son retenidos, pero las sales pasan, total o parcialmente, a través de la membrana con el filtrado. Esto provee un rango de selectividad entre las membranas de Ultrafiltración y Ósmosis Inversa, permitiendo simultáneamente concentración y desalado de solutos orgánicos.

La membrana NF retiene solutos que la UF pasaría, y deja pasar sales que la OI retendría. En algunas aplicaciones, su selectividad entre moléculas de tamaños similares es la clave del éxito del proceso de separación con membrana.

La Nanofiltración permite el paso prácticamente libre de iones monovalentes, sin embargo la membrana de Nanofiltración reduce el incremento del gradiente de presión osmótica, a la que contribuyen las sales monovalentes. Como resultado de ello es posible obtener una mayor cantidad de producto (permeado).

Las membranas de Nanofiltración pueden ser membranas tubulares o espirales. Típicamente las membranas de los sistemas de NF reducen un 50% de sal (NaCl) y un 90% o más para el sulfato de calcio (CaSO₄).¹²

La Tabla 4 resume las características más importantes de las membranas de Nanofiltración.

Tabla 4. Características de las Membranas de Nanofiltración Modernas.

Características sobresalientes de las membranas de Nanofiltración
Tienen un alto rechazo para los iones divalentes (calcio, sulfatos, magnesio, etc.), y multivalentes.
Remueven la dureza, acompañada de una reducción parcial y simultánea del sodio.
Remueven parcialmente los sólidos disueltos totales
Reducción de carbono orgánico total. Rechazan las especies orgánicas, (molecular weight cut-off: 200-300).
Remueven los precursores de trihalometanos (THM).
Remueven bacterias, virus y parásitos
Tienen menor tendencia, que la O.I. al ensuciamiento.
Operan a baja presión, usualmente en el rango de 50-250 psi, con altas conversiones. Mínimo costo de energía.
Tienen tasas de flujo más altas que la O.I., produciendo hasta 15 galones por día por pie cuadrado de superficie de membrana, aún a 70 psi. Máximo flujo de producto.

Fuente: ECOIONICS S.A.

¹² Estudio de Alternativas de Tratamiento y Disposición Final mediante Aprovechamiento o Vertimiento del Agua asociada a la producción de Hidrocarburos del Bloque Piedemonte. EQUION ENERGIA LIMITED.

7.2.2 Equipos de la Línea de Tratamiento.

Las unidades que compondrían la línea de tratamiento, son equipos estándar y de comprobada operatividad en proceso continuo que están disponibles en el mercado tales como: Sistema de Flotación por Aire Disuelto (Krofta, GEM), sistema de membranas de microfiltración y nanofiltración (Rochem, Filmtec, Koch), bombas dosificadoras (Chemtech, Pulsafeder, Waukesha), bombas de trasiego o transferencia (Flygt, ABS, ITT), equipo de instrumentación en línea (Henders + Hauser, Hach o Rosemount). En este sentido es importante que los equipos sean de marcas reconocidas y confiables y que tengan representación en Colombia.

7.2.3 Impacto de la solución.

Como se mencionó, las unidades que pueden componer la línea de tratamiento, son equipos estándar y de comprobada operatividad en proceso continuo y que están disponibles en el mercado.

Varias industrias del sector de proceso petroquímico, petrolero, de alimentos, papelería, etc. utilizan estos equipos estándar día a día en sus operaciones de producción. Los equipos FAD y sistemas de separación por membranas se utilizan día a día en los mismos sectores de producción.

7.2.4. Facilidad de actualización tecnológica.

El proceso de tratamiento que puede mejorarse y actualizarse dependiendo de las condiciones en que se desarrolle la operación de producción de crudo y se modifiquen las características del agua producida.

El sistema de tratamiento admite la constante actualización tecnológica, principalmente en los químicos utilizados para la coagulación-floculación y las

membranas utilizadas en la microfiltración, nanofiltración y/u ósmosis inversa a costos moderados y sin afectar el proceso de mejoramiento de la calidad del agua.

Esta tecnología permite aumentar o disminuir las líneas de tratamiento, es decir, dado que se trata de unidades compactas, es posible desinstalarlas y reinstalarlas en nuevas zonas de operación, ampliar en poco tiempo la capacidad de tratamiento del agua producida. Desmontarla y/o vender los equipos para tratar aguas residuales menos complejas a otros municipios o relocalizar el sistema de tratamiento en otro lugar una vez haya terminado su ciclo en el EPF Floreña.

El sistema de tratamiento tiene un valor de salvamento dado que las estructuras y tanques son metálicos (acero inoxidable) de fácil transporte y manejo.

7.3 ALTERNATIVA 3. SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS PRODUCIDAS POR PROCESOS CTA INGENIERÍA S.A.S

7.3.1 Consideraciones generales.

- Es una tecnología que usa muy pocos químicos en el tratamiento del agua. Usa una solución de soda caustica al 1% para retrolavado de unas membranas de filtración.
- Su sistema modular permite acomodarse fácil en poco espacio.
- Cuentan con gente competente para el manejo de la planta y su laboratorio.
- Los equipos internos se vieron funcionar y tienen apariencia de estar en buen estado.
- El agua tratada se podría reusar en los trabajos de perforación y estimulación de pozos
- La compañía es relativamente joven en el mercado.

7.3.2 Descripción del Proceso de Tratamiento.

7.3.2.1 Electrocoagulación. Desestabilización de las partículas contaminantes que se encuentran suspendidas, emulsionadas o disueltas. Para este proceso se usan placas de aluminio y hierro energizadas para romper los enlaces y desestabilizarla. El resultado es un agua relativamente limpia con espuma por algunos gases como el hidrógeno. Se puede observar en la Figura 12 el equipo utilizado en esta sección del proceso.

Figura 12. Tanque de Electrocoagulación



Fuente: Presentación CTA Ingeniería S.A.S.

Beneficios

- Minimización de costos de operación
- No se almacena materia prima
- Genera Lodos más compactos y en menor cantidad
- Alta remoción de Contaminantes
- Equipos simples, expandibles y fácil operación

7.3.2.2. Filtración de media, Filtración avanzada y Osmosis inversa. Después de pasar por estos procesos de filtrado, el agua sale lista para la disposición final. En la figura 13 se tiene un ejemplo del resultado de este proceso.

Figura 13. Agua filtrada



Fuente: Presentación CTA Ingeniería S.A.S.

7.3.2.3 Electrooxidación. El agua de rechazo (aprox del 4 al 8% de la carga), de la osmosis inversa es pasada por un proceso de electrooxidación con electrodos tipo placas energizadas donde se disminuye al contenido de cloruros y genera un agua de rechazo menos contaminada como se puede observar en la figura 14.

Figura 14. Equipo de electrooxidación



Fuente: Presentación CTA Ingeniería S.A.S.

7.4 EVALUACIÓN DE LAS OPCIONES TECNOLÓGICAS

Con el fin de seleccionar la propuesta tecnológica más viable, se hace una evaluación exhaustiva de acuerdo a criterios técnicos que permiten determinar la

solución que cumple todos los requisitos, dados por el mercado para el tratamiento de aguas producidas en los campos petroleros objeto de mejora. Algunos de los criterios evaluados se observan en la Tabla 5.

Tabla 5. Criterios a evaluar en las opciones tecnológicas

Item	Aspecto a evaluar
1.	Eficiencia de remoción de grasas (Salida de celdas < 100 ppm, Salida de filtros < 1 ppm)
2.	Espacio utilizado para la instalación de los equipos (47 m X 22 m)
3.	Tiempo de suministro e instalación de los equipos (160 días)
4.	Compatibilidad con los equipos instalados
5.	Capacidad de manejo de fluidos (Mínimo 150 kbfpd)
6.	Simplicidad del proceso (Número de operadores requeridos, cantidad de equipos requeridos, sistemas auxiliares asociados, cantidad de consumibles)
7.	Representación exclusiva de la tecnología a implementar
8.	Eficiencia energética
9.	Servicio técnico (Capacidad técnica y tiempos de respuesta)
10.	Tiempo de estabilización del proceso. (30 días)
11.	Transportabilidad (Peso y dimensiones)
12.	Garantía de los equipos (> 10 años para estáticos y > 5 años para rotativos)
13.	Repuestos de arranque y por 2 años de operación (tiempo de respuesta durante la operación < 3 meses)
14.	Experiencia suministro de equipos de tratamiento de agua / crudo pesado
15.	Garantía de calidad del equipo (18 meses a partir del suministro y un año a partir de la puesta en servicio)

Adicional a la evaluación de estos criterios, se solicitó a las empresas encargadas de la instalación de estas la garantía de opciones tecnológicas integrales que proporcionen una respuesta permanente de tratamiento.

Se asigna entonces un peso o ponderación a cada uno de los criterios, según el orden de importancia e influencia en la estructura del sistema tecnológico; se maneja una puntuación de 1 a 5 para cada criterio y se tiene en cuenta el valor obtenido, que sirve para la selección de la opción óptima.

Los resultados de la evaluación de las opciones definen a la opción de tratamiento de Filtración por membranas como la seleccionada con una porcentaje final de 73,35%.

7.5 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA LÍNEA DE TRATAMIENTO SELECCIONADA

Como se indicó previamente, con la línea de tratamiento se obtiene una calidad de agua tratada que puede utilizarse en los siguientes usos:

- Art. 40: Uso agrícola
- Art. 41: Uso pecuario
- Art 42: Uso recreacional – contacto primario
- Art 43: Uso recreacional – contacto secundario
- Art 45. Preservación de flora y fauna.

De igual modo, el agua producida tratada mediante la línea de proceso indicada puede ser vertida a cuerpos de agua como caudal ecológico.

7.5.1 Costos Asociados.

Costos de adecuación del sitio:

- Estudio de suelos, topografía.
- Diseño y distribución de unidades.
- Estudios legales.
- Derechos de acceso y vías.
- Adecuaciones para facilidades operativas (agua, energía, saneamiento).
- Edificios auxiliares (Administración, vigilancia, almacenes, baños, etc).
- Instalación de equipo auxiliar y pruebas.
- Requisitos y especificaciones tecnológicas.
- Conducción de agua cruda hasta el sitio de la planta.

Costos de permisos y autorizaciones

- Permisos y/o autorizaciones.
- Sistema de monitoreo para cumplimiento de requisitos necesarios (ambientales, etc.)
- Preparación de protocolos de monitoreo.

Costo de equipos de proceso:

- Costos anualizados de equipos de proceso.
- Unidad de membranas (10 años de vida útil).
- Unidad de tratamiento de concentrados (10 años de vida útil).
- Membranas de nanofiltración (5 años de vida útil).
- Membranas de concentrado (3 años de vida útil).
- Equipos de tratamiento fisicoquímico y separación por aire disuelto.
- Costos de equipos de soportes (electricidad, agua potable, etc).
- Equipo arrendado (vehículos, equipo pesado, etc).
- Total de equipos de proceso y equipos soporte.

Costos de arranque y costos fijos:

- Capital de trabajo (Costos de un (1) mes de operación).
- Impuestos y seguros (seguros e impuestos 5% del costo de los equipos).
- Programa de monitoreo de calidad ambiental (aire, afluente, efluente).
- Imprevistos (5% del costo de los equipos).
- Utilidad del ejercicio (Si aplica el 10% del costo de equipos).

Costos laborales

- Equipo Administrativo y vigilancia armada.

- Equipo Técnico (Operativo y Mantenimiento).
- Costos de vehículos y operación personal técnico.
- Gastos de transporte (adicionales al subsidio de transporte).

Total Costos Laborales

- Costos de suministros de protección operativa.
- Equipos de protección personal.
- Repuestos y partes para los equipos de proceso.

Costos de consumibles operativos

- Filtros de cartucho.
- Productos de limpieza de membranas.
- Productos para ajuste de pH y floculación.
- Energía eléctrica.

Tratamiento de efluentes y costos de disposición

- Costos de facilidades en sitio (tuberías, pondajes, tanques, etc.)
- Costos de facilidades fuera del sitio (tuberías, pondajes, tanques, etc.)
- Tratamiento de concentrado y disposición.
- Actividades de monitoreo para el tratamiento de concentrados.

Costos de manejo, embalaje y transporte de residuos y desechos (equipos de protección, aceites, residuos peligrosos, etc.)

- Preparación de residuos.
- Disposición de residuos.

Costos de modificación de facilidades, reparaciones y reemplazos

- Ajustes de diseño de modificaciones de facilidades.
- Modificaciones de facilidades.
- Reparaciones y mantenimiento.
- Reemplazo de equipos.

Costos de restauración del sitio

- Costos de limpieza y restauración.
- Almacenamiento permanente para restauración.
- Costos totales de restauración del sitio.

Para el tratamiento de 5,5 litros por segundo (3.000 Bbl/d de agua producida) en la Tabla 6. y Tabla 7 se presentan los costos de tratamiento.

Tabla 6. Partidas de costos para un sistema de tratamiento de 3.000 barriles/día de agua producida y con calidad para su uso o vertimiento.

AÑO DEL PROYECTO	VALOR \$ Col 2014
Partida de costo	Valor en pesos corrientes
Costos de adecuación del sitio	
Estudio de suelos, topografía	5.000.000
Diseños menores y distribución de unidades	17.280.819
Estudios legales	0
Derechos de acceso y vías	0
Adecuaciones para facilidades operativas (agua, energía, saneamiento)	34.561.638
Edificios auxiliares (Administración, vigilancia, almacenes, baños, etc.)	51.842.457
Instalación de equipo auxiliar y pruebas	27.649.311
Conducción de agua cruda hasta el sitio de la planta	-

AÑO DEL PROYECTO	VALOR \$ Col 2014
Costos totales de preparación del sitio y facilidades operativas	136.334.226
Costos de permisos y autorizaciones	
Permisos y/o autorizaciones	-
Sistema de monitoreo para cumplimiento de requisitos necesarios (ambientales, etc.)	6.048.972
Preparación de protocolos de monitoreo	0
Total de costos de permisos y autorizaciones	6.048.972
Costo de equipos de proceso	
Costos anualizados de equipos de proceso	
Unidad de membranas (10 años de vida útil)	3.036.651.330
Unidad de tratamiento de concentrados (10 años de vida útil)	0
Membranas de nanofiltración (5 años de vida útil)	0
Membranas de concentrado (3 años de vida útil)	0
Equipos de tratamiento fisicoquímico y separación por aire disuelto	389.512.500
Costos de equipos de soportes (electricidad, agua potable, etc)	0
Equipo arrendado (vehículos, equipo pesado, etc)	0
Total de equipos de proceso y equipos soporte	3.426.163.830
Costos de arranque y costos fijos	
Capital de trabajo (Costos de un (1) mes de operación)	53.227.247
Impuestos y seguros (seguros e impuestos 5% del costo de los equipos)	138.246.553
Programa de monitoreo de calidad ambiental (aire, afluente, efluente)	30.244.860
Imprevistos (5% del costo de los equipos)	172.808.191
Utilidad del ejercicio (10% del costo de equipos)	0
Total de arranque y costos fijos	394.526.852
Costos laborales	
Equipo Administrativo y vigilancia armada	73.193.002
Equipo Técnico (Operativo y Mantenimiento)	33.897.480
Costos de vehículos y operación personal técnico	32.668.417
Gastos de transporte (adicionales al subsidio de transporte)	0
Total Costos Laborales	139.758.899
Costos de suministros de protección operativa	
Equipos de protección personal	0

AÑO DEL PROYECTO	VALOR \$ Col 2014
Repuestos y partes para los equipos de proceso	0
Total Costos protección operativa	
Costos de consumibles operativos	0
Filtros de cartucho	2.799.225
Productos de limpieza de membranas	9.546.069
Productos para ajuste de pH y floculación	18.024.562
Energía eléctrica	68.427.556
Total de costos de consumibles	98.797.411
Tratamiento de efluentes y costos de disposición	
Costos de facilidades en sitio (tuberías, pondajes, tanques, etc.)	0
Costos de facilidades fuera del sitio (tuberías, pondajes, tanques, etc.)	0
Tratamiento de concentrado y disposición	0
Actividades de monitoreo para el tratamiento de concentrados	0
Total de costos para el tratamiento de efluentes y su disposición	0
Costos de manejo, embalaje y transporte de residuos y desechos (equipos de protección, aceites, residuos peligrosos, etc.)	
Preparación de residuos	0
Disposición de residuos	0
Total de manejo, embalaje y transporte de residuos y desechos	0
Costos de modificación de facilidades, reparaciones y reemplazos	
Ajustes de diseño de modificaciones de facilidades	0
Modificaciones de facilidades	0
Reparaciones y mantenimiento	0
Reemplazo de equipos	0
Total de modificaciones de facilidades, reparaciones y costos de reemplazo	0
Costos de restauración del sitio	
Costos de limpieza y restauración	0
Almacenamiento permanente para restauración	0
Costos totales de restauración del sitio	0
TOTAL	4.201.630.189

Tabla 7. Resumen de indicadores de costos para un sistema de tratamiento de 3.000 barriles/día de agua producida y con calidad para su uso o vertimiento.

INDICADOR/COSTO	VALOR
COSTO DIRECTO ANUAL DE INSUMOS (Col \$)	98.797.411
COSTO DIRECTO ANUAL DE INSUMOS POR TRATAMIENTO (Col \$/m ³ tratado de agua producida)	570
COSTO DIRECTO ANUAL DE INSUMOS POR TRATAMIENTO (Col \$/barril tratado de agua producida)	90,56
COSTO DIRECTO ANUAL DE INSUMOS POR TRATAMIENTO (US\$/barril tratado de agua producida)	0,0464
COSTO TOTAL TRATAMIENTO (\$/barril tratado de agua producida)	580,3
COSTO TOTAL POR TRATAMIENTO (US\$/barril tratado de agua producida)	0,298
COSTO TOTAL INICIAL POR INVERSIÓN Y TRATAMIENTO PARA EL PRIMER AÑO (Col \$/M3 TRATADO)	3.650
COSTO TOTAL INICIAL POR INVERSIÓN Y TRATAMIENTO PARA EL PRIMER AÑO (US\$/ barril tratado de agua de producción)	1,98
Caudal tratado año (m ³ /año)	173.448
Caudal tratado año (barriles/año)	1.090.955

8. CONCLUSIONES

- Se dio cumplimiento al objetivo general de evaluar las opciones tecnológicas presentes en el mercado nacional e internacional para el tratamiento de agua producida en el sector de los hidrocarburos. A pesar de que no se hallaron muchas opciones y predominó el sistema común o tradicional como el instalado, se tiene la apertura hacia el avance de innovadoras opciones, cuyas configuraciones generen un rendimiento mayor y eficiente.
- La proyección de la producción de agua producida logró dar un estimado de producción, basado en factores como las condiciones de infraestructura petrolera, la demanda de agua presentada en otros sectores productivos.
- La filtración por membranas constituye un método efectivo para tratamiento de aguas, ya que permite la adecuada disposición de residuos, con el uso de un sistema innovador que reduce el impacto ambiental y tiene susceptibilidad a la actualización de sus componentes para mejorar el proceso.
- El avance evidenciado en las tecnologías de tratamiento de agua de producción es limitado, debido a que el esquema reinante actualmente es el convencional, que consta de unidades de flotación y sistemas de filtración de lecho.

9. RECOMENDACIONES

- Las opciones tecnológicas presentadas sostienen la mejor relación costo/beneficio/capacidad. Esto conlleva a la optimización de los procesos de los procesos, verificando la eficiencia de los equipos estándar y su operación para obtener una línea de tratamiento que cumpla con la nueva norma de vertimiento.
- Es necesario desde Ingeniería y Diseño generar propuestas, donde se optimice al máximo el espacio de ocupación de las configuraciones, sin omitir aspectos relevantes como consistencia estructural y operatividad
- Para el caso de separación por filtración, se podría plantear la utilización de tecnologías de inyección de microburbujas, con la cual se mejoraría la calidad del fluido en cuestión, pasando por la filtración, obviando las unidades de flotación presentes. Debido a esto, se podría contemplar como un nuevo estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- De Viana, Javier, Arpel Disposición y Tratamiento del agua producida. [citado 07 septiembre 2014]. Disponible en: http://www.olade.org/sites/default/files/CIDA/IICA/Manual_Biocombustibles_ARPEL_IICA.pdf.
- Disposición y tratamiento de aguas producidas [citado 21 septiembre 2014]. Disponible en: http://www.oilproduction.net/files/tratamiento_de_aguas_producidas.pdf
- Equión Energía. Documento número FL-MO-007 Disposición de agua de producción sistema 30. Conjunto documentos bases de diseño EPF Floreña perteneciente a Equión Energía. [citado 10 septiembre 2014]. Disponible en: http://www.equion-energia.com/informacion_adicional/Documents/Oleoducto%20Emma/Manual%20de%20Transportador.pdf.
- Estudio de Alternativas de Tratamiento y Disposición Final mediante Aprovechamiento o Vertimiento del Agua asociada a la producción de Hidrocarburos del Bloque Piedemonte. [citado 22 septiembre 2014]. Disponible en: EQUION ENERGIA LIMITED. <http://www.sipg.gov.co/LinkClick.aspx?fileticket=LlrXCr5MLvQ%3D&tabid=38&language=es-CO>
- Estudio de Caso Pacific Rubiales Energy. [citado 18 octubre 2014]. Disponible en: <http://www.rwlwater.com/estudio-de-caso-campo-petrolifero-pacific-rubiales/?lang=es>

- Glosario Schlumberger. Agua Producida. [citado 27 octubre 2014]. Disponible en: http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/p/produced_water.aspx
- TRATAMIENTO DEL AGUA POZO PETROLERO Una solución Eficaz y Económica. [citado 06 octubre 2014]. Disponible en: <http://vwt.jimdo.com/membranas-vibratorias-vsep/agua-pozo-petrolero/>
- Opciones para gerenciar el agua producida. No existe método único [citado 04 noviembre 2014]. Disponible en: <http://www.spe.org/dl/docs/2009/VeilSpanish.pdf>.
- REPORTE DE SOSTENIBILIDAD EQUION ENERGIA LIMITED 2012 <http://www.equionenergia.com/rse/Documents/Reporte%20de%20Sostenibilidad.pdf>
Tomado de [citado 15 octubre 2014]. Disponible en: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/institucional/regionales/Publicaciones/GUIA%20HIDROCARBUROS%20VI.pdf>