

**MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
PERTENECIENTE A UN CAMPO PETROLERO COLOMBIANO**

BENJAMÍN ANDRES BARCELÓ MUZZA

KEIDY JULEY ORTEGA NIÑO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD INGENIERÍA FÍSICO-QUÍMICAS

ESCUELA INGENIERÍA DE PETRÓLEOS

BUCARAMANGA

2016

**MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
PERTENECIENTE A UN CAMPO PETROLERO COLOMBIANO**

**BENJAMÍN ANDRES BARCELÓ MUZZA
KEIDY JULEY ORTEGA NIÑO**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero de Petróleos

Director

Msc. Helena Margarita Ribón Barrios

Co-director

MGT. Aristóbulo Bejarano

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida, la salud y guiarme en cada decisión durante el desarrollo y finalización de este proyecto.

A mis padres Carlos Ortega y Carmenza Niño y mi hermana Jessica por su amor y apoyo incondicional a pesar de las adversidades, por enseñarme a ser una persona valiente, son la fuente de fortaleza para cumplir cada proyecto en mi vida.

A mi novio Santiago, gracias por enseñarme a sonreír en las dificultades y por la compañía en todo momento.

Con cariño

KEIDY ORTEGA

A mi madre por ese ímpetu de salir adelante...

A mi familia y amigos quienes captaron como nadie mi esencia personal, artística y profesional...

A Victoria mi pedacito de vida...

A todas esas personas que lograron sacarme una sonrisa y cambiar mi energía a lo largo de este proceso aun en momentos difíciles y acongojados...

Ojala Dios me dé la vida suficiente para que al final pueda mirarlos a los ojos y decirles: "Nuestro sueño se ha hecho realidad"

Gracias a todos, por todo...

Benjamín Barceló

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

A la ingeniera **Helena Ribón**, directora del proyecto por brindarnos consejos oportunos, dedicación y orientación en este trabajo.

Al ingeniero **Aristóbulo Bejarano**, codirector de nuestro proyecto por ser nuestro amigo incondicional, por su valioso apoyo, motivación y conocimiento empleado en el proyecto.

Al ingeniero **Erik Montes** y al ingeniero **Edison García** por sus importantes aportes y recomendaciones.

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN	17
1. GENERALIDADES	19
1.1 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL AGUA	22
1.2 COMPONENTES PRIMARIOS.....	25
1.2.1 Cationes.	25
1.2.2 Aniones.....	26
1.3 MÉTODOS DE DISPOSICIÓN	27
1.4 NORMATIVIDAD SOBRE VERTIMIENTOS.....	28
2. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS	32
2.1 PROCESOS DE SEPARACIÓN.....	32
2.1.1 Segregación Gravitacional.....	32
2.1.2 Coalescencia.	32
2.1.3 Flotación.	32
2.1.4 Coagulación.....	33
2.1.4 Filtración.	33
2.2 EQUIPOS UTILIZADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA	33
2.2.1 Tanque desnatador o Skim Tank.....	33
2.2.2 Platinas Coalescedoras	34
2.2.3 DAF (Dissolved air flotation)	34
2.2.4 Unidades de Filtrado.....	35
2.2.5 Decantador	35
2.2.6 Tanques de almacenamiento de agua.....	35
2.2.7 Separador API	35
2.3 TRATAMIENTO QUÍMICO DEL AGUA DE PRODUCCIÓN	36

3. ESTUDIO DE CASO: CAMPO COLOMBIANO.....	38
3.1. CAMPO.....	38
3.1.1 Croquis del Campo.....	39
3.2 ESQUEMA DE PRODUCCIÓN	41
3.3 DESCRIPCIÓN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS.....	44
3.3.1 Equipos utilizados en el tratamiento de agua del Campo.....	45
3.3.2 Operación de los equipos.....	51
3.4. WATER DISPOSAL	63
3.5 PRODUCTO QUÍMICO DEL CAMPO	65
3.6 PROBLEMAS ASOCIADOS A LA PTARI	67
3.7 ALTERNATIVAS Y PROPUESTAS	68
3.8 DESEMPEÑO CUMPLIDO: ANÁLISIS DE AGUAS A LA SALIDA DE LA PLANTA	74
4. EJEMPLO DE APLICACIÓN.....	75
4.1. ESTUDIO DE CASO.....	75
4.1.1 Identificación de fallas	77
4.1.2 Alternativas y Observaciones	77
5. CONCLUSIONES	79
6. RECOMENDACIONES	81
BIBLIOGRAFIA.....	83

LISTA DE TABLAS

Pág.

TABLA 1. ETAPAS SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE PRODUCCIÓN	
.....	21
TABLA 2. PROPIEDADES Y COMPONENTES DEL AGUA DE PRODUCCIÓN.	24
TABLA 3. PROBLEMAS ASOCIADOS A LA COMPOSICIÓN DEL AGUA.....	27
TABLA 4. CONSEJOS PARA ACTIVIDADES DOMÉSTICAS Y DE PRODUCCIÓN.....	29
TABLA 5. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN VERTIMIENTOS DE AGUAS PARA EL SECTOR DE HIDROCARBUROS.....	30
TABLA 6. PRODUCCIÓN PROMEDIO DEL CAMPO.....	38
TABLA 7. WELL TEST DE LOS POZOS PERTENECIENTES AL CAMPO	40
TABLA 8. COMPARACIÓN ANÁLISIS DE AGUA A LA ENTRADA DE LA PTARI Y LA NORMA.....	41
TABLA 9. PROCESOS FÍSICOS PARA TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN DEL CAMPO.....	44
TABLA 10. CAPACIDADES EQUIPO <i>GUN BARREL</i>.....	45
TABLA 11. CAPACIDADES EQUIPO <i>SKIMMING TANK</i>.....	47
TABLA 12. CAPACIDADES EQUIPO CPI.	48
TABLA 13. CAPACIDADES EQUIPO DAF	49
TABLA 14. CAPACIDADES EQUIPOS FILTROS.....	50
TABLA 15. PROMEDIO DE VOLUMEN DE AGUA INYECTADO POR DÍA Y LA PRESIÓN MANEJADA.....	64
TABLA 16. PRODUCTOS QUÍMICOS Y DOSIFICACIONES DEL CAMPO.....	65
TABLA 17. CONTINUACIÓN PRODUCTOS QUÍMICOS Y DOSIFICACIONES DEL CAMPO	66
TABLA 18. MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS	68
TABLA 19. CONTINUACIÓN MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS	69
TABLA 20. CONTINUACIÓN MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS.....	70
TABLA 21. CONTINUACIÓN MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS (FILTROS).....	71
TABLA 22. CONTINUACIÓN MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS.....	72
TABLA 23. CONTINUACIÓN MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS.....	73
TABLA 24. CALIDAD DEL AGUA SALIDA DE LA PLANTA VS RESOLUCIÓN 0631.	74

TABLA 25. EJEMPLO MES DE ABRIL SST Y (OW) EN LOS DIFERENTES EQUIPOS.....76

LISTA DE FIGURAS

Pág.

FIGURA 1. GESTIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS	20
FIGURA 2. LOCALIZACIÓN DEL POZO DE DESARROLLO M.	38
FIGURA 3. CROQUIS DEL CASO DE ESTUDIO CAMPO COLOMBIANO.	39
FIGURA 4. ESQUEMA DE LOS EQUIPOS Y FLUIDOS PRESENTES EN EL CAMPO M.	41
FIGURA 5. CAPACIDADES DE LOS EQUIPOS PRESENTES EN EL CAMPO M.	43
FIGURA 6. GUN BARREL FOTOGRAFÍA.	45
FIGURA 7. SKIMMING TANK: FOTOGRAFÍA.	46
FIGURA 8. INTERCEPTOR DE PLACAS CORRUGADAS (CPI).	48
FIGURA 9. SISTEMA DE TRATAMIENTO DE FLOTACIÓN: DAF, FOTOGRAFÍA.	49
FIGURA 10. FILTROS: FOTOGRAFÍA.	50
FIGURA 11. ESQUEMA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS	52
FIGURA 12. PUNTOS DE OPERACIÓN DEL CPI	53
FIGURA 13. PUNTOS DE EVACUACIÓN DE LODOS CPI	54
FIGURA 14. TANQUE SATURADOR TK-002	56
FIGURA 15. CELDA DE FLOTACIÓN DAF	58
FIGURA 16. ESQUEMA FALLAS EN EQUIPOS DE LA PTARI.	67
FIGURA 17. EJEMPLO MES DE ABRIL SST Y GRASAS A LA SALIDA DE FILTROS.	75
FIGURA 18. DETERMINACIÓN DE FALLAS DEBIDO AL INCREMENTO DE O/W, EJEMPLO MES DE ABRIL.	77
FIGURA 19. INSTALACIÓN VÁLVULA DE DESNATE DEL CPI.	78

NOMENCLATURA

BWPD: barriles de agua por día

cp: centipoises

F: grados Fahrenheit

Ft: pies

ft / seg: pies por segundo

mg / l: miligramos por litro

min: minutos

mm: milímetros

ppm: partes por millón

psi: libras por pulgada cuadrada

μm: micrón

V₀: velocidad final de ascenso, ft/seg

σ: tensión superficial, dinas/cm²

Φ: porosidad, fracción

H: altura de la columna de agua, pies

d: diámetro del equipo, pulgadas

t_R: tiempo de residencia, minutos

Q_w: caudal del agua, BWPD

K: permeabilidad, mD

L/s: litros por segundo

°C: Grados centígrados

Ohm-metro: ohmio-metro

rpm: Revoluciones por minuto

HP: Horse power (Caballos de fuerza)

Hz: Hertz

m³: metro cúbico

RESUMEN

TITULO: MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS PERTENECIENTE A UN CAMPO PETROLERO COLOMBIANO*

AUTOR: BENJAMÍN ANDRES BARCELÓ MUZZA

KEIDY JULEY ORTEGA NIÑO**

PALABRAS CLAVE: Producción, PTARI, inyección, sólidos disueltos.

DESCRIPCIÓN

Cuando se extrae petróleo de un yacimiento, tarde o temprano el agua proveniente de un acuífero subyacente o de los pozos inyectores es producida junto con el petróleo; y debe ser tratada ya sea para inyección o vertimiento.

Para este caso particular al ajustarnos a las condiciones que se tienen en el Campo M, donde el volumen de agua de producción es significativo se hace necesario inclinar el tratamiento de su agua mediante la inyección y no al vertimiento. En donde se debe asegurar la calidad del agua inyectada en la formación receptora cumpliendo con ciertas normas, aspectos técnicos y jurídicos decretados por el Ministerio de medio ambiente para la adecuada disposición del agua.

Por consiguiente es fundamental la implementación de un sistema de tratamiento de agua residual (PTARI) para retirar componentes que pueden generar daños de formación y pérdidas de inyectividad, tales como sólidos suspendidos (SST) y grasas o aceites(O/W), encaminando el proceso hacia aguas de inyección (*water disposal*).

En el presente documento se encuentra recopilada información que permite la identificación, caracterización y mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales perteneciente a un campo petrolero colombiano; en el cual se identifican los principales problemas asociados a cada uno de los procesos implementados en la planta (Segregación Gravitacional, Coalescencia, Flotación, Floculación, Filtración y Coagulación).

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director. Helena Margarita Ribón Barrios. Msc. Ingeniería de Hidrocarburos.

ABSTRACT

TITLE: IMPROVING WATER TREATMENT SYSTEM BELONGING TO A COLOMBIAN OIL FIELD*

AUTHORS: BENJAMÍN BARCELÓ MUZZA

KEIDY JULEY ORTEGA NIÑO**

KEYWORDS: Production, PTARI, injection, dissolved solids.

DESCRIPTION

When oil from a reservoir, sooner or later the water from an underlying aquifer or injection wells extract is produced along with oil; and it must be treated either for injection or dumping.

For this particular case to adjust to the conditions in the field are M, where the volume of water production is significant tilt it is necessary to treat your water by injection and not the dumping. Where should ensure the quality of water injected into the receiving training complying with certain standards, technical aspects and legal decreed by the Ministry of Environment for the proper disposal of water.

Therefore it is essential to implement a system of wastewater treatment (PTARI) to remove components which may generate formation damage and loss of injectivity, such as suspended solids (TSS) and fats or oils (O / W), routing the injection process towards water (water disposal).

This document gathered information that allows the identification, characterization and improvement of the system of wastewater treatment belonging to a Colombian oil field is located; in which the main problems associated with each of the processes implemented on the ground (Segregation Gravitational, coalescence, flotation, flocculation, filtration and Coagulation) are identified.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director. Helena Margarita Ribón Barrios. Msc. Ingeniería de Hidrocarburos.

INTRODUCCIÓN

Los yacimientos petrolíferos del mundo se diferencian unos de otros dependiendo de sus características litológicas, estratigráficas, sedimentológicas, así como en las propiedades de los fluidos de formación y las condiciones presentes en estos (presión, temperatura, tasas de flujo entre otras).

De acuerdo con esto, del yacimiento se obtiene una mezcla de fluidos, principalmente crudo, agua y gas; debido a las propiedades físicas diferentes de los mismos se hace necesario implementar tratamientos para cada uno de ellos.

El agua producida en un campo de petróleo contiene en su gran mayoría agentes contaminantes como pueden ser: sales disueltas, metales, sólidos suspendidos y grasas, estos se convierten en un problema ambiental, dado que se hace necesario cumplir con ciertas normas, aspectos técnicos y jurídicos decretados por el Ministerio de Medio Ambiente para la adecuada disposición del agua.

Una de las soluciones para mitigar el problema según las condiciones que se tienen en campo, donde el volumen de agua de producción es significativo es encaminar el proceso hacia aguas de inyección *water disposal*.

El método de reinyección es ambientalmente el de mayor aceptación para disponer las aguas de producción, ya que no sólo se está devolviendo el agua al sistema natural del cual proviene, sino que adicionalmente, al no disponerla mediante vertimientos en corrientes de agua, se evita modificar las características del agua superficial y del suelo.

La decisión definitiva de utilizar este método de disposición de aguas residuales industriales, así como también la instalación de un pozo inyector, requiere realizar pruebas de inyectividad, estudio de la hidrogeología regional, análisis sobre la formación receptora, estudio de las condiciones hidrogeológicas, cuyos resultados aseguran que la formación receptora puede recibir el agua inyectada y además verificar que dicha actividad no afectará los demás acuíferos existentes.

Se debe asegurar la calidad del agua inyectada a la formación receptora retirando componentes que pueden generar daños de formación y pérdidas de inyectividad, tales como sólidos suspendidos (SST) y grasas o aceites(O/W).

Teniendo en cuenta lo anterior realizar un estudio que permita la identificación, caracterización y mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales perteneciente a un campo petrolero colombiano es el interés inmediato de esta investigación.

En el presente documento se encuentra recopilada información que permite la identificación, caracterización y mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales perteneciente a un campo petrolero colombiano; en el cual se identifican los principales problemas asociados a cada uno de los procesos implementados en la planta (Segregación Gravitacional, Coalescencia, Flotación, Floculación, Filtración y Coagulación).

Por otro lado se evalúan cuáles son los efectos causados por estos problemas en diferentes áreas como lo son: caídas de producción, perdidas de inyektividad, impactos ambientales y disminución en los tiempos de retención.

1. GENERALIDADES

El agua que resulta de los procesos de producción de un campo petrolero es sometida a tratamiento para su posterior disposición. Entre los métodos de disposición más comunes se encuentran la reinyección en procesos de recuperación secundaria, *water disposal* y el vertimiento a las corrientes de agua natural.

En esta investigación se expone un análisis de ingeniería que permitirá identificar problemas operacionales en una planta de tratamiento e inyección de agua, lo que incluye fallas de equipos y errores en la ejecución de procesos, al igual que sus posibles efectos, que pueden abarcar impactos ambientales, caídas de producción, pérdidas de inyectividad, mayores tiempos de retención en los equipos, entre otros.

En los sistemas de tratamiento de aguas se deben considerar fundamentalmente las siguientes remociones¹:

Remoción de DBO (Demanda bioquímica de oxígeno)

Remoción de sólidos suspendidos

Remoción de patógenos

Remoción de nitrógeno y fosforo

Remoción de sustancias orgánicas surfactantes (detergentes, fenoles, pesticidas)

Remoción de metales pesados

Remoción de sustancias inorgánicas disueltas

En la Figura 1 se presenta el esquema de gestión para el tratamiento de aguas.

¹ ROMERO ROJAS. Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño. Escuela colombiana de ingeniería. 3ed Bogotá. 2004. 127-135p.

Figura 1. Gestión del tratamiento de aguas



Un sistema de tratamiento de agua consta de diversos procesos, dentro de los que se destacan: pre-tratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario o avanzado. Cada uno cumple una función específica dentro del sistema por lo que la complejidad del mismo dependerá de las remociones que sea necesario aplicar.

El pre-tratamiento tiene como fin remover constituyentes del agua que causen problemas de operación y dificulten el mantenimiento de procesos posteriores. El tratamiento primario se basa en la remoción parcial de sólidos suspendidos, materia orgánica u organismos patógenos mediante sedimentación u otro proceso, este tratamiento remueve un 60% de sólidos suspendidos y entre 35% a 40% de la

demanda bioquímica de oxígeno (DBO).El tratamiento secundario tiene como finalidad la completa remoción de la demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos mediante el uso de filtros pre-coladores y biológicos de lodos activados, sistemas de lagunas y sedimentación.

El tratamiento terciario pretende remover nutrientes (fitoplancton, fosforo, nitrógeno y plantas acuáticas) para prevenir eutrofización de fuentes receptoras o mejorar la calidad de un efluente secundario con el fin de adecuar el agua para su reutilización.

Cada una de estas etapas de tratamiento será detallada a continuación y se encuentran resumidas en la Tabla 1.

Tabla 1. Etapas sistema de tratamiento de agua de producción

PRETRATAMIENTO	Remover constituyentes del agua que causen problemas de operación y mantenimiento
TRATAMIENTO PRIMARIO	Remoción parcial de sólidos suspendidos, materia orgánica y organismos patógenos
TRATAMIENTO SECUNDARIO	Remover demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos (Filtros pre coladores)
TRATAMIENTO AVANZADO	Remover nutrientes(fitoplancton, fosforo, nitrógeno y plantas acuáticas) para prevenir eutrofización de fuentes receptoras

Fuente: ROMERO ROJAS. Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño. Escuela colombiana de ingeniería. 3ed Bogotá. 2004. 127-135p.

1.1 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL AGUA²

Teniendo en cuenta las normas ambientales requeridas las cuales varían dependiendo de la disposición final que tenga el recurso es importante conocer y analizar las características del agua a tratar para determinar los procesos requeridos en la planta de tratamiento.

Color: El agua generalmente presenta colores rojizos, pardos, amarillentos o verdosos. A pesar de que el agua contaminada puede tener diversos colores, estos no son indicativos del tipo de agente contaminante presente.

Turbidez: Medida del grado de oscuridad del agua, lo cual indica el contenido de material insoluble como sólidos suspendidos, aceite disperso o burbujas de gas. Estos contaminantes puede provocar problemas de obstrucción en líneas de flujo o tubería.

Temperatura: La temperatura del agua producida es función de la profundidad del yacimiento, la tasa de flujo, geometría del pozo, temperatura del ambiente y procedimiento en superficie.

Sólidos: La mayor parte de partículas presentes en el agua están en el orden de $1 \cdot 10^{-7}$ milímetros, las partículas de tamaño superior a/por encima de 10^{-3} milímetros pueden removerse por procesos de sedimentación o filtración. Mientras que las de tamaño inferior requieren procesos especiales. Comúnmente los sólidos se clasifican en:

Sólidos sedimentables: Los cuales se precipitan por efecto de la gravedad y su concentración se determina utilizando un cono Imhoff dejando la muestra en reposo durante una hora y la solución se reporta en ml/L, esto permite dimensionar el sistema de remoción.

• ² GALVIN MARIN, Rafael, Características físicas, químicas y biológicas de las aguas, 2010, p. 5-18.

Sólidos suspendidos: Pueden ser orgánicos e inorgánicos, frecuentemente son partículas de óxido metálicos de la corrosión, hierro o manganeso, otros sedimentos pueden ser arena, arcilla y cuerpos bacterianos.

Sólidos disueltos: son aquellos que atraviesan la membrana de filtración para evitar taponamiento la cual tiene un tamaño de 0.45 micras.

pH: El potencial de hidrógeno es una medida de la concentración de iones H⁻ en el agua. Generalmente los campos petroleros presentan un pH entre 4 y 8. Se dice que el agua es neutra cuando su valor de pH es 7 a 25°C, cuando el pH es >7 se dice que el agua es básica y tiende a presentar incrustaciones. La presencia de H₂S y CO₂ disueltos en agua disminuyen el pH de manera que cuando el pH es <7 el agua es ácida y aumenta su capacidad de corrosión.

Dureza: Característica química que está definida por el contenido de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y rara vez nitratos de calcio y magnesio. El nivel de dureza es directamente proporcional a las concentraciones de sales metálicas.

Alcalinidad: permite determinar la habilidad para neutralizar ácidos. Las principales fuentes de alcalinidad son ion hidróxido, ion carbonato y el ion bicarbonato. La alcalinidad se divide en P y M, la alcalinidad P es una medida del número de equivalentes ácidos requeridos para bajar el pH a aproximadamente 8.3 y la alcalinidad M para bajar el pH a aproximadamente 4.5.

Conductividad: Medida de la presencia, valencia, movilidad y concentración de iones. Este es un indicador de la salinidad del agua.

Distribución del tamaño de partículas: Conocer el tamaño de las partículas permite la clasificación para filtración y el filtro.

Fenoles: Son compuestos aromáticos presentes en el agua y causan problemas de sabores en aguas de consumo y además cuentan con alto contenido de oxígeno.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): Medida de la cantidad de oxígeno necesario por los microorganismos para la oxidación bioquímica de la materia orgánica presente en el agua. Este es el parámetro de polución orgánica más implementado en aguas de producción que considera la cantidad de oxígeno consumida por los microorganismos.

Demanda química de oxígeno (DQO): medición de oxígeno requerida para oxidar la materia orgánica y otras sustancias reductoras presentes en el agua. Presenta un valor más alto que DBO.

Bacterias: Las bacterias son extremadamente pequeñas (0.5 mm en diámetro), se constituyen como bastones, esferas o curvas. Las bacterias pueden soportar amplias variaciones de temperatura (-10 a 100 °C), de valores de pH (0 a 10.5) y variaciones en las concentraciones de oxígeno (0 a 100%).

En la Tabla 2 se muestran las propiedades físico-químicas y componentes primarios presentes en el agua.

Tabla 2. Propiedades y componentes del agua de producción.

Propiedades Físico-Químicas	Cationes	Aniones	Gases disueltos
Color y turbidez	Calcio (Ca ⁺⁺)	Cloro (Cl ⁻)	Sulfuro de Hidrogeno (H ₂ S)
Temperatura y dureza	Magnesio (Mg ⁺⁺)	Carbonatos (CO ₃ ⁻)	Dióxido de Carbono (CO ₂)
Alcalinidad	Sodio (Na ⁺)	Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	Oxígeno disuelto (O ₂)
Conductividad	Hierro (Fe ⁺⁺⁺)	Sulfatos (SO ₄ ⁻)	
pH y contenido de grasas y aceites	Bario (Ba ⁺⁺)		
Contenido de sólidos suspendidos (TSS) y disuelto (TDS)	Estroncio (sr ⁺⁺⁺)		
Demanda química y bioquímica de oxígeno	Radio (Rd ⁺⁺⁺)		

Fuente: GALVIN MARIN, Rafael, Características físicas, químicas y biológicas de las aguas, 2010, p. 5-18.

1.2 COMPONENTES PRIMARIOS³

El agua de producción presente en el petróleo y gas ha estado en contacto con diferentes formaciones disolviendo múltiples compuestos. Para determinar su buen tratamiento es importante comprender los componentes primarios y propiedades físico-químicas necesarias para obtener un análisis conciso. Este análisis permite detectar problemas potenciales por lo que se realiza de manera continua para todas las aguas producidas.

1.2.1 Cationes.

- **Calcio (Ca⁺⁺):** El ión calcio se combina fácilmente con bicarbonatos, carbonatos y sulfatos para formar precipitados insolubles e incrustaciones. Se puede presentar en cantidades tan altas como 30000 mg/l.
- **Magnesio (Mg⁺⁺):** Se presenta en bajas cantidades y aun así forma incrustaciones. El agua dulce suele contener entre 1 y 100 ppm y el agua de mar contiene 1300 ppm.
- **Sodio (Na⁺):** Primordial constituyente de las aguas de los campos pero normalmente no genera problemas con la única irregularidad de precipitar NaCl, se halla en concentraciones superiores a 35000 ppm
- **Hierro (Fe⁺⁺):** Este ion frecuentemente ocasiona corrosión, el conteo de este permite controlar y monitorear la corrosión. Es susceptible a formar lodos si hay presencia de ácidos.
- **Bario (Ba⁺⁺):** Es uno de los metales pesados y se combina con ion sulfato y forman sulfato de bario BaSO₄ el cual es muy insoluble y difícil de remover, este puede ocasionar formación de incrustaciones en las líneas de flujo o dentro de la formación receptora.

³ ARPEL, Guía para la disposición y tratamiento de agua producida, Montevideo, Uruguay, p.17-19.

- **Estroncio (Sr^{+++}) y Radio (Rd^{+++}):** Pueden ser radioactivos, se conjunta con el ion sulfato y forma sulfato de estroncio el cual es insoluble en menor grado que el bario, forman escamas.

Durante la producción y/o inyección de agua se altera el equilibrio termodinámico de los fluidos y se pueden generar algunos problemas operacionales asociados. En la Tabla 3 se mencionan los problemas ocasionados por algunos componentes presentes en el agua.

1.2.2 Aniones.

- **Cloro (Cl^-):** Es el principal constituyente de aguas de campo petrolero y aguas naturales. Su fuente es el NaCl lo cual permite medir la salinidad del agua. Su problema principal es el aumento de la corrosión a medida que la concentración incrementa.
- **Carbonatos (CO_3^-) y bicarbonatos (HCO_3^-):** Estos iones pueden generar incrustaciones insolubles. La concentración de ion carbonato es conocida como alcalinidad P y concentración de bicarbonato como alcalinidad M. Los carbonatos precipitan formando escamas en presencia de iones calcio. Las aguas dulces contienen entre 50 y 350 ppm de ion bicarbonato.
- **Sulfato (SO_4^-):** Tiene capacidad para reaccionar con el calcio, bario y estroncio formando sólidos insolubles, generan también escamas pero además son la fuente alimenticia para bacterias reductoras de sulfatos.
- **Dióxido de Carbono (CO_2):** Conocido como gas ácido porque en presencia del agua forma ácidos, generando corrosión. El dióxido de carbono es un gas incoloro e inodoro que a bajas concentraciones no es tóxico.
- **Oxígeno disuelto (O_2):** Los niveles de oxígeno, materia orgánica, organismos naturales y compuestos inorgánicos son afectados por la temperatura. Estos niveles deben mantenerse en 5mg/l.

Tabla 3. Problemas asociados a la composición del agua

SULFATOS	SO	Aumenta el contenido de sólidos del agua, se combina con el calcio para formar sales incrustantes de sulfato de calcio
CLORUROS	Cl (NaCl)	Aumenta el contenido de sólidos e incrementa el carácter corrosivo del agua
SÍLICE	SiO	Incrustación en los equipos del sistema, depósitos insolubles y vítreos
HIERRO	Fe(Ferroso) Fe(Férrico)	Fuente de depósitos en las tuberías y equipos
OXIGENO	O	Oxidación en tuberías y líneas de flujo
SULFURO DE HIDRÓGENO	H S	Corrosión
SÓLIDOS DISUELTOS		Altas concentraciones de sólidos indeseables debido a que originan espumas
SÓLIDOS SUSPENDIDOS		Originan depósitos en equipos ocasionando arrastre e incrustaciones

1.3 MÉTODOS DE DISPOSICIÓN⁴⁵

El agua producida tiene varias características y componentes que deben retirarse o llevar a una concentración mínima para cumplir con las normas ambientales establecidas (Resolución No 0631 del 17 de Marzo de 2015) de acuerdo con el uso posterior que tengan. Las técnicas de disposición más usadas son:

- **Vertimiento:** El propósito de este proceso es verter el agua de producción anteriormente tratada cumpliendo con la norma estipulada por el Ministerio del medio ambiente (Resolución No 0631 del 17 de Marzo de 2015) en

⁴ NIÑO FLOREZ, Fredy Omar; GOMÉZ, Jaime. Generalidades sobre Pozos Disposal, Taller de pozos de Inyección. Ecopetrol, Equión Energy. Colombia.

⁵ MANCILLA ESTUPIÑAN, Robinson Andrés; MESA NAUSA, Henry Oswaldo. Metodología para el manejo de agua de producción en un campo petrolero. Bucaramanga, 2012, 202 h. Trabajo de Grado (Ingenieros de Petróleos).UIS. Facultad de Ingenierías fisicoquímicas. Pág.113-118.Disponible en <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/995/2/145188.pdf>

cuerpos de aguas como lagos, ríos y arroyos. Método menos recomendado debido a las múltiples consecuencias que trae para el medio ambiente.

- **Water disposal:** Los pozos *water disposal* son pozos que sirven como canales para disponer las aguas en acuíferos confinados y garantizar que el fluido de inyección no entre en contacto con otras zonas de interés.

El agua de inyección *disposal* presenta las siguientes características las cuales son determinadas a través de propiedades como: Alcalinidad, conductividad, determinación de dureza, presencia de hierro, presencia de sólidos suspendidos, presencia de sulfatos, turbidez, contenido de oxígeno disuelto, control bacterial y pH.

1.4 NORMATIVIDAD SOBRE VERTIMIENTOS

Norma de vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y sistemas de alcantarillado público (Resolución N.º 0631 del 17 de Marzo de 2015)

La nueva norma de vertimientos reglamenta el artículo 28 del Decreto 3930 de 2010, actualiza el decreto 1594 de 1984 (vigente desde hace más de 30 años) respondiendo a la nueva realidad urbana, industrial y ambiental del país. Permitirá el control de las sustancias contaminantes que llegan a los cuerpos de aguas vertidas por 73 actividades productivas presentes en ocho sectores económicos del país.

Esta norma busca reducir y controlar las sustancias que llegan a los ríos, embalses, lagunas, cuerpos de agua natural o artificial de agua dulce, y al sistema de alcantarillado público, para de esta forma, aportar al mejoramiento de la calidad del agua y trabajar en la recuperación ambiental de las arterias fluviales del país.

La resolución es de obligatorio cumplimiento para todas aquellas personas que desarrollen actividades industriales, comerciales o de servicios y que en el desarrollo de las mismas generen aguas residuales. El control se realizara a partir de la medición de la cantidad de sustancias descargadas, que es lo que impacta en la calidad del agua, y no el proceso de tratamiento.

Ahora esta medición se realizara en mg/L y no en kg/día, como se venía haciendo. Este es tal vez uno de los cambios más importantes presentes en la Norma de Vertimientos Puntuales y es la revisión de los valores a partir de la concentración, lo que va a permitir tener un parámetro fijo a cumplir según la actividad productiva. En la Tabla 4 se dan consejos de índole doméstica y productiva.

Tabla 4. Consejos para actividades domésticas y de producción.

Consejos para las actividades domésticas	Consejos para las actividades productivas
Reducir el consumo de agua	Optimizar y ahorrar agua en los procesos productivos.
No descargar aceites comestibles y aceites lubricantes al agua.	Adopción de buenas prácticas en la producción.
No arrojar papel higiénico a los servicios sanitarios.	Racionalización y sustitución de materias primas e Insumos (Ahorro)
No arrojar solventes, pinturas, medicamentos y/o sustancias peligrosas.	Reconversión tecnológica (Actualización de maquinaria y equipos).
Utilizar jabones y detergentes amigables con el ambiente.	Conciencia Ambiental de todos y cada uno de los empleados.
	Reúso de aguas residuales tratadas.
	Control de contaminación en la fuente

Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0631 del 17 de Marzo de 2015 [En Línea]
http://corponor.gov.co/control_calidad/RESOLUCION%20MINAMBIENTE%20NACIONAL%20631%20DE%202015.pdf [Citado en 17 de Marzo de 2015].

De acuerdo al Ministerio “al pasar del porcentaje de remoción de carga contaminante al valor de concentración, se va a lograr una mayor exigencia en el

control pues ya se podrá evaluar el impacto de lo que se está descargando y no la eficiencia del proceso”.

Tabla 5. Parámetros fisicoquímicos en vertimientos de aguas para el sector de Hidrocarburos

PARÁMETROS	UNIDADES	RESOLUCIÓN No 0631/ 2015
pH	Unidades de pH	6,0 a 9,0
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	180,0
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L O ₂	60,0
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	50,0
Sólidos sedimentables (SSED)	mg/L	1,0
Grasas y aceites	mg/L	15,0
Fenoles	mg/L	0,2
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	10,0
Bario	mg/L	Análisis y Reporte
Cloruros	mg/L Cl ⁻	1200
Cadmio	mg/L	0,1
Plomo	mg/L	0,2
Cromo Total	mg/L	0,5
Mercurio (Hg)	mg/L	0,01
Hierro (Fe)	mg/L	3,0
Niquel	mg/L	0,5
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Dureza Cálcida	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte

Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0631 del 17 de Marzo de 2015 [En Línea]
http://corponor.gov.co/control_calidad/RESOLUCION%20MINAMBIENTE%20NACIONAL%20631%20DE%202015.pdf [Citado en 17 de Marzo de 2015].

En el ARTÍCULO 11. Del sector: ACTIVIDADES DE HIDROCARBUROS, se establecen los parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no

domesticas- ARnD a cuerpos de aguas superficiales de actividades asociadas con hidrocarburos (petróleo crudo, gas natural y derivados). Como se puede evidenciar en la Tabla 7.

La Nueva norma de Vertimientos se construyó durante cuatro años, a partir de la revisión de normas internacionales, de información suministrada por las autoridades ambientales en cada región, y con información reunida a partir de tres grandes consultas públicas, dos concejos con técnicos asesores y encuentros participativos con sectores productivos, gremios, asociaciones, la academia y la comunidad en general.

2. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS⁶

Las operaciones de producción incluyen facilidades para el tratamiento de agua que permitan cumplir con los criterios ambientales, por lo que es requerido un análisis que incluya las propiedades fisicoquímicas del fluido para así determinar los procesos necesarios para su respectivo tratamiento. Se abarcará los procesos y equipos que se pueden presentar en una planta de tratamiento de agua.

2.1 PROCESOS DE SEPARACIÓN

Las principales funciones de los equipos tratadores es separar las gotas de aceite, sólidos suspendidos y componentes orgánicos presentes a través de estranguladores en superficie, líneas de flujo, válvulas de control y equipos procesadores. El tratamiento de agua se realiza debido a los siguientes fenómenos:

2.1.1 Segregación Gravitacional.

Las gotas de aceite se separan por diferencia de densidades. Entre mayor tamaño tenga la gota, aumenta la velocidad al ascender.

2.1.2 Coalescencia.

Es la unión de gotas pequeñas para formar gotas de tamaño mayor. La coalescencia depende proporcionalmente del tiempo de retención. El CPI (Interceptor de placas corrugadas) implementa este proceso.

2.1.3 Flotación.

La flotación mejora la separación de las gotas de aceite de la fase continua debido a la unión de las burbujas de gas con el aceite. Disminuye el tiempo de retención en los equipos.

⁶ CAMPO JAIMES, Diana; PICO JIMENEZ, María. Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales y de producción evaluando las diferentes alternativas nacionales y extranjeras- Aplicación campo Colorado. Bucaramanga, 2009, 228 h. Trabajo de grado (Ingeniero de Petróleos). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Físico-Químicas. Disponible en <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/688/2/129404.pdf>.

2.1.4 Coagulación.

La coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico lo que ocasiona la unión de dichas partículas.

2.1.4 Filtración.

Proceso de separación físico donde los componentes presentes en el agua de producción como SST y O/W son separados de esta cuando pasan por lechos filtrantes. Los lechos generalmente están compuestos por arena o cáscara de nuez.

2.2 EQUIPOS UTILIZADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA⁷

Se mencionarán los principales equipos implementados en un sistema de tratamiento de agua.

2.2.1 Tanque desnatador o Skim Tank

Es un tanque que almacena el agua producto de una deshidratación primaria que aún contiene cierto porcentaje de crudo, este permite rebose de la nata de crudo separada por gravedad y diferencia de densidades, estos desnatadores pueden ser verticales u horizontales.

El flujo ingresa y pasa a un tubo que lo dirige al fondo liberando pequeñas cantidades de gas, la entrada inferior dirige el flujo por la capa de aceite a un sistema propagador para continuar el flujo uniforme de agua, el aceite presente en superficie se retira y recoge en colectores.

⁷ CAMPO JAIMES, Diana; PICO JIMENEZ, María. Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales y de producción evaluando las diferentes alternativas nacionales y extranjeras- Aplicación campo Colorado. Bucaramanga, 2009, 228 h. Trabajo de grado (Ingeniero de Petróleos). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Físico-Químicas. Disponible en <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/688/2/129404.pdf>.

2.2.2 Platinas Coalescedoras

Son placas disponibles en patrones que se pueden ajustar a un separador común. Sin embargo necesitan de un equipo de remoción de sedimentos. Existen varias configuraciones pero las más usadas son:

- **Interceptor de Platos Paralelos (PPI):** son platos regulares separados equidistantes entre si y a la longitud axial de un tanque desnatador. Su función es lograr que las gotas suban al plato y se junten permitiendo que los sedimentos se precipiten en el fondo del separador, su eficiencia disminuye para remoción de emulsiones.
- **Interceptor de Placas Corrugadas (CPI):** El CPI es una unidad de pulimento para la recuperación de crudo que no fue extraído en las operaciones de lavado, *skim*. El principio fundamental es la recuperación del aceite por coalescencia donde las gotas de aceite se adhieren unas a otras con la ayuda de placas corrugadas que favorecen el proceso.

El crudo aglomerado se almacena en una capa en la parte superior del CPI, el cual es recolectado mediante la manipulación de un canal recolector que gira sobre su eje horizontal, enviando el crudo al tanque de flotados, el agua separada es enviada hacia la caja de claros.

2.2.3 DAF (Dissolved air flotation)

El DAF es una unidad de tratamiento fisicoquímico, el proceso químico se da por la adición de productos químicos como coagulantes y floculantes, el coagulante actúa sobre los coloides en suspensión los cuales son desestabilizados y como consecuencia atraídos entre si formando grupos de partículas, que posteriormente el floculante aglomera y forma floc's de gran tamaño que tengan características de flotabilidad.

Posteriormente sucede un proceso físico en el cual se retira el floc formado en el agua gracias al flujo laminar en la celda de flotación, las condiciones hidráulicas de la unidad garantizan que el floc mantenga una velocidad de ascenso haciendo que se recolecte en la parte superior de la unidad.

2.2.4 Unidades de Filtrado

Son equipos cuya finalidad es mejorar la calidad del agua. La función de los filtros es retener el material suspendido desestabilizado que no pudo ser removido en el DAF por flotación y a su vez retener las trazas de aceites que continúan en el agua. La filtración se da con el paso del agua por los intersticios del medio de arena desde arriba hacia abajo atravesando todo el lecho filtrante.

Estas unidades pueden ser de lecho suelto como la arena, grava, carbón activado, cascara de nuez entre otros. Los más utilizados son los de cascara de nuez diseñados para controlar grandes volúmenes de agua con contenido de sólidos e hidrocarburos.

2.2.5 Decantador

Tanque de base cónica en el cual se descarga el fluido del filtro para realizar el retrolavado a las unidades de filtración, su función es clarificar el agua que procede del retrolavado, para luego ser tratada en los equipos de tratamientos de agua. Tiempo de retención y volumen son dependientes del diseño y del fluido, de la frecuencia de retrolavado y los parámetros de calidad del agua.

2.2.6 Tanques de almacenamiento de agua

La función de estos tanques es proporcionar la cabeza hidrostática de succión que solicitan las bombas de inyección de agua. El agua ingresa por el fondo del tanque que proviene de los filtros.

2.2.7 Separador API

Es una piscina que contiene secciones y su propósito es recuperar todo el aceite que proceda de los reboses y drenajes de algunos equipos. Su principio físico es la diferencia de densidades y el asentamiento.

La mezcla agua- aceite entra a un tubo con codo descendente el cual pasa el fluido a la fase de separación en donde presenta un tiempo de retención que permite separar el aceite y el agua, donde el aceite se ubica en la parte superior y es retirado con un colector cilíndrico.

2.3 TRATAMIENTO QUÍMICO DEL AGUA DE PRODUCCIÓN⁸

El tratamiento químico junto con el tratamiento físico permite obtener una buena operación y calidad del agua a inyectar *water disposal*. El tratamiento químico es enviado al sistema por medio de dosis en las cantidades deseadas del producto químico ya sean rompedores, coagulantes, dispersantes, entre otros; lo que favorece los procesos físicos que se presentan en las etapas de separación. Además en el tratamiento de agua se agregan otros productos necesarios para el manejo y control de propiedades físico-químicas del agua.

Entre los principales aditivos utilizados para el tratamiento del agua de inyección se encuentran los siguientes:

- **Clarificadores:** Se utilizan para inducir los procesos de coagulación y floculación. Son sustancias que colaboran en el proceso de separación para remover tanto sólidos como aceite suspendido en el agua.
- **Secuestrante de oxígeno:** Inhibe la actividad orgánica y la corrosión. Se emplea como secuestrante para remover el oxígeno disuelto en el agua a inyectar. Químicamente es una solución de bisulfito de sodio con una concentración media del 26% expresado como SO_2 . Esta solución puede estar catalizada, según requerimientos, para acelerar las propiedades secuestrantes. Es menos soluble que los bisulfitos de amonio por lo que necesita dosificarse en cantidades mayores.
- **Inhibidor de incrustaciones:** Mejoran la calidad e inhiben la formación de sedimentos e incrustaciones. Son sustancias químicas que sirven como retardantes o reductores, utilizados a menudo en áreas de alto corte de agua para impedir la deposición de costras de carbonatos y sulfatos. Cuando las incrustaciones se empiezan a formar, se precipitan pequeños cristales, en

⁸ LIPESA S.A, COLOMBIA. Curso Teórico- Práctico de Tratamiento químico. Bogotá, 2015.

ese momento actúa el inhibidor evitando el crecimiento de estos pequeños cristales.

- **Inhibidor de corrosión:** Mejoran la calidad del agua y minimizan la velocidad de corrosión en los equipos y líneas utilizadas. Son productos que actúan ya sea formando películas sobre la superficie metálica, tales como los molibdatos o fosfatos, o bien entregando sus electrones al medio.
- **Biocidas:** Detiene la actividad microbiológica. Son productos químicos usados en el control del crecimiento de los microorganismos en los sistemas de tratamiento de agua. Estos contienen uno o más compuestos químicos tales como aldehídos, compuesto de amonio cuaternario y aminas. El glutaraldehído es ampliamente usado para el control bacteriano en las aguas de producción.

3. ESTUDIO DE CASO: CAMPO COLOMBIANO

3.1. CAMPO

El área de Desarrollo del Campo M ocupa una superficie aproximada de 28.412 Ha, este se encuentra localizado en el municipio de Paz de Ariporo (Departamento de Casanare).

El mecanismo de empuje primario es un acuífero activo; actualmente en el campo se cuenta con un sistema de levantamiento artificial por Bombeo Electro Sumergible (ESP), el cual permite manejar altos volúmenes de líquido producido. La producción promedio de aceite es 503,71 (BBL/D), la del agua es 8,222 (BBL/D), el corte de agua del campo es 94,23% y GOR: 43,57 SCF/STB. Ver Tabla 6.

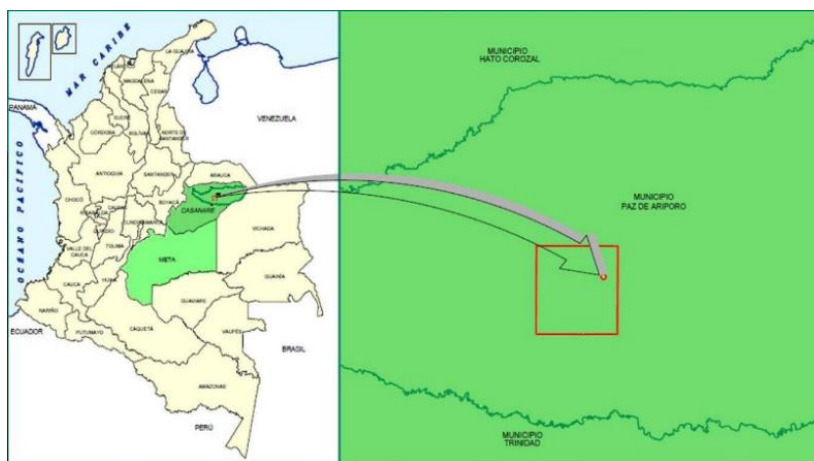
Debido al alto corte de agua se hace necesario implementar un proceso para el manejo y tratamiento del alto volumen de agua. En ese campo se utiliza la técnica *Water Disposal*.

Tabla 6. Producción promedio del campo

Producción diaria promedio (BBL/D)				
LIQUIDOS	Oil	Water	BSW	GOR
8.726	503,71	8.222	94,23%	43,57

Fuente: Daily Production del campo

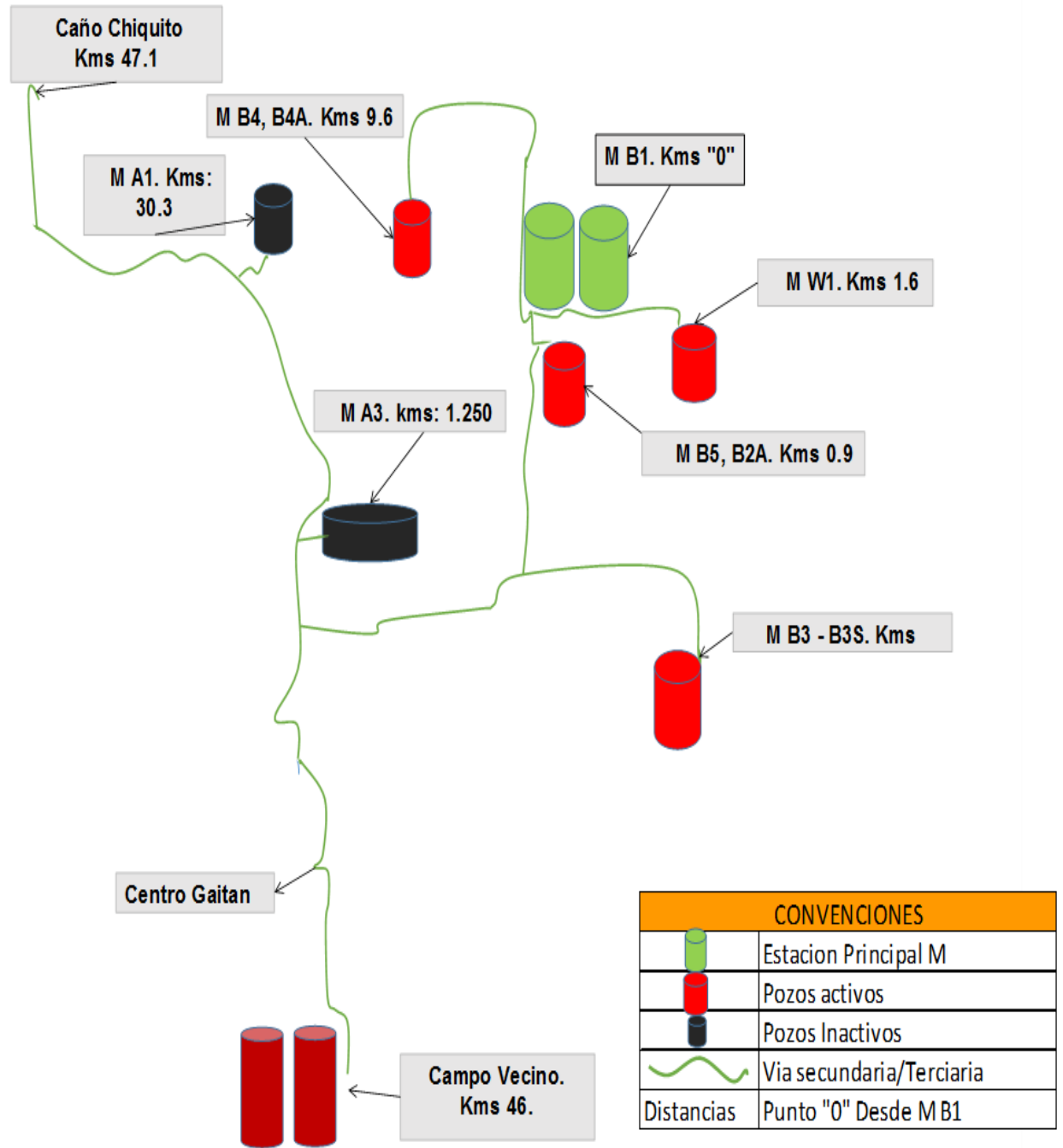
Figura 2. Localización del pozo de desarrollo M



Fuente: Plan de manejo ambiental del campo

3.1.1 Croquis del Campo.

Figura 3. Croquis del caso de estudio campo colombiano.



Fuente: Modificado de: Croquis a mano alzada del campo. PMA

A continuación en la Tabla 7 se relacionan los pozos de la Figura 3 indicando el corte de agua y la gravedad API.

Tabla 7. Well Test de los Pozos pertenecientes al campo

Pozos	Well Test							
	Test Time	BFPD	Net Oil/Day	BWPD	%BSW	GAS MSCFD	GOR SCF/STB	API @ 60°F
M A3	0,0		0,00	0	0,0	0,00	0,0	0,0
M B1	24,0	700	39,06	661	94,25	1,220	31,23	32,2
M B3	24,0	2.034	39,08	1.995	98,05	2,930	74,97	32,8
M B3S	24,0	2.924	129,79	2.794	95,30	9,530	73,43	32,6
M B2A	24,0	891	87,90	803	89,96	2,390	27,19	33,0
M B5	24,0	916	35,19	881	96,07	0,630	17,90	32,5
M W1	24,0	1.118	109,96	1.008	90,04	4,530	41,20	33,9
M B4A	0,0		0,00	0	0,00	0,000	0,00	0,0
M B5H	24,0	143	62,73	80	55,90	0,7200	11,5	32,5

Fuente: Producción del campo.

Se tiene un análisis de aguas a la entrada de la PTARI (Ver Tabla 8) donde se observa que no cumple con los requerimientos exigidos por la norma y por ello es necesario el tratamiento del agua para disponer de la misma.

Tabla 8. Comparación Análisis de agua a la entrada de la PTARI y la Norma.

PARÁMETROS	UNIDADES	ENTRADA A LA PLANTA	RESOLUCIÓN No 0631/ 2015
Ph	Unidades de pH	6,48	6,0 a 9,0
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	618,0	180,0
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L O ₂	408,0	60,0
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	102,0	50,0
Sólidos sedimentables (SSED)	mg/L	9,0	1,0
Grasas y aceites	mg/L	459,0	15,0
Fenoles	mg/L	0,476	0,2
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	455,0	10,0
Bario	mg/L	14	Análisis y Reporte
Cloruros	mg/L Cl ⁻	2340	1200
Cadmio	mg/L	<0,007	0,1
Plomo	mg/L	<0,05	0,2
Cromo Total	mg/L	<0,05	0,5
Mercurio (Hg)	mg/L	<0,0019	0,01
Hierro (Fe)	mg/L	3,79	3,0
Niquel	mg/L	<0,054	0,5
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	161	Análisis y Reporte
Dureza Cálctica	mg/L CaCO ₃	733	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	860	Análisis y Reporte

Fuente: Daily Water Report, Field M.

3.2 ESQUEMA DE PRODUCCIÓN

Figura 4. Esquema de los equipos y fluidos presentes en el Campo M.

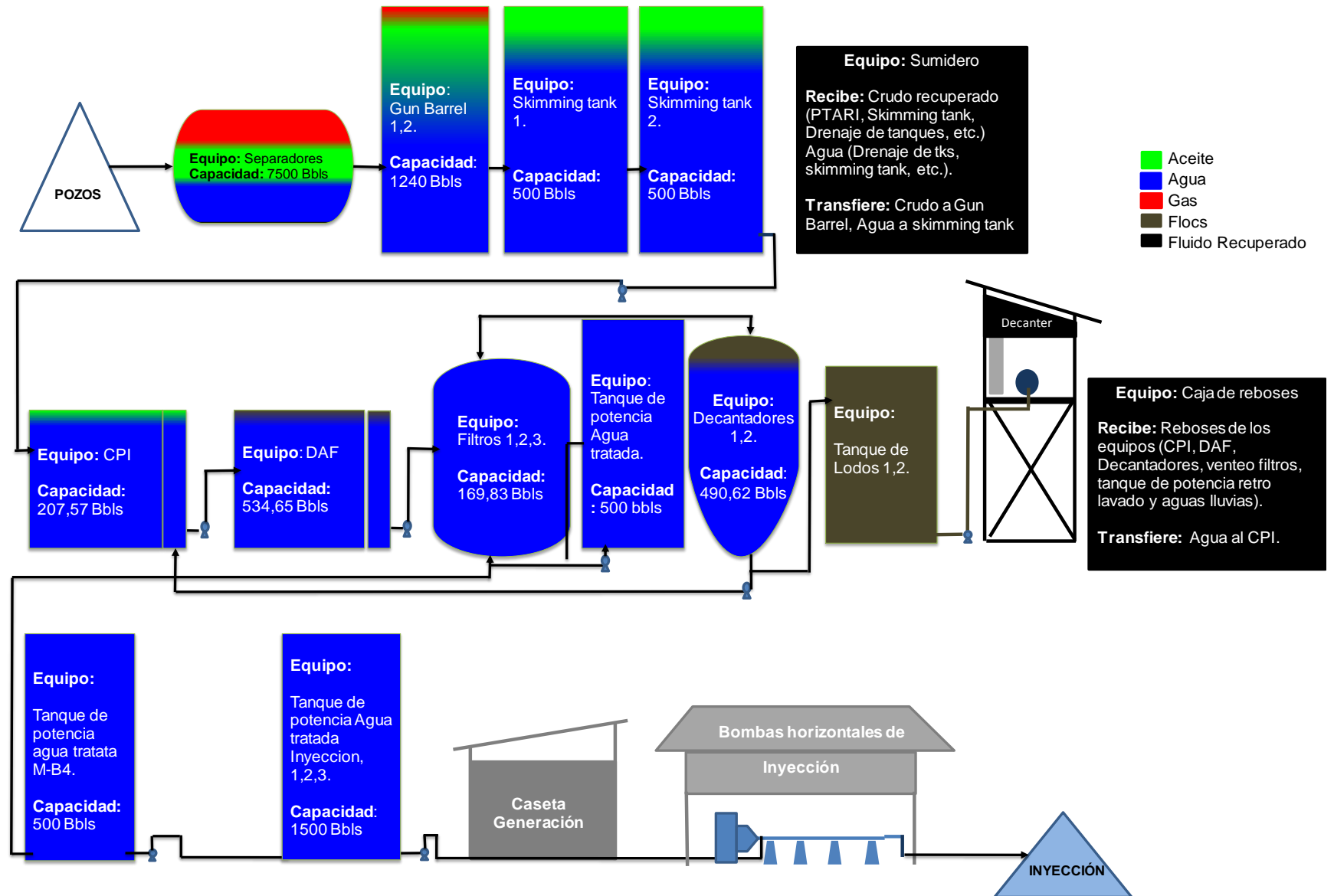
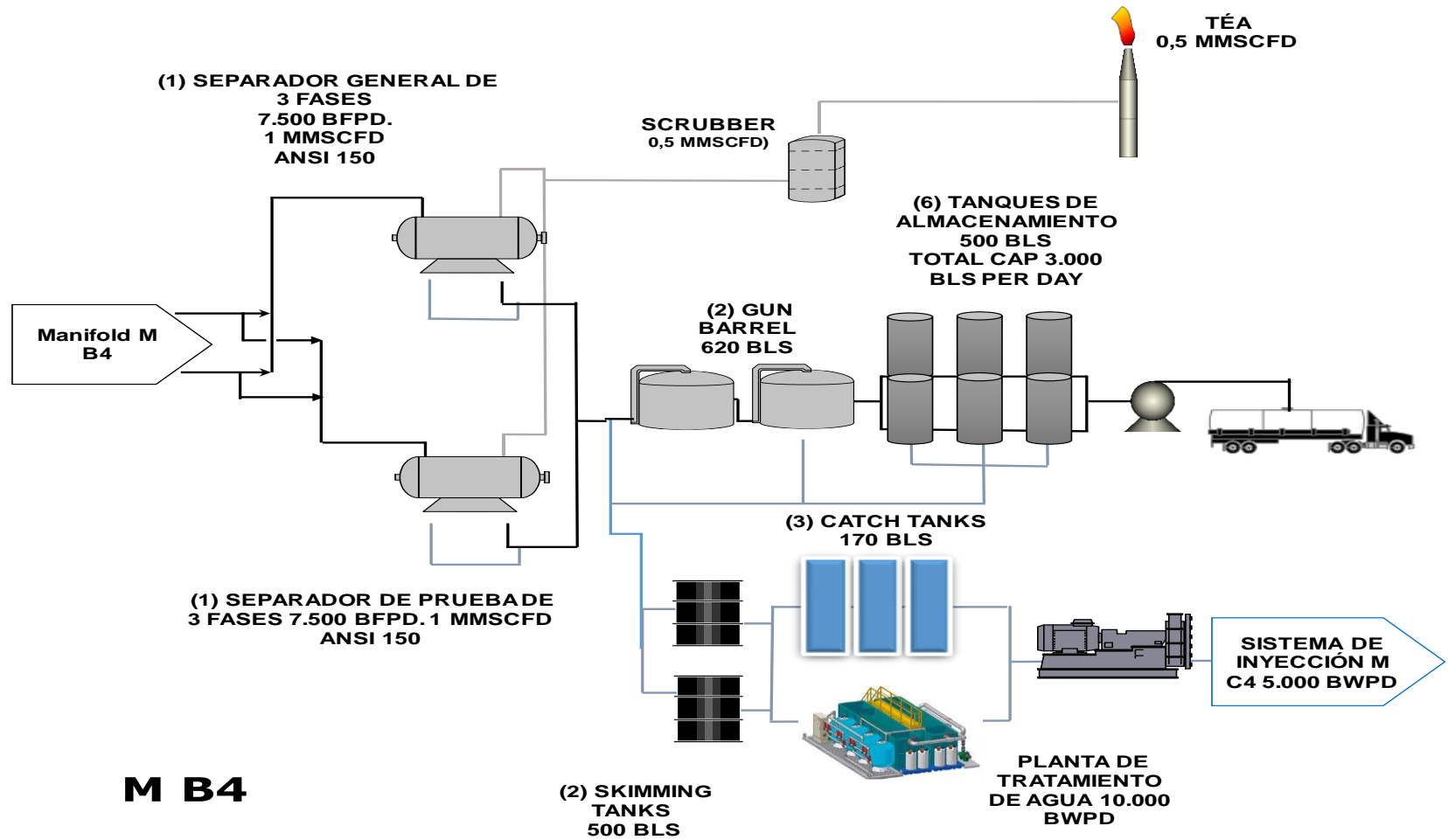


Figura 5. Capacidades de los equipos presentes en el Campo M.



Fuente: Especificaciones técnicas Campo M

3.3 DESCRIPCIÓN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS

El tratamiento de agua del campo M se realiza debido a los siguientes procesos⁹ presentados en la Tabla 9.

Tabla 9. Procesos físicos para tratamiento de aguas de producción del campo

Segregación Gravitacional	Gun Barrel Skimming Tank <i>Decantadores</i>
Coalescencia	CPI
Flotación Floculación Coagulación	DAF
Filtración	Filtros
Deshidratación	Decanter

Fuente: FERNÁNDEZ- ALBA RODRIGUEZ, Antonio; LETÓN GARCÍA, Pedro. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales, Confederación empresarial de Madrid-CEDE. Madrid, 2006, p. 18-21. Disponible en

https://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2_Tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf

⁹ FERNÁNDEZ- ALBA RODRIGUEZ, Antonio; LETÓN GARCÍA, Pedro. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales, Confederación empresarial de Madrid-CEDE. Madrid, 2006, p. 18-21. Disponible en https://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2_Tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf

3.3.1 Equipos utilizados en el tratamiento de agua del Campo.

- **GUN BARREL**

Conocido también como tanque de lavado o tanque de deshidratación, es un tratador vertical cuya función es deshidratar y ayudar a desemulsificar el crudo de producción.

Figura 6. Gun Barrel Fotografía.



Tabla 10. Capacidades Equipo *Gun Barrel*.

Referencia	<i>Gun Barrel</i>		Bomba	
	Capacidad nominal	Capacidad operacion (Bbls)	Bombas (HP)	Capacidad (Bbls)
N° - 1	620	3490	N/A	N/A
N° - 2	620	3490	N/A	N/A
Total (Bbls)	1240	6980		

Fuente: *Especificaciones Técnicas*. Caso de estudio campo colombiano.

Únicamente separa la fase crudo – agua. Este tanque permite el asentamiento del fluido de producción y presenta un segmento que permite el calentamiento del fluido con el uso de un serpentín, De esta manera se favorece la separación de los dos fluidos. En la Figura 6 se muestra la fotografía de un *Gun Barrel*. En la Tabla 10 se muestran las capacidades del *gun barrel*

- **TANQUE DESNATADOR O SKIMMING TANK**

Es un tanque que almacena el agua producto de una deshidratación primaria que aún contiene cierto porcentaje de crudo, este permite rebose de la nata de crudo separada por gravedad y diferencia de densidades, estos desnatadores pueden ser verticales u horizontales. A continuación se exponen la fotografía de un *Skimming tank* (Figura 7) y sus capacidades (Tabla 11).

Figura 7. Skimming Tank: Fotografía.



El flujo ingresa y pasa a un tubo que lo dirige al fondo liberando pequeñas cantidades de gas, la entrada inferior dirige el flujo por la capa de aceite a un sistema propagador para continuar el flujo uniforme de agua, el aceite presente en superficie se retira y recoge en colectores.

Tabla 11. Capacidades Equipo *Skimming Tank*.

Referencia	Skimming Tank		Bomba	
	Capacidad nominal	Capacidad operacion (Bbls)	Bombas (HP)	Capacidad (Bbls)
N° - 1	500	4111	20	10000
N° - 2	500	4111	20	10000
Total (Bbls)	1000	8222		20000

Fuente: *Especificaciones Técnicas*. Caso de estudio campo colombiano

- **INTERCEPTOR DE PLACAS CORRUGADAS (CPI)**

El CPI es una unidad de pulimento para la recuperación de crudo que no fue extraído en las operaciones de lavado, *skim*. El principio fundamental es la recuperación del aceite por coalescencia donde las gotas de aceite se adhieren unas a otras con la ayuda de placas corrugadas que favorecen el proceso.

El crudo aglomerado se almacena en una capa en la parte superior del CPI, el cual es recolectado mediante la manipulación de un canal recolector que gira sobre su eje horizontal, enviando el crudo al tanque de flotados, el agua separada es enviada hacia el tanque de claros.

La operación del CPI es manual. El operador debe mantener el caudal de alimentación en el caudal de diseño del equipo que para el campo es de 10.000 BWPD. En la Figura 8 presentamos el registro fotográfico de un CPI y en la Tabla 12 las capacidades del equipo.

Figura 8. Interceptor de placas corrugadas (CPI)



Tabla 12. Capacidades Equipo CPI.

Referencia	CPI		Bomba	
	Capacidad nominal	Capacidad operacion (Bbls)	Bombas (HP)	Capacidad (Bbls)
N° - 1	207,57	10000	20	20000
Total (Bbls)	207,57	10000		20000

Fuente: *Especificaciones Técnicas*. Caso de estudio campo colombiano

- **DAF (DISSOLVED AIR FLOTATION)**

El DAF es una unidad de tratamiento fisicoquímico, el proceso químico se da por la adición de productos químicos como coagulantes y floculantes, el coagulante actúa sobre los coloides en suspensión los cuales son desestabilizados y como consecuencia atraídos entre si formando grupos de partículas, que posteriormente el floculante aglomera y forma floc's de gran tamaño que tengan características de flotabilidad.

En la Figura 9 se enseña la fotografía de un DAF y a continuación en la Tabla 13 las capacidades del DAF.

Figura 9. Sistema de tratamiento de flotación: DAF, fotografía.



Tabla 13. Capacidades Equipo DAF

Referencia	DAF		Bomba	
	Capacidad nominal	Capacidad operacion (Bbls)	Bombas (HP)	Capacidad (Bbls)
N° - 1	534,65	21000	40	27000
N° - 2	N/A	N/A	75	27000
Total (Bbls)	534,65	21000		54000

Fuente: *Especificaciones Técnicas*. Caso de estudio campo colombiano

Posteriormente sucede un proceso físico en el cual se retira el floc formado en el agua gracias al flujo laminar garantizado en la celda de flotación, las condiciones hidráulicas de la unidad garantizan que el floc mantenga una velocidad de ascenso haciendo que se recolecte en la parte superior de la unidad.

- **FILTROS DE ARENA**

El STAP cuenta con un sistema de filtración en paralelo compuesto por cuatro (4) filtros de arena, tres (3) de ellos en operación y uno (1) en *stand-by*. La función de los filtros es retener el material suspendido desestabilizado que no pudo ser

removido en el DAF por flotación y a su vez retener las trazas de aceites que continúan en el agua. La filtración se da con el paso del agua por los intersticios del medio de arena desde arriba hacia abajo atravesando todo el lecho filtrante.

En la Figura 10 se observa la fotografía de los filtros de arena y en la Tabla 14 se observan las capacidades del equipo.

Figura 10. Filtros: Fotografía.



Tabla 14. Capacidades Equipos Filtros.

Referencia	Filtros		Bomba	
	Capacidad nominal	Capacidad operación (Bbls)	Bombas (HP)	Capacidad (Bbls)
N° - 1	56,61	5000	N/A	N/A
N° - 2	56,61	5000	N/A	N/A
N° - 3	56,61	5000	N/A	N/A
Total (Bbls)	169,83	15000		

Fuente: *Especificaciones Técnicas*. Caso de estudio campo colombiano

También se cuenta con métodos de limpieza en los que se realizan retrolavados (*backwash*) con un flujo de agua tratada desde abajo hacia arriba en el cual se pretende remover el lodo acumulado en los intersticios y en la parte superior del lecho filtrante, garantizando la expansión y fluidización del lecho.

Una vez se realiza el retrolavado, es conveniente realizar un enjuague del medio filtrante en el mismo sentido del filtrado, es decir de arriba hacia abajo, pero con la salvedad de que el efluente esta vez se dirige al pozo de lodos al igual efluente del retrolavado.

3.3.2 Operación de los equipos.

Descripción De Procesos Operativos Planta De Tratamiento Agua Para Inyección *Water Disposal*.

Debido al alto volumen de agua producida y sus características se hace necesario la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTARI), que garantice la apropiada calidad del agua antes de ser inyectada en la formación seleccionada para su disposición (C7).

El Sistema de Tratamiento de Agua de Producción (STAP), recibe del cliente el agua en el interceptor de placas corrugadas, en donde se lleva a cabo la separación de crudo y agua a través de la coalescencia promovida por las placas corrugadas.

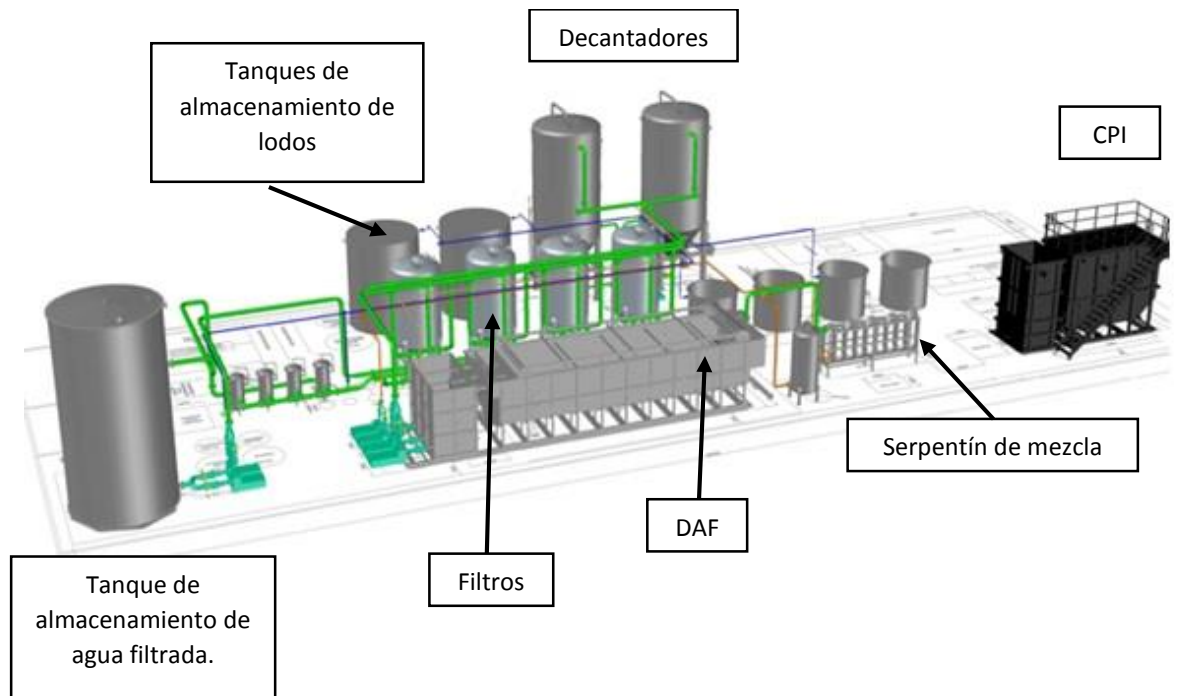
El crudo recuperado es enviado al tanque de flotados del **CPI** desde donde es bombeado al cabezal de proceso del campo. Al agua desaceitada, que sale del CPI, se almacena en el tanque de claros, que hacen parte del CPI.

En el **DAF** (*Dissolved Air Flotation*) se usan microburbujas de aire para lograr la flotación de los flóculos formados por la adición de productos químicos. Para esto, aire a alta presión (80 psi) se pone en contacto con una fracción del agua tratada en el tanque saturador. Durante el contacto del aire con el agua se logra que el aire se disuelva en el agua, y después el agua saturada se inyecta a la línea de alimentación o al cuerpo del DAF. La disminución de presión hace que se libere el aire en micro burbujas y éstas se adhieren a los sólidos facilitando que éstos floten donde son separados por un mecanismo barredor.

El agua clarificada es bombeada a los **filtros de arena**, y luego a las carcasas de micro filtración y de allí al tanque de almacenamiento para ser bombeada desde allí a reinyección. La línea de reinyección cuenta con la adición de químicos necesarios para garantizar las condiciones requeridas por el cliente.

Los lodos generados en el CPI y en el DAF así como los decantados del proceso de retro lavado de filtros son dirigidos hacia los **tanques de lodos** desde donde se alimenta al sistema de deshidratación de lodos. La Figura 11 representa el esquema de la planta de tratamiento para el caso de estudio.

Figura 11. Esquema de la planta de tratamiento de aguas

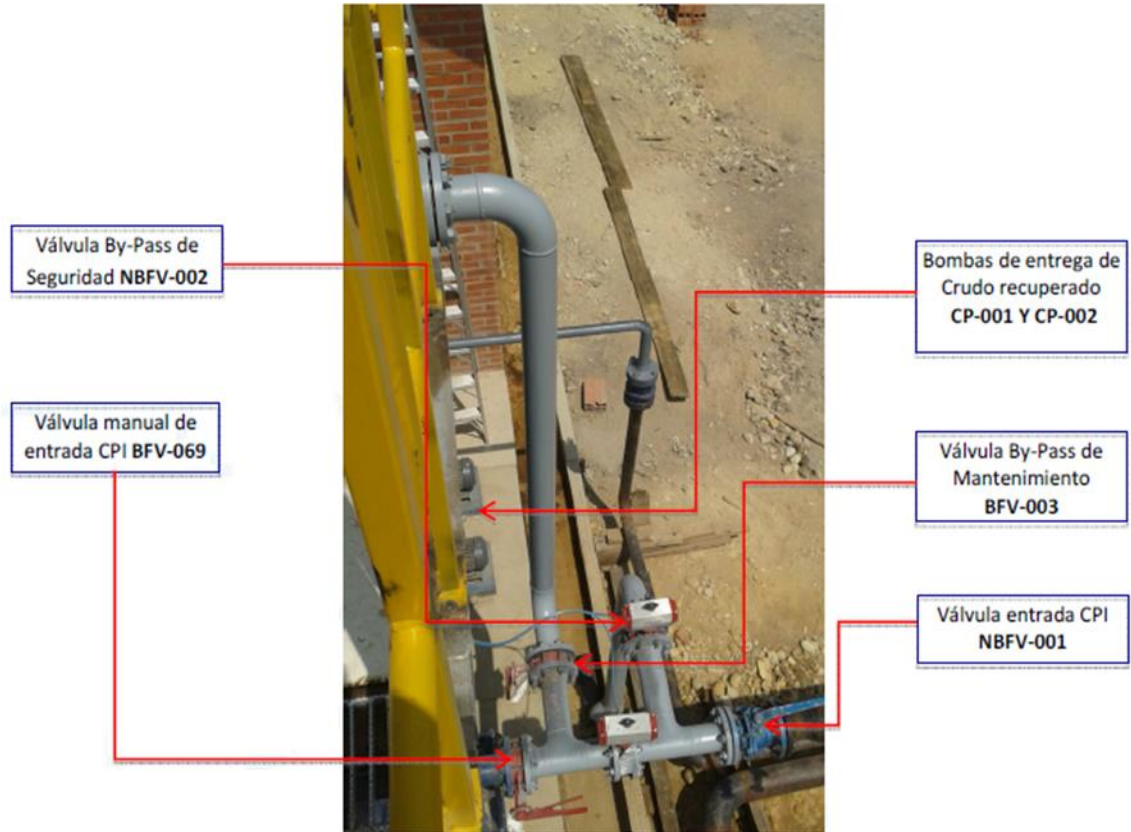


Fuente: Tomado de Modelamiento de Autocad. Caso de estudio.

OPERACIÓN DEL CPI

- **Alimentación CPI:** La operación del CPI es manual. El operador debe mantener el caudal de alimentación en el caudal de diseño del equipo que para el campo M es de 10.000 BWPD.
- **By-Pass de Seguridad:** A la entrada de la unidad hay dos válvulas neumáticas que conforman un *BY-PASS* de seguridad a la entrada de los filtros. En su funcionamiento normal la válvula NBFV-001 está abierta dando paso del fluido al CPI y la válvula NBFV-002 cerrada. En el caso en que el tanque de agua desaceitada tenga nivel alto se activará el *BY-PASS*, abriendo la válvula NBFV 002 permitiendo el paso del fluido hacia la caja de rebose y cerrando la válvula NBFV-001.

Figura 12. Puntos de operación del CPI



Fuente: Manual de operación de los sistemas de tratamiento de agua de producción para inyección del campo M.

- **By-Pass Mantenimiento:** La unidad cuenta con dos válvulas de mariposa de manipulación manual con las cuales se envía el agua de entrada al tanque de agua desaceitada, esto en el caso en que se necesite realizar mantenimiento al CPI. El funcionamiento normal de la unidad debe mantener las válvulas NBFV-001, BFV-069 abiertas y la válvula BFV-003 cerrada. En el caso en que se necesite realizar mantenimiento, se debe abrir la válvula BFV-003 y cerrar las válvulas BFV-069.
- **Recuperación de Crudo:** La recuperación de crudo se realiza de manera manual, mediante la manipulación de una mediacaña, recolectando el crudo almacenado en la superficie del CPI.

El crudo recuperado fluye por gravedad al tanque de flotados del CPI (TK-001) y desde allí es bombeado para entregar al cliente con las bombas (CP-001/002) las cuales encienden cuando hay nivel suficiente en el tanque (TK-001) de acuerdo con la señal del indicador de nivel (LIT-002). La señal de bajo nivel del tanque (LIT-002) apaga las bombas para evitar que sufran daño por trabajar en vacío.

Una bomba es respaldo de la otra y trabajarán de manera intermitente la una y la otra, y deben enviar alarmas sonoras y visuales en caso de falla en el encendido.

- **Evacuación de Lodos CPI:** Para la evacuación de lodos del CPI se deben abrir una a la vez las válvulas BFV-004 y BFV-005 las cuales están ubicadas en las tolvas de almacenamiento de lodos de la unidad. Posterior a esto se debe accionar la válvula de bola que da el paso de aire para la operación de la bomba neumática de evacuación de lodos del CPI, de esta manera los lodos serán succionados y conducidos hacia los tanques de almacenamiento TK-005 y TK-006.

Figura 13. Puntos de evacuación de lodos CPI



Fuente: Manual de operación de los sistemas de tratamiento de agua de producción para inyección del campo M.

Cada tanque de almacenamiento de lodos cuenta con una válvula de mariposa la cual permite la alimentación del tanque. Antes de la evacuación de lodos se debe revisar que uno de los dos tanques tenga la válvula de alimentación abierta y a su vez tenga capacidad para la recepción de los lodos.

Para la evacuación de los lodos del CPI, se debe monitorear esta actividad tomando muestras del lodo generado en el toma muestra instalado en la tubería de descarga de la bomba neumática de evacuación de lodos. Estos deben ser evacuados con una frecuencia de 1 vez cada 2 días, si la frecuencia es mayor el lodo generado tendrá un bajo contenido de sólidos, por el contrario si se realiza con una frecuencia menor el arrastre de sólidos dentro de la unidad se hará presente.

- **Tanque De Agua Desaceitada:** En este tanque se recibe el agua a la cual se le ha removido gran parte del crudo que no se encuentra en emulsión en el agua. Las bomba CP-003 o CP- 004 (Bomba de Back Up) se enciende por nivel alto y se apagan por nivel bajo. Se deben operar con un nivel de encendido de 60% y apagado de 40% garantizando un caudal uniforme. El agua es enviada hacia la celda de flotación del DAF.
- **Verificación de Espesor de la capa de crudo almacenada:** El CPI cuenta con una serie de válvulas predisuestas en orden ascendente de izquierda a derecha con las cuales se puede muestrear el espesor de la capa de crudo almacenado en la parte superior del CPI.

Si al abrir la primera válvula drena crudo, quiere decir que la capa de aceite tiene un alto grosor alcanzando a salir por la primera válvula. Caso contrario es el que el crudo sale solo por la última válvula la cual se encuentra en la parte más alta, esto indica que el grosor de la capa de crudo es tan delgado que solo llega hasta este toma muestra.

Cuando la capa de crudo es alta se debe accionar la media caña y pasar todo el crudo almacenado hacia el tanque de flotados, la acumulación excesiva de aceite en la capa superior puede causar arrastre hacia unidades superiores.

OPERACIÓN DEL DAF

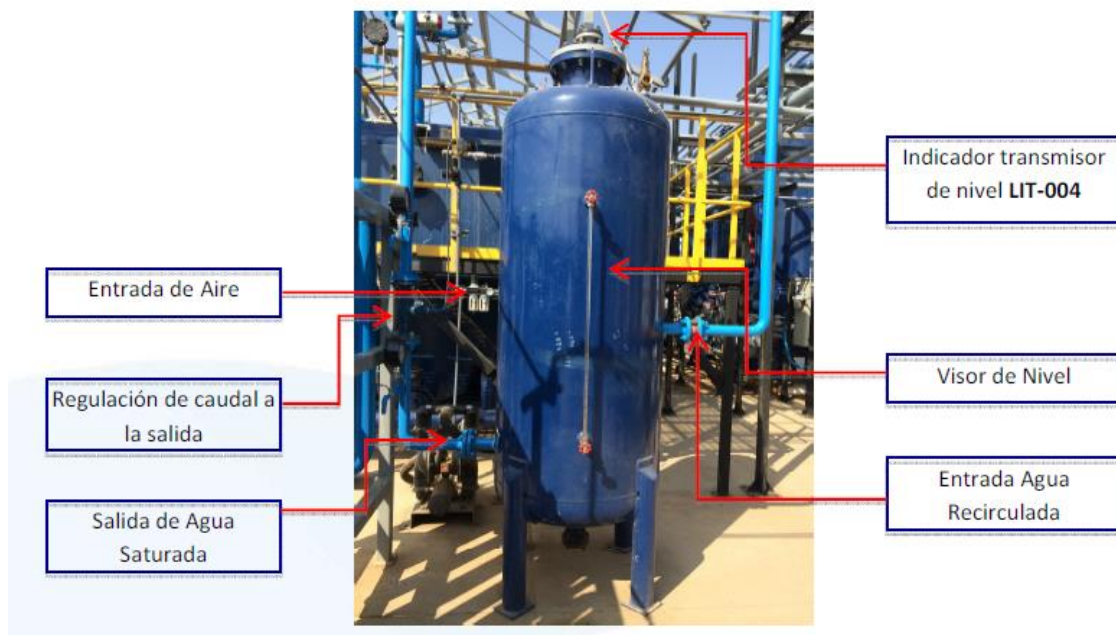
- **Serpentín de Mezcla:** El serpentín es la unidad de mezcla de los coagulantes y floculantes aplicados en el proceso. Está compuesto por una serie de tramos en forma de espiral en los cuales se da la mezcla gracias a los giros en la tubería, al inicio del serpentín se aplica un coagulante y un floculante Aniónico (SP-7009 A), después de que el fluido haya pasado todos los tramos del serpentín se adiciona el floculante Catiónico (SP-708C). La dosificación del primer coagulante actúa sobre los coloides desestabilizándolos, el floculante aniónico los aglomera formando floc's de

mayor tamaño, posterior a esto el floculante catiónico de menor peso molecular les da la característica de flotabilidad arrastrándolos a la superficie.

- **Saturador:** El saturador es un tanque en el cual se lleva a cabo la mezcla entre aire comprimido y agua para lograr la saturación completa del agua. Una porción del agua tratada en el DAF (Entre 30% y 50% del caudal del DAF) es recirculada hacía el saturador mediante una bomba de alta presión que trabaja a 80 psi (CP-005 o CP-006). En el tanque saturador se inyecta aire comprimido a la misma presión y como resultado se obtiene agua saturada de aire. La mezcla es aplicada a la entrada del DAF con el fin de liberar el aire en forma de micro burbujas que arrastren el lodo floculado hacia la superficie.

En el modo de operación se debe garantizar que el agua se encuentre en un nivel del 60% al 65% de la altura del mismo, que la presión del aire no exceda la presión de trabajo de la bomba de recirculación.

Figura 14. Tanque Saturador TK-002



Fuente: Manual de operación de los sistemas de tratamiento de agua de producción para inyección del campo M.

El DAF recibe caudal de agua a tratar cuando se tiene nivel alto en el tanque de agua desaceitada, en este momento entra en funcionamiento el saturador, bajo esta

condición, la electroválvula que da paso al aire se abre, la bomba de recirculación se enciende y la válvula neumática de entrada de agua saturada al DAF se abre. Dependiendo del nivel del agua en el saturador, la bomba de recirculación se enciende y se apaga manteniendo el nivel requerido, el cual se puede configurar desde el software de control.

- **Visor de Coagulación, Floculación y Flotación en el DAF:** Después de que el fluido ha abandonado el serpentín de mezcla, el agua ingresa a la celda de flotación. Debido a los constantes cambios en el caudal y calidad del agua el operador debe asegurarse que las condiciones a la entrada de la unidad deben estar siempre en el punto óptimo para que se den las eficiencias respectivas en la remoción.

La celda de flotación cuenta con una ventana útil para la inspección de la calidad del agua a la entrada, en la cual el operador puede observar si el proceso de coagulación, floculación y flotación se está dando de la manera esperada. Basta solo con utilizar un beaker y tomar una muestra en la ventana, revisar si el floc tiene rápida flotabilidad, consistencia en el floc y calidad en el clarificado.

La celda de flotación cuenta con una ventana útil para la inspección de la calidad del agua a la entrada, en la cual el operador puede observar si el proceso de coagulación, floculación y flotación se está dando de la manera esperada. Basta solo con utilizar un beaker y tomar una muestra en la ventana, revisar si el floc tiene rápida flotabilidad, consistencia en el floc y calidad en el clarificado.

- **Medidor de Flujo Entrada DAF**

A la entrada del Serpentín de mezcla se encuentra instalado un medidor de flujo digital el cual registra el caudal instantáneo de alimentación a la unidad y el volumen total acumulado. A su vez la instalación cuenta con un bypass para ser utilizado en caso de mantenimiento del medidor.

Los datos registrados pueden ser observados en la pantalla de control del sistema. A su vez, el software está diseñado para que los datos sean registrados constantemente con el fin de guardar tendencias en el comportamiento de la alimentación del DAF.

- **Evacuación de Lodos del DAF**

Los lodos generados en el DAF son de dos clases, lodos flotantes y lodos sedimentables. Los lodos flotantes generados son evacuados mediante barrido mecánico de la superficie de la celda, para esto se debe activar el barredor mecánico de la unidad desde el tablero de control. Los lodos flotantes deben ser evacuados 4 veces al día, es decir cada 6 horas, en caso de que la producción de lodos sea muy alta se debe aumentar la cantidad de veces que se retira el lodo del equipo y viceversa.

Figura 15. Celda de flotación DAF



Fuente: Manual de operación de los sistemas de tratamiento de agua de producción para inyección del campo M.

En cuanto a **los lodos sedimentables** son evacuados de la celda de flotación mediante una purga de fondo, la cual consiste en válvulas ubicadas secuencialmente en la tolva de la unidad, cada válvula da paso al lodo de la sección de la tolva correspondiente. Cada vez que se realice una purga se debe hacer para todas las válvulas por un lapso aproximado de 60 segundos por válvula. La apertura y cierre de las válvulas debe ser lenta, de no ser así se generará una turbulencia en la unidad haciendo que el lodo se disperse y afecte la calidad del agua tratada. Los lodos generados son recolectados en un cabezal de tubería que recolecta las corrientes de lodos, los cuales son enviados a los tanques de almacenamiento (TK-005 y TK-006).

OPERACIÓN FILTROS DE ARENA

Filtración Normal: Para la operación de cada uno de los filtros, en el cual el flujo es descendente, atravesando el lecho filtrante desde arriba hacia abajo, las válvulas que deben estar abiertas en cada filtro son las siguientes:

Filtro FCN-001: NBFV-004, NBFV-008

Filtro FCN-002: NBFV-010, NBFV-014

Filtro FCN-003: NBFV-016, NBFV-020

Retrolavado: El retrolavado consiste en la remoción de los sólidos suspendidos y crudo que han sido retenidos por el filtro en la carrera de filtración. Para lograr esto se invierte el flujo normal de operación: retrolava de abajo hacia arriba. Buscando expandir y fluidizar el lecho para que el movimiento generado libere las partículas adheridas al medio filtrante.

El retrolavado se debe realizar si se presenta alguna de las siguientes situaciones, y el operador puede seleccionar cual es el método por el cual se decide cuando se hace un retrolavado.

- **Frecuencia fija de retrolavado:** El retrolavado se realiza cada cierto tiempo y el operador fija de acuerdo con su experiencia cual será el tiempo de la carrera de filtración.
- **Incremento de la turbidez en el efluente de los filtros:** La lectura del turbidímetro en línea (AIT-002) inicia el retrolavado automático, cuando el valor de la turbidez sea mayor a un valor fijado previamente.
- **Incremento del diferencial de presión a través del lecho filtrante:** Un incremento en el diferencial de presión del lecho filtrante representa una acumulación de sólidos en el lecho, se debe evitar llegar a un diferencial de presión muy elevado para que no haya formación de torta de lodo sobre el lecho ya que esto lo hace más difícil la posterior remoción en el retrolavado, se calcula la diferencia de presión para cada uno de los filtros por la diferencia aritmética de los medidores de presión así:

Filtro FCN-001: PIT-001, PIT-005

Filtro FCN-002: PIT-002, PIT-006

Filtro FCN-003: PIT-003, PIT-007

Se retrolava cada uno de los filtros de manera independiente dejando los otros dos en operación. Para retrolavar cada filtro se cierra las válvulas que se usan durante la filtración y se hace el siguiente procedimiento:

- **Apertura de las válvulas de retrolavado.** Para cada uno de los filtros de acuerdo con el que se vaya a retrolavar, se abren las siguientes válvulas:

Filtro FCN-001: NBFV-007, NBFV-005

Filtro FCN-002: NBFV-013, NBFV-011

Filtro FCN-003: NBFV-019, NBFV-017

- **Retrolavado inicial.** Se enciende la bomba de retrolavado que corresponda (CP- 009/010) teniendo en cuenta que una bomba es respaldo de la otra y que se deben cumplir las siguientes condiciones:
 - Nivel bajo en el decantador el cual se está trabajando actualmente con un nivel de 10% (LIT-005 para decantador TK-003 y LIT-006 para decantador TK-004).
 - Alto nivel en el tanque de agua tratada (LSH-009).
 - El tiempo del retrolavado inicial debe ser de 3 minutos.
- **Lavado con aire:** para el lavado con aire, se apaga la bomba de retrolavado (CP-009/010). Se abre la válvula de venteo del filtro a retrolavar y la válvula de drenaje del filtro durante 7 minutos, con esto se busca bajar el nivel del agua en los filtros y garantizar que no exista escape de la arena.

Filtro FCN-001: NBFV-001 y NBFV-009

Filtro FCN-002: NBFV-002 y NBFV-015

Filtro FCN-003: NBFV-003 y NBFV-021

Se cierran las válvulas de entrada de retrolavado según el filtro:

Filtro FCN-001: NBFV-007

Filtro FCN-002: NBFV-013

Filtro FCN-003: NBFV-019

Las válvulas de salida de retrolavado se mantienen abiertas. Se enciende el soplador correspondiente (B-001/002) teniendo en cuenta que un soplador es respaldo del otro y que deben trabajar de manera alternada.

El operador selecciona el tiempo de limpieza con aire el cual puede ser fijado desde el software de control.

- **Retrolavado Final.** Se abre la válvula de alimentación del retrolavado según sea el filtro que está en operación:

- Filtro FCN-001: NBFV-007
- Filtro FCN-002: NBFV-013
- Filtro FCN-003: NBFV-019

- **Ayudante de Retrolavado:** En el proceso de retrolavado inicial se agrega un producto desengrasante en cada retrolavado y cada 8 días adición de producto ácido con el fin de remover de los granos de arena partículas de aceites y sólidos que al aglomerarse con los granos de arena formen bolas que posteriormente se depositan dentro del medio y forman caminos preferenciales disminuyendo la eficiencia en el filtrado.
- **Enjuague:** El agua que sale filtrada después de los retrolavados puede contener sólidos suspendidos altos, por lo cual es necesario desecharla para evitar el ensuciamiento prematuro de los cartuchos de microfiltración. Una vez finaliza el retrolavado, se preparan los filtros para el enjuague cerrando todas las válvulas y abriendo únicamente las siguientes válvulas:

Filtro FCN-001: NBFV-004, NBFV-006.

Filtro FCN-002: NBFV-010, NBFV-012.

Filtro FCN-003: NBFV-016, NBFV-018.

Finalizado el tiempo del enjuague, que fija el operador, se inicia nuevamente la filtración cerrando las siguientes válvulas:

Filtro FCN-001: NBFV-006.

Filtro FCN-002: NBFV-012.

Filtro FCN-003: NBFV-018.

Luego de cerradas las válvulas se abren las válvulas quedando el filtro en modo de operación normal.

Filtro FCN-001: NBFV-004, NBFV-008.

Filtro FCN-002: NBFV-010, NBFV-014.

Filtro FCN-003: NBFV-016, NBFV-020.

- **Medidor de Flujo Retrolavado:** El tren de filtración cuenta con un medidor de flujo en la tubería de entrada de agua para retrolavado (FIT-003), con el fin de registrar estos valores y mantener el balance hídrico de la planta, proponer mejoras y mejorar las eficiencias.

OPERACIÓN DE LOS DECANTADORES

- **Llenado de los decantadores:** El llenado de los decantadores está determinado por el nivel de los mismos. Si el nivel llega al valor seleccionado como alto nivel se hacen las siguientes operaciones:
Si hay un filtro en retrolavado: las bombas de retrolavado se apagan.
Si hay un filtro enjuagándose: se cierran las válvulas de dicho filtro.

En los dos escenarios se presenta una alarma para informar al operador de la situación y que tome las medidas a que haya lugar.

- **Vaciado de los decantadores:** La evacuación de los lodos y/o el agua se hacen de manera manual, el operador manipula manualmente todas las válvulas.
Para vaciar uno de los dos decantadores el operador selecciona en la pantalla si evacúa lodos o si evacúa agua, para controlar el nivel de la bomba que está trabajando. Luego enciende la bomba correspondiente.
El indicador de nivel (LIT-005/006) de los decantadores permite y mantiene la bomba encendida hasta que se registre nivel bajo. Las bombas neumáticas de evacuación de lodos solo encienden si los indicadores transmisores de nivel están por debajo del nivel establecido de capacidad de llenado en los tanques de lodos (LIT007/008). Es decir mientras haya espacio para recibir lodo.

El clarificado es enviado al tanque de agua desaceitada para que posteriormente sea reprocesada el agua con alto contenido de SST en el DAF y a su vez se envía hacia el tanque de agua clarificada directamente.

- **Monitoreo Calidad del Lodo:** Debido a que el lodo enviado a los decantadores son cantidades desestabilizadas que aún están sujetas a las pequeñas trazas de coagulante y floculante en el agua, este lodo tiene características de floculación y sedimentación, pero la concentración es muy baja respecto al volumen del agua enviado al decantador por retrolavado. El lodo es almacenado en la tolva del decantador.

Para obtener una buena calidad de lodo en los decantadores se debe monitorear mediante las válvulas laterales de muestreo el perfil del lodo hasta encontrar que las válvulas de la parte inferior, ya notan un aumento en la concentración del lodo, lo que nos quiere decir que la tolva ya está llena. En ese momento se evacúa el lodo de la tolva hacia los tanques de almacenamiento mediante el uso de la bomba de evacuación de lodos del decantador. Mientras la tolva no esté llena de lodo

concentrado, el clarificado es enviado a cabeza de proceso, al tanque de agua desaceitada del CPI.

OPERACIÓN SISTEMA DE DESHIDRATACIÓN DE LODOS

Para iniciar la operación de sistema el operador debe seleccionar desde cual tanque (TK-005/006) Va a enviar el lodo a deshidratar.

Debe encender el decanter centrífugo (CD-001) siguiendo las instrucciones del fabricante. Posteriormente debe encender una de las dos bombas de alimentación (SP-001/002). Si el nivel del tanque seleccionado está por debajo del porcentaje establecido como mínimo en el tanque (LIT007/008) las bombas deben apagarán inmediatamente, y se genera la alarma para que el operador tome las acciones correctivas.

Si la presión de descarga de las bombas (PIT-009) está por debajo o por encima del valor seleccionado las bombas se apagarán inmediatamente. Si el nivel del tanque de agua (TK- 007) del decantador centrífugo es alto se mantendrá encendido el decantador centrífugo y se apagarán las bombas de alimentación (SP- 001/002).

3.4. WATER DISPOSAL

- **Pozo Inyector**

En este caso el M B4 ubicado en el Área de Desarrollo M será el pozo inyector utilizando el método *Water disposal*, este inicialmente se perforó como un pozo de desarrollo y alcanzó una profundidad de 6.187 pies, pero no se obtuvo crudo por lo cual se decidió utilizarlo para esta actividad.

Teniendo en cuenta que los pozos *Water disposal* son pozos que sirven para disponer las aguas en acuíferos confinados y garantizar que el fluido de inyección no entre en contacto con otras zonas de interés, se procuró evaluar la respuesta de la formación ante la situación de reinyección.

El equipo de producción del campo inició una simulación con un volumen inicial de 6.000 bbls/día, el cual se incrementa hasta alcanzar los 10.000 bbls/día.

Resumiendo los resultados obtenidos con el modelo hidrogeológico matemático se concluye que no hay riesgo de **contaminación**, ya que la capa donde se inyecta el agua se encuentra confinada por las capas de menor conductividad hidráulica.

Volumen de agua estimada para inyección y proyección de agua residual a producir

El Pozo M B4 maneja un volumen para inyección aproximado de 8.000 BWPD, lo que equivale a un caudal de 14,74 L/s de agua de producción originario de las Facilidades de M B1.

La Tabla 15 muestra un promedio de los volúmenes de agua inyectados diariamente junto con la presión de inyección manejada.

Tabla 15. Promedio de volumen de agua inyectado por día y la presión manejada.

Pozos inyectores	Qiny (BFIPD)	Piny (psi)	Cumulative Injection (BFI)
M-B4	8.222	1.497	1.412.324

Fuente: Datos del Campo M

Probablemente el caudal aumente con el tiempo, debido a la perforación de pozos nuevos, sin embargo no deberá exceder los caudales y volúmenes máximos permitidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) el cual es de 27,64 L/s (15000 BWPD), de acuerdo con lo establecido en la Resolución No. 2468 del 29 de Diciembre de 2008.

Este incremento se puede lograr realizando los respectivos cambios a los equipos que se tienen actualmente, ya que estos están diseñados específicamente para manejar los caudales que se manejarán al inicio de las actividades. Se hace necesario realizar una prueba de inyectividad del Pozo para cuantificar los barriles de agua por día recibidos y así poder establecer si el Pozo M-B4 posee las condiciones óptimas para recibir el agua producida diariamente.

Presión estimada de inyección comparada con las características de la formación receptora.

La presión estimada de inyección sobre la Formación C7 es de 2.000 Psi. Esta se determinó a partir de pruebas de inyectividad llevadas a cabo en los Pozos M W1 y M B2A, los cuales alcanzaron una presión de inyección de 1600 Psi sin fracturar la misma formación; mientras que la presión máxima de inyección del Pozo D B1,

cercano al pozo M B4, ha sido 2000 Psi y tampoco se han registrado daños y/o fracturas, por lo que, se puede inferir que, en el pozo M B4 se podría alcanzar ese máximo de presión sin generar ningún daño colateral; por tales razones, se espera inyectar sin problema a esta presión en el Pozo M B4.

No obstante lo anterior, se recomienda no sobrepasar la presión del yacimiento en la capa C7 de la Formación que se ha medido en 2.456 psi, de esta manera se garantiza que no se produzcan daños y fracturas en la formación.

3.5 PRODUCTO QUÍMICO DEL CAMPO

Tabla 16. Productos químicos y dosificaciones del campo.

Ubicación	Producto	Punto aplicación	Dosificación	Porcentaje	Dosificación
			Diaria	volumen	Mensual
			Galones	%	Galones
B2A	L-185 Inhibidor de Incrustaciones	WHP	3,5	100	105
B2A	L-1321 Rompedor Directo	Manifold	3	70	90
		Manifold		30	
B5H	L-1321 Rompedor Directo	WHP	5	100	150
B2	L-1471 Rompedor Inverso	Línea general	0,18	10	5,4
B3-B3S	L-1321 Rompedor Directo	Línea B3S	4	70	120
		Línea B3S		30	
W1	L-1321 Rompedor Directo	Manifold	4	50	120
		Manifold		50	

Fuente: Empresa química pruebas de campo.

Tabla 17.Continuación Productos químicos y dosificaciones del campo

Ubicación	Producto	Punto aplicación	Dosificación Diaria	Porcentaje volumen	Dosificación Mensual
			Galones	%	Galones
B4	L-3512 Secuestrante de oxígeno	Línea salida Booster	3	100	90
B1	L-1471 Rompedor Inverso	Manifold	0,28	100	8,4
B1	L-1321 Rompedor Directo	Manifold	4	50	120
	L-7704 Dispersante de Parafinas	Manifold		50	
B1 (Bacteria)	L-1471 Rompedor Inverso	Línea salida GB	0,4	10	12
B1 (PTARI)	L-7060 Inhibidor de corrosión	Caja de claros CPI	3	100	90
	L-1471 Rompedor Inverso	Línea Entrada DAF	0,5	100	15
Baches de Biocida			Dosis: 7 Galones cada 7 días		
B1 (PTARI)	L-2240C BIOCIDA	Caja de claros DAF	7	100	28

Fuente: Empresa química pruebas de campo.

En las Tablas 16 y 17 se relacionan las referencias de los productos químicos que se están aplicando para el tratamiento del crudo en campo y su respectivo nombre y dosificaciones:

- L-1321 Rompedor Directo
- L-7704 Dispersante de Parafinas
- L-185 Inhibidor de Incrustaciones
- L-1569A Polímero
- L-1471 Rompedor Inverso
- L-7060 Inhibidor de corrosión
- L-3512 Secuestrante de oxígeno
- L-2240 Biocida

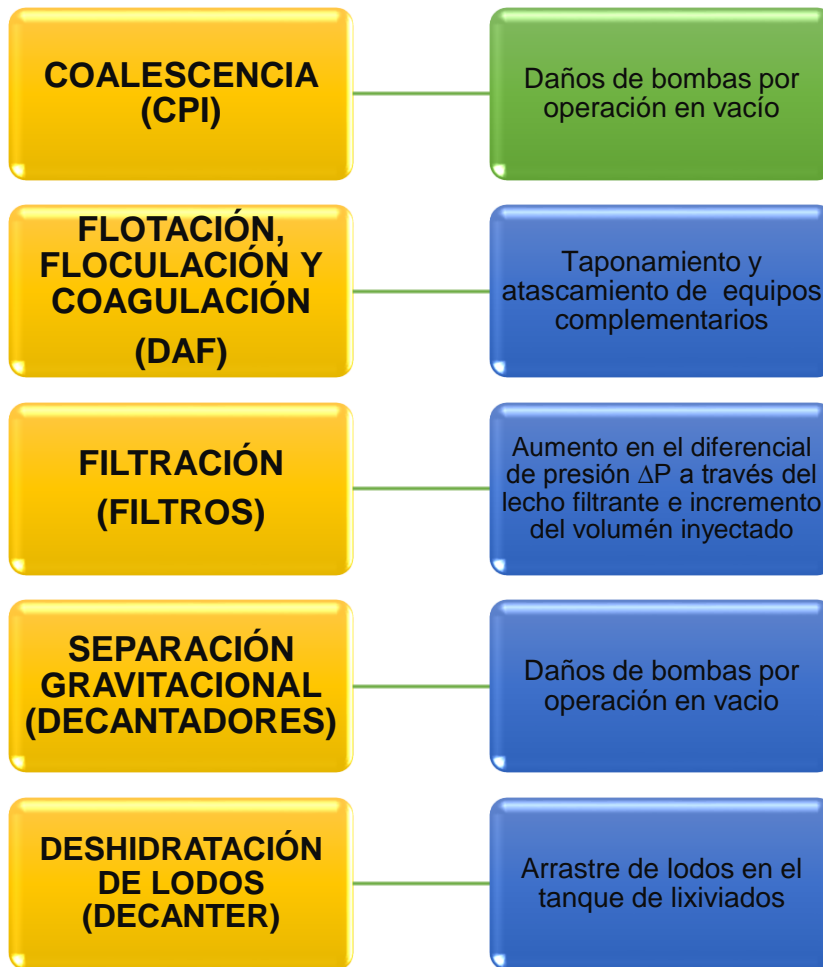
3.6 PROBLEMAS ASOCIADOS A LA PTARI

Se recomienda examinar los parámetros de diseño y operación de los equipos para establecer un diagnóstico respectivo y acciones de mantenimientos de los mismos. Se han encontrado fallas generales en los equipos como:

- Disminución en los tiempos de retención.
- Arrastre de sólidos suspendidos
- Arrastre de grasas

En la Figura 16 se adicionan fallas características de cada proceso y respectivo equipo.

Figura 16. Esquema fallas en equipos de la PTARI.



3.7 ALTERNATIVAS Y PROPUESTAS

Tabla 18. Matriz de Identificación de Riesgos

PROCESOS	EQUIPOS	UBICACIÓN	PROBLEMAS	FALLAS	ALTERNATIVAS	OBSERVACIONES	
COALESCENCIA	INTERCEPTOR DE PLACAS CORRUGADAS CPI	Alimentación del CPI	Disminución en los Tiempos de retención	Válvula de entrada al CPI (NBFV-001)	Verificar que el medidor de flujo del agua pase a través de la unidad hacia el DAF y el nivel del fluido no supere los canales de desnate.	El operador debe mantener el caudal de alimentación en el caudal de diseño del equipo que para el campo es 10.000 BWPD.	
				Medidor de Flujo			
		Recuperación de crudo	Daño de bombas por operación en vacío	Arrastre de aceite hacia unidades posteriores	Válvula de desnate. Mediacaña Válvulas de perfilamiento	Desnatar el CPI con una frecuencia una vez cada 3 o 4 horas, dependiendo de la cantidad de aceite que se evidencie en la superficie de la unidad.	La unidad cuenta con una serie de válvulas para perfilar e identificar el nivel de aceite
				<ul style="list-style-type: none"> • Sensor de Nivel LIT -002 • Bomba CP-001 • Bomba CP-002 • Pantalla de control PLC 	Verificar el indicador de nivel (LIT-002) o sensor esté enviando una señal una vez se tenga un volumen considerable de aceite recuperado. Con la señal se debe encender en modo automático una de las bombas CP-001 Y CP-002. De tal forma que cuando alcance un bajo nivel la bomba se apague, evitando daños por operación en vacío.	Se cuenta con dos bombas una en operación y otra de respaldo, de tal forma que cuando se cumplan las horas de funcionamiento para mantenimiento ingrese en operación la de respaldo. Al momento de entrar en falla la bomba se evidenciara de color amarillo en la pantalla de control del PLC.	
Evacuación de lodos	Arrastre de sólidos (SST) y taponamiento de las placas coalescedoras	<ul style="list-style-type: none"> • Bombas Neumáticas (Paca-Paca) • Válvula de Bola (aire) • Válvula de alimentación Tanques de lodos	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar que uno de los tanques de lodos esté alineado (tenga la válvula de alimentación abierta) y a su vez cuente con capacidad para la recepción del fluido. • Realizar mantenimiento y lavado de la unidad 	La purga de lodos debe ser evacuada una vez cada 2 días (Sí la frecuencia es mayor el lodo generado tendrá un bajo contenido de sólidos; por el contrario si se realiza con una frecuencia menor el arrastre de sólidos dentro de la unidad se hará presente).			

Tabla 19. Continuación Matriz de Identificación de Riesgos

PROCESOS	EQUIPO	UBICACIÓN	PROBLEMAS	FALLAS	ALTERNATIVAS	OBSERVACIONES
FLOTACIÓN		Alimentación del DAF	Disminución en los Tiempos de retención	Válvula de entrada al DAF	Verificar que el medidor de flujo del agua pase a través de la unidad hacia los filtros y el nivel del fluido no supere los canales de desnate.	El operador debe mantener el caudal de alimentación en el caudal de diseño del equipo que para el campo M es de 10.000 BWPD.
			Disminución tiempos de llenado	Serpentín de Mezcla	Verificar que no exista una obstaculización por parte de la reducción del diámetro interno del serpentín de mezcla.	Mediante prueba de Jarras se determinó dosificar 100 ppm de coagulante, la planta está trabajando con un caudal de 10.000 BWPD, por lo cual la dosificación de la bomba dosificadora de SP-701 debe ser de 110,4 mL/min.
FLOCULACIÓN	DAF	Evacuación de Lodos de Barrido	Arrastre de sólidos (SST) y grasas (O/W)	Saturador	Verificar que el tanque saturador inyecte aire comprimido a la misma presión, como resultado se obtiene agua saturada de aire. Esta mezcla debe ser aplicada a la entrada del DAF con el fin de liberar el aire en forma de microburbujas que arrastren el lodo floculado hacia la superficie.	El saturador es un tanque en el cual se lleva a cabo la mezcla entre aire comprimido y agua para lograr la saturación completa del agua. Una porción del agua tratada en el DAF (Entre 30% y 50% del caudal del DAF) es recirculada hacia el saturador mediante una bomba de alta presión que trabaja a 80 psi (CP-005 o CP-006).
			Atascamiento en las aspas	Barredor Mecánico	<ul style="list-style-type: none"> Activar el barredor mecánico de la unidad desde el tablero de control Subir o bajar el nivel de la compuerta a la salida del DAF para evitar migración de sólidos hacia la caja de claros del DAF. Drenar de la cámara de lodos el aceite acumulado hacia el tanque de flotados con la ayuda de una bomba neumática (Paca-Paca). 	<p>El barrido del DAF se realiza con una frecuencia una vez cada 6 a 8 horas, dependiendo de la cantidad de lodo que se evidencie en la superficie de la unidad.</p> <ul style="list-style-type: none"> Se recomienda trabajar las bombas a la salida del DAF con un nivel de encendido de 60% y apagado de 40% garantizando un caudal uniforme. Aumentar la frecuencia (Hz), directamente en el PLC.
COAGULACIÓN		Evacuación de lodos	Arrastre de sólidos (SST) y taponamiento de las compuertas de salida	Bombas Neumáticas (Paca-Paca). Válvula de bola y de alimentación de los tanques de lodos.	<ul style="list-style-type: none"> Revisar que uno de los tanques de lodos esté alineado (tenga la válvula de alimentación abierta) y a su vez cuente con capacidad para la recepción del fluido. Realizar mantenimiento y lavado de la unidad. 	La purga de lodos debe ser evacuada una vez cada 2 días (Si la frecuencia es mayor el lodo generado tendrá un bajo contenido de sólidos; por el contrario si se realiza con una frecuencia menor el arrastre de sólidos dentro de la unidad se hará presente).

Tabla 20. Continuación Matriz de Identificación de Riesgos

PROCESOS	EQUIPO	UBICACIÓN	PROBLEMAS	FALLAS	ALTERNATIVAS	OBSERVACIONES
FILTRACIÓN	FILTROS	Alimentación FILTROS	Disminución en los Tiempos de retención	Bomba de retrolavado	Verificar que se mantenga una tasa constante a la entrada de los filtros controlando las bombas a la salida del tanque de claros del DAF, en condiciones normales (opera una bomba y la segunda en Stand By).	Filtración normal: • Deben mantenerse abiertas las válvulas: Filtro FCN- 001: NBFV-004, NBFV-008 Filtro FCN- 002: NBFV-010, NBFV-014 Filtro FCN- 003: NBFV-016, NBFV-020
				Válvula de entrada a Filtros		
				Medidor de Flujo		
		Incremento de la turbidez en el efluente de los filtros	Arrastre de impurezas hacia inyección	Turbidimetro	Verificar concentraciones de SST y NTU a la salida de inyección si estas se encuentran en los rangos promedios, enviar a mantenimiento la herramienta.	El turbidimetro en línea permite evidenciar el incremento de la turbidez y sirve como herramienta para poder definir la necesidad del retrolavado. Asumiendo una relación proporcional entre la concentración de SST y NTU.
				Medidor de Flujo		

Tabla 21. Continuación Matriz de Identificación de Riesgos (Filtros)

PROCESOS	EQUIPO	UBICACIÓN	PROBLEMAS	FALLAS	ALTERNATIVAS	OBSERVACIONES
FILTRACIÓN	FILTROS	Lecho Filtrante	Incremento del diferencial de presión a través del lecho filtrante	Sensor de Presión	Verificar que el sensor de presión a la entrada de filtración no presente descalibración. Comparando los históricos de diferenciales de presión promedios para los filtros según los datos en el PLC.	Durante la carrera de filtración se evidencia un incremento en la diferencial de presión, debido a la colmatación del lecho filtrante, con el material particulado retenido. Lo anterior hace necesario que cuando este valor supere los 15 PSI aproximadamente, se deba realizar un retrolavado. En tal caso que el operador no tenga espacio disponible para realizarlo se podrá ver afectada la calidad del agua y el caudal de filtración.
		Salida a Filtración	Incremento del Volumen inyectado	Válvula de salida a filtración	Verificar que el volumen enviado a inyección se encuentre en los rangos óptimos establecidos	Un incremento del volumen inyectado puede ocasionar que se superen los volúmenes máximos permitidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) el cual es de 27,64 L/s (15000 BWPD)

Tabla 22. Continuación Matriz de Identificación de Riesgos

PROCESOS	EQUIPOS	UBICACIÓN	PROBLEMAS	FALLAS	ALTERNATIVAS	OBSERVACIONES
SEPARACION GRAVITACIONAL	DECANTADORES	Alimentación DECANTADORES	Disminución en los Tiempos de retención	Válvula de entrada a Decantadores PIC	Verificar que el agua enviada a los Decantadores luego de realizar el lavado de los filtros no supere el rebose, evitando la contaminación del proceso. Se debe verificar en el PLC que se mantengan porcentajes de llenado de los decantadores entre el 80%-90%, sin superar el rango máximo.	El llenado de los decantadores está determinado por el nivel de los mismos. Si el nivel llega al valor seleccionado como alto nivel se hacen las siguientes operaciones: - Si hay un filtro en retrolavado: las bombas de retrolavado se apagan. - Si hay un filtro enjuagándose: se cierran las válvulas de dicho filtro. En los dos escenarios se presenta una alarma para informar al operador de la situación y que tome las medidas a que haya lugar.
		Vaciado de los DECANTADORES	Daño de bombas por operación en vacío	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor de Nivel LIT -005 • Bomba CP-007 • Bomba CP-008 • Pantalla de control PLC 	Verificar que el indicador de nivel (LIT-005/006) de los decantadores envíe la señal que permite y mantiene la bomba encendida hasta que se registre nivel bajo. Las bombas neumáticas de evacuación de lodos solo encienden si los indicadores transmisores de nivel están por debajo del nivel establecido de capacidad de llenado en los tanques de lodos (LIT007/008). Es decir mientras haya espacio para recibir lodo.	La evacuación de los lodos y/o el agua se hacen de manera manual, el operador manipula manualmente todas las válvulas.
		Evacuación de lodos	Arrastre de sólidos (SST), daño de Bombas.	<ul style="list-style-type: none"> • Bombas Neumáticas (Paca-Paca) • Válvula de Bola (aire) • Válvula de alimentación Tanques de lodos. Bomba CP-007. Bomba CP-008	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar que uno de los tanques de lodos esté alineado (tenga la válvula de alimentación abierta) y a su vez cuente con capacidad para la recepción del fluido. Realizar mantenimiento y lavado de la unidad 	Para obtener una buena calidad de lodo en los decantadores se debe monitorear mediante las válvulas laterales de muestreo el perfil del lodo hasta encontrar que las válvulas de la parte inferior, ya notan un aumento en la concentración del lodo, lo que nos quiere decir que la tolva ya está llena.

Tabla 23. Continuación Matriz de Identificación de Riesgos

PROCESOS	EQUIPOS	UBICACIÓN	PROBLEMAS	FALLAS	ALTERNATIVAS	OBSERVACIONES
DESHIDRATACION DE LODOS	DECANTER	Alimentación DECANTER	Llenado tanque de acondicionamiento del lodo	Válvula de Succión	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar que la válvula instalada en la tubería de fondo del tanque de acondicionamiento se encuentre cerrada, asegurando la succión desde el tanque de lodos y evitar la recirculación del fluido del tanque de acondicionamiento. 	<p>Se debe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Encender en modo manual la bomba de tornillo desde el tablero de control y esperar a que el tanque llegue al 80% de su nivel aproximadamente. Las perillas que accionan las bombas de tornillo están marcadas con el nombre "B1 ALIMENT. DECANTADOR CENTRÍFUGO" variando B1 por B2 dependiendo de la bomba que se deba utilizar. Paralelamente el operador debe verificar el llenado del tanque y correcto funcionamiento de la bomba. • Una vez el tanque llegue al nivel deseado se debe apagar la bomba de tornillo evitando así el rebose del tanque de acondicionamiento.
				Válvula de descarga		
		Salida de lodo deshidratado	Mala deshidratación	Válvulas, Software, Sensores, Motoreductores, Equipo en General.		

3.8 DESEMPEÑO CUMPLIDO: ANÁLISIS DE AGUAS A LA SALIDA DE LA PLANTA

Tabla 24. Calidad del agua Salida de la planta Vs Resolución 0631.

PARÁMETROS	UNIDADES	Salida de la Planta	Norma de vertimientos. (Resolución No 0631 del 17 de Marzo de 2015)
pH	Unidades de pH	6,42	6,0 a 9,0
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	172,3	180,0
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	53,4	60,0
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	5,3	50,0
Sólidos sedimentables (SSED)	mg/L	0,8	1,0
Grasas y Aceites	mg/L	3,6	15,0
Fenoles	mg/L	0,189	0,20
Hidrocarburos totales (HTP)	mg/L	8,4	10,0
Bario	mg/L	14	Análisis y Reporte
Cloruros	mg/L Cl ⁻	1100	1200
Cadmio	mg/L	<0,007	0,10
Plomo	mg/L	<0,05	0,20
Cromo Total	mg/L	<0,05	0,5
Mercurio	mg/L	<0,0019	0,01
Hierro	mg/L	2,45	3,0
Níquel	mg/L	<0,054	0,50
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	147	Análisis y Reporte
Dureza Cálctica	mg/L CaCO ₃	648	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	734	Análisis y Reporte

Fuente: Daily Water Report, Field M.

Después de estudiar y analizar los problemas, fallas y posibles alternativas de la planta de tratamiento y verificar dicha matriz para su buen funcionamiento y aplicación se obtuvo un análisis a la salida de la planta que cumple con los requerimientos establecidos en la Resolución 0631 de 2015 como se observa en la Tabla 24.

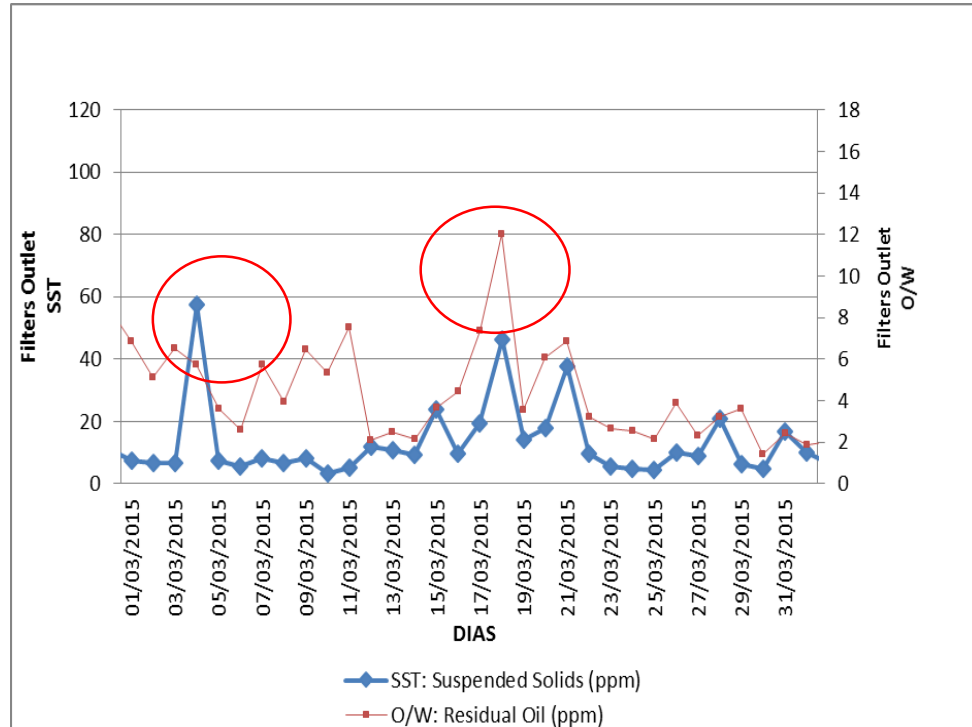
4. EJEMPLO DE APLICACIÓN

4.1. ESTUDIO DE CASO

Para el caso de estudio se tomó como referencia el mes de Abril de 2015 siguiendo las recomendaciones desde la Tabla 18 hasta la Tabla 23 que representan la matriz de identificación de riesgos

En la Figura 17 se evidencian los suspendidos (SST) representados por la línea azul y grasas (O/W) representadas por la línea roja a la salida de Filtros.

Figura 17. Ejemplo mes de Abril SST y grasas a la salida de filtros.



Fuente: Daily Water. Mes de Abril

- Entre las fechas 3 y 5 de Abril se evidencia un incremento de los sólidos suspendidos (SST).
- Entre las fechas 16 y 18 de abril se evidencian picos altos de sobresaturaciones de grasas en el sistema (O/W).

Se logra evidenciar en la Figura 17 incrementos desmedidos de los sólidos suspendidos (SST) y grasas (O/W) en algunos puntos del Mes de Abril (Mes en el cual se realizó la inspección de los equipos). A continuación en la Tabla 22 se evidencia el promedio de ppm de grasas y sólidos a la entrada y salida de cada equipo.

Tabla 25. Ejemplo mes de Abril SST y (O/W) en los diferentes equipos.

FIELD	SST: Suspended Solids (ppm)				O/W: Residual Oil (ppm)			
	CPI Inlet	CPI Outlet	DAF Outlet	Filters Outlet	CPI Inlet	CPI Outlet	DAF Outlet	Filters Outlet
M	119,33	183,50	219,67	11,50	111,46	63,91	18,22	3,33

Fuente: Daily Water.

4.1.1 Identificación de fallas

Teniendo en cuenta la Tabla 18 hasta la Tabla 23: Matriz de Identificación de Riesgos, a partir del problema identificado se detecta la falla en determinado proceso-equipo.

Figura 18. Determinación de fallas debido al incremento de O/W, ejemplo mes de Abril.



4.1.2 Alternativas y Observaciones

Teniendo en cuenta que la falla identificada está localizada en la Válvula de desnate del CPI (Media caña) se recomienda desnatar el CPI con una frecuencia una vez cada 3 o 4 horas, dependiendo de la cantidad de aceite que se evidencie en la superficie de la unidad.

Observaciones: La unidad cuenta con una serie de válvulas para perfilar e identificar el nivel de aceite.

Luego de la revisión se decide realizar el cambio de la Válvula de desnate del CPI (Media Caña), debido a que esta presentaba fugas en la superficie.

Figura 19. Instalación Válvula de desnate del CPI



5. CONCLUSIONES

- Para la disposición del agua a inyección del campo cumpliendo con los parámetros establecidos en la norma de vertimiento vigente (**Resolución 0631 del 17 de Marzo de 2015**), se hace necesario la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales que cuente con procesos como: segregación gravitacional, coalescencia, coagulación, floculación, flotación y filtración.
- La disposición del agua por medio del método Water disposal es una excelente opción en el caso de estudio, debido a que no existe riesgo de contaminación de las unidades suprayacentes a la unidad receptora (C7), ya que ésta se encuentra confinada por capas de menor conductividad hidráulica ubicadas en la Formación Carbonera.
- Las fallas operacionales más frecuentes fueron: desgastes de los equipos, descalibración de los sensores de nivel, roturas y por ende filtración del fluido, evidenciándose desgaste de las bombas y equipos y un aumento de costos operacionales por consumo de combustible de los motores de las bombas, debido al trabajo extra realizado para inyectar el agua.
- La disminución de la calidad del agua se debe principalmente al colapso de los filtros de arena ocasionado por el arrastre de altos contenidos de sólidos en suspensión (SST) y grasas (O/W) por los equipos aguas arriba. El lecho filtrante debe ser renovado luego de realizar las mejoras propuestas en la planta y así evitar contaminaciones posteriores.

- La presencia de bacterias requiere que sea inyectado un agente químico para controlar su crecimiento, por los daños que las SRB generan en las bombas y en la línea que está involucrada en el montaje de inyección de agua. Dichos agentes químicos se denominan microbiocidas, los cuales son capaces de alterar el metabolismo de la bacteria reduciendo su actividad. Este microbiocida, L 2240C, se debe aplicar periódicamente, puede ser cada 10 días con un consumo aproximado de 10 galones.

El modo de aplicar este producto se debe realizar preferiblemente en la succión de la bomba horizontal de inyección o antes, para que la turbulencia que se genera en esta zona pueda mezclar homogéneamente este producto.

- El desarrollo de la matriz de diagnóstico e identificación de riesgos permitió la localización de los principales problemas y posibles alternativas de solución presentes en cada uno de los procesos y equipos de la PTARI.

6. RECOMENDACIONES

- Se propone retirar el serpentín de mezcla e instalar un *spool*. Ya que se encuentran incrustaciones en las curvas del serpentín lo que obstaculiza el paso del fluido hacia el DAF, debido a la reducción del diámetro dificultando así los procesos de Floculación y Coagulación. Este cambio se considera viable según las Capacidades de los equipos, en este caso el DAF cuenta con una capacidad de operación de 21.000 Bbls apoyado de dos bombas de 40 y 75 HP y donde la capacidad de operación del CPI es tan solo de 10.000 Bls facilitando un mayor tiempo de retención en el DAF.
- Habilitar un punto de inyección de química a la entrada de los decantadores, instalando actuadores neumáticos en las válvulas de entrada a estos, y cambiar 3 válvulas de 4" tipo mariposa de los dos decantadores, para independizarlos completamente. Con esto se busca reducir al máximo el desperdicio de química ocasionado por las fugas expuestas anteriormente.
- Realizar periódicamente pruebas de dosificación de química, para mejorar la eficiencia de los decantadores. Aplicar 1 galón de coagulante AC05 y 1 galón de rompedor inverso 253C. Según recomendaciones del ingeniero químico del Campo.
- Implementar un plan de mantenimiento en la PTARI en donde se tengan en cuenta los siguientes ítems:

Desarrollar y actualizar la base de datos de todos los equipos, establecer el cronograma de mantenimientos preventivos y elaborar y presentar los

informes referentes al estado, funcionamiento y novedades de todos los equipos que conforma la PTARI.

- Levantar un panorama de riesgos tanto en la parte del manejo de productos químicos como en las actividades diarias y las de todas operaciones unitarias relacionadas con la operación de la PTARI.

BIBLIOGRAFIA

- ABDEL, Sherif- BOWEN, Greg, Valor del agua de formación, Oilfield Review, Vol. 23, 2011, p. 1-14.
- ARPEL, Guía para la disposición y tratamiento de agua producida, Montevideo, Uruguay, p.17-19.
- CAMPO JAIMES, Diana; PICO JIMENEZ, María. Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales y de producción evaluando las diferentes alternativas nacionales y extranjeras- Aplicación campo Colorado. Bucaramanga, 2009, 228 h. Trabajo de grado (Ingeniero de Petróleos). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Físico-Químicas. Disponible en <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/688/2/129404.pdf>.
- FERNÁNDEZ- ALBA RODRIGUEZ, Antonio; LETÓN GARCÍA, Pedro. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales, Confederación empresarial de Madrid-CEDE. Madrid, 2006, p. 18-21. Disponible en https://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT_2_Tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf
- GALVIN MARIN, Rafael, Características físicas, químicas y biológicas de las aguas, 2010, p. 5-18.
- MANCILLA ESTUPIÑAN, Robinson Andrés; MESA NAUSA, Henry Oswaldo. Metodología para el manejo de agua de producción en un campo petrolero. Bucaramanga, 2012, 202 h. Trabajo de Grado (Ingenieros de Petróleos).UIS. Facultad de Ingenierías fisicoquímicas. Disponible en <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/995/2/145188.pdf>
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0631 del 17 de Marzo de 2015 [En Línea]

http://corponor.gov.co/control_calidad/RESOLUCION%20MINAMBIENTE%20NACIONAL%20631%20DE%202015.pdf [Citado en 17 de Marzo de 2015].

- NIÑO, Fredy Omar-GÓMEZ, Jaime. Taller pozos de inyección: Generalidades sobre pozos *disposal*. ECOPETROL. EQUIÓN Energy.
- PERENCO COLOMBIA LTDA, Módulo 2: Circuito del agua, Programa de Capacitación personal de producción, 2000, p.15-20.
- ROMERO ROJAS. Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño. Escuela colombiana de ingeniería. 3ed Bogotá. 2004. 127-135p.