

**PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE LA REMOCIÓN DE GRASAS Y ACEITES
EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL DE
UN CAMPO PETROLERO EN SAN MARTIN, META**

**LEONARDO ENRIQUE ROBAYO REYES
CLAUDIA PATRICIA GAONA ALDANA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-QUÍMICA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2012

**PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE LA REMOCIÓN DE GRASAS Y ACEITES
EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL DE
UN CAMPO PETROLERO EN SAN MARTIN, META**

**LEONARDO ENRIQUE ROBAYO REYES
CLAUDIA PATRICIA GAONA ALDANA**

**Monografía para optar al título de
Especialista en Ingeniería Ambiental**

**Director
Ing. JOSE GUILLERMO ULLOA CANTILLO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO - QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2012

Agradezco a Dios por permitirme lograr una nueva meta en la vida. A mi madre por el apoyo brindado y a mi compañera Claudia por sus valiosos aportes.

Leonardo

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de realizar esta especialización y culminar la elaboración de esta monografía, a mis padres y hermana por su apoyo permanente para el logro de mis objetivos personales y a mi compañero Leonardo por invitarme a trabajar con él en este estudio.

Claudia

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Ing. José Guillermo Ulloa, Director de este proyecto por su colaboración y guía en la elaboración de este proyecto.

Ing. Edison Uribe profesional de la ingeniería ambiental por su asesoría y contribución al presente proyecto.

Ing. Sonia Silva profesional especialista del área de Hidrocarburos de la Secretaria Distrital de Ambiente por su asesoría y contribución al presente proyecto.

A la operadora del campo por el préstamo de información para el análisis del problema presentado en el presente proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	20
1 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA	22
2 MARCO DE REFERENCIA DEL ESTUDIO	23
2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y BIÓTICAS DEL MUNICIPIO DE SAN MARTIN META	23
2.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL CAMPO DE PRODUCCIÓN	25
2.3 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DEL CAMPO DE PRODUCCIÓN	26
3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES PARA LA REMOCIÓN DE GRASAS Y ACEITES APLICABLES A LA INDUSTRIA PETROLERA	31
3.1 TEORÍA DE LA SEPARACIÓN AGUA-ACEITE POR GRAVEDAD	32
3.1.1 Separador Api (American Petroleum Institute)	32
3.1.2 Separadores De Placas	36
3.1.3 Tanques Desnatadores	39
3.2 Separación Por Flotación	41
3.2.1 Separación de agua-aceite por flotación con aire disuelto –DAF-	43
3.2.2 Separación de agua-aceite por flotación con aire inducido –IAF-	45
3.2.3 Flotación asistida químicamente con coagulación y floculación	47
3.3 ELECTROCOAGULACIÓN, ELECTROFLOCULACIÓN Y ELECTRO FLOTACIÓN	49
3.4 SEPARACIÓN POR FILTRACIÓN	53
3.5 REMOCIÓN DE GRASAS Y ACEITES CON ULTRAFILTRACIÓN	58
3.6 TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE GRASAS Y ACEITES	58
4 CRITERIOS, VARIABLES Y APLICACIÓN DE METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE REMOCIÓN DE GRASAS Y ACEITES DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL EN CAMPOS PETROLEROS	65

5	SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA PARA EL MEJORAMIENTO EN LA REMOCIÓN DE GRASAS Y ACEITES DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL EN EL CAMPO PETROLERO DE ESTUDIO	85
6	CONCLUSIONES	88
7	RECOMENDACIONES	90
	BIBLIOGRAFÍA	91
	ANEXOS	95

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Tratamiento actual en el campo	27
Figura 2 Clasificación y rango de tamaño de las gotas de aceite	32
Figura 3 Separador American Petroleum Institute –API-	33
Figura 4 Efecto del tiempo de detención sobre la remoción de aceite mediante separación por gravedad	35
Figura 5 Separador de placas paralelas	37
Figura 6 Placas corrugadas	37
Figura 7 Orientación de placas en el interceptor de flujo cruzado	38
Figura 8 Vista exterior tanque desnatador	40
Figura 9 Vista interna tanque desnatador	41
Figura 10 Esquema de flotación por aire disuelto sin sistema de reciclaje	44
Figura 11 Esquema de Flotación de aire disuelto con sistema de reciclaje	44
Figura 12 Sección transversal de la unidad de flotación por aire inducido	46
Figura 13 Unidad IAF compuesta de varia cámaras de mezclado	47
Figura 14 Reducción de aceites y grasas con Sulfato de Aluminio	49
Figura 15 Reducción de aceites y grasas con Sulfato férrico	49
Figura 16 Cámara de Electrocoagulación	50
Figura 17 Fase de desestabilización	51
Figura 18 Fase de coagulación	52
Figura 19 Fase de Floculación	52
Figura 20 Fase de flotación / sedimentación	52
Figura 21 Filtro vertical a presión	55
Figura 22 Filtro a Presión de Grava y Arena – Vertical	55
Figura 23 Filtro a presión de grava y arena - Horizontal	56
Figura 24 Filtro de cartucho	57
Figura 25 Alternativa de tratamiento de agua residual 1	67
Figura 26 Alternativa de tratamiento de agua residual 2	68

Figura 27 Alternativa de tratamiento de agua residual 3	69
Figura 28 Jerarquía para la selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales	72
Figura 29 Propuesta técnica del QUIMERK LTDA	86

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características del crudo	26
Tabla 2 Características del sistema de tratamiento actual	28
Tabla 3 Factor de corrección por turbulencia	35
Tabla 4 Cuadro comparativo de tecnología para remoción de aceites y grasas	61
Tabla 5 Resultados Aplicación Metodología para selección de alternativa más viable	84
Tabla 6 Especificaciones Sistema de Tratamiento	86

ANEXOS

	Pág.
Anexo 1 ANÁLISIS DE LABORATORIO DEL EFLUENTE Y DEL AFLUENTE CAMPO DE ESTUDIO	95
Anexo 2 BIOCATALIZADOR ORGÁNICO NONTOX	97
Anexo 3 Oferta Económica QUIMERK LTDA	98

TITULO: PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE LA REMOCIÓN DE GRASAS Y ACEITES EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL DE UN CAMPO PETROLERO EN SAN MARTIN, META*

AUTORES: ROBAYO REYES, Leonardo Enrique, GAONA ALDANA, Claudia Patricia.**

PALABRAS CLAVES: Remoción de aceites y grasas, vertimiento líquido, tratamiento de agua residual industrial, efluente, afluente

CONTENIDO:

El campo de producción de estudio se encuentra ubicado en el municipio de San Martin (Meta), a una altura sobre el nivel del mar de 250 a 300 msnm, con una extensión aproximada de 7 ha dentro de la cuenca sedimentaria de los llanos orientales.

En virtud a lo establecido en el art 76 del decreto 3930 del 25 de octubre de 2010 por medio del cual el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible –MADS expedirá la resolución indicando las normas de vertimiento a los cuerpos de agua, aguas marinas, alcantarillados públicos y al suelo, y mientras esto ocurre los artículos del 72 al 79 del decreto 1594 de 1984 referentes al vertimiento siguen vigentes, se observaron los resultados de laboratorio tanto del efluente como del afluente del sistema de tratamiento de agua residual industrial del campo, encontrándose un incumplimiento leve en el porcentaje de remoción de aceites y grasas.

Por lo anterior se planteó como objetivo proponer una optimización en la remoción de grasas y aceites del sistema actual de tratamiento de aguas residuales industriales del campo de estudio, procediéndose dentro de la metodología desarrollada a investigar las diferentes opciones tecnológicas para su remoción, sumado a lo observado en campo, para luego seleccionar la tecnología aplicable al campo acudiendo a la metodología desarrollada por Yang & Kao (1996) en dos fases, una fase de aproximación para la selección de tres alternativa factibles y una segunda fase de síntesis para seleccionar la alternativa más viable utilizando la metodología AHP (Analytic Hierarchy Process) evaluando variables ambientales, socioeconómicas, tecnológicas y de costos obteniéndose la alternativa 3 como la más viable.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingeniería Físico Química. Escuela de Ingeniería Química. Especialización en Ingeniería Ambiental. Director Ing. José Guillermo Ulloa Cantillo.

TITLE: PROPOSAL FOR OPTIMIZATION OF THE REMOVAL OF OIL AND GREASE IN THE INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT SYSTEM OF AN OIL FIELD LOCATED IN SAN MARTIN, META*

AUTHORS: ROBAYO REYES, Leonardo Enrique, GAONA ALDANA, Claudia Patricia.**

KEY WORDS: Removal of oil and grease, liquid dumping, industrial wastewater treatment, effluent, influent.

CONTENT:

The study oil field is located in the municipality of San Martin (Meta), at a height above sea level from 250 to 300 m, with an approximate area of 7 ha within the sedimentary basin of the eastern plains.

Pursuant to the provisions of Article 76 of Decree 3930 of October 25th, 2010 by which the Environment and Sustainable Development Ministry will issue the resolution indicating the dumping standards to water bodies, sea waters, public sewers and soil, and while it happens Articles 72 through 79 relating to the dumping of Decree 1594 of 1984 remain in force, were observed both laboratory results of the effluent as the influent of the present oil field industrial wastewater treatment system, finding a slight breach in the removal of oil and grease percentage.

Therefore arises as target to propose an optimization in removing oil and grease from the present study oil field industrial wastewater treatment system, proceeding within the developed methodology to investigate the various technological options for removal, added to that observed in field, then select the applicable technology to the field by going to the methodology developed by Yang & Kao (1996) in two phases, an approach phase for the selection of three feasible alternatives and a second synthesis phase for selecting the most viable alternative using the AHP (Analytic Hierarchy Process) methodology evaluating environmental, socioeconomic, technological and cost variables obtaining alternative 3 as the most viable.

* Degree Work

** Faculty of Engineering Physicist – Chemistry. Chemical Engineering School. Environmental Engineering Specialization.
Director: Eng. José Guillermo Ulloa Cantillo.

GLOSARIO

ACEITE DISPERSO: el aceite disperso se caracteriza por tener un tamaño de gota que varía entre 20 y 150 micras

ACEITE EMULSIFICADO: El aceite emulsificado se caracteriza por tener tamaños de gota que tienden a ser menores de 20 micras

ACEITE LIBRE: el aceite libre es usualmente caracterizado por una mezcla agua-aceite con gotas de un tamaño mayor o igual a 150 micras

ACEITE SOLUBLE: donde el aceite no está presente en la forma de gotas (el tamaño de la partícula de aceite sería típicamente menor a 5 micras)

ASPECTO AMBIENTAL: elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que puede interactuar con el medio ambiente.

FLOTACIÓN POR AIRE DISUELTO (DAF): en este sistema el aire se introduce en el agua residual bajo una presión de varias atmósferas. Los elementos principales de estos equipos son la bomba de presurización, el equipo de inyección de aire, el tanque de retención o saturador y la unidad de flotación propiamente dicha, donde tiene lugar la reducción brusca de la presión, por lo que el aire disuelto se libera, formando multitud de microburbujas de aire.

FLOTACIÓN POR AIRE INDUCIDO: la operación es similar al caso anterior, pero la generación de burbujas se realiza a través de difusores de aire, normalmente situados en la parte inferior del equipo de flotación, o bien inducidas por rotores o agitadores. En este caso el tamaño de las burbujas inducidas es mayor que en el caso anterior.

GRASAS Y ACEITES: por definición, los lípidos son componentes biológicos que son solubles en solventes no polares como benceno, cloroformo y éter, y son prácticamente insolubles en agua. Consecuentemente, éstas moléculas son diversas tanto en lo referente a su estructura química como a su función biológica. Se distinguen en ellos los ácidos grasos, las grasas y aceites, los jabones, etc.

IMPACTO AMBIENTAL: cualquier cambio en el medio ambiente, ya sea adverso o beneficioso, como resultado total o parcial de los aspectos ambientales de una organización.

OLIGOMEROS: un oligómero consiste en un número finito de monómeros (del griego ολιγος, que significa poco o pocos), en contraste con un polímero que, por lo menos en principio, consiste en un número ilimitado de monómeros. Por ejemplo: la glucosa es un monómero, mientras que la sacarosa es un oligómero, un oligosacárido, concretamente un disacárido, ya que está compuesto por glucosa y fructosa, que son dos monómeros.

ORGANOARCILLAS: las arcillas orgánicamente modificadas se fabrican recubriendo la superficie de plaquetas de montmorillonita con aminas cuaternarias. Este proceso convierte a la arcilla en hidrófoba y organófila. Las aminas cuaternarias, que son un tensoactivo, tienen un ion nitrógeno cargado positivamente en un extremo, que se une a la superficie de la arcilla al substituir los iones de sodio, calcio y magnesio mantenidos en la superficie de la arcilla por intercambio iónico con fines de equilibrio eléctrico (Lagaly, G., 1984), El otro extremo es neutro, comúnmente rodeado por un ion halógeno tal como el cloro o el bromo.¹

¹ GEORGE R. ALTHER. Eliminación de aceites de aguas residuales con organoarcilla. Revista internacional de agua e irrigación [on line]. Available from internet: <http://www.biomininc.com/articles/eliminacion-de-aceites-de-aguas-residuales-con-organoarcilla/>

TIERRA DE DIATOMEAS: es una roca sedimentaria silíceas formada por microfósiles de diatomeas, algas marinas unicelulares que secretan un esqueleto silíceo llamado frústula.

VERTIMIENTO: descarga final a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido.

VERTIMIENTO NO PUNTUAL: aquel en el cual no se puede precisar el punto exacto de descarga al cuerpo de agua o al suelo, tal es el caso de vertimientos provenientes de escorrentía, aplicación de agroquímicos u otros similares.

VERTIMIENTO PUNTUAL: el que se realiza a partir de un medio de conducción, del cual se puede precisar el punto exacto de descarga al cuerpo de agua, al alcantarillado o al suelo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Proponer la optimización en la remoción de grasas y aceites en el sistema de tratamiento de agua residual industrial de un campo petrolero en San Martín, Meta

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Reconocer tecnologías para la remoción de grasas y aceites del agua residual industrial en el sector petrolero.
2. Seleccionar alternativas para la remoción de grasas y aceites aplicables al campo petrolero de estudio.
3. Definir la alternativa más viable para optimizar la remoción de grasas y aceites en el sistema de tratamiento de agua residual industrial del campo petrolero de estudio.

INTRODUCCIÓN

El campo petrolero de estudio se encuentra ubicado en el municipio de San Martín (Meta) dentro de la cuenca sedimentaria de los llanos orientales, donde por ausencia de normatividad local de CORMACARENA le aplica la normatividad nacional vigente de los artículos 72 al 79 del decreto 1594 de 1984, por disposición del art 76 del decreto 3930 del 25 de Octubre del 2010.

El tratamiento del agua residual industrial involucra un tratamiento químico con coagulación, floculación y una estabilización en piscinas de pondaje a cielo abierto, donde las grasas y aceites no están quedando atrapadas al inicio del tratamiento principalmente debido a que la alta temperatura del agua las hace solubles, en segundo lugar por la falta de suministro adecuado y oportuno del coagulante, y por último por la falta de mantenimiento del floculador y de las piscinas, permitiendo la contaminación de la zona de vertimiento y posiblemente de fuentes hídricas aledañas, hecho que se corrobora con los análisis de laboratorio del afluente y del efluente donde se verifica un incumplimiento leve del porcentaje de remoción de grasas y aceites y así mismo una alta concentración en el vertimiento líquido, que eventualmente conllevaría a un incumplimiento mayor al ser aceptada la nueva resolución.

El presente estudio tiene como objetivo proponer la optimización en la remoción de grasas y aceites del sistema actual de tratamiento de aguas residuales industriales del campo de estudio, con el fin de dar cumplimiento a los artículos 72 y 74 del decreto 1594 de 1984 y eventualmente dar cumplimiento a la resolución proveniente del artículo 76 del decreto 3930 de 2010, para lo cual dentro de la metodología aplicada se acudió inicialmente a la observación directa en campo, a la información proporcionada por la empresa y a la consulta bibliográfica de las tecnologías disponibles para la remoción de aceites y grasas en el sector

petrolero, y de esta forma proceder a seleccionar la tecnología aplicable al campo acudiendo al sistema experto desarrollado por Yang & Kao (1996) en dos fases, una fase de aproximación para la selección de tres alternativa factibles y una segunda fase de síntesis para seleccionar la alternativa más viable utilizando la metodología AHP (Analytic Hierarchy Process) evaluando variables ambientales, socioeconómicas, tecnológicas y de costos obteniéndose la alternativa 3 como la más viable.

1 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

Las etapas desarrolladas en este trabajo son: Recopilación de información sobre el campo de producción de estudio y las tecnologías de remoción de grasas y aceites en general, establecer los criterios de selección de alternativas, selección de las alternativas y definición de la alternativa más viable teniendo en cuenta las particularidades del campo de producción.

Para la recopilación de información sobre el campo se aprovechó la información disponible en la empresa que actualmente opera el campo, como es el caso de los análisis de laboratorio del efluente y el afluente del sistema de tratamiento de agua residual industrial actual, así como sus características técnicas y del entorno ambiental en que opera. Así mismo se realizó una revisión bibliográfica de las tecnologías aplicables al sector petrolero para la remoción de aceites y grasas.

La selección de la tecnología aplicable al campo se realizó con base en el sistema experto desarrollado por Yang & Kao (1996)² realizado en dos fases: una fase de aproximación que consiste en la identificación de sistemas de tratamiento de agua residuales factibles de acuerdo a criterios de selección tales como sus ventajas, desventajas, normatividad ambiental, tipos de mezcla agua-aceite a separar y la problemática particular del Campo; una segunda fase de síntesis que analiza los atributos de los diferentes sistemas con el fin de determinar el sistema de tratamiento mas viable para ser implementado teniendo en cuenta variables ambientales, socioeconómicas, tecnológicas y de costos.

² GUERRERO J. Modelo de selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades. [online]. Available from internet: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/agua2003/gerre.pdf>

2 MARCO DE REFERENCIA DEL ESTUDIO

El campo de producción de estudio se encuentra ubicado en el municipio de San Martín (Meta) con una extensión aproximada de 7 ha.

2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y BIÓTICAS DEL MUNICIPIO DE SAN MARTÍN META³

El Municipio de San Martín, se encuentra ubicado geográficamente al Centro Occidente del Departamento del Meta, a 65 kilómetros del su capital Villavicencio. Tiene una extensión de 6.656 Km² correspondiendo al 12.86 % de la superficie total del Departamento del Meta, presenta una región caracterizada por sabanas planas al 40% y sabanas onduladas al 60%, con una altitud de 420 m.s.n.m y una temperatura de 29°C. (PBOT del municipio).

Este municipio Cuenta con un potencial ganadero y turístico, ambos sin una explotación adecuada, debido a la perdida de articulación de regiones a la funcionalidad incluso de otros municipios por problemas de identidad. El municipio se caracteriza por presentar cuatro regiones bien definidas en cuanto a uso y manejo de los suelos: Zona aluvial caracterizada por presentar los suelos más fértiles de la región, en ella se encuentra la mayoría de los cultivos explotados a nivel comercial como también un porcentaje considerable de ganadería. La agricultura predomina a lo largo y ancho de los ríos Ariari, Humadea, guape y Guamal y la ganadería en las riberas de los ríos Manacacias, como también en las márgenes de los caños camoa, iraca especialmente. Zona de terrazas; caracterizada por presentar suelos con pendientes generalmente menores del 3%, dedicadas casi exclusivamente a la ganadería extensiva

³ CORMACARENA. Agenda ambiental de San Martín de los Llanos –Meta. 2009

El clima del piedemonte del departamento del Meta y los llanos se caracteriza por tener una relativa uniformidad de temperatura a través del año, típica de los climas tropicales en general, y una marcada estacionalidad de precipitación, lo cual determina la presencia de un clima cálido húmedo a muy húmedo tropical. Tomando como referencia la estación meteorológica “El Barbascal” del IDEAM, la temperatura promedio anual del municipio de San Martín fluctúa entre 25 °C y 28 °C. con un régimen de precipitaciones de tipo monomodal es decir un periodo largo de lluvias (marzo a noviembre) y un periodo corto de sequía (diciembre a febrero), siendo mayo el mes más lluvioso y diciembre el de mayor sequía

Las condiciones generales del municipio lo definen como una zona potencial productora de agua y de otros bienes y servicios ambientales, el municipio se encuentra bañado por un sin número de arroyos, caños y ríos que forman la cuenca del río Ariari y el Meta único río que nace y recorre gran parte del municipio por su límite con Puerto Lleras y Mapiripan es el río Manacacias, principal afluente del río Meta, otro de gran importancia es el río Guamal. Su riqueza hídrica la complementan los caños Camoa, Congo, Cumaral, Melua, Iraca, Humadea, Maracaibo, Rubiano, Garibay y Chunaipo. El caño de mayor importancia es el camoa que se desplaza desde su nacimiento antes del casco urbano, seguido del caño Garibay y el caño chunaipo que entre ellos cruzan gran parte del municipio o le sirven de límite a alguna representación político administrativa.

El Municipio presenta regiones naturales caracterizadas por su vegetación, los bosques de galería que se encuentran a lo largo de las corrientes hídricas, compuestos por árboles densos y altos destinados a su conservación y explotación selectiva de especies de valor comercial

En el municipio de San Martín, como en el Departamento del Meta la mayor parte del territorio se encuentra dedicado a la explotación agropecuaria, solo una

pequeña área permanece aun bajo bosque natural que sirve como hábitat de las especies silvestres que aún permanecen en la zona. No existe un inventario de la fauna existente, sin embargo como aproximación a la fauna del municipio de San Martín, se pueden citar algunos nombres vulgares como son: el zorrola ardilla, el curi, el oso hormiguero, oso palmero, el murciélago, el ratón y el cusumbo solino; reptiles como la iguana, la tortuga, el terecay, icotea, cachirre, el mato. El camaleón, el sapo y una variedad de culebras; peces ornamentales y de consumo.

Dentro de las amenazas de tipo natural, en el municipio de San Martín, están registradas las siguientes: los fenómenos asociados a las inundaciones (en un alto grado al occidente del municipio, y en grado medio al oriente del municipio), sismos y remoción en masa. Las inundaciones se presentan especialmente en las veredas Alto Rubiano, Bajo Camoa afectada por el río Humadea y la vereda la camachera debido al explayamiento del río Ariari.

2.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL CAMPO DE PRODUCCIÓN

El Campo se encuentra en la cuenca sedimentaria de los Llanos Orientales. Las características geológicas superficiales permiten clasificar el área como una zona de sedimentación masiva asociada a la dinámica fluvial del piedemonte llanero colombiano.

En el año de 1989 se perforó en el Campo de estudio el pozo 1 por parte de ECOPETROL; luego de su perforación y completamiento, el pozo inició una prueba extensa de producción a partir del 25 de enero de 1990 (6922' – 6928'). Durante este período el pozo produjo en forma intermitente debido a los problemas climatológicos que coparon la capacidad de almacenamiento y afectaron el transporte de crudo, por esta razón se decidió suspender prematuramente la prueba. El pozo fue cerrado en el año 1990, mediante la instalación de dos tapones en cemento, sin embargo en diciembre del año 2004 la

empresa que actualmente administra el campo en asocio con ECOPETROL S.A. reabre el pozo y se realizan pruebas extensas de producción y desde entonces el transporte de crudo se realiza por carrotanques desde el Campo hasta Bogotá.⁴ Una vez evaluada la viabilidad del pozo la empresa procedió a solicitar licencia ambiental global al entonces Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial para la perforación de tres pozos, de los cuales solo se llevan dos pozos denominados Pozos 2 y 3, teniendo que cumplir desde entonces con la normatividad ambiental aplicable.

Actualmente el crudo que se obtiene tiene las siguientes características:

Tabla 1. Características del crudo

ANALISIS	METODO	UNIDAD	CRUDO ANALIZADO
AGUA POR KARL FICHER	ASTM D-4377	% Peso	1.54
DENSIDAD A 15 C	ASTM D-5002	g/mL	0.9907
GRAVEDAD API	Calculado	API	11.2
PUNTO DE FLUIDEZ	ASTM D-5853	C	+ 3

Fuente: proporcionado por la empresa

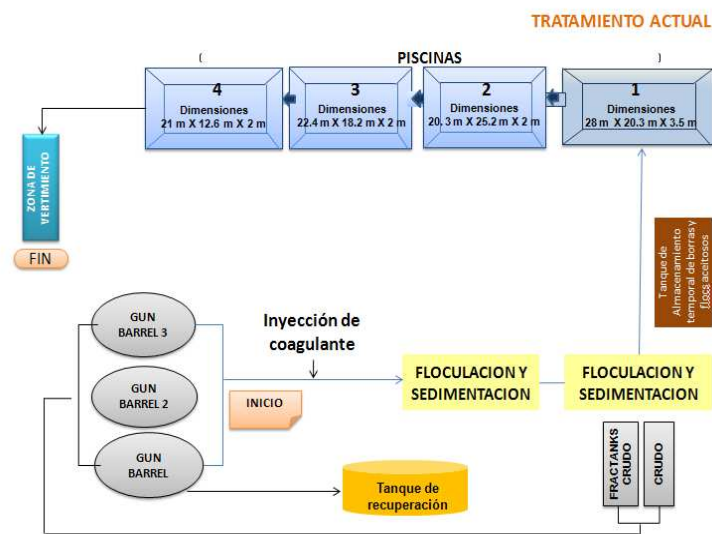
2.3 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DEL CAMPO DE PRODUCCIÓN

Actualmente se tienen en funcionamiento dos pozos de los tres perforados correspondientemente denominados pozos 1 y 3, de los cuales se extraen en promedio 138 barriles de petróleo que representan el 5% del fluido total extraído, el restante 95% constituye el agua asociada al petróleo separada en los gum barrels, la cual debe ser objeto de tratamiento para vertirla en un campo de infiltración cumpliendo con los parámetros de la normatividad ambiental vigente. Con este fin en el campo se cuenta con un sistema de tratamiento de aguas

⁴ IFM. Estudio de Impacto Ambiental Campo Descubierta No Desarrollado. 2006

residuales industriales instalado desde la perforación del primer pozo el cual consiste en un tratamiento de coagulación, floculación y estabilización en piscinas de pondaje 1, 2, 3 y 4 donde finalmente obtiene la temperatura adecuada para ser vertida. Para el almacenamiento temporal de borras y flocs aceitosos se cuenta con un frack tank (Ver figura 1).

Figura 1 Tratamiento actual en el campo



Fuente: El Autor

De acuerdo con la observación realizada en campo, la zona de vertimiento presenta manchas oscuras sobre el pasto como se aprecia en la fotografía 1, constatando el exceso de grasas y aceites presentes en el vertimiento líquido, igualmente en las cuatro piscinas existentes se observa iridiscencia y trazas de aceite flotante originado en gran parte por la alta temperatura inicial (70 C), la falta de mezcla rápida del coagulante aplicado, falta de control de pH para la dosis adecuada de coagulante y sumado a lo anterior posiblemente por la falta de mantenimiento periódico, lo cual indica que la solución que se proponga involucre la reducción de temperatura inicial y mejore el uso del coagulante empleado o en su defecto no se utilice coagulante.

A continuación se mencionan algunas de las características del sistema descrito anteriormente en la tabla 2.

Foto 1. Zona de vertimiento actual



Fuente: Fotos proporcionadas por la empresa

Tabla 2 Características del sistema de tratamiento actual

CARACTERÍSTICAS	VALOR	UNIDADES
CAUDAL	345,6	m3/día
ÁREA UTILIZADA	1775,8	m2
VOLUMEN ESTIMADO	4403,385	m3
TIEMPO DE RETENCIÓN	12,74	días
TEMPERATURA INICIAL	70	C
TEMPERATURA FINAL	28	C
TEMPERATURA AMBIENTE	28	C
pH afluente Pozo 1	6,18	unidades
pH afluente Pozo 3	6,69	unidades
pH efluente	6,38	unidades
DBO5 afluente	191	mg/L O2
DBO5 efluente	98	mg/L O2
DQO afluente	311	mg/L O2
DQO efluente	164	mg/L O2
SST afluente	633	mg/L
SST efluente	154	mg/L
Grasas y aceites afluente	872	mg/L
Grasas y aceites efluente	213	mg/L

Fuente: Análisis de laboratorio y medición en campo

Los análisis de laboratorio del efluente y del afluente proporcionados por la empresa, presentan un incumplimiento leve en el porcentaje de remoción de grasas y aceites y de sólidos suspendidos totales respecto a lo establecido en el artículo 72 del decreto 1594 de 1984, ya que actualmente solo se presenta una remoción del 75% como se muestra en el anexo 1, al igual en cuanto a que a la salida del vertimiento se tiene una concentración de grasas y aceites de 213 mg/l se tendría un mayor margen de incumplimiento si eventualmente llegase a ser aprobado el proyecto de resolución del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial -MAVDT- ahora llamado Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible -MADS- proveniente del artículo 76 del decreto 3930 de 2010 el cual contempla un límite máximo de 20 mg/l de grasas y aceites⁵. Con respecto a los demás parámetros analizados (Metales pesados, Temperatura, compuesto nitrogenados, sulfuros, cloruros, entre otros) a excepción de la DBO₅ con una remoción del 48% presenta una concentración más baja que algunos de los límites establecidos en el artículo 74 del Decreto 1594 de 1984.

También dentro de la observación del campo además del aspecto ambiental de la generación de vertimiento líquido que tiene como impacto asociado la alteración de las propiedades del suelo (en especial la propiedad física de infiltración y capacidad de retención), se identifican otros aspectos ambientales como la generación de residuos peligrosos a causa de las borras retiradas por la limpieza de las piscinas además de los lodos aceitosos obtenidos en el proceso de coagulación-floculación y la intervención en el paisaje y uso del suelo generando posibles impactos ambientales a las fuentes hídricas cercanas (cuenca del río Corcovado) en cuanto a la posibilidad de desbordamiento de las piscinas en época invernal (2000 a 3000 mm anuales de precipitación⁶), como la alteración del suelo en la generación de procesos erosivos y alteración del comportamiento de la fauna

⁵ MAVDT. Proyecto de resolución por la cual se establecen las normas y los valores límite máximos permisibles de parámetros en vertimientos puntuales a sistemas de alcantarillado público y a cuerpos de aguas continentales superficiales de generadores que desarrollen actividades industriales, comerciales o de servicio y se dictan otras disposiciones [on line]. Available from internet: <http://www.grupaac.com/wp-content/uploads/2010/11/proyresvertimientos.pdf>

⁶ IFM. Estudio de Impacto Ambiental Campo Descubierta No Desarrollado. 2006

incluyendo al ganado existente, de aquí que la solución a implementarse ofrezca un buen porcentaje de remoción de grasas y aceites que garantice el límite máximo mencionado anteriormente y que además busque la disminución de residuos peligrosos tras la recuperación oportuna de las grasas y aceites separables y minimice igualmente el área de intervención que a su vez implicaría una reducción en el tiempo de retención hidráulica.

3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES PARA LA REMOCIÓN DE GRASAS Y ACEITES APLICABLES A LA INDUSTRIA PETROLERA

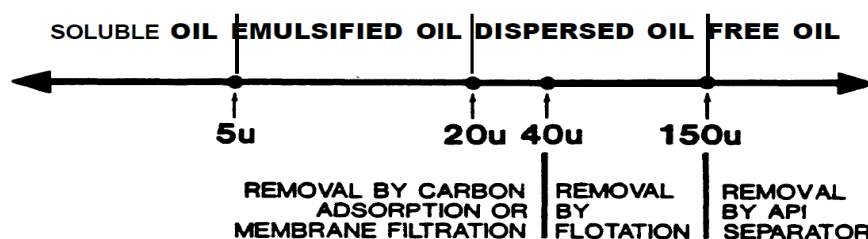
La tecnología de control para la remoción de grasas y aceites varía en complejidad, aunque los procesos básicos involucran recolección y recuperación de aceites valiosos y la remoción de contaminantes indeseables antes de ser descargados a un sistema receptor ya sea este suelo o agua. Los sistemas de tratamiento de agua residual operados con aguas residuales del procesamiento de aceite son por lo general más grandes y más complejos que los encontrados en otras industrias. Estos sistemas generalmente incluyen líneas de recolección, cajas de unión, cavidades recolectoras y canales que transportan el agua residual desde las unidades de proceso a los separadores de agua y aceite.

Los aceites y grasas contenidos en el agua residual proveniente de las industrias, pueden removerse tras el uso de técnicas ampliamente aceptadas. En cuanto que la remoción de las grasas y aceites depende de la condición de mezcla agua-aceite, el tipo de equipo a usar debe ser cuidadosamente seleccionado.

Los tipos de mezcla agua-aceite puede clasificarse como grasas y aceites presentes ya sea como aceite libre, aceite disperso, aceite emulsificado o aceite disuelto. La figura 2 muestra el rango de clasificación y tamaño de las gotas de aceite encontrado en las aguas residuales junto con su método de tratamiento tradicional⁷.

⁷ChoongHee Rhee, Paul C. Martyn, Jay G. Kremer. Removal Of Oil And Grease In Oil Processing Wastewaters. [on line]. Available from internet: <http://infohouse.p2ric.org/ref/02/01442.pdf>

Figura 2 Clasificación y rango de tamaño de las gotas de aceite



Fuente: Rhee, Paul C. Martyn, Jay G. Kremer. Removal Of Oil And Grease In Oil Processing Wastewaters

3.1 TEORÍA DE LA SEPARACIÓN AGUA-ACEITE POR GRAVEDAD

3.1.1 Separador Api (American Petroleum Institute)

La función principal de un separador de agua y aceite, tal como el separador API es separar el aceite libre de las aguas residuales. Tales separadores por gravedad no separarán gotas de tamaño menor a 150 micras (aceite libre), ni tampoco romperán emulsiones. Las tres fuerzas principales actuantes sobre una gota de aceite discreta son el empuje, el arrastre y la gravedad. El empuje sobre una gota de aceite es proporcional a su volumen y la fuerza de arrastre es proporcional al área superficial de la gota. Si el diámetro de una gota de aceite decrece, la relación entre volumen y área superficial también decrece. Debido a esta relación de tamaño de gota, las gotas más grandes tienden a elevarse, mientras que las más pequeñas tienden a permanecer suspendidas.

En general el ascenso de las gotas de crudo es función de dos fuerzas:

La fuerza de ascenso: $F_b = \frac{1}{6} \pi d^3 (\rho_w - \rho_o) g$

La fuerza de arrastre: $F_d = \pi / 8 C_D d^2 \rho_w V_s^2$

Donde:

C_D = Coeficiente de arrastre de Newton

$C_D = 24/Re$ para $Re < 1$ (Flujo laminar)

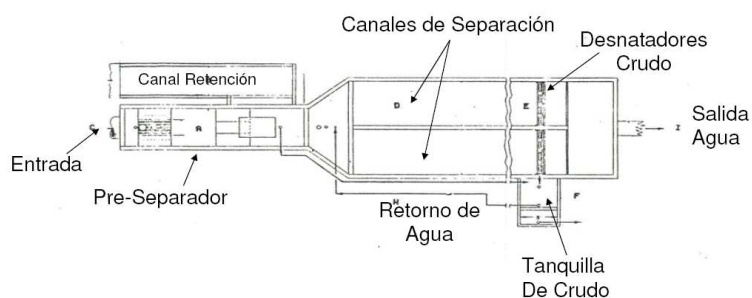
$Re = V_s d/\eta$, donde η es la viscosidad dinámica del agua

Igualando las ecuaciones F_b y F_d y sustituyendo C_D , se llega a la ecuación que gobierna el ascenso de las gotas de crudo, conocida como la Ley de Stoke's

$$V_s = \frac{1}{18} g/\mu (\rho_w - \rho_o) d^2$$

Donde: μ = Viscosidad absoluta del agua

Figura 3 Separador American Petroleum Institute –API-



Fuente: MORALES A, Guillermo J. SEPARACIÓN DE FLUIDOS. NEXT 2006

Con diámetros de partículas mayores a 150 micras, la tasa de ascenso (cm/s) de gotas de aceite en el agua residual puede ser expresado como:

$$V_s = 1.226((\rho_w - \rho_o)/\mu_w)$$

Donde:

V_s = tasa de ascenso de las gotas de aceite en el agua residual, en cm/s

ρ_w = gravedad específica del agua residual a temperatura de diseño del flujo.

ρ_o = gravedad específica del aceite a temperatura de diseño del flujo

μ_w =viscosidad absoluta del aceite en el agua residual a temperatura de diseño, en centipoises.

El Instituto Americano de Petróleo –API-, ha fijado valores límites que deben ser considerados en su diseño como son:

Velocidad máxima flujo horizontal: 15 veces la velocidad de ascenso de las gotas

(Vs), con un máximo de 91.4 cm/min (3 pies/min)

Profundidad entre 0.91 a 2.4 m (3 a 8 pies)

Relación de profundidad / Ancho entre 0.3 a 0.5

Ancho entre 1.8 a 6.0 m (6 – 20 pies)

Área transversal vertical m²: $AC = QM/VH$. Donde:

QM= Caudal de agua a tratar en m³/min

VH= Velocidad horizontal – superficial en m/min

Ancho (B) y Profundidad (d):

$D \times B = AC$ y se debe cumplir $0.3 \leq d/B \leq 0.5$

Si AC es mayor 14.86 m² (160 pies²), se determina el número de canales requeridos:

$N \text{ requerido} = AC/14.86$

Longitud del separador en m, se determina mediante la siguiente relación:

$L = F (VH/Vs)d$

F= Factor de corrección

d= Profundidad del canal en m

El factor de corrección F, se determina por la relación:

$F = 1.2 F_t$, donde F_t es el factor de corrección por turbulencia, determinado de acuerdo a:

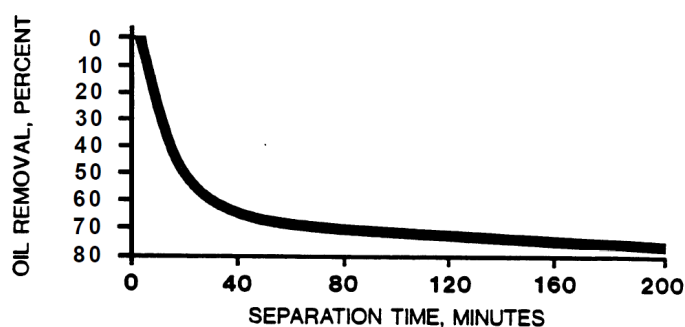
Tabla 3 Factor de corrección por turbulencia

VH/Vs	Ft
20	1.45
15	1.37
10	1.27
6	1.14
3	1.07

Fuente: MORALES A, Guillermo J. SEPARACIÓN DE FLUIDOS. NEXT 2006

Cuando una mezcla de agua - aceite ya sea con aceite libre o disperso se lleva a un estado de relativa quietud y dándose el tiempo suficiente, las gotitas de aceite se unirán y eventualmente se separan del agua residual, formando una capa de aceite continua flotante la cual puede ser desnatada. La figura 4 muestra el efecto del tiempo de retención sobre la remoción de aceite mediante separación por gravedad. Esta figura muestra que una reducción drástica de aceite (aproximadamente del 70%) se puede lograr dentro de los 40 min y de que no hay mejora apreciable en la remoción de aceite después de dos horas de retención.

Figura 4 Efecto del tiempo de detención sobre la remoción de aceite mediante separación por gravedad



Fuente: ChoongHee Rhee, Paul C. Martyn, Jay G. Kremer. Removal Of Oil And Grease In Oil Processing Wastewaters

VENTAJAS

Los separadores API presentan las siguientes ventajas:

- Efectividad para eliminar el grueso de la contaminación por aceites
- Seguridad en su funcionamiento
- Facilidad de mantenimiento y operatividad

DESVENTAJAS

- No separan gotas de tamaño menor a 150 micras (aceite libre), ni tampoco romperán emulsiones
- Variaciones bruscas de caudal que conllevan a alteraciones importantes en el régimen de funcionamiento de la unidad y, en consecuencia, en el rendimiento
- Requiere gran superficie para caudales elevados y tienen influencia de las condiciones meteorológicas, como viento (generación de turbulencias en superficie por oleaje) o temperatura
- Por la gran superficie que requieren se da lugar a evaporaciones de aquellas grasas y aceites más volátiles, creando contaminación atmosférica, así como dan lugar a atmósferas peligrosas.
- Costo inicial Alto

3.1.2 Separadores De Placas

Los separadores de placas, consisten en modificaciones hechas a los separadores API, al colocarles placas internas para mejorar la coalescencia de las gotas de crudo.

Dentro de estos los más conocidos son:

- Placas Paralelas (PPI)

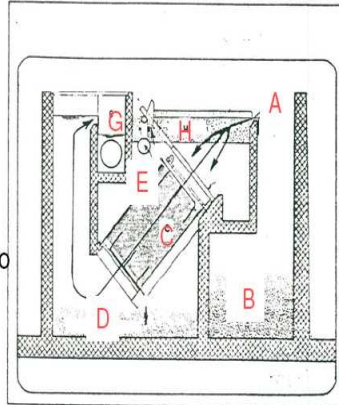
Figura 5 Separador de placas paralelas

A = Entrada.

B = Tanque Arena

C = Paquetes de Placas.

D = Compartimiento de Lodos



E = Línea Desnatadora.

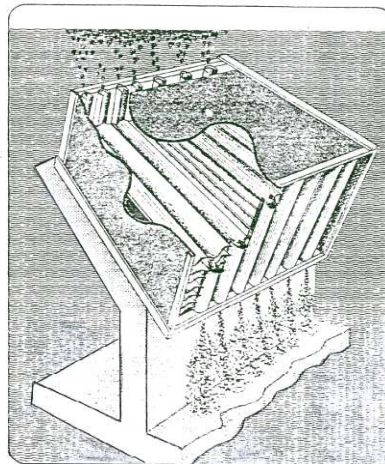
G = Canal de Salida.

H = Capa de Crudo

Fuente: MORALES A, Guillermo J. SEPARACIÓN DE FLUIDOS. NEXT 2006

- Placas corrugadas (CPI)

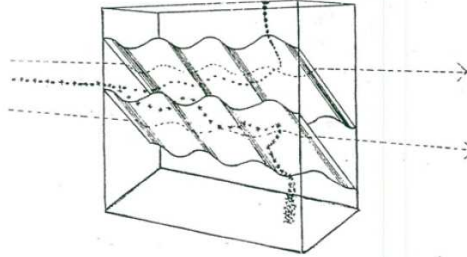
Figura 6 Placas corrugadas



Fuente: MORALES A, Guillermo J. SEPARACIÓN DE FLUIDOS. NEXT 2006

- Placas de flujo cruzado (CFI)

Figura 7 Orientación de placas en el interceptor de flujo cruzado



Fuente: MORALES A, Guillermo J. SEPARACIÓN DE FLUIDOS. NEXT 2006

En el caso específico de las placas paralelas inclinadas la parte inferior de cada una proporciona más área superficial, lo que permite la coalescencia de glóbulos más grandes de gotas de crudo suspendidas e igualmente permite que cualquier sedimento se deslice hacia la parte inferior de cada placa.

VENTAJAS DE LOS SEPARADORES DE PLACAS

En comparación con el separador API el separador de placas tiene las siguientes ventajas

- Menor tamaño, implica menor costo y área
- Coalescencia de gotas menores a 60 μ
- Mayor eficiencia en remoción de crudo, con ≤ 10 ppm crudo a la salida
- Entre los separadores de placas, están los denominados CPI, consistentes en un conjunto de placas corrugadas paralelas, formando un paquete con un ángulo con la horizontal de 45 grados. Las gotas de aceite se acumulan en las crestas de las placas, facilitando el ascenso a la superficie de las mismas al formar gotas de mayor tamaño por coalescencia. Los sólidos en

suspensión decantados deslizarán por los valles de las placas hasta la zona de evacuación mediante bombeo⁸

Entre las desventajas de los separadores de placas se encuentran las siguientes:

- No eliminan aquellas grasas y aceites que no estén en estado libre.
- Costo inicial Alto

3.1.3 Tanques Desnatadores

Sistemas constituidos por tanques cilíndricos, con distribuidores y paredes internas para incrementar el tiempo de residencia y lograr la separación del crudo del agua

Presentan en la parte superior, recolectores del crudo separado.

Existe otro diseño que se asemeja a su funcionamiento a un separador API.

VENTAJAS⁹:

Al disponer de un volumen elevado, además de la separación de aceites, tiene lugar una cierta capacidad de homogeneización del influente, lo que redundará en una mayor eficacia de los tratamientos posteriores.

La posibilidad de dosificación en la línea de alimentación (zona de máxima turbulencia) de algún producto con propiedades desémulsionantes, que va a mejorar el rendimiento de separación de aceites.

Al no tener partes mecánicas móviles, como ocurre en los separadores API, las necesidades de mantenimiento son mínimas.

⁸ J.A SAINZ SASTRE, Ecolaire España S.A. Tratamiento de Aguas Residuales Separación de aceites de efluentes industriale. [on line]. Available from internet: <http://www.infoambiental.es/html/files/pdf/amb/ig/409/04ARTICULOEN.pdf>

⁹ Idem

Pueden trabajar a nivel fijo o bien a nivel variable, lo que posibilita en este último caso que actúen como tanque de regulación de caudal.

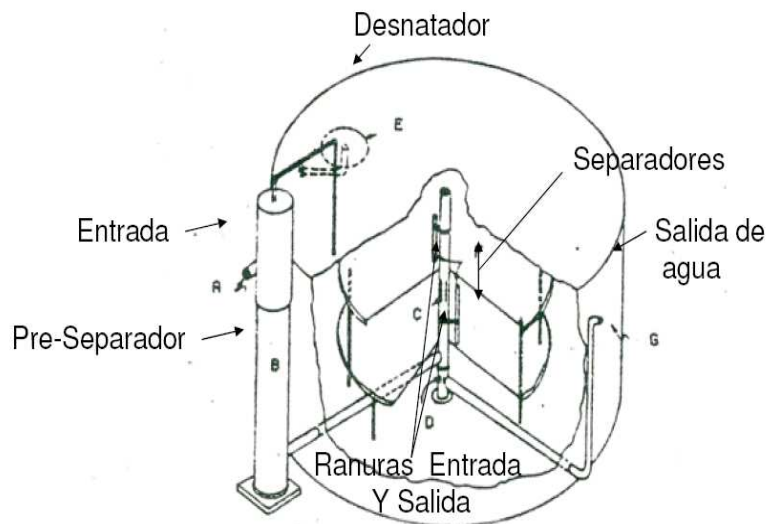
Eliminan una parte muy importante de la contaminación atmosférica generada por la evaporación de aceites en la planta de tratamiento, así como aumentan de forma notable la seguridad y salubridad de las instalaciones.

Por el Mantenimiento de forma continua de una capa de aceite en la superficie, permite que la cantidad de agua que se saca con el *skimmer* sea mínima

DESVENTAJA

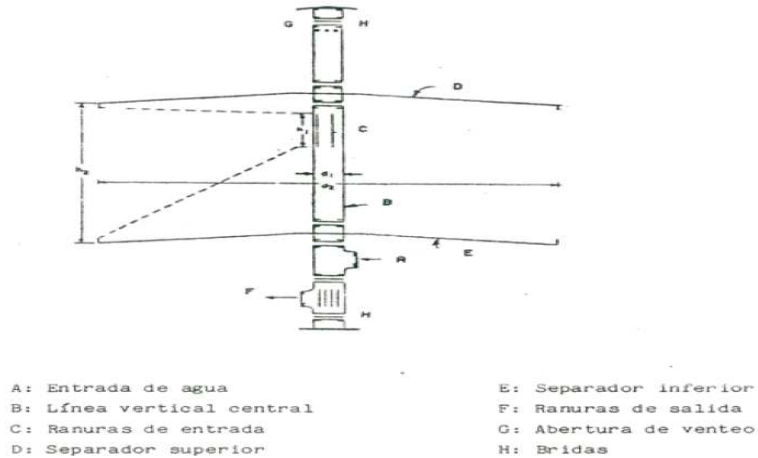
Elevado costo de primera instalación, muy superior a los separadores API o de Placas

Figura 8 Vista exterior tanque desnatador



Fuente: MORALES A, Guillermo J. SEPARACIÓN DE FLUIDOS. NEXT 2006

Figura 9 Vista interna tanque desnatador



Fuente: MORALES A, Guillermo J. SEPARACIÓN DE FLUIDOS. NEXT 2006

En el diseño del tanque se deben cumplir:

1. La velocidad en el tubo vertical exterior, debe ser 0.15 m/s (0.5 pies/s) para lograr la separación del gas
2. En la línea vertical interna, la velocidad del agua:
0.6 a 1.2 m/s (2 a 4 pies)
3. Las ranuras de entrada como mínimo 1.3 cm (0.5 pulg) de ancho y velocidad del agua a través de ellas de 0.9 m/s (3 pies/s) máximo

3.2 Separación Por Flotación

La flotación consiste en generar pequeñas burbujas de gas (aire), que se asociarán a las partículas presentes en el agua y serán elevadas hasta la superficie, de donde son arrastradas y sacadas del sistema. Obviamente, esta forma de eliminar materia en suspensión será adecuada en los casos en los que las partículas tengan una densidad inferior o muy parecida a la del agua, así como en el caso de emulsiones, es decir, una dispersión de gotas de un líquido

inmiscible, como en el caso de aceites y grasas. En este caso las burbujas de aire ayudan a “flotar” más rápidamente estas gotas, dado que generalmente la densidad de estos líquidos es menor que la del agua.

La flotación como proceso de descontaminación se realiza con microburbujas, de diámetros del orden de 15-100 micrómetros (*m) y con burbujas medianas (100-600 *m). En el primer caso, la capacidad de remoción de carga de estas burbujas es muy pequeña, sin embargo, hoy en día existen técnicas y equipos que generan burbujas de tamaño intermedio.

Las burbujas se añaden, o se induce su formación, mediante uno de los siguientes métodos:

1. Aireación a presión atmosférica (flotación por aireación).
2. Saturación con aire a la presión atmosférica, seguido de la aplicación del vacío al líquido (flotación por vacío).
3. Inyección de aire en el líquido sometido a presión y posterior liberación de la presión a que está sometido el líquido (flotación por aire disuelto DAF).

Normalmente, se suelen añadir determinados compuestos químicos para facilitar el proceso de flotación. En su mayor parte, estos reactivos químicos funcionan de manera que crean una superficie o una estructura que permite absorber o atrapar fácilmente las burbujas de aire. Los reactivos químicos inorgánicos, tales como las sales de hierro o de aluminio y la sílice activada, se emplean para agregar las partículas sólidas, de manera que se cree una estructura que facilite la absorción de las burbujas de aire. También se pueden emplear diversos polímeros orgánicos para modificar la naturaleza de las interfaces aire-líquido, sólido líquido, o de ambas a la vez. Por lo general, estos compuestos actúan situándose en la interface para producir los cambios deseados.

3.2.1 Separación de agua-aceite por flotación con aire disuelto –DAF-

Los dispositivos de flotación por aire disuelto (DAF) utilizan el concepto de separación por gravedad para la remoción de aceites y grasas pero tienden a ser más efectivos que los separadores API en la remoción de la mezcla de aceite disperso debido a que el diferencial de la fuerza de empuje sobre las gotas es mejorado por la pequeñas burbujas de aire inducido.

En los sistemas DAF (Flotación por Aire Disuelto), el aire se disuelve en el agua residual a una presión de varias atmósferas, y a continuación se libera la presión hasta alcanzar la atmosférica. En las instalaciones de pequeño tamaño, se puede presurizar a 275- 230 kPa mediante una bomba la totalidad del caudal a tratar, añadiéndose el aire comprimido en la tubería de aspiración de la bomba.

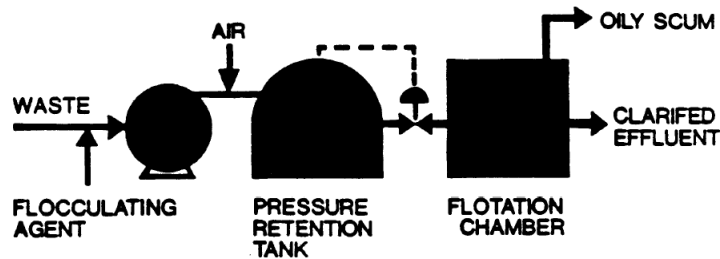
El caudal se mantiene bajo presión en un calderín durante algunos minutos, para dar tiempo a que el aire se disuelva. A continuación, el líquido presurizado se alimenta al tanque de flotación a través de una válvula reductora de presión, lo cual provoca que el aire deje de estar en disolución y que se formen diminutas burbujas distribuidas por todo el volumen de líquido. Un gran número de burbujas de aire (gas) al ascender hasta la superficie arrastran el crudo emulsionado

En general el aire (gas) es disuelto a saturación en una parte del agua mediante cámaras a presión. Mediante distribuidores ubicados en el fondo del tanque, el agua saturada del aire (gas), es descargada en el cuerpo de agua que se encuentra a presión del ambiente. El dispositivo DAF se reporta como efectivo tras producir un efluente con una concentración entre 1 y 20 mg/l de grasas y aceites

Las figuras 10 y 11 muestran esquemas sobre simplificados de los dispositivos DAF con y sin sistema de reciclaje. En la figura 10, la corriente entera de desperdicio es saturada con aire bajo presión, seguido por una subsecuente

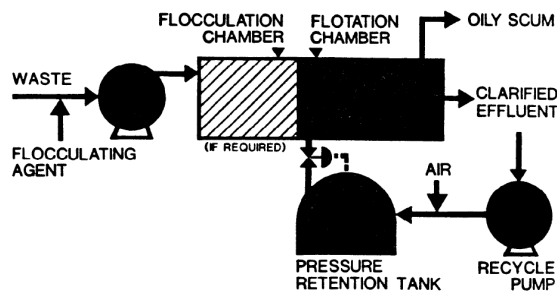
liberación de la presión y formación de burbujas a la entrada de la cámara de flotación. Este esquema crea una solución máxima de gas a cualquier presión, y de esta forma lograr un máximo contacto de burbuja con el petróleo.

Figura 10 Esquema de flotación por aire disuelto sin sistema de reciclaje



Fuente: ChoongHee Rhee, Paul C. Martyn, Jay G. Kremer. Removal Of Oil And Grease In Oil Processing Wastewaters

Figura 11 Esquema de Flotación de aire disuelto con sistema de reciclaje



Fuente: ChoongHee Rhee, Paul C. Martyn, Jay G. Kremer. Removal Of Oil And Grease In Oil Processing Wastewaters

En las instalaciones de mayor tamaño, se recircula parte del efluente del proceso de DAF (entre el 15% y el 20 %), el cual se presuriza, y se semi-satura con aire. El caudal recirculado se mezcla con la corriente principal sin presurizar, antes de la entrada al tanque de flotación, lo que provoca que el aire deje de estar en disolución y entre en contacto con las partículas sólidas a la entrada del tanque.

La presión es liberada cuando la corriente de reciclaje que contiene burbujas es mezclada con el flujo entrante de agua residual no tratada. Un dispositivo DAF con un sistema de reciclaje no desintegra el floc formado por la acción cortante de la bomba de presión. Sin embargo el sistema de reciclaje requiere de una cámara de flotación grande. En la figura 11, se observa la operación de reciclaje.

Este sistema presenta las siguientes ventajas y desventajas¹⁰

Ventajas

- Más efectivos que los separadores API en la remoción de la mezcla de aceite disperso
- El dispositivo DAF se reporta como efectivo tras producir un efluente con una concentración entre 1 y 20 mg/l de grasas y aceites
- Bajo Consumo de energía
- Mayor porcentaje de separación de crudo 98%
- No requieren de Operador continuamente
- Alto porcentaje de remoción en periodos cortos de tiempo de 6 a 10 min aprox
- Requiere poca área de separación efectiva

Desventajas

- Un dispositivo DAF con un sistema de reciclaje no desintegra el floc formado por la acción cortante de la bomba de presión. Sin embargo el sistema de reciclaje requiere de una cámara de flotación grande
- Costo de mantenimiento Alto

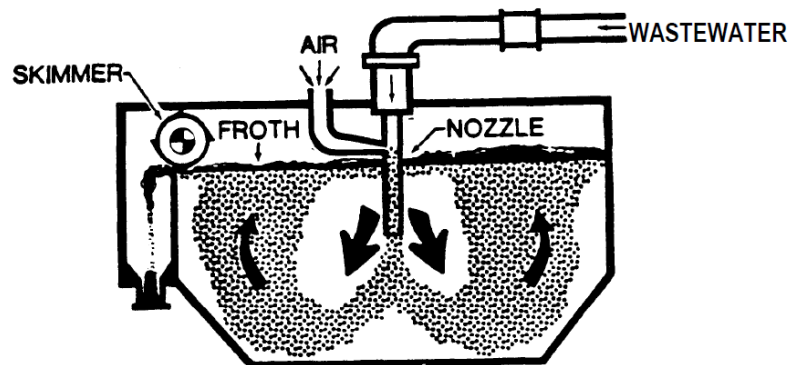
3.2.2 Separación de agua-aceite por flotación con aire inducido –IAF-

¹⁰ Antonio De Turrís et al. Tratamiento de aguas de producción por flotación con aire disuelto. [on line]. Available from internet: http://www.interciencia.org/v36_03/211.pdf

El principio de la flotación por aire inducido consiste en que una mezcla íntima de aire y líquido cargado de minerales es forzada a entrar por medio de boquillas con lo cual se proporciona la acción separadora necesaria para crear millones de burbujas. Las burbujas son luego diseminadas a lo largo de la cámara de flotación. El aceite y los sólidos suspendidos atrapados en las burbujas de aire son llevadas a la superficie del agua donde forman una espuma (froth en la figura 12). Una paleta desnatadora (Skimmer en la figura 12) barre el aceite y la espuma cargada de sólidos a una carga de desbordamiento.

En general las unidades IAF, se basan en la agitación mecánica para inducir el aire ó el gas al agua, en caso de utilizar gas, los equipos son cerrados al ambiente

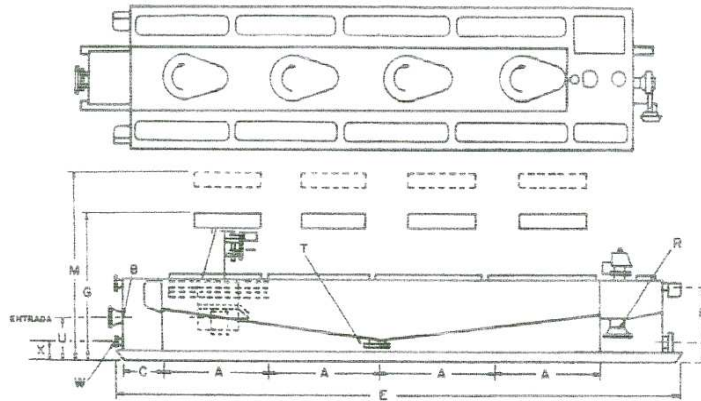
Figura 12 Sección transversal de la unidad de flotación por aire inducido



Fuente: ChoongHee Rhee, Paul C. Martyn, Jay G. Kremer. Removal Of Oil And Grease In Oil Processing Wastewaters

Los equipos están conformados por varias cámaras de mezclado como lo muestra la figura 13

Figura 13 Unidad IAF compuesta de varia cámaras de mezclado



Fuente: MORALES A, Guillermo J. SEPARACIÓN DE FLUIDOS. NEXT 2006

Entre las ventajas de este sistema encontramos que tienen un Alto porcentaje de separación de crudo en un 90% y no requieren de Operador continuamente¹¹

Se presenta una desventaja en el sistema IAF ya que los costos anuales de tratamiento son mayores respecto a los costos del sistema DAF, observando el punto crítico en el consumo energético de los sistemas IAF, adicionalmente tienen un Costo de mantenimiento Alto¹²

3.2.3 Flotación asistida químicamente con coagulación y floculación

Esta etapa involucra la desestabilización de suspensiones coloidales o emulsiones, condición necesaria para que estas se puedan unir en agregados de mayor tamaño, susceptibles de ser capturadas por las microburbujas. La agregación puede ser realizada vía coagulantes, floculantes o ambos y el tiempo de residencia en esta etapa dependerá del grado de dispersión de los sólidos (o

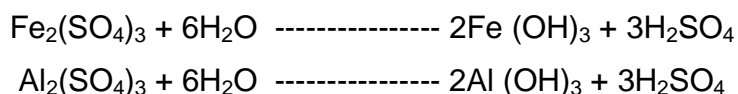
¹¹ *Ibid.*, p 24

¹² *Ídem*

emulsiones) a remover, del tipo y concentración de reactivos y de la hidrodinámica requerida.

Otros factores que influyen en el diseño de coaguladores o floculadores son las características del efluente, la cinética de adsorción de contaminantes, en el caso de usar precipitados coloidales adsorbentes y del punto de adición de los reactivos.

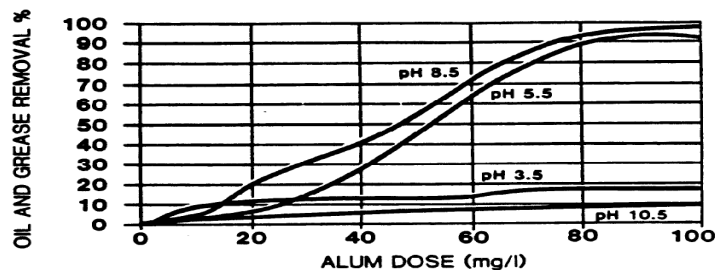
El uso de coagulantes químicos, tales como sales de aluminio o hierro, ha sido una parte integral del proceso DAF donde el rompimiento de la emulsión es necesario. Estos químicos funcionan tras modificar las propiedades de superficie líquido/líquido y líquido/aire. Por ende, aquellos coagulantes sirven para disminuir la tensión superficial entre la fase aceitosa dispersa y el agua residual además del aumento de la tensión superficial entre el burbujeador de aire y la fase aceitosa. En consecuencia estos químicos y el fenómeno físico tienden a incrementar la adhesión de la gota compuesta de aceite y aire. Mejorar esta adhesión puede también involucrar acidificación y demulsificación. Con una unidad DAF operando apropiadamente las refinerías pueden remover glóbulos de grasa y aceite de un tamaño mayor a 40 micras, representando esto una ventaja para mejorar el tratamiento utilizando un sistema DAF. Estos coagulantes generalmente reaccionan como:



Las figuras 14 y 15 muestran los efectos de los coagulantes químicos sobre la remoción de aceites y grasas. Estas figuras indican que el mejor resultado puede ser obtenido a pH 8.5. En este caso particular, la concentración inicial de aceites y grasas fue de 200 mg/l. Casi el 100% de los aceites y grasas fue removido a una dosis de Sulfato de Aluminio de 100 mg/l mientras que casi el 100% de los aceites y grasas fue removido a una dosis de 50 mg/l de Sulfato férrico. También se

puede notar que más del 85% de los aceites y grasas fueron removidos con sólo 10 mg/l de Sulfato férrico a un pH de 8.5. El pH es el parámetro de mayor control en la coagulación y una dosis más alta de coagulante sin embargo, no es necesariamente efectiva en la remoción de grasas y aceites.

Figura 14 Reducción de aceites y grasas con Sulfato de Aluminio

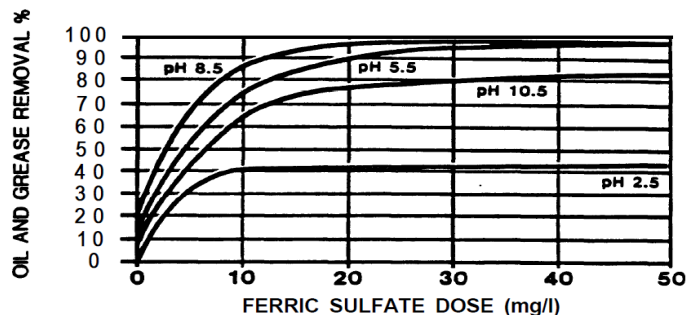


Fuente: ChoongHee Rhee, Paul C. Martyn, Jay G. Kremer. Removal Of Oil And Grease In Oil Processing Wastewaters

3.3 ELECTROCOAGULACIÓN, ELECTROFLOCULACIÓN Y ELECTROFLOTACIÓN

Es un sistema de tratamiento de aguas que no requiere el uso de Químicos, Polímeros o aditivos para su funcionamiento. Mediante la inducción de cargas eléctricas esta tecnología logra materializar el fenómeno de coagulación, parte esencial en el tratamiento de aguas.

Figura 15 Reducción de aceites y grasas con Sulfato férrico



Fuente: ChoongHee Rhee, Paul C. Martyn, Jay G. Kremer. Removal Of Oil And Grease In Oil Processing Wastewaters

Esta tecnología es altamente eficaz en el tratamiento de turbidez, el pH, los metales pesados y otros contaminantes comúnmente presentes en el agua, incluyendo las grasas y los aceites.

El proceso de electrocoagulación consiste en la inducción de corriente a través de un ánodo y un cátodo con lo cual se buscará la desestabilización de cualquier sustancia disuelta, ion o partícula eléctricamente suspendida presente en el agua.

Existen dos fenómenos clave dentro del proceso:

- La electrocoagulación es iniciada desde el ánodo cuando la corriente es aplicada al metal de sacrificio dentro de la solución. Este fenómeno da lugar a la desestabilización, a la coagulación y a la floculación. En la electrocoagulación los iones del metal liberados del ánodo se combinan con los contaminantes en el agua para formar flóculos de mayor tamaño.
- La Electroflotación es iniciada en el cátodo cuando la corriente es aplicada y se genera hidrógeno y oxígeno. Estos gases migran hacia la superficie favoreciendo el fenómeno de electro flotación. Al mismo tiempo, la presencia de oxígeno favorece la oxidación de sustancias presentes en la solución. En la electro flotación los gases generados del cátodo hacen que los flocs coagulados precipiten y la fase de menor densidad flote.

Figura 16 Cámara de Electrocoagulación



Fuente: WATERTONICS.ELECTROCOAGULATION

FASES DE LA ELECTROCOAGULACIÓN

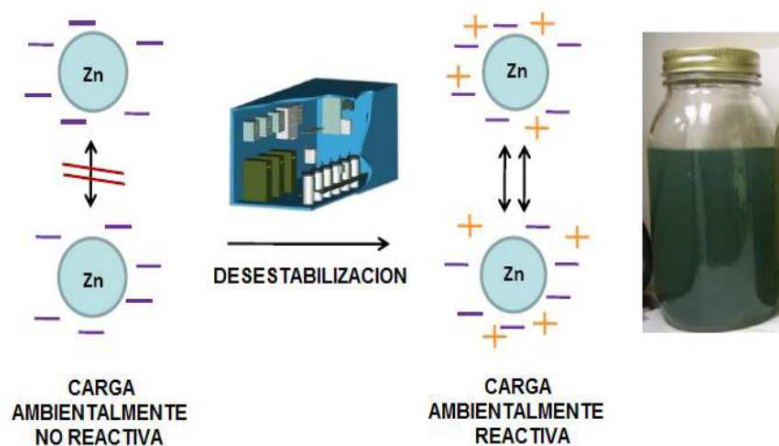
- Fase de desestabilización

Consiste en la neutralización de las cargas eléctricas que ocasionan que las partículas se encuentren en suspensión (Ver figura 17)

- Fase de coagulación

Consiste en la formación de partículas suspendidas de mayor tamaño a partir de las micro partículas desestabilizadas (Ver figura 18)

Figura 17 Fase de desestabilización

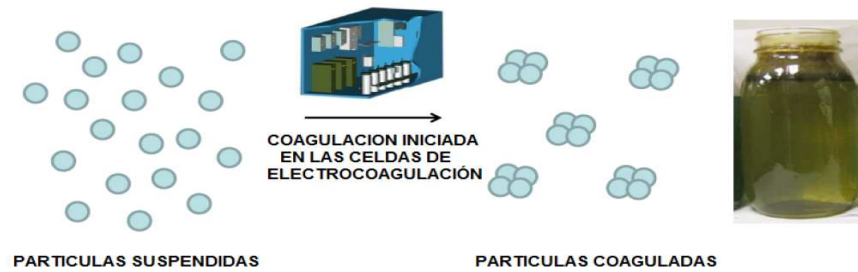


Fuente: WATERTONICS.ELECTROCOAGULATION

- Fase de Floculación

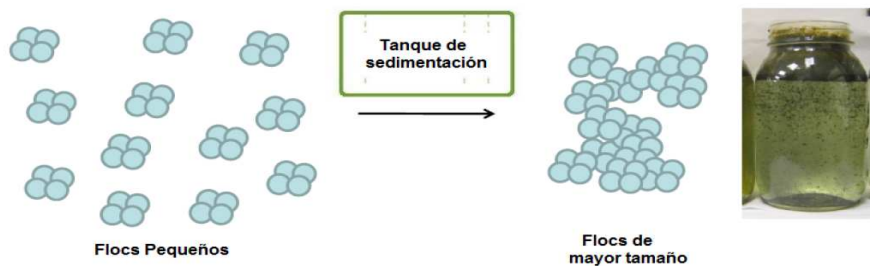
Consiste en el fenómeno de adsorción de pequeños flocs presentes dentro de la solución formado en la fase de coagulación. Esta fase da lugar a la formación de partículas de mayor tamaño. (Ver figura 19)

Figura 18 Fase de coagulación



Fuente: WATERTONICS.ELECTROCOAGULATION

Figura 19 Fase de Floculación

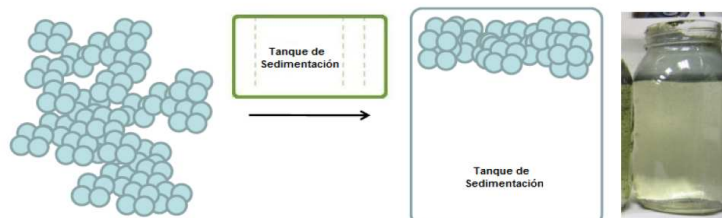


Fuente: WATERTONICS.ELECTROCOAGULATION

- Fase de Flotación / Sedimentación

Los gases liberados en el cátodo promueven la aglomeración y migración a la superficie de los flocs de baja densidad. Al mismo tiempo se favorece la sedimentación de los flocs de mayor peso y tamaño. (Ver figura 20)

Figura 20 Fase de flotación / sedimentación



Fuente: WATERTONICS.ELECTROCOAGULATION

VENTAJAS¹³

Ventajas de costos, eficiencias, tiempos de residencia, y protección al ambiente sobre los procesos químicos respectivos

Tiene una gran ventaja con respecto a la adición de los químicos, por ejemplo: no aumenta el número de sales en el agua a tratar; produce la mitad o una tercera parte de lodos

El aluminio o el hierro metálico que se desprende en forma iónica de los electrodos de sacrificio, es más eficiente que el contenido en las sales respectivo y por lo tanto se necesita menos cantidad de coagulante.

En la electrofloculación, se favorece la remoción de los contaminantes debido a que son arrastrados por las burbujas de gas que se generan en el sistema (H₂ y O₂), por lo que tienden a flotar en la superficie

DESVENTAJAS¹⁴

- A veces los electrodos se pasivan disminuyendo la eficiencia del proceso. Esto puede ser debido a compuestos que reaccionan y forman una capa o película sobre la superficie del electrodo.
- Es necesario desarrollar un sistema para limpiar en línea los electrodos, antes o cuando se pasivan.

3.4 SEPARACIÓN POR FILTRACIÓN

¹³ X Congreso bolivariano de ingeniería sanitaria y ambiental "Ambiente y desarrollo impulsado res del progreso" electrocoagulación electrocoagulación, electro floculación, electro flotación, y producción, in-situ, de cloro. [on line]. Available from internet: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/ecuador10/elec.pdf>

¹⁴ Ídem

La filtración es una operación en la que se hace pasar el agua a través de un medio poroso, con el objetivo de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión.

El medio poroso tradicionalmente utilizado es un lecho de arena, de altura variable, dispuesta en distintas capas de distinto tamaño de partícula, siendo la superior la más pequeña entre 0.15 y 0.3 mm. Es una operación muy utilizada en el tratamiento de agua potable, así como en el tratamiento de aguas para reutilización, para eliminar la materia en suspensión que no se ha eliminado en anteriores operaciones (sedimentación). En aguas industriales hay mas variedad en cuanto al material filtrante utilizado, siendo habitual el uso de Tierra de Diatomeas. También es habitual, para mejorar la eficacia, realizar una coagulación-floculación previa.

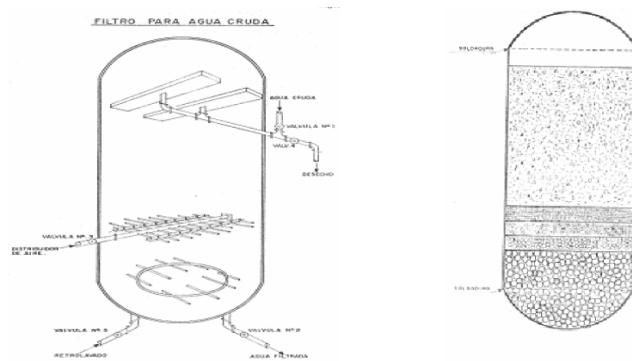
Hay muchas maneras de clasificar los sistemas de filtración: Por gravedad ó a presión, lenta ó rápida, de torta ó en profundidad.

Filtración por gravedad o filtración lenta: El agua circula verticalmente y en descenso a través del filtro por simple gravedad. Dentro de este tipo se puede hablar de dos formas de operar, las cuales llevan a tener una filtración lenta, apenas utilizados actualmente, o una filtración rápida. El mecanismo de la separación de sólidos es una combinación de asentamiento, retención, adhesión y atracción, por lo que se eliminan partículas mucho menores que el espacio intersticial. Es un sistema muy utilizado en tratamiento para aguas potables.

Filtración por presión o filtración rápida. Normalmente están contenidos en recipientes y el agua se ve forzada a atravesar el medio filtrante sometida a presión. También en este caso puede haber filtración lenta, en la que en la superficie del filtro se desarrolla una torta filtrante donde la filtración, a través de esa superficie, es por mecanismos físicos y biológicos. Por otro lado, en la

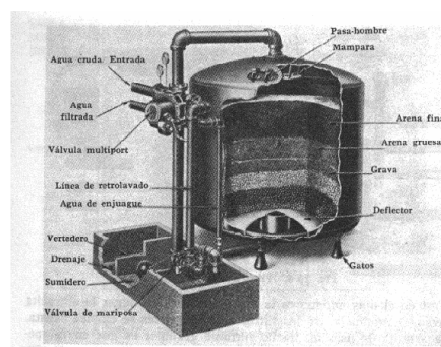
filtración rápida se habla de filtración en profundidad, es decir, cuando la mayor parte de espesor de medio filtrante está activo para el proceso de filtración y la calidad del filtrado mejora con la profundidad. Esta filtración a presión se suele utilizar más en aguas industriales. En el caso particular de las aguas residuales con trazas de grasas y aceites se utilizan estos filtros los cuales se diseñan para funcionar vertical u horizontalmente con velocidades de filtrado de 3 gpm/pie² y están conformados por carcasa metálica, medio filtrante, distribuidor de entrada de agua cruda, distribuidor de entrada de aire, distribuidor de salida de agua, como se muestra en las figuras 21, 22 y 23.

Figura 21 Filtro vertical a presión



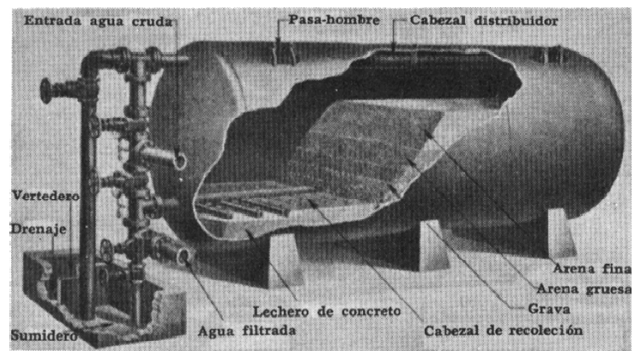
Fuente: MORALES A, Guillermo J. SEPARACIÓN DE FLUIDOS. NEXT 2006

Figura 22 Filtro a Presión de Grava y Arena – Vertical



Fuente: MORALES A, Guillermo J. SEPARACIÓN DE FLUIDOS. NEXT 2006

Figura 23 Filtro a presión de grava y arena - Horizontal



Fuente: MORALES A, Guillermo J. SEPARACIÓN DE FLUIDOS. NEXT 2006

En la actualidad y en algunas de sus aplicaciones, estos métodos están siendo desplazados por operaciones con membranas, especialmente por microfiltración

Este sistema de tratamiento cuenta con ventajas como la eficiencia en la clarificación del agua, en el caso particular de filtro lento de gravedad, proporciona facilidad y sencillez de construcción cuando hay superficie o terreno disponible para su construcción lo que a su vez puede generar una desventaja en los casos en lo que no se tenga gran área disponible para construir un filtro lento; para el caso de los filtros rápidos son unos de los más usados, ya que operándolo adecuadamente y con un buen diseño en lo referente a las diferentes capas de material filtrante, es posible obtener agua de calidad similar a los filtros más eficientes¹⁵

OTROS FILTROS UTILIZADOS

- Filtro de cartucho

Se utilizan cuando las exigencias de calidad son muy altas, tanto en tamaño de partícula como en cantidad.

¹⁵ FILTRACIÓN EN GRAVA Y ARENA [on line]. Available from internet <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/filtracion.htm>

Caso de inyección de aguas de yacimiento de baja permeabilidad y porosidad.
(Ver figura 24)

Figura 24 Filtro de cartucho



Fuente: MORALES A, Guillermo J. SEPARACIÓN DE FLUIDOS. NEXT 2006

- Filtro de carbón activado

Estos tienen una construcción similar a los filtros de arena, con una capa de carbón cuyo espesor varía entre 24 a 36", soportados de capas de arena y grava acción dual, es ampliamente utilizado para:

- ✓ Eliminar las trazas de cloro y agentes oxidantes
- ✓ Eliminar olores y sabores del agua
- ✓ Eliminar hidrocarburos solubles

Cuando se usa para hidrocarburos se satura y su regeneración es térmica, debido a esta falencia actualmente se hace uso de las organoarcillas, las cuales permiten mantener los espacios intersticiales de los poros abiertos por más tiempo. Las organoarcillas extraen hasta el 60% de su peso en aceite, siete veces más que el carbón activado. El carbón activado se ciega, es decir que los poros son taponados por las gotitas de aceite y otras sustancias orgánicas de gran tamaño, alto peso molecular y baja solubilidad.

3.5 REMOCIÓN DE GRASAS Y ACEITES CON ULTRAFILTRACIÓN

La adsorción por carbón o filtración con membrana usando el tratamiento de ósmosis inversa es método muy efectivo para remover aceites y grasas disueltos y emulsificados. El concepto de ultrafiltración se basa en la acción de tamizado de una membrana que retiene moléculas que tienen mayor tamaño que los poros de la membrana. La osmosis inversa usa una membrana semipermeable para filtrar la materia disuelta haciendo uso de muy altas presiones; se requiere de una alimentación con una extremada alta calidad para una operación eficiente de las instalaciones de ósmosis inversa. El efluente de estas operaciones esencialmente ya no contiene grasas y aceites. Sin embargo, debido al alto costo inicial y operacional asociado a estos dispositivos, no son usados muy frecuentemente.

- Las ventajas de la ultrafiltración son su Funcionamiento continuo., Ahorro de energía, no requiere de adición de productos químicos y fácilmente se puede combinar con otros procesos.¹⁶ Igualmente tiene un Mínimo requerimiento de espacio, es un Sistemas muy automatizados por lo que requiere de un mantenimiento mínimo¹⁷

3.6 TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE GRASAS Y ACEITES

El tratamiento biológico es generalmente efectivo en degradar aceites disueltos y otro tipo de emulsiones estabilizadas las cuales no pueden ser desestabilizadas por coagulantes químicos. Sin embargo, un sistema biológico es únicamente efectivo en aguas residuales con aceite contaminado altamente diluido debido a que los aceites de petróleo con base mineral son adsorbidos por microorganismos más rápidamente de lo que pueden ser metabolizados. En sistemas de lodos

¹⁶ AQUATECNIA. [on line]. Available from internet: <http://www.aquatecnia.com/index.asp?idp=658>

¹⁷ [on line]. Available from internet: <http://desastres.unanleon.edu.ni/pdf/2002/diciembre/pdf/spa/doc12647/doc12647-6b.pdf>

activados el aceite adsorbido tiende a dañar las características de asentamiento del lodo y causa fallas en el sistema. Los organismos biológicos son eficientes en oxidar aceites dispersos o emulsificados, pero grandes cantidades de aceite libre (en exceso de aproximadamente 0.1lb/ lb SSVLM (Sólidos en Suspensión Volátiles en el Licor Mezcla)) deben ser evitadas. El efluente biológicamente tratado contiene menos de 10 mg/l de aceites y grasas.

La bioingeniería ha desarrollado soluciones para controlar los residuos de aceites minerales derivados de petróleo utilizando la biotecnología. Se han preparado compuestos de bacterias aeróbicas y anaeróbicas especialmente del tipo pseudomonas y bacilos, suspendidos en un compuesto al que se le han incorporado enzimas, nutrientes y otros aditivos estabilizadores. Estos productos han sido específicamente diseñados para acelerar la licuefacción de aceites y grasas provenientes del petróleo y lograr la digestión completa de estos compuestos orgánicos. Estas bacterias digieren proteínas, almidones, hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos ramificados, detergentes, aceites y grasas minerales. Son microorganismos multi adaptables cuyo crecimiento es estimulado por la presencia de micro y macro nutrientes.

Los microorganismos son seleccionados del medio natural y tienen como acción específica la digestión de hidrocarburos, en especial los aromáticos. Normalmente se les agrega enzimas naturales que fraccionan los anillos bencénicos y las grasas de cadena larga. Asimismo se han incorporado nutrientes y oligómeros que apoyan a las bacterias en su labor de biodegradación. Actualmente, se han desarrollado otro tipo de productos de baja toxicidad como el NONTOX (Anexo 2) el cual es un biocatalizador orgánico que acelera las reacciones biológicas y químicas que se generan en la descomposición del material orgánico, de tal forma que sea el único producto a aplicar sin la inclusión de un cultivo de bacterias. Esta tecnología contiene en su fórmula aceleradores biológicos, proteínas que actúan como plataforma para las reacciones

Entre los aspectos que generan ventajas para el empleo de este sistema de tratamiento se encuentran el bajo Costo inicial, menor generación de lodo, reducidos costos de disposición, limitada adición de nutrientes, menor generación biológica Filtro de cartucho de CO2 (si es usado como combustible). Las desventajas que se presentan se relacionan con los periodos largos de levantamiento y estabilización, no es recomendable parapara agua con hidrocarburos volátiles y se requiere de entrenamiento al personal requerido¹⁸, proceso sensible a la temperatura, pH y carga, mayor período de puesta en marcha, problemas potenciales de olores, requiere afluentes de alta concentración, el efluente normalmente requiere de un tratamiento adicional antes de su descarga¹⁹

A continuación se presenta un cuadro comparativo de las tecnologías investigadas:

¹⁸ Idem

¹⁹ Alternativas Tecnológicas Del Final Del Tubo. [on line]. Available from internet: http://www.tecnologiaslimpias.org/html/central/311105/311105_tubo.htm

Tabla 4 Cuadro comparativo de tecnología para remoción de aceites y grasas

	TECNOLOGÍA SEPARACIÓN AGUA-ACEITE POR GRAVEDAD			SEPARACIÓN POR FLOTACIÓN		ELECTROCOAGULACIÓN, ELECTRO FLOCULACIÓN Y ELECTRO FLOTACIÓN	TECNOLOGÍA SEPARACIÓN POR FILTRACIÓN	REMOCIÓN DE GRASAS Y ACEITES CON ULTRAFILTRACIÓN	TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE GRASAS Y ACEITES
	SEPARACIÓN API	SEPARADORES DE PLACAS	TANQUES DESNATADORES	SEPARACIÓN POR FLOTACIÓN CON AIRE DISUELTO –DAF-	SEPARADORES POR FLOTACIÓN CON AIRE INDUCIDO – IAF-				
CARACTERÍSTICAS	<p>Función principal es separar el aceite libre de las aguas residuales</p> <p>Las gotas más grandes tienden a elevarse, mientras que las más pequeñas tienden a permanecer suspendidas</p> <p>Cuando una mezcla de agua - aceite ya sea con aceite libre o disperso se lleva a un estado de relativa quietud y dándose el tiempo suficiente, las gotitas de aceite se unirán y eventualmente se separan del agua residual, formando una capa de aceite continua flotante la cual puede ser desnatada</p> <p>Deben evitarse turbulencias en la entrada del equipo, para lo que se instalarán entradas múltiples y disipadores de energía.</p>	<p>Consisten en modificaciones hechas a los separadores API, al colocarles placas internas para mejorar la coalescencia de las gotas de crudo</p> <p>En el caso específico de las placas paralelas inclinadas en la parte inferior de cada una proporciona más área superficial, lo que permite la coalescencia de glóbulos más grandes de gotas de crudo suspendidas e igualmente permite que cualquier sedimento se deslice hacia la parte inferior de cada placa.</p>	<p>Sistemas constituidos por tanques cilíndricos, con distribuidores y paredes internas para incrementar el tiempo de residencia y lograr la separación del crudo del agua</p>	<p>El aire se disuelve en el agua residual a una presión de varias atmósferas, y a continuación se libera la presión hasta alcanzar la atmosférica</p> <p>El caudal se mantiene bajo presión en un calderín durante algunos minutos, para dar tiempo a que el aire se disuelva el aire (gas) es disuelto a saturación en una parte del agua mediante cámaras a presión</p> <p>Las condiciones que debe cumplir el vertimiento a tratar son las siguientes:</p> <p>Rango de pH: 3 – 11. Temperatura: Hasta 50 grados Centígrados</p>	<p>El principio de la flotación por aire inducido consiste en que una mezcla íntima de aire y líquido cargado de minerales es forzada a entrar por medio de boquillas con lo cual se proporciona la acción separadora necesaria para crear millones de burbujas</p> <p>IAF se basan en la agitación mecánica para inducir el aire ó el gas al agua</p>	<p>El proceso de electrocoagulación consiste en la inducción de corriente a través de un ánodo y un cátodo de la desestabilización de cualquier sustancia disuelta, ion o partícula eléctricamente suspendida presente en el agua</p> <p>Es un sistema de tratamiento de aguas que no requiere el uso de Químicos, Polímeros o aditivos para su funcionamiento</p> <p>Mediante la inducción de cargas eléctricas esta tecnología logra materializar el fenómeno de coagulación</p> <p>Se compone de cuatro fases:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Fase de desestabilización · Fase de coagulación · Fase de Floculación · Fase de Flotación / Sedimentación 	<p>La filtración es una operación en la que se hace pasar el agua a través de un medio poroso, con el objetivo de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión</p> <p>El medio poroso tradicionalmente utilizado es un lecho de arena, de altura variable, dispuesta en distintas capas de distinto tamaño de partícula, siendo la superior la más pequeña entre 0.15 y 0.3 mm</p> <p>Es una operación muy utilizada en el tratamiento de agua potable, así como en el tratamiento de aguas para reutilización, para eliminar la materia en suspensión que no se ha eliminado en anteriores operaciones (sedimentación)</p> <p>Se clasifican en:</p> <p>Filtración por gravedad o filtro lento</p> <p>Filtración por presión o filtro rápido</p>	<p>La ultrafiltración se basa en la acción de tamizado de una membrana que retiene moléculas que tienen mayor tamaño que los poros de la membrana</p> <p>La adsorción por carbón o filtración con membrana usando el tratamiento de ósmosis inversa es método muy efectivo para remover aceites y grasas disueltos y emulsificados</p> <p>La osmosis inversa usa una membrana semipermeable para filtrar la materia disuelta haciendo uso de muy altas presiones</p>	<p>El tratamiento biológico es generalmente efectivo en degradar aceites disueltos y otro tipo de emulsiones estabilizadas las cuales no pueden ser desestabilizadas por coagulantes químicos</p> <p>Los organismos biológicos son eficientes en oxidar aceites dispersos o emulsificados, pero grandes cantidades de aceite libre (en exceso de aproximadamente 0.1lb/ lb SSVLM (Sólidos en Suspensión Volátiles en el Licor Mezcla)) deben ser evitadas.</p> <p>Debe realizarse un pretratamiento antes, que permita acondicionar los efluentes a tratar, con el fin de reducir los riesgos de daños en el sistema de alcantarillado y así mismo evitar riesgos en la salud de los trabajadores que se desempeñan en esa área</p>

TECNOLOGÍA SEPARACIÓN AGUA-ACEITE POR GRAVEDAD			SEPARACIÓN POR FLOTACIÓN		ELECTROCOAGULACIÓN, ELECTRO FLOCULACIÓN Y ELECTRO FLOTACIÓN	TECNOLOGÍA SEPARACIÓN POR FILTRACIÓN	REMOCIÓN DE GRASAS Y ACEITES CON ULTRAFILTRACIÓN	TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE GRASAS Y ACEITES	
SEPARACIÓN API	SEPARADORES DE PLACAS	TANQUES DESNATADORES	SEPARACIÓN POR FLOTACIÓN CON AIRE DISUELTO –DAF-	SEPARADORES POR FLOTACIÓN CON AIRE INDUCIDO – IAF-					
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> Efectividad para eliminar el grueso de la contaminación por aceites Seguridad en su funcionamiento Facilidad de mantenimiento y operatividad 	<ul style="list-style-type: none"> Menor tamaño, implica menor costo y área Coalescencia de gotas menores a 60 μ Mayor eficiencia en remoción de crudo, con ≤ 10 ppm crudo a la salida respecto al separador API Se generan menos turbulencias lo que conlleva una disminución de la posibilidad de formación de cortacircuitos hidráulicos. Requieren menos tiempo de retención, al tener que recorrer la gota de aceite a separar solamente la distancia vertical entre las dos placas 	<ul style="list-style-type: none"> Mayor eficacia de los tratamientos posteriores. Posibilidad de dosificación de algún producto con propiedades desmenuzantes, que va a mejorar el rendimiento de separación de aceites. Las necesidades de mantenimiento son mínimas Elimina una parte muy importante de la contaminación atmosférica generada por la evaporación de aceites en la planta de tratamiento, así como Brinda mayor seguridad y salubridad de las instalaciones Debido al elevado tiempo de retención en estos equipos, y si además se utilizan agentes emulsionantes los rendimientos son superiores a los que se obtienen con los separadores API o de Placas 	<ul style="list-style-type: none"> Más efectivos que los separadores API en la remoción de la mezcla de aceite disperso El dispositivo DAF se reporta como efectivo tras producir un efluente con una concentración entre 1 y 20 mg/l de grasas y aceites Bajo Consumo de energía Mayor porcentaje de separación de crudo 98% No requieren de Operador continuamente Alto porcentaje de remoción en periodos cortos de tiempo de 6 a 10 min aprox Requiere poca área de separación efectiva Es aplicada en separar suspensiones, y emulsiones de pesos moleculares cercanos al del agua, lo cual dificulta su separación por sedimentación o filtración] 	<ul style="list-style-type: none"> Alto porcentaje de separación de crudo 90% No requieren de Operador continuamente 	<ul style="list-style-type: none"> Altamente eficaz en el tratamiento de turbidez, el pH, los metales pesados y otros contaminantes comúnmente presentes en el agua, incluyendo las grasas y los aceites Ventajas de costos, eficiencias, tiempos de residencia, y protección al ambiente sobre los procesos químicos respectivos No aumenta el número de sales en el agua a tratar; produce la mitad o una tercera parte de lodos. El lodo es más espeso y fácil de secar 	<ul style="list-style-type: none"> Eficiencia en la clarificación del agua los filtros rápidos son unos de los más usados, ya que operándolo adecuadamente y con un buen diseño en lo referente a las diferentes capas de material filtrante, es posible obtener agua de calidad similar a los filtros más eficientes 	<ul style="list-style-type: none"> Funcionamiento continuo Ahorro de energía No requiere adición de productos químicos. Fácilmente combinables con otros procesos. Efluente desinfectado tras atravesar una membrana de ultrafiltración Mínimo requerimiento de espacio Sistemas muy automatizados, mantenimiento mínimo 	<ul style="list-style-type: none"> Bajo Costo inicial Menor generación de lodo. Reducidos costos de disposición. Limitada adición de nutrientes. Menor generación biológica de CO2 (si es usado como combustible). Menor consumo de energía

	TECNOLOGÍA SEPARACIÓN AGUA-ACEITE POR GRAVEDAD			SEPARACIÓN POR FLOTACIÓN		ELECTROCOAGULACIÓN, ELECTRO FLOCULACIÓN Y ELECTRO FLOTACIÓN	TECNOLOGÍA SEPARACIÓN POR FILTRACIÓN	REMOCIÓN DE GRASAS Y ACEITES CON ULTRAFILTRACIÓN	TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE GRASAS Y ACEITES
	SEPARACIÓN API	SEPARADORES DE PLACAS	TANQUES DESNATADORES	SEPARACIÓN POR FLOTACIÓN CON AIRE DISUELTO –DAF-	SEPARADORES POR FLOTACIÓN CON AIRE INDUCIDO – IAF-				
DESVENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> No separan gotas de tamaño menor a 150 micras (aceite libre), ni tampoco romperán emulsiones Variaciones bruscas de caudal que conllevan a alteraciones importantes en el régimen de funcionamiento de la unidad y, en consecuencia, en el rendimiento Requiere gran superficie para caudales elevados y tienen influencia de las condiciones meteorológicas, como viento (generación de turbulencias en superficie por oleaje) o temperatura Por la gran superficie que requieren se da lugar a evaporaciones de aquellas grasas y aceites más volátiles, creando contaminación Atmosférica, así como dan lugar atmósferas peligrosas. Costo inicial Alto 	<ul style="list-style-type: none"> No eliminan aquellas grasas y aceites que no estén en estado libre. 	<ul style="list-style-type: none"> Elevado costo de primera instalación, muy superior a los separadores API o de Placas 	<ul style="list-style-type: none"> Un dispositivo DAF con un sistema de reciclaje no desintegra el floc formado por la acción cortante de la bomba de presión. Sin embargo el sistema de reciclaje requiere de una cámara de flotación grande Costo de mantenimiento más bajo que el IAF El uso de estos equipos puede generar grasas, aceites y fibras que pueden obstruir las tuberías 	<ul style="list-style-type: none"> Costo de mantenimiento Alto Alto consumo de energía, generando un costo de tratamiento superior al sistema DAF 	<ul style="list-style-type: none"> A veces los electrodos se pasivan disminuyendo la eficiencia del proceso. Esto puede ser debido a compuestos que reaccionan y forman una capa o película sobre la superficie del electrodo. Es necesario desarrollar un sistema para limpiar en línea los electrodos, antes o cuando se pasivan. 	<ul style="list-style-type: none"> En el caso de los filtros lentos o por gravedad requieren gran área disponible para la construir Para el caso de los filtros de carbón activado Cuando se usa para hidrocarburos se satura y su regeneración es térmica, así mismo los poros son taponados por las gotitas de aceite y otras sustancias orgánicas de gran tamaño, alto peso molecular y baja solubilidad 	<ul style="list-style-type: none"> Inversión inicial alta La limitación principal es la incapacidad para remover sustancias moleculares pequeñas y pre- tratamiento similar a la de la Osmosis inversa Disminución temporal de flujo de permeado 	<ul style="list-style-type: none"> Periodos Largos de levantamiento y estabilización No es recomendable parapara agua con hidrocarburos volátiles- Entrenamiento al personal requerido Un sistema biológico es únicamente efectivo en aguas residuales con aceite contaminado altamente diluido Proceso sensible a la temperatura, pH y carga. Mayor período de puesta en marcha Problemas potenciales de olores El efluente normalmente requiere de un tratamiento adicional antes de su descarga · Grande requerimiento de área

TECNOLOGÍA SEPARACIÓN AGUA-ACEITE POR GRAVEDAD			SEPARACIÓN POR FLOTACIÓN		ELECTROCOAGULACIÓN, ELECTRO FLOCULACIÓN Y ELECTRO FLOTACIÓN	TECNOLOGÍA SEPARACIÓN POR FILTRACIÓN	REMOCIÓN DE GRASAS Y ACEITES CON ULTRAFILTRACIÓN	TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE GRASAS Y ACEITES
SEPARACIÓN API	SEPARADORES DE PLACAS	TANQUES DESNATADORES	SEPARACIÓN POR FLOTACIÓN CON AIRE DISUELTO –DAF-	SEPARADORES POR FLOTACIÓN CON AIRE INDUCIDO – IAF-				
COSTOS	<ul style="list-style-type: none"> Costo inicial Alto Costo de mantenimiento bajo 	<ul style="list-style-type: none"> Costo inicial Alto 	<ul style="list-style-type: none"> Costo inicial muy Alto Costo de mantenimiento de 	<ul style="list-style-type: none"> Costo de mantenimiento más bajo que el IAF El costo de inversión es aproximadamente dos veces el costo de IAF 	<ul style="list-style-type: none"> Costo de mantenimiento Alto Costo de inversión Bajo 	<ul style="list-style-type: none"> Los filtros lentos son de bajo costo Costos por mantenimiento son bajos 	<ul style="list-style-type: none"> Se requiere de una inversión inicial más grande que los procesos físicos y/o químicos Costos bajos por mantenimiento Costo de operación, la disposición final y almacenamiento de residuos pueden hacer de esta una inversión muy interesante 	<ul style="list-style-type: none"> Bajo costo inicial
ANÁLISIS VIABILIDAD	<ul style="list-style-type: none"> Aplicación en Grandes instalaciones , refinerías, petroquímicas 		<ul style="list-style-type: none"> Aplicación en Grandes instalaciones, refinerías, petroquímicas, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> En el campo de producción del caso de estudio tiene aplicación en cuanto permite la recuperación de crudo y disminución del área de intervención con menores costos de operación que el IAF 	<ul style="list-style-type: none"> En el campo de producción del caso de estudio tiene aplicación en cuanto permite la recuperación de crudo y disminución del área de intervención pero tiene mayores costos de operación que el DAF por lo cual se puede descartar. 	<ul style="list-style-type: none"> En el campo de producción del caso de estudio podría aplicarse para reducir el consumo de coagulante y así reducir los residuos correspondientes a las canecas de 55 galones en que se entrega, así como su gestión para su devolución al proveedor. También se permite disminuir aun más el área de intervención del sistema de tratamiento disminuyendo el riesgo de contaminación al suelo y al agua. 	<ul style="list-style-type: none"> En el campo solo se puede usar una vez se haya separado las grasas y aceites emulsificadas retiradas por coagulación, floculación y sedimentación, de tal forma que sirva de acción de pulimiento separando las grasas y aceites solubles 	<ul style="list-style-type: none"> No se justifica usarlo en el campo hasta que efectivamente no se logre obtener un afluente de mejor calidad de tal forma que el agua pueda ser vendida, con el fin de que se recupere la inversión Los sistemas de lodos activados tienen un requerimiento de área grande lo cual contribuiría en aumentar el área de intervención del sistema lo cual no es deseable. El tratamiento con el producto NONTOX puede ser mejor usado para la eliminación de grasas y aceites solubles de tal manera que no utilicen grandes cantidades de este producto sin así generar más residuos sólidos en el campo, y de esta forma reemplazando a los filtros.

Fuente: Ibid. P. 18, 22, 23, 27, 29, 30, 31

4 CRITERIOS, VARIABLES Y APLICACIÓN DE METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE REMOCIÓN DE GRASAS Y ACEITES DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL EN CAMPOS PETROLEROS

Para la selección de las alternativas de sistema de tratamiento de aguas residuales que consideramos más viables para ser implementadas en el Campo petrolero de estudio, nos basamos en la metodología de Yang. C & Kao. J (1996)²⁰ la cual se desarrolla en dos fases: *i*) fase de aproximación, que consiste en la identificación de sistemas de tratamiento de agua residuales factibles, y la *ii*) fase de síntesis que analiza los atributos de los diferentes sistemas con el fin de determinar el sistema de tratamiento más viable para ser implementado.

***i*) FASE DE APROXIMACIÓN**

Teniendo en cuenta las ventajas y desventajas de las tecnologías para la remoción de grasas y aceites descritas en la tabla 4, el tipo de mezcla agua-aceite presente según el tamaño de gota (aceite libre, disperso, emulsificado y disuelto), las características del crudo producido (11.2 grados API, densidad de 0,99 g/mL) a 70 C, la problemática identificada en el campo respecto al sistema actual de tratamiento de aguas residuales (ver tabla 2), la calidad de los vertimientos generados y las características del efluente (Anexo 1) se desarrolla la fase de aproximación donde se definen las siguientes fases para el tratamiento del agua residual industrial del campo:

1. Enfriamiento

²⁰ GUERRERO J. Modelo de selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades. [on line]. Available from internet: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/agua2003/gerre.pdf>

En la fase de enfriamiento se tendrían las siguientes dos opciones a evaluar: adecuación de las piscinas ya existentes y como segunda opción se emplearía un sistema de enfriamiento

2. Separación de aceite libre y disperso con recuperación

En esta fase de separación de aceite libre y disperso como el campo cuenta con generadores eléctricos y está próxima la instalación de una red eléctrica sobre la vía de acceso al mismo, y actualmente se posee un tanque de recuperación, se opta por el uso de la Flotación con Aire Disuelto (DAF) debido a que en comparación con las tecnologías de separación de aceite libre como son Separador API, Separador de Placas, y Flotación por Aire Inducido (IAF), el sistema DAF de acuerdo con Antonio de Turrís *et al* (2011) posee un mayor porcentaje de separación de crudo (98%), un bajo consumo de energía, menor Tiempo de Retención Hidráulica y no se requiere de un operador continuo para su mantenimiento, lo cual facilita la obtención del cumplimiento de la normatividad actual vigente y la eventual aprobación de la resolución derivada del art 76 del decreto 3930.

3. Separación de aceite emulsificado y eliminación de lodos

En la fase de separación de aceite emulsificado el cual no es separado por el DAF, se considerarían las siguientes dos opciones a evaluar:

- La electrocoagulación, electrofloculación y la electroflotación.
- La coagulación y floculación química con sedimentador de alta tasa.

4. Separación de aceite soluble

Finalmente para la fase de separación de aceite soluble (< 5 um) se contemplan las siguientes dos opciones a evaluar:

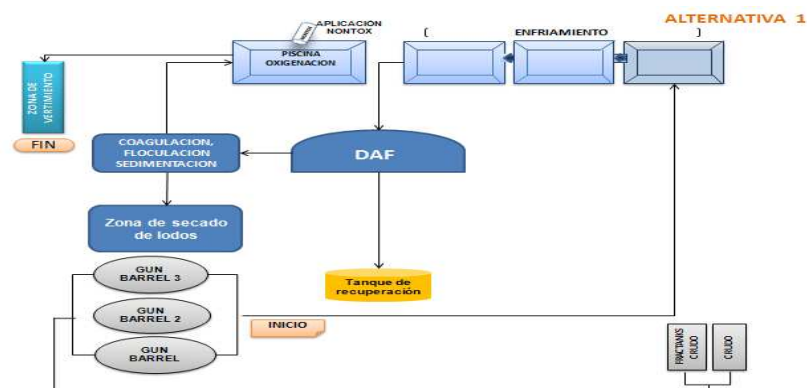
- filtros rápidos con lechos de carbón activado u otro lecho
- La aplicación de NONTOX.

Por lo anterior se establecen tres alternativas de tratamiento con el fin de lograr una remoción de grasas y aceites de aproximadamente 99% en teoría, para cumplir con la normatividad y minimizar el impacto generado al suelo, además de permitir la disminución de residuos peligrosos tras la recuperación de crudo (la cual se logra en la fase 2 con el sistema DAF) y del área de intervención tras reducir el tiempo de retención hidráulica.

ALTERNATIVA 1

De acuerdo con la figura 25, el agua residual proveniente de los dos Gunbarrels pasa inicialmente para su enfriamiento por las tres primeras piscinas para luego ser bombeada hacia el sistema de flotación por aire disuelto de donde el aceite libre y disperso se dirige hacia el tanque de recuperación. El agua proveniente del DAF es conducida al proceso de floculación y sedimentación con el fin de retirar las grasas y aceites emulsionadas, de donde los lodos se conducen hacia una zona de secado para su posterior tratamiento ó disposición y lo proveniente de la cámara de floculación pasa hacia una piscina con oxigenación donde se aplica el tratamiento biológico con la enzima biocatalizadora (NONTOX) para reducir los aceites y grasas disueltos, desde donde se bombea hacia la zona de vertimiento.

Figura 25 Alternativa de tratamiento de agua residual 1

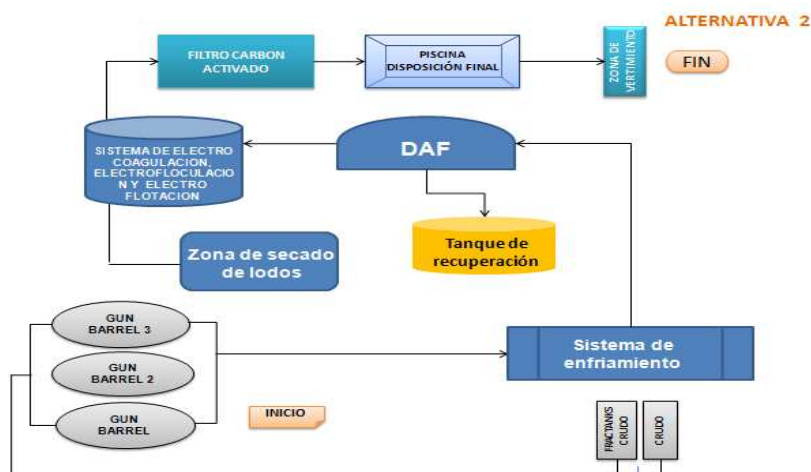


Fuente: Autores

ALTERNATIVA 2

De acuerdo con la figura 26, el agua residual proveniente de los dos Gunbarrels pasa inicialmente por un sistema de enfriamiento, luego pasa a un sistema DAF de donde el aceite libre y disperso se dirige hacia el tanque de recuperación. El agua proveniente del DAF es conducida a un sistema de electrofloculación con el fin de retirar las grasas y aceites emulsionadas de donde los lodos se conducen hacia una zona de secado para su posterior tratamiento ó disposición y lo proveniente del sistema de electrofloculación pasa hacia unos filtros de carbón activado que elimina parte de los aceites y grasas disueltos, desde donde finalmente se bombea hacia la zona de vertimiento.

Figura 26 Alternativa de tratamiento de agua residual 2



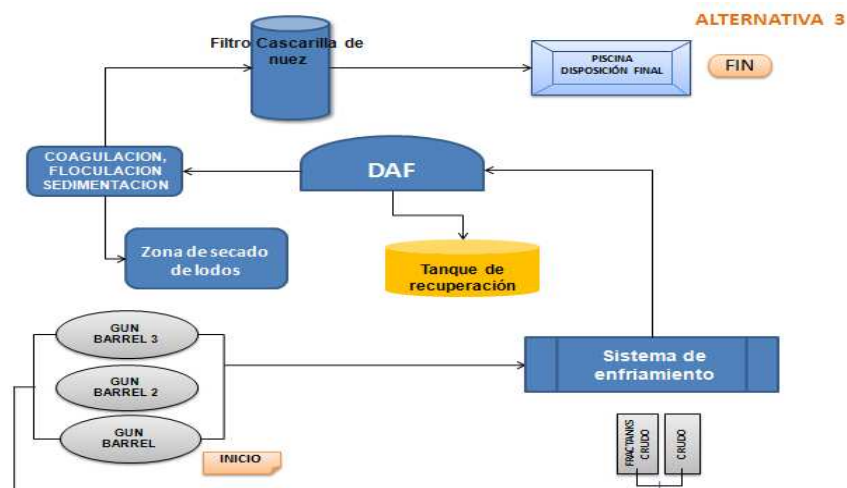
Fuente: propia

ALTERNATIVA 3

De acuerdo con la figura 27, el agua residual proveniente de los dos Gunbarrels pasa inicialmente por un sistema de enfriamiento, luego pasa a un sistema de flotación por aire disuelto (DAF) de donde el aceite libre y disperso se dirige hacia

el tanque de recuperación. El agua proveniente del DAF es conducida al proceso de floculación y sedimentación con el fin de retirar las grasas y aceites emulsionadas, de donde los lodos se conducen hacia una zona de secado para su posterior tratamiento ó disposición y lo proveniente de la cámara de floculación pasa a través de un filtro con lecho de cascarilla de nuez y de esta forma eliminar los aceites y grasas disueltos, lo que finalmente nos permite conducir el agua resultante a una piscina de oxigenación desde donde finalmente se bombea hacia la zona de vertimiento.

Figura 27 Alternativa de tratamiento de agua residual 3



Fuente: propia

ii) FASE DE SINTESIS

Teniendo definidos los sistemas de tratamiento factibles se debe seleccionar el más apropiado a las características particulares del campo petrolero y a la calidad del vertimiento que se espera generar, esto con el objeto de que la empresa que actualmente maneja el campo petrolero de estudio lo vea como una opción clara para erradicar el incumplimiento de los parámetros de calidad de vertimiento establecidos actualmente en la legislación colombiana y en caso de que llegara a

ser requerido lo incorpore en el plan de cumplimiento²¹ que presente ante la autoridad ambiental competente. Es importante aclarar que este estudio de base en la revisión teórica y consulta a expertos y es necesario que para validar la alternativa seleccionada se realicen análisis, caracterizaciones y pruebas de laboratorio.

Para la selección del sistema de tratamiento más viable se deben tener en cuenta factores Técnicos, Ambientales y Económicos principalmente, tanto de las diferentes tecnologías factibles de implementar como de las condiciones del agua residual que debe ser tratada en el campo petrolero. Dentro de los factores Técnicos es importante analizar los resultados de la caracterización del agua, el caudal del diseño y los requerimientos técnicos que necesita cada tecnología para ser implementada; en cuanto a los factores ambientales se deben considerar aspectos relacionados con la disposición y generación de lodos dando cumplimiento a la normatividad vigente, aspectos e impactos ambientales, incluyendo en este factor el análisis de los riesgos ocupacionales inherentes a la instalación y puesta en marcha del sistema de tratamiento; por último, en el factor económico se deben analizar y evaluar la inversión inicial (costos por compra de equipos, materiales, obras civiles, mano de obra, entre otros), los costos operativos que incluye entre otros aspectos el costo de consumo de energía, mano de obra para la operación, actividades de mantenimiento, lavado y limpieza, costos de tratamiento de efluentes y disposición final de residuos (incluyendo si se requiere los costos de productos químicos), estos factores deben ser evaluados frente a las particularidades del campo petrolero en cuanto a área disponible, accesibilidad a la tecnología, disponibilidad a pagar por el sistema de tratamiento de agua, condiciones ambientales del área de influencia, costos de inversión inicial y de operación del sistema de tratamiento y especialmente con la efectividad en la remoción de aceites y grasas comparado con los requerimientos

²¹ Decreto 4728 de 2010 Por el cual se modifica parcialmente el Decreto [3930](#) de 2010. Artículo 4

de la normatividad vigente en Colombia (Decreto 1595 de 1984) respecto a los parámetros de calidad de agua del vertimiento generado

De acuerdo a lo anterior para la selección de la alternativa mas viable se desarrollo la metodología de jerarquización propuesta es el “Proceso de Jerarquía Analítica” (Analytic Hierarchy Process - AHP). el cual pondera las tecnologías de acuerdo a su importancia relativa mediante un análisis multicriterio; su ventaja radica en que se analiza cada uno de los aspectos de interés comparándolos con los demás de manera individual en matrices de comparación por pares donde la escala de comparación que se utiliza es de 1 a 9, siendo 1 igual preferencia y 9 la máxima, lo que permite obtener resultados objetivos a procesos subjetivos.

Una vez que se haya desarrollado la matriz de comparación por pares, se puede calcular la prioridad de cada uno de los elementos que se están comparando, estimando la prioridad relativa de cada una de las tecnologías en función del subcriterio a evaluar.

Por consiguiente para la fase de síntesis se tienen en cuenta las siguientes variables y/o criterios:

Variables ambientales:

- ✓ Contaminación por ruido
- ✓ Contaminación visual
- ✓ Contaminación al suelo y al agua

Variables socioeconómicas:

- ✓ Nivel de escolaridad
- ✓ Generación de empleo
- ✓ Seguridad industrial

Variables tecnológicas:

- ✓ Producción de lodos
- ✓ Potencial de reuso
- ✓ Operación y mantenimiento

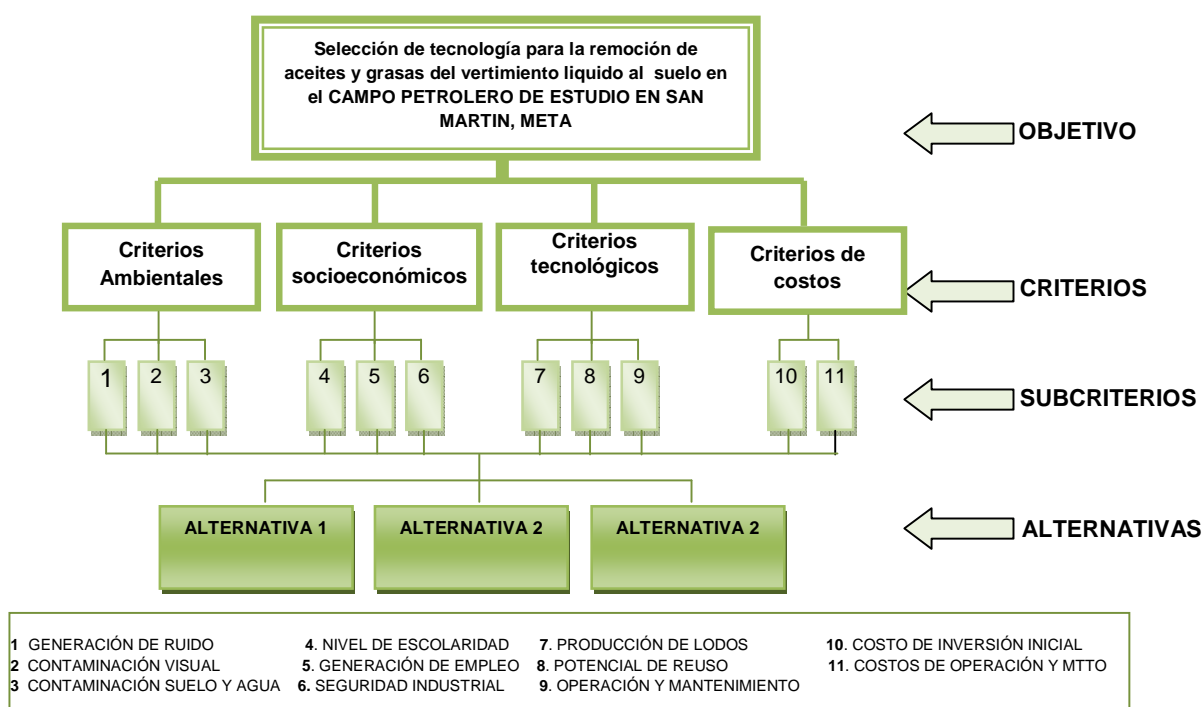
Variables de costos:

- ✓ Costo inversión inicial
- ✓ Costo de operación y mantenimiento

El procedimiento para efectuar la sintetización se realiza en tres pasos:

1. Sumar los valores de cada columna de la matriz de comparación por pares.
2. Dividir cada uno de los elementos de la matriz de comparación por pares entre el total de su columna; la matriz resultante se conoce como matriz de comparación por pares normalizada.
3. Calcular la media de los elementos de cada hilera de la matriz normalizada; estas medias nos dan una estimación de las prioridades relativas de los elementos que se están comparando.

Figura 28 Jerarquía para la selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales



Fuente: GUERRERO J Modelo de selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades

4. Esta síntesis nos da las prioridades relativas para las tres alternativas establecidas anteriormente en la fase de aproximación, respecto a cada uno de los subcriterios donde la calificación se basó en la revisión bibliográfica realizada y en la consulta a expertos de las empresas Quimerk Ltda y Watertonics.

Una consideración importante acerca de la calidad de la decisión final de acuerdo con la metodología AHP, se relaciona con la consistencia en los juicios, en el cual si el grado de consistencia es aceptable, el proceso de decidir puede continuar, de lo contrario, el tomador de decisiones debe reconsiderar y posiblemente revisar los juicios de comparación por pares, antes de seguir adelante en el análisis. AHP da una medida de consistencia en juicio de comparación por pares, al calcular una relación de consistencia. Esta se diseñó de tal manera que los valores de relación por arriba de 0.10 indican juicios inconsistentes. Valores de relación de consistencia de 0.10 o inferiores, se consideran con un nivel razonable de consistencia²².

De acuerdo con esto se desarrolla esta metodología para la selección de la alternativa más viable para el tratamiento del agua residual industrial del campo de producción de estudio, donde se desarrolló **la matriz de comparación por pares** para cada uno de los subcriterios establecidos asignando a cada uno de estos subcriterios una valoración en un rango de 1 a 9, siendo 1 la valoración más baja y 9 la más alta²³

La valoración por pares consiste en:

²² Idem

²³ Los rangos de calificación se asignaron de acuerdo al criterio de los autores de este documento, teniendo en cuenta las diferentes fuentes de información obtenidas

- 1) Evaluar los subcriterios de cada criterio establecido comparando las tres alternativas propuesta entre si, por ejemplo, comparar el costo de la inversión inicial (Criterio de costos) en la alternativa 1 frente a la alternativa 2 y alternativa 3; la alternativa 2 respecto a la alternativa 1 y 3 y así sucesivamente, y en los casos en los que la comparación de cualquiera de las tecnologías sea consigo mismo, el juicio será “igualmente generador”; por lo tanto, con base en la escala el valor debe ser 1, así mismo cuando la valoración resulte de igual preferencia
- 2) Sumar los valores de cada columna de la matriz de comparación por pares (Primer total)
- 3) Dividir cada de los elementos de la matriz entre el total de su columna, esto se conoce como matriz de comparación por pares normalizada (Segundo total)
- 4) Calcular el promedio de cada hilera de la matriz normalizada, este resultado da una estimación de las prioridades relativas de los elementos que se están comparando

CRITERIOS AMBIENTALES

1. GENERACIÓN DE RUIDO	0,35
------------------------	------

ALTERNATIVAS	1	2	3
1	1	6/3	7/3
2	3/6	1	7/6
3	3/7	6/7	1

ALTERNATIVAS	1	2	3
1	1,00	2,00	2,33
2	0,50	1,00	1,17

ALTERNATIVAS	1	2	3	PROMEDIO
1	0,5185	0,52	0,52	0,5185
2	0,26	0,26	0,26	0,2593
3	0,22	0,22	0,22	0,2222
TOTAL	1,00	1,00	1,00	1,0000

3	0,43	0,86	1,00
TOTAL	1,93	3,86	4,50

2. CONTAMINACIÓN VISUAL	0,2
--------------------------------	------------

ALTERNATIVAS	1	2	3
1	1,00	3/7	3/7
2	7/3	1	1
3	7/3	1	1,00

ALTERNATIVAS	1	2	3	PROMEDIO
1	0,18	0,18	0,18	0,1765
2	0,41	0,41	0,41	0,4118
3	0,41	0,41	0,41	0,4118
TOTAL	1,00	1,00	1,00	1,0000

ALTERNATIVAS	1	2	3
1	1,00	0,43	0,43
2	2,33	1,00	1,00
3	2,33	1,00	1,00
TOTAL	5,67	2,43	2,43

3. CONTAMINACIÓN SUELO Y AGUA	0,45
--------------------------------------	-------------

ALTERNATIVAS	1	2	3
1	1	2/7	2/7
2	7/2	1	1
3	7/2	1	1

ALTERNATIVAS	1	2	3	PROMEDIO
1	0,13	0,13	0,13	0,13
2	0,44	0,44	0,44	0,44
3	0,44	0,44	0,44	0,44
TOTAL	1,00	1,00	1,00	1,00

ALTERNATIVAS	1	2	3
1	1,00	0,29	0,29
2	3,50	1,00	1,00
3	3,50	1,00	1,00
TOTAL	8,00	2,29	2,29

CRITERIOS SOCIOECONÓMICO

1. NIVEL DE ESCOLARIDAD	0,2
--------------------------------	------------

ALTERNATIVAS	1	2	3
1	1	7/5	6/5
2	5/7	1	6/7
3	5/6	7/6	1

ALTERNATIVAS	1	2	3
1	1,00	1,40	1,20
2	0,71	1,00	0,86
3	0,83	1,17	1,00
TOTAL	2,55	3,57	3,06

ALTERNATIVAS	1	2	3	PROMEDIO
1	0,39	0,39	0,39	0,3925
2	0,28	0,28	0,28	0,2804
3	0,33	0,33	0,33	0,3271
TOTAL	1,00	1,00	1,00	1,0000

2. GENERACIÓN DE EMPLEO	0,3
--------------------------------	------------

ALTERNATIVAS	1	2	3
1	1	3/5	3/5
2	5/3	1	1
3	5/3	1	1

ALTERNATIVAS	1	2	3
1	1,00	1,67	1,67
2	0,60	1,00	1,00
3	0,60	1,00	1,00
TOTAL	2,20	3,67	3,67

ALTERNATIVAS	1	2	3	PROMEDIO
1	0,45	0,45	0,45	0,45
2	0,27	0,27	0,27	0,27
3	0,27	0,27	0,27	0,27
TOTAL	1,00	1,00	1,00	1,00

3. SEGURIDAD INDUSTRIAL	0,5
--------------------------------	------------

ALTERNATIVAS	1	2	3
1	1	3/7	3/7
2	7/3	1	1
3	7/3	1	1

ALTERNATIVAS	1	2	3
1	1,00	0,43	0,43
2	2,33	1,00	1,00
3	2,33	1,00	1,00
TOTAL	5,67	2,43	2,43

ALTERNATIVAS	1	2	3	PROMEDIO
1	0,18	0,18	0,18	0,18
2	0,41	0,41	0,41	0,41
3	0,41	0,41	0,41	0,41
TOTAL	1,00	1,00	1,00	1,00

CRITERIOS TECNOLÓGICOS

1. PRODUCCIÓN DE LODOS	0,5
-------------------------------	------------

ALTERNATIVAS	1	2	3
1	1	3/8	5/8
2	8/3	1	5/3
3	8/5	3/5	1

ALTERNATIVAS	1	2	3
1	1,00	0,38	0,63
2	2,67	1,00	1,67
3	1,60	0,60	1,00
TOTAL	5,27	1,98	3,29

ALTERNATIVAS	1	2	3	PROMEDIO
1	0,19	0,19	0,19	0,1899
2	0,51	0,51	0,51	0,5063
3	0,30	0,30	0,30	0,3038
TOTAL	1,00	1,00	1,00	1,0000

2. POTENCIAL DE REUSO	0,1
------------------------------	------------

ALTERNATIVAS	1	2	3
1	1	2/4	2/5
2	4/2	1	4/5
3	5/2	5/4	1

ALTERNATIVAS	1	2	3	PROMEDIO
1	0,18	0,18	0,18	0,1818
2	0,36	0,36	0,36	0,3636
3	0,45	0,45	0,45	0,4545
TOTAL	1,00	1,00	1,00	1,0000

ALTERNATIVAS	1	2	3
1	1,00	0,50	0,40
2	2,00	1,00	0,80
3	2,50	1,25	1,00
TOTAL	5,50	2,75	2,20

3. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	0,4
-------------------------------------	------------

ALTERNATIVAS	1	2	3
1	1	4/6	3/6
2	6/4	1	3/4
3	6/5	4/3	1

ALTERNATIVAS	1	2	3	PROMEDIO
1	0,22	0,22	0,22	0,22
2	0,33	0,33	0,33	0,33
3	0,44	0,44	0,44	0,44
TOTAL	1,00	1,00	1,00	1,00

ALTERNATIVAS	1	2	3
1	1,00	0,67	0,50
2	1,50	1,00	0,75
3	2,00	1,33	1,00
TOTAL	4,50	3,00	2,25

CRITERIOS DE COSTOS

COSTO DE INVERSIÓN INICIAL	0,25
-----------------------------------	-------------

ALTERNATIVAS	1	2	3
1	1	8/6	7/6

ALTERNATIVAS	1	2	3	PROMEDIO
1	0,38	0,38	0,38	0,38
2	0,29	0,29	0,29	0,29
3	0,33	0,33	0,33	0,33
TOTAL	1,00	1,00	1,00	1,00

2	6/8	1	7/8
3	6/7	8/7	1

ALTERNATIVAS	1	2	3
1	1,00	1,33	1,17
2	0,75	1,00	0,88
3	0,86	1,14	1,00
TOTAL	2,61	3,48	3,04

COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	0,75
--	-------------

ALTERNATIVAS	1	2	3
1	1	7/8	6/8
2	8/7	1	6/7
3	8/6	7/6	1

ALTERNATIVAS	1	2	3	PROMEDIO
1	0,29	0,29	0,29	0,29
2	0,33	0,33	0,33	0,33
3	0,38	0,38	0,38	0,38
TOTAL	1,00	1,00	1,00	1,00

ALTERNATIVAS	1	2	3
1	1,00	0,88	0,75
2	1,14	1,00	0,86
3	1,33	1,17	1,00
TOTAL	3,48	3,04	2,61

Posteriormente se **calculó la relación de consistencia**, la cual la metodología AHP la define como que si el grado de consistencia es aceptable, el proceso de decidir puede continuar, de lo contrario, el tomador de decisiones debe reconsiderar y posiblemente revisar los juicios de comparación por pares, antes de seguir adelante en el análisis. Para el caso de esta evaluación el grado de consistencia resultó ser menor de 0,1 en todos los subcriterios, es decir, grado de consistencia aceptable.

Para evaluar el grado de consistencia se desarrollaron los siguientes pasos:

- 1) Ubicado en la matriz de comparación por pares, se multiplica el valor de la primera columna (Fila Alternativa 1) por el resultado del primer promedio, luego el valor de la segunda columna por el resultado del segundo promedio y finalmente el valor de la tercera columna por el resultado del tercer promedio, así sucesivamente con las filas de las alternativas 2 y 3, para posteriormente sumar los valores ubicados a lo largo de los renglones para obtener un vector de valores conocido como suma ponderada. Ejemplo,

CONTAMINACIÓN VISUAL

ALTERNATIVAS	1	2	3
1	1,00	0,43	0,43
2	2,33	1,00	1,00
3	2,33	1,00	1,00
TOTAL	5,67	2,43	2,43

ALTERNATIVAS	1	2	3	PROMEDIO
1	0,18	0,18	0,18	0,1765
2	0,41	0,41	0,41	0,4118
3	0,41	0,41	0,41	0,4118
TOTAL	1,00	1,00	1,00	1,0000

Alternativa 1	$(1 \cdot 0,1765) + (0,43 \cdot 0,4118) + (0,43 \cdot 0,4118) = 0,53$	0,53
Alternativa 2	$(2,33 \cdot 0,1765) + (1 \cdot 0,4118) + (1 \cdot 0,4118) = 1,24$	1,24
Alternativa 3	$(2,33 \cdot 0,1765) + (1 \cdot 0,4118) + (1 \cdot 0,4118) = 1,24$	1,24

- 2) Se Dividieron los elementos del vector de sumas ponderadas, obtenido en el paso 1, entre el valor de prioridad correspondiente (Promedios obtenido en la matriz de comparación), el resultado obtenido se identifica como λ_{\max}

0,53
1,24
1,24

ALTERNATIVAS	1	2	3	PROMEDIO
1	0,18	0,18	0,18	0,1765
2	0,41	0,41	0,41	0,4118
3	0,41	0,41	0,41	0,4118
TOTAL	1,00	1,00	1,00	1,0000

Alternativa 1	3,00
Alternativa 2	3,00
Alternativa 3	3,00

RESULTADO

3) Posteriormente se calcula el índice de consistencia (CI) así:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

n = Número de elementos que se comparan

$$CI = 0$$

4) Por último se calcula la relación de consistencia (CR), que se define como:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

RI = 0,58, el cual es el índice aleatorio de consistencia de una matriz de comparación por pares generada al azar y para tres elementos el RI siempre será 0,58

Entonces para el caso del ejemplo es CR es:

$$CR = \frac{0}{0,58} = 0$$

Como se mencionó antes, una relación de consistencia de 0.10 o inferior se considera aceptable, para este ejemplo en donde se utilizó el sub criterio de contaminación visual se tiene una relación de 0 por lo que es aceptable el grado de consistencia que exhibe la matriz de comparación por pares, en cuanto a la contaminación visual

CRITERIOS AMBIENTALES						
	GENERACIÓN RUIDO		CONT. VISUAL		CONT. SUELO Y AGUA	
Alternativa 1	1,56	3,00	0,53	3,00	0,38	3,00
Alternativa 2	0,78	3,00	1,24	3,00	1,31	3,00
Alternativa 3	0,67	3,00	1,24	3,00	1,31	3,00

CI	0,00	0,00	0,00
CR	0,00	0,00	0,00
Criterio	< 0,1	< 0,1	< 0,1

CRITERIOS SOCIOECONÓMICO						
	NIVEL DE ESCOLARIDAD		GENERACIÓN DE EMPLEO		SEGURIDAD INDUSTRIAL	
	Alternativa 1	1,18	3,00	1,36	3,00	0,53
Alternativa 2	0,84	3,00	0,82	3,00	1,24	3,00
Alternativa 3	0,98	3,00	0,82	3,00	1,24	3,00
CI	0,00		0,00		0,00	
CR	0,00		0,00		0,00	
Criterio	< 0,1		< 0,1		< 0,1	

CRITERIOS TECNOLÓGICOS						
	PRODUCCIÓN DE LODOS		POTENCIAL DE REUSO		OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	
	Alternativa 1	0,57	3,00	0,55	3,00	0,67
Alternativa 2	1,52	3,00	1,09	3,00	1,00	3,00
Alternativa 3	0,91	3,00	1,36	3,00	1,33	3,00
CI	0,00		0,00		0,00	
CR	0,00		0,00		0,00	
Criterio	< 0,1		< 0,1		< 0,1	

CRITERIOS DE COSTOS				
	COSTO DE INVERSIÓN INICIAL		COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	
	Alternativa 1	0,57	3,00	0,55
Alternativa 2	1,52	3,00	1,09	3,00
Alternativa 3	0,91	3,00	1,36	3,00
CI	0,00		0,00	
CR	0,00		0,00	
Criterio	< 0,1		< 0,1	

Finalmente para la selección de la alternativa más viable se asignaron para cada criterio y sub criterio los correspondientes pesos de acuerdo al grado de

importancia que tiene cada criterio de acuerdo a la problemática expuesta e igualmente y las particularidades del campo de tal forma que se cumpla con la normatividad vigente y se obtenga el mayor porcentaje de remoción de grasas y aceites, evitando así posibles sanciones de la autoridad ambiental competente.

Para calcular las prioridades de cada alternativa se desarrollo el siguiente procedimiento:

- 1) Se establecieron los pesos de cada criterio y subcriterio con el fin de priorizar cada uno de estos
- 2) Se tomaron los resultados obtenidos en el promedio de la matriz de comparación por pares de cada subcriterio
- 3) Para cada una de las alternativas se multiplicaron el peso del criterio por el peso dado al primer el subcriterio por el valor de la primera columna, luego se multiplica el peso del criterio por el peso del segundo subcriterio por el valor de la segunda columna y se multiplica el peso del criterio por el peso del tercer subcriterio por el valor de la segunda columna, para finalmente sumar el producto de las prioridades de los criterios por los subcriterios.
- 4) Para conocer cuál es la alternativa más viable se comparan los resultados “columna de totales”, en donde la alternativa con mayor puntaje en la columna de “resultado” será la elegida

Tabla 5 Resultados Aplicación Metodología para selección de alternativa más viable

SISTEMAS	CRITERIOS															RESULTADO
	PESO CRITERIOS AMBIENTALES				PESO CRITERIOS SOCIOECONÓMICOS				PESO CRITERIOS TECNOLÓGICOS				PESO CRITERIOS COSTOS			
	0,15				0,1				0,25				0,5			
	PESO DE LOS SUBCRITERIOS			TOTAL	PESO DE LOS SUBCRITERIOS			TOTAL	PESO DE LOS SUBCRITERIOS			TOTAL	PESO DE LOS SUBCRITERIOS		TOTAL	
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2		
	0,35	0,2	0,45		0,2	0,3	0,5		0,5	0,1	0,4		0,25	0,75		
ALTERN 1	0,5185	0,1765	0,1250	0,04	0,392	0,454	0,176	0,03	0,1899	0,1818	0,2222	0,05	0,3836	0,2877	0,15	27,7587972
ALTERN 2	0,2593	0,4118	0,4375	0,05	0,280	0,272	0,411	0,03	0,5063	0,3636	0,3333	0,10	0,2877	0,3288	0,15	35,4834789
ALTERN 3	0,2222	0,4118	0,4375	0,05	0,327	0,272	0,411	0,03	0,3038	0,4545	0,4444	0,09	0,3288	0,3836	0,18	36,7577239
TOTALES	1,0000	1,0000	1,0000	0,15	1,000	1,000	1,000	0,10	1,0000	1,0000	1,0000	0,25	1,0000	1,0000	0,5000	100,0000

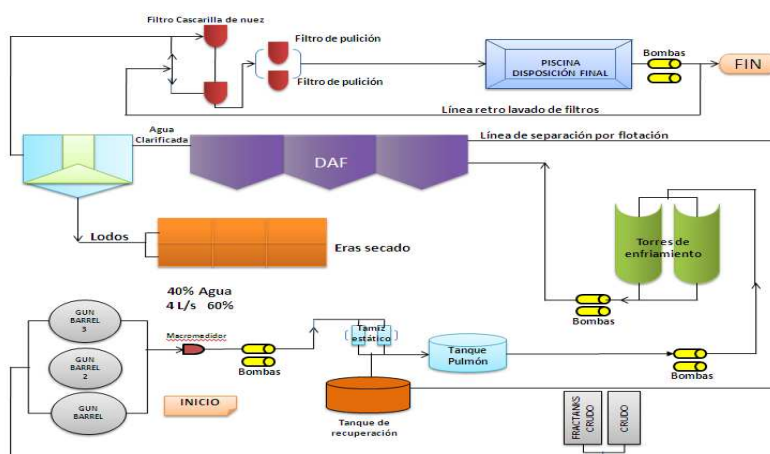
Fuente: Propia basada en la metodología expuesta en: GUERRERO J Modelo de selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades

5 SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA PARA EL MEJORAMIENTO EN LA REMOCIÓN DE GRASAS Y ACEITES DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL EN EL CAMPO PETROLERO DE ESTUDIO

Lo anterior nos muestra que la alternativa 3 es la mejor solución al problema generado en el campo de producción de estudio, ya que esta alternativa comparada con las otras dos alternativas analizadas ofrece una mejor seguridad en la operación, mejores costos de operación y mantenimiento y a pesar de requerir energía, su consumo no es considerablemente alto comparado con el costo de disposición de lodos y borras aceitosos generados en la alternativa 1, además de la posibilidad de incluir un sistema de retrolavado de los filtros con el fin de disminuir el mantenimiento en los mismos que igualmente haría parte del potencial de reuso que tiene esta alternativa, adicionalmente en la parte ambiental se lograría disminuir el área de intervención respecto al tratamiento actual afectando menos el hábitat de las especies existentes, al igual que al lograr una remoción de grasas y aceites estimada en un 99% se consigue el cumplimiento de lo establecido por el artículo 72 del Decreto 1594 de 1984 en cuanto a la remoción de grasas y aceites en un porcentaje mayor o igual al 80% y evitar la contaminación del suelo de la zona de vertimiento como así mismo de la posible contaminación de las fuentes hídricas aledañas al campo.

En consecuencia se procedió a solicitar una propuesta técnica y económica a uno de los expertos consultados (QUIMERK LTDA.) con el fin de obtener las características de un diseño aproximado de acuerdo con el esquema planteado en la alternativa 3, a continuación se muestra el diseño propuesto por Quimerk Ltda. y las especificaciones del sistema de tratamiento (Tabla 6)

Figura 29 Propuesta técnica del QUIMERK LTDA



Fuente: QUIMERK LTDA

Tabla 6 Especificaciones Sistema de Tratamiento

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
Equipos de bombeo	Bomba neumática de doble diafragma Tamaño: 1½” Caudal: 0-100GPM Presión: 0-120 PSI Cuerpo construido en aluminio, diafragma de nitrilo
Tamiz estático	Dimensiones: 2.0m x1.0m Malla: ranura continua de 0.75mm Perfil malla: electrosoldada de ranura continua con perfiles triangulares Material de construcción: acero inoxidable
Tanque pulmón	Tanque pulmón con capacidad de 60m3 para garantizar bombeo por 3horas. Material: Poliester Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) Forma: cilíndrico vertical Diámetro: 3.8m Largo: 4.4m
Torre de enfriamiento	Funcionamiento bajo el principio físico de enfriamiento a través de intercambio de calor Ventiladores con aletas de PVC de ángulo variable Boquillas de distribución de lluvia uniforme y permanente, removibles para limpieza y acopladas a tubería PVC Intercambiador de calos de flujo cruzado en PVC
DAF	Sistema de separación por aire disuelto Dimensiones generales: Largo: 7.0m Ancho: 2.8m Alto: 2.5m Incluye sistema de inyección de aire y sistema de remoción de material flotante. - Sistema de presión: 3 a 5 atm - Caudal de recirculación: 15 – 30% - Carga superficial: 60 – 230 m3/m2.d - Relación aire/sólidos: 0.005 – 0.08 kg/kg

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
Tanque clarifloculador	Tanque en donde ocurren los procesos de floculación y sedimentación. Material: PRFV Forma: cilíndrico vertical Diámetro: 3.2m Largo: 3.8m Cámara de floculación: - Tipo: Floculación Hidráulica con distintos gradientes de velocidad. - Incluye pantallas de floculación. Cámara de Sedimentación: -Tipo: De alta tasa - Módulos: Tipo colmena 60°
Eras de secado	Cámaras de secado de lodos Material de construcción: PRFV Lechos de secado de 2.0 x 2.0m Incluye material filtrante
Sistema de filtración	Sistema de pulición final en donde se retendrán las partícula y compuestos más pequeños que puedan quedar presentes en el agua luego de los tratamientos anteriores Material: lamina de acero al carbón Dimensiones: Diámetro: 30" Altura: 1.20m Número de unidades: cuatro (4) Material de contacto: cascarilla de nuez, mechas de coco, zeolita y carbón activado

Fuente: QUIMERK LTDA

6 CONCLUSIONES

1. A pesar de la dificultad de encontrar información disponible relacionada con las tecnologías de remoción de grasas y aceites para el sector petrolero se lograron encontrar las diferentes tecnologías que vinieron evolucionando con el fin de lograr un mayor grado de separación de grasas y aceites de acuerdo con el tipo de mezcla agua-aceite.
2. Teniendo en cuenta las características y problemática del sistema de tratamiento actual del campo, así como los tipos de mezcla agua-aceite que deben tratar las tecnologías encontradas se llegó a la conclusión que el sistema requiere de una etapa de enfriamiento inicial con el fin de poder recuperar las grasas y aceites libres o dispersas aun no emulsificadas o disueltas debido a la alta temperatura de salida del Gun Barrel, que actualmente quedan como sobrenadante en las piscinas generando un impacto ambiental al suelo de la zona de vertimiento.
3. Debido a que dentro de las características del petróleo extraído la densidad del mismo a 15 C se encuentra estimada en 0,99 g/ml (muy cercana a la densidad del agua), los separadores API no lograrían separar esta mezcla agua-aceite dispersa por ende se seleccionó la tecnología DAF para ser implementada en las tres alternativas propuestas, lográndose así un mayor grado de separación de grasas y aceites, además de que se tiene un menor grado de impacto sobre la fauna existente debido a que no tiene un área superficial descubierta como los separadores API.
4. Para la evaluación de las alternativas seleccionadas se dio mayor peso al criterio económico y al tecnológico por ser los más relevantes y significativos al momento de tomar la decisión real y para el cumplimiento del objetivo

planteado, es por esta razón que la alternativa 3 a pesar de tener en cuenta los criterios ambientales y socioeconómicos en forma similar que las otras alternativas, obtuvo el mayor puntaje.

5. En cuanto que la alternativa seleccionada para la remoción de grasas y aceites fue elegida basada en una metodología que proporciona algo más de objetividad a la evaluación subjetiva, se requiere validar experimentalmente dicha alternativa con el fin de garantizar que el sistema propuesto solucione el problema planteado.
6. De acuerdo con los análisis de laboratorio se estima que al obtenerse una eficiencia del 99% de remoción con la alternativa seleccionada se tendría una separación de 298,3 Kg/día de grasas y aceites, con una concentración final para vertimiento de 8.72 mg/L.
7. De acuerdo con cotización realizada por la empresa QUIMERK LTDA (Anexo 3) se estima que el costo de suministro y montaje de equipos es de \$ 590.603.418 sin tener en cuenta el tanque de disposición final cotizado, el cual es reemplazado por la piscina 4.

7 RECOMENDACIONES

1. Se debe tener en cuenta que a la salida de las grasas y aceites libres provenientes de la unidad DAF hacia el tanque de recuperación requiere del uso de intercambiadores de calor con vapor proporcionado en el campo para mantener fluido el crudo recuperado y así poder ser bombeado, lo cual debe ser objeto de experimentación previa, de tal forma que esté sistema quede lo más cerca al tanque de recuperación para no incurrir en sobrecostos excesivos.
2. En vista de lo propuesto en el artículo 77 del decreto 3930 y su modificación en el artículo 7 del decreto 4728 con relación al Plan de Reconversión a Tecnologías Limpias en Gestión de Vertimientos se considera necesario que la empresa que maneja el campo comience a revisar la posibilidad de implementar la alternativa propuesta con el fin de cumplir con lo establecido en el decreto 1594 en materia de vertimientos, y de esta manera tener mas tiempo para el cumplimiento de los nuevos parámetros que se establezcan en la nueva resolución.

BIBLIOGRAFÍA

ANTONIO RODRÍGUEZ, FERNÁNDEZ-ALBA, Avanzadosde aguas residualesindustriales. [on line]. Availablefrom internet:

http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt2_tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf

Antonio De Turrís et al. Tratamiento de aguas de producción por flotación con aire disuelto.

Alternativas Tecnológicas Del Final Del Tubo. [on line]. Available from internet:

http://www.tecnologiaslimpias.org/html/central/311105/311105_tubo.htm

AQUATECNIA. . [on line]. Available from internet:

<http://www.aquatecna.com/index.asp?idp=658>

[on line]. Available from internet: http://www.interciencia.org/v36_03/211.pdf

CORMACARENA. Agenda ambiental de San Martín de los Llanos –Meta. 2009

ChoongHee Rhee,Paul C. Martyn, Jay G. Kremer. Removal Of Oil And Grease In Oil Processing Wastewaters. [on line]. Available from internet:

<http://infohouse.p2ric.org/ref/02/01442.pdf>

Filtración en Grava y Arena [on line]. Available from internet

<http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/filtracion.htm>

GEORGE R ALTHER. How to Remove Emulsified Oil from Wastewater with Organoclays. [on line]. Available from internet:

<http://www.wwdmag.com/wastewater/how-remove-emulsified-oil-wastewater-organoclays>

GUERRERO J. Modelo de selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades. [on line]. Available from internet: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/agua2003/guerre.pdf>

IFM. Estudio de Impacto Ambiental Campo Descubierta No Desarrollado. 2006

J.A SAINZ SASTRE, Ecolaire España S.A. Tratamiento de Aguas Residuales Separación de aceites de efluentes industriales. [on line]. Available from internet: <http://www.infoambiental.es/html/files/pdf/amb/iq/409/04ARTICULOEN.pdf>

MAVDT, DECRETO 3930 DE 2010, *“Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI-Parte 11I- Libro 11 de Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones”*.

MAVDT, DECRETO 4728 DE 2010, *“Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 3930 de 2010”*

MAVDT, PROYECTO DE RESOLUCIÓN, Octubre de 2010 *“por el cual se establecen las normas y los valores límites máximos permisibles de parámetros en vertimientos puntuales a sistemas de alcantarillado público y a cuerpos de agua continentales superficiales de generadores que desarrollen actividades industriales, comerciales o de servicio y se dictan otras disposiciones”*

MAVDT. Proyecto de resolución por la cual se establecen las normas y los valores límite máximos permisibles de parámetros en vertimientos puntuales a sistemas de alcantarillado público y a cuerpos de aguas continentales superficiales de

generadores que desarrollen actividades industriales, comerciales o de servicio y se dictan otras disposiciones [on line]. Available from internet:

<http://www.grupaac.com/wp-content/uploads/2010/11/proyresvertimientos.pdf>

MAVDT. Proyecto de resolución por la cual se establecen las normas y los valores límite máximos permisibles de parámetros en vertimientos puntuales a sistemas de alcantarillado público y a cuerpos de aguas continentales superficiales de generadores que desarrollen actividades industriales, comerciales o de servicio y se dictan otras disposiciones [on line]. Available from internet:

<http://www.grupaac.com/wp-content/uploads/2010/11/proyresvertimientos.pdf>

MORALES A, Guillermo J. SEPARACIÓN DE FLUIDOS. NEXT 2006

PEDRO CISTERNA, Univ. de Oviedo, Dpto Ingeniería Química y Tecnologías del medio ambiente. Las grasas, aceites y soluciones de tratamiento de efluentes aceitosos. [on line]. Available from internet: <http://www.e-seia.cl/archivos/gyaAP.pdf>

PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA, DECRETO 1594 DE 1984 “*Usos del agua y residuos líquidos*”

SOLUCIONES AMBIENTALES S.A de C.V. Utilización De Bacterias Para La Degradación De Grasas Derivadas Del Petróleo. [on line]. Available from internet:

http://www.enziclean.com/articulos/utilizacin_de_bacterias_para_la_degradacin_de_grasas_derivadas_del_petrleo.html

TRATAMIENTOS QUIMICOS INDUSTRIALES (TQI). NONTOX .[on line]. Available from internet:

<http://www.tratamientosquimicosindustriales.com/Nontox.php>

WATERTONICS.ELECTROCOAGULATION.[on line]. Available from internet:

<http://www.watertectonics.com/technology-services/electrocoagulation>

X Congreso bolivariano de ingeniería sanitaria y ambiental “Ambiente y desarrollo impulsado res del progreso “electrocoagulación , electro floculación, electro flotación, y producción, in-situ, de cloro. [on line]. Available from internet:

<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/ecuador10/elec.pdf>

ANEXOS

Anexo 1 ANÁLISIS DE LABORATORIO DEL EFLUENTE Y DEL AFLUENTE CAMPO DE ESTUDIO

Análisis de laboratorio del efluente

DATOS DEL CLIENTE		IDENTIFICACION DE LA MUESTRA			
		PRODUCTO/MATRIZ: AGUA MUESTREO A CARGO DE: CLIENTE PROCEDIMIENTO DE MUESTREO: N.A. PLAN DE MUESTREO ANTEK No.: N.A. IDENTIFICACION DE MONITOREO: N.E. NUMERO TOTAL DE MUESTRAS: 2 LUGAR DE MUESTREO: POZO TIPO DE MUESTREO: N.E.			
FECHA DE MUESTREO: 2011-12-20		FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS: 2011-12-22		FECHA DE ANALISIS: 2011-12-22 AL 2012-01-05	

PARAMETRO	UNIDADES	TECNICA ANALITICA	METODO	BOCA DE POZO 1	BOCA DE POZO 3
				ANTEK 107279	ANTEK 107280
TEMPERATURA MUESTRA	°C	TERMOMETRICO	SM 2550 B	21,3	22,3
pH	UNIDADES	ELECTROMETRICO	SM 4500H+ B	6,18	6,69
CONDUCTIVIDAD	us/cm	ELECTROMETRICO	SM 2510 B	245	125
CLORUROS	mg/L Cl-	ARGENTOMETRICO	SM 4500-Cl B	11,9	9,2
SULFATOS	mg/L SO4-2	TURBIDIMETRICO	SM 4500-SO4-2 E	<4	<4
NITRATOS	mg/L N-NO3	ESPECTROFOTOMETRICO UV	SM 4500-NO3 B	<0,015	0,142
NITRITOS	mg/L N-NO2	COLORIMETRICO	SM 4500-NO2- B	0,012	0,013
NITRÓGENO AMONIAICAL	mg/L N-NH3	DESTILACIÓN - VOLUMETRICO	SM 4500-NH3 B SM 4500-NH3 C	<1	<1
NITROGENO TOTAL	mg/L N	KJELDAHL - TITULOMETRICO	SM 4500-Norg C SM 4500-NH3 C	<1	<1
FENOLES TOTALES	mg/L	DESTILACION - FOTOMETRICO	SM 5530 B - SM 5530 D	0,137	0,221
SULFUROS	mg/L S-2	AZUL DE METILENO	SM 4500-S2 D	<0,1	<0,1
SOLIDOS SEDIMENTABLES	mL/L - h	CONO IMHOFF	SM 2540 F	0,2	0,5
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	SECADO A 103-105 °C - GRAVIMETRICO	SM 2540 D	173	460
DBO5	mg/L O2	INCUBACIÓN 5 DÍAS - ELECTRODO DE MEMBRANA	SM 5210 B - SM 4500-O G	30	161
DQO	mg/L O2	REFLUJO CERRADO - VOLUMETRICO	SM 5220 C	74	237
ARSENICO	mg/L	E.A.A.E.	SM 3113 B	0,000 47	0,000 42
BARIO	mg/L	E.A.A.	SM 3030 E - SM 3111 D	<0,01	<0,01
CADMIO	mg/L	E.A.A.	SM 3030 E - SM 3111 B	<0,007	<0,007
CROMO TOTAL	mg/L	E.A.A.	SM 3030 E - SM 3111 D	<0,050	<0,050
CROMO HEXAVALENTE	mg/L	COLORIMETRICO	SM 3500 Cr B	<0,005	<0,005
MERCURIO	mg/L	E.A.A./V.F.	SM 3112 B	<0,001 9	<0,001 9
PLOMO	mg/L	E.A.A.	SM 3030 E - SM 3111 B	<0,05	<0,05
SELENIO	mg/L	E.A.A.E.	SM 3113 B	0,000 18	0,000 16
VANADIO	mg/L	E.A.A.	SM 3030 E - SM 3111 D	<0,082	<0,082
TENSOACTIVOS	mg/L LAS	COLORIMETRICO	SM 5540 C	<0,09	<0,09
GRASAS Y ACEITES	mg/L	PARTICION / INFRARROJO	SM 5520 C	142	730
HIDROCARBUROS PETROGENICOS	mg/L	CROMATOGRAFIA DE GASES - FID	TEXAS 1005	64,5	179
BTEX	mg/L	CROMATOGRAFIA DE GASES - FID	EPA 8015D - EPA 5021	0,820	1,35
PAH'S	mg/L	CROMATOGRAFIA DE GASES - FID	SM 6440 B - EPA 8100	<0,000 05	<0,000 05
PCB'S	mg/L	CROMATOGRAFIA DE GASES - ECD	EPA 8082	<0,000 1	<0,000 1

Análisis de laboratorio del afluente

DATOS DEL CLIENTE	IDENTIFICACION DE LA MUESTRA
	PRODUCTO/MATRIZ: AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL MUESTREO A CARGO DE: CLIENTE PROCEDIMIENTO DE MUESTREO: N.A. PLAN DE MUESTREO ANTEK No.: N.A. IDENTIFICACION DE MONITOREO: N.E. NUMERO TOTAL DE MUESTRAS: 1 LUGAR DE MUESTREO: POZO TIPO DE MUESTREO: N.E.
FECHA DE MUESTREO: 2011-12-08	FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS: 2011-12-09
FECHA DE ANALISIS: 2011-12-09 AL 2011-12-22	

PARAMETRO	UNIDADES	TECNICA ANALITICA	METODO	VERTIMIENTO	LIMITE DECRETO 1594/84	
				AGUA RESIDUAL	MINISTERIO DE SALUD	
				ANTEK 100692	Art. 72	Art. 74
TEMPERATURA MUESTRA	°C	TERMOMETRICO	SM 2550 B	24,2	<=40	N.E.
pH	UNIDADES	ELECTROMETRICO	SM 4500H+ B	6,38	5,0-9,0	N.E.
CONDUCTIVIDAD	us/cm	ELECTROMETRICO	SM 2510 B	225	N.E.	N.E.
CLORUROS	mg/L Cl-	ARGENTOMETRICO	SM 4500-Cl B	6,1	N.E.	N.E.
SULFATOS	mg/L SO4-2	TURBIDIMETRICO	SM 4500-SO4-2 E	<4	N.E.	N.E.
NITRATOS	mg/L N-NO3	ESPECTROFOTOMETRICO UV	SM 4500-NO3 B	0,402	N.E.	N.E.
NITRITOS	mg/L N-NO2	COLORIMETRICO	SM 4500-NO2- B	0,030	N.E.	N.E.
NITRÓGENO AMONIAICAL	mg/L N-NH3	DESTILACIÓN - VOLUMÉTRICO	SM 4500-NH3 B SM 4500-NH3 C	<1	N.E.	N.E.
NITROGENO TOTAL	mg/L N	KJELDAHL - TITULOMETRICO	SM 4500-Norg C SM 4500-NH3 C	<1	N.E.	N.E.
FENOLES TOTALES	mg/L	DESTILACION - FOTOMETRICO	SM 5530 B - SM 5530 D	<0,040	N.E.	0,2
SULFUROS	mg/L S-2	AZUL DE METILENO	SM 4500-S2 D	<0,1	N.E.	N.E.
SOLIDOS SEDIMENTABLES	m/L - h	CONO IMHOFF	SM 2540 F	<0,1	N.E.	N.E.
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	SECADO A 103-105 °C - GRAVIMETRICO	SM 2540 D	154	>=80%	N.E.
DBO5	mg/L O2	INCUBACIÓN 5 DÍAS - ELECTRODO DE MEMBRANA	SM 5210 B - SM 4500-O G	98	>=80%	N.E.
ARSENICO	mg/L	E.A.A.E.	SM 3113 B	0,000 37	N.E.	0,5
BARIO	mg/L	E.A.A.	SM 3030 E - SM 3111 D	<0,01	N.E.	5,0
CADMIO	mg/L	E.A.A.	SM 3030 E - SM 3111 B	<0,007	N.E.	0,1
CROMO TOTAL	mg/L	E.A.A.	SM 3030 E - SM 3111 D	<0,050	N.E.	N.E.
CROMO HEXAVALENTE	mg/L	COLORIMETRICO	SM 3500 Cr B	<0,005	N.E.	0,5
MERCURIO	mg/L	E.A.A./V.F.	SM 3112 B	<0,001 9	N.E.	0,02
PLOMO	mg/L	E.A.A.	SM 3030 E - SM 3111 B	<0,05	N.E.	0,5
SELENIO	mg/L	E.A.A.E.	SM 3113 B	0,000 21	N.E.	0,5
VANADIO	mg/L	E.A.A.	SM 3030 E - SM 3111 D	<0,082	N.E.	N.E.
TENSOACTIVOS	mg/L LAS	COLORIMETRICO	SM 5540 C	2,26	N.E.	N.E.
GRASAS Y ACEITES	mg/L	PARTICION / INFRARROJO	SM 5520 C	213	>=80%	N.E.
HIDROCARBUROS PETROGENICOS	mg/L	CROMATOGRAFIA DE GASES - FID	TEXAS 1005	146	N.E.	N.E.
BTEX	mg/L	CROMATOGRAFIA DE GASES - FID	EPA 8015D - EPA 5021	<0,000 005	N.E.	N.E.
PAH'S	mg/L	CROMATOGRAFIA DE GASES - FID	SM 6440 B - EPA 8100	<0,000 05	N.E.	N.E.
PCB'S	mg/L	CROMATOGRAFIA DE GASES - ECD	EPA 8082	<0,000 1	N.E.	N.D.

Anexo 2 BIOCATALIZADOR ORGÁNICO NONTOX

 **Tratamientos Químicos Industriales**
Soluciones Ambientales Confiables

NONTOX™

Limpieza de hidrocarburos

La limpieza y remediación de contaminantes derivados de hidrocarburos de petróleo en el agua y la tierra es un desafío ambiental para la mayoría de las empresas y los sistemas de transporte.

Nontox es un biocatalizador orgánico que acelera las reacciones biológicas y químicas que se generan en la descomposición del material orgánico. Esta tecnología contiene en su fórmula aceleradores biológicos, proteínas que actúan como plataforma para reacciones y factores estimuladores de oxidación convencional.


Nontox es un producto especialmente formulado para la limpieza de superficies contaminadas con hidrocarburos. Su acción permite una mayor eficiencia en el tratamiento de estos compuestos, con gran facilidad para su uso.




BENEFICIOS

La implementación del biocatalizador NONTOX le permitirá:

- Protección instantánea contra auto ignición por residuos de hidrocarburos.
- No inflamable, 100% biodegradable.
- Proporciona limpieza superior de capas de grasas y aceites.
- Acelera la tasa de degradación de hidrocarburos.
- Elimina olores asociados a los hidrocarburos.
- Elimina por completo lavados cáusticos.
- Mejora la calidad del agua que ingresa a la trampa de grasas, presenta efecto sinérgico con estos productos al emplearse en forma conjunta.



- Reduce la frecuencia de los mantenimientos de las superficies.
- Mayor remoción de carga orgánica (DBO, DQO, SST, GRASAS Y ACEITES).
- Elimina el limo, formado en las tuberías, por causa de almacenamiento de grasas en las paredes las mismas.
- Disminuye el uso de agua y detergentes
- Protege a su personal, al evitar manipular productos abrasivos y corrosivos.




FORMA DE APLICACIÓN

1. Preparar con agua limpia, soluciones desde el 5% del biocatalizador NONTOX. Para mantenimientos periódicos de las superficies preparar soluciones al 1%.
2. Hacer aspersión con algún dosificador con Spray sobre la superficie del área a tratar.
3. Dejar actuar el producto de 10 a 20 minutos.
4. Realizar lavado con agua y limpiar con un cepillo (no se usa detergente).

SERVICIO AL CLIENTE

Si usted requiere información adicional o asistencia técnica, comuníquese con nosotros al 6812320 - 3164431657 o a nuestra email: info@tratamientosquimicosindustriales.com o comuníquese con nuestro representante más cercano.

Producido por:  Distribuido por: 

Calle 52 No. 4N-73 Cali - Colombia
Tel.: (57 2) 681 23 20 Fax: (57 2) 688 0285
Cel.: (57) 316 445 1657 - (57) 321 811 0293
E-mail: info@tratamientosquimicosindustriales.com
www.tratamientosquimicosindustriales.com

Anexo 3 Oferta Económica QUIMERK LTDA



2. OFERTA ECONOMICA

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Bombas eléctricas para manejar aguas con contenido de hidrocarburos	8	\$ 4.340.000	\$ 34.720.000
2	Tamiz estático	2	\$ 31.155.509	\$ 62.311.018
3	Torre de enfriamiento	2	\$ 16.590.000	\$ 33.180.000
4	Sistema DAF o IAF	1	\$ 140.000.000	\$ 140.000.000
5	Eras de secado	6	\$ 3.000.000	\$ 18.000.000
6	Tanque clarifloculador	1	\$ 75.650.000	\$ 75.650.000
7	Filtros en lámina de acero al carbón de 30"	4	\$ 3.500.000	\$ 14.000.000
8	Tanque pulmón en PRFV	1	\$ 25.000.000	\$ 25.000.000
9	Tanque de disposición final en PRFV	1	\$ 25.000.000	\$ 25.000.000
10	Accesorios de instalación y válvulas	1	\$ 14.000.000	\$ 14.000.000
11	Tablero de control y automatización de todo el sistema	1	\$ 22.600.000	\$ 22.600.000
12	Moto reductor para el proceso de floculación	1	\$ 12.600.000	\$ 12.600.000
13	Compresor	1	\$ 21.000.000	\$ 21.000.000
Subtotal				\$ 498.061.018
Administración 10%				\$ 49.806.102
Imprevistos 2%				\$ 9.961.220
Utilidad 10%				\$ 49.806.102
IVA 16%				\$ 7.968.976
Total				\$ 615.603.418