

UNIVERSIDAD EXTERNADO DE COLOMBIA
FACULTADO DE ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL

Análisis de la Resolución 631 del 17 de marzo de 2015 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) en el desarrollo de las actividades del sector petrolero.

ADRIANA PAOLA BARRERA RODRÍGUEZ
DEISY LISBETH RODRÍGUEZ BERNAL

Bogotá D.C.

Noviembre 2017

Firma de Jurado

Bogotá D.C.

Noviembre, 2017

CONTENIDO

1	Planteamiento del problema	8
1.1	objetivos	iError! Marcador no definido.
	Objetivo General.....	10
	Objetivo específicos.....	10
1.2	Justificación	11
2	marco teórico conceptual	12
3	Revisión y comparación de la normatividad relacionada con los vertimientos en Colombia	17
3.1	FASES DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	22
	3.1.1 Procesos físicos:	23
	3.1.2 Procesos químicos:	23
	3.1.3 Procesos biológicos:	23
3.2	GRADO DE TRATAMIENTO.....	23
	3.2.1 Tratamientos preliminares.....	24
	3.2.2 Tratamientos primarios.....	25
	3.2.3 Tratamientos secundarios	27
	3.2.4 Tratamientos terciarios	28
3.3	TIPOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTOS USADAS EN EL SECTOR HIDROCARBUROS	29
	3.3.1 Plantas de tratamiento compactas tipo red fox	29
	3.3.2 Plantas modulares para tratamiento de aguas residuales industriales	31
4	Recomendaciones conclusiones	41
5	bibliografía.....	45

Listado de figuras

Figura 3.1 Régimen de Transición Decreto 1076 de 2015, Título 3, Capítulo 3, Sección 11, Artículo 2.2.3.3.11.1.....	21
Figura 3.2 Detalle anual de Régimen de Transición - PRTLGV.....	21
Figura 3.3 Secuencia por grado de tratamiento y el incremento en el porcentaje de eficiencia	24
Figura 3.4 Fotografía de una Planta de tratamiento de aguas residuales tipo Red fox	30
Figura 3.5 Esquema tipo de una planta de lodos activados	30
Figura 3.6 Esquema general de un skim tank	32
Figura 3.7 Diseño tipo de las celdas de flotación	33
Figura 3.8 Decantador	35
Figura 3.9 Esquema de sistema de tratamiento para aguas residuales industriales	37
Figura 3.10 Esquema sistema de tratamiento ARI con tratamiento terciario.....	40

Listado de tablas

Tabla 3.1 Valores establecidos para vertimientos según el Artículo 2.2.3.3.9.14 del Decreto 1076 de 2015 y la Resolución que lo reglamenta (Artículo 11 de la Resolución 631 de 2015)	iError! Marcador no definido.
---	--------------------------------------

INTRODUCCIÓN

El petróleo es un hidrocarburo aromático compuesto básicamente de carbono e hidrógeno, siendo este un mineral orgánico de origen fósil. Este mineral, suele encontrarse inmerso en el subsuelo, el cual se puede almacenar en grandes cantidades producto de la presión, tiempo, temperatura y demás agentes que contribuyen a la formación de los yacimientos de hidrocarburos como son conocidos.

La extracción del petróleo está compuesta básicamente por cinco fases que son la exploración (fase previa de reconocimiento e identificación del yacimiento ya sea por una exploración geológica o geofísica); perforación, producción-tratamiento, refinación del petróleo y transporte; en la fases de exploración y producción se generan aguas residuales las cuales deben ser vertidas, en la mayoría de los casos, a los cuerpos de agua autorizados, los cuales son definidos previamente durante la etapa de caracterización física en la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental o Plan de Manejo Ambiental, y posteriormente aprobados en la respectiva licencia ambiental o establecimiento del Plan de Manejo Ambiental.

Para que se puedan realizar estos vertimientos y en el marco de lo establecido en el permiso ambiental (Licencia o permiso), se debe dar cumplimiento a los límites establecidos por la normatividad ambiental vigente, para cada uno de los parámetros fisicoquímicos que se evalúan en las aguas de vertimiento del sector hidrocarburos.

En cuanto a la comercialización del petróleo, el precio por barril ha estado sujeto a diversas situaciones de origen geopolítico, presentándose "crisis petroleras", estas situaciones han generado fluctuaciones en el precio de forma positiva o negativa; a partir del año 2000, producto de los efectos de la llamada primavera árabe, el precio del barril subió, alcanzando precios alrededor de los 100 dólares, posteriormente por el incremento en la producción de petróleo en Estados Unidos su valor empezó a disminuir, adicionalmente la crisis financiera mundial que empezó en Estados Unidos influyó fuertemente en la caída de los precios, mostrando

la vulnerabilidad, fluctuación y dependencia que tiene el precio del petróleo debido a diversos actores (Tecnoil - 2016)

El presente trabajo, realizó una revisión de la normatividad ambiental vigente, en cuanto a los límites establecidos para los diferentes parámetros de calidad del agua que se evalúan para poder realizar vertimientos a aguas superficiales, teniendo en cuenta que en el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, expidió la Resolución reglamentaria 631 del 7 de marzo de 2015 *"Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones"*, para la cual el Ministerio y los diferentes sectores realizaron una revisión extensa, arrojando como resultado el establecimiento de los valores límites de los parámetros a evaluar, valores que los diferentes sectores y partes interesadas estaban esperando pues existía un vacío normativo en los límites permitidos de vertimiento para los diferentes sectores; dado lo anterior, en el presente documento se revisó el artículo 11, donde se indican los parámetros a evaluar y los valores límite establecidos para las actividades de perforación exploratoria y producción de hidrocarburos. El documento se desarrolló en cuatro (4) capítulos los cuales se describen de forma general a continuación:

En el capítulo 1 se indica cual es el problema de investigación teniendo en cuenta el sector productivo (hidrocarburos) es el que mayores aportes económicos ha dado al país, pero que a la vez ha causado inconvenientes ambientales que han afectado la calidad de las aguas superficiales en las cuales realizan sus vertimientos.

En el capítulo 2 se estableció el fundamento teórico, donde se indican los conceptos básicos bióticos, abióticos y ambientales a tener en cuenta para el desarrollo del presente trabajo

Posteriormente en el capítulo 3 se realizó la revisión de la normatividad ambiental que se tenía en cuenta para realizar los vertimientos y se comparó con la resolución reglamentaria, adicionalmente se describieron los procesos que suelen realizarse para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales y se evidenció la alternativa que algunas

empresas están usando para incrementar la eficiencia en la remoción y así poder cumplir con los estándares establecidos por la Resolución 631 de 2015 del Minambiente.

Finalmente, en el capítulo 4 se encuentran las recomendaciones y conclusiones generadas a las que se llegó luego del proceso de revisión y análisis de la información consultada en el presente documento, en relación a los vertimientos realizados en aguas superficiales como son caños, quebradas y ríos. Así como análisis del avance a la fecha de la implementación de esta normatividad

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las actividades de exploración y explotación de petróleo si bien han contribuido económicamente al país, respecto al componente ambiental existen aún muchos cuestionamientos frente a la efectividad de los controles actualmente regulados por el estado Colombiano, a pesar de las medidas establecidas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente) y la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), como son la elaboración de los Estudios de Impacto Ambiental (EIA), en los cuales se realiza la caracterización ambiental respecto a los componentes físico, biótico y socioeconómico; los Planes de Manejo Ambiental (PMA), donde se definen las medidas de prevención, control y mitigación ambiental necesarias para llevar a cabo el desarrollo de este tipo de proyectos y Plan de seguimiento y monitoreo, en el cual se definen las variables a monitorear durante el desarrollo del proyecto que permitan verificar el cumplimiento de lo establecido en el PMA. Los soportes y resultados del cumplimiento de las medidas de manejo ambiental se evalúan a través de los Informes de Cumplimiento Ambiental (ICA); sin embargo estos proyectos han causado grandes afectaciones sobre los recursos naturales y por ende a las comunidades ubicadas en las áreas aledañas donde se desarrollan dichos proyectos no están satisfechos con el desarrollo de estos proyectos en sus áreas de influencia, como lo evidencia Calao (2007), Peña (2003) y Avellaneda (1992).

Producto de la actividad petrolera, se han identificado varias consecuencias como son contaminación, cambio en el uso del suelo, salinización de suelo, erosión, pérdida de cobertura vegetal por remoción de esta para la construcción de vías, instalaciones de pozos, contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, fragmentación de hábitats, modificación de los patrones socio-culturales e inflación en las zonas donde se llevan a cabo estas actividades (Avellaneda, 1992). A su vez, como aspectos positivos resalta la generación de empleo, fortalecimiento de la economía nacional por medio de las regalías y obtención de rentas producto de los gravámenes tributarios (Martínez V, Alejandro-2016

Otro de los impactos causados por la actividad petrolera en el país de acuerdo a lo expuesto por Alzate & Zuluaga (2014) son la deforestación, afectaciones en la salud de las comunidades, derrames de crudo, que afectan los pastos, el suelo, flora, fauna y las fuentes hídricas.

En relación a las fuentes hídricas, superficiales y subterráneas, los vertimientos realizados por esta industria, producto de las aguas de producción pueden contener sales, diversos compuestos químicos, elementos radioactivos entre otros, afectando la calidad fisicoquímica de los cuerpos de agua y por ende de las comunidades que los habitan (Contraloría General de la República), generando así afectaciones al ambiente desde la perspectiva biótica y en el componente social impactando en la disponibilidad de recursos para suplir necesidades básicas como el alimento y derecho al agua para consumo humano. Dado lo anterior, es importante analizar la normatividad que se tiene actualmente para evaluar desde el componente fisicoquímico como se están realizando dichos vertimientos e identificar los cambios e implicaciones que se tendrán a partir de la expedición de la Resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente), teniendo en cuenta que los yacimientos de petróleo crudo en Colombia, en su mayoría están compuestos por agua, pues el porcentaje de agua en un barril de crudo algunas veces supera el 80%, ejemplo yacimientos de los llanos Orientales de Colombia, siendo los vertimientos de aguas residuales industriales uno de los mayores impactos ambientales generados por el sector Hidrocarburos.

Teniendo en cuenta lo anterior, la pregunta es si el ajuste realizado en relación a las variables que se deben medir y los valores límites establecidos serán suficientes para mitigar los impactos causados sobre las aguas superficiales donde se han realizado y se realizan vertimientos producto de las actividades de sector de hidrocarburos? ¿Será posible obtener y evidenciar beneficios ambientales a partir de lo establecido en la Resolución 631 del 17 de marzo de 2015?

1.1 Objetivos

Objetivo General

- Revisar la Resolución 631 del 17 de marzo de 2015 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente) en relación al desarrollo de las actividades del sector petrolero para evidenciar cuales fueron los cambios .

Objetivo específicos

- Identificar los principales cambios de la Resolución 631 del 17 de marzo de 2015 expedida por Minambiente respecto a los Decretos 4728 de 2010, 3930 de 2010 y 1594 de 1984 expedido por el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT ahora Minambiente) incorporados en el Decreto Único Reglamentario del sector ambiental 1076 de 2015 a ser aplicados por las empresas del sector petrolero.
- Establecer los beneficios ambientales que se tendrían con la implementación y cumplimiento de lo establecido en la Resolución 631 del 17 de marzo de 2015 expedida por Minambiente.
- Investigar y concluir sobre el grado de avance a la fecha (2017), en la implementación y cumplimiento de la Resolución 631 del 17 de Marzo de 2015, en el sector de hidrocarburos.

1.2 Justificación

Teniendo en cuenta las problemáticas identificadas por las actividades petroleras y las actualizaciones respecto a la normatividad que deben cumplir para cada uno de los componentes ambientales que requieren usar durante su operación, es necesario realizar una revisión respecto a los cambios que incorpora la Resolución 631 del 17 de marzo de 2015 expedida por Minambiente los cuales están relacionados con el componente hídrico, haciendo referencia a los vertimientos que se realizan a los diversos cuerpos de agua durante las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos.

Una vez identificados, se realizará un análisis sobre los efectos que esto tendría en el sector petrolero en caso que tengan que realizar modificaciones en sus procesos para dar cumplimiento efectivo a los requerimientos realizados por la Resolución 631 de 2015 del Minambiente, en especial los proyectos que ya se encuentran en funcionamiento puesto que la autoridad competente puede solicitar que actualicen sus procesos a fin de acogerse a los nuevos requerimientos establecidos. Dado que el no cumplimiento de la resolución reglamentaria implicaría sanciones económicas (multas y/o suspensión de actividades) y ambientales que causarían pérdidas económicas a las operadoras que realizan actividades de perforación exploratoria, producción y que realizan vertimientos a los cuerpos de agua que tienen autorizados por las respectivas licencias ambientales.

En cuanto a los nuevos proyectos que se estén realizando y pretendan obtener aprobación para realizar vertimientos en aguas superficiales, deberán tener claro los parámetros a evaluar y valores límites establecidos bajo esta resolución, los cuales deben ser cumplidos a cabalidad, así mismo, deben establecer en el capítulo de Demanda Uso y Aprovechamiento de los Recursos Naturales las alternativas que van a emplear para cumplir con los valores límites establecidos y realizar monitoreos de seguimiento para evaluar las condiciones en las que se están realizando.

2 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

Las actividades realizadas en los proyectos perforación exploratoria y de explotación de petróleo a pesar de las medidas de manejo implementadas, han causado alteraciones en el medio biótico, abiótico y socioeconómico, que pueden ser de carácter positivo o negativo; producto de un resultado total o parcial de los aspectos ambientales este tipo de cambios son denominados como impactos ambientales (Decreto 1076 de 2015 expedido por el Minambiente, NTC-ISO 14001).

En cada una de las etapas para llevar a cabo dichos proyectos se generan distintos impactos, de los cuales se hará mención en el presente documento a los realizados sobre el recurso hídrico producto de los vertimientos que corresponden a la descarga final a un cuerpo de agua de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido (Título 3, Capítulo 3, sección 1 Decreto 1076 de 2015); estos son realizados por las Aguas Residuales Domésticas (ARD) que son las que provienen de las instalaciones como container, oficinas, casinos haciendo referencia a las aguas de los sanitarios, lavamanos, duchas, cocina y área de lavado o los realizados por las Aguas Residuales no Domésticas (ARnD) que son las generadas propiamente por la actividad industrial que se desarrolle (Resolución 631 de 2015 expedida por el Minambiente).

Adicionalmente, durante los procesos de extracción, producto de una mezcla de agua y crudo se generan Aguas de desecho o Aguas de Producción, las cuales suelen ser el mayor volumen de "desecho" de esta industria; este residuo líquido suele contener hidrocarburos aromáticos disueltos compuestos por benceno, tolueno y xileno los cuales se denominan BTEX, hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAH's), sustancias tóxicas para los organismo vivos, metales pesados y compuestos potencialmente tóxicos que no se descomponen en el ambiente (Epstein & Selver 2002).

Los cuerpos de agua receptores que puede ser caños, quebradas, ríos dependiendo de su cercanía al área donde se lleve a cabo el proyecto, poseen una capacidad de asimilación y dilución para aceptar y degradar sustancias que son vertidas a través de procesos fisicoquímicos y biológicos; a fin de procurar que estos procesos se den, en Colombia, existe una normatividad ambiental en la cual se indican los valores máximos permitidos de diferentes compuestos y elementos que deben ser medidos previamente a la realización del vertimiento, si no se da cumplimiento a lo establecido por la normatividad ambiental vigente (Título 3, Capítulo 3, secciones 1, 2, 3 y 4 del Decreto 1076 de 2015 expedido por Minambiente y la Resolución 0631 de 2015 del Minambiente), los impactos ambientales serían de mayor magnitud puesto que afectarían las comunidades hidrobiológicas, la calidad fisicoquímica del agua, la salud de las comunidades sumado esto tendría repercusiones sobre el componente social que dependa de los servicios que le provea el recurso hídrico como por ejemplo agua para consumo y alimento.

Sin embargo, dichos vertimientos a pesar de los tratamientos previos que tienen, pueden ser causantes de afectaciones sobre los cuerpos de agua muchas veces producto de los compuestos químicos que contienen, lo cual indicaría que se está causando contaminación; esta puede clasificarse de acuerdo a la fuente, o por el tipo de agente contaminante como son sustancias químicas, residuos urbanos, petróleo, los cuales generan impactos sobre los ecosistemas, la atmósfera, la salud humana y causar enfermedades en varias especies animales (MAVDT, Avellaneda-1992).

Según Álzate & Zuluaga (2014), los vertimientos realizados en vías o en cuerpos de agua luego del respectivo tratamiento de acuerdo a lo manifestado por la comunidad aledaña suelen quemar los pastos y el ganado que consume agua proveniente de áreas donde se han realizado los vertimientos padecen enfermedades; adicionalmente, como dichos afluentes surten centros poblados también evidenciaron afectaciones en la salud de las personas que consumían esta agua.

Yepes (2010) indica que los ecosistemas acuáticos son los más susceptibles de ser afectados y deteriorados por los vertimientos causados por las actividades petroleras, pues que estos son los receptores finales de los contaminantes terrestres producto de actividades antrópicas que se den cientos de kilómetros aguas arriba; dentro de estos contaminantes, los generados por el sector petrolero pueden variar a partir de la calidad y cantidad del producto vertido y la capacidad del sistema para liberarse del mismo.

Por su parte Calao (2007) identificó los vertimientos realizados producto de las aguas de formación y de producción como las que mayores impactos pueden causar debido a los compuestos químicos que poseen como monóxido de carbono, dióxido de carbono, ácido sulfhídrico entre otros, mientras que las aguas de producción suelen contener altos niveles de crudo suspendido o emulsificado, los cuales afectan las aguas superficiales y subterráneas que a su vez afectan las comunidades vegetales y animales debido al ingreso de elementos tóxicos en la cadena trófica y a los procesos de bioacumulación que pueden tener algunas especies que incluso pueden llegar al ser humano.

Como alternativa para mitigar los impactos que se han venido causando producto de las actividades del sector petrolero y en general para todos los sectores productivos, se ha propuesto que dichos proyectos se lleven a cabo teniendo en cuenta alternativas para que tengan un Desarrollo Sostenible, que según el Artículo tercero de la Ley 99 de 1993 es el que *“conduzca al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus necesidades propias”*.

Para el sector petrolero, la implementación de este concepto según Calao (2007) sería posible diseñando nuevo mecanismos de aprovechamiento de los recursos naturales, los cuales tengan en cuenta los diferentes ecosistemas que se pueden encontrar en las áreas donde se realicen

intervenciones para el desarrollo de proyectos de perforación exploratoria o de producción, para lo cual se deben implementar tecnologías que permitan la optimización de los proyectos.

Sumado a lo anterior, Boada (2004), indica que el concepto de desarrollo sostenible tiene varias definiciones y aún se encuentra en discusión, (aunque la más conocida corresponde a la que se incluyó en el Artículo tercero de la Ley 99 de 1993), dado que existen gremios que no están completamente de acuerdo en que los seres humanos, haciendo énfasis en las actividades industriales que exploten los recursos naturales de forma sostenible como lo plantea Calao (2007). Sin embargo, indica que existen disciplinas como la gestión ambiental empresarial que es la que permite implementar un sistema integral para llegar al desarrollo sostenible indicando como se realizarán cada una de las actividades enmarcadas en un plan de gestión y la eco-eficiencia, que plantean que si es posible llevar a cabo el desarrollo sostenible partiendo del uso de las tecnologías de los sistemas económicos y políticos a fin de controlar acciones que contribuyan a la sobrecarga del planeta (agotamiento de los recursos naturales, crecimiento poblacional, contaminación), para así ampliar la probabilidad de tener un mejor bienestar; el desarrollo y uso de tecnologías que faciliten esto se denomina Tecnologías Limpias.

El uso e implementación de tecnologías limpias, se han convertido en elementos claves para mitigar los efectos que suelen contribuir al cambio climático, dado que estas permiten reducir los aportes ya sea de emisiones atmosféricas y contaminantes a las fuentes hídricas puesto que se han creado con el fin de hacer un uso eficiente de los recursos empleando materiales avanzados y tecnologías energética; por su parte, las tecnologías ambientales, se limitan a la implementación de medidas de protección con el fin de controlar agentes contaminantes, dentro de este tipo de medidas se encuentra la gestión de residuos y remediación de suelos (UNAD) .

Otro elemento clave en el desarrollo de procesos es la producción limpia, la cual se define como una estrategia ambiental cuyo objetivo es el de

incrementar la eficiencia total en los procesos, productos y servicios y que a su vez contribuyan en la reducción de los riesgos ambientales según lo establecido por el Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente (PNUMA; Aldaya, M.-2005). Adicionalmente, la producción más limpia dependiendo de la fase en la que se implemente tendrá distintos resultados, por ejemplo, su implementación en el desarrollo de un proceso, su resultado se evidencia en el uso eficiente de la materia prima y de los recursos que se necesitan para la elaboración de un producto.

Cuando esta se direcciona al producto, su resultado estará asociado a la reducción de impactos y si se aplica en servicios se realiza por medio de la incorporación ambiental en los procesos de diseño y entrega de servicios (UNAD)

La implementación de la Resolución 631 del 2015 por parte de sector hidrocarburos, incentivara el uso de tecnologías limpias que permitirán mitigar todos los impactos ambientales que se mencionaron en los párrafos anteriores, resaltando la mitigación a las alteraciones fisicoquímicas de los cuerpos hídricos, que a su vez impactan las características de la flora y fauna acuática por acumulación de sustancias química en sus sistemas; aspecto que afecta la supervivencia de todas las especies; incluida la especie humana que se abastece de estas fuentes hídricas mediante diferentes mecanismos (actividades agrícolas, consumo directo, consumo de peces, etc).

3 REVISIÓN Y COMPARACIÓN DE LA NORMATIVIDAD RELACIONADA CON LOS VERTIMIENTOS EN COLOMBIA

En Colombia, la normatividad vigente relacionada con el tema de vertimientos a aguas superficiales actualmente se rige por el Decreto Único Reglamentario 1076 del 26 de mayo de 2015 expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente) el cual compilo normas reglamentarias preexistentes, como son el Decreto 1594 de 1984 expedido por el Ministerio de Agricultura y Ministerio de Salud, el Decreto 3930 de 2010, 4728 de 2010 y Resolución 631 de 2015 expedidos por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial ahora Minambiente. El 17 de marzo de 2015 se publicó la Resolución 631 expedida por el Minambiente la cual da cumplimiento a lo establecido en el Artículo 2.2.3.3.4.7. del Decreto 1076 de 2015 *Fijación de la norma de vertimiento*. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan los parámetros que se deben analizar para realizar vertimientos a aguas superficiales y las unidades en las cuales se debe medir cada uno.

Tabla 3.1 Valores establecidos para vertimientos según los Artículos 2.2.3.3.9.14 y 2.2.3.3.9.16 del Decreto 1076 de 2015 (Decreto 1594 de 1984) y Resolución 631 de 2015

	Decreto 1076 de 2015	Resolución 631 de 2015 Art 11	
	Artículo 2.2.3.3.9.14	exploración	Producción
pH	5 a 9	6 a 9	6 a 9
Temperatura	<40	<40	<40
Material flotante	Ausente		
Grasas y Aceites	≥80% en carga remoción	15 mg/l	15 mg/l
Sólidos suspendidos domésticos o industriales	50% en carga remoción		
Sólidos Suspendidos Totales SST		50 mg/l	50 mg/l
Sólidos Sedimentables (SSED)		1,0 ml/l	1,0 ml/l
DQO		400 mg/l O ₂	180 mg/l O ₂
DBO₅		200 mg/l O ₂	60 mg/l O ₂
DBO Domésticos	Remoción ≥ 30% en carga		
DBO Industriales remoción	Remoción ≥ 20% en carga		

	Decreto 1076 de 2015	Resolución 631 de 2015 Art 11	
Compuestos fenólicos Fenol	0,2 mg/l		
Compuestos semivolátiles Fenólicos			Análisis y Reporte (mg/l)
Fenoles		0,20	0,20
Aluminio			Análisis y Reporte (mg/l)
Arsénico (As)	0,5 mg/l	0,1	01
Bario (Ba)	5,0 mg/l	Análisis y Reporte (mg/l)	Análisis y Reporte (mg/l)
Cadmio (Cd)	0,1 mg/l	0,1 mg/l	0,1 mg/l
Cinc (zn)		3,0 mg/l	3,0 mg/l
Cobre (Cu)	3,0 mg/l	1,0 mg/l	1,0 mg/l
Cromo (Cr)+6	0,5 mg/l	0,5 mg/l	0,5 mg/l
Hierro (Fe)		3,0 mg/l	3,0 mg/l
Mercurio (Hg)	0,02 mg/l	0,01 mg/l	0,01 mg/l
Niquel (Ni)	2,0 mg/l	0,5 mg/l	0,5 mg/l
Plata (Ag)	0,5 mg/l	Análisis y Reporte (mg/l)	Análisis y Reporte (mg/l)
Plomo (Pb)	0,5 mg/l	0,2 mg/l	0,2 mg/l
Selenio (Se)	0,5 mg/l	0,2 mg/l	0,2 mg/l
Vanadio (V)		1,0 mg/l	1,0 mg/l
Cianuro (CN)	1,0 mg/l		
Difenil policlorados concentración de agente activo	No detectable		
Mercurio (Hg) orgánico	No detectable		
Tricloroetileno Tricloroetileno	1,0 mg/l		
Cloroformo Extracto Carbón (ECC)	1.0 mg/l		
Dicloroetileno Dicloroetileno	1,0 mg/l		
Sulfuro de carbono	1.0 mg/l		
Otros compuestos organoclorados, concentración de cada variedad agente activo	0,05 mg/l		
Compuestos organofosforados concentración de cada variedad agente activo	0,1 mg/l		
Carbamatos	0,1 mg/l		
Sustancias activas al Azul de Metileno SAAM		Análisis y Reporte (mg/l)	Análisis y Reporte (mg/l)
Hidrocarburos totales		10 mg/l	10 mg/l

	Decreto 1076 de 2015	Resolución 631 de 2015 Art 11	
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)		Análisis y Reporte (mg/l)	Análisis y Reporte (mg/l)
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)		Análisis y Reporte (mg/l)	Análisis y Reporte (mg/l)
Compuestos Orgánicos Alogénados (AOX)		Análisis y Reporte (mg/l)	Análisis y Reporte (mg/l)
Ortofósforos (P-PO ₄ ³⁻)		Análisis y Reporte (mg/l)	Análisis y Reporte (mg/l)
Fósforo Total		Análisis y Reporte (mg/l)	Análisis y Reporte (mg/l)
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)		Análisis y Reporte (mg/l)	Análisis y Reporte (mg/l)
Nitrito (N-NO ₂ ⁻)		Análisis y Reporte (mg/l)	Análisis y Reporte (mg/l)
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)		Análisis y Reporte (mg/l)	Análisis y Reporte (mg/l)
Nitrógeno Total		10,00 mg/l	10,00 mg
Cianuro total (CN ⁻)		1,0 mg/l	1,0 mg/l
Cloruros (Cl ⁻)		1.200 mg/l	1.200 mg/l
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)		300 mg/l	300 mg/l
Sulfuros (S ²⁻)		1,0 mg/l	1,0 mg/l
Fluoruros (F ⁻)		Análisis y Reporte (mg/l)	Análisis y Reporte (mg/l)
Acidez Total		Análisis y Reporte (mg/l CaCO ₃)	Análisis y Reporte (mg/l CaCO ₃)
Alcalinidad Total		Análisis y Reporte (mg/l CaCO ₃)	Análisis y Reporte (mg/l CaCO ₃)
Dureza Cálcida		Análisis y Reporte (mg/l CaCO ₃)	Análisis y Reporte (mg/l CaCO ₃)
Dureza Total		Análisis y Reporte (mg/l CaCO ₃)	Análisis y Reporte (mg/l CaCO ₃)
Color Real (medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda 436 nm, 525 nm y 625 nm)		Análisis y Reporte (m ⁻¹)	Análisis y Reporte (m ⁻¹)

Como se observa en la **iError! No se encuentra el origen de la referencia.**, de acuerdo a la resolución 631 de 2015, se hicieron cambios en cuanto a las unidades de medición y se establecieron los valores límite máximos permisibles según la actividad para los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público;

establece el límite máximo permitido a partir de la concentración de cada sustancia contaminante (mg/L) y no a través del porcentaje de remoción de carga contaminante (kg/día) de los sistemas de tratamiento de agua, como se venía realizando, para este caso se tuvo en cuenta el Artículo 11 de la Resolución 631 2015 del Minambiente que indica los parámetros a analizar y sus respectivos valores límites para las actividades de hidrocarburos haciendo énfasis en la exploración y producción.

Dado lo anterior, se observaron diferencias como es el caso de grasas y aceites y sólidos suspendidos que ya no se medirán en porcentaje de remoción si no que ahora tiene un valor fijo en mg/l que define el límite máximo permisible para el vertimiento; se disminuyeron los límites permitidos para los metales y se incluyeron nuevos parámetros a analizar asociados a sustancias generadas en las aguas de vertimientos de producción de hidrocarburos, cómo se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Adicionalmente se incorpora la condición del cuerpo de agua receptor, principalmente a través de su cambio de temperatura y la temperatura máxima permitida del vertimiento, definiendo la zona de mezcla térmica.

En el marco de este capítulo, se hace necesario resaltar que la aplicación de esta nueva norma de vertimiento estableció un régimen de transición el cual se resume a continuación:

Título 3, Capítulo 3, Sección 6 del Decreto 1076 de 2015 plan de reconversión a tecnologías limpias para gestión de vertimiento - PRTLGV:

- Los generadores de vertimientos que sean titulares de un permiso de vertimiento, podrán optar por la presentación e implementación de un Plan de Reconversión a Tecnologías Limpias en Gestión de Vertimientos (Figura 3.1).
- Plazo: **1 año** para presentar ante la autoridad ambiental competente el Plan de Reconversión a Tecnologías Limpias en Gestión de Vertimientos PRTLGV (Figura 3.1)



Figura 3.1 Régimen de Transición Decreto 1076 de 2015, Título 3, Capítulo 3, Sección 11, Artículo 2.2.3.3.11.1

La siguiente figura se presenta de manera más detallada a continuación (Figura 3.2):

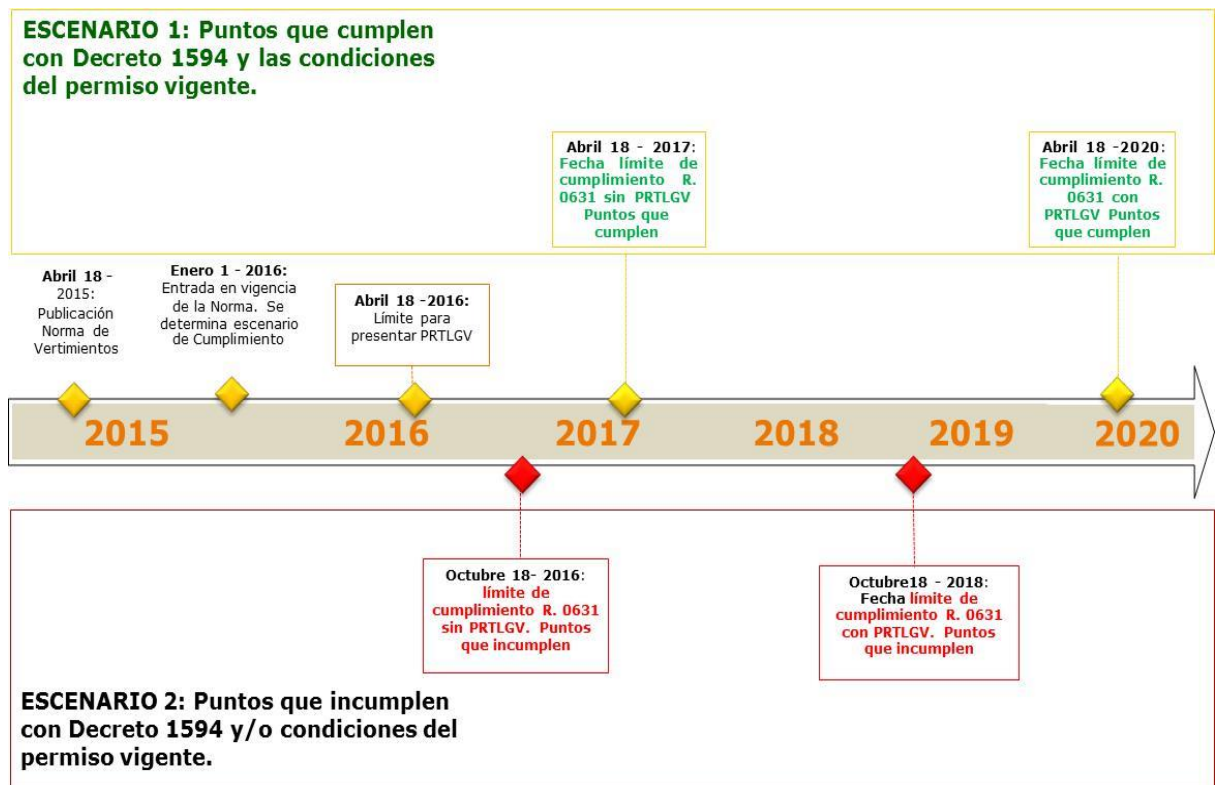


Figura 3.2 Detalle anual de Régimen de Transición - PRTLGV

La anterior información es de especial atención dado que uno de los objetivos planteados es investigar sobre el grado de implementación de la norma de vertimientos a agosto de 2017. Es de resaltar que las empresas del sector, en el escenario que estuvieran cumpliendo la norma de vertimiento establecida en el Decreto 1594 de 1984, tuvieron plazo para cumplir con los nuevos parámetros hasta abril 18 de 2017, sin embargo, si presentaron planes de reconversión a tecnologías limpias en gestión de vertimientos (el 18 de abril de 2016), el plazo se extiende hasta el 19 de Abril de 2020.

De igual forma, el régimen de transición también aplica para aquellos vertimientos en los cuales no se estaba cumpliendo con el Decreto 1594 de 1984 (Incluido en el decreto 1076 de 2015), dando un plazo hasta octubre 18 de 2016, sin embargo, si presentaron planes de reconversión a tecnologías limpias en gestión de vertimientos (el 18 de abril de 2016), el plazo se extiende hasta el 18 de octubre de 2018.

3.1 FASES DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Para poder realizar los vertimientos, previamente se realiza el tratamiento a las aguas residuales domésticas e industriales, utilizando para esto una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR); en el sector de hidrocarburos dependiendo de los requerimientos del campo donde se vayan a realizar las actividades de perforación exploratoria o de producción se suelen emplear dos tipos de PTAR compactas (tipo red fox generalmente) para aguas domésticas y modulares para las aguas industriales.

El tratamiento de las aguas residuales de acuerdo a Lizarazo y Orjuela (2013), Collazos (2008), Calao (2007) y Romero, 2008 puede realizarse por tipo de proceso o por tipo de tratamiento tal como se indica a continuación.

3.1.1 Procesos físicos:

Hacen referencia a la remoción de material en suspensión, rejillas, trituradores, sedimentador primario, espesadores y filtración. Suele agregarse cloruro férrico el cual ayuda a precipitar biosólidos o lodo.

3.1.2 Procesos químicos:

Consiste en la aplicación de productos químicos para la eliminación o conversión de los contaminantes. Precipitación, adsorción y desinfección; este proceso es usualmente combinado con procedimientos para remover sólidos como la filtración. La combinación de ambas técnicas es referida en los Estados Unidos como un tratamiento físico-químico en los que se tiene:

- Eliminación del hierro del agua potable.
- Eliminación del oxígeno del agua de las centrales térmicas.
- Eliminación de los fosfatos de las aguas residuales domésticas.
- Eliminación de nitratos de las aguas residuales domésticas y procedentes de la industria

3.1.3 Procesos biológicos:

Se realizan por medio de actividad biológica de los microorganismos. Eliminación de sustancias orgánicas biodegradables presentes, eliminación de nitrógenos y fósforo y producción de gases, para esto se emplean procesos de biodigestión anaeróbica y humedales artificiales.

3.2 GRADO DE TRATAMIENTO

Consiste en procesos que se pueden implementar gradualmente, incrementando en cada nivel el porcentaje de eficiencia tal como se muestra en la Figura 3.3 teniendo en cuenta el sistema de clasificación por grado de tratamiento Collazos (2008) y las definiciones de Lizarazo y Orjuela (2013) coinciden en los pasos y definiciones que existen en cada

uno de los tipos de tratamientos que se dan a fin de obtener el mayor porcentaje de eficiencia posible.

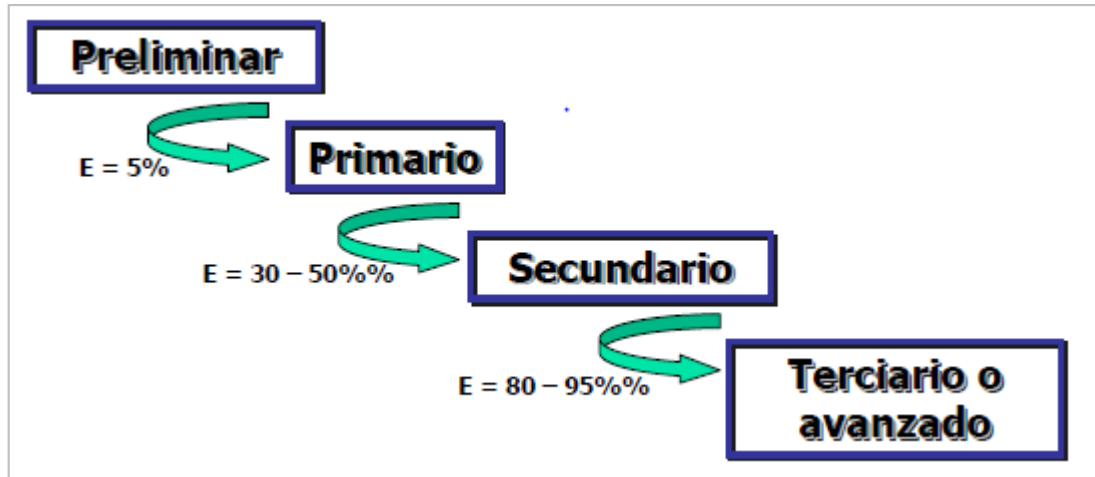


Figura 3.3 Secuencia por grado de tratamiento y el incremento en el porcentaje de eficiencia

3.2.1 Tratamientos preliminares

Teniendo en cuenta lo expuesto por Lizarazo y Orjuela (2013), Collazos (2008), Calao (2007) y Romero, 2008 las etapas para los tratamientos preliminares son las siguientes:

- Cribado: sirve para retener sólidos gruesos que floten o se encuentren suspendidos en el agua; para lo cual se emplean rejas o rejillas de barra metálicas que estén equidistantes; teniendo en cuenta la distancia ente las barras se establece el tipo de reja siendo gruesa (40 a 100 mm), media (20 a 40 mm), fina (10 a 20 mm) y muy fina (0,25 hasta 2,5 mm).
- Tamices estáticos: son filtros empleados para realizar la separación sólido-líquida en las denominadas EDAR (Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales), es un equipo que se instala como pre-tratamiento de aguas industriales; este tipo de tamices se usan especialmente en aguas urbanas.

- Trituradores de canal: sirve para reducir los sólidos en las aguas servidas con trituradores dobles y tecnología de barrido; sirve para triturar los sólidos gruesos para facilitar las operaciones y procesos y para eliminar los problemas que se generan por la presencia de diferentes tamaños de sólidos en el agua residual, reduciendo el tamaño de las partículas. El uso de este tipo de tratamientos contribuye a la protección de las bombas frente a las obstrucciones que se puedan causar por objetos de mayor tamaño.
- Homogenización o tanques de igualación: es un depósito con suficiente capacidad para contener el flujo de agua que sobrepasa un determinado valor. Sirven para regular o disminuir los efectos de la variación del flujo o de la concentración de las aguas residuales. Dichos tanques son muy importantes para el tratamiento de las aguas residuales industriales los cuales en ocasiones se utilizan en las instalaciones municipales. Un tanque de igualación.
- Desarenadores: Estructuras destinadas a remover arenas y otros guijarros presentes en las aguas residuales a tratar. Los desarenadores tienen distintas características, pueden ser rectangulares o circulares; aireados o no; de flujo horizontal o helicoidal; de limpieza manual o mecánica y su función consiste en prevenir la abrasión de equipos mecánicos, evitar la sedimentación de arenas en tuberías, canales y tanques ubicados aguas abajo. Este tipo de tratamiento tienen brazos mecánicos, cuya función es raspar los residuos, posteriormente se elimina el residuo mineral y se dispone en vertederos sanitarios.

3.2.2 Tratamientos primarios

Sirven para reducir los sólidos suspendidos en las aguas residuales, los cuales son:

- Sedimentación: proceso físico que aprovecha la diferencia de densidad y peso entre el líquido y las partículas suspendidas, donde los sólidos más pesados que el agua, se precipitan generando separación del líquido. La sedimentación primaria aplica para partículas floculantes (con o sin coagulación previa). Una vez

eliminada la parte mineral sólida, el agua pasa por el sedimentador en el cual se depositan los materiales orgánicos que posteriormente son retirados para ser eliminados; este proceso puede contribuir en reducir en un 20 a un 40% la DBO₅ y de un 40 a 60% los sólidos suspendidos.

La tasa de sedimentación se puede incrementar si se incorporan tratamientos complementarios como coagulación y floculación química.

- Flotación: proceso empleado para la separación de partículas sólidas o líquidas en un medio líquido. En las aguas residuales se utiliza para remover grasas y aceites y para aglutinar sólidos suspendidos. La separación se consigue por flotación simple o introduciendo burbujas muy finas de aire a presiones entre 1,75 y 3,5 kg/cm². El agua residual supersaturada de aire contribuye a que los sólidos suspendidos suban a la superficie donde posteriormente son retirados. Este tratamiento puede eliminar más de un 75% de los sólidos suspendidos.
- Coagulación: proceso por el cual son desestabilizados los componentes de una suspensión o dilución estables por medio de la suspensión de las fuerzas que mantienen su estabilidad, a través de coagulantes químicos. Dentro de los compuestos químicos empleados en este proceso que se pueden agregar a las aguas residuales están el sulfato de aluminio, cloruro férrico o polielectrolitos, los cuales alteran las características superficiales de los sólidos en suspensión adhiriendo unos a otros generando que se precipiten. Estos procesos contribuyen en la eliminación de más del 80% de los sólidos suspendidos.
- Digestión: es un proceso microbiológico que convierte el cieno, orgánicamente complejo en metano, dióxido de carbono (CO₂) y un material similar al humus. Las reacciones se producen en el digestor (tanque cerrado) y son anaerobias. Primero por acción enzimática la materia sólida se vuelve soluble. Este proceso sirve para reducir el contenido de materia orgánica entre un 45 y 60%.

- **Desecación:** el cieno digerido se extiende sobre lechos de arena para que sean secados al aire, para que esta actividad tenga resultados óptimos es necesario que el clima sea seco y cálido; algunas estructuras depuradoras tienen estructuras tipo invernadero que permiten proteger los lechos tendidos de arena. El producto de este tratamiento deja un cieno que puede ser empleado para el acondicionamiento del suelo incluso puede ser usado como fertilizante, dado que parte de su composición es nitrógeno (2%) y fósforo (1%).

3.2.3 Tratamientos secundarios

Durante el tratamiento secundario, se ejecuta la remoción de la DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) soluble y de SS (sólidos suspendidos) que no son removidos en los procesos anteriores; la eficiencia de remoción es aproximadamente el 85% de DBO y SS, aunque la remoción de nutrientes, nitrógeno, fosforo, metales pesados y patógenos es baja. Dentro de los tratamientos secundarios se tiene el sistema de biomasa en suspensión y el sistema de biomasa adherida. Generalmente se realiza con procesos microbianos aeróbicos. El tratamiento secundario se realiza para acelerar los procesos naturales de eliminación de residuos.

- **Sistema de biomasa en suspensión –Lodos activados-:** consiste en el proceso de agitación y aireación de una mezcla de agua residual y lodos biológicos, a medida que las bacterias reciben el oxígeno, consumen la materia orgánica del agua residual y la transforma en sustancias más simples. Este caldo bacteriano recibe el nombre de lodo activado. La mezcla de lodos activados y agua residual recibe el nombre de licor mezclado que se lleva a un tanque de sedimentación para su purga. Con este tratamiento se puede alcanzar una reducción de la DBO₅
- **Sistema de biomasa adherida:** Los microorganismos se encuentran pegados a un medio de soporte que puede ser de plástico, piedra o cualquier otro material inerte. Dependiendo de las condiciones ambientales que rodean el medio de soporte, los sistemas de biomasa adherida pueden ser aerobios o anaerobios.

- Estanque de estabilización o laguna: para este tratamiento se requiere gran extensión de terreno, por lo mismo generalmente se construyen en zonas rurales que es donde hay área disponible; estas funcionan en condiciones mixtas, las más comunes presentan profundidades entre 0,6 y 1,5 m en extensiones superiores a una hectárea. En el fondo que es donde se da el proceso de descomposición anaeróbica de los sólidos y en la superficie el proceso es aeróbico, lo cual permite que la oxidación de la materia orgánica y coloidal. En estas lagunas se puede alcanzar una reducción de la DBO₅ entre un 75 y 85%.

3.2.4 Tratamientos terciarios

Tratamiento avanzado de las aguas residuales: en ocasiones cuando el cuerpo de agua al que se le va a realizar el vertimiento requiere un grado de tratamiento mayor es necesario aplicar este tipo de tratamiento, el cual consiste en aplicar una serie de pasos adicionales para obtener mejores resultados en la calidad fisicoquímica del efluente eliminando contaminantes recalcitrantes. En cuanto a los sólidos disueltos se aplican procesos de ósmosis inversa y electrodiálisis; los nutrientes se pueden reducir eliminando el amoníaco y desnitrificando y precipitando el fósforo. Adicionalmente, se puede aplicar ozonización y cloración extrema en los casos que el agua del efluente valla a ser reutilizada.

Se destacan los siguientes:

- a) Filtración en medio granular o uso de membranas (osmosis inversa, nanofiltración, ultrafiltración, microfiltración, electrodiálisis)
- b) Intercambio iónico:
- c) Adsorción.
- d) Oxidación química.
- e) Incineración.
- f) Arrastre por vapor de agua o aire.

Con tratamientos terciarios se logra mejorar la remoción de DBO, DQO, SS y nutrientes alcanzada en los tratamientos previos ó remover contaminantes disueltos, coloidales, recalcitrantes, que no han sido

removidos en los tratamientos previos. Los tratamientos terciarios son más específicos y costosos que los tratamientos primarios y secundarios. (Fundación para el conocimiento Madrid)

De acuerdo a la información consultada, se identifica que en Colombia el proceso de Filtración en medio granular o uso de membranas ha sido la más utilizada en el sector (Osmosis Inversa, microfiltración, nanofiltración, electrodiálisis)

3.3 TIPOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTOS USADAS EN EL SECTOR HIDROCARBUROS

3.3.1 Plantas de tratamiento compactas tipo red fox

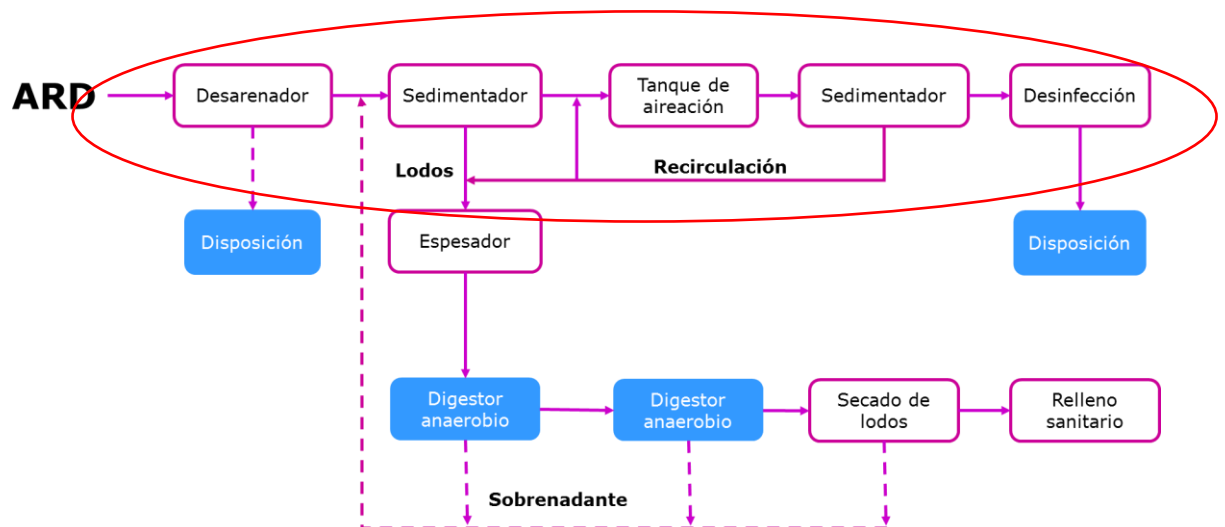
Las plantas compactas tipo red fox (Figura 3.4), son plantas convencionales para las aguas residuales domésticas, las cuales están compuestas por aguas grises (proviene de lavamanos, lavaplatos, duchas) y aguas negras (proviene de la batería de sanitarios), éstas son diseñadas para dar tratamiento a las aguas residuales teniendo en cuenta el número de trabajadores quienes son las personas que generan los residuos.



Fuente: http://www.bpwatertech.com/es/depuradores_biologicos/

Figura 3.4 Fotografía de una Planta de tratamiento de aguas residuales tipo Red fox

Este tipo de PTAR, funciona a partir de lodos activados, el cual como se mencionó anteriormente, es un proceso biológico ampliamente utilizado como tratamiento secundario cuyo énfasis es la biodegradación de la materia orgánica (Paulson, 2014). El diseño básico de este tipo de plantas de tratamiento de acuerdo a Romero (2008) se presenta en la Figura 3.5.



Fuente: Romero (2008).

Figura 3.5 Esquema tipo de una planta de lodos activados

Tal como se evidencia en la Figura 3.5, la mezcla obtenida del desarenador y sedimentador es aireada para que los microorganismos puedan actuar realizando la descomposición de la materia orgánica presente en el agua de entrada, así mismo contribuye en la descomposición de dióxido de carbono y otros componentes, posteriormente los residuos que aún permanecen pueden ser sedimentados (Paulson, 2014).

Este tipo de planta de tratamiento (PTARD) realiza tres procesos sucesivos: en el primer compartimiento se realiza el proceso de biodegradación de la materia orgánica por medio de la activación de enzimas catalizadoras (Bacterias facultativas) y aireación extendida; en el segundo compartimiento, por medio de productos químicos como sulfato de aluminio y polímeros, se realiza el proceso de separación de los coloides indeseables y, por último en el tercer compartimiento, pasa a cloración donde el líquido se mezcla con cloro o puede pasar a través de un sistema ultravioleta dependiendo del sistema de desinfección del equipo; de aquí el efluente puede incorporarse al sistema de tratamiento de aguas residuales industriales o ser vertidos mediante los sistemas de disposición propuestos, previo cumplimiento de los parámetros de vertimiento de agua establecidos en la normatividad vigente (Figura 3.2)

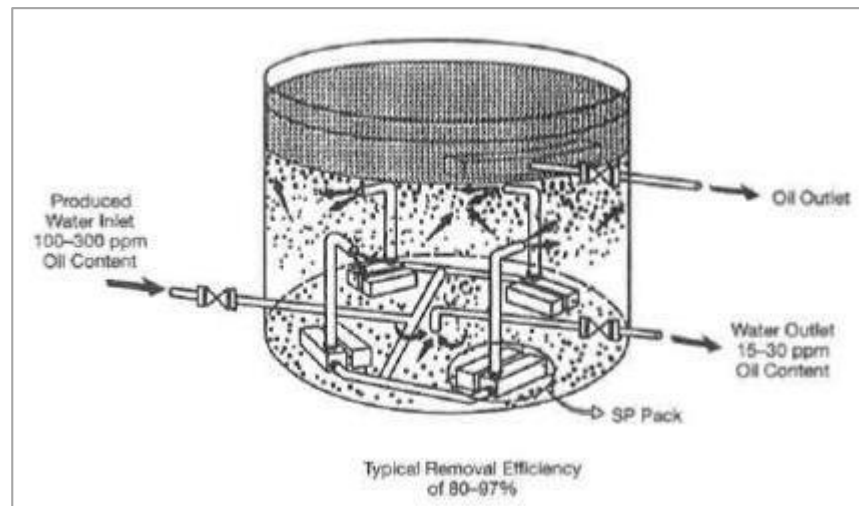
Las características tipo del diseño de una planta de tratamiento de lodos activados son:

- Tiempo de retención hidráulica: 18 – 24 horas.
- Modo de operación: Mezcla completa.
- Tipo de aireación: Aire comprimido o aireación mecánica.
- Tiempo de retención de sólidos: 20 – 40 días.
- Concentración de sólidos suspendidos de licor mezclador SSML: 3000 – 5000 mg/L. (SGI Ltda Consultoria e Ingeniería)

3.3.2 Plantas modulares para tratamiento de aguas residuales industriales

Para el manejo de las aguas residuales industriales el tratamiento es más complejo, teniendo en cuenta los compuestos químicos que contiene producto de las actividades realizadas durante la perforación exploratoria o de producción.

Una vez realizada los tratamientos primarios químicos (floculación y coagulación) y los tratamientos físicos (flotación, sedimentación y filtración) las aguas son enviadas al skim tank (separador de microburbujas, Figura 3.6) el cual se encarga de remover los aceites y sólidos presentes.



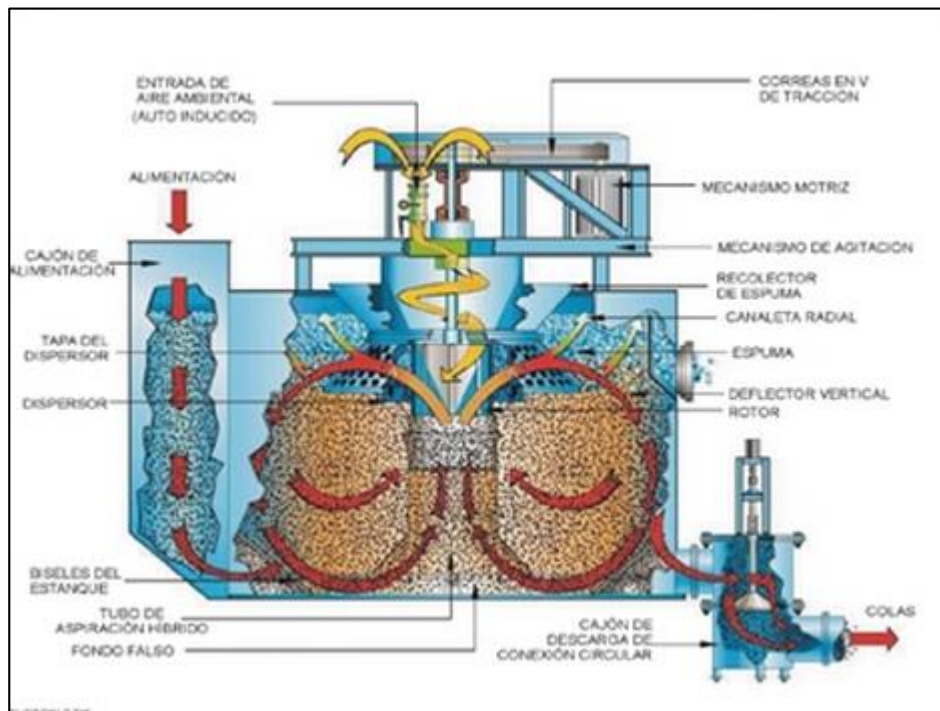
Fuente: http://www.industrialseparation.com/20121018_sp-pack-separator.html

Figura 3.6 Esquema general de un skim tank

Estas unidades, que pueden ser a presión o atmosféricas, son diseñadas para proporcionar un alto tiempo de retención durante el cual puede ocurrir la coalescencia y la separación gravitacional. Estos tanques pueden ser horizontales o verticales, en estos últimos las gotas de aceite deben ascender en sentido contrario al flujo de agua que es descendente. (Jaimes, D – Pico M. 2009)

Luego, por medio de bombas, el agua es enviada hacia las celdas de flotación (estructura que contiene agua, celdas, filtros y decantadores), en estas celdas (Figura 3.7), se realizan actividades de inyección de químicos y flotación creando una red de microburbujas que genera que los aceites y sólidos presentes se mantengan sobre la superficie del agua los cuales en el caso de Campo Rubiales en el Municipio de Puerto Gaitán son recuperados por un sistema de paletas giratorias que posteriormente es enviada a los colectores laterales de la celda, que finalmente son recuperados hacia el inicio del manifold (Figura 3.9) (Gradex Ingeniería).

Las unidades de flotación emplean un proceso en el cual pequeñas burbujas de gas son generadas y dispersadas en el agua, donde hacen contacto con las gotas de aceite y partículas sólidas. Las burbujas de gas incrementan la diferencia de densidades y ayudan a las gotas de aceite a ascender rápidamente a superficie para su posterior recolección. Coagulantes, polielectrolitos, o desmenuzantes son agregados para optimizar el funcionamiento del equipo. Cabe resaltar que las unidades de flotación son sistemas de tratamiento secundario. (Jaimes, D – Pico M. 2009)



Fuente: <http://abcontrol.com.mx/site/?p=1242.1454.1253>

Figura 3.7 Diseño tipo de las celdas de flotación

El tratamiento del agua continúa, transportándose hacia los filtros donde se retienen los sólidos y aceites aún presentes, esto con el fin de tener una alta eficiencia en la remoción cuyo resultado es $>1\text{ppm}$; estos filtros tienen un lecho filtrante (generalmente son compuestos orgánicos como cascarilla palma africana) por el cual, por efecto de presión se obliga a que el agua pase a través de él para que la remoción sea más efectiva,

posteriormente el agua es enviada a los decantadores (Figura 3.8) (Gradex Ingeniería).

Las unidades de filtración tienen como finalidad optimizar la calidad del agua, esta etapa es importante en el tratamiento. Sin tanques cerrados y a presión, al pasar el fluido a través del filtro, los filtros se utilizan para eliminar los sólidos en suspensión y los hidrocarburos insolubles del agua de producción.

Las unidades de filtración pueden ser:

- a) De lecho suelto (arena, grava, antracita, carbón activado, cascarilla de nuez, otros) o de lecho fijo
- b) De cartucho (plegado o enrollado), el cual es desechable y tiene baja capacidad de acumulación de sólidos y recubiertos donde la torta filtrante gastada se seca y se descarga

Los más comunes son los filtros de cascara de nuez, fabricados para el tratamiento de altos volúmenes de agua producida con sólidos en suspensión e hidrocarburos. Son capaces de remover aceites y grasa en concentraciones desde 40-60 ppm hasta 3ppm. Las propiedades de la cascara de nuez y el método de retrolavado empleado, tienen la gran ventaja que no requieren la aplicación de aditivos químicos para facilitar la filtración. (Jaimes, D – Pico M. 2009)

Posteriormente viene el proceso de decantación, en los decantadores, por acción química de los sólidos pesados y los aceites y sólidos livianos se flocculan y se genera agua clarificada que ingresa al ciclo para su disposición final. En condiciones ideales hasta este punto se puede alcanzar un 99% de remoción, según lo explicado en los procesos que se realizan en Campo Rubiales que se tomó como ejemplo para el presente trabajo.

El decantador es un tanque de fondo cónico con capacidad suficiente para mantener de dos a cuatro horas la totalidad del fluido descargado por el filtro en la etapa de retrolavado. Sirve para clarificar las aguas provenientes del retrolavado de las unidades de filtración, que luego se

recircularán al sistema para ser tratadas en los equipos de tratamiento de aguas correspondientes a cada estación.

El volumen y tiempo de residencia dependen de las condiciones de diseño del proceso y del fluido en particular, de la frecuencia del retrolavado y de las condiciones en las que se requiere el fluido resultante. El agua aceitosa concentrada se eleva a la superficie, en donde puede ser removida para reciclarla. La mayor parte del contenido del tanque, generalmente agua, es enviada aguas arriba del filtro para procesarla. Los sólidos concentrados en el fondo cónico son enviados a secamiento y disposición (Jaimes, D – Pico M-2009)



Fuente: EIA campo de producción Mago – Ecopetrol S.A

Figura 3.8 Decantador

El agua clarificada es enviada a la piscina de oxidación, a partir de la cual se realizan la disposición final que depende de lo establecido en la respectiva licencia ambiental que otorga el permiso de vertimientos (Figura 3.9) (Gradex Ingeniería).

El principio de funcionamiento de las piscinas de oxidación se basa en la separación gravitacional y, al cual que en algunos sistemas de tratamiento primario, se encuentran expuestos a la atmosfera para reducir la concentración de aceite soluble por efecto de la presión, disminuir la temperatura y eliminar H₂S y CO₂ al permitirse la aireación

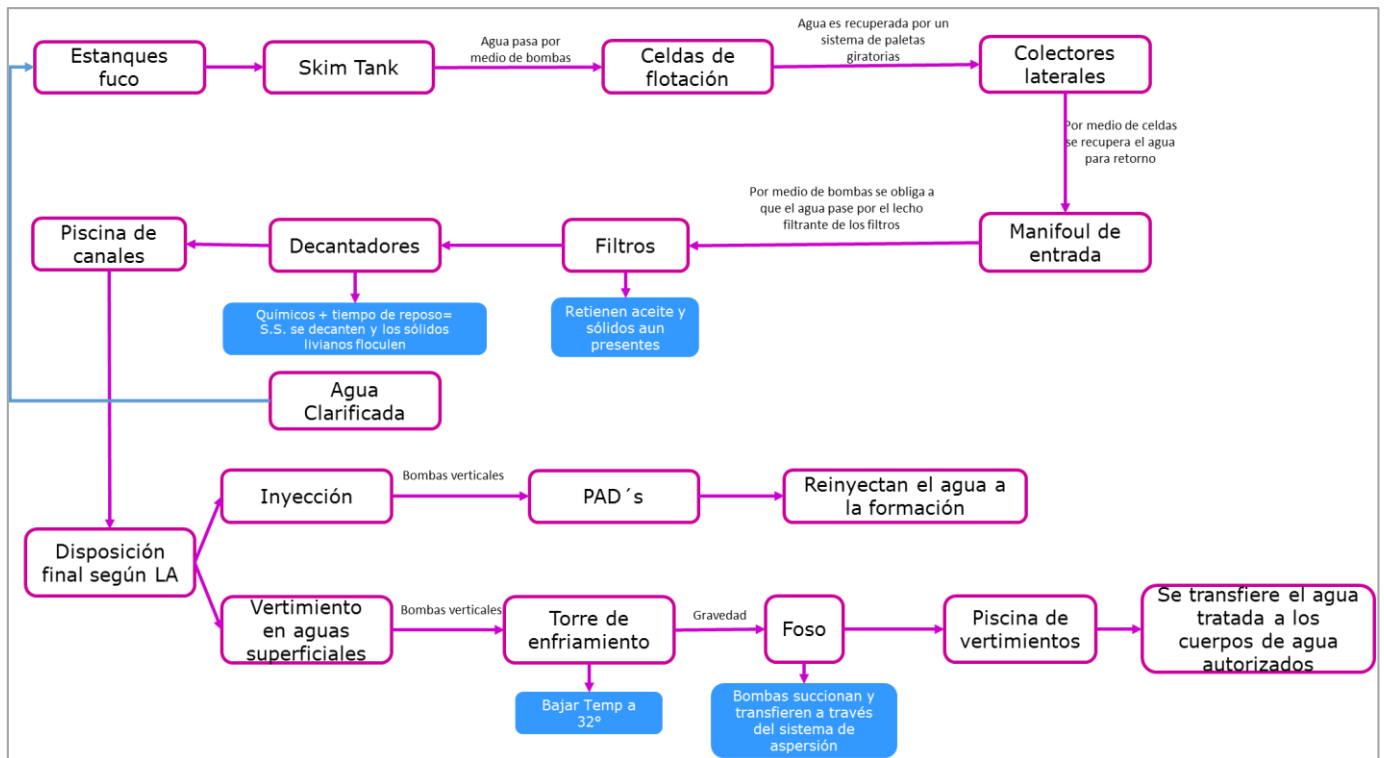
del agua. En ellas también se produce la biodegradación de compuestos orgánicos disueltos y la sedimentación de sólidos.

Es necesario grandes extensiones de tierra y además el estado del clima influye en su desempeño. Existen elementos que pueden degradarse o evaporarse con el sol e influir positiva o negativamente, dependiendo si la concentración del contaminante aumenta o disminuye. Además la lluvia ayuda a la oxigenación. Cuando la oxigenación no es adecuada se recomienda el uso de aireadores mecánicos o biofiltros (Jaimes, D – Pico M.-2009)

La disposición final se puede realizar de varias formas:

- reinyección a la formación, para lo cual el agua es enviada a los PAD ´s y a partir de ahí es reinyectada.
- Riego en suelo: Campos de aspersión; Para determinar las áreas susceptibles de disposición de aguas residuales tratadas mediante la instalación de campos de aspersión, se deben tener en cuenta las siguientes variables.
 - ✓ Unidades de Suelo
 - ✓ Muestreos Físicoquímicos de Suelo
 - ✓ Potencial de Infiltración de los Suelos
 - ✓ Coberturas de la Tierra
 - ✓ Vulnerabilidad de Acuíferos
 - ✓ Evapotranspiración
 - ✓ Adaptabilidad de Especies Vegetales a la zona
- Vertimiento a aguas superficiales: el agua clarificada para que pueda ser vertida a un cuerpo de agua primero debe pasar por la torre de enfriamiento donde se disminuye la temperatura del agua hasta los 32°C, luego por gravedad pasa al foso que contiene un sistema de aspersión bajando aún más la temperatura y por ultimo pasa a la piscina de vertimientos donde el agua es enviada hacia los cuerpos de agua autorizados por la licencia para dicho vertimiento (Gradex Ingeniería)

De las anteriores alternativas de disposición final, es importante resaltar, que la norma de vertimientos regulada por el Decreto 1076 de 2015 y la Resolución que lo reglamenta (Artículo 11 de la Resolución 631 de 2015), aplica para la alternativa de vertimiento a aguas superficiales.



Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=IRVhFAGTHeg>

Figura 3.9 Esquema de sistema de tratamiento para aguas residuales industriales

Teniendo en cuenta el funcionamiento para el tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales y lo solicitado en la Resolución 631 de 2015 expedida por el MADS, para garantizar su cumplimiento es necesario incorporar procesos que incrementen la eficiencia en la remoción y por lo tanto cumpla con lo establecido en dicha resolución en cuanto a los valores límite establecidos para la calidad fisicoquímica del agua.

La normatividad ambiental colombiana, en el Decreto Único Reglamentario 1076 de 2015 expedido por el MADS, indica en su Artículo 2.2.3.3.6.2. lo siguiente:

“Del Plan de Reconversión a Tecnologías Limpias en Gestión de Vertimientos. Mecanismo que promueve la reconversión tecnológica los procesos productivos de los generadores de vertimientos que desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios, y que además de dar cumplimiento a la norma de vertimiento, debe dar cumplimiento a los siguientes objetivos:

1. Reducir y minimizar la carga contaminante por unidad de producción, antes del sistema de tratamiento o antes de ser mezclada con aguas residuales domésticas.
2. Reutilizar o reciclar subproductos o materias primas, por unidad de producción o incorporar a los procesos de producción materiales reciclados, relacionados con la generación de vertimientos.

Parágrafo. El Plan de Reconversión a Tecnologías Limpias en Gestión de Vertimientos es parte integral del permiso de vertimientos y en consecuencia el mismo deberá ser modificado incluyendo el Plan”.

Como parte de este plan, y como acciones para mejorar la calidad fisicoquímica del agua a verter, uno de los procesos que se ha instalado corresponde a la implementación del sistema de ósmosis inversa.

Osmosis inversa: Es un proceso de purificación del agua con el fin de incrementar la eficiencia de remoción. Con este proceso se puede lograr altos porcentajes de retención de contaminantes, disueltos y no disueltos. La osmosis inversa funciona aplicando como su nombre lo dice de forma inversa una presión superior a la osmótica y en sentido contrario, donde el agua pura que se encuentra al lado de mayor concentración pasa hacia el lado de menor concentración ayudando a la desalinización o desmineralización.

Esta etapa de tratamiento es la separación casi completa de partículas en el rango de tamaño entre 0.0001-0.001 micras y de solutos de masa molecular de 300. Se aplica a sales inorgánicas y/o compuestos orgánicos de peso molecular relativamente alto (Fundación para el conocimiento Madrid)

Este procesos incorporado en los sistemas de tratamiento de aguas residuales y se ubica después del proceso de filtración que se mostró en

la (Figura 3.3 y Figura 3.9, donde el agua en tratamiento es sometida a presión para forzar su paso a través de una membrana semipermeable; la presión aplicada debe permitir superar la presión osmótica la cual es la que da equilibrio a la solución. Así el agua pasa a través de la membrana mientras que los sólidos y sales disueltas no pueden traspasar la membrana quedando separados del agua; de esta forma se incrementa la eliminación de impurezas, partículas de tamaños pequeños ($0,001 \mu\text{m}$) y demás elementos en el agua, cuyo resultado tendrá características fisicoquímicas y microbiológicas muy buenas.

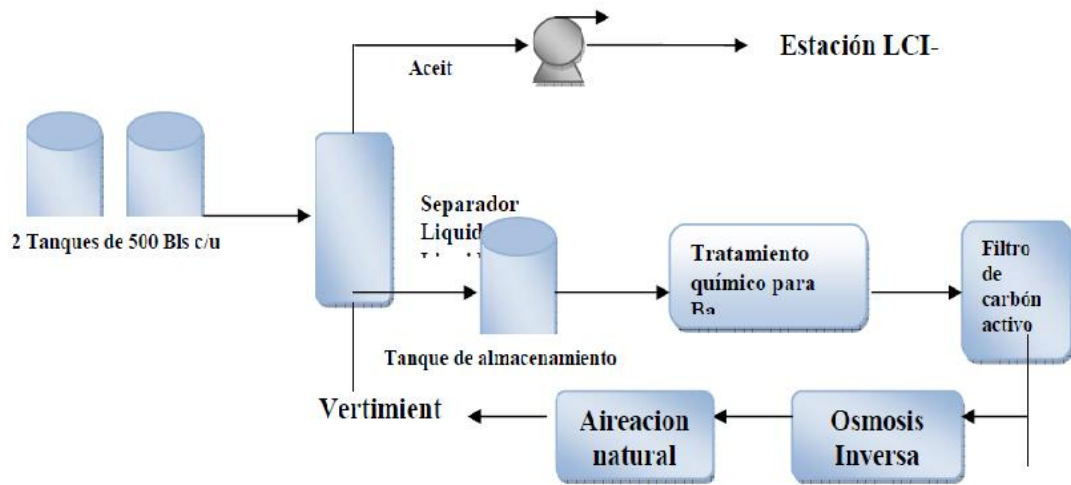
Como se mencionó en el numeral 3.2.4, otras alternativas de tratamiento terciario que permiten optimizar la calidad de aguas residuales industriales, con el mismo principio de tecnologías de Membranas de filtración son:

Nanofiltración: proceso intermedio entre la ultrafiltración y la ósmosis inversa. permite la eliminación de moléculas orgánicas de relativo bajo peso molecular ($\text{PM} \geq 200$) y retiene incluso cationes y aniones divalentes

Ultrafiltración: separación de partículas en el rango comprendido entre 0.001 y 0.02 micras lo que admite la eliminación de materias de alto peso molecular ($\text{PM} \geq 1000$) y en estado coloidal

Microfiltración: filtración de suspensiones que contienen coloides o partículas finas en el rango de tamaño aproximado entre 0.02 y 10 micras

Electrodiálisis: Consiste en someter el agua a tratar a la acción de un campo eléctrico generado mediante dos electrodos, entre los que se aplica una diferencia de potencial. Elimina especies iónicas, requiere pretratamientos del agua a tratar para reducir turbiedad, sales incrustantes, materia orgánica, etc que pueden producir problemas de ensuciamiento y polarización de las membranas. En la Figura 3.10 se presenta un esquema de tratamiento, que involucra el proceso de tratamiento terciario, orientado a obtener parámetros de calidad de agua, acordes con lo recientemente establecido en la legislación Colombiana Decreto 1076 de 2015 y la Resolución que lo reglamenta (Artículo 11 de la Resolución 631 de 2015).



Fuente: Ja

Fuente Jaimes, D – Pico M. 2009. Trabajo de grado para optar título de Ingeniero De Petróleos

Figura 3.10 Esquema sistema de tratamiento ARI con tratamiento terciario

4 RECOMENDACIONES CONCLUSIONES

- Una vez revisada la norma de vertimientos, Resolución 631 del 17 de Marzo de 2015 emitida por el Minambiente, se puede concluir que se incluyeron parámetros y valores acordes a los compuestos generados por el sector hidrocarburos, y que permite realmente identificar si las aguas asociadas a producción de hidrocarburos están generando impactos ambientales en las fuentes hídricas, dado que este impacto ambiental es uno de los más importantes que genera este sector en Colombia, el listado de parámetros y principales ajustes se puede ver en el capítulo 3 de este documento. Con la inclusión de estos parámetros y la definición de las cargas permitidas se podrá realmente definir si la contaminación de las fuentes hídricas superficiales realmente se produce por el sector hidrocarburos o estos cambios están generando por otros sectores presentes en la región
- La implementación por parte del sector Hidrocarburos de la Resolución 631 de 2015, permitirá reducir y controlar las sustancias contaminantes que llegan a los ríos, embalses, lagunas y cuerpos naturales de agua dulce, y al sistema de alcantarillado público, para aportar al mejoramiento de la calidad del agua y a trabajar en la recuperación de las fuentes de agua de nuestro país, tal como se mencionó en el capítulo 2 estas aguas residuales generan diferentes cambios fisicoquímicos en el componente biótico y abiótico; sin dejar de lado las afectaciones de salud pública que también se pueden ver alteradas por el vertimiento de este tipo de aguas; con la implementación de tecnologías limpias para el tratamiento de aguas residuales industriales, descritas en el capítulo 3 se mitigaran los impactos ambientales que actualmente están generando las aguas residuales del sector hidrocarburos.
- El grado de implementación de la norma, a la fecha (septiembre 2017) no es concluyente, acorde a lo investigado con algunas empresas del sector y la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales actualmente no hay información que permita comparar y analizar el grado de implementación y eficacias de la Resolución

631 del 2015; principalmente porque los campos de producción con vertimientos históricos, están operando antes de la ley 99 de 1993 y por ello son regulados bajo la figura de establecimiento de Plan de Manejo Ambiental (PMA), situación que genera que los permisos de vertimiento estén concedidos y tramitados con corporaciones Autónomas Regionales, sin embargo a la fecha no se identificó pronunciamiento de estas entidades sobre Plan de Reconversión a Tecnologías Limpias en Gestión de Vertimientos (PRTLGV) radicados por las empresas, este aspecto y el régimen de transición para la implementación de la norma, explicado en el capítulo 3, genera que las empresas tengan plazo de cumplimiento de la norma Abril 18 de 2020, situación que no ha permitido hacer un seguimiento sobre el grado de implementación o no de la norma. A la fecha los campos de este régimen reportan cumplimiento del Decreto 1594 de 1984 (Compilado en el Decreto 1076 de 2015) y aun no se identificaron reportes frente a la Resolución 631 de 2015

- Un aspecto importante para la verificación del cumplimiento de la Resolución son los monitoreos fisicoquímicos ejecutados por las empresas de monitoreo del país, acreditadas por e IDEAM; sin embargo actualmente los métodos analíticos de cada parámetro deben ser ajustados en cada uno de estos laboratorios, pues los nuevos valores establecidos en la norma requieren que las metodologías de análisis sean ajustadas para detectar los valores límites establecidos (inferiores) ya que con las metodologías actuales no es posible idéntica las concentraciones establecidas por la Resolución 631 del 2015 y a la fecha todos los resultados cumplen.

- Las empresas del sector hidrocarburos deben evaluar la relación costo beneficio al implementar nuevas tecnologías en sus sistemas de tratamientos de aguas residuales (ARD y ARI) para mejorar la eficiencia y así cumplir con los límites fijados por la autoridad ambiental en relación a la calidad fisicoquímica del agua en el efluente, esto con el fin de dar cumplimiento a la normatividad establecida y evitar sanciones que pueden incurrir en gastos aún mayores.

- Las operadoras deben tener en cuenta que los terceros autorizados con los que trabajan para realizar la disposición de las ARD y ARI, deben dar cumplimiento a la Resolución 631 de 2015 expedida por el MADS, esto con el fin de evitar sanciones por parte de la autoridad ambiental dado que es responsabilidad de la operadora encargada del proyecto garantizar la correcta disposición final, en este caso que el vertimiento cumpla con lo establecido por la autoridad.
- Los nuevos proyectos que se estén elaborando, y requieran permiso de vertimientos a aguas superficiales deben incorporar en el diseño de las plantas de tratamiento mecanismos que garanticen una mejora en la eficiencia y que se cumplan con las características fisicoquímicas del agua solicitadas por la normatividad ambiental.
- La implementación de tecnologías limpias que contribuya al mejoramiento de la calidad fisicoquímica del agua en el efluente, desde una perspectiva socioeconómica contribuirá también en la reducción de la probabilidad de afectación a las comunidades por la presencia de microorganismos patógenos en el agua que suelen causar enfermedades como cólera, gastroenteritis, amebiasis entre otras).

Los campos de producción nuevos, regulados con licencia ambiental global (los permisos son emitidos por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales-ANLA), reportan cumplimiento de la norma anterior, Decreto 1594 de 1984 (Compilado en el Decreto 1076 de 2015), situación que genera que la fecha de cumplimiento de la Resolución 631 de 2015 expedida por el Miambiente, aplique desde el 18 de Abril de 2017. A la fecha de este trabajo las empresas que han reportado vertimientos, reportan cumplimiento de la nueva norma de vertimiento.

- Se debe fortalecer por parte de las autoridades ambientales regionales (escenario PMA) y autoridad ambiental Nacional (escenario licencia ambiental), el seguimiento de cada caso frente

al régimen de transición, resultados de monitoreos fisicoquímicos y pronunciamiento frente al Plan de Reconversión a Tecnologías Limpias en Gestión de Vertimientos, con el objetivo de asegurar la implementación de tecnologías limpias vs la mitigación de impactos socio-ambientales y de esta forma conocer con certeza el grado de implementación de la Resolución 631 de 2015

La información consultadas frente a los resultados de monitoreos fisicoquímicos y las manifestaciones de las comunidades del área de influencia de estos vertimientos, no son coherentes, pues aun cuando los resultados reportados actualmente por las empresas cumple con la normatividad ambiental "vigente" las comunidades continúan expresando su inconformidad frente a los condiciones de los recursos hídricos, se recomienda fortalecer desde la entidad competente gubernamental el seguimiento, monitoreo y análisis de esta temática, para concluir sobre la eficiencia y cumplimiento de la Resolución 631 de 2015.

5 BIBLIOGRAFÍA

ALDAYA, M. (2005). Producción más limpia: el caso de una fábrica de cajas de cartón corrugado. Programa de Producción Ecoeficiente para Industrias de la Universidad de Montevideo. Uruguay.

Alzate, J y Zulualga, L. (2014). Evaluación de impactos social y ambiental de las aguas industriales en la explotación petrolera en un caso colombiano. Tesis Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Centro de investigaciones en medio ambiente y desarrollo-CIMAD. Universidad de Manizales. Manizales, Colombia.

Avellaneda, A. (1992). Petróleo e impacto ambiental en Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá

Boada, A. (2004). Las empresas y el medio ambiente: un enfoque de sostenibilidad. Universidad Externado de Colombia, Facultad de Administración de Empresas. Bogotá, Colombia.

Calao, J. (2007). Caracterización ambiental de la industria petrolera: Tecnologías disponibles para la prevención y mitigación de impactos ambientales. Tesis para obtener el título de Ingeniero de Petróleos. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

Contraloría General de la República (2012). Informe del Estado de los Recursos Naturaleza y del Ambiente 2012-2013. Bogotá, Colombia

Congreso de Colombia. (1993). Ley 99 de 1993 por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargada de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental SINA y se dicta otras disposiciones.

Epstein R, Selber J. (2002). Oil a life cycle analysis of its health and environmental impacts. Editorial Center for Health and the Global Environment Harvard Medical School. Boston. MA, USA.

Gradex Ingenieria. (2007). Estudios Ambientales para la ampliación del vertimiento al caño Rubiales de las ARI del campo Rubiales. Bucaramanga 443. Consultado el 15 de Septiembre de 2017.

ICONTEC. (2004). Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 14001 Sistema de Gestión Ambiental. Requisitos con orientación para su uso. Bogotá D.C.

Lizarazo, J. Orjuela, M. (2013). Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia. Monografía presentada como requisito para optar al título de: Especialización en Administración en Salud Pública. Facultad de Medicina. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá..

MADS. (2014). Resolución 631 de 7 de marzo de 2015. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

MAVDT. (2010). Decreto 3930 del 25 de octubre de 2010. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI-Parte III-Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. 29p.

PAULSON, L. (2014). Que es el tratamiento con lodos activados. <http://www.rwlwater.com/que-es-el-tratamiento-con-lodos-activados/?lang=es> consultado el 17 de septiembre de 2015.

PEÑA, J. (2003). Minería y medio ambiente en Colombia. Trabajo de grado para optar al título de especialista en Gerencia para el manejo de los recursos naturales, del medio ambiente y la prevención de desastres. Universidad Sergio Arboleda. Bogotá.

Ramírez, R., Restrepo, R. y Fernández, N. (2003). Evaluación de impactos ambientales ocasionados por vertimientos sobre aguas continentales. Revista Ambiente y Desarrollo No. 12. 53-80.

Romero, J. (2008). Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Segunda reimpresión. Ed Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, Colombia

Ruiz, J. Universidad de los Andes. LX Foro de Actualidad. La industria de hidrocarburos, una visión actual para no petroleros. <https://administracion.uniandes.edu.co/index.php/es/component/k2/item/1263-la-industria-de-hidrocarburos-en-colombia-una-visi%C3%B3n-actual-para-no-petroleros> consultada el 11 de abril de 2015.

Tecnoil.(2009). La evolución de los precios del petróleo.

Vanegas, O. (2014). Impactos ambientales de la industria petrolera (Colombia). <http://www.sudamericarural.org/promocion/articulos-de-opinion/promo/305-impactos-ambientales-de-la-industria-petrolera> consultada el 17 de abril de 2015

Yepes, A. (2010). Efecto de los vertimientos líquidos de una industria petrolera sobre la abundancia del perifiton en un cuerpo de agua lótico (Puerto López, Meta). Trabajo de grado para optar al título de Biólogo Marino. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá.

UNAD, (2012). Selección de tecnologías limpias, lección 2. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA) Programa de Ingeniería Ambiental. Bogotá.

SGI Ltda Consultoría e Ingeniería. (2014). Capítulo 4 Estudio de Impacto Ambiental Campo de producción mago.

Jaimes, D – Pico M. (2009). Diseño de la planta de tratamiento de las aguas residuales de producción evaluando las diferentes alternativas nacionales y extranjeras. Trabajo de grado para optar título de Ingeniero De Petróleos. Universidad Industrial de Santander. Santander, Colombia.

Fundación para el Conocimiento Madrid - CI 56 B seminario residuos industriales líquidos. Presentación tratamientos terciarios o avanzados. <https://www.madrimasd.org>.