

EVALUACION DE LA CAPACIDAD OPERACIONAL DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL INSTITUTO COLOMBIANO DEL
PETROLEO TENIENDO COMO REFERENCIA LA CARGA ORGANICA, LOS
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES Y GRASAS, ACEITES.

YANETH LILIANA BARRERA ARIAS
JOHANA MARCELA JIMENEZ CASTILLO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA

2013

EVALUACION DE LA CAPACIDAD OPERACIONAL DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL INSTITUTO COLOMBIANO DEL
PETROLEO TENIENDO COMO REFERENCIA LA CARGA ORGANICA, LOS
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES Y GRASAS, ACEITES.

YANETH LILIANA BARRERA ARIAS
JOHANA MARCELA JIMENEZ CASTILLO

Monografía para optar por el título de
Especialista en Ingeniería Ambiental

Director:
ING. JUAN CAMILO LESMEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA

2013

AGRADECIMIENTOS

GRACIAS

A Dios

A mi mama Ana Castillo de Jiménez...

A mi papa Agustín Jiménez Moreno (QEPD)...

A mi esposo Aland y mi hija Hannah...

A Jaqueline Saavedra...

A William Pico...

A Crisóstomo Barajas...

A Ernesto...

Johana Jiménez Castillo

GRACIAS

A Dios por todas las bendiciones recibidas

A mis padres.

A Jaqueline Saavedra

A William Pico

A mi amiga Johana Jimenez

A Crisóstomo Barajas

A Ernesto

Yaneth Liliana Barrera Arias

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	12
1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO.....	14
1.1. GENERALIDADES	14
1.1.1. Tratamiento de las aguas residuales	14
1.1.2. Descripción del proceso de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas.	15
1.1.3. Tratamientos Preliminares.....	16
1.1.4. Tratamientos Primarios	17
1.1.5. Tratamientos secundarios	17
1.1.6. Tratamientos Terciarios o Avanzados	19
1.2. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ICP	20
2. METODOLOGIA	32
3. RESULTADOS Y DISCUSION	35
3.1. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	35
4. CONCLUSIONES	38
5. RECOMENDACIONES	39
BIBLIOGRAFIA	40

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Parámetros de Calidad.	33
Tabla 2 Resultado de Datos muestreo PTARD - ICP	36
Tabla 3 Resultado de porcentajes de remoción según Decreto 1594 del 26 de Junio de 1984.....	37
Tabla 4 Resultados de porcentajes de remoción según Decreto 3930 del 25 de Octubre de 2010.	37

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Diagrama de Flujo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas	21
Figura 2 Flujograma de proceso de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas	21
Figura 3 Afluente y efluente	23
Figura 4 Cámara de cribado	24
Figura 5 Canaleta parshall	25
Figura 6 Vertedero	25
Figura 7 Biorreactor aeróbico.....	26
Figura 8 Sedimentador	27
Figura 9 Tanque de recirculación de lodos	28
Figura 10 Biodigestor de lodos	29
Figura 11 Lechos de secado.....	30

TÍTULO: EVALUACION DE LA CAPACIDAD OPERACIONAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL INSTITUTO COLOMBIANO DEL PETROLEO TENIENDO COMO REFERENCIA LA CARGA ORGANICA, SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES Y GRASAS, ACEITES.

AUTORES: YANETH LILIANA BARRERA ARIAS¹
JOHANA MARCELA JIMENEZ CASTILLO²

PALABRAS CLAVE: Agua residual, Demanda bioquímica de oxígeno, desarenador, efluente, afluente, planta de tratamiento.

DESCRIPCIÓN

El estudio se realizó en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Instituto Colombiano del Petróleo con el fin de determinar la capacidad de la planta en relación con la remoción de sólidos suspendidos totales, grasas, aceites y carga orgánica. Se realizó verificación de los datos obtenidos del muestreo en el ICP, en donde se determina el cumplimiento de los parámetros establecidos por la legislación Colombiana en el decreto 1594 del 26 de Junio de 1984; que exige un porcentaje de remoción para grasas y aceites mayor a 80%, sólidos suspendidos totales mayor al 50% y DBO₅ mayor de 30%. Trayendo como referencia el decreto 3930 del 25 de Octubre de 2010 los parámetros antes mencionados se determinan teniendo en cuenta la remoción en partes por millón y con los resultados obtenidos se permite ratificar así la eficiencia operativa de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas.

La calidad final de las aguas residuales domésticas indican que son aptas para vertimientos en cuerpos de agua según lo establecido en el decreto 1594 del 26 de Junio de 1984 y la capacidad de la planta de tratamiento de aguas residuales domesticas mantiene la operación estable para el personal que labora en el instituto colombiano del petróleo según el estudio realizado en los meses de agosto a noviembre de 2012.

Trabajo de Grado para obtener el título de Especialización en Ingeniería Ambiental

^{1,2}Facultad de Ingeniería Físicoquímica. Escuela de Ingeniería química. Especialización en Ingeniería Ambiental. Director: Juan Camilo Lesmez

TITLE: ASSESSMENT OF THE OPERATIONAL CAPACITY PLANT OF TREATMENT OF RESIDUAL WATERS OF THE COLOMBIAN INSTITUTE OF THE OIL HAVING AS REFERENCE THE ORGANIC LOAD, TOTAL SUSPENDED SOLIDS AND FATS AND OILS.

AUTHORS: YANETH LILIANA BARRERA ARIAS¹
JOHANA MARCELA JIMENEZ CASTILLO²

KEYWORDS: Wastewater biochemical oxygen demand, Desander, effluent, effluent treatment plant.

DESCRIPTION

The study was conducted at the treatment plant of water waste from the Colombian Petroleum Institute in order to determine the capacity of the plant in relation to the removal of total suspended solids, fats, oils and organic load. Was carried out verification of the data obtained from sampling in the ICP, which determines compliance with the parameters established by the Colombian legislation the Decree 1594 of the 26 June 1984; that requires a percentage of greater than 50% total removal for fats and oils greater than 80%, solid suspended and more than 30% BOD₅. According to the new decree 3930 from 25 October 2010 the above mentioned parameters are determined taking into account the removal in parts per million and with the results is allowed to ratify as well the operational efficiency of the domestic waste water treatment plant.

The final quality of domestic sewage indicate that they are suitable for discharge into bodies of water as set out in the Decree 1594 of June 26, 1984 and domestic capacity of the wastewater treatment plant maintains stable operation for personnel working in the Colombian Petroleum Institute according to the study conducted in the months of August to November 2012.

*Work Degree to obtain the degree of Enviromental Engineer Specialist.

² Faculty of physicochemical. School of chemical Engineering. Specialization in Enviromental Engineering. Directress: Juan Camilo Lesmez

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la capacidad de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas del Instituto Colombiano del Petróleo para remover los sólidos suspendidos totales, la carga orgánica y grasa, aceites.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Verificar la capacidad de remoción de la carga orgánica, de los sólidos suspendidos totales y grasas, aceites de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales según decreto 1594 del 26 de Junio de 1984 y decreto 3930 de 25 de Octubre de de 2010.
2. Valorar la eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas (PTARD) con relación al promedio de personas que laboran en el Instituto Colombiano del Petróleo.

INTRODUCCION

Los temas relacionados con el medio ambiente están adquiriendo una creciente connotación a nivel mundial debido a la concientización y sensibilización ambiental de todos los habitantes del planeta para la protección y preservación del medio ambiente.

Hace muchos años cuando las poblaciones y asentamientos industriales estaban muy dispersos, la naturaleza por medio de sus ríos y lagos se encargaba de transformar la materia orgánica que se descargaba a sus aguas, sin que la reducción del contenido de oxígeno en éstas fuera notoria.

A medida que las poblaciones fueron creciendo y por consiguiente la cantidad de aguas residuales, las corrientes de agua ya no fueron capaces de tratar la gran cantidad de desechos que estaban recibiendo y la humanidad se dio cuenta que era necesario ayudar a la naturaleza en el proceso de purificación de las aguas residuales.

Así se empezaron a desarrollar métodos simples para remover sustancias flotantes y hoy en día se continúan desarrollando otros que permiten remover sustancias que de un modo u otro afectan la calidad de las aguas receptoras.

Las políticas de protección del recurso hídrico en Colombia han fomentado la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales ya que éstas son consideradas como unidades de transformación de la materia orgánica contenida en los efluentes industriales y/o domésticos.

A través de tratamientos físico- químico y biológico se logra la remoción de contaminantes contenidos en el agua, para controlar en gran medida los

problemas de contaminación hídrica, para hacer de ella un agua sin riesgos a la salud y al medio ambiente.

Se estima que la producción de aguas residuales domésticas en Colombia es de 6 millones de m³/día, de los cuales tan solo el 20% son conducidas a plantas de tratamientos de aguas residuales y de éstos, solo el 8% es efectivamente tratada; mientras que el 80% restante es vertido sin ningún tratamiento a los suelos, ríos, quebradas, lagos o directamente al mar.³

Las compañías en general demuestran su interés mediante el uso de sistemas de evaluación permanente de sus operaciones y su incidencia en el medio ambiente, tendientes a minimizar los impactos que éstas puedan ocasionar.

La presente monografía tuvo como objeto evaluar la eficiencia de la PTARD del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) en cumplimiento de sus principios de protección y conservación con el medio ambiente.

Se comprobó la efectividad de la planta en relación con el personal que labora en el ICP, por medio de monitoreos periódicos que identifican y plantean soluciones a los problemas ambientales que se puedan presentar.

De acuerdo con lo anterior se describen las acciones con respecto al manejo del recurso hídrico que se realiza en las instalaciones del Instituto Colombiano del Petróleo.

³GUERRERO, J. *Saneamiento en Colombia y Latinoamérica*. (2007) Universidad Tecnológica de Pereira.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO

1.1. GENERALIDADES

1.1.1. Tratamiento de las aguas residuales

El término de agua residual doméstica, define un tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación.

A las aguas residuales también se les llama aguas servidas, fecales o cloacales, y las impurezas procedentes del proceso productor de los desechos, son propiamente llamados vertidos. Estas aguas pueden estar contaminadas por desechos urbanos o bien proceder de los variados procesos industriales.

Una de las razones más importantes para tratar las aguas residuales o servidas es la eliminación de todos los agentes patógenos de origen humano presentes en las excretas con el propósito de cortar el ciclo epidemiológico de transmisión. Estos son, entre otros:

- Coliformes totales
- Coliformes fecales
- Salmonellas
- Virus

Por esta razón una planta de tratamiento de aguas residuales debe tener como propósito eliminar toda contaminación química y bacteriológica del agua que pueda ser nociva para los seres humanos, flora y fauna.

Antes de tratar cualquier agua servida debemos conocer su composición, esto es lo que se llama caracterización del agua; de manera que el agua sea devuelta al medio ambiente en condiciones adecuadas.

1.1.2. Descripción del proceso de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas.

La PTARD tiene como finalidad la remoción de materia orgánica contaminante de las aguas residuales, es decir, los líquidos que han sido utilizados en las actividades diarias de una ciudad (domésticas, comerciales, industriales y/o de servicios).

En términos generales se pueden definir los tratamientos de las aguas residuales en las siguientes categorías:

Tratamientos preliminares

Tratamientos primarios

Tratamientos secundarios

Tratamientos terciarios o avanzados

Los anteriores tipos de tratamiento, pretenden la remoción de contaminantes que se alcanza a medida que avanzan las operaciones y procesos unitarios de tratamiento; siendo las operaciones unitarias, un conjunto de tratamientos físicos y los procesos unitarios, una combinación de tratamientos químicos y biológicos.

Podemos decir entonces que el tratamiento de las aguas residuales se obtiene a medida que se realizan operaciones y procesos unitarios que se tornan más complejos a medida que va avanzando el grado de tratamiento que se quiere obtener.

1.1.3. Tratamientos Preliminares

Los tratamientos preliminares, aunque no reflejan un proceso en sí, sirven para aumentar la efectividad de los tratamientos primarios, secundarios y terciarios.

Las aguas residuales que fluyen de los alcantarillados a las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), son muy variables en su flujo y contienen gran cantidad de objetos, en muchos casos voluminosos y abrasivos, que por ningún motivo deben llegar a las diferentes unidades donde se realizan los tratamientos y deben ser removidos.

Es ésta la razón por la cual el inicio de toda PTAR son los tratamientos preliminares que constituyen el primer paso en la remoción de sustancias no viables a la naturaleza. Dentro de éstos podemos mencionar: rejillas, tamices, trituradores, tanques de homogenización o igualación, desarenadores, neutralización.

En el tratamiento preliminar las arenillas, gravas y otros productos resultantes de la trituración de sólidos presentes en las aguas residuales son sedimentados en un desarenador, en donde todas las partículas con peso específico mayor al del agua se depositan en el fondo de este tanque. Estas partículas, principalmente de tipo inorgánico son removidas, mientras que los sobrenadantes pasan posteriormente a un tratamiento primario.

En ésta etapa preliminar también se puede realizar la pre aireación, cuya función es la de eliminar los compuestos volátiles presentes en el agua servida que se caracterizan por ser malolientes y aumentar el contenido de oxígeno del agua, lo que ayuda a la disminución de la producción de malos olores en las etapas siguientes del proceso de tratamiento.

1.1.4. Tratamientos Primarios

El principal objetivo de un tratamiento primario es el de remover aquellos contaminantes que puedan sedimentar, como por ejemplo los sólidos sedimentables y algunos suspendidos o aquellos que pueden flotar como las grasas.

Las estructuras encargadas de esta función son los tanques de sedimentación primarios. Habitualmente están diseñados para suprimir aquellas partículas que tienen tasas de sedimentación de 0,3 a 0,7 mm/s. Así mismo, el periodo de retención es normalmente corto, 1 a 2 horas. Con estos parámetros, la profundidad del tanque fluctúa entre 2 a 5 m.

En esta etapa se elimina por precipitación alrededor del 60% al 70% de los sólidos en suspensión y un 35% de la DBO₅ presente en las aguas residuales, siendo bueno anotar que compuestos solubles no pueden ser eliminados por este tipo de tratamiento.

Este tratamiento primario presenta diferentes alternativas según la configuración general y el tipo de tratamiento que se haya adoptado, dentro de éstos podemos mencionar: sedimentación primaria, precipitación química- coagulación, flotación, tanques de imhoff.

1.1.5. Tratamientos secundarios

Tiene como objetivo eliminar la materia orgánica en disolución y en estado coloidal mediante un proceso de oxidación de naturaleza orgánica seguido de sedimentación. Este tratamiento biológico es un proceso natural controlado, en el

cual participan los microorganismos presentes en el agua residual y se desarrollan en un reactor o cuba de aireación.

Otro aspecto importante en este tratamiento secundario es remover la demanda biológica de oxígeno, es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada y el grado de contaminación presente en un cuerpo de agua.

El método se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en las que se han inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos. Es un método que constituye un medio válido para el estudio de los fenómenos naturales de destrucción de materia orgánica, representando la cantidad de oxígeno consumido por los gérmenes aerobios para asegurar la descomposición.

Otro parámetro que normalmente se evalúa es la demanda química de oxígeno, que mide la cantidad de materia orgánica susceptible de ser oxidada por medios químicos que hay en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación de materia orgánica presente en el cuerpo de agua.

Un tratamiento secundario remueve aproximadamente 85% de la DBO_5 y los sólidos suspendidos; aunque no remueve cantidades significativas de nitrógeno, fósforo, metales pesados, DQO y bacterias patógenas.

En el tratamiento secundario de tipo biológico los compuestos son degradados en igual forma que en una corriente receptora cuando se proporcionan condiciones ambientales apropiadas. Además de la materia orgánica, se tienen una gran cantidad de microorganismos tales como bacterias, hongos, protozoos, rotíferos, etc., que entran en estrecho contacto con la materia orgánica, la cual es utilizada como su alimento.

Los microorganismos convierten la materia orgánica biológicamente degradable en CO₂ y H₂O y nuevo material celular; los compuestos orgánicos constituyen de este modo el alimento básico de los microorganismos. Además de estos dos ingredientes básicos: microorganismos – materia orgánica biodegradable, se necesita de un buen contacto entre ellos, la presencia de un buen suministro de oxígeno y de otras condiciones favorables como lo son temperatura, pH y un adecuado tiempo de contacto.

Las estructuras usadas para el tratamiento secundario incluyen filtros de arena intermitentes, filtros percoladores, contactores biológicos rotatorios, lechos fluidizados, estanques de fangos activos, lagunas de estabilización u oxidación y sistemas de digestión de fangos.

1.1.6. Tratamientos Terciarios o Avanzados

Tiene como objetivo suprimir algunos contaminantes específicos presentes en el agua residual, tales como los fosfatos que provienen del uso de detergentes domésticos e industriales y cuya descarga en cursos de agua favorece la eutrofización, es decir, un desarrollo incontrolado y acelerado de la vegetación acuática que agota el oxígeno y mata la fauna existente en la zona.

No todas las plantas de tratamiento tienen esta etapa ya que dependerá de la composición del agua residual y el destino que se le dará.

Se ha visto la necesidad de tratamientos terciarios o avanzados a medida que se han hecho sentir los efectos de compuestos que escapan al tratamiento secundario de las aguas residuales. Entre estos compuestos podemos citar el nitrógeno, el fósforo, metales pesados, DBO soluble y también podríamos incluir el tratamiento y disposición final de lodos.

La gran mayoría de estos tratamientos son complejos y pueden representar un porcentaje muy alto de los costos totales del tratamiento.

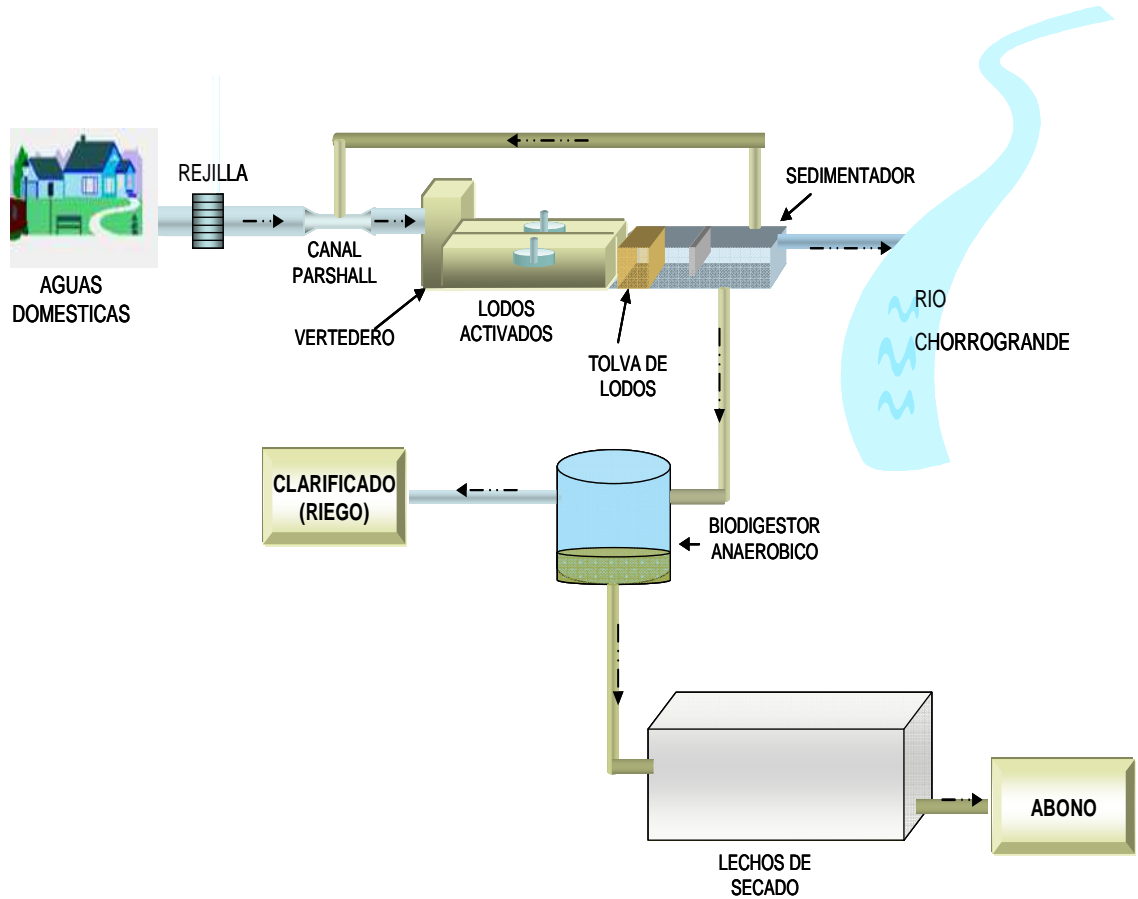
1.2. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ICP

Es de tener en cuenta que el Instituto Colombiano del Petróleo⁴, dispone de dos plantas para el tratamiento de aguas, una se encarga de las aguas residuales domesticas (PTARD), provenientes de baños y cafeterías; la otra planta se encarga de las aguas provenientes de los laboratorios y de Planta Piloto llamada Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (PTARI)

En la PTARD (figura N°3) se llevará a cabo el presente estudio; esta planta es de tratamiento secundario, utilizando lodos activados convencionales con mezcla completa y su caudal de diseño es de 150 m³/día.

⁴ Instituto colombiano del Petróleo, Manual de operación de la PTARD.

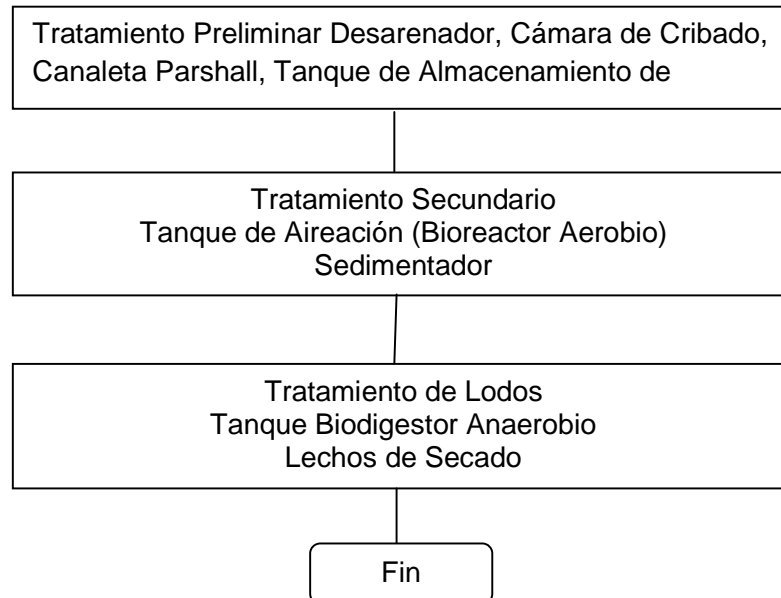
Figura 1 Diagrama de Flujo de la Planta de Tratamiento de Aguas Domesticas



Fuente: Instituto Colombiano del Petróleo.

Los componentes de la planta, (figura 2) se describirán de acuerdo a la dirección que toma el agua cuando entra al tratamiento, la cual llega a la planta a través de la red de alcantarillado del ICP.

Figura 1 Flujo de Proceso de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales ICP.



Fuente: Manual de Operación de la PTARD – ICP.

Consta de los siguientes componentes:

Los sitios monitoreados de las aguas residuales domésticas del ICP toman como afluente (figura 3) la entrada o llegada del agua que ha sido utilizada en las actividades diarias del hombre. Este punto es el inicio del proceso de depuración y el efluente⁵ (figura 3) es la salida y el paso final del proceso de depuración del agua doméstica, que es conducida a la quebrada chorro grande en condiciones adecuadas según lo establecido en la resolución 1594 del 26 de Junio de 1984.

⁵. Instituto Colombiano del Petróleo, Manual de operación de la PTARD.

Figura 3 Afluente y Efluente



AFLUENTE DOMESTICA



EFLUENTE DOMESTICA

Fuente: Las Autoras

Desarenador

Las aguas residuales domésticas llegan por medio del alcantarillado a la PTARD, El agua proviene de los baños y cafeterías del ICP, se recibe en una caja de inspección que facilita la toma de muestras y remueve las partículas de arena menores de 0,2 mm.

Los desarenadores son unidades diseñadas para retener arenillas, guijarros, tierra, cáscaras de huevo, huesos, semillas y demás partículas con gravedades específicas cercanas a 2,65 mm.

La remoción de estas partículas tiene como finalidad evitar obstrucciones en tuberías, abrasión en las bombas y formación de sedimentos o lodos inertes en los tanques de digestión. En esta estructura se deposita la arena por decantación y su remoción se hace en forma manual con un palustre, los pocos sólidos gruesos, basuras y arena quedan en cribado y desarenador.

El desarenador en la planta de tratamiento constan de varios canales paralelos en donde se reduce la velocidad para facilitar la sedimentación de partículas

inorgánicas, acostumbrándose a diseñar más de un desarenador para que siempre quede como mínimo una unidad en servicio cuando se efectúan limpiezas y reparaciones. Las siguientes etapas del tratamiento de las aguas domésticas consisten en la utilización de métodos de descontaminación aeróbica, las cuales se enumeran a continuación:

Cámara de Cribado

La cámara de cribado (figura 4) es la primera operación que se debe considerar en una planta de tratamiento de aguas. Consiste en hacer pasar el agua a través de rejillas las cuales retienen sólidos de tamaño mayor a la separación de las barras, tales como ramas, palos, y toda clase de residuos sólidos. Esto con el fin interceptar los cuerpos gruesos antes de que dañen o vuelvan más lentos los procesos depurativos.

La captación de los cuerpos se realiza a través de cribas o rejillas metálicas con tamices que van de 4-6 cm, para el cribado grueso, y de 0,2 a 0,5 cm para el cribado fino. La limpieza de las cribas puede ser manual en el caso de plantas pequeñas o bien mecánica.⁶

Figura 4 Cámara de Cribado



Fuente: Las Autoras

⁶. Instituto Colombiano del Petróleo, Manual de operación de la PTARD.

Canaleta Parshall

Es un aforador (figura 5) constituido por una sección de convergencia, una garganta y una sección de divergencia. Las plantas cuentan con este dispositivo para reducir y medir el caudal afluyente y de ahí el agua ingresa al vertedero.

Figura 5 Canaleta Parshall



Fuente: Las Autoras

Vertedero

Es un dispositivo hidráulico que regula y distribuye el flujo del agua para su ingreso al sistema de lodos activados (figura 6)

figura 6 Vertedero



Fuente: Las Autoras

Biorreactor aerobio (Lodos activados)

Es un tanque de concreto el cual cuenta con aireación mecánica y transferencia de oxígeno con un biorreactor aeróbico y un motor mecánico superficial (figura 7). El lodo activado es una suspensión de microorganismos, tanto activos como inactivos, en un agua residual y contiene materia inorgánica y orgánica disuelta o en suspensión coloidal.

Figura 7 Biorreactor Aerobio



Fuente: Las Autoras

Es un proceso biológico aerobio que utiliza las reacciones metabólicas de microorganismos para obtener un efluente de calidad aceptable, removiendo las sustancias que ejercen una demanda de oxígeno.

En el proceso biológico de lodos activados, el agua residual es tratada en un tanque o reactor donde partículas suspendidas de microorganismos aerobios llamados protozoos y amintas entran en contacto con los componentes orgánicos del agua residual. La materia orgánica sirve como fuente de carbón y energía para su crecimiento, es convertida en tejido celular biológico y en productos finales oxidados, principalmente CO_2 .

El pH es la medida de la concentración del ion hidrógeno en el agua, por esta razón es muy importante en este proceso ya que es vital para la vida de los

microorganismos, los valores muy altos o muy bajos del pH ofrecen a los microorganismos un medio adverso para lograr mejores resultados en este tratamiento.

El pH ideal para ellos está entre 6,5 y 8,5; en algunos casos será necesario regular la alcalinidad del agua o modificar su pH, en el caso de que la alcalinidad del agua sea insuficiente se añade hidróxido de calcio (cal hidratada) en el reactor que es el hábitat de los microorganismos. Durante este proceso las bacterias producen lodos y esta mezcla pasa posteriormente al sedimentador.

Sedimentadores

Es un proceso físico que aprovecha la diferencia de densidad y peso entre el líquido y las partículas suspendidas, promoviendo condiciones de reposo del agua. Los sólidos más pesados que el agua, precipitan produciéndose su separación del líquido (figura 8).

Figura 8 Sedimentador



Fuente: Las Autoras

Están dotados de un barre lodos del tipo paletas de madera o polímero movidas horizontalmente por un sistema de cadenas; accionados por engranajes motorizados que van arrastrando lentamente los lodos decantados hacia la

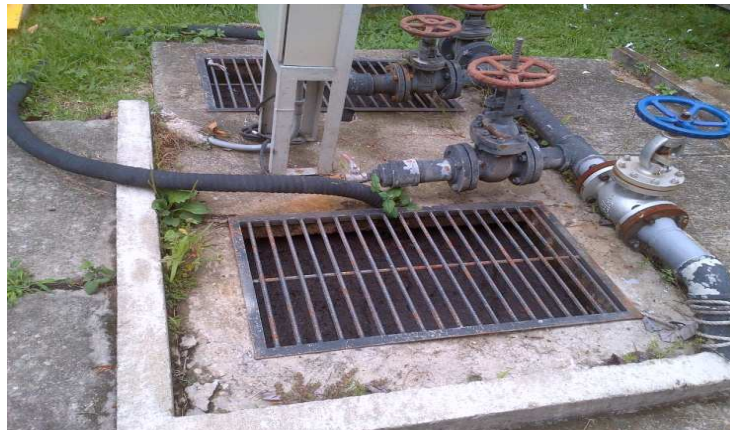
sección inclinada, para luego ser retirados del fondo del clarificador a través de una tubería de 6" pulgadas, regulada por una válvula telescópica hacia la estación de bombeo de lodos, lo que permite mantener un óptimo nivel de sólidos en el licor mezclado.

El efluente clarificado es recogido en una canaleta de concreto para conducirlo por una tubería hacia la quebrada Chorro grande.

Tanque de recirculación de lodos

Con el objeto de retornar lodos a los reactores para mantener la concentración de microorganismos o remover lodos de exceso hacia el Biodigestor, se cuenta con una estación de bombeo de lodos. (Figura 9)

Figura 9 Tanque de Recirculación de Lodos



Fuente: Las Autoras

Biodigestor de Lodos

Con el fin de concentrar los lodos se ha dispuesto de un biodigestor de tipo anaeróbico (figura 10), allí se digieren biológicamente logrando la conversión de aproximadamente el 50% de los sólidos orgánicos.

El biodigestor es fundamental para realizar el tratamiento y disposición final de los lodos en éste suceden tres pasos Básicos que son: concentración, digestión, deshidratación.

Concentración: tiene como principal objetivo espesar los lodos para reducir su volumen. Los dos métodos más utilizados son: espesamiento, flotación.

Digestión: la digestión o estabilización de lodos consiste en la descomposición de los sólidos orgánicos en otros de tipo más estable, menos ofensivos y de menor volumen. Esta estabilización se obtiene aeróbica o anaeróbicamente ya sea en recipientes cerrados o abiertos.

Deshidratación: consiste en retirar la mayor cantidad posible de agua de los lodos hasta obtener una pasta compacta, con menos contenido de humedad y menor volumen; facilitando su disposición final. Los métodos de deshidratación más comunes son: los lechos de secado, filtración al vacío, centrifugación, filtración bajo presión y calentamiento.

Figura 10 Biodigestor de Lodos



Fuente: Las Autoras.

Lechos de Secado

Consisten en lechos de material filtrante (figura 11) confinados en una estructura que permite un borde libre de 30 cm sobre la superficie de la arena y sobre la cual se derraman los lodos para su secado, después de una semana son retirados para ser usados en compostaje y abono.⁷

Figura 11 Lechos de Secado



Fuente: Las Autoras

El lixiviado generado en el secado de los lodos va a un tanque para la recolección de lixiviados, en donde es retornado a la entrada de la planta para un nuevo tratamiento.

Tratamiento y disposición final de lodos

Uno de los problemas más serios que hay que afrontar en el tratamiento de las aguas residuales lo constituye el tratamiento y disposición final de lodos. En las rejillas y tamices se remueven principalmente sólidos gruesos y en los desarenadores arenas y gravillas de tipo inorgánicas que después de secadas deben ser dispuestas en un relleno sanitario.

⁷ Instituto Colombiano del Petróleo, Manual de operación de la PTARD.

Sin embargo, la sedimentación primaria y secundaria de las aguas residuales en un proceso de lodos activados o filtros percoladores produce lodos con un alto contenido de agua, volumen que debe ser reducido para hacer más viable su disposición final.

Disposición final de lodos

La disposición final de los lodos deshidratados, pueden ser utilizados como acondicionadores de suelos, fertilizantes o dispuestos en un relleno sanitario.

2. METODOLOGIA

El presente trabajo se realizó en la PTARD del Instituto Colombiano del Petróleo localizado al nor-este de la ciudad de Piedecuesta, Santander a 7 kilómetros, sobre la vía que de Floridablanca conduce a Piedecuesta; el agua que se consume en el ICP es proveniente de la cuenca del río Lato y el cuerpo receptor del sistema de tratamiento es la quebrada Chorrogrande.

A fin de caracterizar el efluente, se realizó una verificación visual de la planta de tratamiento de aguas del ICP, se consultó con el personal operativo sobre el proceso y los parámetros de calidad con el fin de evaluar la capacidad que tiene la PTARD con relación al personal que labora en el ICP y el comportamiento de las aguas residuales después del tratamiento realizado.

Para determinar la eficiencia de la PTARD, se empleó un método descriptivo teniendo como base el muestreo del afluente en el tanque desarenador y el efluente en la canaleta del vertedero.

El muestreo es realizado por personal técnico operativo del ICP siguiendo las especificaciones establecidas en el métodos SM1060/05 "Collection and Preservation Methods, Ed. 21 del 2005; para analizar los parámetros establecidos por el decreto 1594 de 26 de junio de 1984 como lo son DQO, DBO₅, aceites, grasas, sólidos totales, sólidos disueltos y suspendidos, mercurio, arsénico, metales, aniones, alcalinidad, carbonatos, bicarbonatos, pH, temperatura y oxígeno disuelto.

⁸COLOMBIA, Ministerio de Salud, Decreto 1594 de 1984. *Usos de agua y residuos líquidos* (Diario Oficial de la Nación No. 36.320, Agosto de 1983).

Las mediciones de los parámetros de calidad (tabla 1) que se realizan de manera periódica son analizados por el laboratorio de Aguas y Suelos del Instituto Colombiano del Petróleo acreditados por ONAC con acreditación código 09-LAB-003 del 16 de Febrero de 2010.

Tabla 1 Parámetros de Calidad.

Parámetros	METODO ANALITICO
pH	AWWA 4500- H+
Temperatura	Termómetro
Oxígeno Disuelto	AWWA 4500-O A-C
DQO	AWWA 5220 A, (Método Reflujo Abierto-Modificado ICP)
DBO	AWWA 5210 A, B Incubación 20°C
Grasas y aceites	AWWA 5520 A,B,F (Met Gravimétrico)
Fenoles	AWWA 5530 A, B, D (Mét. Fotométrico)
Sólidos Totales	AWWA 2540 A, B
Sólidos Suspendidos	AWWA 2540 A, D
Sólidos Disueltos	AWWA 2540 A, C
Sólidos sedimentables	AWWA 2540 A, C
Mercurio	AWWA 3112 (Vapor Frío)
Arsénico	AWWA 3114 (Generador de Hidruros)
Metales (V, Cd, Ba, Cr, Pb, Ni)	Absorción Atómica de llama AWWA 3030-3500-3111
Aniones (SO ₄ ⁼ , Cl-NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻)	Aniones de cromatografía iónica en aguas AWWA-4110
Alcalinidad	Titulación a pH(4.5) AWWA 2320 A,B
Carbonatos	Titulación a pH(4.5) AWWA 2320 A,B
Bicarbonatos	Titulación a pH(4.5) AWWA 2320 A,B

Fuente: Instituto Colombiano del Petróleo

La periodicidad con que se realiza la recolección de las muestras es mensual y los puntos de muestreo son establecidos con sus respectivas coordenadas geográficas con el equipo GPS (Global Positioning System) en la parrilla WGS -84: Sistema Geodesico Mundial 1984.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

La planta de tratamiento de aguas residuales del Instituto Colombiano del petróleo está diseñada para tratar 150 m³/día de agua residual doméstica, en donde la jornada laboral es de 9 horas diarias de lunes a viernes y turnos de 24 horas por personal operativo, de laboratorios y vigilancia.

Actualmente el consumo promedio de agua por la comunidad se calcula en 6000 m³/mes, a partir de una captación de 9000 m³/mes⁹

Las aguas residuales provenientes de las actividades domésticas diarias como el uso, limpieza de baños y cafeterías representan un alto contenido de materia orgánica, detergente, sólidos y grasas las cuales son tratadas en la PTARD.

Los resultados obtenidos de los muestreos realizados por el laboratorio de Aguas y suelos del ICP, durante los meses de agosto a noviembre de 2012. (Tabla 2) permiten determinar que las condiciones y los parámetros de estudio del río Chorrogrande, cumple con lo establecido en el artículos 72 del decreto 1594 del 26 de Junio de 1984, donde establece los porcentajes mínimos de remoción exigidos por la legislación colombiana (Tabla 3).

Para grasa y aceites mayores a 80%, sólidos suspendidos mayor a 50% y DBO₅ mayor de 30% para aguas domésticas, evidenciando así la eficiencia operativa y microbiológica de la PTARD.

⁹Instituto Colombiano del Petróleo, Manual de operación de la PTAR

Tabla 2 Resultado de Datos muestreo PTARD - ICP

PARAMETROS	0.0864	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE
	caudal L /seg	1 sem	1 sem	1 sem	1 sem
DBO ₅ AFLUENTE mg O ₂ /l	0.63	252	230	79.8	186
CARGA CONTAMINANTE AFLUENTE (Kg/día)		13.72	12.52	4.34	10.12
DBO ₅ EFLUENTE mg O ₂ /l	0.63	7.48	3.52	16.3	7.77
CARGA CONTAMINANTE EFLUENTE (Kg/día)		0.41	0.19	0.89	0.42
% REMOCION EN CARGA		97	98.5	79.6	95.8
Decreto. 1594/84 DBO		>30	>30	>30	>30
SOLIDOS SUSP. TOTALES AFLUENTE mg/l	0.63	4086	13000	7334	6962
CARGA CONTAMINANTE AFLUENTE (Kg/día)		222.41	707.62	399.2	378.96
SOLIDOS SUSP. TOTALES EFLUENTE mg/l	0.63	35.9	28.5	5	32.5
CARGA CONTAMINANTE EFLUENTE (Kg/día)		1.95	1.55	0.27	1.77
% REMOCION EN CARGA		99.1	99.8	99.9	99.5
Decreto. 1594/84 SS		>50	>50	>50	>50
GRASAS Y ACEITES AFLUENTE mg/l	0.63	121	303	148	985
CARGA CONTAMINANTE AFLUENTE (Kg/día)		6.59	16.49	8.06	53.62
GRASAS Y ACEITES EFLUENTE mg/l	0.63	2	2	2	2
CARGA CONTAMINANTE EFLUENTE (Kg/día)		0.11	0.11	0.11	0.11
% REMOCION EN CARGA		98.3	99.3	98.6	99.8
Decreto.1594/84		>80	>80	>80	>80

Fuente: Laboratorio de Aguas y Suelos ICP

Tabla 3 Resultado de porcentajes de remoción según Decreto 1594 del 26 de Junio de 1984.

PARAMETRO DE INTERES (%REMOCION EN CARGA)	DBO ₅	SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	GRASAS Y ACEITES
AGOSTO	97%	99,1%	98,3%
SEPTIEMBRE	98,5%	99,8%	99,3%
OCTUBRE	79,6%	99,9%	98,6%
NOVIEMBRE	95,8%	99,5%	99,8%
DECRETO 1594/84 art 72.	≥30%	≥50%	≥80%

Fuente: Laboratorios Aguas y Suelos del ICP

Teniendo también como referencia el decreto 3930 de 25 de octubre de 2010 acerca de los resultados obtenidos (tabla 4) de DBO₅, sólidos suspendidos totales y grasas, aceites; se puede observar que éstos superan el porcentaje de remoción establecido en la norma en partes por millón.¹⁰

Tabla 4 Resultados de porcentajes de remoción según Decreto 3930 del 25 de Octubre de 2010.

PARAMETRO DE INTERES PPM	DBO ₅	SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	GRASAS Y ACEITES
AGOSTO	7,48	35,9	2,00
SEPTIEMBRE	3,52	28,5	2,00
OCTUBRE	16,30	5,0	2,00
NOVIEMBRE	7,77	32,5	2,00
DECRETO 3930/10 Valor máximo permisible	200,0 mg/l O₂	200,0 mg/l O₂	50,0 mg/l O₂

Fuente: Laboratorios Aguas y Suelos del ICP

¹⁰COLOMBIA, Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, Resolución 3930 de 2010. *Parámetros y límites máximos permisibles que deben cumplir los vertimientos a las aguas superficiales, marinas, a los sistemas de alcantarillados público y al suelo.*

4. CONCLUSIONES

Las aguas residuales domésticas del Instituto Colombiano del Petróleo, se evalúan con referencia a lo admitido en los Artículos 72 y 74 del Decreto 1594 de 26 de Junio de 1984, donde se establecen las normas de vertimiento a un cuerpo de agua y también se tiene en cuenta lo establecido en el decreto 3930 del 25 de Octubre de 2010. A partir de los resultados obtenidos se puede concluir:

- a. El sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas del ICP, efectúa remociones amplias de DBO₅ de 95,8%, sólidos suspendidos de 99,5% y grasas, aceites de 99,8%; los cuales superan los porcentajes de remoción mínimos referenciados en la normativa aplicada en Colombia para usuario existente.
- b. Conforme a lo establecido por el Ministerio del Medio Ambiente y a partir de los resultados reportados, se determina que el efluente del sistema del ICP presenta un nivel *bajo* de contaminación por sólidos suspendidos totales, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y grasas, aceites; en donde las partes por millón de las mismas no superan los valores límites permisibles en vertimientos puntuales.
- c. La planta de tratamiento de aguas residuales domésticas mantiene su capacidad para la atención del personal operativo y administrativo que labora en el Instituto Colombiano del Petróleo teniendo en cuenta los horarios laborales establecidos en la entidad.

5. RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con los procedimientos, mantenimientos preventivos programados y los parámetros operativos establecidos en el manual de operación de la PTARD del Instituto Colombiano del Petróleo para seguir obteniendo resultados óptimos en los vertimientos, el cumplimiento según los decretos de la legislación y los propósitos de Ecopetrol S.A de alcanzar una productividad sostenible cuidando nuestro entorno ambiental.

BIBLIOGRAFIA

BELTRAN DE HEREDIA, J.TORREGROSA, J. y GONZALEZ, T. (2004). *Experimentación en el Tratamiento de Aguas Residuales*. Madrid.

COLOMBIA, *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales* (IDEAM), Resolución Número 0292 DE 2006 (Diario Oficial No. 46579 de marzo 23 de 2007).

COLOMBIA, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Decreto 4741 de 2005. *Prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral*. (Diario Oficial de la Nación No 46137 de diciembre 30 de 2005).

COLOMBIA, Ministerio de Salud, Decreto 1594 de 1984. *Usos de agua y residuos líquidos* (Diario Oficial de la Nación No. 36.320, Agosto de 1983).

COLOMBIA, Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, Resolución 3930 de 2010. *Parámetros y límites máximos permisibles que deben cumplir los vertimientos a las aguas superficiales, marinas, a los sistemas de alcantarillados público y al suelo*.

COLOMBIA, Ministerio de la protección social y Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, Resolución 2115/07, *Instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano* (Junio 22 de 2007).

GUERRERO, J. *Saneamiento en Colombia y Latinoamérica*. (2007) Universidad Tecnológica de Pereira.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS (ICONTEC). 1994. *Gestión Ambiental. Suelo. Toma de muestras de suelo para determinar contaminación*. NTC 3656. Bogotá.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS (ICONTEC). 1995. *Gestión Ambiental. Calidad del suelo. Pretratamiento de las muestras de suelo para análisis fisicoquímicos*. NTC ISO 11464. Bogotá.