

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Química

**Evaluación del Riesgo Ambiental asociado a una Planta  
de Tratamiento de Agua Residual de un Condominio  
Horizontal ubicado en Santa Ana.**

Proyecto Final de Graduación para Optar por el Grado de Licenciatura en  
Ingeniería Ambiental

Daniela Quesada Rodríguez

Cartago, 2013.

**Evaluación del Riesgo Ambiental asociado a una Planta  
de Tratamiento Agua Residual de un Condominio  
Horizontal ubicado en Santa Ana.**

Informe presentado por Daniela Quesada Rodríguez a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Ambiental.

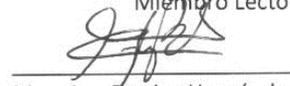
Aprobado por:



M.Sc. Ana Lorena Arias Zúñiga  
Directora de Proyecto



M.Sc. Jorge Calvo Gutiérrez  
Miembro Lector



Ing. Mary Luz Barrios Hernández  
Miembro Lector

## **Dedicatoria**

A mis papás, gracias a ellos tuve la oportunidad de estudiar y finalizar mi carrera. Papi, no he contado con mayor motivación que su ejemplo. Mami, sus consejos y apoyo me han llevado a tomar las mejores decisiones.

## **Agradecimientos**

A Dios, por mantenerme con salud y rodeada de tantas personas con toda la disposición para ayudarme y apoyaron.

A Raúl, por escucharme, ayudarme y soportarme durante toda la carrera y durante el desarrollo del presente proyecto.

A Tati y Mario, por el apoyo que me brindaron.

A Ana Lorena, gracias a ella tuve la oportunidad de contar con este tema de investigación.

Al encargado de mantenimiento del Condominio, por su ayuda y disposición.

A Bernardo, por su colaboración en el trabajo de laboratorio, y por siempre atenderme para aclararme dudas aún estando ocupado.

A Ronald, Alina y Marcelo, que me asesoraron en la etapa final de la elaboración del documento.

Además, a los compañeros del CEQIATEC y colegas que me colaboraron y apoyaron.

## **Resumen**

Al encontrarse inconforme la administración del Condominio con el servicio brindado por la empresa consultora, que atendía la planta de tratamiento de aguas residuales en ese momento, deciden buscar los servicios de otra empresa. Por medio de esta empresa, se da la oportunidad de evaluar la planta, ya que no se contaba con información, ni se tenía conocimiento del estado actual.

Es por esto que la presente investigación tuvo como objetivo general evaluar el sistema de tratamiento de aguas residuales para verificar su funcionamiento y cumplimiento con la legislación. Esta evaluación se llevó a cabo por medio de visitas de campo, conversaciones con el encargado de mantenimiento y muestreos de agua y de lodo.

Se tomaron muestras de agua a la entrada, salida y en el tanque de aireación y se les analizaron diversos parámetros fisicoquímicos. Además se tomó una muestra de lodo del sedimentador para realizarle un análisis microbiológico.

Con lo anterior, se determinó que la planta de tratamiento funcionaba de manera deficiente, encontrándose la DBO, la DQO y los SST fuera de los límites máximos permisibles según la legislación. Además, los tiempos de retención resultaron ser inferiores a los requeridos y la relación alimento-microorganismos se encontró fuera del rango recomendable para el sistema.

Por lo tanto, la recomendación resultante fue el construir una planta de tratamiento de lodos activados por aireación extendida, que trabaje de manera paralela con la planta que se encuentra actualmente en funcionamiento, lo cual tendrá un costo aproximado de 23.973.703 colones.

## **Abstract**

The Condominium administration was dissatisfied with the service provided by the consulting firm, which was in charge of the wastewater treatment plant at the time, so they decided to seek the services of another company. Through this company, was the opportunity to evaluate the plant, since no information was available about how was working the plant.

That is why the research general objective was to evaluate the wastewater treatment system to ensure proper operation and compliance with legislation. This assessment was conducted through field visits, discussions with the head of maintenance and sampling of water and sludge.

Water samples were taken at the input, output and in the aeration tank and were analyzed various physicochemical parameters. In addition, a sample of sludge was taken to analyzed microbiologically.

With this, it was determined that the wastewater treatment plant functioned poorly, having the BOD, COD and TSS beyond the maximum permissible under the law. Moreover, retention times were found to be lower than those required and food to microorganism ratio was outside the range suitable for the system.

Therefore, the resulting recommendation was to build an extended aeration activated sludge treatment plant, working in parallel with the plant that is currently in operation, this will cost approximately 23,973,703 colones.

## **Lista de Acrónimos**

Q: caudal

pH: potencial de hidrógeno

T: temperatura

SSed: sólidos sedimentables

SST: sólidos suspendidos totales

DQO: demanda química de oxígeno

DBO: demanda bioquímica de oxígeno

SAAM: sustancias activas al azul de metileno

GyA: grasas y aceites

SSV: sólidos suspendidos volátiles

SSVLM: sólidos suspendidos volátiles del licor madre

OD: oxígeno disuelto

Relación A/M: relación alimento a microorganismos

# Índice

Dedicatoria.....	i
Agradecimientos.....	ii
Resumen .....	iii
Abstract.....	iv
Lista de Acrónimos.....	v
Índice de Cuadros .....	viii
Índice de Figuras .....	ix
Capítulo I. Introducción.....	1
Capítulo II. Marco de Referencia .....	3
Capítulo III. Metodología.....	14
3.1. Medición de caudal .....	14
3.2. Dimensionamiento .....	14
3.3. Cálculo del Tiempo de Retención Hidráulica.....	15
3.4. Muestreos.....	15
3.5. Pruebas de laboratorio .....	16
3.5.1. Análisis Físico-Químicos .....	16
3.5.2. Análisis Microbiológico.....	16
3.5.3. Cuadro de Resumen .....	17
3.6. Cálculos .....	17
3.7. Revisión Bibliográfica .....	17
Capítulo IV. Resultados y Discusión.....	18
4.1. Información General .....	18
4.2. Descripción General de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales .....	18
4.3. Evaluación del Estado Actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	19

4.4. Resultados Obtenidos .....	23
4.4.1. Medición de Caudales .....	23
4.4.2. Dimensionamiento .....	24
4.4.3. Pruebas de Laboratorio.....	26
4.5. Evaluación de Opciones de Mejora para Optimizar el Funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	33
4.5.1 Mejoras a Corto Plazo .....	33
4.5.2 Mejoras a Largo Plazo.....	35
4.5.3 Mejoras Alternas .....	38
Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones.....	40
5.1. Conclusiones .....	40
5.2. Recomendaciones .....	42
Referencias Bibliográficas.....	44
Anexos.....	46
Anexo 1.....	47
Anexo 2.....	49
Anexo 3.....	52
Anexo 4.....	63
Anexo 5.....	64

## Índice de Cuadros

Cuadro 1. Parámetros y límites máximos permisibles a analizar en agua residual de tipo ordinaria vertida a cuerpo receptor. ....	6
Cuadro 2. Niveles de contaminación manejados para ciertos parámetros en aguas residuales domésticas crudas. ....	7
Cuadro 3 . Comparación del sistema por lodos activados convencional y de aireación extendida.....	11
Cuadro 4. Información de los parámetros analizados durante la elaboración del proyecto. 17	
Cuadro 5. Tiempos de retención promedio obtenidos a partir de las mediciones realizadas. ....	25
Cuadro 6. Comparación de los tiempos de retención hidráulicos obtenidos según los caudales mínimo, promedio y máximo. ....	26
Cuadro 7. Eficiencia de la planta de tratamiento en remoción de SST, DQO y DBO. ....	27
Cuadro 8. Resultados promedio obtenidos de las pruebas de laboratorio realizadas al afluente. ....	28
Cuadro 9. Resultados promedio obtenidos de las pruebas de laboratorio realizadas al efluente. ....	31

## Índice de Figuras

Figura 1. Esquema básico de un sistema por lodos activados convencional.....	10
Figura 2. Esquema básico de un sistema por lodos activados de aireación extendida. ....	11
Figura 3. Vista superior de la planta de tratamiento de aguas residuales del Condominio..	19
Figura 4. Pretratamiento del sistema de tratamiento del Condominio. ....	20
Figura 5. Tratamiento biológico secundario del sistema de tratamiento del Condominio: (a) compuerta cerrada, (b) compuerta abierta. ....	21
Figura 6. Sedimentador secundario del sistema de tratamiento del Condominio. ....	21
Figura 7. Etapas posteriores al tanque de aireación.....	22
Figura 8. Caudal promedio recibido por la planta de tratamiento durante el día. ....	24

## Capítulo I. Introducción

El agua como fuente de vida, es un recurso que debe ser protegido tanto por las personas individualmente, como por las empresas y organizaciones en general. Sin embargo, el crecimiento poblacional junto con el incremento de la actividad industrial, ganadera y la agricultura han contribuido significativamente al aumento de la contaminación del agua de ríos, lagos, mares y de fuentes subterráneas; dándose con esto una reducción en la cantidad de agua aprovechable para el ser humano así como para el resto de las especies vivientes del planeta.

La contaminación del agua genera cambios en las características físicas, químicas o biológicas, lo cual puede traer como consecuencia la propagación de enfermedades y desequilibrios en flora y fauna. Dentro de los efectos más graves se encuentran la eutrofización y muerte de especies. De esta manera se refleja la importancia de que todo ente generador vele por el tratamiento adecuado de sus aguas residuales previo al vertido de éstas.

El artículo cuarto del *Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales* establece el deber de todo ente generador de tratar sus aguas residuales, de manera que estas cumplan con lo dispuesto en dicho reglamento, el cual busca evitar daños al ambiente, a la salud y al bienestar humano. Para cumplir con lo mencionado, los responsables deben asegurarse de que sus sistemas de tratamiento funcionen adecuadamente.

Luego de recibir quejas de parte de los inquilinos y del encargado del mantenimiento de la planta, la administración tomó como medida asignar a una nueva empresa consultora la concesión de la planta de tratamiento. Es aquí donde surge la oportunidad de realizar el presente trabajo, ya que no se cuenta con información histórica ni documentación sobre la creación ni el estado del sistema de tratamiento.

Para la elaboración del proyecto inicialmente se realizaron mediciones de caudal (Q) para determinar los caudales máximos, mínimos y promedio. Luego, al no contar con los planos

de la planta, se procedió a dimensionar la misma. Posteriormente, se realizaron muestreos a la entrada y salida del sistema de tratamiento para determinar eficiencias y niveles manejados en los siguientes parámetros: potencial de hidrógeno (pH), temperatura (T), sólidos sedimentables (SSed), sólidos suspendidos totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sustancias activas al azul de metileno (SAAM), grasas y aceites (GyA), sólidos suspendidos volátiles (SSV), y oxígeno disuelto (OD). Además, se realizó una prueba microbiológica ya que se presentaban problemas de flotación de lodos en el sedimentador secundario. Las pruebas de los diferentes parámetros se realizaron de conformidad con el Reglamento mencionado.

El presente estudio tiene como objetivo general, evaluar el sistema de tratamiento de aguas residuales de un condominio en Santa Ana, para verificar su funcionamiento y cumplimiento de la legislación. Los objetivos específicos que llevarán al cumplimiento del anterior objetivo general, son: analizar el funcionamiento actual del sistema de tratamiento de aguas residuales, y determinar las recomendaciones necesarias para optimizar el sistema de tratamiento de aguas residuales.

## Capítulo II. Marco de Referencia

El agua es un recurso indispensable para el sostenimiento de la vida, es requerida para satisfacer diversas necesidades de la sociedad ya sea extrayéndose de la fuente como en el caso de la irrigación, el abasto público y los usos industriales; o sin extraerla de su fuente como para la recreación, el transporte y la pesca. Cada uno de estos genera restricciones a la calidad del agua (Henry y Heinke, 1999).

Años atrás, las perturbaciones ambientales ocasionadas por la actividad humana eran locales y por lo general la naturaleza era capaz de mitigarlas. Además, a pesar de que existía una tecnología muy limitada, la humanidad estaba constituida por un número relativamente pequeño de personas (Henry y Heinke, 1999).

Con el desarrollo de áreas urbanas se vio la necesidad de construir sistemas de drenaje y alcantarillado para transportar los residuos fuera del área, esto por consideraciones de salud pública y estéticas. En el pasado, los residuos líquidos producto de la actividad humana se disponían directamente en las corrientes de agua más cercanas. En poco tiempo se evidenció que los cuerpos de agua receptores de estas aguas contaminadas, tenían una capacidad limitada para depurarlas sin crear condiciones nocivas (Sawyer et al., 2001).

El proceso de urbanización impacta fuertemente sobre el recurso hídrico, a causa de los grandes volúmenes de agua potable que son necesarios suministrar, y la magnitud proporcional de agua contaminada que es preciso eliminar (Henry y Heinke, 1999).

El desecho líquido generado por las comunidades es esencialmente el agua suministrada luego de que se ha utilizado en diversas aplicaciones. Las aguas residuales son una combinación de agua con desechos arrastrados por la misma, removidos de residencias, instituciones, establecimientos comerciales e industrias, que pueden estar mezcladas con aguas subterráneas, superficiales y aguas pluviales (Tchobanoglous et al., 2003).

La acumulación de aguas residuales sin tratar genera la descomposición de la materia orgánica que se encuentra en ellas, esto da lugar a condiciones molestas como lo es la producción de olores desagradables. Asimismo, las aguas residuales sin tratar contienen microorganismos patógenos que habitan en el tracto intestinal humano capaces de generar daños a la salud si son ingeridos. También contienen nutrientes que pueden estimular el crecimiento de plantas acuáticas, o pueden contener compuestos tóxicos como cancerígenos o mutagénicos. Por estas razones, es necesario el retiro de estas aguas de sus fuentes de generación, seguido de tratamiento, y luego ya sea se reutilice o se vierta en un cuerpo receptor. Lo anterior con el fin de proteger la salud pública y el medio ambiente (Tchobanoglous et al., 2003).

Las aguas residuales domésticas están conformadas por residuos provenientes de cocinas, baños, lavado de ropa y drenaje de pisos. Son una mezcla compleja de agua y contaminantes orgánicos e inorgánicos, se encuentran tanto en suspensión como disueltos. Según Henry y Heinke (1999), dentro de los componentes del agua residual doméstica se tienen:

- a. Microorganismos: estos viven y se reproducen en cualquier lugar donde encuentren alimento, humedad y temperatura adecuada, características que cumplen las aguas residuales. La mayoría de los microorganismos que se encuentran en este tipo de aguas son inofensivos y contribuyen al saneamiento de las mismas transformando la materia orgánica en productos más estables. Sin embargo, como se mencionó, también pueden contener microorganismos patógenos provenientes de excremento de personas con enfermedades infecciosas susceptibles de transmitirse por medio del agua. Dentro de las enfermedades bacterianas de transmisión por agua se encuentran el cólera, la tifoidea y la tuberculosis; dentro de las enfermedades virales está la hepatitis infecciosa; y dentro de las causadas por protozoarios se tiene la disentería.
- b. Sólidos: en las aguas contaminadas se pueden encontrar sólidos suspendidos, disueltos o coloidales, y estos a su vez pueden ser orgánicos o inorgánicos. Los sólidos

son capaces de formar depósitos de aspecto desagradable y bancos de lodo olorosos, además reducen la penetración de la luz solar en el agua.

c. Componentes inorgánicos: los más comunes encontrados en las aguas residuales son cloruros, sulfatos, nitrógeno, fósforo, carbonatos y bicarbonatos.

d. Materia orgánica: la materia orgánica contenida en las aguas residuales domésticas proviene del excremento y orina humanos, y de residuos de alimentos, de productos de limpieza, de polvo y suciedad.

Debido a que las aguas residuales cuentan con una mezcla compleja de contaminantes orgánicos e inorgánicos, no es posible obtener un análisis detallado del estado de contaminación de las mismas. Es por esto que se han normalizado una serie de métodos para evaluar la concentración de ciertos contaminantes en agua residuales, sin ser necesario un conocimiento de la composición química específica de las aguas residuales consideradas (Ramalho, 1996).

En el *Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales N° 33601-MINAE-S*, se indican los parámetros que se deben analizar según la actividad que desarrolla el ente generador, y varía según su vertido sea a un alcantarillado sanitario o a un cuerpo receptor. En el caso del presente proyecto, el agua generada es de tipo ordinaria y el vertido se realiza a cuerpo receptor, bajo estas condiciones, los parámetros a analizar y sus respectivos límites se detallan a continuación (ver Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Parámetros y límites máximos permisibles a analizar en agua residual de tipo ordinaria vertida a cuerpo receptor.

Parámetro	Siglas	Descripción <sup>a</sup>	Límite Máximo Permissible <sup>b</sup>	Unidad
<b>Caudal</b>	Q	Volumen de líquido que pasa por un punto en un tiempo determinado.	—	m <sup>3</sup> /d
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno</b>	DBO	Medida del oxígeno disuelto requerido por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica.	50	mg/L
<b>Demanda Química de Oxígeno</b>	DQO	Medida del oxígeno requerido para oxidar químicamente la materia orgánica.	150	mg/L
<b>Potencial de Hidrógeno</b>	pH	Concentración de iones hidronio presentes en una sustancia.	5 a 9	—
<b>Grasas y Aceites</b>	GyA	Grasas y aceites presentes en el agua.	30	mg/L
<b>Sólidos Sedimentables</b>	SSed	Sólidos suspendidos que precipitan luego de un tiempo específico de reposo.	1	mL/L
<b>Sólidos Suspendidos Totales</b>	SST	Porción de sólidos totales que se retienen en un filtro con un tamaño de poro específico, luego de ser secados a una 105 °C.	50	mg/L
<b>Sustancias Activas al Azul de Metileno</b>	SAAM	Determina surfactantes aniónicos presentes en el agua.	5	mg/L
<b>Temperatura</b>	T	Grado de calor del agua.	15 - 40	°C

<sup>a</sup> Tomadas de Metcalf & Eddy (2003).

<sup>b</sup> Tomados del Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales N° 33601-MINAE-S.

Las características del agua residual doméstica varían según la cantidad de habitantes, su nivel social ya que por lo general a mayor nivel mayor consumo de recursos, además varía según las condiciones meteorológicas, en zonas costeras el consumo de agua es mayor, entre otras condiciones. De manera general, en el cuadro 2 se presenta un resumen de los niveles manejados en diferentes parámetros de agua residual doméstica sin tratar en los Estados Unidos, clasificándose según su concentración en baja, media y alta. Estos valores

se utilizarán como punto de comparación con los resultados que se obtuvieron en el presente estudio.

**Cuadro 2.** Niveles de contaminación manejados para ciertos parámetros en aguas residuales domésticas crudas.

Parámetro	Concentración			Unidad
	Baja	Media	Alta	
<b>DBO</b>	110	190	350	mg/L
<b>DQO</b>	250	430	800	mg/L
<b>GyA</b>	50	90	100	mg/L
<b>SSed</b>	5	10	20	mg/L
<b>SST</b>	120	210	400	mg/L

Modificado de Metcalf & Eddy (2003)

Como se puede observar, así la concentración obtenida sea baja, esta requiere de tratamiento para ser llevada a los límites máximos permisibles de vertido según la legislación vigente en el país.

Es debido a estos antecedentes, que se da el desarrollo de sistemas de purificación o tratamiento (Sawyer et al., 2001).

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales tienen como fin, asegurar cierta calidad en el agua tratada para proteger la calidad de las aguas del cuerpo receptor. El proceso de tratamiento de mayor impacto es el biológico ya que es el que degrada los materiales orgánicos contenidos en el agua residual, los cuales conforman el grueso de sus contaminantes (Kiely, 1999).

En las plantas de tratamiento de aguas residuales, el agua se hace fluir a lo largo de una serie de procesos físicos, químicos y biológicos en los que cada uno posee una función para reducir una carga contaminante específica. Según Kiely (1999), típicamente estas funciones son:

1. Pretratamiento: proceso que prepara las condiciones de las aguas residuales para posteriores procesos de tratamiento. En las aguas residuales domésticas, por lo general,

consiste en un proceso físico ya sea equilibrado de caudales, separado por rejillas o separación de arenas o aceites.

2. Tratamiento primario: se lleva a cabo una sedimentación en reposo con recogida del material flotante y grasas así como la eliminación de los lodos sedimentados, lográndose un efluente líquido adecuado para la siguiente etapa.

3. Tratamiento secundario: proceso capaz de biodegradar la materia orgánica en productos no contaminantes ( $H_2O$ ,  $CO_2$  y biomasa). El efluente final de esta etapa debe de estar bien estabilizado y oxigenado para evitar que conduzca a la eliminación del oxígeno disuelto del cuerpo receptor, por la acción bacteriana.

4. Tratamiento terciario: consiste en una sedimentación secundaria que tiene como fin el espesamiento de los lodos en el fondo para obtener como consecuencia un efluente clarificado.

En el tratamiento secundario es donde se dan todos los procesos tanto aerobios como anaerobios de tratamiento biológico de las aguas residuales (Ramalho, 1996). En esta etapa, es donde se logra la mayor remoción de materia orgánica (Tchobanoglous et al., 2003).

Los objetivos principales del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas son oxidar componentes disueltos y particulados biodegradables en productos finales aceptables, capturar e incorporar sólidos coloidales suspendidos y no sedimentables en un flóculo biológico, transformar nutrientes y cuando sea necesario, remover trazas de algún contaminante adicional (Tchobanoglous et al., 2003).

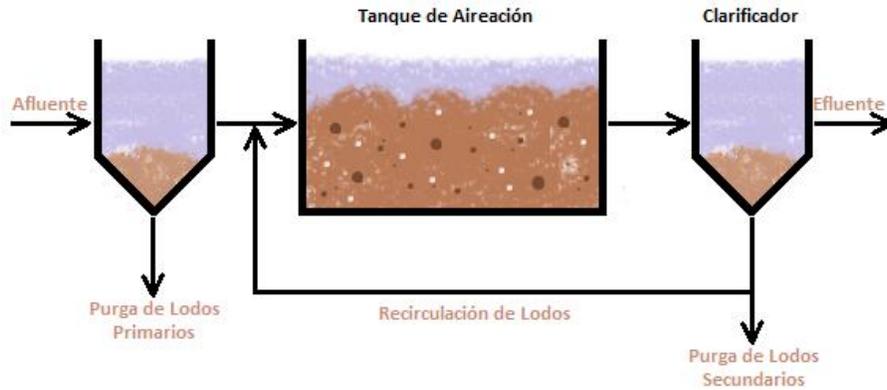
Los procesos más utilizados para el tratamiento biológico de las aguas residuales se pueden dividir en dos categorías, crecimiento en medio fijo y crecimiento en suspensión. En el primero, los microorganismos encargados de la remoción de la materia orgánica se encuentran adheridos a un material inerte que puede estar compuesto de piedra, arena, madera, plástico u otro, que entra en contacto con el agua a tratar; estos sistemas pueden ser

operados de manera aerobia o anaerobia. Por otro lado, en el proceso de crecimiento en suspensión, los microorganismos responsables del tratamiento se mantienen en suspensión líquida por métodos de mezcla apropiados (Tchobanoglous et al., 2003).

Los lodos activados son la aplicación de mayor uso de sistemas de crecimiento en suspensión, en estos los microorganismos se mantienen en suspensión y en contacto con el agua a tratar, en un tanque de aireación por medio de mezcladores mecánicos o difusores de aire, y la concentración de estos en el tanque se mantiene por el retorno continuo de los lodos biológicos sedimentados en un tanque de sedimentación secundaria al tanque de aireación (Henry y Heinke, 1999).

El proceso de lodos activados fue llamado así debido a que consiste en la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar en condiciones aerobias los desechos presentes en el agua. En el tanque de aireación se proporciona un tiempo de contacto determinado para airear y mezclar el afluente con la suspensión microbiana, esta se conoce como sólidos suspendidos en el licor madre (SSLM) o sólidos suspendidos volátiles en el licor madre (SSVLM). Luego, el licor mezclado fluye hacia un clarificador o sedimentador secundario, donde la suspensión microbiana se sedimenta y espesa. Una porción de esta biomasa sedimentada es retirada periódicamente a medida que el proceso produce un exceso de la misma ya que de lo contrario sería arrastrada en el efluente. Otra porción, como se mencionó anteriormente, se devuelve al tanque de aireación para que continúen degradando la materia orgánica (Tchobanoglous et al., 2003).

Esta tecnología fue descubierta en el año 1914, en Inglaterra, por Arden y Lockett, ha soportado el paso del tiempo, y todavía los sistemas por lodos activados son el método más común de tratar no solo el agua residual urbana sino también las aguas industriales orgánicas (Kiely, 1999).

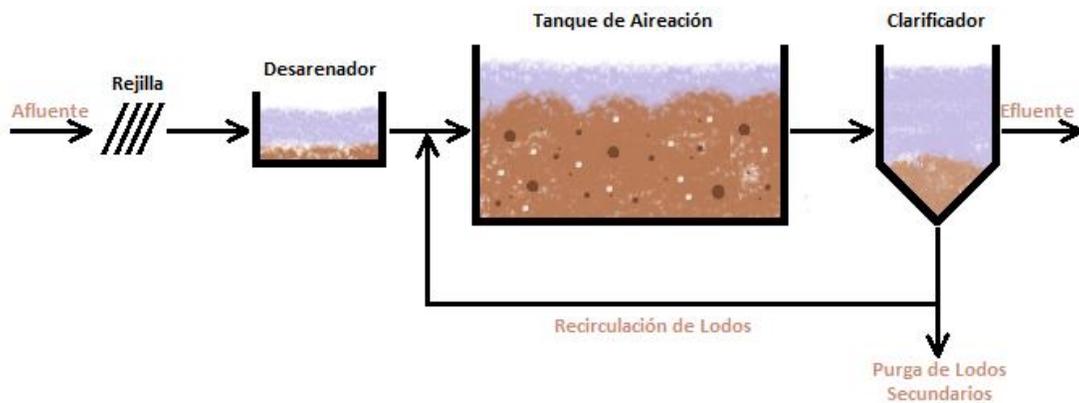


Modificado de Metcalf & Eddy (2003)

**Figura 1.** Esquema básico de un sistema por lodos activados convencional.

Históricamente, la mayoría de las plantas por lodos activados han recibido aguas residuales pretratadas por sedimentación primaria. La función principal de la sedimentación primaria es remover sólidos sedimentables, mientras que el proceso biológico es esencial para la remoción de sustancias orgánicas solubles, coloidales y partículas suspendidas, para la nitrificación y desnitrificación, y para la remoción de fósforo. Para el tratamiento del agua de comunidades pequeñas, el tratamiento primario por lo general no se utiliza debido a que se buscan métodos más simples y menos demandantes para su operación. En áreas del mundo donde el clima es caliente por lo general se omite esta etapa también, ya que los problemas de olores pueden ser significativos. Para este tipo de aplicaciones, se pueden utilizar varias modificaciones del proceso convencional de lodos activados (Tchobanoglous et al., 2003).

Una de las variaciones de lodos activados más utilizadas para pequeñas comunidades es la aireación extendida, su idea fundamental es disminuir la cantidad de lodo residual. Lo anterior se logra aumentando el tiempo de retención, de manera que el reactor es mayor que el requerido para un sistema por lodos activados convencional. Todo el lodo degradable se consume mediante respiración endógena (Ramalho, 1996).



Modificado de Metcalf & Eddy (2003)

**Figura 2.** Esquema básico de un sistema por lodos activados de aireación extendida.

Las principales diferencias del proceso de lodos activados por aireación extendida, en comparación con el proceso convencional, son: mayor tiempo de retención en el reactor, cargas orgánicas menores, mayor concentración de sólidos biológicos en el reactor y mayor consumo de oxígeno (Ramalho, 1996).

**Cuadro 3 .** Comparación del sistema por lodos activados convencional y de aireación extendida.

Características	Sistema Convencional	Aireación Extendida	Unidad
Sustrato a microorganismos (A/M)	0,3-0,7	0,10-0,25	kg DBO <sub>5</sub> /kg SSVLM·d
Concentración de SSVLM	2000-3000	3500-5000	mg/L
Rendimiento en la disminución de la DBO <sub>5</sub>	85-95	85-98	%
Producción de lodos	≈0.03	≈0.01	kg/kg DBO <sub>5</sub> consumida
Requisitos de O <sub>2</sub>	90-95	120	Como % de la DBO <sub>5</sub> consumida
Tiempo de residencia en el reactor	4-8	15-36	horas
Edad de los lodos	5-15	20-60	días

Modificado de Ramalho (1996)

Al contar con bajas cargas orgánicas y altas concentraciones de sólidos biológicos en el reactor, lo que quiere decir que se cuenta con poco sustrato para una población grande de

microorganismos. Al crearse estas condiciones de inanición, las condiciones de respiración endógena generadas reducen la producción neta de SSVLM con lo que se disminuye la acumulación de lodos. Sin embargo, se obtienen como producto membranas celulares no degradables relativamente ligeras que decantan con dificultad, es por esto que los tanques de decantación deben ser mucho mayores a los requeridos para el proceso convencional, para garantizar la sedimentación de dicho material. El tiempo de retención debe encontrarse alrededor de las 4 horas, lo cual representa el doble del requerido para el sistema convencional (Ramalho, 1996).

Con el fin de asegurar el buen funcionamiento de las plantas de tratamiento y proteger la calidad del agua de los cuerpos receptores, en el país se cuenta con legislación específica para el vertido de aguas residuales.

a. Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales

Indica quienes deben tratar las aguas residuales generadas, previo a su disposición y quienes deben presentar reportes operacionales, además brinda el procedimiento a seguir para la elaboración de los mismos y la frecuencia con que se deben presentar. También, todo ente generador debe llevar una bitácora de manejo de aguas residuales, su contenido se menciona en este mismo Reglamento.

Establece los parámetros de análisis obligatorios para vertidos de aguas residuales y sus límites para el vertido según la actividad desarrollada y si se disponen en el alcantarillado sanitario o en cuerpo receptor. Define los métodos que se deben seguir para el análisis de las muestras y la frecuencia con que se deben hacer.

b. Reglamento de Creación de Canon Ambiental por Vertidos

Este Reglamento tiene como objetivo regular el canon por introducir contaminantes en cuerpos de agua debido al vertido de aguas residuales. Incluye cómo se debe calcular el monto a pagar, cómo serán distribuidos los fondos recolectados por el Canon, además de

las funciones del ente competente (MINAE, en la actualidad MINAET), y todo lo concerniente a la adquisición del Permiso de Vertidos.

c. Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales

Define los requisitos para la construcción y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales (información y documentos necesarios). Determina los retiros entre los diferentes sistemas de tratamiento y los linderos de la propiedad de la cual forman parte, también entre los sistemas de tratamiento y pozos de extracción de agua. Así mismo, indica las obligaciones del ente generador.

## **Capítulo III. Metodología**

A continuación se describirán los procedimientos que se utilizaron para el desarrollo del presente proyecto. Inicialmente, se realizó una primera visita donde se conoció el sistema y sus etapas, se conversó con el encargado de mantenimiento, y se observaron las condiciones bajo las cuales operaba el sistema.

La consultora encargada del funcionamiento de la planta tenía programada una extracción de lodos, que se llevó a cabo a mediados del mes de setiembre. En ella se extrajeron aproximadamente 13,25 m<sup>3</sup> de lodos, dentro de los que se encuentran los extraídos del tanque de aireación, del sedimentador secundario y del tanque “homogenizador”.

### **3.1. Medición de caudal**

Durante la última semana del mes de agosto del 2012, se midió volumétricamente el caudal. El lapso de tiempo del día en el cual se realizaron las mediciones fue desde las seis de la mañana a las cuatro de la tarde, definido según el horario laboral del encargado, quien cuenta con las llaves de acceso a la zona de la planta de tratamiento. Para realizar las mediciones, se utilizó un recipiente de volumen conocido y un cronómetro. Se realizaron mediciones cada hora, repitiéndose el procedimiento cuatro veces para así tener un dato más confiable. De esta manera, se obtuvieron los caudales máximos y mínimos, y el caudal promedio.

En las visitas realizadas posteriormente, se realizaron mediciones de caudal para conformar debidamente las muestras compuestas.

### **3.2. Dimensionamiento**

Debido a que no se contó con el plano de la planta ni información con la cual se pudieran obtener las dimensiones de cada etapa del sistema de tratamiento, con la ayuda del encargado de mantenimiento se realizaron mediciones con cinta métrica y tubo telescópico de cada una de las unidades.

### **3.3. Cálculo del Tiempo de Retención Hidráulica**

Con los datos de caudal promedio y volumen de los tanques, obtenidos en los dos puntos anteriores, se determinó el tiempo de retención hidráulica en cada una de las etapas.

### **3.4. Muestreos**

Ya que no se contó con información pasada como reportes operacionales o bitácora con valores de los parámetros manejados por la planta, los datos en los cuales se basará el presente proyecto serán únicamente los generados para el mismo, además del muestreo realizado para presentar el reporte operacional. La frecuencia de muestreo se vio limitada por la disposición del ente administrador del condominio y sus inquilinos, debido a que al ser un condominio de lujo y estar la planta de tratamiento en una de las zonas de recreo, el acceso era restringido. Además, por la disponibilidad del encargado de mantenimiento ya que él debe realizar labores de mantenimiento a todo el condominio y no solamente a la planta de tratamiento.

Se llevaron a cabo cuatro muestreos compuestos, los cuales se realizaron una vez al mes, desde el mes de setiembre al mes de diciembre del 2012.

El primer y último muestreo se realizaron a la entrada y a la salida, el segundo y el tercero se realizaron únicamente a la salida. El tercer muestreo correspondió al utilizado para el reporte operacional, por lo que el muestreo fue realizado por un laboratorio acreditado.

Además se realizaron muestreos puntuales para determinar los sólidos suspendidos volátiles (SSV) en el tanque de aireación, y para la determinación de grasas y aceites (GyA) a la entrada y la salida del sistema. Para lo anterior se utilizaron recipientes adecuados para evitar que parte de la muestra se adhiriera a las paredes de los mismos, además para la recolección de la muestra para grasas y aceites se requiere que este sea de boca ancha.

Durante la etapa de generación de datos, se observó que se presentaban problemas de flotación de lodos en el sedimentador, por lo que se procedió a tomar una muestra de lodos

para realizar un análisis microbiológico para determinar la presencia de bacterias filamentosas.

### **3.5. Pruebas de laboratorio**

#### **3.5.1. Análisis Físico-Químicos**

A las muestras tomadas mensualmente se les realizaron pruebas de laboratorio para determinar los niveles manejados de los 8 parámetros universales de análisis obligatorio en aguas residuales (pH, T, SST, SSed, GyA, DBO, DQO, SAAM), sean ordinarias o especiales. Para esto se siguieron los procedimientos descritos en el libro *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewaters*.

A las muestras 1 y 4 se les midieron los sólidos disueltos totales y la conductividad, y durante la medición de caudales se midió el oxígeno disuelto. Lo anterior debido a que el uso del equipo de medición de la Escuela de Ingeniería Ambiental estaba sujeto a disponibilidad.

A las muestras 3 y 4 se les analizó grasas y aceites ya que se contó con el kit de medición para dicho parámetro, dentro del periodo de preservación de estas muestras.

Durante las mediciones de caudal se realizaron mediciones de sólidos sedimentables, pH y temperatura.

#### **3.5.2. Análisis Microbiológico**

Se tomó una muestra del lodo flotante en la superficie del sedimentador, para realizarle una tinción de gram y observarla en el microscopio a 100X con aceite de inmersión.

### 3.5.3. Cuadro de Resumen

**Cuadro 4.** Información de los parámetros analizados durante la elaboración del proyecto.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Método de Medición</b>
<b>Caudal</b>	m <sup>3</sup> /d	Salida	Volumétrico
<b>pH</b>	-----	Entrada Salida	pH-metro
<b>Temperatura</b>	°C	Entrada Salida	Termómetro
<b>SSed</b>	mL/L	Entrada Salida	Volumétrico
<b>SST</b>	mg/L	Entrada Salida Tanque de Aireación	Gravimétrico
<b>DQO</b>	mg/L	Entrada Salida	De Reflujo Cerrado
<b>DBO</b>	mg/L	Entrada Salida	Tradicional
<b>SAAM</b>	mg/L	Entrada Salida	Test Kit
<b>GyA</b>	mg/L	Entrada Salida	Soxhelt
<b>SSV</b>	mg/L	Tanque de Aireación	Gravimétrico
<b>OD</b>	mg/L	Tanque de Aireación	Medidor de OD

### 3.6. Cálculos

Se realizaron diversos cálculos para la determinación de caudales, volúmenes, tiempos de retención hidráulica. También para definir la relación alimento microorganismos y otros parámetros de importancia para el diseño y operación de sistemas de tratamiento, requeridos para establecer las soluciones a los problemas detectados (Ver Anexo 3).

### 3.7. Revisión Bibliográfica

Con el fin de definir las mejoras y respaldar los resultados obtenidos, se utilizaron diversas fuentes para determinar los procedimientos a seguir para realizar los cálculos necesarios, y para conocer posibles soluciones a cada opción de mejora encontrada.

## **Capítulo IV. Resultados y Discusión**

### **4.1. Información General**

Como se mencionó anteriormente, no se cuenta con planos, reportes operacionales ni otro tipo de información que indique antecedentes sobre el funcionamiento y operación de la planta de tratamiento.

Por medio de conversaciones con el encargado de mantenimiento de la planta, se contó con los siguientes datos: la planta de tratamiento se encuentra en funcionamiento aproximadamente desde el año 2005, el complejo consta de 16 condominios, cada condominio cuenta en promedio con 3 habitantes, teniéndose un total de 50 personas (incluidos el guarda de seguridad y el encargado de mantenimiento).

La empresa encargada actualmente del funcionamiento de la planta, en adelante Empresa Consultora, adquirió dicho compromiso a finales de julio del 2012. Previo a la evaluación desarrollada en este proyecto, la Empresa Consultora ajustó el variador de frecuencia del aireador, cambiaron una boya de nivel de las bombas de salida del efluente y desatoraron una de las dos válvulas *check* de drenaje que se encontraba atorada.

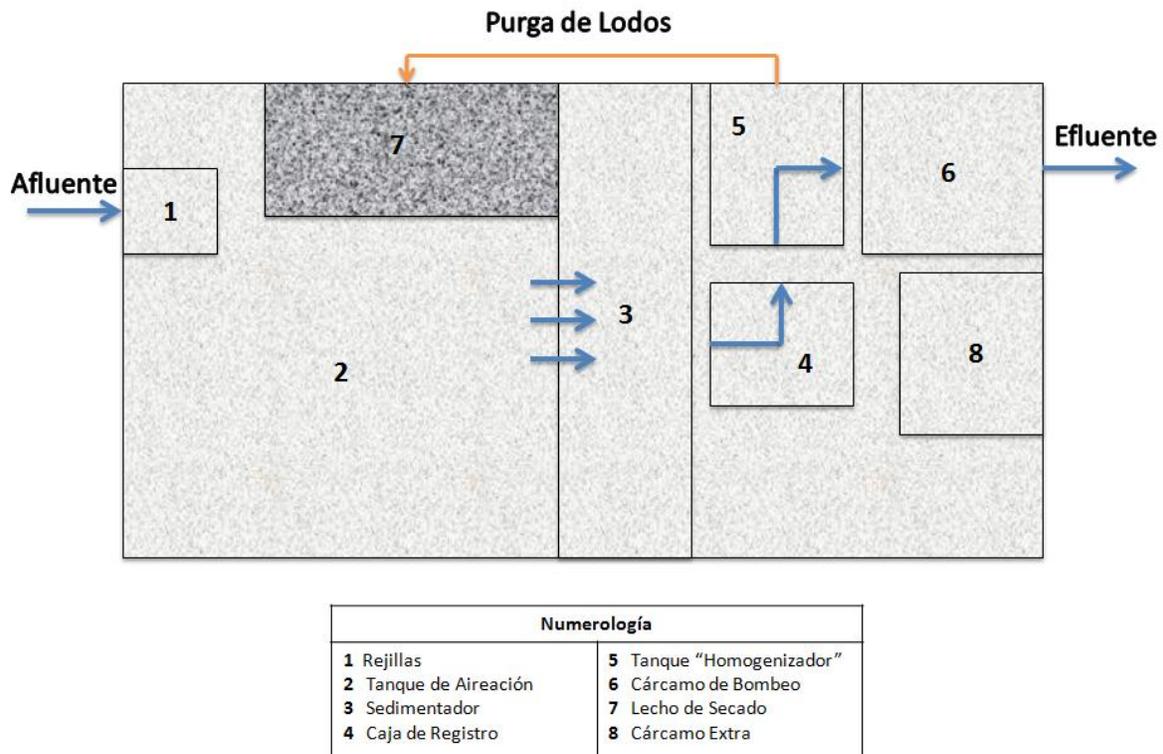
### **4.2. Descripción General de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales**

La planta de tratamiento es subterránea, se encuentra debajo de una zona de recreo del condominio. Cuenta con un cuarto de ingreso ubicado al mismo nivel de la zona de recreo, en la planta baja se encuentra un sistema por lodos activados de aireación prolongada.

El sistema está conformado por unas rejillas metálicas que se encuentran sobre el tanque de lodos activados de aireación prolongada, de manera que el afluente ingresa casi directamente al reactor, seguido de un sedimentador secundario y un cárcamo de bombeo. Después del sedimentador y antes del cárcamo de bombeo, se cuenta con una caja de registro y luego con un tanque de paso del agua ya tratada, en adelante tanque “homogenizador”.

Sobre el tanque de aireación se ubica el lecho de secado de lodos, la purga se realiza en el tanque “homogenizador” y no en el sedimentador como se efectúa comúnmente (ver Figura 3).

A continuación se observa un esquema de la distribución descrita.



**Figura 3.** Vista superior de la planta de tratamiento de aguas residuales del Condominio.

### 4.3. Evaluación del Estado Actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

El pretratamiento consiste en aproximadamente 12 angulares de acero de 2,54 centímetros (1"), colocados a una distancia de 5,08 centímetros (2") uno de otro, simulando rejillas. Estos angulares se encuentran empotrados en una posición casi horizontal, 24° por encima de la horizontal.

Debido a que el espacio entre los barros es amplio y los sólidos ingresaban directamente al tanque de aireación, el encargado de mantenimiento colocó una rejilla plástica (ver Figura 4) quebrada en dos partes para adecuarla al tamaño de la rejilla metálica. Sin embargo, la pendiente de la tubería es muy poca y las rejillas plásticas no cumplen una buena función ya que los sólidos se quedan atascados a la salida de la tubería, y cuando el caudal es bajo, si no se retiran los sólidos, el agua permanece estancada.

El encargado de mantenimiento se queja de manera continua, el espacio de trabajo es muy reducido y él debe retirar manualmente los sólidos que se encuentren obstruyendo el paso del agua.



**Figura 4.** Pretratamiento del sistema de tratamiento del Condominio.

El tratamiento secundario lo compone un sistema por lodos activados con su respectivo sedimentador secundario. El tanque de aireación se encuentra cubierto por concreto, sobre él se encuentra el lecho de secado de lodos. El tanque cuenta con una sola compuerta para llevar a cabo obras de mantenimiento ya sean para el tanque o para el aireador. El tanque tiene un volumen de 18,8 metros cúbicos, el aireador está ubicado en la parte media del tanque según la dirección del flujo, y a un costado del mismo.

Como los sólidos no son retenidos eficientemente durante el pretratamiento, estos obstruyen el aireador, afectando el proceso de oxigenación fundamental para la adecuada depuración de las aguas.



**Figura 5.** Tratamiento biológico secundario del sistema de tratamiento del Condominio: (a) compuerta cerrada, (b) compuerta abierta.

La salida del tanque de aireación está conectada directamente al sedimentador, el flujo se direcciona hidráulicamente. El volumen del sedimentador es de 2,5 metros cúbicos y cuenta con una estructura metálica en su interior que está muy oxidada, su función es retener sólidos suspendidos para evitar que estos se viertan con el agua tratada. El sedimentador no cuenta con un sistema para la purga de lodos, ni se recirculan lodos al tanque de aireación.



**Figura 6.** Sedimentador secundario del sistema de tratamiento del Condominio.

Después del sedimentador, el agua se envía a un tanque, se desconoce el propósito para el cual se construyó, pero funciona como un tanque de homogenización, además de que aumenta el volumen de agua retenida en el sistema antes de su descarga. Como se

mencionó anteriormente, la bomba para purga de lodos se encuentra en este tanque y no en el sedimentador como debería ser.

El tanque mencionado, descarga por medio de una tubería plástica en el cárcamo de bombeo, en esta descarga es donde se realizaron las mediciones de caudal del presente proyecto. En él se encuentran 2 bombas con sus respectivas tuberías, cada una con una válvula check en la parte superior para evitar que el agua tratada reingrese al cárcamo por gravedad ya que al estar la planta subterránea se debe bombear para llevarla al alcantarillado sanitario. Las válvulas check han presentado muchos problemas, se obstruyen con los sólidos que son arrastrados durante todo el sistema de tratamiento, deteniendo la salida del agua tratada y en ocasiones se han tenido emergencias en las que la planta baja se inunda. Con lo anterior, se mezclan las aguas ya tratadas con las aguas crudas y se expone la salud del encargado, que debe ingresar para solucionar el problema. También se corre el riesgo de que las aguas crudas salgan del cuarto de acceso restringido y lleguen a contaminar la zona de recreo donde juegan los niños del condominio.



**Figura 7.** Etapas posteriores al tanque de aireación.

## **4.4. Resultados Obtenidos**

### **4.4.1. Medición de Caudales**

El caudal promedio que maneja la planta de tratamiento basado en las mediciones llevadas a cabo durante la semana dedicada a dicho fin, más los datos recolectados durante los muestreos y visitas realizadas, es de 34,8 metros cúbicos por día ( $m^3/d$ ).

Como se puede observar en la Figura 8, en las horas de la mañana es en las que se recibe la mayor cantidad de agua residual, teniéndose un caudal máximo de  $76,2 m^3/d$  a las seis de la mañana. En su mayoría, los adultos del condominio laboran fuera de sus casas de habitación, y los niños asisten a centros educativos, por lo que alrededor de las seis de la mañana es cuando empieza la actividad en los condominios, y así mismo, el uso de servicios sanitarios, duchas y preparación de alimentos.

Evidentemente, las horas de la tarde, iniciando desde medio día, son las de menor caudal recibido. Casi todos los condominios cuentan con los servicios de empleadas domésticas, siendo ellas las que habitan cada condominio en horario de oficina. Ellas preparan alimentos, asean los condominios y lavan la ropa principalmente en horas de la mañana, dedicando las horas de la tarde a otras funciones que no requieren mayor consumo de agua. Es por esto que se obtiene a las tres de la tarde el caudal mínimo de  $14,7 m^3/d$ .

La gráfica se comporta de manera opuesta a lo descrito por Metcalf & Eddy para las variaciones típicas horarias en caudales de aguas residuales domésticas, donde indican que los menores caudales se generan en horas de la mañana, y que a partir de aproximadamente el medio día, donde se da el caudal máximo, se dan los mayores caudales. Ellos mencionan que finalizando la mañana aumenta el caudal porque ingresan a la planta las aguas generadas durante la mañana, entonces la diferencia en las gráficas podría deberse a que la distancia de tubería que se consideró para la realización de la gráfica descrita por Metcalf & Eddy es mucho mayor que la que se tiene en el Condominio, el cual es pequeño tanto en espacio como en habitantes. Esto justificaría la variación en las horas a las que se dan los

picos de caudal, sin embargo, queda claro que en cuanto a comportamiento general es inverso.



**Figura 8.** Caudal promedio recibido por la planta de tratamiento durante el día.

#### 4.4.2. Dimensionamiento

Como se mencionó anteriormente el sistema de tratamiento se encuentra en un piso subterráneo, este tiene un área aproximada de  $16 \text{ m}^2$ . De esta área, el 56% lo cubre el tanque de aireación, 14% el sedimentador, 7% el cárcamo de bombeo, 5% la caja de registro y otro 5 % el tanque “homogenizador”, el 13% restante consiste en obra gris.

Con las longitudes de las diferentes etapas y utilizando el caudal promedio obtenido en la sección 4.4.1, se obtiene el tiempo de retención hidráulica del tanque de aireación, del sedimentador y del tanque “homogenizador” que a pesar de que no fue considerado como una etapa que genere un aporte significativo en la calidad del agua, este aumenta el tiempo de retención de las aguas en el sistema.

Como se observa en el cuadro 5, el tiempo de retención hidráulica obtenido en el tanque de aireación es de 12,9 horas. El valor anterior es mucho mayor al establecido teóricamente para un proceso por lodos activados convencional, que según la literatura debe estar entre 4 y 8 horas. El valor obtenido se acerca más al valor teórico para un proceso de lodos

activados de aireación prolongada, que es el sistema que se tiene en este caso. El tiempo de retención en el tanque de aireación para una planta de aireación prolongada debe ser entre 15 y 36 horas. A pesar de que efectivamente el proceso trabaja por aireación prolongada, el tiempo de retención se encuentra más bajo que el límite inferior teórico, lo que podría resultar en una menor eficiencia en la depuración del agua. El agua no permanece el tiempo suficiente en contacto con los lodos activos y estos a su vez no pueden consumir la materia orgánica presente en el agua residual, esto tiene como consecuencia una elevada DBO en el efluente.

El diseño actual del sedimentador provoca una retención hidráulica de 1,7 horas. Para que este valor se encuentre alrededor de las 4 horas, según la literatura, habría que aumentar este tiempo aproximadamente 2,5 veces. Los sólidos que ingresan al sedimentador no cuentan con el tiempo necesario para sedimentarse.

A pesar de que no se tiene clara la función para la cual se diseñó el tanque “homogenizador”, se determinó el tiempo de retención hidráulica ya que cuenta con un volumen considerable que aumenta el tiempo que se encuentra el agua en el sistema alrededor de 1 hora.

**Cuadro 5.** Tiempos de retención promedio obtenidos a partir de las mediciones realizadas.

<b>Sección</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volumen* (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tiempo de Retención Hidráulica (horas)</b>
<b>Tanque de Aireación</b>	9,1	18,8	12,9
<b>Sedimentador</b>	2,3	2,5	1,7
<b>Caja de Registro</b>	0,7	---	---
<b>Tanque “Homogenizador”</b>	0,7	1,4	0,96
<b>Cárcamo de Bombeo</b>	1,2	---	---
<b>Obra Gris</b>	2,0	---	---

\*Volumen medido según el nivel del agua.

Cabe recalcar que los tiempos de retención mostrados en el cuadro anterior, son basados en el caudal promedio. Si tomamos en cuenta el caudal máximo, se obtiene un tiempo de retención en el tanque de aireación de 5,9 horas y en el sedimentador de 0,8 horas, siendo estos tiempos totalmente insuficientes para una adecuada depuración del agua y para lograr que los lodos sedimenten en el sedimentador. Por otro lado, el caudal mínimo logra unas retenciones de 30,4 horas en el tanque de aireación y de 4,1 horas en el sedimentador, de esta manera, cuando el caudal se encuentra en este mínimo se cumple con los tiempos establecidos para un sistema de lodos activados por aireación prolongada según la literatura. Inversamente a lo mencionado para el caudal máximo, con estas condiciones de caudal mínimo se contaría con el tiempo necesario para reducir significativamente la materia orgánica contenida en el agua residual y los lodos podrían sedimentar debidamente sin ser arrastrados en el efluente o dándose problemas de flotación de lodos en el sedimentador.

**Cuadro 6.** Comparación de los tiempos de retención hidráulicos obtenidos según los caudales mínimo, promedio y máximo.

Caudal (m <sup>3</sup> /d)	TRH (horas)	
	Tanque de Aireación	Sedimentador
Mínimo 14,7	30,4	4,1
Promedio 34,8	12,8	1,7
Máximo 76,2	5,9	0,8

#### 4.4.3. Pruebas de Laboratorio

El primer muestreo realizado tuvo como fin principal determinar la eficiencia del sistema en remoción de contaminantes, tomando como base los parámetros de DBO, DQO y SST de entrada contra los obtenidos en el efluente. También se analizaron otros parámetros regulados por la legislación, para determinar junto con los resultados de los otros muestreos, el funcionamiento actual del sistema de tratamiento.

Se determinaron las eficiencias generales de la planta y no las de cada etapa, debido a que el tanque de aireación está separado únicamente por una pared de 15 centímetros, y el paso del agua a tratar se da por medio de tubería colocada en esta misma pared. Por tanto, no se cuenta con puntos para realizar el muestreo a la salida del tanque de aireación o a la entrada del sedimentador, ni se puede muestrear directamente la salida del sedimentador.

En el cuadro 7 se puede observar que a pesar de que los tiempos de retención en el tanque de aireación y en el sedimentador son mucho más bajos de lo que deberían de ser según la teoría, los porcentajes de eficiencia en cuanto a SST y a DBO son relativamente buenos. Sin embargo, a pesar de estas eficiencias altas, se requiere que sean aun mayores para lograr que los niveles alcanzados en el efluente cumplan con lo establecido en la legislación. Lo anterior se cumple también para la eficiencia en remoción obtenida para la DQO.

**Cuadro 7.** Eficiencia de la planta de tratamiento en remoción de SST, DQO y DBO.

<b>Parámetro</b>	<b>Afluente</b>	<b>Efluente</b>	<b>% Eficiencia</b>
<b>Sólidos Suspendido Totales (SST)</b>	507	58	89
<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>	551	224	59
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</b>	191	39	80

Con el promedio de las pruebas de laboratorio realizadas a varios afluentes se caracteriza el agua de entrada a la planta como de media a alta carga. Esto se obtienen como resultado al comparar los resultados del cuadro 8, con la clasificación definida por Metcalf & Eddy para la composición típica de aguas residuales domésticas crudas (ver cuadro 2), donde los SST y los SSed obtenidos se encuentran en alta carga, la DBO y la DQO entre media y alta y únicamente las GyA se encuentran en baja carga.

A pesar de ser un condominio pequeño en cuanto a cantidad de viviendas y promedio de personas por vivienda, la carga orgánica recibida en la planta de tratamiento es elevada y

requiere ser manejada con atención para garantizar su adecuada depuración, y proteger al cuerpo receptor.

**Cuadro 8.** Resultados promedio obtenidos de las pruebas de laboratorio realizadas al afluente.

Parámetro	Valor Obtenido	Unidad de Medición
<b>Q</b>	24,5	m <sup>3</sup> /d
<b>pH</b>	7,5	---
<b>T</b>	28,5	°C
<b>SSed</b>	24	mL/L
<b>SST</b>	477,5	mg/L
<b>DQO</b>	613,5	mg/L
<b>DBO</b>	284,5	mg/L
<b>SAAM</b>	9,5	mg/L
<b>GyA</b>	59,5	mg/L

El cuadro 9 muestra los resultados promedio obtenidos de las pruebas de laboratorio realizadas durante la investigación, en el efluente del sistema de tratamiento. A continuación analizaremos cada uno de los parámetros y los niveles manejados por la planta.

El caudal que se manejó en los tiempos en que se realizaron los muestreos fue de 24,5 m<sup>3</sup>/d, inferior al obtenido como caudal promedio en las mediciones realizadas para determinar el mismo, pero se encuentra dentro del rango entre el caudal mínimo y el máximo.

El pH tiene un rango muy amplio para cumplir con la legislación, esto para no alterar las características del cuerpo receptor, pero además es de importancia porque fuera de este rango se dificulta el tratamiento del agua por métodos biológicos debido a que la vida de los microorganismos que ayudan a la depuración del agua se ve afectada a niveles de pH muy altos o muy bajos.

El pH del agua pura es 7, con la disociación de las moléculas del agua, reacciones químicas y la adición de sustancias se pueden dar cambios en el pH del agua. A pesar de que el agua

en cuestión es residual, el pH del efluente se mantiene dentro de 7,0 y 7,8 lo que quiere decir que se encuentra dentro de los límites exigidos por ley.

Al igual que el pH, la temperatura puede aumentar o disminuir la velocidad de las reacciones químicas, además, la cantidad de oxígeno disuelto en el agua se ve reducida al aumentar la temperatura, esto podría afectar la vida de los microorganismos necesarios para el saneamiento del agua residual y los seres vivos en general que se encuentren en el cuerpo receptor o dependan de este. Es por estos aspectos que se debe controlar la temperatura del agua durante su tratamiento y previo a su vertido para evitar efectos no deseados.

La temperatura promedio del agua que maneja la planta de tratamiento es de 28,5 °C y el efluente mantiene una temperatura similar, esta se encuentra aproximadamente en la mitad del rango permisible para dicho parámetro, cumpliéndose sin problema la legislación.

Durante las mediciones de caudal se midieron los sólidos sedimentables diariamente, en promedio se obtuvo que los SSed que manejaba el efluente eran 16 mL/L. Sin embargo, luego de que se extrajeron lodos de los diferentes compartimentos este valor se redujo significativamente. Esto se refleja en el resultado de 1 mL/L de sólidos sedimentables que se obtuvo como promedio de los muestreos mensuales. Basándose en los resultados, este parámetro se debe controlar ya que a pesar de que cumple con el máximo permisible, se encuentra al límite del incumplimiento.

Las sustancias activas al azul de metileno y las grasas y aceites son compuestos con cierto grado de toxicidad, ambas son de baja densidad por lo que flotan en la superficie, evitando que se dé la oxigenación del agua, y dificultando la depuración de la misma. Las SAAM forman espumas en la superficie y las grasas y aceites forman una nata sobre la misma, son sustancias difíciles de biodegradar, aunque en la actualidad existen detergentes biodegradables.

A pesar de las dificultades que generan ambos contaminantes, en la planta de tratamiento no se observan problemas relacionados a ellos. Esta observación se ve respaldada con los resultados de los muestreos, donde los niveles de ambos parámetros se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles.

Dentro de los parámetros de mayor importancia para determinar el funcionamiento de un sistema de tratamiento biológico, se encuentran los sólidos suspendidos y aquellos que miden la cantidad de materia orgánica presente en el agua, dentro de los cuales se encuentran la DBO y la DQO. Lograr separar los sólidos del líquido es uno de los principales objetivos que tiene este tipo de sistema.

Los parámetros evaluados hasta el momento se encuentran en niveles aceptables según el *Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales*, sin embargo, los parámetros para los cuales son diseñados principalmente este tipo de sistemas son los que analizaremos a continuación, los cuales se encuentran por encima de los requeridos para su vertido a cuerpo receptor (ver cuadro 9). Dentro de los parámetros que se deben ver significativamente reducidos con este tipo de tratamiento se encuentran también los sólidos sedimentables, no obstante, se discutieron anteriormente debido a que el valor promedio obtenido se encuentra dentro de los cumplimientos de la legislación.

La materia orgánica que se encuentra en suspensión es oxigenada en el tanque de aireación y mantenida en suspensión junto con los lodos activados, esta materia será consumida por los microorganismos y oxidada químicamente.

Según la cantidad de oxígeno que sea requerida para la oxidación de la materia orgánica, así será mayor o menor la DBO y la DQO. La DBO mide la cantidad de oxígeno requerida para que se dé la oxidación biológica de la materia orgánica presente en el agua, aquella que sea biodegradable. La DQO mide la cantidad de oxígeno requerida para que se dé la oxidación química de la materia orgánica presente en el agua, en ella se incluye toda la materia oxidable, incluida aquella que los microorganismos no pueden degradar, es por esto que la DQO es mayor que la DBO.

Tal y como se mencionó, el efluente de la planta de tratamiento cuenta con una DQO aproximadamente 3 veces mayor que la DBO. La relación DQO:DBO indica la biodegradabilidad de las aguas residuales. En teoría, si esta se encuentra cercana a 2:1 quiere decir que es muy biodegradable, y entre mayor sea la relación, será más difícil que los microorganismos puedan degradar dicha materia. Las aguas residuales domésticas, por lo general, se encuentran alrededor de este rango, pero este no es el caso.

Los sólidos que se encuentran en el tanque de aireación, luego de cumplir con el tiempo de residencia necesaria, pasan al sedimentador, donde contarán con las características apropiadas para formar un flóculo que sedimente y así se clarifique el efluente final. Lo anterior, partiendo de que se cuentan con los tiempos necesarios de residencia y que el diseño de los tanques es el adecuado.

Los resultados muestran que lo antes mencionado no se está cumpliendo, el agua de salida cuenta con una alta concentración de sólidos suspendidos, lo que quiere decir que se vienen arrastrando desde el tanque de aireación.

**Cuadro 9.** Resultados promedio obtenidos de las pruebas de laboratorio realizadas al efluente.

Parámetro	Valor Obtenido	Límite según Legislación	Unidad de Medición
<b>Q</b>	24,5	---	m <sup>3</sup> /d
<b>pH</b>	7,2	5-9	---
<b>T</b>	28,6	15-40	°C
<b>SSed</b>	1	1	mL/L
<b>SST</b>	59,5	50	mg/L
<b>DQO</b>	163,0	150	mg/L
<b>DBO</b>	53,3	50	mg/L
<b>SAAM</b>	4,6	5	mg/L
<b>GyA</b>	10,3	30	mg/L

Durante los muestreos se realizaron mediciones del oxígeno disuelto en el tanque de aireación, este dato es de mucha importancia en los sistemas aerobios porque ayuda a

controlar la cantidad de oxígeno que se proporciona al agua para que los microorganismos puedan oxidar la materia y obtener un efluente de buena calidad para su vertido.

Según Metcalf & Eddy, el oxígeno disuelto se debe mantener entre 1,5 y 2 mg/L en todo el tanque de aireación. Ellos indican que niveles mayores a 2 mg/L resultan beneficiosos cuando se requieren tasas de nitrificación y existen altas cargas de DBO. A concentraciones mayores a 4 mg/L, no se obtienen mayores eficiencias en el tratamiento y más bien se incrementa el costo de aireación.

Los valores obtenidos de oxígeno disuelto en el tanque de aireación se encontraron dentro del rango de los 2,8 a los 3,9 mg/L. Esto nos indica que contamos con una aireación excesiva que no es necesaria, y más bien la turbulencia creada podría perjudicar la sedimentación de los lodos en el sedimentador. Además, con estos resultados se concluye que el aireador tiene una capacidad mayor a la requerida.

Efectivamente, en el sedimentador se tienen problemas de flotación de lodos. Estos se presentaron constantemente, desde antes de realizar las mediciones de caudal. Luego se realizó la extracción de lodos mencionada al inicio del presente capítulo, pero el problema se ha mantenido.

En el mes de octubre se tomó una muestra de los lodos flotantes para realizarles una tinción de gram y verificar la presencia de bacterias filamentosas, a pesar de que este no es un problema común en aguas residuales de tipo doméstica. Como resultado se obtuvo poca presencia de bacterias filamentosas y se observó que la muestra contenía gran cantidad de material particulado. Cabe resaltar que los lodos tenían un color café oscuro y un olor fuerte, evidenciando actividad anaerobia. Esto se debe a la mencionada ausencia de purga de lodos, por lo que los lodos se encuentran acumulados y no se extraen por ningún método, a excepción de la extracción de lodos que se realizó durante el desarrollo del proyecto, de la cual quedan restos de sólidos anaerobios ya que la extracción no fue completa. Lo que ha sucedido en el sedimentador es que al darse una actividad anaerobia,

se generan gases como metano y dióxido de carbono, que desintegran los flóculos y hacen ascender estos lodos anaerobios.

#### 4.5. Evaluación de Opciones de Mejora para Optimizar el Funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

A continuación se discuten las mejoras que se formularon a partir de la investigación realizada, dadas las condiciones de operación del sistema de tratamiento. Estas mejoras se encuentran en tres divisiones: *a Corto Plazo* son las que se percibieron a simple vista en la primer visita y se pueden implementar en un periodo corto de tiempo; *a Largo Plazo* son las que se notaron como necesarias luego de analizar los resultados de los muestreos y realizar cálculos para determinar parámetros de diseño y de operación, y además requieren de un tiempo mayor para poder llevarse a cabo; y *Alternas* son las que se vieron como opciones alternas mientras se realizan las anteriores u opciones complementarias.

##### 4.5.1 Mejoras a Corto Plazo

La planta se encuentra descuidada y en condiciones insalubres, las estructuras metálicas se encuentran oxidadas, hay presencia excesiva de cucarachas, los gases emitidos por la actividad de los microorganismos y el hecho de que la planta se encuentre subterránea hacen que la temperatura sea elevada y los niveles de humedad sean altos. Es por lo anterior que se ve la necesidad de colocar una chimenea para brindar circulación de aire, evitando almacenamiento de gases nocivos para la salud, reduciéndose la temperatura y la humedad, y brindando oxígeno para la respiración. También se deben cambiar todas las estructuras metálicas y las nuevas deben ser inoxidable. Se debe contratar personal capacitado para realizar fumigaciones con la frecuencia requerida y evitar presencia de plagas. Asimismo, se deben pintar las paredes y tuberías presentes en la planta e identificarlas según su función.

Se deben colocar rejillas y un desarenador para evitar en el primer caso que pasen sólidos de gran tamaño no deseados a la etapa secundaria de tratamiento y en el segundo caso que partículas inertes sedimenten en el tanque de aireación, en ambos casos para evitar la acumulación de estos y posibles daños a los equipos mecánicos y de bombeo. La

incorporación de estos podría ser sencilla y elaborarse en un periodo corto, sin embargo, las condiciones no permiten que sea tan sencillo. Es por esto, y además debido a que forman parte de una planta de tratamiento, que el diseño y costo de los mismos se incluirán en el siguiente apartado.

El sedimentador secundario requiere de un sistema de recirculación y purga de lodos, que inicialmente incremente la cantidad de microorganismos en el tanque de aireación y luego mantenga esa concentración cuando se alcancen los niveles necesarios, aprovechándose los lodos jóvenes aptos para la limpieza del agua. También se debe contar con una purga, necesaria para eliminar los lodos viejos.

En el cárcamo de bombeo se cuenta con 2 bombas para dirigir el efluente al cuerpo receptor que se encuentra en un nivel superior al de la planta. Las bombas cuentan con su respectiva tubería de 2 pulgadas y una válvula *check* en cada una de las tuberías para evitar que se devuelva el agua tratada, sin embargo estas válvulas han generado problemas en repetidas ocasiones debido a que se atorán con material transportado por el efluente. De esta manera surgen dos necesidades, una es extraer el agua y demás material que se encuentra en el cárcamo de bombeo, para asegurarse de que los sólidos presentes en él no vayan a generar problemas, y la otra es cambiar las válvulas actuales por unas inatascables, que van a evitar daños a las bombas y posibles inundaciones en la planta por el impedimento de la salida del efluente.

Otro aspecto importante a considerar dentro de las mejoras es la capacitación al encargado del mantenimiento de la planta. Él no cuenta con formación ni conocimientos técnicos, su aprendizaje ha sido completamente empírico, sin embargo con un mejor manejo de temas relacionados con el tratamiento de las aguas residuales él podría llevar un control de la operación de la planta y se podrían prevenir situaciones críticas. Como parte de esta capacitación además de conocer sobre conceptos básicos de operación y mantenimiento de plantas de tratamiento, se le instruiría sobre cómo realizar e interpretar los análisis de rutina exigidos por ley, y podría llevar la *Bitácora de Manejo de Aguas Residuales* obligatoria según el artículo 46 del *Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de*

*Tratamiento de Aguas Residuales y el artículo 41 del Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales.*

Cabe mencionar que el encargado cuenta con un cono imhoff, un termómetro y cintas para la medición del pH, sin embargo, no tiene conocimiento del uso correcto ni de la interpretación de los resultados obtenidos. Él no sabe que debe realizar esas mediciones constantemente, ni mucho menos lleva un registro de las mismas.

La planta no posee vertederos a la entrada ni a la salida, tampoco se cuenta con equipo para realizar mediciones volumétricas de caudal, el cual debe ser incluido dentro de las pruebas de rutina.

También se recomienda llevar un control de resultados de mediciones de oxígeno disuelto y sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación, para tener un mayor conocimiento de la cantidad de microorganismos presentes, y de que estén recibiendo el suministro necesario de oxígeno para una buena actividad de depuración. Para esto el encargado deberá contar con un medidor de oxígeno disuelto y habría que considerar el costo de contratar a un laboratorio para el análisis de muestras para determinar SSV.

#### **4.5.2 Mejoras a Largo Plazo**

Según el tiempo de retención obtenido en el tanque de aireación y en el sedimentador, se requiere que cada una de estas etapas duplique su tamaño para cumplir con los tiempos de retención teóricos y así asegurar una depuración adecuada de las aguas.

La relación alimento microorganismos al ser de 3,35 kg DBO/kg SSVLM·d, mucho mayor que la requerida teóricamente de 0,10-0,25 kg DBO/kg SSVLM·d, indica que la cantidad de sustrato presente en el tanque de aireación se encuentra muy por encima de la cantidad de microorganismos disponibles para consumir esa materia orgánica o sustrato. Este parámetro comprueba las condiciones de funcionamiento insuficientes que tiene el sistema.

El valor obtenido para la relación A/M se puede deber a que como los tiempos de retención son tan bajos, los microorganismos son muy jóvenes y pasan a la siguiente etapa donde una parte se almacena y la otra se desecha junto con el efluente, aparte, como no existe una recirculación de lodos se desaprovecha la colaboración que podrían aportar los mismos a la limpieza de las aguas y no se mantiene constante la concentración de microorganismos en el reactor.

Además, uniendo estos requerimientos con los mencionados anteriormente de la necesidad de rejillas y un desarenador, se podría solucionar el problema del subdiseño de la planta actual, ampliándola o construyendo un sistema similar al actual para que trabajen en forma paralela.

Las fórmulas y procedimientos utilizados para obtener los resultados que se discutirán a continuación se pueden observar en el anexo 3.

La planta de tratamiento que se requiere para cumplir con las dimensiones necesarias según los tiempos de retención requeridos para la debida depuración del afluente consiste de un tanque de aireación de  $39,15 \text{ m}^3/\text{d}$ . Lo anterior si se fuera a ampliar la planta actual o si se fuera a diseñar una nueva planta y dejar la actual en desuso.

Dentro de los problemas que se enfrentarían si se pretendiera ampliar la planta actual se encuentra, que se dañaría la estructura existente y habría grandes riesgos de infiltración debido a fugas. Además, no se podría bloquear el acceso del agua residual a la planta para realizar los trabajos necesarios. Habría que enviarla directamente al cuerpo receptor sin tratamiento alguno, lo cual no es una opción.

Para evitar los problemas mencionados, se podría construir un sistema que trabaje de manera paralela al existente. Al recibir la mitad del caudal la planta existente podría soportar el afluente y al construir un tanque de aireación y sedimentador similares en capacidad se podría realizar una separación de caudal manejado hidráulicamente por medio

de una caja de registro. Aparte, como se mencionaba anteriormente, el agua cruda podría continuar ingresando al sistema actual mientras se realiza el trabajo adicional.

Los dos sistemas paralelos deben contar con su propio mecanismo de recirculación y purga de lodos. Además, la planta actual cuenta con un lecho de secado que funciona bien, se encuentra sobre el tanque de aireación y los lixiviados caen directo al tanque, este se podría utilizar para que reciba las purgas provenientes de ambos sistemas.

El sistema propuesto no contaría con canal de entrada, rejillas diseñadas, vertederos, ni desarenador. El caudal a manejar es tan pequeño que los valores obtenidos para el diseño de estas estructuras son muy pequeños para justificar su elaboración. El canal de entrada sería la misma tubería de 6 pulgadas con que se cuenta, el vertedero no se utilizaría y se mediría el caudal únicamente a la salida de la última etapa de tratamiento por medio del método volumétrico, no habría desarenador y las rejillas se sustituirían por una canasta elaborada con malla metálica para retener sólidos no degradables por los microorganismos, de gran tamaño y que puedan dañar o atascar las bombas, tubería o válvulas *check*. La canasta se colocará en una caja de registro que será la primera estructura a recibir el caudal a tratar y permitirá la separación del caudal en dos partes similares.

Luego de la caja de registro, el afluente se conducirá a cada uno de los tanques de aireación, luego a su respectivo sedimentador. Después por medio de otra caja de registro se conducirá el efluente de la planta propuesta al tanque “homogenizador”, el cual en esta propuesta cumplirá con la función de unir los dos caudales por lo que se justifica el nombre de tanque homogenizador. En el tanque se unirán los efluentes de cada sedimentador de manera que a la salida de este se pueda medir el caudal volumétricamente, igual a como se realizó para los datos generados en el presente proyecto. El efluente descargará al cárcamo de bombeo existente y de ahí se enviará al cuerpo receptor. El esquema del sistema propuesto se puede observar en el anexo 4.

Hay dos aspectos muy importantes a considerar dentro de la propuesta realizada. El primero es que la planta se encuentra aproximadamente 2 metros por debajo del nivel de la tierra, la

tubería de 6 pulgadas recorre el condominio recogiendo las aguas residuales generadas en cada condominio y zonas de recreo, y esta llega directamente al tanque de aireación de manera subterránea, lo que resultaría en mayores dificultades para la construcción y mayores costos por el movimiento de tierra necesario. El segundo es que la misma se encuentra en medio de una de las zonas de recreo del condominio, se encuentra a aproximadamente 5 metros de los linderos de la propiedad en dos de sus costados, a la misma distancia de la casa de habitación de uno de los condóminos, y de una de las calles de la zona. Esto podría implicar que una ampliación en cualquiera de las dos modalidades comentadas, sean imposibles de llevar a cabo por incumplimiento a la legislación basándose en las condiciones actuales.

Partiendo de que la situación recién descrita pueda ser resuelta, los costos aproximados de la ejecución de la propuesta serían de 23.973.703 colones (ver anexo 5).

#### **4.5.3 Mejoras Alternas**

Las propuestas realizadas hasta el momento no se pueden llevar a cabo en plazo corto de tiempo, debido a la falta de espacio o al precio elevado, y otras no podrían solucionar los problemas a cabalidad. Es por esto que se presentan en este apartado productos, servicios y equipos disponibles en el mercado que podrían mejorar el tratamiento del agua cruda y las características del efluente.

En el tanque de aireación se podría considerar adicionar sistemas biológicos que optimicen la actividad de los microorganismos o aumentan la presencia de los mismos. Dentro de estos se tienen productos que contienen microorganismos activos, inactivos, nutrientes. Con ellos se puede también reducir presencia de olores, tiempo de tratamiento requerido y generación de lodos de desecho.

A pesar de que el uso de oxidante químicos puede ser una medida extrema, vale mencionarla, pues es una opción disponible en el mercado. Para la oxidación química de materia orgánica e inorgánica y por ende la reducción en DBO y DQO se podría utilizar peróxido de hidrógeno, ozono y oxígeno.

Para ayudar a la unión los lodos y sedimentación de los flóculos formados se podrían utilizar coagulantes y floculantes, estos se encuentran tanto orgánicos como inorgánicos, pero cabe recalcar que se debe evitar que los lodos sean alterados para que la recirculación cumpla su propósito.

Una opción que se ha utilizado en el Condominio, como solución a la presencia excesiva de lodos es la utilización de servicios de extracción de lodos por medio de un camión cisterna. Este es un procedimiento que se puede utilizar para realizarle las purgas a los sedimentadores y al tanque “homogenizador”.

Otra opción temporal es adquirir un sistema de tratamiento prefabricado, mientras se soluciona el problema de terreno disponible para la construcción de la planta adicional propuesta. Para esto se requiere de asesoría durante todo el proceso de selección del sistema, adquisición, puesta en marcha, mantenimiento y operación del sistema seleccionado. Esta solución resulta práctica debido a la falta de espacio en la zona donde se encuentra la planta actual.

## Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1. Conclusiones

La planta actual consiste en sistema de lodos activados por aireación extendida, cuenta con una rejilla, un tanque de aireación con su respectivo aireador y un sedimentador. El efluente del sedimentador se dirige por medio de una caja de registro a un tanque que descarga a un cárcamo de bombeo que cuenta con dos bombas para verter el efluente al cuerpo receptor, la tubería de cada una de las bombas cuenta con una válvula *check*.

La planta de tratamiento del Condominio no se encuentra en buenas condiciones, requiere que se le realicen labores de mantenimiento como lo son la sustitución de las estructuras oxidadas, eliminación de aquellas que no cumplan ninguna función, pintar las tuberías, paredes y tapas para evitar que se dañen debido a la humedad, además para identificarlas. También se debe fumigar debido a las condiciones, y se debe construir una chimenea para dar ventilación a la zona de la planta de tratamiento.

Las actividades de mantenimiento realizadas son insuficientes para los requerimientos de la misma. El encargado de brindarle mantenimiento a la planta de tratamiento no tiene conocimiento técnico ni cuenta con tiempo suficiente para asegurar una buena operación de la planta.

Los resultados de laboratorio comprueban que el funcionamiento no es el ideal, los parámetros DBO, DQO y SST se encuentran por encima de los límites máximos permisibles según la legislación. Los SSed en las visitas realizadas previas a los muestreos se encontraron muy por encima del límite, y el promedio muestral se encuentra justo en el límite.

Por otro lado, al comparar los tiempos de retención actuales con los de la literatura se obtuvo que los reales se encuentran aproximadamente un 50% por debajo de los necesarios para un adecuado tratamiento del afluente. Viéndose la necesidad de ampliar las etapas de tratamiento con que se cuenta actualmente.

El no contar con el tiempo necesario para el tratamiento de las aguas y la sedimentación de los lodos, junto con la ausencia de sistema de purga en el sedimentador, han provocado que se dé flotación de lodos en el mismo.

La relación alimento-microorganismos indicó por su parte que la presencia de microorganismos es muy baja con respecto a la cantidad de materia a degradar. De esta manera se nota, que la ausencia de un sistema de recirculación de lodos genera también pérdida de microorganismos en el efluente y no permite mantener constante la concentración de los mismos en el licor madre.

La propuesta para garantizar el tratamiento adecuado de las aguas residuales generadas en el Condominio es que se construya otro sistema de lodos activados por aireación extendida, con dimensiones similares al sistema actual para tratar la mitad del caudal en cada una de las plantas. Consistirá de igual manera en un tanque de aireación con su respectivo sedimentador secundario y a la salida se unirán los efluentes de las dos plantas para generar un único vertido. La implementación de la propuesta tendrá un costo aproximado de 23.979.703 colones.

Cada una de las plantas contará con sistema de recirculación y purga de lodos, además se construirá a la entrada una caja de registro que contará con una canasta para retención de sólidos, que a su vez se encargará de dividir el caudal de entrada en dos para el ingreso de cada sistema.

Debido a que en este momento no se cuenta con espacio suficiente para construir la planta propuesta y cumplir con los retiros mínimos a linderos de la propiedad, establecidos en el *Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*, se considera el uso temporal de opciones alternas mientras se busca solución al problema del espacio. Dentro de estas se encuentran productos químicos y biológicos para incrementar la oxidación en el tanque de aireación; coagulantes y floculantes para ayudar a

que los flóculos sedimenten; uso de camiones cisterna para la purga de lodos; y adquisición de un sistema de tratamiento de agua residual prefabricado.

Las plantas de tratamiento al parecer son vistas simplemente como un requisito para obtener permisos de construcción y no se tiene conciencia de la importancia de proteger el recurso hídrico además de proteger a las especies que viven gracias a él, incluido el ser humano.

Las personas no son conscientes de que un buen diseño y una buena asesoría podría evitar problemas futuros, como lo son la contaminación de aguas y suelos, molestias por presencia de olores desagradables, además que van a implicar costos muy elevados que hubieran podido ser previstos.

## **5.2. Recomendaciones**

La actual zona de recreo debe contar con acceso restringido, ya que los materiales y equipo utilizados en labores realizadas en la planta se lavan en las afueras de la casetilla que restringe el acceso a la misma. Esta zona coincide con la zona de recreo donde los niños juegan, por lo que se corre el riesgo de que ellos entren en contacto con estos sectores contaminados.

Se debe capacitar al encargado de mantenimiento en el tratamiento de las aguas residuales, además de brindarle el equipo necesario para realizar mediciones de rutina y llenar la bitácora con la información generada por su persona.

Para mantener un mayor control del funcionamiento de la planta, el encargado deberá controlar la DBO, la DQO, los SST y los SSed, llevar un registro de los mismos además de mantener la frecuencia en la recirculación y purga de lodos. También debe rellenar el lecho de secado de lodos con arena, cada vez que se extraigan los lodos secos.

Se debe reajustar el aireador o cambiarlo debido a que está generando casi el doble de la cantidad de oxígeno disuelto requerida.

La administración del Condominio debe ser concientizada sobre la importancia que tiene el tratamiento de las aguas y la protección del recurso hídrico, y transmitir esta información a los condóminos. Con esto se podría intentar que comprendan las variables que pueden alterar el buen funcionamiento de los sistemas de tratamiento y lograr la colaboración de ellos para su propio bienestar.

Además, si se evita el desperdicio de agua potable no solo se reducirían los costos por el consumo de agua potable, sino que se podría reducir la cantidad de agua residual generada y los costos que su tratamiento implica.

Como recomendación final a tener en cuenta para una modificación futura, con los resultados de las mediciones de rutina y periódicos, y en caso de que se cuente con el plano de la planta de tratamiento, se recomienda verificar lo propuesto en la presente investigación.

## Referencias Bibliográficas

Arce, A.L; Calderón, C.G; Tomasini, A.C. (s.f.). *Serie Autodidáctica de Medición de la Calidad del Agua: Fundamentos Técnicos para el muestreo y análisis de Aguas Residuales*. Recuperado el 20 de abril del 2013 de [http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd67/fundamentos\\_tecnicos.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd67/fundamentos_tecnicos.pdf)

Bitton, G. (2005). *Wastewater Microbiology*. Third Edition. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Camacho, A.L. (2012). *Evaluación de la Operación y Propuestas de Mejora del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente del Beneficio San Diego de VOLCAFE S.A.* Proyecto Final de Graduación para Optar por el Título de Licenciada en Ingeniería Ambiental, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.

Deloya, A. (2009). Cumplimiento de la Normativa en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales del Instituto Tecnológico de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. (Vol. 22, No. 1), 50-56. Recuperado el 26 de marzo del 2013 de [http://www.tecdigital.itcr.ac.cr/servicios/ojs/index.php/tec\\_marcha/article/view/195/193](http://www.tecdigital.itcr.ac.cr/servicios/ojs/index.php/tec_marcha/article/view/195/193)

Gerardi, M.H. (2002). *Settleability Problems and Loss of Solids in the Activated Sludge Process*. Wastewater Microbiology Series. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Henry, J.G., y Heinke, G.W. (1999). *Ingeniería Ambiental*. México: Prentice Hall.

Hernández, R. (2002). *Determinación de las Diferentes Componentes del Caudal de Aguas Residuales y Factor de Retorno para Dos Urbanizaciones del Área Metropolitana de San José*. Trabajo de Graduación para Optar por el Título de Licenciado en Ingeniería Civil. San José, Costa Rica.

Kiely, G. (1999). *Ingeniería Ambiental: Fundamentos, Entornos, Tecnologías y Sistemas de Gestión*. Madrid, España: McGraw-Hill Interamericana.

Leitón, L. (2012). *Evaluación y Propuestas de Optimización y Mejora de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Residencial Ciudad de Oro, Cartago*. Proyecto Final de Graduación para Optar por el Título de Licenciada en Ingeniería Ambiental, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.

Ministerio de Ambiente y Energía. (2003). *Reglamento de Creación de Canon Ambiental por Vertidos N° 31176-MINAE*. San José, Costa Rica.

Ministerio de Ambiente y Energía, y Ministerio de Salud. (2006). *Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales N° 33601-MINAE-S*. San José, Costa Rica.

Ministerio de Salud, y Ministerio de Ambiente y Energía. (2003). *Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales N° 31545-S-MINAE*. San José, Costa Rica.

Ramalho, R. (1996) *Tratamiento de aguas residuales*. Segunda Edición. Editorial Reveré: Barcelona.

Sawyer, C.N., McCarty, P.L., y Parkin, G.F. (2001). *Química para Ingeniería Ambiental*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana.

Tchobanoglous, G; Burton, F. L; Stensel, H.D. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. Fourth Edition. Metcalf & Eddy Inc. New York: McGraw-Hill Companies.

Torrescano, J.L. (2009). Parámetros de Operación en el Proceso de Tratamiento de Agua Residual por Lodos Activados. *AquaForum*. (Año 13, No. 52), 14-19. Recuperado el 20 de abril del 2013 de [http://seia.guanajuato.go.mx/document/AquaForum/AF52/AF5204\\_ParametrosOperacion.pdf](http://seia.guanajuato.go.mx/document/AquaForum/AF52/AF5204_ParametrosOperacion.pdf)

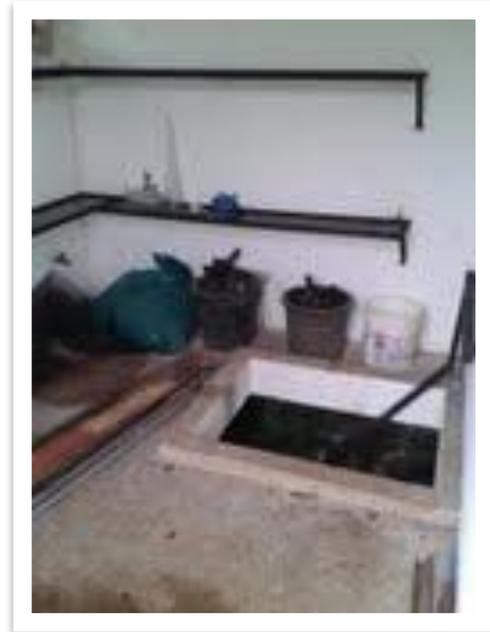
## **Anexos**

## Anexo 1

Fotografías de la ubicación y etapas del sistema de tratamiento de agua residual del Condominio.



Afuera de la casetilla



Parte interior de la casetilla



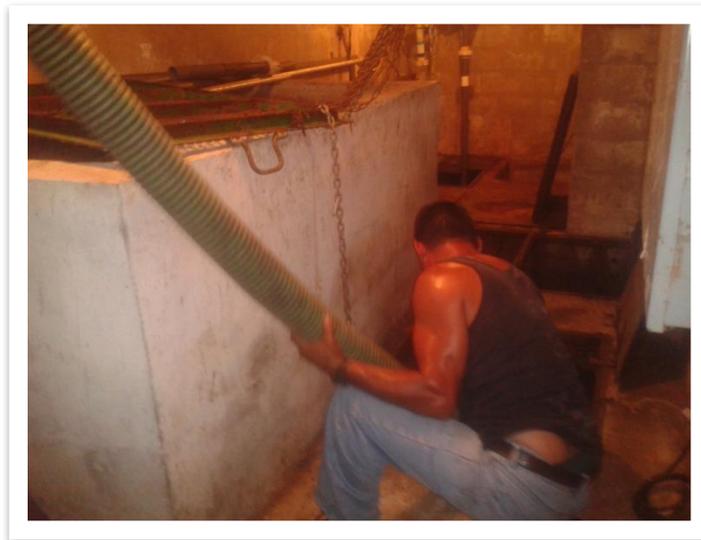
Lecho de secado de lodos



Cárcamo de bombeo



Lodos flotantes en el sedimentador



Extracción de lodos

## Anexo 2

Resultados de los análisis de los muestreos 2 y 4 realizados en un laboratorio habilitado.



### RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO Informe N° 04102012

**Tipo de muestra:** Aguas residuales. Planta de Tratamiento. Condominio

**Interesado:** Condominio

**Encargado de Muestreo:**

**Fecha y hora de Muestreo:** 27-09-2012.

**Entrada:** Muestreo Compuesto: De 11:00 a.m. a 01:00 p.m.

**Salida:** Muestreo simple: 12 m.d.

**Fecha de reporte de análisis:** 04-10-2012.

Parámetro analizado	ENTRADA	SALIDA
pH	7,1 ± 0,1	7,2 ± 0,1
Sólidos suspendidos totales, mg/L	507 ± 9	58 ± 3
Aceites y grasas, mg/L	115 ± 21	12 ± 2
Demanda química de oxígeno, DQO mg/L	551 ± 44	224 ± 18
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO <sub>5</sub> mg/L	191 ± 22	39 ± 5

**METODOLOGIA DE ANALISIS.** Standard Methods for the examination of Water and Waste Water. 21<sup>th</sup>.Ed,2005.



Laboratorio de Ensayo  
Alcance de Acreditación No.LE 003  
Acreditado a partir de: 25.03.1998  
Alcance disponible en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

**RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO**  
**Informe N° 04102012.1**

**Tipo de muestra:** Tanque de Aireación. Condominio  
**Interesado:** . Condominio  
**Encargado de Muestreo:**  
**Fecha y hora de Muestreo:** 27-09-2012. Muestreo simple.  
**Fecha de reporte de análisis:** 04-10-2012

<b>Parámetro analizado</b>	<b>Valor reportado</b>
Sólidos suspendidos totales, mg/L	130 ± 3
Sólidos suspendidos volátiles, mg/L	Menos de 5

**METODOLOGIA DE ANALISIS** Standard Methods for the examination of Water and Waste Water. 21  
th.Ed,2005.

**RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO**

**Informe N° 03122012.2**

**Tipo de muestra:** Agua residual.

**Dirección:** Santa Ana

**Descarga:** A Quebrada Rodríguez

**Interesado:**

**Encargado de Muestreo:**

**Fecha y hora de Muestreo:** 27-11-2012. Muestreo Compuesto de 9:45 a.m a 11:45 a.m.

**Fecha de reporte de análisis:** 03-12-2012

Parámetro analizado	Valor reportado	Valor máximo aceptado por Reglamento de vertido N°33601-Minae-S
pH	7,3 ± 0,1	5-9
Sólidos suspendidos totales, mg/L	Menos de 5	50 mg/L
Sólidos sedimentables, mL/L h	Menos de 0,1	1 mL/L h
Aceites y grasas, mg/L	Menos de 5	30 mg/L
Demanda química de oxígeno, DQO mg/L	110 ± 9	150 mg/L
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO <sub>5</sub> mg/L	46 ± 7	50 mg/L
Caudal m <sup>3</sup> /día	20	-
Temperatura, °C	26 ± 1	15°C < T < 40 °C
Sustancias Activas al azul de metileno mg/L	2,7 ± 0,3	5 mg/L

**METODOLOGIA DE ANALISIS.** Standard Methods for the examination of Water and Waste Water. 21 th.Ed,2005.

**Nota:**

- Lugar de Muestreo:** La muestra fue tomada a la salida de la Planta de tratamiento.
- Descarga:** A Quebrada Rodríguez

Hora de toma de submuestra	Caudal, m <sup>3</sup> /día	Volumen de submuestras, mL
09:45 a.m.	20	500
10:15 a.m.	20	500
10:45 a.m.	20	500
11:15 a.m.	20	500
11:45 a.m.	20	500
<b>Caudal promedio</b>	<b>20 m<sup>3</sup>/día</b>	<b>Volumen final muestra compuesta: 2 500 mL</b>

### Anexo 3

Cálculos realizados para el diseño de la planta de tratamiento requerida para el tratamiento adecuado del agua del Condominio.

#### A. Vertedero

$$H = \left( \frac{Q}{1,4} \right)^{2/5}$$

H: altura del agua en el vertedero (m)

Q: caudal promedio (m<sup>3</sup>/s)

$$H = \left( \frac{34,8 \times \frac{1}{86400}}{1,4} \right)^{2/5} = 0,04 \text{ m}$$

#### B. Rejillas

Criterios de diseño:

Utilizar el caudal máximo

Velocidad entre barrotes para caudal mínimo 0,6-1 m/s

para caudal máximo 1,2-1,4 m/s

Para cribado fino separación entre 3 y 10 mm

Para cribado medio separación entre 10 y 25 mm

Inclinación de 60° u 80° con respecto a la horizontal

$$n = \frac{b + a}{e + a}$$

n: número de barras

b: ancho total de la rejilla (m)

a: espaciamiento entre barrotes (m)

e: espesor de cada barrote (m)

Para cribado medio:

$$n_1 = \frac{0,3 + 0,0254}{0,0127 + 0,0254} = 8,5 \approx 9$$

Para cribado fino:

$$n_1 = \frac{0,3 + 0,01}{0,0127 + 0,01} = 13,7 \approx 14$$

$$h = \frac{Q}{b \times v}$$

h: altura del agua (m)

b: ancho del canal (m)

v: velocidad entre barrotes (m/s)

$$h = \frac{34,8 \times \frac{1}{86400}}{0,3 \times 0,6} = 0,22 \text{ cm}$$

$$H = h + 0,2$$

H: altura total del canal considerando 20 cm de rebalse

$$H = 0,0022 + 0,2 = 0,2022 \text{ m}$$

$$L = \frac{H}{\text{sen}(\alpha)}$$

L: longitud de la rejilla

$\alpha$ : ángulo de inclinación de la rejilla

$$L = \frac{0,2022}{\text{sen}(60)} = 0,23 \text{ m}$$

### C. Canal

$$v_h = \frac{Q}{b \times h}$$

$v_h$ : velocidad de escurrimiento horizontal, debe ser 0.6 m/s (m/s)

$b$ : ancho del canal, mínimo 0.3 m (m)

$h$ : profundidad del canal (m)

$Q$ : caudal máximo de entrada ( $m^3/s$ )

$$0,6 = \frac{\left(76,2 \times \frac{1}{86400}\right)}{b \times h}$$

$$b \times h = 14,7 \text{ cm}^2$$

$$30 \times h = 14,7 \text{ cm}^2$$

$$h = 0,5 \text{ cm}$$

### D. Desarenador

Criterios de diseño:

Para caudal máximo

Tiempo de retención entre 60 y 120 segundos

Para extraer partículas mayores a 0,2 mm y de peso específico  $2650 \text{ kg/m}^3$

Velocidad de sedimentación entre 0,016 y 0,021

Profundidad del líquido mínimo 0,5 m

La velocidad de escurrimiento horizontal no debe superar la velocidad de arrastre de las partículas.

Factor minorante 10-30%

$$v = \frac{497 \times 10^{-6}}{(T + 42,5)^{1,5}}$$

$v$ : viscosidad cinemática ( $m^2/s$ )

$T$ : temperatura del agua ( $^{\circ}C$ )

$$v = \frac{497 \times 10^{-6}}{(30 + 42,5)^{1,5}} = 8,05 \times 10^{-7}$$

$$v_s = \frac{g^{0,8} \times \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}\right)^{0,8} \times d^{1,4}}{10 \times v^{0,6}}$$

$v_s$ : velocidad de sedimentación (m/s)

$g$ : aceleración debida a la gravedad ( $m/s^2$ )

$\rho_s$ : densidad de las partículas ( $kg/m^3$ )

$\rho_w$ : densidad del agua ( $kg/m^3$ )

$d$ : diámetro de las partículas (m)

$$v_s = \frac{9,81^{0,8} \times \left(\frac{2650 - 1000}{1000}\right)^{0,8} \times (0,2 \times 10^{-3})^{1,4}}{10 \times (8,05 \times 10^{-7})^{0,6}} = 0,028 \text{ m/s}$$

$$v_{sc} = \frac{v_s}{f}$$

$v_{sc}$ : velocidad de sedimentación crítica (m/s)

$f$ : factor minorante (%)

$$v_{sc} = \frac{0,028}{1,3} = 0,02 \text{ m/s}$$

$$v_h = \frac{Q}{B \times H}$$

$v_h$ : velocidad de escurrimiento horizontal (m/s)

$B$ : ancho del desarenador (m)

$H$ : profundidad del desarenador (m)

$$v_h = \frac{76,2 \times \frac{1}{86400}}{0,3 \times 0,35} = 0,007 \text{ m/s}$$

$$v_a = \sqrt{40 \times (\rho_s - \rho_w) \times g \times \frac{d}{3 \times \rho_w}}$$

$v_a$ : velocidad de arrastre de las partículas (m/s)

$$v_a = \sqrt{40 \times (2650 - 1000) \times 9,81 \times \frac{(0,2 \times 10^{-3})}{3 \times 1000}} = 0,207 \text{ m/s}$$

$$V = Q \times t$$

t: tiempo de retención en el desarenador (s)

V: volumen del desarenador (m<sup>3</sup>)

$$V = \left(76,2 \times \frac{1}{86400}\right) \times 120 = 0,106 \text{ m}^3$$

$$V = B \times L \times H$$

$$0,106 = 0,3 \times L \times 0,35$$

$$L = 1 \text{ m}$$

### E. Tanque de Aireación

Criterios de diseño:

Tiempo de retención entre 15 y 36 horas

Relación alimento microorganismos 0,10-0,25 kg DBO<sub>5</sub>/kg SSVLM·d

Relación de recirculación (Q<sub>r</sub>/Q) 0,5-1,5

Relación largo ancho de 2 a 1 (2:1)

77% del lodo formado es biodegradable

Parámetros biocinéticos (Ramalho,1996)

$$k = 0,017-0,03 \text{ L/mg}\cdot\text{d}$$

$$Y = 0,73 \text{ kg SSVLM/kg DBO}_5 \text{ consumida}$$

$$k_d = 0,075 \text{ 1/d}$$

$$a = 0,52 \text{ kg O}_2/\text{kg DBO}_5 \text{ consumida}$$

$$b = 0,1065$$

$$r = \frac{X_{v,a} - (1 - \phi) \times Y \times (S_F - S_e)}{X_{v,a} - X_{v,u}}$$

r: relación de recirculación (adimensional)

$X_{v,a}$ : sólidos suspendidos volátiles del reactor (mg/L)

$\phi$ : cantidad de SSVLM biodegradables producidos por cada kilogramo de SSLM producido

$S_F$ : DBO de entrada (mg/L)

$S_e$ : DBO de salida (mg/L)

$X_{v,u}$ : sólidos suspendidos volátiles de salida (mg/L)

$$r = \frac{159 - (1 - 0,77) \times 0,73 \times (284,5 - 40)}{159 - 59} = 1,18$$

Nota: r requerida según condiciones actuales.

$$t = \frac{\phi \times Y \times (S_F - S_e)}{k_d \times X_{v,a}}$$

t: tiempo de retención en el tanque de aireación (días)

$$1,125 = \frac{0,77 \times 0,73 \times (284,5 - 40)}{0,075 \times X_{v,a}}$$

$$X_{v,a} = 1628,8 \text{ mg/L}$$

Nota: Considerando un tiempo de retención de 27 horas.

$$Q_o = Q_F + Q_R = Q_F \times (1 + r)$$

$Q_o$ : caudal de la alimentación combinada ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$Q_F$ : caudal de la entrada ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$Q_R$ : caudal de recirculación ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$$Q_o = \frac{34,8}{2} \times (1 + 1,18) = 37,9 \text{ m}^3/\text{d}$$

Nota: Considerando 2 tanques de aireación en paralelo.

$$A/M = \frac{S_F}{X_{v,a} \times t}$$

A/M: relación alimento-microorganismos (kg DBO<sub>5</sub>/kg SSVLM·d)

$$(A/M)_{actual} = \frac{284,5}{159 \times 0,534} = 3,35 \text{ kg DBO}_5/\text{kg SSVLM} \cdot \text{d}$$

$$(A/M)_{condiciones\ propuestas} = \frac{284,5}{1628,8 \times 1,125} = 0,16 \text{ kg DBO}_5/\text{kg SSVLM} \cdot \text{d}$$

$$V = Q \times t$$

Vol: volumen de cada tanque de aireación (m<sup>3</sup>)

t: tiempo de retención en cada tanque de aireación (día)

$$Vol = 17,4 \times 1,125 = 19,6 \text{ m}^3$$

$$Vol = l \times a \times h$$

l: largo del tanque de aireación (m)

a: ancho del tanque de aireación (m)

h: profundidad del tanque de aireación (m)

$$19,6 = (2x) \times (x) \times 2,55$$

Nota: Utilizando la misma profundidad del sedimentador.

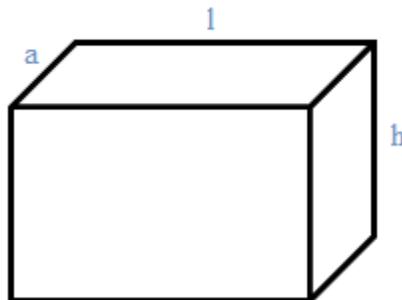
$$x = 1,96$$

Por lo tanto,

$$a = 1,96 \text{ m}$$

$$l = 3,92 \text{ m}$$

$$h = 2,55 \text{ m}$$



$$kg O_2/d = [a \times (S_F - S_e) \times Q_F] + [b \times X_{v.a} \times V]$$

kg O<sub>2</sub>/d: oxígeno requerido (kg/d)

V: volumen del tanque de aireación (L)

$$kg O_2/d = [0,52 \times (284,5 - 40) \times 38,1 \times 0,001] + \left[ 0,1065 \times 1628,8 \times \frac{18,6}{1000} \right]$$

$$kg O_2/d = 8,07 \text{ kg/d}$$

Nota: Utilizando el volumen del tanque de aireación existente.

$$V_{aire} = \frac{kg O_2/d}{\rho_{aire} \times \% \text{ de } O_2 \text{ en el aire}}$$

$\rho_{aire}$ : densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>)

$$V_{aire} = \frac{8,07}{1,21 \times 0,21} = 31,8 \frac{m^3}{d}$$

#### F. Sedimentador Secundario

Criterios de diseño:

Tiempo de retención de aproximadamente 4 horas

Gravedad específica de lodos secundarios 1,03

Tasa de rebose para caudal promedio 8-16 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·d

$$As = \frac{Q}{Tasa \text{ de Rebose}}$$

As: área superficial del sedimentador (m<sup>2</sup>)

$$As = \frac{17,4}{12} = 1,45 \text{ m}^2$$

$$Px = [Y \times (S_F - S_e) \times Q_F] - [k_d \times X_{v.a} \times V]$$

Px: producción neta de biomasa (kg SSVLM/d)

$$Px = [0,73 \times 4,55 \times 17,4] - [0,075 \times 2,96 \times 18,6] = 53,7 \frac{kg \text{ SSVLM}}{d}$$

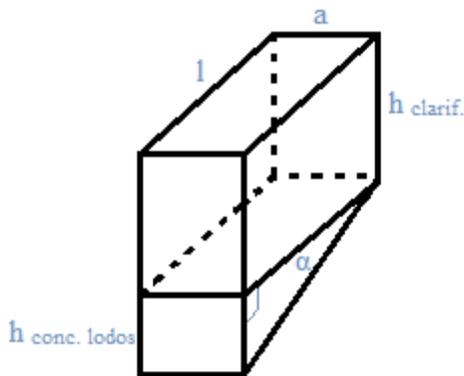
Volumen para la zona de concentración de lodos requerida según la frecuencia de las purgas:

$$53,7 \frac{kg}{d} \times \frac{30 d}{1 mes} \times \frac{1 mes}{4 veces} \times \frac{1 m^3}{1,03 \times 10^3 kg} = 0,4 m^3 \text{ cada 7 días}$$

$$53,7 \frac{kg}{d} \times \frac{30 d}{1 mes} \times \frac{1 mes}{2 veces} \times \frac{1 m^3}{1,03 \times 10^3 kg} = 0,8 m^3 \text{ cada 15 días}$$

$$53,7 \frac{kg}{d} \times \frac{30 d}{1 mes} \times \frac{1 mes}{1 veces} \times \frac{1 m^3}{1,03 \times 10^3 kg} = 1,6 m^3 \text{ cada 30 días}$$

Profundidad de la zona de concentración de lodos (forma de prisma triangular recto):



$$Vol_{conc.lodos} = \frac{h_{conc.lodos} \times l}{2} \times a$$

Vol<sub>conc. lodos</sub>: volumen requerido (m<sup>3</sup>)

h<sub>conc. lodos</sub>: profundidad de la zona de concentración (m)

l: largo del sedimentador (m)

a: ancho del sedimentador (m)

$$As = a \times l$$

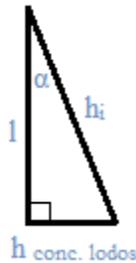
$$1,45 = a \times 1,45$$

$$a = 1 m$$

$$0,8 = \frac{h_{conc.lodos} \times 1,45}{2} \times 1$$

$$h_{conc.lodos} = 1,1 \text{ m}$$

Nota: Considerando una frecuencia de purga de lodos cada 15 días.



$$\tan(\alpha) = \frac{\text{opuesto}}{\text{adyacente}}$$

$$\tan(\alpha) = \frac{1,1}{1,45}$$

$$\alpha = 37,3^\circ$$

$$\text{sen}(\alpha) = \frac{\text{opuesto}}{\text{hipotenusa}}$$

$h_i$ : hipotenusa (m)

$$\text{sen}(37,3^\circ) = \frac{1,1}{h_i}$$

$$h_i = 1,82 \text{ m}$$

$$\text{Vol}_{Total} = Q \times t$$

$$\text{Vol}_{Total} = 17,4 \times \left(4 \text{ h} \times \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}}\right) = 2,9 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol}_{clarif.} = \text{Vol}_{Total} - \text{Vol}_{conc.lodos}$$

$$\text{Vol}_{clarif.} = 2,9 - 0,8 = 2,1 \text{ m}^3$$

Dimensiones de la zona de clarificación del agua:

$$Vol_{clarif.} = As \times h_{clarif.}$$

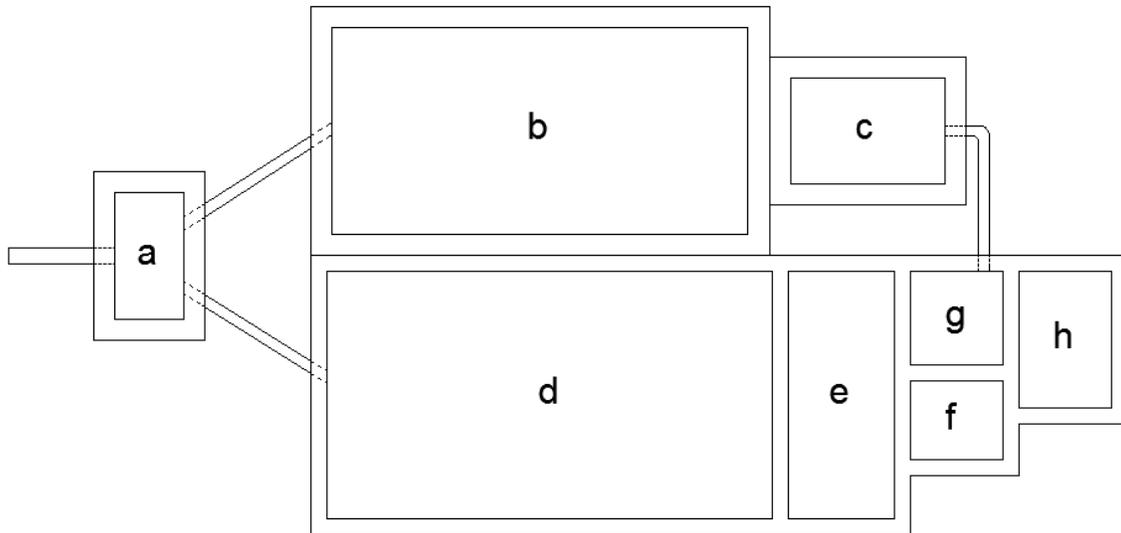
$h_{clarif.}$ : profundidad de la zona de clarificación (m)

$$2,1 = 1,45 \times h_{clarif.}$$

$$h_{clarif.} = 1,45 \text{ m}$$

## Anexo 4

Vista superior del sistema de tratamiento propuesto.



Dimensiones				
N°	Sección	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)
a	Caja de registro entrada	1,2	0,65	0,75
b	Tanque de aireación propuesto	3,92	1,96	2,55
c	Sedimentador propuesto	1,45	1	1,45 y 2,55
d	Tanque de aireación actual	4,2	2,34	1,91
e	Sedimentador actual	2,34	1	0,46 y 1,67
f	Caja de registro	—	—	—
g	Tanque homogenizador	0,88	0,87	1,75
h	Cárcamo de bombeo	—	—	—

## Anexo 5

Desglose de costos del sistema propuesto.

**Cuadro A1.** Detalle del costo por preparación del terreno y construcción de la obra.

Motivo	Costo
<b>Materiales (cemento, piedra, varilla, tubería, etc.)</b>	¢ 11.837.207
<b>Mano de Obra</b>	¢ 5.685.979
<b>Movimiento de Tierra</b>	¢ 1.386.000
<b>Imprevistos y Pérdida de Material</b>	¢ 3.781.837
<b>TOTAL</b>	¢ 22.691.023

**Cuadro A2.** Costo del equipo requerido para el funcionamiento del sistema propuesto.

Equipo	Costo
<b>Bomba 1/2 hp</b>	¢ 274.680
<b>Aireador 31.8 m<sup>3</sup>/d de aire</b>	¢ 1.008.000
<b>TOTAL</b>	¢ 1.282.680