

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA MODELO DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA**

JAVIER MAURICIO SANTANDER ARANDIA



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ
2021**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA MODELO DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA**

JAVIER MAURICIO SANTANDER ARANDIA

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Director del Proyecto
Ing. Henry Alberto Córdoba**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ
2021**



Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the [license](#). [Advertencia](#).

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia](#).

Nota de Aceptación

Director del Proyecto
Ing. Jesús Ernesto Torres

Jurado

Jurado

Bogotá D. C., noviembre, 2020

DEDICATORIA

Agradezco a Dios primeramente por darme las fuerzas necesarias para poder culminar con éxito uno de los logros más importantes en mi vida, gracias a Él aprendí que sin importar las adversidades el solo creer vence cualquier obstáculo, a mi hermana, a ti mi madre que al verme vencido me dieron palabras de aliento para seguir adelante, a mi padre que creyó en mí, a ustedes mis hermanos que con palabras me demostraron que se sentían orgullosos de mí, a mi esposa e hijos por su infinito amor y comprensión, infinitas gracias a ustedes porque sin su apoyo y ayuda esto no fuera posible.

JAVIER SANTANDER

AGRADECIMIENTOS

Dios, tu amor y tu bondad siempre han estado conmigo y me han mantenido a flote y me mantendrán por el resto de mi vida, cuando caigo tu estas siempre a mi lado, me sostienes y me das la victoria. Gracias Dios por estar conmigo en cada etapa de mi vida, por tu amor y cuidado incondicional.

Gracias a mis padres y hermanos por compartir y ayudar a que mis sueños se hicieran realidad, por la confianza depositada en mí, por cada consejo y palabra dicha en el momento preciso que me ayudaron durante cada momento de mi vida.

Gracias a mi esposa por ser ese apoyo incondicional en mi vida, por compartir conmigo este sueño hecho realidad, a ti mi amada te doy las gracias por tu amor sin condición y porque nunca dudaste de mí.

Gracias a mis hijos por entenderme y por cada sacrificio que hicieron para que yo pudiera alcanzar mis metas, gracias hijos por estar conmigo y nunca juzgarme, gracias hijos míos por ser esa fuente de inspiración, por ser el motor que me impulsa para seguir adelante.

Gracias a la Universidad Católica de Colombia por haberme permitido formarme como profesional, gracias a su gran atención, dedicación y compromiso.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. GENERALIDADES	16
1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	16
1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.2.1 Descripción del problema	18
1.2.2 Formulación del problema	20
1.3. OBJETIVOS	20
1.3.1 Objetivo general	20
1.3.2 Objetivos específicos.	20
1.4 ALCANCE Y LIMITACIÓN	20
1.4.1 Alcance	20
1.4.2 Limitación	20
1.5 MARCO DE REFERENCIA	21
1.5.1 Marco Teórico.	21
1.5.1.1 Tratamiento de aguas residuales	21
1.5.2 Marco conceptual	24
1.5.2.1 Aguas residuales	24
1.5.2.2 Planta de tratamiento de agua residual	24
1.5.2.3 Tratamientos preliminares – pretratamiento	25
1.5.2.4 Depuración primaria	27
1.5.2.5 Depuración secundaria	28
1.5.2.6 Tratamientos terciarios	28
1.5.2.7 Mecanismos	29
1.5.2.8 Entrada	29
1.5.2.8 Homogenización	30
1.5.2.9 Aireación extendida	30
1.5.2.10 Oxidación	30
1.5.2.11 Sedimentación	31
1.5.2.12 Variables en el proceso.	31
1.5.2.13 Ventajas de la aireación extendida	35
1.5.2.14 Aguas residuales (AR)	36
1.5.3 Marco legal	37
1.6 METODOLOGÍA	39
2. DISEÑO	41
2.1 CÁLCULOS DE DISEÑO SISTEMA DE TRATAMIENTO POR AIREACIÓN EXTENDIDA	41
2.1.1 Dimensionamiento de planta de tratamiento	43
2.1.1.1 Canal de cribado	43
2.1.1.2 Tanque Homogeneizador	45

2.1.1.3 Tanque de aireación	45
2.1.1.4 Sedimentador secundario	46
2.1.1.5 Relaciones cinéticas	53
2.2 INSTALACIÓN	56
2.2.1 Aclaraciones acerca del funcionamiento del modelo	60
2.3 PRUEBAS Y RESULTADOS	60
3. CONCLUSIONES	64
BIBLIOGRAFIA	66
ANEXOS	70

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Teorías sobre Tratamiento de Aguas Residuales	22
Tabla 2. Parámetros para la Caracterización de Aguas Residuales	36
Tabla 3. Composición de Aguas Residuales	37
Tabla 4. Leyes Colombianas del Medio Ambiente	37
Tabla 5. Parámetro de Diseño para Aireación Extendida	41
Tabla 6. Cálculos Tanque Homogeneizador	45
Tabla 7. Cálculos Tanque de Aireación	46
Tabla 8. Parámetros de Lodos Activados	47
Tabla 9. Coeficientes Cinéticos Típicos para Procesos de Lodos Activados en Aguas Residuales Domésticas	48
Tabla 10. Nomenclatura Empleada	50
Tabla 11. Resultados de Laboratorio	61
Tabla 12. Parámetros Fisicoquímicos y Valores Límites Máximos Permisibles en los Vertimientos Puntuales de Aguas Residuales Domésticas, (ARD) y de las Aguas Residuales no Domésticas (ARnD)	61
Tabla 13. Parámetros Fisicoquímicos a Monitorear y Valores Límites Máximos Permisibles en los vertimientos Puntuales de Aguas Residuales no domésticas (ARND) a Cuerpos de Aguas Superficiales de Actividades Productivas de Agroindustria, ganadería e Hidrocarburos	62

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa Conceptual del Proyecto	24
Figura 2. Esquema de una Depuración de Aguas Residuales	25
Figura 3. Cribado	25
Figura 4. Tamices	26
Figura 5. Desarenadores y Desengrasado	27
Figura 6. Depuración primaria	27
Figura 7. Depuración Secundaria	28
Figura 8. Tratamientos Terciarios	29
Figura 9. Plano Tratamiento Aireación Extendida	55
Figura 10. Tanque de Entrada	56
Figura 11. Canal de Cribado	57
Figura 12. Tanque Homogeneizador	57
Figura 13. Tanque Aireación	58
Figura 14. Tanque Sedimentador y Retorno de Lodos	58
Figura 15. Tanque Agua tratada	59
Figura 16. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales- modelo Piloto a Escala Vista Superior	59
Figura 17. Planta de Tratamiento de aguas Residuales- Modelo Piloto a Escala Vista Alzada	59
Figura 18. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales- Modelo Piloto a Escala	60

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Resultados Prueba de Laboratorio	70
Anexo B. Manual de Operación de Planta Piloto	71

GLOSARIO

AGUAS RESIDUALES: “se consideran aguas residuales domésticas a los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales. Se denominan aguas residuales a los residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratados en una planta de tratamiento; También se acostumbra a llamar aguas negras a las AR provenientes de inodoros, es decir, aquellas que transportan excrementos humanos y orina, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales, también a las aportantes de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Sólidos Suspendidos (SS), fósforo y grasas”¹

AIREACION EXTENDIDA: “este proceso se conoce también como oxidación total, se dice que es una modificación del procedo de lodos activados. La idea fundamental de la aireación extendida es disminuir la cantidad de lodo residual. Esto se lleva a cabo aumentando el tiempo de residencia, de esta manera el volumen del reactor es mayor, esto lleva a que todo el lodo degradado o degradable formado, se consume mediante respiración endógena. Esto hace una gran ventaja ya que las instalaciones que se requieren son más pequeñas”²

AIREACIÓN: “la aireación es el proceso mediante el cual el agua se pone en contacto con el aire para modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ella. Su función principal en el tratamiento de agua residuales es proporcionar oxígeno y mezcla en los procesos de tratamiento biológico aerobio”³.

CARGA SUPERFICIAL: “caudal o masa de un parámetro por unidad de área y por unidad de tiempo, que se emplea para dimensionar un proceso de tratamiento, $m^3 / (m^2 \text{ día})$ ”⁴.

EDAD DE LODO: “tiempo medio de residencia celular en el tanque de aireación”⁵

EFICIENCIA DE TRATAMIENTO: “relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el efluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico, normalmente se expresa en porcentaje”⁶

LICOR MIXTO: “mezcla de lodo activado y aguas residuales en el tanque de aireación que fluye a un tanque de sedimentación secundario en donde se sedimentan los lodos activados”⁷

TIEMPO DE RETENCON HIDRAULICO: “tiempo medio que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento. Usualmente se expresa como la razón entre en caudal y el volumen útil”⁸

¹ ROMERO ROJAS, Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002. p. 19

² ROMALHO, R.S., Tratamiento de aguas residuales. Bogotá: Reverte, 1996. p. 199

³ ROMERO ROJAS, Op cit., p. 376

⁴ Ibíd., p.

⁵ Ibíd., p. 756

⁶ Ibíd., p.

⁷ Ibíd., p.

⁸ Ibíd., p.

RESUMEN

La Universidad Católica de Colombia actualmente presenta una deficiencia en el Laboratorio de Hidráulica de la facultad de ingeniería Civil para tratar los residuos líquidos que se generan en el laboratorio, debido a que no cuenta con un proceso para dar un manejo o tratamiento adecuado a dichos residuos líquidos.

El presente documento evidencia mediante la investigación realizada de orden teórico y práctico el diseño y la construcción de una planta piloto de aguas residuales domesticas (PTAR) que pueda satisfacer las necesidades del laboratorio de hidráulica de la facultad de ingeniería Civil, por medio de un sistema de aireación extendida, donde los efluentes que se generen durante las practicas realizadas en los laboratorios puedan llegar a este sistema de tratamiento y darles un adecuado manejo. El desarrollo de este proyecto incluye un manual de operación y mantenimiento del sistema. El proyecto del sistema de aireación extendida se desarrolló en cinco (5) fases, las cuales se describen a continuación 1.Calculo y dimensiones de cada proceso del sistema, 2.Desarrollo de planos mediante un software o programa para diseño, 3.Construcción del sistema piloto de acuerdo a los cálculos y diseños establecidos; 4.Realizar pruebas operacionales; 5.Realizar pruebas de laboratorio y análisis para evaluar la efectividad del sistema, obteniendo los resultados de cada proceso y comprobando la eficiencia del sistema se desarrollan las conclusiones y recomendaciones.

PALABRAS CLAVES: Aireación Extendida, PTAR, Tanque de entrada, Homogenización, aireación (reactor Biológico), Sedimentador secundario, recirculación, lodos, carga orgánica y Oxidación.

ABSTRACT

The Universidad Católica de Colombia currently has a deficiency in the Hydraulic Laboratory of the Civil Engineering faculty to treat the liquid waste generated in the laboratory, since it does not have a process to manage or treat said liquid waste.

This document evidences through the theoretical and practical research carried out the design and construction of a domestic wastewater pilot plant (WWTP) that can satisfy the needs of the hydraulics laboratory through an extended aeration system, where the effluents that are generated during the practices carried out in the laboratories can reach this treatment system, the development of this project includes an operation and maintenance manual for the system, the extended aeration system project was developed in five (5) phases; 1. Calculation and dimensions of each process of the system, 2. Develop the plans by means of a software or program for design, 3. Carry out the construction of the pilot system according to the established calculations and designs; 4. Carry out operational tests; 5. Perform laboratory tests and analyzes to evaluate the effectiveness of the system. After obtaining the results of each process and verifying the efficiency of the system, conclusions and recommendations are developed.

KEYWORDS: Extended Aeration, WWTP, Inlet Tank, Homogenization, Aeration (Biological Reactor), Secondary Settler, Recirculation, Sludge, Organic Load and Oxidation.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento exponencial de la población y el avance de la industria, trae consigo un aumento en la generación de las aguas residuales, convirtiéndose en una problemática por la contaminación de los ecosistemas y efluentes en los que es descargada, por esta razón se está en una búsqueda constante de métodos eficaces que cumplan con la descontaminación y limpieza del agua, siendo las plantas de tratamiento uno de los métodos más utilizados, ya que permite eliminar sustancias contaminantes del agua para luego poder ser reutilizada.

De acuerdo con lo anterior, el presente trabajo de grado tiene como propósito brindar una alternativa para la optimización de la PTAR existente en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad, para lo cual se realizan una serie de actividades empezando por la determinación de los caudales y dimensiones estructurales de una planta de tratamiento de aguas residuales de lodos activados y aireación extendida para una población de 5.000 habitantes. Luego de su diseño se realiza un prototipo a escala de la misma, con el cual se quiere comprobar su funcionamiento y efectividad, la metodología se desarrolla en las 6 etapas: Cálculo de las dimensiones acordes a cada parte del proceso del diseño, realización de los planos digitales del modelo en AutoCAD, compra de accesorios para la construcción de la PTAR, construcción de la planta piloto de agua residual doméstica (ARD) por aireación extendida, para realizar pruebas de operación, funcionamiento y pruebas de laboratorio, con el fin de establecer la eficiencia del sistema y cumplimiento normativo legal vigente y verificación de la eficiencia del sistema propuesto, se diseñó el manual de operación de la planta piloto.

Con el desarrollo de este trabajo se quiere no solo aplicar los conocimientos adquiridos durante la carrera de Ingeniería Civil en la línea de Aguas, sino dotar al laboratorio de hidráulica de un prototipo con el cual se pueden realizar prácticas que fortalezcan la formación profesional a la vez que sirva como contribución al desarrollo de nuevas estrategias al tratamiento de aguas residuales como mecanismo para la conservación del medio ambiente.

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

El tratamiento de aguas residuales es un tema de preocupación mundial, pues su generación es inevitable. Sin embargo, su recuperación es un factor de gran trascendencia en cuanto a saneamiento ambiental se refiere, ya que la mayor parte de las aguas residuales generadas llegan nuevamente a las fuentes hídricas haciendo necesario que éstas sean tratadas disminuyendo su nivel de contaminación.

En este sentido, cada vez se realizan más investigaciones para analizar los diferentes tipos de tratamientos de aguas residuales y sus efectos en la descontaminación del agua que llega a los diferentes afluentes, a nivel internacional se tiene por ejemplo el estudio realizado en 2013 titulado "*Life cycle assessment of small-scale constructed wetland and extended aeration activated sludge wastewater treatment system. International Journal of Environmental Science and Technology*"⁹ (Evaluación del ciclo de vida del humedal construido a pequeña escala y sistema de tratamiento de aguas residuales con lodos activados de aireación extendida), que tuvo como objetivo evaluar los impactos ambientales de dos tipos diferentes de sistemas de tratamiento de aguas residuales a pequeña escala, un humedal construido y un sistema de tratamiento de lodos activados de aireación extendida utilizando el método de evaluación del ciclo de vida. Los límites del sistema incluyeron las fases de construcción y operación, mientras que la evaluación se llevó a cabo utilizando el software *SimaPro* y los métodos de evaluación *Impact 2002+* y *ReCiPe* con etapas de caracterización y normalización, encontrándose que los impactos del sistema de tratamiento de lodos activados de aireación extendida son causados principalmente por el uso de electricidad y la calidad del efluente, por lo tanto, la fase de uso tiene un mayor impacto en el ciclo de vida.

Por otro lado, se cuenta con la investigación realizada en 2015 titulada "*Wastewater treatment in the pulp-and-paper industry: A review of treatment processes and the associated greenhouse gas emission*"¹⁰ (Tratamiento de aguas residuales en la industria de la pulpa y el papel: una revisión de los procesos de tratamiento y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas), en la cual se revisan diferentes procesos de tratamiento de aguas residuales utilizados en la industria de la pulpa y el papel y los compara con respecto a sus eficiencias de eliminación de contaminantes y alcance de las emisiones de gases de efecto

⁹ LOPSIK, K. Life cycle assessment of small-scale constructed wetland and extended aeration activated sludge wastewater treatment system. *International Journal of Environmental Science and Technology*. February, 2013. vol. 10, no 6, p. 1295-1308.

¹⁰ ASHRAFI, Omid; YERUSHALMI, Laleh y HAGHIGHAT, Fariborz. Wastewater treatment in the pulp-and-paper industry: A review of treatment processes and the associated greenhouse gas emission. En: *Journal of Environmental Management*. August, 2015. vol. 158, no. 1, p. 147

invernadero (*GEI*), evaluando además, el impacto de los parámetros operativos en el desempeño de diferentes procesos de tratamiento, encontrándose que, aunque tanto los procesos biológicos aeróbicos como los anaeróbicos son apropiados para el tratamiento de aguas residuales. Su combinación conocida como procesos híbridos muestra una mejor capacidad de eliminación de contaminantes con mayores eficiencias en condiciones de operación optimizadas con emisiones *GEI* y costos de energía reducidos.

Adicionalmente, el estudio titulado “*A Review Paper on Industrial Waste Water Treatment Processes*”¹¹ (revisión sobre procesos de tratamiento de aguas residuales industriales) realizado en 2015, revisó 5 investigaciones sobre procesos de tratamiento de aguas residuales industriales, los métodos empleados en estas investigaciones son aeróbicos, anaeróbicos o la combinación de ambos métodos; encontrándose que los sistemas anaeróbicos demuestran ser una excelente tecnología de tratamiento para muchas áreas del mundo, ya que se entiende bien y se usa con frecuencia a través de digestores anaeróbicos para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos complejos, tales como lodos de aguas residuales primarias y secundarias. Convirtiéndose en una alternativa práctica y económica con mejores resultados respecto a los tratamientos aeróbicos.

A nivel académico, también se han desarrollado análisis y diseños de plantas de tratamiento de aguas residuales utilizando diversos métodos de saneamiento, entre ellos se tiene el trabajo realizado por estudiantes de la Universidad Javeriana de Cali titulado “*Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para el 70% de la población de la cabecera municipal de Cajamarca, Tolima*”¹², el cual tuvo como objetivo diseñar el sistema de tratamiento para el municipio buscando dar solución a los problemas de vertimiento, y en el cual se aplicaron varias áreas de la ingeniería civil, presentado información base necesaria para el diseño, cálculos, chequeos y modelaciones para obtener como resultado una PTAR que garantizara la remoción eficiente y que cumplieran con la normatividad vigente.

Así mismo, se tiene trabajos en los que se desarrollan modelos o prototipos de tratamientos de aguas residuales a pequeña escala como el propuesto por estudiantes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo – Ecuador titulado “*Diseño De Una Planta De Tratamiento De Aguas Residuales Para Su Reutilización En Riego En Áreas Verdes*”, el cual se basó en un prototipo de laboratorio bajo condiciones controladas con el objeto de reconducir los índices de

¹¹ MOSES KOLADE, David. Review paper on industrial wastewater treatment processes [en línea]., Nsukka: University Of Nigeria [citado 11 abril, 2019]. Disponible en Internet: <URL: https://www.researchgate.net/publication/305827717_A_Review_Paper_on_Industrial_Waste_Water_Treatment_Processes>

¹² CORTES, Valentina; JARAMILLO, Laura; MARIN, David; TORRES, Juan; VEA, Leydi y ZULUAGUA, Juan. Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para el 70% de la población de la cabecera municipal de Cajamarca, Tolima [en línea]. Cali: Universidad Javeriana [citado 28 marzo, 2029]. Disponible en Internet: <URL: http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/8643/Articulo_cientifico.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

calidad del agua a condiciones seguras dentro del campus “Edison Riera” de la Universidad para su reutilización en el riego de áreas verdes, a través de procesos unitarios, en base al resultado de porcentajes de reducción de materia orgánica contaminante y aplicando procesos de tratamiento por lodos activados. Encontrándose que, el sistema controlado por lodos activados y aireación prolongada ayuda a que los microorganismos aerobios se desarrollen en el sistema y estos se encarguen de descomponer la materia orgánica de las aguas residuales “obteniendo porcentajes de reducción de los parámetros de control como la demanda biológica de oxígeno en un 93.75%, demanda química de oxígeno en un 85.02%, color 93.84%, turbiedad 90.29% y coliformes 87.51%. Determinando con pruebas de laboratorio que el tratamiento de aguas residuales por medio de lodos activados es el tratamiento más eficiente”¹³.

Como se puede observar los avances que aportan las investigaciones para el desarrollo de nuevas técnicas de tratamiento de aguas residuales es importante, en función de la mitigación de los índices de contaminación de los afluentes que reciben las aguas servidas, tanto industriales como de uso doméstico.

En este sentido, es importante seguir avanzando en el estudio y análisis de la optimización de plantas de tratamiento de aguas residuales, dado que a través de éstos se logran resultados más favorables. Por tanto, la realización de este trabajo permitirá no solo aplicar los conocimientos adquiridos durante la carrera de Ingeniería Civil en la línea de Aguas, sino que brindará una alternativa para la optimización de la PTAR que existe en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad y que servirá como aporte para el desarrollo de nuevas estrategias de tratamiento de aguas residuales en entidades educativas como la Universidad Católica De Colombia, siendo además un aporte para la protección de medio ambiente y la comunidad que rodea la institución, puesto que esto servirá como ejemplo para futuras generaciones en nuestra universidad y facilitara el aprendizaje de los estudiantes.

1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Descripción del problema. El tratamiento de aguas residuales en Colombia se ha convertido en uno de los problemas ambientales más críticos y crecientes. La descarga de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias están contaminando los ríos, “las aguas subterráneas y humedales, causando un grave daño al medio ambiente y a la salud humana, Los vertimientos generados por el sector agrícola colombiano son los más contaminantes”¹⁴. A este

¹³ CÁCERES MENA, Mayra Elizabeth; ARGUELLO GUADALUPE, Carla Sofía; PINO VALLEJO, Marco Vinicio; MONTENEGRO CÓRDOVA, Galo Briam y VERDUGO BERNAL; Catalina Margarita. Diseño De Una Planta De Tratamiento De Aguas Residuales Para Su Reutilización En Riego En Áreas Verdes. En: European Scientific Journal. Julio, 2017. Vol.13, no.18, p. 94

¹⁴ OLIVER, Barry G.; COSGROVE, Ernest G. The efficiency of heavy metal removal by a conventional activated sludge treatment plant. Water research, July, 1974. vol. 8, no 11, p. 869-874.

tipo de descargas les siguen las realizadas por grandes ciudades debido al uso doméstico de agua, seguidas por las del sector industrial, sobre todo por los productores de alimentos. Por ello, “el tratamiento de aguas residuales en Colombia es un problema prioritario para resolver para poder minimizar los daños ambientales ocasionados por el vertimiento de aguas no tratadas, considerándose como un tema de salud pública”¹⁵.

Por lo tanto, el agua es uno de los recursos naturales indispensable para la vida, sin embargo, el hacer uso de ésta en las diversas actividades diarias de las personas produce las aguas residuales que deben volver al medio ambiente, por lo que se convierte en una preocupación, pues es un agua contaminada con diferentes elementos y que puede incidir en la conservación de la salud, la seguridad pública y la preservación del medio ambiente, al respecto se ha evidenciado con ejemplos como el Río Bogotá que, si las aguas residuales no se tratan adecuadamente, el medio ambiente y la salud humana pueden verse afectados negativamente. “Estos impactos pueden incluir daños a las poblaciones de peces y vida silvestre, agotamiento de oxígeno, cierre de playas y otras restricciones sobre el uso del agua recreativa, restricciones en la captura de peces y mariscos y contaminación del agua potable”¹⁶; por esta razón las plantas de tratamiento de aguas residuales es la principal solución para que el agua vuelva al medio ambiente de forma segura para los humanos, animales y plantas.

En este sentido, las PTAR prestan un gran servicio y con el paso del tiempo puede generar beneficios como “un mejoramiento con el medio ambiente y/o su capacidad para atender el requerimiento de saneamiento de futuras generaciones, pues las poblaciones y las industrias crecen generan mayor cantidad de agua residual; así mismo, los procesos y la tecnología de tratamiento de agua van cambiando y mejorando continuamente, pero esto significa que las instalaciones existentes tienen que mantenerse al día con esos cambios”¹⁷, esta situación que para el caso colombiano muestra que “Lamentablemente, no todos los sistemas tratan la totalidad del agua residual producida: se estima que solo un 10% de los sistemas construidos tienen un adecuado funcionamiento”¹⁸

¹⁵ ACUATECNIA S.A.S. Aguas residuales [en línea]. Bogotá: La empresa [citado 27 marzo, 2020]. Disponible en Internet: <URL: <https://acuatecnica.com/la-situacion-del-tratamiento-aguas-residuales-colombia/>>

¹⁶ FONTANERO MURCIA. ¿Alguna vez te has preguntado dónde va el agua? en línea]. Bogotá: La empresa [citado 27 marzo, 2020]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.fontaneromurcia-24h.com/alguna-vez-te-has-preguntado-donde-va-el-agua/>>

¹⁷ SMART MACHINE TECHNOLOGIES. Problems with wastewater treatment facilities [en línea]. Virginia: Website & Marketing [citado 28 marzo, 2020]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.smartmachine.com/problems-with-wastewater-treatment-facilities/>>

¹⁸ MESA, Adriana Milena; CARDONA PATIÑO, Leonardo y SALAZAR SALAS, Lady Alexandra. El agua residual: un análisis a partir de las diferentes actividades humanas [en línea]. Manizales: Universidad de Manizales [citado 28 marzo, 2020]. Disponible en Internet: <URL: https://es.slideshare.net/leonardo-cardonapatio/trabajo-colaborativo-82862002?from_action=save>

1.2.2 Formulación del problema. ¿Cuál es el aporte que brinda el diseño e implementación de una PTAR de lodos activados de aireación extendida, en las actividades académicas del laboratorio de Hidráulica de la Universidad Católica de Colombia?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general. Diseñar y construir una planta de tratamiento de agua residual de lodos activados de aireación extendida a escala para el laboratorio de hidráulica de la Universidad Católica de Colombia.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Determinar los caudales y dimensiones estructurales para una planta de tratamiento de aguas residuales de lodos activados y aireación extendida para una población de 5.000 habitantes.
- Diseñar planta de tratamiento de aguas residuales de lodos extendidos y aireación según cálculos de diseño.
- Construir prototipo a escala de planta de tratamiento de aguas residuales realizando pruebas de funcionamiento y efectividad del tratamiento.

1.4 ALCANCE Y LIMITACIÓN

1.4.1 Alcance. El alcance del presente trabajo será la construcción y puesta en funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales de lodos activados de aireación extendida a escala, incluyendo memorias de cálculo de diseños, planos y pruebas de laboratorios de la calidad de agua tratada, explicación de resultados obtenidos mediante diagramas de flujos y banner informativo.

1.4.2 Limitación. Las posibles limitaciones para el desarrollo del proyecto son las siguientes:

- Dificultad en la disponibilidad y utilización de los equipos requeridos para realizar las caracterizaciones del agua a tratar.
- Dificultad en la adquisición del material requerido para realizar el prototipo de la PTAR planteada.
- Tiempo suficiente para desarrollar los objetivos propuestos y presentar el resultado final.
- Financiación del presupuesto requerido para la realización de la investigación.

1.5 MARCO DE REFERENCIA

1.5.1 Marco Teórico.

1.5.1.1 Tratamiento de aguas residuales. El agua residual es el agua que se ha liberado al medio ambiente definida como una combinación del agua más los desechos que se le han agregado desde una variedad de usos, tales como residenciales, industriales y comerciales. Estas contaminaciones pueden ser peligrosas para el cuerpo humano y el medio ambiente, por lo que las aguas residuales deben tratarse para evitar que ocurran estos daños, el proceso que purifica las aguas residuales para descargarlas nuevamente en un curso de agua se conoce como tratamiento de aguas residuales. El tratamiento de aguas residuales utiliza procesos químicos, físicos y biológicos para limpiar las aguas residuales con el fin de proteger el medio ambiente y la salud pública.

El tratamiento de aguas residuales es según la Guía de tratamientos avanzados¹⁹ el proceso de eliminación de contaminantes de las aguas servidas, en el que se incluyen procesos físicos, biológicos y, a veces, químicos para eliminar contaminantes, para lograr la producción de un agua de alcantarillado segura para el medio ambiente, llamada afluente, y un desecho sólido, llamado lodo o biosólidos, adecuado para su eliminación o reutilización, la cual suele ser con fines agrícolas, aunque recientemente éstos son usados como fuente de combustible.

A continuación, se exponen los autores reconocidos y teorías sobre la temática planteada (véase la Tabla 1):

¹⁹ DEL VILLAR GARCÍA, Alberto. Guía de tratamientos avanzados de aguas residuales urbanas. Alcalá: Universidad de Alcalá, 2010. p. 13.

Tabla 1. Teorías sobre Tratamiento de Aguas Residuales

AUTOR	SUBTÍTULO	AÑO	TEORÍA
John Arundel	Tratamiento de aguas negras y efluentes industriales	2002	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tratamiento preliminar. 2. Separación de sólidos suspendidos por sedimentación y flotación. 3. Métodos para separar metales. 4. Métodos biológicos.
Ricardo Isla de Juana	Proyectos De Plantas De Tratamiento De Aguas, Aguas de proceso, residuales y de refrigeración	2005	<p>Se desarrolla en los procesos para el pretratamiento y tratamiento primario del agua: Bases de partida, pozos de gruesos, rejillas de desbaste, tamices, desarenadores, separadores de aceite, eliminación de fósforo.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Procesos para el tratamiento biológico o secundario del agua: Dosificación de nutrientes, determinación teórica de DQO. 2. Procesos para el tratamiento avanzado o terciario del agua: Cloración, filtros de arena, carbón activo.
SETTE RUBENS RAMALHO	Tratamiento de aguas residuales	2007	<p>Se enfoca en la caracterización de las aguas residuales domésticas e industriales; Pretratamientos y tratamientos primarios.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Teoría y práctica de la aireación en tratamientos de aguas residuales. 2. Tratamiento secundario: el proceso de lodos activos. 3. Tratamiento secundario: otros procesos aerobios y anaerobios. 4. Tratamiento y evacuación de lodos. 5. Tratamiento terciario de las aguas residuales.
José Ferrer Polo	Tratamientos biológicos de aguas residuales	2007	<p>Se enfoca en los Métodos biológicos de tratamiento de aguas residuales.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Organismos más importantes que intervienen en los sistemas de tratamiento biológico. 2. Procesos que tienen lugar en los tratamientos biológicos. 3. Cinética de las reacciones de los organismos heterótrofos. 4. Procesos biológicos de cultivo en suspensión. 5. Crecimiento celular. 6. Fangos activados. 7. Desnitrificación en cultivos en suspensión. 8. Eliminación biológica de fósforo. 9. Plantas de tratamiento de aguas residuales para la eliminación biológica.

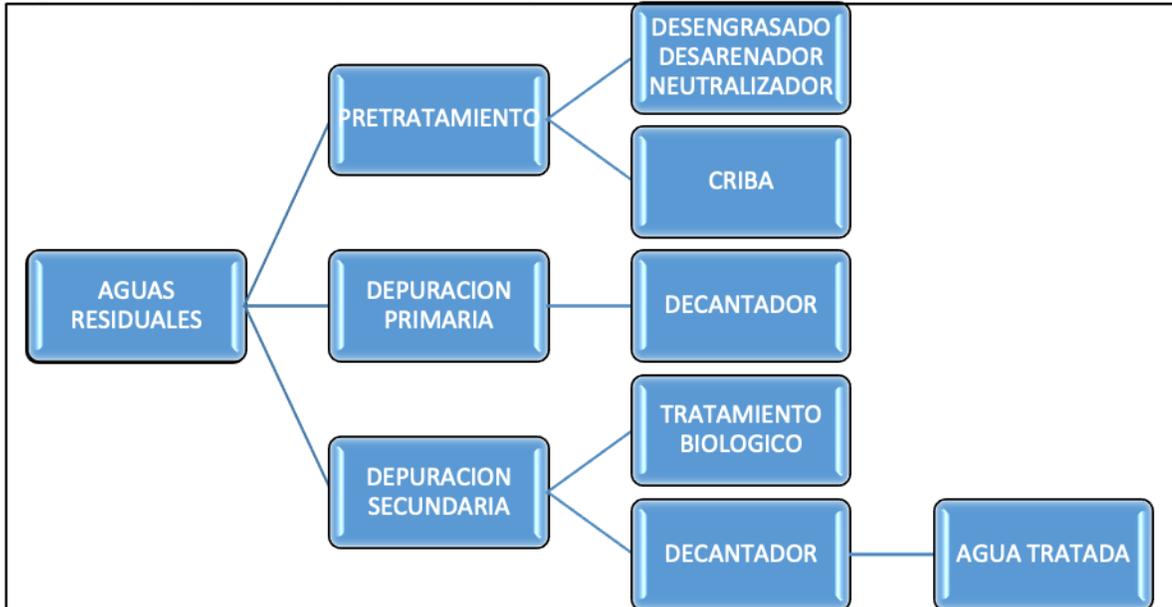
Tabla 1. (Continuación)

AUTOR	SUBTÍTULO	AÑO	TEORÍA
José Carlos Segura Cobo	Maquinaria para tratamiento y depuración de aguas. fundamentos y aplicaciones	2009	Este libro brinda una perspectiva de la Ingeniería y Tecnología Ambiental, proporciona una panorámica general sobre este amplio grupo de maquinaria específica y complementaria utilizada en las estaciones depuradoras y de tratamiento del agua potable, así como en las plantas desalinizadoras.
Jairo Alberto Romero Rojas	Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño.	2014	En esta obra se presentan los principios y métodos básicos para formular y aplicar dicha metodología, así como para concretar su diseño. Está dirigida a ingenieros y estudiantes del tratamiento de aguas residuales que deseen conocer los fundamentos y el diseño de las operaciones y procesos que componen un sistema de control de contaminación de aguas residuales. Se incluyen múltiples ejemplos.
Aurelio Hernández Muñoz	Depuración y desinfección de aguas residuales	2015	Los temas de depuración de las aguas residuales forman parte de las publicaciones relativas a la protección del medio ambiente, con dedicación especial a los recursos de agua y su protección, preparados por la Cátedra de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid.

Fuente. El Autor

1.5.2 Marco conceptual. El marco conceptual del proyecto se centra en los componentes principales relacionados con el tratamiento de aguas residuales como se muestra en la Figura 1:

Figura 1. Mapa Conceptual del Proyecto



Fuente. El Autor

1.5.2.1 Aguas residuales. Se consideran Aguas Residuales a “los líquidos que han sido utilizados en las actividades diarias de una ciudad (domésticas, comerciales, industriales y de servicios)”²⁰.

1.5.2.2 Planta de tratamiento de agua residual. Es una instalación que trata las aguas contaminadas, buscando la separación de dichos desechos sólidos, tóxicos y demás contaminantes que hace parte de ella, buscando generar agua pura y libre contaminante, que sea digerible a todo ser vivo, para esto se utiliza la depuración de aguas residuales que realiza tres procesos principales una vez el agua es captada, esto es conocido como el pretratamiento en el cual se hace cribado de agua, desengrasado, desarenado y la neutralización de lodos.

El segundo proceso es la depuración primaria en el decantador y finalmente, la depuración secundaria en la cual se realiza el tratamiento biológico y la decantación (véase la Figura 2):

²⁰ CUIDO EL AGUA.GOR. ¿Que son las aguas residuales? Bogotá: La Empresa [citado 28 marzo, 2020]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.cuidoelagua.org/empapate/aguaresiduales/aguasresiduales.html>>

Figura 2. Esquema de una Depuración de Aguas Residuales

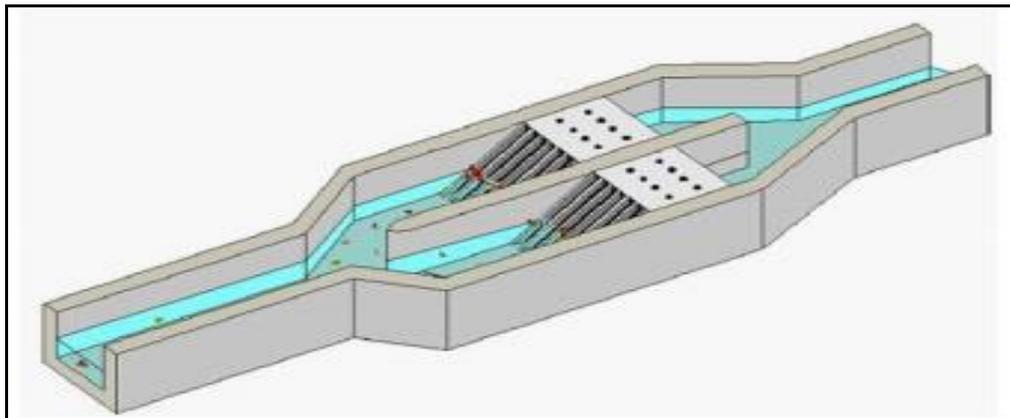


Fuente. AGUAMARKET. Esquemas de depuración [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 28 marzo, 2020]. Disponible en Internet: <URL: https://www.aguamarket.com/noticias/noticias.asp?id_noticia=3934¬icia=como+opera+una+planta+de+tratamiento+de+aguas+residuales%3F>

1.5.2.3 Tratamientos preliminares – pretratamiento. Es el primer paso que se debe efectuar antes de los demás procesos de tratamientos primarios, secundarios, o terciarios, debido que las aguas residuales vienen acompañadas con desechos sólidos gruesos; en este primer movimiento se busca retener aquellos solidos voluminosos para poder proceder con los siguientes tratamientos, para esto es necesario utilizar rejillas, tamices y microfiltros.

➤ **Rejillas.** Buscan retener aquellos desechos sólidos grandes, con el objetivo de no dar paso a estos remanentes y de no afectar el funcionamiento de las bombas, válvulas, aireadores y demás procedimientos de tratamiento de aguas residuales subsiguientes (véase la Figura 3):

Figura 3. Cribado



Fuente. BELZONA INC. Tratamiento de Aguas Residuales. Madrid: La Empresa, 2010. p. 10.

➤ **Tamices.** Después de pasar por las rejillas, el agua llega hasta los Tamices, que tienen grietas menores que remueven un porcentaje más de desechos, para prevenir aprietos en las tuberías, con filtros biológicos. Cuentan con una abertura de 2.5 mm. Tiene la particularidad de dejar correr el agua y diminutas partículas de lodo y arena (véase la Figura 4):

Figura 4. Tamices

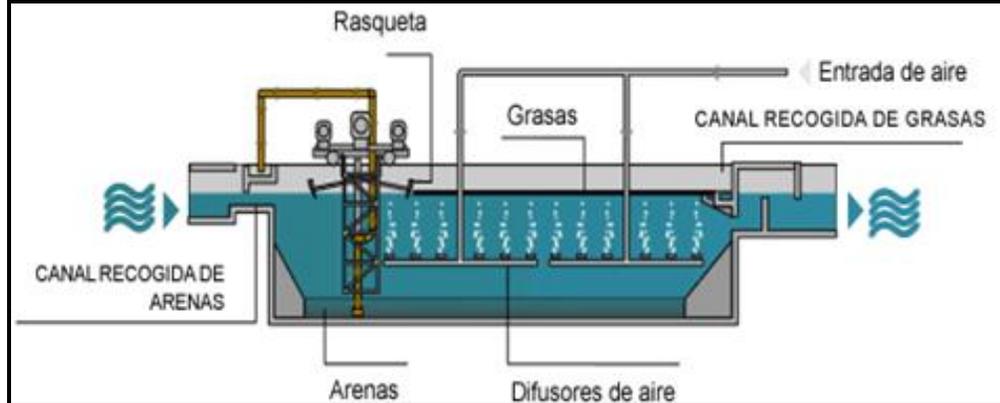


Fuente. UBER TECHNOLOGY WASTEWATER. Tratamiento Preliminar Mecánico + Cribas [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 28 marzo, 2020]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.huber.mx/es/la-compania/huber-tv-videos.html>>

➤ **Desarenadores y Desengrasado.** Es un tanque sedimentador que retiene la arena que transporta el agua residual, evitando su ingreso al canal de aducción o al proceso de tratamiento para que éstos no sean obstaculizados, en la actualidad se pueden encontrar tres tipos que son: “desarenadores horizontal, vertical e inducido; permiten así mismo, separar las sustancias que no fueron retenidas por los demás procedimientos, como arena, lodo, espumas, grasas, semillas y entre otros”²¹; una vez que el agua ha recorrido los microfiltros, se almacena en los desarenadores, con la finalidad de separar las grasas, lodo y arena (véase la Figura 5):

²¹ WATER TECHNOLOGY ENGINEERING. Sewage Water Treatment Information Plants [en línea]. United Kingdom: La Empresa [citado 20 marzo, 2019]. Disponible en Internet: <URL: http://www.crystaltanks.com/sewage_treatment_plant_crystal.html>

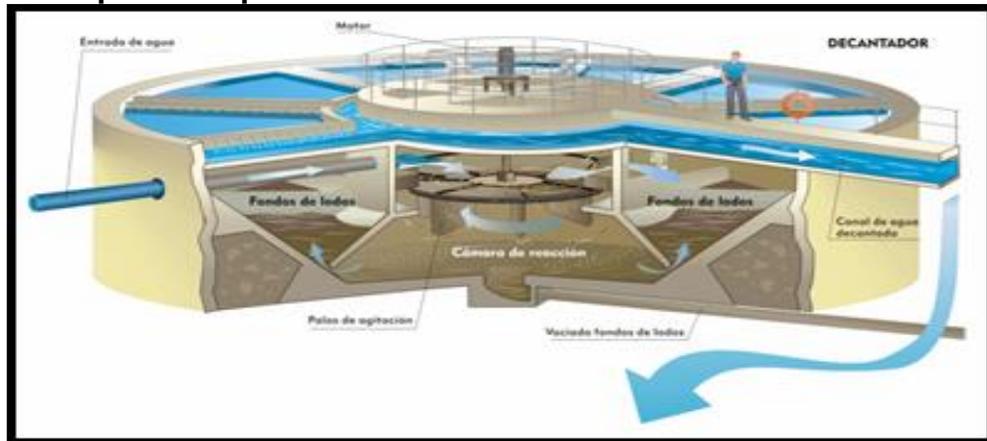
Figura 5. Desarenadores y Desengrasado



Fuente. MUÑOZ TORRERO, I. Funcionamiento de una Estación Depuradora de Aguas Residuales [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 28 marzo, 2020]. Disponible en Internet: <URL: <https://iesmunoztorrero.educarex.es/web/aguaserena/activid/edar/edar.ht>>.

1.5.2.4 Depuración primaria. En esta etapa se busca eliminar los posibles contaminantes, utilizando tratamientos físicos o fisicoquímicos. Este procedimiento busca sedimentar el agua residual dejando el agua en reposo a un determinado tiempo. “Como resultado se separan los sólidos del líquido, usando procesos físicos como el Cribado, este proceso permite que el agua transite por un canal con rejillas de diferente grosor o espacios vacíos, estas rejillas retienen el material o partículas más grueso permitiendo que el agua pase a un sistema de homogenización”²²; este tratamiento es llamado decantación o sedimentación primarias (véase la Figura 6):

Figura 6. Depuración primaria

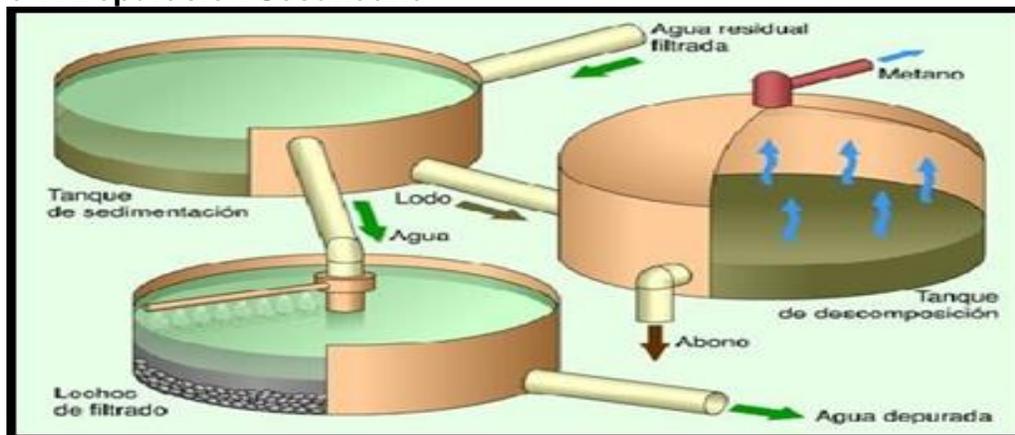


Fuente. Agua Potable. Decantación [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 28 marzo, 2020]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.elaguapotable.com/decantacion.htm>>.

²² FLOWATER. Sewage Treatment Plant (STP) [en línea]. Bangladesh: La Empresa [citado 12 abril, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <http://flowaterbd.com/home/sewage-treatment-plant-stp/>>

1.5.2.5 Depuración secundaria. Este tratamiento busca eliminar aquellas partículas que no fueron retenidas por la primera sedimentación, este proceso biológico llamado reactor aerobio, en donde se digiere la materia orgánica y es sometida a un sistema de burbujeo, agitación o aireación, con la finalidad de hacer crecer los microorganismos. “El proceso se lleva a cabo en tanques rectangulares en donde se realiza la decantación de lodo; de igual manera se pueden utilizar biodiscos que regulan el espesor y el rozamiento del agua con el lodo”²³ (véase la Figura 7):

Figura 7. Depuración Secundaria



Fuente. FIBRAS Y NORMAS DE COLOMBIA. Decantación de lodos [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 28 marzo, 2020]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.fibrasynormasdecolombia.com/terminos-definiciones/decantacion-definicion-tipos-aplicaciones-estanques-tipos/>>

1.5.2.6 Tratamientos terciarios. Este último proceso es el encargado de dar fin a todos los contaminantes del agua residual como: fosforo, nitrógeno, minerales, metales, virus y compuestos orgánicos; este proceso presenta altos costos, es común ver este tipo de procesos cuando se tratar aguas industrializadas.

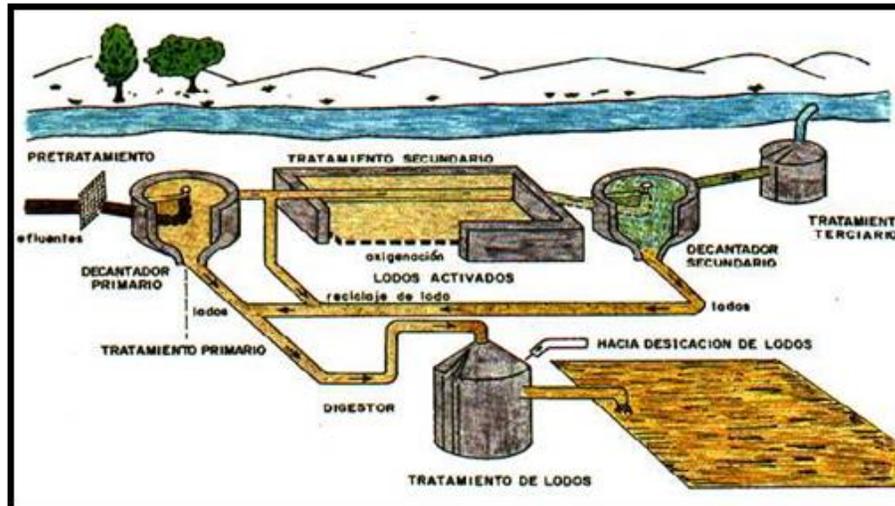
Salazar Cano explica que “El tratamiento terciario se emplea para mejorar dichas aguas tratadas en el tratamiento secundario, a través de éste se da una purificación y se reduce la demanda bioquímica de oxígeno”²⁴; el procedimiento consiste en clarificar el agua y transportar el lodo al digestor, en el cual es sometido a una temperatura de 35°C, este tratamiento es llamado reactor anaerobio, tiene un largo periodo de 17 a 21 días, a su vez genera biogás, el cual se debe eliminar por medio de calentadores para reducir la contaminación. Por otro lado, el lodo debe ser transportado para su deshidratación, para luego

²³ FIBRAS Y NORMAS DE COLOMBIA. Decantación de lodos [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 28 marzo, 2020]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.fibrasynormasdecolombia.com/terminos-definiciones/decantacion-definicion-tipos-aplicaciones-estanques-tipos/>>

²⁴ SALAZAR CANO, Roberto. Tratamiento de aguas residuales en acuicultura [en línea]. Pasto: Universidad de Nariño [citado 28 marzo, 2020]. Disponible en Internet: <URL: <http://revistas.udenar.edu.co/index.php/reipa/article/view/1590/1929>>

finalizar con el secado. El agua purificada se puede emplear en riegos de cultivos o zonas verdes y en agricultura (véase la Figura 8):

Figura 8. Tratamientos Terciarios



Fuente. ILUIMICAS TODO ES QUÍMICA. Tratamientos terciarios [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 28 marzo, 2020]. Disponible en Internet: <URL: <https://iquimicas.com/proceso-de-tratamiento-de-aguas-residuales/>>.

1.5.2.7 Mecanismos. Los mecanismos que se presentan en el tratamiento de aguas por aireación extendida, son homogenización, aireación, sedimentación y retorno de lodos.

Durante el desarrollo del proceso pueden distinguirse tres fases principales. En la primera, llamada fase de crecimiento logarítmico, se verifica un rápido crecimiento de los microorganismos que tiene a disposición cantidades abundantes de comida; al mismo tiempo se asiste a una veloz reducción del sustrato utilizado para el metabolismo. A medida que la cantidad de sustrato disponible disminuye, el proceso de crecimiento se vuelve más lento dando lugar a la fase de crecimiento lento. Continuando con el proceso, el sustrato disminuye de manera tan considerable que resulta insuficiente para todos los microorganismos que, como consecuencia mueren en parte, suministrando de tal forma sustrato para los microorganismos aún activos; esta fase de autooxidación de los microorganismos es denominada fase de respiración endógena.

1.5.2.8 Entrada. En la práctica, es una variable importante ya que el sistema de aireación extendida se vuelve más eficiente con una mayor carga orgánica. Sin embargo, el agua debe pasar por unas rejillas de cribado de diferentes dimensiones entre sus barras, ya que por una primera fase se retienen partículas más grandes y en una segunda fase se retienen partículas más pequeñas, esto con el fin de poder obtener una menor carga orgánica para que el proceso sea más eficiente y se produzca el lodo necesario para mantener la operación del

sistema. Se debe tener en cuenta que la operación de la planta varía según la cantidad de carga orgánica ya que esto es una variable importante en términos de producción de lodo estabilizado.

1.5.2.8 Homogenización. La homogenización es un proceso importante en el proceso de aireación extendida ya que en esta parte del proceso se busca realizar una mezcla de la carga orgánica en el agua para que al pasar al proceso de aireación se transfiera igualmente material coloidal que al contacto con el aire se genere el proceso que la planta necesita para iniciar su proceso de tratamiento y generación de lodo estabilizado.

1.5.2.9 Aireación extendida. La aireación extendida se lleva a cabo por dos generadores de aire el cual fluye por medio de un sistema de burbujas finas, con el fin de oxigenar toda la masa de agua y se pueda generar el proceso de degradación de la materia orgánica que al final del tiempo se convertirá el lodo estabilizado y será esto lo que ayude a tratar el agua.

Uno de los factores más importantes en el dimensionamiento de una unidad de lodos activos es la carga orgánica referida a los microorganismos. La misma define la cantidad de sustrato (expresada en Kg BOD5 por día), que es introducido en el tanque de aireación por unidad de biomasa presente (expresada en kg de sólidos suspendidos volátiles). En la práctica si la planta trabaja con carga alta significa que la cantidad de sustrato (alimentos) a disposición por unidad de masa de microorganismos es elevada; lo contrario se verifica si la planta trabaja con carga baja. La carga orgánica aplicada está indicada en la literatura anglosajona con (F/M) que indica la relación entre cantidad de comida (food) y microorganismos.

Suponiendo que introducir en un tanque mantenido en condiciones aeróbicas, una “descarga con cantidad de DBO (demanda Bioquímica de Oxígeno) y examine el reactor con microorganismos aeróbicos”²⁵. A lo largo del proceso se asiste a una disminución del DBO en la fase líquida que es utilizado por los microorganismos para su metabolismo, simultáneamente con un aumento de la cantidad de microorganismos luego de la producción de nuevas células

1.5.2.10 Oxidación. Las aguas residuales que llegan a la zona de oxidación, donde luego de la acción de las bacterias de tipo aeróbico, son sometidas a un proceso de demolición de la sustancia orgánica. La Oxidación de las aguas residuales se verifican mediante un difusor que produce dentro del cuerpo de agua aire de burbujas medianas – finas.

²⁵ COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Tratamiento De Aguas Residuales, Título E. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS. Bogotá: Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000. p. 80

El aire es enviado por un compresor situado fuera del tanque y llevado a unos difusores ubicados dentro del tanque de aireación. En el tanque se obtiene una concentración de oxígeno disuelto de aproximadamente 2 mg/l.

1.5.2.11 Sedimentación. Las aguas residuales pasan luego a la fase de Sedimentación. Teniendo en cuenta los tiempos de retención, los sólidos presentes en la corriente proveniente de la zona de oxidación son separados del flujo. Esto ocurre en una oportuna zona de calma obtenida instalando un contenedor dentro del cuerpo de oxidación con el que está comunicado a través de una apertura situada en el fondo. En esta fase ocurre la separación entre las aguas tratadas y el lodo que regresa por bombeo a la zona de oxidación subyacente. Considerando una carga hidráulica superficial y obteniendo una superficie de sedimentación equivalente.

1.5.2.12 Variables en el proceso. Las operaciones que se llevan a cabo en el proceso fisicoquímico para el tratamiento son:

- Mezclado.
- Aireación.
- Separación.
- Carga Hidráulica
- Superficie de Sedimentación

Cada una de estas operaciones tiene sus variables de diseño y operación definida para lograr un buen resultado, para ello es necesario que las variables estén dentro de los límites que establece el proceso.

Las dos primeras operaciones, mezclado y aireación, se deben considerar como una sola, ya que después del mezclado se logra definir la carga orgánica que se debería airear.

Las variables que intervienen y que hay que considerar para lograr una buena operación son:

- ✓ Aireación
- ✓ Lodos
- ✓ DBO
- ✓ Oxidación
- ✓ pH.
- ✓ Sólidos suspendidos.

Variables del equipo:

- ✓ Tipo de equipo.
- ✓ Parámetros específicos.

➤ **pH.** El pH de la solución es muy importante y requerirá normalmente de un ajuste antes de iniciar el tratamiento. Como se ha señalado en el inciso anterior, “una de las formas más comunes de efectuar la coagulación, es la utilización de sales de aluminio y/o Hierro, para precipitar los hidróxidos correspondientes, siguiendo el mecanismo de entrapamiento”²⁶.

Esto ha sido motivo de muy diversos estudios en los cuales se ha determinado las condiciones bajo las cuales se logran formar los hidróxidos más estables en solución. En términos generales el pH es una de las variables más importantes y los valores deben de ser de alrededor de 5 – 9 unidades de pH.

➤ **Sólidos Suspendidos.** Los sólidos suspendidos en la solución pueden ser en muchos casos un obstáculo para utilizar los equipos en forma eficiente. Esto es aplicable a bombas y mezcladores en línea.

En algunos casos la presencia de sólidos puede ayudar a convertirse en un alimento para la generación de lodos estabilizados y así volver más efectivo el sistema de tratamiento por aireación extendida. En caso de ser atractiva esta situación, el sistema deberá diseñarse con equipo específico para el manejo de sólidos, el cual por lo general tiene un costo mayor.

➤ **Equipo de Mezclado.** “Existe una gran variedad de equipos de mezclado que pueden utilizarse para efectuar la mezcla requerida para llevar a cabo la homogenización. La selección del equipo estará en función del flujo del agua a tratar y la economía del sistema. Cuando el mezclado se realiza mediante un equipo convencional de tanque con agitación, el criterio para su dimensionamiento está en función del gradiente de velocidad requerido durante el mezclado”²⁷, el cual se estima mediante la siguiente ecuación:

$$G = \sqrt{\frac{P}{V * \vartheta}}$$

Dónde:

G= Gradiente de velocidad

P= Potencia del agitador

V= Volumen del tanque

ϑ = Viscosidad cinemática

²⁶ RUIZ CARMONA, Oscar. Tratamiento Físico – Químico De Aguas Residuales. [en línea]. México: Servi Aqua Móvil S.A [citado 25 abril, 2018]. Disponible en Internet: <URL: https://nanopdf.com/download/tratamiento-fisico-quimico-de-aguas-residuales_pdf >

²⁷ RUIZ CARMONA, Oscar. Tratamiento Físico – Químico De Aguas Residuales. [en línea]. México: Servi Aqua Móvil S.A [citado 25 abril, 2018]. Disponible en Internet: <URL: https://nanopdf.com/download/tratamiento-fisico-quimico-de-aguas-residuales_pdf >

Esta ecuación fue definida desde 1943 por *Camp and Stein* y se continúa utilizando como la mejor alternativa, habiéndose definido los valores requeridos para obtener una operación eficiente.

Existe bastante información experimental y en manuales de diseño donde se dan valores recomendados para los diversos tipos de mezclado

Los principales sistemas de mezclado rápido que se utilizan son:

- ✓ Tanques con agitadores.
- ✓ Inyección de reactivos en tubería mediante tobera.
- ✓ Turbina en línea.
- ✓ Mezcladores en línea.

➤ **Separación.**

✓ Mezcladores estáticos. Para todos estos sistemas se ha derivado las ecuaciones para estimar los valores de los Gradientes de Velocidad (G) y poder aplicar los criterios definidos.

“Muchas plantas tienen una etapa de sedimentación donde el agua residual se pasa a través de tanques circulares o rectangulares con tiempos de retención suficientes para que las partículas sólidas sean separadas por gravedad”²⁸.

La sedimentación es un proceso físico que aprovecha la diferencia de densidad y peso entre el líquido y las partículas suspendidas.

Los sólidos más pesados que el agua se precipitan produciendo su separación del líquido. Estos tanques son comúnmente llamados clarificadores primarios o tanques de sedimentación primarios.

Los tanques son lo suficientemente grandes, tal que los sólidos fecales pueden depositarse y el material flotante como la grasa que no ha sido retenida en el pretratamiento sea retenida en este proceso.

“El propósito principal de la etapa primaria es producir un líquido homogéneo capaz de ser tratado biológicamente y unos fangos o lodos que pueden ser tratados separadamente”²⁹.

²⁸ ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA. Tratamiento De Aguas Residuales [en línea]. Medellín: La Universidad [citado 18 marzo, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/tratamientoresiduales/tratamientoresiduales.html>>

²⁹ AQUATEC WATER TECHNOLOGIES. La importancia de una planta de tratamiento de agua residual hacia el ambiente [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 18 marzo, 2018]. Disponible en internet: <URL: <http://aquatec.com.pa/2016/10/21/la-importancia-de-una-planta-de-tratamiento-de-agua-residual-hacia-el-ambiente/>>

➤ **Tanque de homogenización.** “Los tanques de Homogenización son concebidos para reducir los picos de caudal, temperatura, pH y contenidos orgánicos para ser introducidos de manera homogénea en los reactores para su tratamiento”³⁰.

➤ **Tratamiento secundario biológico.** “El tratamiento secundario está diseñado para degradar sustancialmente el contenido biológico del agua residual, el cual deriva los desechos orgánicos provenientes de residuos humanos, residuos de alimentos, jabones, detergentes y en general residuos orgánicos de procesos industriales”³¹. La mayoría de las plantas municipales utilizan procesos biológicos aeróbicos para este fin.

➤ **Fangos o lodos activados.** El nombre del proceso se deriva de la formación de una masa de “microorganismos activos” capaces de estabilizar un desecho orgánico en condiciones aerobias (el ambiente aerobio se logra mediante aireación difusa o mecánica en un tanque de aireación). “En esencia es la agitación y aireación de una mezcla de agua residual y lodos biológicos, a medida que las bacterias reciben el oxígeno, consumen la materia orgánica del agua residual y la transforma en sustancias más simples. Este caldo bacteriano recibe el nombre de lodo activado. La mezcla de lodos activados y agua residual recibe el nombre de licor mezclado que se lleva a un tanque de sedimentación para su purga”³².

➤ **Reactor biológico.** El reactor biológico asume la adición de medios inertes en vasijas de fangos activos existentes para proveer sitios activos para que se reúna la biomasa. Esta conversión da como resultado un sistema de crecimiento”³³.

➤ **Sedimentación secundaria.** El paso final de la etapa secundaria del tratamiento es retirar los lodos biológicos, y producir agua tratada con bajos niveles de materia orgánica y materia suspendida. En una planta de tratamiento rural, se realiza en el tanque de sedimentación secundaria los lodos se eyectan por bombeo al tanque de aireación para que el cultivo no se pierda y siempre exista una biomasa capaz de remover la carga orgánica del agua. Luego de que se cumpla el tiempo de retención para la sedimentación el agua clarificada de flujo ascendente pasa por una válvula de salida para destinar su uso.

³⁰ MOBIUS. ¿Qué es una PTAR – Planta de Tratamiento de Aguas Residuales? [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 18 marzo, 2018]. Disponible en internet: <URL: <http://mobius.net.co/que-es-una-ptar/>>

³¹ MOBIUS. ¿Qué es una PTAR – Planta de Tratamiento de Aguas Residuales? [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 18 marzo, 2018]. Disponible en internet: <URL: <http://mobius.net.co/que-es-una-ptar/>>

³² MOBIUS. ¿Qué es una PTAR – Planta de Tratamiento de Aguas Residuales? [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 18 marzo, 2018]. Disponible en internet: <URL: <http://mobius.net.co/que-es-una-ptar/>>

³³ AQUATEC WATER TECHNOLOGIES. La importancia de una planta de tratamiento de agua residual hacia el ambiente [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 18 marzo, 2018]. Disponible en internet: <URL: <http://aquatec.com.pa/2016/10/21/la-importancia-de-una-planta-de-tratamiento-de-agua-residual-hacia-el-ambiente/>>

➤ **Aireación Extendida.** Los reactores biológicos, son reactores discontinuos en los que el agua residual se mezcla con un lodo biológico en un medio aireado. Se trata de un proceso que combina en un mismo tanque: Aeración/reacción y clarificación.

La tecnología de los reactores biológicos es una variante optimizada de la tecnología convencional de lodos activados. Se basa en el uso de un sólo reactor que opera en forma discontinua secuencial. “El sistema de los reactores biológicos consta de al menos cuatro procesos cíclicos: llenado, aireación, anoxia, decantación y vaciado, tanto de efluente como de los lodos. Esta tecnología es capaz de tolerar variaciones de carga y caudal y genera como producto lodos estabilizados, siendo en ocasiones, la tecnología más apropiada para la industria”³⁴.

1.5.2.13 Ventajas de la aireación extendida. A continuación, se observan las ventajas que tiene implementar un sistema de aireación extendida:

- Un efluente de gran calidad y menor cantidad de sólidos en suspensión, debido, a la decantación estática y controlada que permite el sistema, influyendo en una reducción directa en otros parámetros de control de calidad del efluente.
- Mayor resistencia frente a variaciones bruscas de temperatura, ya que permite controlar los ciclos de carga de agua bruta, estableciendo criterios de cómo, cuanto y cuando realizarlos.
- Una vez establecidos los parámetros de funcionamiento del sistema, ante la diversidad de vertidos que puedan existir en una industria, es sencilla y automática el control de la operación del sistema.
- Bajo requerimiento de espacio, debido a que puede hasta diseñarse un solo tanque para realizar todo el proceso. Evitamos los procesos de decantación convencionales y reactores auxiliares de desnitrificación.
- Se logra una mayor estabilidad y flexibilidad. Este tipo de tecnología es ideal, por su capacidad de adaptación y tolerancia a las variaciones de carga orgánica, para aquellos casos donde existen condiciones de carga y volumen que varían constantemente. Se puede variar los tipos de ciclos, así como los tiempos.
- Consigue la eliminación eficiente de: DBO₅, Nitrógeno y fósforo. Ideal para el control y la eliminación de nutrientes.

³⁴ AGUAS RESIDUALES. Ventajas y desventajas de los reactores biológicos secuenciales (SBR) [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 18 marzo, 2020]. Disponible en Internet: <URL: <http://aguasindustriales.es/ventajas-y-desventajas-de-los-reactores-biologicos-secuenciales-sbr/>>

➤ Permiten mayor control sobre el crecimiento de microorganismos filamentosos y problemas de decantación³⁵.

1.5.2.14 Aguas residuales (AR). “Las aguas residuales son el resultado del uso doméstico o industrial del agua, son llamadas también negras o cloacales. El agua usada constituye un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; son negras por el color que habitualmente adquieren”³⁶.

Las AR están compuestas por las aguas usadas y los sólidos que por uno u otro medio se introducen en las tuberías y son transportadas mediante los sistemas de alcantarillado (véase la Tabla 2):

Tabla 2. Parámetros para la Caracterización de Aguas Residuales

PARÁMETRO	IMPORTANCIA EN AGUAS RESIDUALES
Turbiedad	Indica la calidad de las aguas vertidas o naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión.
Temperatura	Influye tanto en el desarrollo de la vida acuática, como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción.
Color	Indica la edad de las aguas residuales
Olor	Indica la descomposición de la MO y ayuda a evaluar la calidad del agua.
Sólidos	Su presencia afecta directamente la cantidad de lodo que se produce en el sistema de tratamiento. Los diferentes tipos de sólidos son los siguientes: sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV), sólidos suspendidos (SS), sólidos suspendidos volátiles (SSV), sólidos disueltos (SD) y sólidos sedimentables (SSD).
Oxígeno Disuelto	Determina si los cambios biológicos en las AR son llevados a cabo por organismos aeróbicos o anaeróbicos. En uno de los ensayos más importantes para medir la calidad de una corriente de agua, además de ser básico en la determinación de la DBO.
DBO	Indica la cantidad de oxígeno, utilizado por los microorganismos en la estabilización de la MO biodegradable, bajo condiciones aeróbicas.
DQO	Determina el contenido de MO de las AR, oxidando casi completamente todos los compuestos orgánicos a CO ₂ y agua.
Nitrógeno	Es necesario para evaluar la trazabilidad de las AR por tratamientos biológicos.
Fósforo	Es de importancia secundaria en la mayor parte de las aguas residuales domésticas ARD, pero puede ser vital en residuos industriales y en lodos de AR.
Acidez	Condición del agua para disminuir el pH por debajo de 7. Es la capacidad cuantitativa de una solución acuosa para reaccionar con iones hidroxilo.
Alcalinidad	Indica la cantidad de cambio que ocurrirá en el pH con la adición de cantidades moderadas de ácido, y proporciona información sobre las relaciones de iones bicarbonato y carbonato y la evolución de la química del agua.
Metales Pesados	Son imprescindibles para el normal desarrollo de la vida biológica, en bajas concentraciones pueden perjudicar a los seres vivos y bioacumularse.

³⁵ AGUAS RESIDUALES. Ventajas y desventajas de los reactores biológicos secuenciales (SBR) [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 18 marzo, 2020]. Disponible en Internet: <URL: <http://aguasindustriales.es/ventajas-y-desventajas-de-los-reactores-biologicos-secuenciales-sbr/>>

³⁶ SSPT WATER TECHNOLOGIES. ¿Qué es el Agua Residual? [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 18 marzo, 2018]. Disponible en internet: <URL: <http://www.sstp.mx/que-es-el-agua-residual.html>>

Fuente: METCALF & EDDY. Wastewater Engineering. Treatment and Reuse. 4 ed. Miami: McGraw Hill, 2004. p. 97

La Tabla 2 muestra la forma como se componen las AR, básicamente, 99,9% de agua en su estado conocido como de agua potable y 0,1% por peso de sólidos, sean éstos disueltos o suspendidos. Este 0,1% referido es el que requiere ser removido para que el agua pueda ser reutilizada o tratada.

La forma de expresar las características de un AR puede hacerse de muchas maneras, dependiendo de su propósito específico; sin embargo, vale la pena anotar que toda caracterización de AR implica un programa de muestreo apropiado para asegurar representatividad de la muestra y un análisis de laboratorio de conformidad con normas estándar que aseguren precisión y exactitud en los resultados. En general, un programa de muestreo para caracterización y control de calidad de aguas supone un análisis cuidadoso del tipo de muestras, número de ellas y parámetros que se deben analizar, en especial en un medio como el colombiano, en el que no se justifica asignar más recursos de los estrictamente necesarios para satisfacer el objetivo propuesto³⁷.

Tabla 3. Composición de Aguas Residuales

Agua Potable	Sólidos	Gases Disueltos	Componentes Biológicos
99.9 %	0.1 % (por peso)	-	-
	Suspendidos	O ₂	Bacterias
	Disueltos	CO ₂	Micro y macroorganismos
	Coloidales	H ₂ S	Virus
	Sedimentables	N ₂	-

Fuente. METCALF & EDDY. Wastewater Engineering. Treatment and Reuse. 4 ed. Miami: McGraw Hill, 2004. p. 97

1.5.3 Marco legal. Para el desarrollo del proyecto se tendrán en cuenta las siguientes normatividades (véase la Tabla 4):

Tabla 4. Leyes Colombianas del Medio Ambiente

Normas y decretos	Descripción
Marco constitucional de 1991	La Constitución Política de Colombia de 1991 con sus 380 artículos cuenta con más de 35 de ellos que de forma directa hablan del medio ambiente y los recursos naturales.
Ley 9 de 1979	Los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de los descargos de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente,
Ley 99 de 1993 La política ambiental colombiana seguirá los siguientes principios generales	<ol style="list-style-type: none"> 1. El proceso de desarrollo económico y social del país. 2. La biodiversidad del país, por ser patrimonio nacional y de interés de la humanidad, deberá ser protegida. 3. Las políticas de población tendrán en cuenta el derecho de los seres humanos a una vida saludable y productiva en armonía con

³⁷ ALVAREZ VARGAS, Mónica; VEGA ROJAS, Ingrid Johana y MURIEL MORALES, Diana Milena. Efecto de las aguas residuales y lixiviados en reactores de lodos activados a escala de laboratorio. Medellín: Universidad de Medellín. Facultad de Ingeniería Ambiental. Modalidad trabajo de grado, 2005. p.5

Normas y decretos	Descripción
	la naturaleza.

Tabla 4. (Continuación)

Normas y decretos	Descripción
	4. Las zonas de páramos, sub-páramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos serán objeto de protección especial. 5. En la utilización de los recursos hídricos, el consumo humano tendrá prioridad sobre cualquier otro uso.
Decreto 2811 de 1974	El decreto expone lo concerniente a la labor del Estado en su participación en la preservación y manejo de los recursos naturales renovables también son de utilidad pública e interés social.
Decreto 1594 de 1984	Se refiera al recurso de las aguas superficiales, subterráneas y marinas, incluidas las aguas servidas. La sigla EMAR utilizada en el presente Decreto, corresponde a la entidad encargada del manejo y administración del recurso.
Gestión ambiental calidad de agua; La norma NTC-ISO 5667-10	En esta norma se presenta el diseño de programas y técnicas de muestreo de aguas residuales domésticas e industriales, tratadas y sin tratar.
GTC 31 Gestión ambiental agua	Esta guía describe el método para detectar y determinar el efecto agudo en organismos, ante la presencia de sustancias tóxicas o mezcla de ellas, contenidas en las aguas naturales o residuales y permite obtener el límite o cantidad máxima que pueden soportar los organismos, conocida como concentración letal media. Aquí describen los métodos para saber el nivel de toxicidad hasta qué punto no va a afectar a la flora y la fauna
Resolución 0330 De 2017 – Reglamento Técnico – RAS	Reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de diseño construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo.
Constitución Política Nacional	En los artículos 78, 79 y 80 establece que el Estado tiene, entre otros deberes, los de proteger la diversidad e integridad del ambiente; fomentar la educación ambiental; prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental; imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados al ambiente ³⁸
Resolución 1096 de 2000	Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS, título E, tratamiento de aguas residuales: El RAS es el documento técnico que fija los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los proyectos del sector de agua potable y saneamiento básico. En el caso de sistemas de tratamiento de aguas residuales, el RAS tiene en cuenta los procesos involucrados en la conceptualización, diseño, construcción, supervisión técnica, puesta en marcha, operación y mantenimiento ³⁹

³⁸ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA. Plan nacional de manejo de aguas residuales municipales en Colombia [en línea]. Bogotá: El Ministerio [citado 25 marzo, 2018]. Disponible en Internet: <URL: http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/PLAN_NACIONAL_DE_MANEJO_DE_AGUAS_RESIDUALES_MUNICIPALES_EN_COLOMBIA.pdf>

³⁹ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA. Plan nacional de manejo de aguas residuales municipales en Colombia [en línea]. Bogotá: El Ministerio [citado 25 marzo, 2018]. Disponible en Internet: <URL: http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/PLAN_NACIONAL_DE_MANEJO_DE_AGUAS_RESIDUALES_MUNICIPALES_EN_COLOMBIA.pdf>

Fuente. El Autor

1.6 METODOLOGÍA

Con este proyecto se plantea diseñar y construir un modelo de tratamiento de aguas residuales, con el cual se espera cumplir con todos los criterios de diseño y caracterización fisicoquímica del agua. Cabe resaltar que para llegar a esta finalidad se debe pasar por una serie de etapas y ensayos para determinar de una manera más precisa la efectividad y funcionamiento de este modelo.

Con este diseño se analiza el sistema o proceso a utilizar ya que hay diferentes métodos o procesos de hacerlo. Así mismo se implementan las siguientes etapas como lo son:

➤ **Etapa 1:** Cálculo de las dimensiones acordes a cada parte del proceso del diseño siguiendo parámetros establecidos los cuales se evalúan con un caudal de diseño.

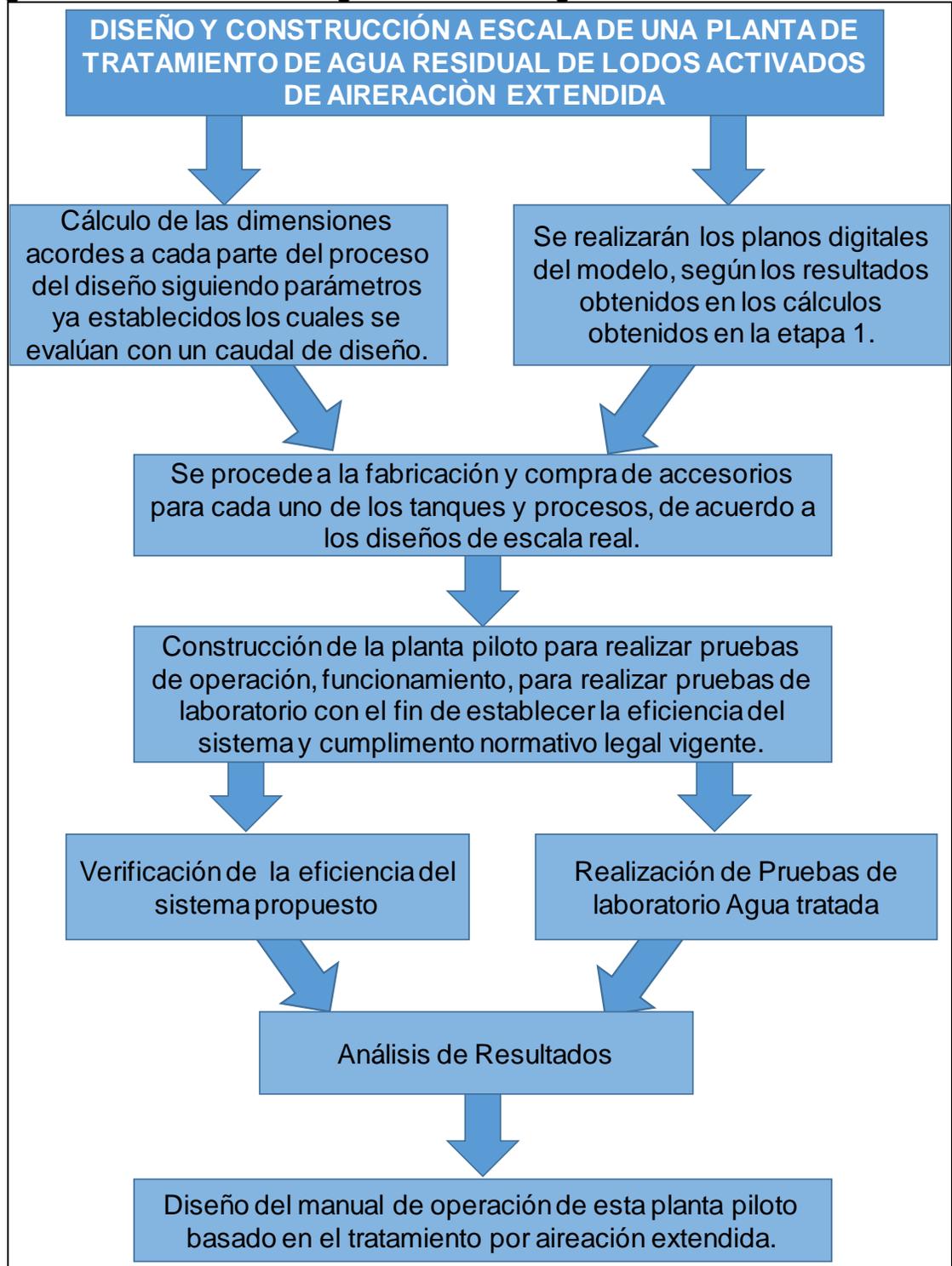
➤ **Etapa 2:** Se realizarán los planos digitales del modelo en AutoCAD, de acuerdo con los resultados obtenidos en la etapa 1. (cálculos de diseño)

➤ **Etapa 3:** Se inicia con la compra de accesorios para la construcción de la PTAR de aireación extendida: caneca en plástico de 5 galones (tanque de almacenamiento), acrílico para canal de cribado, tanque de vidrio con dimensiones de 50 X 40 cm (tanque homogeneizador), ventilador de plástico sumergible (mezclar agua), bomba sumergible (evacuación de agua del tanque homogeneizador, al tanque aireador), tanque aireador en vidrio con dimensiones 90 x 40 cm, 2 compresores de aire para cuatro salidas, tubos de pvc de 1/2 " (para paso de agua), tanque en acrílico cónico con dimensiones 50 X 50 cm (tanque sedimentador), bombas sumergibles y tanque de vidrio (tanque postratamiento), uniones en PVC de 1/2" y válvulas de paso en PVC de acuerdo con los diseños de escala real.

➤ **Etapa 4:** Construcción de la planta piloto de agua residual domesticas (ARD) por aireación extendida, para realizar pruebas de operación, funcionamiento y pruebas de laboratorio, con el fin de establecer la eficiencia del sistema y cumplimiento normativo legal vigente.

➤ **Etapa 6:** verificada la eficiencia del sistema propuesto, se diseñará el manual de operación de la planta piloto, basando su tratamiento por aireación extendida.

Figura 9. Proceso Metodológico de la Investigación



Fuente. El Autor

2. DISEÑO

2.1 CÁLCULOS DE DISEÑO SISTEMA DE TRATAMIENTO POR AIREACIÓN EXTENDIDA

Los cálculos para el diseño del sistema de tratamiento por aireación extendida se realizan teniendo en cuenta los parámetros establecidos en el libro "Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño", como se muestra a continuación (véase la Tabla 5):

Tabla 5. Parámetro de Diseño para Aireación Extendida

CALCULO PLANTA PILOTO DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA				
LODOS ACTIVADOS DE AIREACIÓN EXTENDIDA				
No HABITANTES	5000	HABITANTES		
DOTACION	140	LHD		
CAUDAL MEDIO	8,10	LPS		
CANAL DE CRIBADO	Q MAXIMO	16,204	LPS	ESTRUCTURA DISEÑADA PARA RETENER SOLIDOS DE GRAN TAMAÑO
	V MEDIA	0,4	M/S	
	LARGO	4	M	
	ANCHO	0,3	M	
	AREA MOJADA	0,04051	QMAX / V MEDIA	
	LAMINA AGUA	0,135		
	BORDE LIBRE	0,165		
	ALTO TOTAL	0,300		
TANQUE HOMOGENIZADOR	Q MEDIO	8,10	LPS	ESTRUCTURA DISEÑADA PARA LA REGULACIÓN DE CARGAS ORGANICAS E HIDRAULICAS (PICOS)
	Q MEDIO	29,17	M3/HORA	
	T.RETENCION	4	HORAS	
	VOLUMEN	116,667	M3	
	ALTURA TK	4	M	
	ANCHO	4,5	M	
	LARGO	6,48	M	
TANQUE DE AIREACION	Q MEDIO	8,10	LPS	ESTRUCTURA DISEÑADA PARA LA DEGRADACIÓN BIOLÓGICA DEL AGUA RESIDUAL MEDIANTE MICROORGANISMOS. (BACTERIAS) CON LA AYUDA DE OXIGENO
	Q MEDIO	29,17	M3/HORA	
	T.RETENCION	24	HORAS	
	VOLUMEN	700,0	M3	
	ALTURA TK	4	M	
	ANCHO	10	M	
	LARGO	17,50	M	

Tabla 5. (Continuación)

SEDIMENTADOR SECUNDARIO				ESTRUCTURA DISEÑADA PARA LA SEPARACION DEL AGUA RESIDUAL TRATADA Y EL LODO ACTIVADO(COLONIAS DE BACTERIAS Y MATERIA ORGANICA) MEDINTE ACCION DE LA GRAVEDAD. (SEDIMENTACION)
	Q MEDIO	8,10	LPS	
	Q MEDIO	29,17	M3/HORA	
	T.RETENCION	4	HORAS	
	VOLUMEN	116,667	M3	
	ALTURA TK	4	M	
	ANCHO	4,5	M	
	LARGO	6,48	M	
CAUDAL DE RECIRCULACION				RECIRCULACION DE LODOS DEL SEDIMENTADOR AL TANQUE DE AIREACION 30 AL 50 % Q MEDIO
	Q MEDIO	8,10	LPS	
	FACTOR RECIRCULACION	40	%	
	Q RECIRCULACION	3,24	LPS	
CALCULO DE BOMBAS				CALCULO DE LAS BOMBAS PARA LA PLANTA DE AGUA RESIDUAL TAMAÑO REAL
	Q MEDIO	8,10	LPS	
	ALTURA TK	4	M	
	PERDIDAS	10,00	%	
	ALTURA DINAMICA DE LA BOM	4,40	M	
	APROXIMACION	5	M	
	Q MEDIO EN (gpm)	128,60082		
CALCULO DE BOMBAS	VOLUMEN	0,322	M3	CALCULO DE LAS BOMBAS PARA LA PLANTA DE AGUA RESIDUAL A ESCALA
	ALTURA TK	0,4	M	
	ANCHO	0,67	M	
	LARGO	1,20	M	
	CAUDAL A ESCALA (LPS)	0,00372	LPS	
	CAUDAL A ESCALA (LPH)	13,41	LPH	

Fuente. ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño. 3 ed. Bogotá. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002.

Los cálculos corresponden a los valores establecidos en la resolución 0330 de 2017 Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Para el diseño y construcción de un sistema de tratamiento de acuerdo con la población en relación con el consumo de agua por habitante.

Con conformidad al decreto 1076 del 2015 subsección 2 ordenamiento del recurso hídrico Artículo 2.2.3.3.1.7. De los modelos simulación de la calidad del recurso hídrico, en el cual de margen de autonomía en cuanto al proceso para el desarrollo y la aplicación de modelos de simulación de la calidad y el recurso existentes mientras la entidad expide la Guía Nacional de Modelación del Recurso

Hídrico, en torno a esto se determinará las variables exigidas en la misma para la elaboración de un modelo de calidad del recurso hídrico como lo son las siguientes:

➤ **Concentración de la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) soluble:** se simboliza mediante S_i en la que el subíndice i indica la corriente específica de que se trate. La *DBO soluble* está formada principalmente por compuestos carbonosos en disolución. El diseño de la planta de lodos activos se basa en el consumo de la *DBO soluble* y es el resultado del proceso de oxidación biológica que se presenta en el reactor.

➤ **Concentración de sólidos volátiles en suspensión (VSS):** se denotan mediante el símbolo $X_{v,i}$, en el que el subíndice V se refiere a la característica de volatilidad y el subíndice i a la corriente específica de que se trate. Los sólidos volátiles en suspensión corresponden a los lodos biológicos, constituidos por una población heterogénea de microorganismos.

➤ **Concentración de sólidos no volátiles en suspensión (NVSS):** se indican mediante el símbolo $X_{f,e,i}$, en el que el subíndice f hace referencia a la no volatilidad de los sólidos y los subíndices e, i , indican la corriente específica que se trate.

$$SST \text{ (Sólidos Totales)} = VSS + NVSS.$$

El modelo más simple para definir el proceso debe considerar tres componentes principales: biomasa, sustrato y oxígeno disuelto.

Como característica fundamental del proceso, se debe señalar la necesidad de mantener la concentración de SS (*sólidos suspendidos*), en el reactor biológico, ante una constancia del sustrato de entrada, que se basa en la recirculación de lodos decantados. Como se muestra en la tabla 6.

2.1.1 Dimensionamiento de planta de tratamiento. Para el diseño del canal de cribado a escala tenemos que en primera instancia calcular la escala a la cual se desea elaborar que para este caso será del 10% del caudal 1:25 convirtiendo el valor del caudal en 4.051 l/s o 0.004 m³/s.

2.1.1.1 Canal de cribado. De acuerdo con las dimensiones planteadas en el procedimiento se calcula el área para de esta manera calcular la velocidad máxima.

- Largo = 0.4 m
- Ancho = 0.2m

$$A = 0.2 * 0.4 = 0.08 \text{ m}^2$$

$$Q = 0.004 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = V * A$$

$$V = 0.05 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

De acuerdo la literatura se optará por incorporar al modelo rejilla con barra circular de 2cm con un espacio libre entre barras de 2.5 cm e inclinación de 50 grados.

De acuerdo con la metodología expuesta en la resolución 0330 del 2017 se procede a realizar el cálculo de energía a través de las rejillas según la ecuación de Kirchner.

Ecuación 1. Ecuación de Kirchner

$$H = \beta * (w/b)^{4/3} * hv * \sin \theta$$

Donde:

- H: Perdida de energía.
- β : Factor de forma de las barras.
- w: ancho máximo de la sección transversal de las barras, en la dirección del flujo, m.
- b: Espaciamiento o separación mínima entre las barras.
- hv: Altura o energía de la velocidad del flujo de aproximación.
- θ : Ángulo de la rejilla con la horizontal.

Remplazando en la ecuación obtendremos.

$$H = 1.79 * (2/2.5)^{4/3} * \frac{0.36}{2 * 9.8} * \sin 50$$

$$H = 0.02m$$

Posteriormente se calculará la altura de la lámina de agua.

$$h = \frac{0.08}{0.2} = 0.4m$$

2.1.1.2 Tanque Homogeneizador. A partir de la resolución 0330 del 2017 se determinarán las dimensiones del tanque en función del caudal y del ancho preestablecido de 40 cm.

Datos de entrada:

- $Q=0.004 \text{ m}^3/\text{s}$
- t de retención = 11.36 segundos

➤ Cálculo del Caudal

$$Q_e = Q + 10\%$$

$$Q_e = 0.004 + 0.1 * 0.004 = 0.0044 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

➤ Cálculo del Volumen

$$V = Q_e * T_r$$

$$V = 0.0044 * 11.36 = 0.05 \text{ m}^3$$

➤ Cálculo de la Altura del Tanque

$$V = 2 * H * H * Ancho$$

$$0.05 = 2 * H^2 * 0.4$$

$$H = 0.25 \text{ m}$$

➤ Largo del Tanque

$$a = 2 * h$$

$$a = 2 * 0.25 = 0.5 \text{ m}$$

Tabla 6. Cálculos Tanque Homogeneizador

Parámetro	Ecuación	Cantidad
Caudal	$Q + 10\%$	0.0044 m ³ /s
Volumen	$V=Q*\text{Tiempo de retención}$	0.05 m ³
Altura del tanque	$V=2h*h*0.4$	0.25 m
Largo del tanque	$a= 2*0.25$	0.5 m
Borde libre	--	0.7m

Fuente. El Autor

2.1.1.3 Tanque de aireación. Al igual que el punto anterior se determinará el volumen y dicen iones del tanque de aireación de acuerdo con la normativa

vigente y teniendo en cuenta los datos de entrada que a continuación se presentan.

- $Q = 0.0044 \text{ m}^3/\text{s}$
- t de retención = 33.47 segundos

➤ Cálculo del Caudal

$$Q_e = Q + 10\%$$

$$Q_e = 0.004 + 0.1 * 0.004 = 0.0044 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

➤ Cálculo del volumen.

$$V = Q_s * T_r$$

$$V = 0.0044 * 11.36 = 0.05 \text{ m}^3$$

➤ Cálculo de la altura del tanque.

$$V = 2 * H * H * Ancho$$

$$0.05 = 2 * H^2 * 0.4$$

$$H = 0.25 \text{ m}$$

➤ Largo del tanque.

$$a = 2 * h$$

$$a = 2 * 0.25 = 0.5 \text{ m}$$

Tabla 7. Cálculos Tanque de Aireación

Parámetro	Ecuación	Cantidad
Caudal	$Q + 10\%$	0.00484 m ³ /s
Volumen	$V = Q * \text{Tiempo de retención}$	0.162 m ³
Altura del tanque	$V = 2h * h * 0.4$	0.45 m
Largo del que	$a = 2 * 0.45$	0.9 m
Borde libre	--	0.7m

Fuente. El Autor

2.1.1.4 Sedimentador secundario. Para la elaboración del diseño del proceso de los activados nos tendremos que remitir a la resolución 0330 del 2017 la cual habla de los requisitos mínimos de diseño para procesos de lodos activados y que muestra a continuación (véase la Tabla 8):

Tabla 8. Parámetros de Lodos Activados

Proceso	F/M (kgDBO/kgML VSS.d)	LV (kgDBO/m ³ .d)	td (h)	Θ _c (d)	XT (SSV)
Convencional	0,2 – 0,4	0,3 – 0,7	4 – 8	3 – 15	1000 – 3000
Completamente mezclado	0,2 – 0,6	0,3 – 1,6	3 – 5	3 – 15	1500 – 4000
Aireación escalonada	0,2 – 0,4	0,7 – 1,0	3 – 5	3 – 15	1500 – 4000
Alta tasa	1,5 – 2,0	1,2 – 2,4	1,5 – 3,0	0,5 – 2,0	200 – 1000
Estabilizador por contacto: Contacto estabilización	0,2 – 0,6 N/A	1,0 – 1,3	0,5 – 1,0 2,0 – 4,0	5 – 10 N/A	1000 – 3000 6000 – 10000
Aireación extendida	0,04 – 0,10	0,1 – 0,3	20 – 30	20 – 40	2000 – 5000
Zanjón de oxidación	0,04 – 0,10	0,1 – 0,3	15 – 30	15 – 30	3000 – 5000
Reactores secuenciales por tandas (SBR)	0,04 – 0,10	0,1 – 0,3	15 – 40	10 – 30	2000 – 5000
Oxígeno puro	0,5 – 1,0	1,3 – 3,2	1 - 3	1 - 4	2000 – 5000

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Resolución 330 (2 octubre, 2017). Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009". Bogotá: Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2017. p. 121

Donde:

- F/M: relación alimento/microorganismo
- VLV: carga volumétrica.
- td: tiempo de retención.
- Θ_c: edad de lodos.
- XT: sólidos suspendidos volátiles en el reactor

Las circunstancias tropicales, como sucede en Colombia se deberán diseñar con los valores más altos para los parámetros de F/M y LV. Para PTAR diseñadas para caudales medios mayores a 100 l/s se llevan a cabo estudios-piloto para verificar los parámetros. Para el presente diseño se calculará mediante las siguientes ecuaciones:

Se determinarán el DBO soluble efluente (S_e), la biomasa del reactor (XV), el volumen del reactor (V) mediante las ecuaciones propuestas, las dimensiones del elemento se calcularán a partir del volumen obtenido.

$$S_e = DBO - 0,63 * SS$$

$$XV = (\theta_c * Y * Q * (S_o - S_e)) / (1 + k_d * \theta_c)$$

$$V = XV / SSV$$

Donde:

- SS: sólidos suspendidos totales.
- DBO: demanda biológica de oxígeno.
- θ_c : tiempo de concentración.
- Y: tasa biológica de acuerdo con la temperatura.
- S_o : carga del agua residual.
- k_d : tasa de crecimiento endógeno.
- SSV: sólidos suspendidos volátiles.

Remplazando por los valores obtenidos del modelo se obtiene lo siguiente.

$$S_e = 854 - 0,63 * 245 = 699.65 \text{ mg/L}$$

Para determinar los valores de las constantes de tiempo de contracción, tasa biológica de acuerdo con la temperatura que para este caso fue de 20 grados centígrados y la tasa de crecimiento endógeno se tubo cuenta la resolución 0330 del 2017 título E, numeral 7.3 sistemas centralizados el cual brinda una tabla con valores característicos a 20 grados centígrados para lodos activados (véase la Tabla 9):

Tabla 9. Coeficientes Cinéticos Típicos para Procesos de Lodos Activados en Aguas Residuales Domésticas

Coeficiente	Unidades	Valores a 20°C	
		RANGO	VALORES
k	d ⁻¹	2 - 10	5
K _s	mg/L DBO ₅	25 - 100	60
	mg/L DQO	15 - 70	40
γ	mgSSV/mgDBO ₅	0.4 - 0.8	0.6
k _d	d ⁻¹	0.025 - 0.075	0.06

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Título E Tratamiento De Aguas Residuales. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000. Bogotá: Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000. p. E-131

Para este caso se usarán los siguientes valores para los siguientes coeficientes.

➤ θ_c : 30d para este coeficiente se hace uso de la tabla 36 de la resolución 0330 del 2017.

➤ Y : 0.6

➤ k_d : 0.06

Remplazando los valores obtenemos lo siguiente.

$$XV = \frac{30 * 0.6 * 4.84 * (854 - 699.65)}{1 + 0.06 * 30} = 4802.49 \text{ mg}$$

$$V = \frac{4802.49}{5000} = 0.96 \text{ m}^3$$

Se deben calcular la producción de lodos (P_x), los caudales de desecho (L_s), caudal de lodos de desecho (Q_w), caudal de circulación al sistema (Q_r), relación de recirculación (R) y tiempo de retención hidráulica (θ).

$$P_x = (Y * Q * (S_o - S)) / (1 + k_d * \theta_c)$$

$$\text{Lodos secos} = \frac{P_x}{X_r}$$

$$Q_w = \text{Lodos secos} / \text{Concentracion ST}$$

$$Q_r = (Q * SSV) / (X_r - SSV)$$

$$R = Q_r / Q$$

$$\theta = V / Q$$

Donde:

➤ X_r : Corresponde a la porción volátil del licor o biomasa.

➤ Concentración ST: corresponde al licor que se entregara al sedimentador.

Remplazado por los valores del modelo optemos lo siguiente.

$$P_x = \frac{0.6 * 4.84 * (854 - 699.65)}{1 + 0.06 * 30} = \frac{160 \text{ mg}}{l}$$

$$\text{Lodos secos} = \frac{160}{40} = 4$$

$$Q_w = \frac{4}{245} = 0.016327 \text{ m}^3$$

$$Q_r = \frac{4.84 * 5000}{40 - 5000} = -4.879$$

$$R = -\frac{4.879}{4.8} = |1|$$

$$\theta = \frac{0.96}{0.0048} = 198.34 \text{ s}$$

De acuerdo con la tabla 6 se re escalar dichas dimensiones para que se ajuste con el modelo que se lleva en estos momentos.

Tabla 10. Nomenclatura Empleada

Aparatos				
1.- Decantación primaria				
2.- Mezcla de aguas decantadas y recirculadas				
3.- Reactor biológico aeróbico				
4.- Decantación secundaria				
5.- Recirculación y extracción de lodos en exceso				
Flujos y Concentraciones				
Parámetros	Caudal	Concentración Substrato	Concentración	Vol.
6.- Entrada al sistema	Q_E	S_E	X_E	
7.- Entrada Reactor Biológico	$Q = Q_E + Q_R$ $Q = Q_E (1+r)$	S_D	$X_{V,D}$ $X_{t,D}$	V_R
3. Reactor biológico	Q	S_e	$X_{V,e}$ $X_{t,e}$	
8. Salida Reactor	Q_e	S_e	$X_{V,e}$ $X_{t,e}$	
9.- Salida de agua de sistema	Q_S	S_S	$X_{V,S}$ $X_{t,S}$	
10.- Salida Fangos Decantador Secundario	$Q_R = r Q_E =$ Q_u	S_R	$X_{V,U=R}$ $X_{t,U=R}$	V_d
11.- Recirculación	Q_R		$X_{V,R}$ $X_{t,R}$	
12.- A tratamiento de fangos.	Q_W		$X_{V,W=R}$ $X_{t,W=R}$	

Fuente. SANCHEZ MARTÍNEZ, Paula. Diseño de una estación depuradora de aguas residuales en zona costera con tratamiento para riego de campo de golf. Cádiz: Universidad de Cádiz, 201. p. 80

A continuación, se explicarán los pasos presentados en la tabla 6.

➤ Alimentación inicial, o bien el agua residual, se introduce en el reactor con un valor de *DBO* (Demanda Biológica de Oxígeno) soluble indicado por S_E (*entrada del sistema*). El objetivo del tratamiento es reducir este valor a S_S (*salida del agua del sistema*), la *DBO* soluble en la salida mediante oxidación por degradación biológica aerobia de la materia orgánica del agua residual.

➤ La alimentación inicial se combina con lodo reciclado del tanque sedimentador secundario al reactor biológico. La alimentación combinada Q (reactor biológico). Se suponen condiciones de operación en régimen estacionario y flujo próximo a las condiciones de mezcla completa. El lodo biológico, ΔXV , se forma continuamente en el reactor. La concentración de *DBO* soluble en el líquido del reactor se simboliza por S_e (Entrada del sistema). Bajo condiciones de estado estacionario y mezcla completa la concentración de la *DBO* soluble en el efluente del reactor.

➤ El efluente del reactor se pasa al clarificador secundario. La concentración de *DBO* (Demanda Biológica de oxígeno) soluble es la misma en la descarga del clarificador, y en el efluente final, esto es, (S_e). La descarga del clarificador se divide en dos corrientes: purga y lodo reciclado. Para estas dos corrientes, la concentración de *DBO* soluble tiene el mismo valor, S_e . Por tanto, $S_e = S_R = S_S$

➤ La corriente de lodo reciclado se combina con la alimentación inicial para formar la alimentación combinada Q (caudal). La concentración de *DBO* (demanda Biológica de Oxígeno) soluble en la corriente combinada se denota por S_0 (sustrato) y se calcula mediante un balance de materia.

➤ Sólidos volátiles en suspensión (*MLVSS*). En régimen estacionario, la concentración de lodo biológico en el reactor se mantiene constante en todo momento. Dadas las condiciones de mezcla completa en el reactor, los sólidos en suspensión en él, corresponden a los *MLVSS* (sólidos volátiles en suspensión en el licor mezclado), simbolizada por $X_{v,a}$, en la que el subíndice a se refiere al del reactor.

La concentración de *VSS* (Sólidos volátiles en suspensión) en la alimentación inicial ($X_{v,0}$) es despreciable en muchos casos, ya que en esta etapa no se ha tenido lugar una aireación apreciable.

Los *VSS* (sólidos volátiles en suspensión) se producen continuamente en el efluente. Con objeto de mantener una concentración constante de *MLVSS* (Sólidos volátiles en suspensión) en el reactor, la mayor parte de la descarga del clarificador se recicla a la cabeza. La relación reciclada (r) se calcula mediante un balance de materia que tiene en cuenta la necesidad del mantenimiento de la

concentración seleccionada X_v , a de MLVSS (Sólidos volátiles en suspensión) dentro del reactor en todo momento.

$$QR = rQE$$

Debido a la síntesis de materia biológica, hay una producción neta de MLVSS (Sólidos volátiles en suspensión) en el reactor, que se presenta con la siguiente relación matemática (ΔXV , Kg/d) delta de concentración versus los kilogramos día de biomasa. Para mantener constante la concentración de MLVSS (Sólidos volátiles en suspensión) en el reactor en todo momento, es necesario purgar del sistema una masa de MLVSS (Sólidos volátiles en suspensión) (Kg/d) igual a esta producción neta ΔXV . Esto se lleva a cabo principalmente mediante la purga intencionada de algo de lodo.

➤ Algo de VSS (Sólidos volátiles en suspensión) se pierden también en el efluente final (Q, X_v, S). En la práctica, la purga se realiza de forma intermitente, sin embargo, ello conlleva a condiciones de flujo no estacionario. Dado que la corriente de purga es normalmente pequeña al compararla con el reciclado, la suposición de purga continua no introduce un error apreciable en el balance de materia global. El lodo se purga desde la corriente de reciclado, por tanto, la concentración de VSS (Sólidos volátiles en suspensión) en la corriente de purga se representa por

$$X_v, W=R.$$

➤ La concentración de VSS (Sólidos volátiles en suspensión) en el efluente del reactor es $X_{v,e}$, suponiendo condiciones estacionarias y mezcla completa. El efluente del reactor fluye al clarificador secundario. La descarga de este último, es un lodo que contiene una concentración de VSS representada por $X_{v,u}=R$ ($X_{v,R} > X_{v,e}$). El valor de $X_{v,R}$ se selecciona durante el proyecto, diseñando el clarificador para cumplir el valor especificado. Normalmente $X_{v,R}$ tiene valores comprendidos entre 10.000 y 15.000 mg/l de VSS. Las concentraciones de VSS en la purga y el lodo reciclado son, iguales a ($X_{v,R}$).

➤ En el efluente final del clarificador secundario la concentración de VSS (Sólidos volátiles en suspensión) ($X_{v,S}$) es normalmente despreciable, ya que el clarificador se proyecta para una retención de sólidos del 100%. La concentración de VSS en la alimentación combinada $X_{v,o}$, se calcula mediante un balance de materia en el punto de mezcla.

➤ Sólidos no volátiles en suspensión (NVSS). La concentración de NVSS en el reactor se indica por ($X_{f,a}$) y es igual a la existente en la alimentación combinada y en el efluente del reactor. Esto es debido a que se supone mezcla completa y que no hay producción de NVSS (Sólidos no volátiles en suspensión) en el reactor.

$$\text{Por ello, } X_{f,a} = X_{f,o}.$$

La concentración de NVSS (Sólidos no volátiles en suspensión) en la alimentación inicial se designa mediante (X_f) y la del lodo reciclado y la descarga del clarificador secundario, $(X_{f,R})$. En la alimentación combinada esta concentración viene denotada por $(X_{f,o})$ y se calcula mediante un balance de materia en la intersección de las corrientes. Los NVSS del efluente del reactor se separan, así mismo, mediante sedimentación en el clarificador secundario. La concentración de NVSS en la descarga del clarificador se indica mediante $(X_{f,R})$ y la del efluente final, normalmente despreciable por, $(X_{f,S})$.

➤Lodos purgados Suma de los VSS (Solidos suspendidos volátiles) + NVSS (Sólidos no volátiles en suspensión). Los kg por día de VSS se indican mediante $(VSS)W$. Este término incluye la producción neta de VSS en el reactor (ΔXV) más los introducidos con la alimentación inicial (QEX_v, E) menos los VSS, perdidos en el efluente final $(QSXV, S)$. Los kg de no volátiles en suspensión en la corriente de purga son designados por $(NVSS)W$.

2.1.1.5 Relaciones cinéticas. El estudio de la cinética de tratamiento biológico aerobio “conduce a determinar velocidad a la cual los microorganismos degradan un residuo específico y, por tanto, suministran la información básica necesaria para determinar el tamaño de los reactores biológicos aerobios. Suponiendo que la concentración de sustrato (S_e) esté por debajo de los 500 mg/l de DBO5, el consumo de sustrato a concentraciones bajas sigue una cinética de primer orden⁴⁰. Esto significa que la velocidad de consumo es proporcional a la concentración de sustrato. La pendiente de la curva de S en función de t (que iguala a la velocidad de consumo de sustrato dS/dt) decrece con el tiempo conforme disminuye la concentración de sustrato. Por ello, en esta región la velocidad de consumo de sustrato es directamente proporcional a su concentración (cinética de primer orden).

$$dS/dt = -KS$$

Siendo $X_{V,a}$ la concentración en MLVSS, y $K = k X_{V,a}$,

$$\text{Obtenemos: } dS/dt = -KS, \text{ y } dS/dt = -k X_{V,a} \cdot S$$

Considerando un tiempo de retención en un reactor en continuo, donde $S = S_e$,

$$\text{se tendrá: } q = dS/dt = -k X_{V,a} \cdot S_e$$

⁴⁰ RAMALHO, Rubens Sette. Tratamiento de aguas residuales. 2 ed. Londres: Reverte, 2021. p. 260

Estableciendo la formulación en un reactor en continuo se obtiene, llevando a cabo un balance de materia al sustrato y considerando condiciones de operación estacionarias (que el cambio de sustrato en el reactor es nulo).

Se obtiene,

$$q = k \cdot S_e = \frac{S_0 - S_e}{X_{V,a}} \cdot \frac{Q}{V_0} = \frac{dS}{dt}$$

Siendo $t_h = Q/V_0$ tiempo de retención hidráulico en el reactor, nos queda:

$$q = k \cdot S_e = \frac{S_0 - S_e}{X_{V,a} \cdot t_h} = \frac{dS}{dt}$$

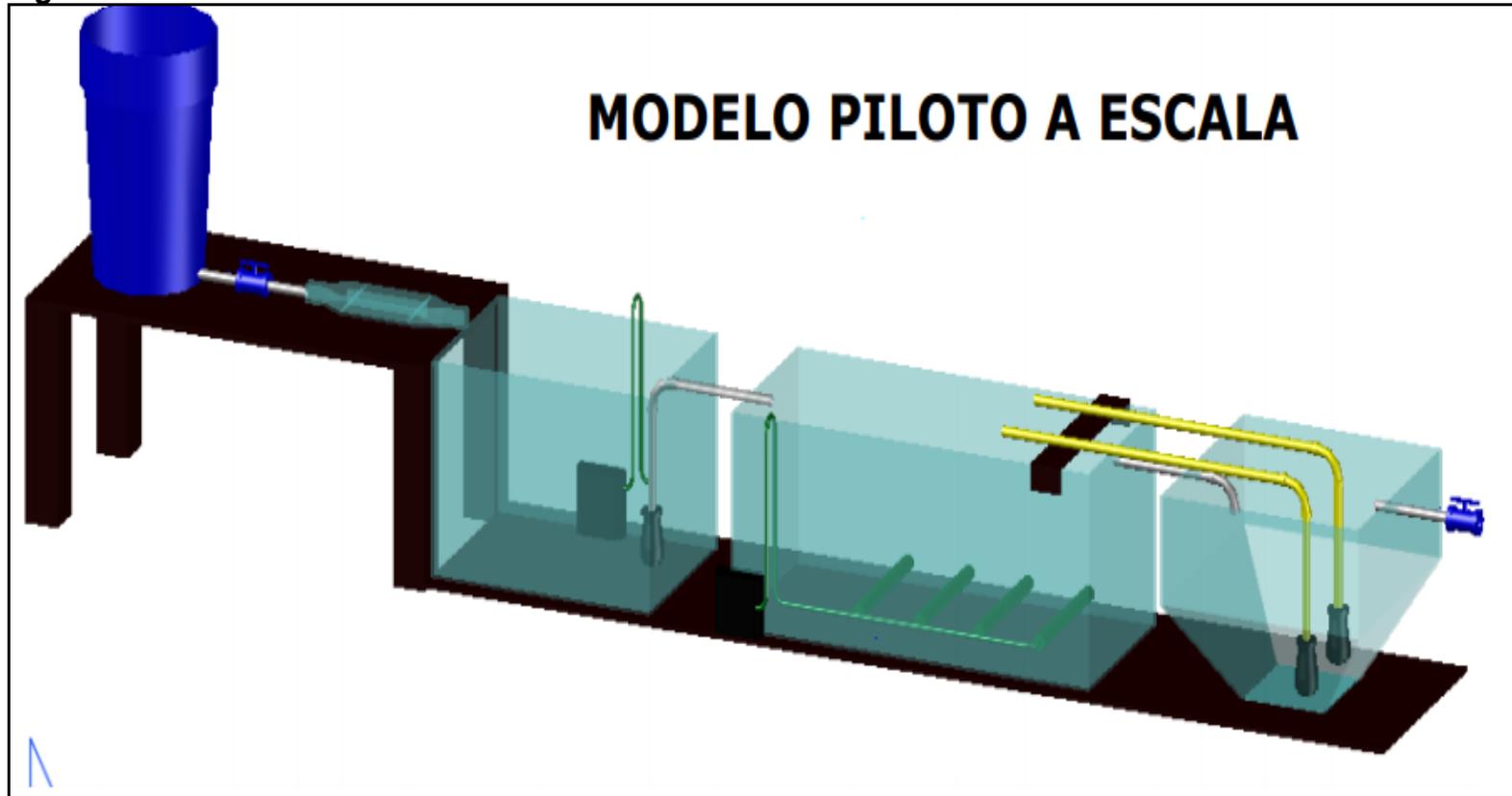
“La velocidad específica de consumo de sustrato, (q), corresponde a la velocidad de consumo de sustrato en el reactor continuo por unidad de masa de *MLVSS* presente en el reactor”⁴¹. Se puede expresar como:

$$\frac{mg \text{ I DBO}_{consumida}}{mg \text{ MLVSS/l} \cdot dia} = \frac{mg \text{ DBO}_{consumida}/dia}{mg \text{ MLVSS} \cdot dia} = \frac{kg \text{ DBO}_{consumida}}{kg \text{ MLVSS} \cdot dia}$$

Para aplicar la ecuación deducida para la velocidad específica de consumo de sustrato es necesario decidir qué modelo cinético se va a utilizar.

⁴¹ *Ibíd.*, p. 266

Figura 10. Plano Tratamiento Aireación Extendida



Fuente. El Autor

2.2 INSTALACIÓN

Se procede a la fabricación de cada tanque luego de obtener los cálculos, la fabricación corresponde a tanques hechos en vidrio de seguridad, tubería de PVC, algunos materiales reciclados, equipos menores como bombas sumergibles, generadores de aire, y accesorios como válvulas de paso, manguera para las conexiones, uniones en PVC. Pegamentos silicona, pegante, limpiador para tuberías, manguera para transferencia de aire, destornillador y arandelas de sujeción.

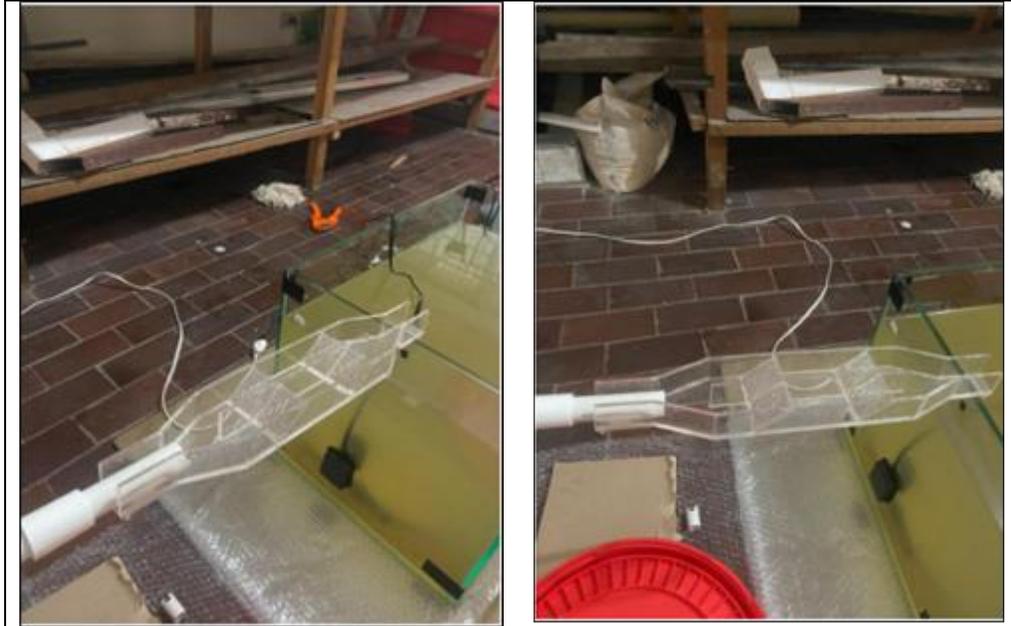
A continuación, se evidencia cada paso del proceso de construcción (véase las Figuras 11, 12, 13,14,15,16,17,18 y 19):

Figura 11. Tanque de Entrada



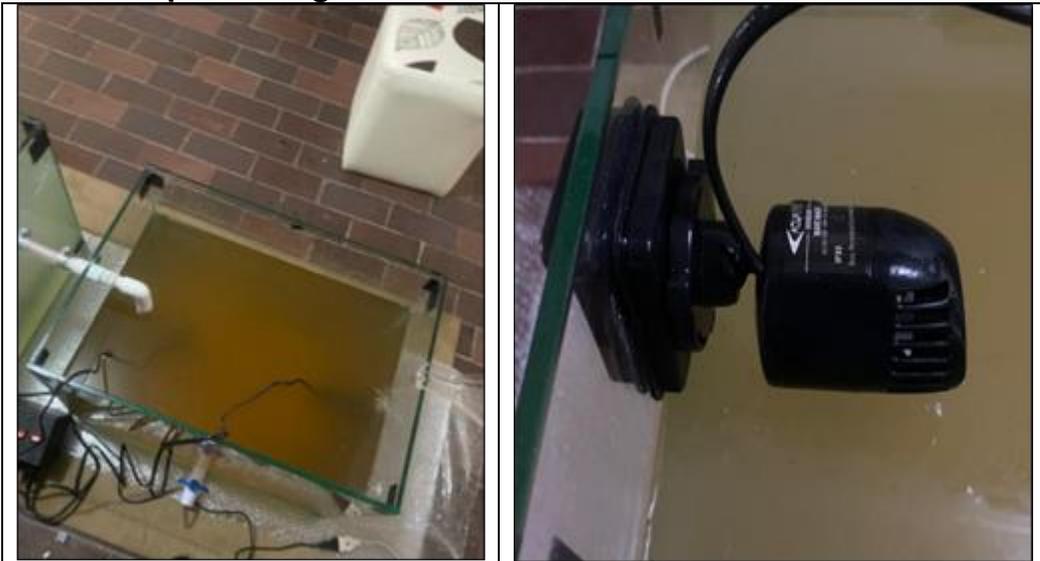
Fuente. El Autor

Figura 12. Canal de Cribado



Fuente. El Autor

Figura 13. Tanque Homogeneizador



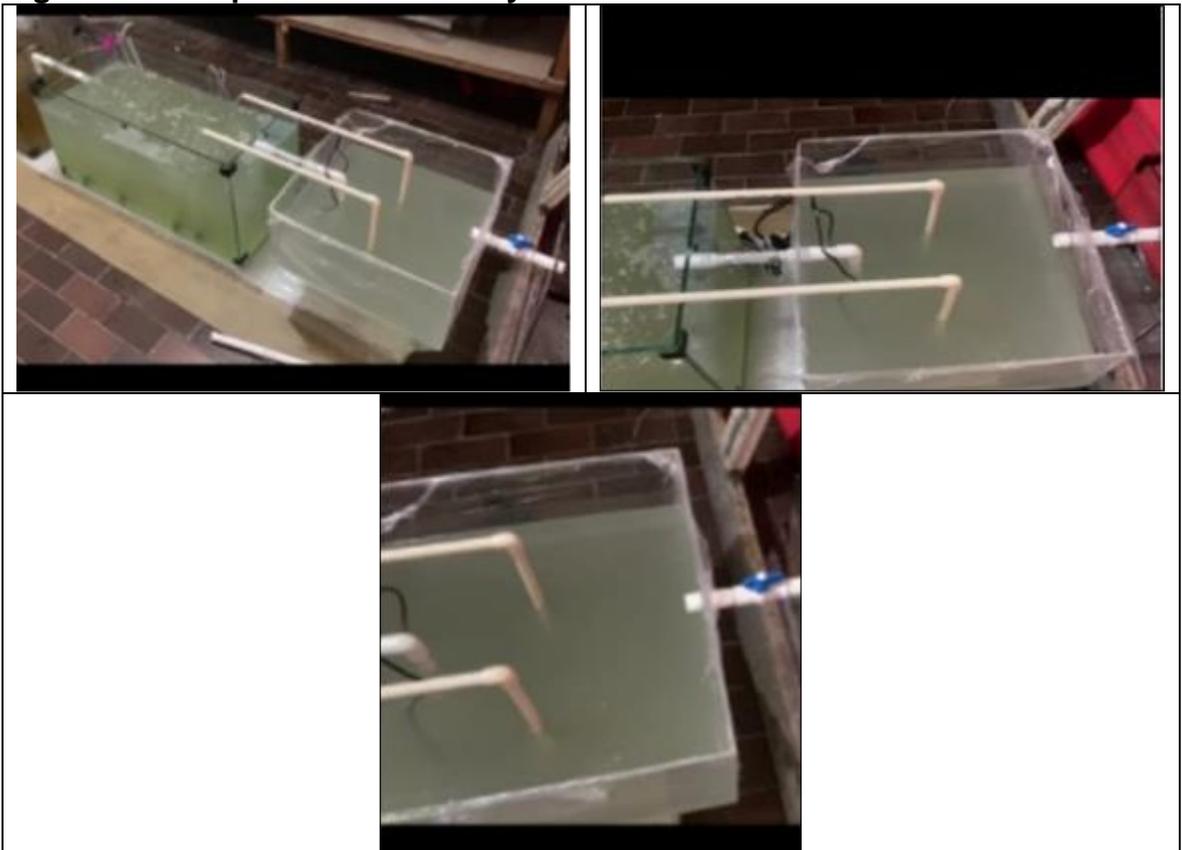
Fuente. El Autor

Figura 14. Tanque Aireación



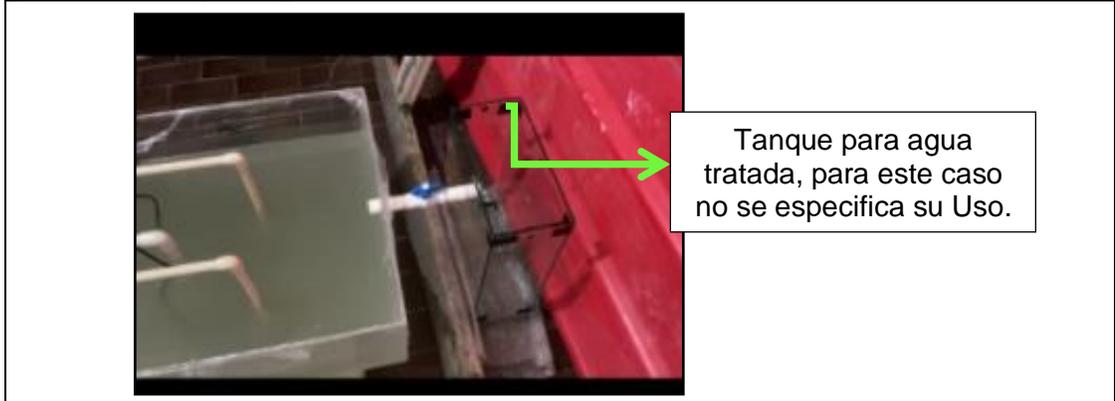
Fuente. El Autor

Figura 15. Tanque Sedimentador y Retorno de Lodos



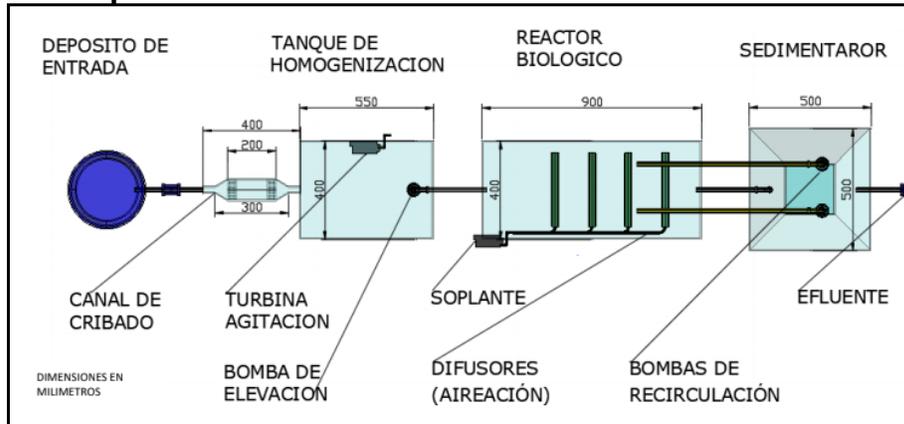
Fuente. El Autor

Figura 16. Tanque Agua tratada



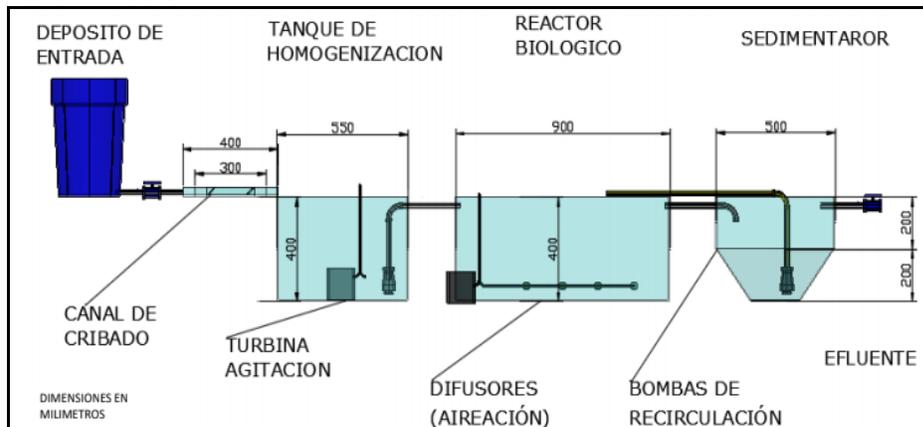
Fuente. El Autor

Figura 17. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales- modelo Piloto a Escala Vista Superior



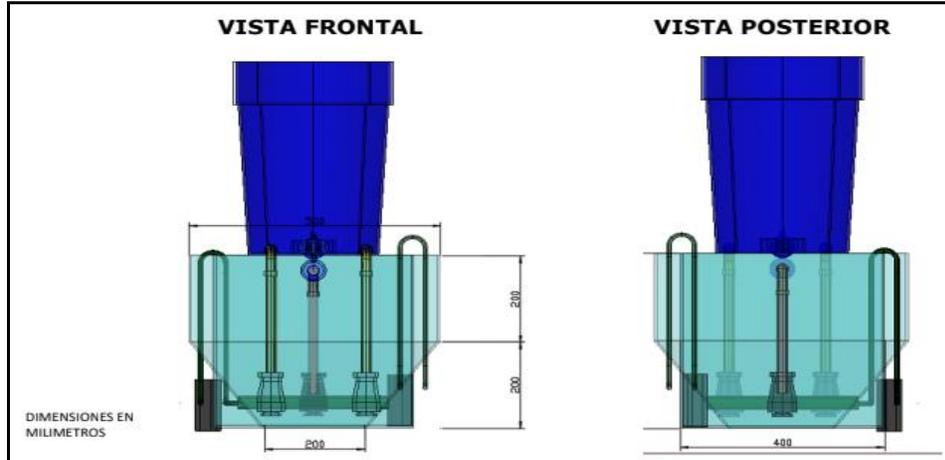
Fuente. El Autor

Figura 18. Planta de Tratamiento de aguas Residuales- Modelo Piloto a Escala Vista Alzada



Fuente. El Autor

Figura 19. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales- Modelo Piloto a Escala



Fuente. El Autor

2.2.1 Aclaraciones acerca del funcionamiento del modelo. El modelo está compuesto por cuatro estructuras, tanque de almacenamiento, homogeneizador, aireación, sedimentado, estos están contemplados en una fase inicial. Para una posible segunda fase se debe implementar al sistema un tratamiento de lodos por medio de lechos de secado ya que por este medio se consigue una reducción en volumen y peso; además que requiere poco gasto de energía.

La planta cuenta con un sistema de recirculación de lodos, en la salida del sedimentador, dirigido hacia el tanque aireador, para obtener mejores resultados al momento de analizar el agua resultante después del proceso.

2.3 PRUEBAS Y RESULTADOS

A continuación, se presentan los ensayos de laboratorio realizados, se debe aclarar que el agua utilizada proviene de la planta de tratamiento de aguas residuales del centro comercial BIMA, Ubicado en Bogotá. La muestra es tomada por el autor de este proyecto con el fin de identificar la eficiencia del sistema que se va a tratar. Se realizará análisis fisicoquímicos como DBO, DQO, SST, SSD y Color (véase la Tabla 11).

La muestra fue recolectada a la entrada del sistema de la PTAR y llevada al laboratorio para sus respectivos análisis. Durante este tiempo se deja que el sistema de aireación extendida se estabilice para poder tomar una muestra a la salida del proceso (Sedimentador), con la finalidad de corroborar la eficiencia del sistema.

Tabla 11. Resultados de Laboratorio

Parámetro	Entrada	Salida
DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno)	854 mg/L O ₂	126 mg/L O ₂
DQO (Demanda Química de Oxígeno)	1450 mg/L O ₂	301 mg/L O ₂
Sólidos Suspendidos Totales	245 mg/L	17 mg/L
Sólidos Sedimentables	40 mg/L	2,5 mg/L
Color Real 436nm	25,7m-1	8,34
Color Real 525nm	20,1m-1	4,54
Color Real 620nm	18,6m-1	4,14
pH	9,4	7.94

Fuente. Laboratorio de análisis de Agua.

De acuerdo con la resolución 0631 del 2015 la cual establece los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domesticas -ARD de acuerdo con el capítulo V artículo 8 “parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domesticas -ARD de las actividades industriales, comerciales o de servicios; y de las aguas residuales (ARD y ARnd) de los prestados del servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales (véase la Tabla 12):

Tabla 12. Parámetros Fisicoquímicos y Valores Límites Máximos Permisibles en los Vertimientos Puntuales de Aguas Residuales Domésticas, (ARD) y de las Aguas Residuales no Domésticas (ARnd)

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS - ARD	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS - ARD Y DE LAS AGUAS RESIDUALES (ARD – ARnd) DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES, CON UNA CARGA MENOR O IGUAL A 625,00 Kg/día DBO ₅
		DE LAS SOLUCIONES INDIVIDUALES DE SANEAMIENTO DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES O BIFAMILIARES	
Generales			
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO) ⁺	mg/L O ₂	200,00	180,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂		90,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	100,00	90,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	5,00	5,00
Grasas y Aceites	mg/L	20,00	20,00
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L		Análisis y Reporte
Hidrocarburos			
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L		Análisis y Reporte
Compuestos de Fósforo			
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L		Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)	mg/L		Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno			
Nitratos (N-NO ₃)	mg/L		Análisis y Reporte
Nitritos (N-NO ₂)	mg/L		Análisis y Reporte
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/L		Análisis y Reporte

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0631 (17 marzo, 2015). Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas

superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Bogotá: El Ministerio, 2015. p. 6

De la tabla anterior se puede apreciar como los vertimientos permisibles para el DBO₅ se encuentran por encima de los permitidos siendo estos de 90 mg/l O₂ con respecto a los 126 ml/l O₂ obtenidos en los ensayos. A su vez el valor permisible de Demanda Química de Oxígeno que según la resolución debe ser menor a los 180 mg/l O₂ que para este caso es del orden de los 301 mg/L O₂. También se puede apreciar que los valores de Sólidos suspendidos totales o SST y los Sólidos sedimentables SEED se encuentran en estado de cumpliendo con respecto a los valores máximos permitidos según esta resolución siendo estos del orden de los 17 mg/L y 2,5 mg/L siendo los valores máximos de 90 mg/L y 5 mg/L respectivamente.

De lo anterior se puede apreciar que este tratamiento de agua si bien es cierto disminuye en gran medida los factores contaminantes del agua está aún no puede ser consumida por humanos, pero podría ser usada para agroindustria e hidrocarburos (véase las Tablas 13 y 14):

Tabla 13. Parámetros Físicoquímicos a Monitorear y Valores Límites Máximos Permisibles en los vertimientos Puntuales de Aguas Residuales no domésticas (ARND) a Cuerpos de Aguas Superficiales de Actividades Productivas de Agroindustria, ganadería e Hidrocarburos

AGROINDUSTRIA				
PARÁMETRO	UNIDADES	PROCESAMIENTO DE HORTALIZAS, FRUTAS, LEGUMBRES, RAÍCES Y TUBÉRCULOS	BENEFICIO DE CAFÉ (CLASIFICACIÓN DE LA FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS – FNC/ CENICAFE).	
			PROCESO O ECOLÓGICO	PROCESO TRADICIONAL
Generales				
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	5,00 a 9,00	5,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	150,00	3.000,00	650,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	50,00		400,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	100,00	800,00	400,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	5,00	10,00	10,00
Grasas y Aceites	mg/L	10,00	30,00	10,00
Compuestos de Fósforo				
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno				
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Otros Parámetros para Análisis y Reporte				
Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm).	m ⁻¹	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

PARÁMETRO	UNIDADES	PROCESOS POSTCOSECHA DE PLÁTANO Y BANANO	PRODUCCIÓN DE AZÚCAR Y DERIVADOS A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR	EXTRACCIÓN DE ACEITES DE ORIGEN VEGETAL
Generales				
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	200,00	900,00	1.500,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	50,00	500,00	600,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	100,00	200,00	400,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	5,00	2,00	2,00
Grasas y Aceites	mg/L	10,00	20,00	20,00
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Hidrocarburos				
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L		10,00	10,00
Compuestos de Fósforo				

Tabla 13. (Continuación)

GANADERÍA					
PARÁMETRO	UNIDADES	GANADERÍA DE BOVINO, BUFALINO, EQUINO, OVINO Y/O CAPRINO	GANADERÍA DE BOVINO, BUFALINO, EQUINO, OVINO Y/O CAPRINO	GANADERÍA DE PORCINOS	GANADERÍA DE PORCINOS
		CRÍA	BENEFICIO	CRÍA	BENEFICIO
Generales					
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	500,00	900,00	900,00	800,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	250,00	450,00	450,00	450,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	150,00	200,00	400,00	200,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	5,00	5,00	5,00	5,00
Grasas y Aceites	mg/L	20,00	50,00	20,00	30,00
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Compuestos de Fósforo					
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno					
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Iones					
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L		500,00		500,00
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L		500,00		500,00
Otros Parámetros para Análisis y Reporte					
Acidez Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Cálctica	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

HIDROCARBUROS

PARÁMETRO	UNIDADES	EXPLORACIÓN (UPSTREAM)	PRODUCCIÓN (UPSTREAM)	REFINO	VENTA Y DISTRIBUCIÓN (DOWNSTREAM)	TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO (MIDSTREAM)
Generales						
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	400,00	180,00	400,00	180,00	180,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	200,00	60,00	200,00	60,00	60,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Grasas y Aceites	mg/L	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Fenoles	mg/L	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0631 (17 marzo, 2015). Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Bogotá: El Ministerio, 2015. p. 11

3. CONCLUSIONES

➤ Con la investigación realizada se pudo determinar que, con un prototipo de una PTAR para el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Católica de Colombia, los estudiantes del programa de Ingeniería Civil podrán afianzar los conocimientos teóricos adquiridos aplicándolos inicialmente en prácticas, actividad fundamental dada la importancia que tiene para el ejercicio profesional, tener una mejor perspectiva y comprensión del funcionamiento de las diferentes alternativas, tanto de plantas de tratamiento, como de los tipos de tratamiento de aguas residuales, que existe en la actualidad, reconociendo que un sistema de tratamiento de aguas residuales, en este caso, por aireación extendida, ofrece excelentes beneficios económicos debido al poco uso de energía, contribuyendo al saneamiento de comunidades del país y al tratar de mantener los recursos hídricos del país. Además de poder analizar de mejor manera los componentes de las aguas residuales en las diferentes etapas de tratamiento, comprender mejor todo el proceso, siendo estos modelos participantes activos de dicha innovación ya que sin éstos no se podrían hacer estimativos acerca del funcionamiento y rendimiento de dichas estructuras.

➤ Por otro lado, se pudo establecer que en todo proceso de diseño de estructuras hidráulicas se debe tener en cuenta no solo la cantidad de población beneficiaria de la PTAR, sino además los parámetros establecidos por la normatividad colombiana, para ofrecer soluciones ambientales adecuadas, por tanto, para el desarrollo del proyecto los cálculos realizados arrojaron que se requiere un caudal de 8.10 LPS para una población de 5000 habitantes, sin embargo, para el prototipo de la PTAR de lodos activados y aireación extendida para el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Católica de Colombia se tomó el 10% de este caudal es decir 4.051l/s o 0.004 m³/s, con el cual realizo el dimensionamiento de la PTAR del proyecto, la cual tuvo las siguiente características canal de cribado

para retener sólidos de gran tamaño, tanque homogeneizador para regulación de cargas orgánicas e hidráulicas, tanque de aireación para degradación biológica del agua residual mediante microorganismos con ayuda de oxígeno, sedimentador para la separación del agua residual tratada y lodo activado mediante acción de gravedad, un caudal de recirculación de lodos al tanque de aireación del 30 al 50% Q_{medio} , bombas de tamaño real y bombas para la planta de agua residual a escala.

➤ En cuanto a la construcción y pruebas de funcionamiento y efectividad del prototipo de la PTAR, se concluye que, haciendo uso de materiales básicos y reciclables se puede dotar de una planta de tratamiento de lodos activados y aireación extendida para un laboratorio estudiantil que mostro resultados exitosos en cuanto a la remoción de los indicadores de contaminación en el cuerpo de agua residual, sin embargo, las pruebas de laboratorio evidenciaron que el agua tratada mediante este método aún no puede ser utilizada para consumo humano pues, si bien es cierto que los niveles de los parámetros fisicoquímicos analizados tuvieron una disminución considerable de niveles contaminantes, el agua tratada puede ser reutilizada en actividades como la ganadería o riego de cultivos, así como en estaciones de hidrocarburos, siendo esto un indicador positivo a tener en cuenta en cuanto a sostenibilidad y manejo de recursos hídricos.

➤ Finalmente, se concluye que a partir del diseño propuesto y se puede dar cabida a la implementación de modelos con mayor grado de sofisticación en cuento a la remoción de contaminantes incorporando nuevas técnicas de tratamiento que permitan reducir aún más los parámetros para lograr una reutilización más amplia.

BIBLIOGRAFIA

ACUATECNIA S.A.S. Aguas residuales [en línea]. Bogotá: La empresa [citado 27 marzo, 2020]. Disponible en Internet: <URL: <https://acuatecnica.com/la-situacion-del-tratamiento-aguas-residuales-colombia/>>

AGUAS RESIDUALES. Ventajas y desventajas de los reactores biológicos secuenciales (SBR) [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 18 marzo, 2020]. Disponible en Internet: <URL: <http://aguasindustriales.es/ventajas-y-desventajas-de-los-reactores-biologicos-secuenciales-sbr/>>

ALVAREZ VARGAS, Mónica; VEGA ROJAS, Ingrid Johana y MURIEL MORALES, Diana Milena. Efecto de las aguas residuales y lixiviados en reactores de lodos activados a escala de laboratorio. Medellín: Universidad de Medellín. Facultad de Ingeniería Ambiental. Modalidad trabajo de grado, 2005. 132 p.

AQUATEC WATER TECHNOLOGIES. La importancia de una planta de tratamiento de agua residual hacia el ambiente [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 18 marzo, 2018]. Disponible en internet: <URL: <http://aquatec.com.pa/2016/10/21/la-importancia-de-una-planta-de-tratamiento-de-agua-residual-hacia-el-ambiente/>>

ASHRAFI, Omid; YERUSHALMI, Laleh y HAGHIGHAT, Fariborz. Wastewater treatment in the pulp-and-paper industry: A review of treatment processes and the associated greenhouse gas emission. En: Journal of Environmental Management. August, 2015. vol. 158, no. 1.

CÁCERES MENA, Mayra Elizabeth; ARGUELLO GUADALUPE, Carla Sofía; PINO VALLEJO, Marco Vinicio; MONTENEGRO CÓRDOVA, Galo Briam y VERDUGO BERNAL; Catalina Margarita. Diseño De Una Planta De Tratamiento De Aguas Residuales Para Su Reutilización En Riego En Áreas Verdes. En: European Scientific Journal. Julio, 2017. Vol.13, no.18.

COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA. Plan nacional de manejo de aguas residuales municipales en Colombia [en línea]. Bogotá: El Ministerio [citado 25 marzo, 2018]. Disponible en Internet: <URL: http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/PLAN_NACIONAL_DE_MANEJO_DE_AGUAS_RESIDUALES_MUNICIPALES_EN_COLOMBIA.pdf>

----- . MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0631 (17 marzo, 2015). Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Bogotá: El Ministerio, 2015. 93 p.

----- MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Resolución 330 (2 octubre, 2017). Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009". Bogotá: Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2017. 182 p.

----- Tratamiento De Aguas Residuales, Título E. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS. Bogotá: Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000. 150 p.

CORTES, Valentina; JARAMILLO, Laura; MARIN, David; TORRES, Juan; VEA, Leydi y ZULUAGUA, Juan. Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para el 70% de la población de la cabecera municipal de Cajamarca, Tolima [en línea]. Cali: Universidad Javeriana [citado 28 marzo, 2029]. Disponible en Internet: <URL: http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/8643/Articulo_cientifico.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

CUIDO EL AGUA.GOR. ¿Que son las aguas residuales? Bogotá: La Empresa [citado 28 marzo, 2020]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.cuidoelagua.org/empapate/aguaresiduales/aguasresiduales.html>>

DEL VILLAR GARCÍA, Alberto. Guía de tratamientos avanzados de aguas residuales urbanas. Alcalá: Universidad de Alcalá, 2010. 70 p.

ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA. Tratamiento De Aguas Residuales [en línea]. Medellín: La Universidad [citado 18 marzo, 2018]. Disponible en Internet: <URL: [http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/tratamiento residuales/tratamientoresiduales.html](http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/tratamiento%20residuales/tratamientoresiduales.html)>

FIBRAS Y NORMAS DE COLOMBIA. Decantación de lodos [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 28 marzo, 2020]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.fibrasynormasdecolombia.com/terminos-definiciones/decantacion-definición-tipos-aplicaciones-estanques-tipos/>>

FLOWATER. Sewage Treatment Plant (STP) [en línea]. Bangladesh: La Empresa [citado 12 abril, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <http://flowaterbd.com/home/sewage-treatment-plant-stp/>>

FONTANERO MURCIA. ¿Alguna vez te has preguntado dónde va el agua? en línea]. Bogotá: La empresa [citado 27 marzo, 2020]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.fontaneromurcia-24h.com/alguna-vez-te-has-preguntado-donde-va-el-agua/>>

LOPSIK, K. Life cycle assessment of small-scale constructed wetland and extended aeration activated sludge wastewater treatment system. International Journal of Environmental Science and Technology. February, 2013. vol. 10, no 6.

MESA, Adriana Milena; CARDONA PATIÑO, Leonardo y SALAZAR SALAS, Lady Alexandra. El agua residual: un análisis a partir de las diferentes actividades humanas [en línea]. Manizales: Universidad de Manizales [citado 28 marzo, 2020]. Disponible en Internet: <URL: https://es.slideshare.net/leonardocardona-patio/trabajo-colaborativo-82862002?from_action=save>

MOBIUS. ¿Qué es una PTAR – Planta de Tratamiento de Aguas Residuales? [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 18 marzo, 2018]. Disponible en internet: <URL: <http://mobius.net.co/que-es-una-ptar/>>

MOSES KOLADE, David. Review paper on industrial wastewater treatment processes [en línea]., Nsukka: University Of Nigeria [citado 11 abril, 2019]. Disponible en Internet: <URL: https://www.researchgate.net/publication/305827717_A_Review_Paper_on_Industrial_Waste_Water_Treatment_Processes>

OLIVER, Barry G.; COSGROVE, Ernest G. The efficiency of heavy metal removal by a conventional activated sludge treatment plant. Water research, July, 1974. vol. 8, no 11.

ROMALHO, R.S., Tratamiento de aguas residuales. Bogotá: Reverte, 1996. 580 p.

-----, Tratamiento de aguas residuales. 2 ed. Londres: Reverte, 2021. 697 p.

ROMERO ROJAS, Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002. 1248 p.

RUIZ CARMONA, Oscar. Tratamiento Físico – Químico De Aguas Residuales. [en línea]. México: Servi Aqua Móvil S.A [citado 25 abril, 2018]. Disponible en Internet: <URL: https://nanopdf.com/download/tratamiento-fisico-quimico-de-aguas-residuales_pdf >

SALAZAR CANO, Roberto. Tratamiento de aguas residuales en acuicultura [en línea]. Pasto: Universidad de Nariño [citado 28 marzo, 2020]. Disponible en Internet: <URL: <http://revistas.udenar.edu.co/index.php/reipa/article/view/1590/1929>>

SANCHEZ MARTÍNEZ, Paula. Diseño de una estación depuradora de aguas residuales en zona costera con tratamiento para riego de campo de golf. Cádiz: Universidad de Cádiz, 2011. 291 p.

SMART MACHINE TECHNOLOGIES. Problems with wastewater treatment facilities [en línea]. Virginia: Website & Marketing [citado 28 marzo, 2020]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.smartmachine.com/problems-with-wastewater-treatment-facilities/>>

SSPT WATER TECHNOLOGIES. ¿Qué es el Agua Residual? [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 18 marzo, 2018]. Disponible en internet: <URL: <http://www.sstp.mx/que-es-el-agua-residual.html>>

WATER TECHNOLOGY ENGINEERING. Sewage Water Treatment Information Plants [en línea]. United Kingdom: La Empresa [citado 20 marzo, 2019]. Disponible en Internet: <URL: http://www.crystaltanks.com/sewage_treatment_plant_crystal.html>

ANEXOS

ANEXO A. Resultados Prueba de Laboratorio



RESULTADOS DE LABORATORIO	Informe No. 001554
	Pagina 1 de 1

FECHA DE REPORTE: 2020/10/29
EMPRESA: JAVIER SANTANDER
ATENCION: NA
DIRECCION: Carrera 47 # 134a - 82
TELEFONOS: 3108586343
No. DE MUESTRAS: 1 salida de PTAR
FECHA DE RECEPCION: 2020/10/05
FECHA DE ANALISIS: 2020/10/05 AL 2020/10/20
PLAN DE MUESTREO CIAN No.: OP-F-03 No.1554
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO: OP-P-01
PROYECTO: Ptar Piloto, aireación extendida.



IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA			
MUESTRA No. 16158 1 - DESCARGA PTAR			
Matriz	Agua Residual	Municipio: Bogotá	Fecha de Toma: 2020/10/05
Tipo de Muestreo:		Departamento:	Hora de Toma:
SOLIDOS SEDIMENTABLES	mg/L	S.M 2540 D	2,5
COLOR REAL 436NM	m-1	ISO 7887-2012 METODO B	8,34
COLOR REAL 525NM	m-1	ISO 7887-2012 METODO B	4,54
COLOR REAL 620NM	m-1	ISO 7887-2012 METODO B	4,14
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	S.M 2540 D	17
pH	unidades de pH		7,94
DBO5	mg/LO2	S.M.5210 B-ASTM D888-09 MET.C	126
DQO	mg/L O2	S.M. 5220 C	301

MARCELA MONOGA - FQI 0028
 DIRECTOR TÉCNICO Y DE LABORATO

Muestreo realizado por **PERSONAL DE CIAN LTDA.**
 Resultados válidos únicamente para las muestra(s) analizada(s)
 Prohibida la reproducción de este Informe, sin aprobación escrita de Cian Ltda.

LA-F-02 Rev.A 10/10/2013

Dirección: Cra. 72 A No 48-20. Bogotá, D.C.
 Teléfono: (57) 1 - 295 11 09 / 416 04 82