



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE
GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**“EVALUACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE
OXÍGENO CON UN REACTOR AERÓBICO SECUENCIAL
DISCONTINUO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS”**

TUTOR:

Ing. Civ. PABLO MARIO PAREDES RAMOS, Ms.

AUTORES:

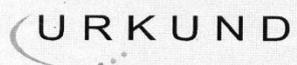
**MANUEL DARÍO QUINTO YÉPEZ
MOISÉS FERNANDO YÉPEZ PERALTA**

**GUAYAQUIL - ECUADOR
2018**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	
FICHA DE REGISTRO de tesis	
TITULO Y SUBTITULO:	
“EVALUACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO CON UN REACTOR AERÓBICO SECUENCIAL DISCONTINUO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS”	
AUTOR/ES: MANUEL DARIO QUINTO YEPEZ MOISÉS FERNANDO YÉPEZ PERALTA	REVISORES: PABLO MARIO PAREDES RAMOS
INSTITUCIÓN: UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL	FACULTAD: INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION
CARRERA: INGENIERIA CIVIL	
FECHA DE PUBLICACIÓN: 2018	N. DE PAGS: 108
ÁREAS TEMÁTICAS: ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN	
PALABRAS CLAVE: TRATAMIENTO, REACTOR, SECUENCIAL, AEROBIO, DBO	
RESUMEN: En la actualidad la contaminación ambiental producida por la descarga de aguas residuales domesticas ha crecido en forma exponencial causando daños al medio ambiente. Por tal motivo existe la necesidad de crear nuevas técnicas de tratamiento confiable y de bajos costos que permita mejorar la calidad del líquido, antes de ser vertido a un cuerpo receptor de agua dulce o marina. Algunos tipos de planta de tratamiento son muy costosas y requieren grandes áreas de terreno para su funcionamiento, por tal razón se ha diseñado un reactor aeróbico secuencial discontinuo que permitió en un solo recipiente hacer el proceso de llenado, reacción (agitación y aeración), sedimentación y descarga. De esta manera se puede reducir tiempo y dinero. Este tipo de reactor permitió mejorar la demanda bioquímica de oxigeno (DBO) y así cumplir con las normas requeridas para la correcta descarga a cuerpos receptores, ya sea de agua dulce o marina las cuales fueron comprobadas mediante pruebas de laboratorio.	
N. DE REGISTRO (en base de datos)	N. DE CLASIFICACIÓN:

DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		
ADJUNTO URL (tesis en la web):		
ADJUNTO PDF:	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON AUTORES/ES: MANUEL DARIO QUINTO YÉPEZ MOISÉS FERNANDO YÉPEZ PERALTA	Teléfono: 0999189424 0939634770	E-mail: Manuelquinto17@hotmail.com Moisesyepez68@hotmail.com
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	MSC. July Herrera Valencia, DECANA Teléfono: 2596500 EXT. 241 DECANATO E-mail: Jherrerav@ulvr.edu.ec	



Urkund Analysis Result

Analysed Document: TESIS REACTOR AEROBICO [MAS CITAS].docx (D36993495)
Submitted: 3/27/2018 1:33:00 AM
Submitted By: pparedesr@ulvr.edu.ec
Significance: 7 %

Sources included in the report:

TESIS REACTOR AEROBICO SECUENCIAL.docx (D36867153)

Instances where selected sources appear:

2

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "J. Paredes".

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor(a) del Proyecto de Investigación EVALUACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO CON UN REACTOR AERÓBICO SECUENCIAL DISCONTINUO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, nombrado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de Administración de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y analizado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: "EVALUACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO CON UN REACTOR AERÓBICO SECUENCIAL DISCONTINUO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS", presentado por los estudiantes MANUEL DARIO QUINTO YEPEZ y MOISÉS FERNANDO YÉPEZ PERALTA como requisito previo a la aprobación de la investigación para optar al Título de INGENIERO CIVIL, encontrándose apto para su sustentación

Firma:



PABLO MARIO PAREDES RAMOS

C.I. 0911828150

**DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS
PATRIMONIALES**

Los/Las estudiantes/cgresados(as) MANUEL DARIO QUINTO YÉPEZ y MOISÉS FERNANDO YÉPEZ PERALTA, declaro (amos) bajo juramento, que la autoría del presente trabajo de investigación, corresponde totalmente a los/las suscritos(as) y nos responsabilizamos con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedemos nuestros derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador.

Este proyecto se ha ejecutado con el propósito de estudiar (EVALUACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO CON UN REACTOR AERÓBICO SECUENCIAL DISCONTINUO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS).

Autor(es) (as):


MANUEL DARIO QUINTO YEPEZ

C.I. 1203846413


MOISÉS FERNANDO YÉPEZ PERALTA

C.I. 1202703912

DEDICATORIA

Dedico esta tesis de grado a DIOS, por haberme permitido cumplir una de mis metas dándome salud, sabiduría y paciencia, para poder entender cada día las tareas asignadas.

A mi madre Teresa Yépez Peralta por su apoyo y confianza constantes, guiándome por el buen camino, hacerme un hombre de bien y por su infinito amor.

A mi padre, Mariano Quinto Hurtado por guiarme por el camino correcto de los estudios y darme su consejo de superación, para seguir adelante cada día, le agradezco su infinito amor.

A mi esposa, María Palacios Ríos por darme su incondicional apoyo, por su paciencia y amor en momentos difíciles.

A mis hijos Joel Duvier, Jonathan Manuel, Andrea Carolina y Sebastián que me supieron entender y me motivaron para seguir estudiando y demostrarles que con esfuerzo, dedicación y perseverancia se puede alcanzar todas las metas que nos proponemos a lo largo de nuestras vidas.

Manuel Darío Quinto Yépez

AGRADECIMIENTO

A mi padre celestial por haberme dado la oportunidad de cumplir mi sueño de ser un profesional.

A mis padres Mariano Quinto Hurtado, Teresa Yépez Peralta por su confianza y amor y entrega en cada momento de mi vida.

A mis hermanos Hugo, Oswaldo, Rolando, Mariela y Marianela por darme su apoyo incondicional en los momentos más importante de mi vida.

A mis tíos que supieron brindarme su valioso tiempo cuando lo necesitaba.

A mis profesores Ms. Ing. Fausto Cabrera Montes, Ms. Ing. July Herrera Valencia, Ms Ing. Alex Salvatierra, Ms. Ing. Max Almeida, Ms. Arq. Isabel Murillo Sevillano, Ms. Lcda. Graciela Jurado por compartir sus sabios conocimientos adquiridos en su carrera profesional, por sus consejos para que pueda seguir adelante con mis estudios y por la confianza depositada en mí.

Al tutor Ms. Ing. Pablo Paredes Ramos, por guiarme e ilustrarme en el proyecto de investigación para culminar con éxito mi tesis.

A mis compañeros de estudios que siempre estuvieron presentes en los momentos más difíciles, guiándome para seguir adelante con mi carrera.

Manuel Darío Quinto Yépez

DEDICATORIA

El motor que guía mi vida, Dios y luego mi familia que es el eje sobre el cual gira mi esfuerzo y sacrificio para lograr mi objetivo anhelado. Ahí nace el amor y se alimenta cada día. A ustedes mis amores Moisés Fernando, Yuleixi Alexandra y Steeven Leonel, que llenan mi vida de felicidad, me motivan día a día a seguir superándome. . A mi esposa Martha Alexandra Peñafiel Chica, quien me ha dado los años más felices de mi vida y siempre ha sido mi apoyo incondicional, ayudándome a lograr mis sueños de superación y metas profesionales. Mi título te lo dedico con todo mi amor.

Moisés Fernando Yépez Peralta

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios sobre todas las cosas, a mi familia que me motivaron cada día a seguir adelante; a mis hermanos por su ayuda en los momentos difíciles. Y a la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, por darme la oportunidad de estudiar y hacer mí sueño una realidad. Al cuerpo docente, que me brindaron sus conocimientos, en especial a los señores Ms. Ing. Fausto Cabrera Montes, Ms. Ing. July Herrera Valencia, Ms. Ing. Alex Salvatierra, Ms. Ing. Max Almeida, Ms. Lcda. Graciela Jurado y a la Ms. Arq. Isabel Murillo Sevillano, por brindarme su ayuda desinteresadamente y motivarme cada día a seguir adelante con mis estudios.

Ms. Ing. Pablo Mario Paredes Ramos, por su gran espíritu colaborador y un corazón noble, quien me ha brindado su ayuda sin ningún interés, gracias por su amistad y apoyo.

Moisés Fernando Yépez Peralta

ÍNDICE

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES	vi
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
DEDICATORIA.....	ix
AGRADECIMIENTO.....	x
ÍNDICE	xi
ÍNDICE DE FOTOS	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
EL PROBLEMA	3
1.1. Tema.....	3
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Formulación del problema.....	4
1.4. Sistematización del problema.....	4
1.5. Objetivos.....	4
1.5.1. Objetivo General.....	4
1.5.2. Objetivos Específicos.....	4
1.6. Justificación de la investigación.....	5
1.7. Delimitación o alcance de la investigación.....	6
1.8. Hipótesis.....	6

1.8.1. Variable independiente.	6
1.8.2. Variable dependiente.....	7
CAPÍTULO II.....	8
MARCO TEÓRICO	8
2.1. Marco conceptual.....	8
2.2. Marco Teórico Técnico.....	10
2.2.1. Definición de tratamiento de aguas residuales.....	10
2.2.2. Tipos de tratamiento de aguas residuales.	11
2.2.3. Elementos de tratamiento.....	16
2.2.4. Parámetros para el tratamiento de aguas residuales (DBO).....	18
2.2.5. Reactor Aeróbico secuencial discontinuo.	28
2.2.6. Operación del reactor aeróbico secuencial.....	32
2.2.7. Tipos de reactores	35
2.2.8. Ventajas del sistema SBR sobre el convencional	39
2.2.9. Marco legal.....	42
CAPÍTULO III	50
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.	50
3.1. Tipo de investigación.....	50
3.1.1. Investigación experimental.	50
3.2. Enfoque de la investigación.....	50
3.2.1. Enfoque cuantitativo.	50
3.2.2. Enfoque cualitativo.	51
3.3. Técnicas de la investigación.	51
3.3.1. Investigación documental.	52

3.3.2. Investigación de campo.....	52
3.4. Diseño y construcción del reactor aeróbico secuencial discontinuo.	52
3.4.1. Fundamentos de diseño del reactor aeróbico secuencial discontinuo..	52
3.4.2. Materiales para la construcción del reactor aeróbico secuencial discontinuo.....	56
3.4.3. Proceso de construcción del reactor aeróbico secuencial discontinuo.	58
3.4.4. Implementacion del reactor aeróbico secuencial en el laboratorio de aguas y materiales de ULVR.	65
3.5. Experimento con el reactor aeróbico secuencial discontinuo.	66
3.5.1. Fase previa del experimento.	66
3.5.2. Procedimiento de operación del reactor aeróbico secuencial.	68
CAPITULO IV	75
ANÁLISIS DE RESULTADOS	75
4.1. Resultados obtenidos.	75
4.1.1. Primera corrida.....	75
4.1.2. Segunda corrida.....	76
4.1.3. Tercera corrida.	77
4.1.4. Cuarta corrida.....	78
4.2. Evaluación de la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en un reactor aeróbico secuencial.....	79
4.2.1. Determinación del tiempo óptimo de los procesos de tratamiento de aguas residuales en función de la remoción adecuada de demanda bioquímica de oxígeno (DBO).	80
CONCLUSIONES.....	82

RECOMENDACIONES	83
GLOSARIO	84
BIBLIOGRAFÍA	85
ANEXOS	89
Anexo 1: Resultados obtenidos entrada y primera salida	89
Anexo 2: Resultados obtenidos segunda y tercera salida	90
Anexo 3: Resultados obtenidos segunda entrada.....	91
Anexo 4: Resultados obtenidos cuarta salida	92

INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Desarenador	12
Figura 2. Sistema Aeróbico	13
Figura 3. Sistema anaeróbico	14
Figura 4. Ultra filtración de aguas residuales.....	16
Figura 5. Reactor discontinuo secuencial (SBR)	29
Figura 6. Funcionamiento de reactor aeróbico secuencial	35
Figura 7. Reactores secuenciales (SBR)	36
Figura 8. Reactores secuenciales (SBR)	37
Figura 9. Biodiscos de los Reactores secuenciales (SBR)	38
Figura 10. Filtros percoladores.....	38
Figura 11. Filtros de lecho móvil (MBBR)	39

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química del agua doméstica.	18
Tabla 2. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.....	44
Tabla 3. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	48
Tabla 5. Resultado primera corrida	75
Tabla 6. Resultado segunda corrida.....	76
Tabla 7. Resultado tercera corrida.....	77
Tabla 8. Resultado cuarta corrida.....	78
Tabla 9. Evaluación de los resultados	79

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1. Vista del prototipo de reactor aeróbico secuencial	59
Foto 2. Se empezó a cortar los materiales	60
Foto 3. Diseño del soporte	60
Foto 4. Fondeando el soporte	61
Foto 5. Pintado del soporte	61
Foto 6. Accesorios de plomería del reactor aeróbico secuencial.	62
Foto 7. Fabricación del sistema agitador del reactor aeróbico secuencial	63
Foto 8. Colocación de poleas	64
Foto 9. Instalando el aspa	64
Foto 10. Comprobando el agitador	65
Foto 11. De esta manera quedó implementado el reactor	66
Foto 12. Observación cómo se introduce el aire	67
Foto 13. Se empieza a llena el reactor	70
Foto 14. Completando la fase de llenado	71
Foto 15. Momento de agitación y aireación	72
Foto 16. Observa el licor en reposo	72
Foto 17. Procedió a tomar muestra de agua residual domestica	73
Foto 18. Observación de la evacuación del agua residual domestica	74
Foto 19. Momento de limpieza	74

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el crecimiento de la población mundial ha aumentado la cantidad y diversidad de aguas residuales, tanto en nutrientes como en materia orgánica, de tal manera que la disposición incontrolada causa daños al medio ambiente, al propiciar el proceso denominado eutrofización. La presencia de estos compuestos en cantidades normales es esencial para el crecimiento de las plantas y de otros organismos, por lo que se denominan nutrientes. A su vez, la presencia de materia orgánica en los cuerpos de agua receptores disminuye la concentración de oxígeno disuelto ocasionando la muerte de especies acuáticas en el medio.

La complejidad del tratamiento anaeróbico y la menor experiencia con estos procesos (en comparación con sistemas aeróbicos) son las razones para que existan variaciones entre los modelos propuestos, no habiendo aún uniformidad de criterios en relación con algunos aspectos de la modelización de dichos procesos. Evaluar el comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en un reactor biológico secuencial discontinuo para tratar agua residual doméstica de una vivienda es el objetivo general de la investigación.

Se debe destacar que para controlar este fenómeno se deben implementar las acciones tendientes a reducir la descarga de estos contaminantes, más aun teniendo en cuenta que se han incrementado los niveles de exigencia en la normatividad ambiental vigente en muchos países, de ahí su importancia de estudio.

Teniendo en cuenta la problemática expuesta anteriormente, los reactores secuenciales (SBR) constituyen una innovación tecnológica de carácter versátil en el tratamiento de las aguas residuales domésticas, adquiriendo la eliminación de contaminantes, que es una secuencia de ciclos de llenado y vaciado que normalmente

se conoce como el proceso de eliminación biológica de nutrientes, en fases que pueden incluir el tratamiento anaerobio, aerobio, anóxico, o la combinación de ellos y en las que, finalmente, se incluye la sedimentación. Todas estas operaciones unitarias se desarrollan en un mismo reactor. (Juan Fernando Muñoz Paredes¹, 2014)

Se explica este proyecto de investigación en el Capítulo I con la delimitación, formulación y sistematización del problema, con el planteamiento de objetivos y justificación del tema; asimismo, el alcance del presente experimento. En el Capítulo II se presentan el Marco Teórico Conceptual y Técnico pertinentes para el desarrollo del tema.

En el Capítulo III se ilustra todo el proceso experimental del reactor aeróbico secuencial discontinuo. Finalmente, en el Capítulo IV, se presentan los resultados del análisis efectuado de las aguas residuales. Asimismo, se obtienen conclusiones del trabajo realizado y recomendaciones para futuros proyectos.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Tema.

“Evaluación de la demanda bioquímica de oxígeno con un reactor aeróbico secuencial discontinuo de aguas residuales domésticas”

1.2. Planteamiento del problema.

La contaminación del agua residual de uso doméstico es cada día más grave debido a que la población mundial aumenta de manera exponencial, este problema está afectando a la sociedad en general y en particular al medio ambiente debido a que, muchas veces, éstas son depositadas en riachuelos, lagos, canales y ríos que al final podrían entrar en contacto directo con los mares, afectando así un gran número de especies, tanto marinas como silvestres, ya que la alteración de las mismas llegan a provocar daños al entorno que las rodea, aún más si son usadas como fuente de suministro con fines de potabilización.

Hay que tomar decisiones para corregir esta situación que es de interés para todos. De esta manera se puede ayudar a descontaminar el medio ambiente y prevenir futuros daños al mismo, utilizando nuevas técnicas que permitan limpiar y purificarla antes de enviarla a los ríos u otros medio acuíferos. Por ello es menester realizar un análisis de las aguas residuales domésticas que compete al tema de estudio.

1.3. Formulación del problema.

¿Es necesario implementar nuevos sistemas de tratamiento de aguas residuales que sean óptimos, confiables, de bajo costos en lugares que ocupen poca área y en donde no existan plantas de tratamientos de aguas residuales?

1.4. Sistematización del problema.

¿Cuáles son las causas de las aguas residuales que producen elevada contaminación ambiental?

¿Qué tipos de daños genera la contaminación por aguas residuales en el medio ambiente?

¿Qué se debería hacer para prevenir el depósito de aguas residuales mal tratadas en ríos y mares?

¿Qué soluciones se deberían implementar para minimizar el daño causado al medio ambiente por el mal uso de las aguas residuales?

1.5. Objetivos.

1.5.1. Objetivo General.

Evaluar el comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en un reactor biológico secuencial discontinuo para tratar agua residual doméstica de una vivienda.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- Verificar la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno en un reactor biológico secuencial discontinuo.

- Determinar el tiempo óptimo de los procesos de tratamiento de aguas residuales en función de la remoción adecuada de demanda bioquímica de oxígeno (DBO).
- Determinar la cantidad de inóculo adecuado de agua residual a incorporarse al reactor para que se produzca la remoción de Demanda bioquímica de oxígeno.
- Construir un reactor aeróbico secuencial discontinuo para tratamiento de las aguas residuales domésticas.

1.6. Justificación de la investigación.

Según Muñoz Juan, Ramos Mauricio (2014) expresan que eliminar contaminantes de las aguas residuales domésticas ha despertado el interés en los últimos años. Existe una búsqueda de nuevos y mejores diseños que permitan la implementación de sistemas de tratamiento confiables, de bajo costo, de escasa área de implantación necesaria y que ofrezcan probados resultados. En la actualidad en el país existe un gran déficit de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas de bajo costo.

Es necesario conceptualizar y dimensionar un sistema de aguas residuales apropiado para las condiciones específicas del Ecuador, cumpliendo los parámetros de vertido para reducir el impacto ambiental. Además, en poblaciones urbanas y rurales hay una tendencia a no disponer de áreas para implementar una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas.

La ventaja de usar reactores biológicos secuenciales es que en un solo reactor se pueden efectuar los procesos unitarios de sedimentación, y reacción logrando ahorros de espacio muy grandes. Se busca con este tema, un Sistema de tratamiento

de agua residual doméstica para una vivienda, que sirva para obtener agua tratada de calidad que cumpla las normas nacionales e internacionales en cuanto a su vertimiento en un alcantarillado público o a un cuerpo de agua dulce o marina.

1.7. Delimitación o alcance de la investigación.

Campo: Educación Superior. Tercer Nivel.

Área: Ingeniería Civil

Aspecto: Investigación Experimental Análisis de aguas residuales domésticas.

Tema: “Evaluación de la demanda bioquímica de oxígeno con un reactor aeróbico secuencial discontinuo de aguas residuales domésticas”

Delimitación Espacial: Laboratorio de aguas y materiales de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

Delimitación Temporal: El proyecto se realiza en 6 meses.

1.8. Hipótesis.

¿Generará un menor costo ambiental, tiempo y área espacial el uso de un reactor biológico secuencial discontinuo en el tratamiento de aguas residuales de uso doméstico?

1.8.1. Variable independiente.

Generará un menor costo ambiental, tiempo y área espacial el uso de un reactor biológico secuencial discontinuo.

1.8.2. Variable dependiente.

En el tratamiento de aguas residuales de uso doméstico.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Marco conceptual.

- **Aguas residuales domésticas.** Las aguas residuales son aguas contaminadas, que salen de las residencias e industrias, estas aguas son tóxicas y dañinas para la salud y el medio ambiente, porque generalmente vienen acompañas de ciertos elementos o sustancias que contaminan la pureza del agua, como pueden ser materia fecal, grasas, sustancias químicas, y también los detergentes, cloro, o productos de cocina y todo residuo que sale de las diferentes industrias de producción como: ganaderas, lácteas, químicas, etc. (Florencia Ucha, 2012)
- **Reactor aeróbico secuencial.** Los reactores biológicos secuenciales (SBR) son reactores discontinuos en los que el agua residual se mezcla con un lodo biológico en un medio aereado. El proceso combina en un mismo tanque reacción, aeración y clarificación. (Remtavares, 2006)
- El empleo de un único tanque reduce sustancialmente la inversión necesaria. Otras ventajas de los SBR son la facilidad para el control de la operación, la buena flexibilidad ante fluctuaciones de caudal y concentración de las aguas residuales, y los buenos resultados obtenidos en el tratamiento de compuestos refractarios a los sistemas biológicos convencionales. (Remtavares, 2006)
- **DBO.** La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una prueba usada para la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas municipales, industriales y en general residual; su aplicación permite calcular los efectos de las descargas

de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores. Los datos de la prueba de la DBO se utilizan en ingeniería para diseñar las plantas de tratamiento de aguas residuales. (drcalderonlabs, julio 1997)

- **Microorganismo.** Son aquellos seres vivos más diminutos que únicamente pueden ser apreciados a través de un microscopio. En este extenso grupo se puede incluir a los virus, bacterias, levaduras y mohos que pululan por el planeta tierra. (ABC, 2007)

Los microorganismos son seres vivos invisibles al ojo humano. Pueden ser parte de distintas clases, abarcado hongos, bacterias, algas, etc. Puede decirse que algunos de ellos son los primeros seres vivos en aparecer sobre la faz de la tierra y hay algunas teorías que, incluso estipulan el origen de la vida fuera de ésta, con microorganismos provenientes del exterior de la misma. Este tipo de formas de vida se componen de una sola célula, aunque también con más de una. Este conocimiento se vio impulsado por la intención de contrarrestar enfermedades e infecciones. (ABC, 2007)

- **Nitrificación.** Fase final de la descomposición de la materia orgánica y, en general, de compuestos amoniacales, naturales o sintéticos, en la que su N (nitrógeno) pasa a formas nítricas asimilables por la planta. Es la conversión, efectuada por las bacterias nitrificantes del suelo, de los compuestos orgánicos de nitrógeno, como los aminoácidos y proteínas o la urea, en nitratos inorgánicos asimilables por las plantas verdes. (INFOJARDIN, 2002)

- **Tratamiento de aguas residuales.** El término agua residual define un tipo de agua previamente utilizada, que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación. (Aguamarket, 1999)
- **Tratamiento de aguas domésticas.** Las aguas residuales domésticas son producto de la utilización del líquido en las diferentes actividades de un hogar, las cuales producen un nivel de contaminación al agua que puede manifestar la presencia de sólidos, desechos orgánicos, detergentes, jabones y grasas, lo que precisa de un proceso para su eliminación. (Anónimo, 2013)

2.2. Marco Teórico Técnico.

2.2.1. Definición de tratamiento de aguas residuales.

Las aguas contaminadas provienen de diferentes fuentes, como pueden ser las industrias y las zonas habitacionales, compuestas de partículas muy variadas, tanto en tamaño como en composición, refiriéndose solo al agua proveniente de una casa, ésta trae consigo desperdicios alimenticios, grasas, desechos de inodoros, jabones utilizados en baños y para lavar ropa, y un sinnúmero de materia orgánica e inorgánica que es desalojada.

Por lo mencionado es necesario hacer una división de los procesos de limpieza, simplificándolos y estableciendo objetivos que se persiguen con cada sistema utilizado, para poder medir su eficacia. Los tratamientos para

las aguas de desecho, pueden reconocerse en base a su ubicación en el proceso de limpieza, como primarios, secundarios y avanzados.

(Anónimo)

Las aguas residuales son generadas por residencias, instituciones y locales comerciales e industriales. (GRIN, 1995). Éstas pueden ser tratadas dentro del sitio en el cual son generadas como: tanques sépticos u otros medios de depuración o bien pueden ser recogidas y llevadas mediante una red de tuberías y eventualmente bombas a una planta de tratamiento municipal. (ECURED, 1985).

Se puede definir el agua residual como la combinación de los residuos líquidos procedentes de residencias e instituciones públicas y establecimientos industriales o comerciales a los que pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales.

En la medida en que se vaya presentando acumulación y estancamiento del agua residual pueden generarse gases de mal olor debido a la descomposición orgánica que ésta posee; además es importante anotar que en el agua residual existen bacterias que causan enfermedades, pero no todo es negativo, las aguas residuales contienen nutrientes que en gran parte ayudan al crecimiento de plantas acuáticas. (Martínez, 2005).

2.2.2. Tipos de tratamiento de aguas residuales.

- ***Tratamiento primario.***

Es el proceso que se utiliza para la eliminación de los sólidos, en las aguas a tratar. En estos procesos se buscan principalmente, reducir sólidos en suspensión, como:

Sedimentables: se sedimentan al pasar mucho tiempo en reposo.

Flotantes: que son definidos por la contraposición de los sedimentables, sólidos coloidales que su tamaño no supera las 10 micras. Para el tratamiento de este tipo de residuos, existen varios tipos de procesos a considerar que hacen parte de la definición de los procesos primarios. (FYNDECOL, 2017)

Consiste en la eliminación de sólidos gruesos, resultando en una reducción de la carga contaminante en sus aguas residuales. Dependiendo de la calidad requerida de sus efluentes finales se puede necesitar ya sea un filtro, un sistema de flotación o un sistema de floculación y flotación. (SPENAGROUP, 2014)

Figura 1. Desarenador



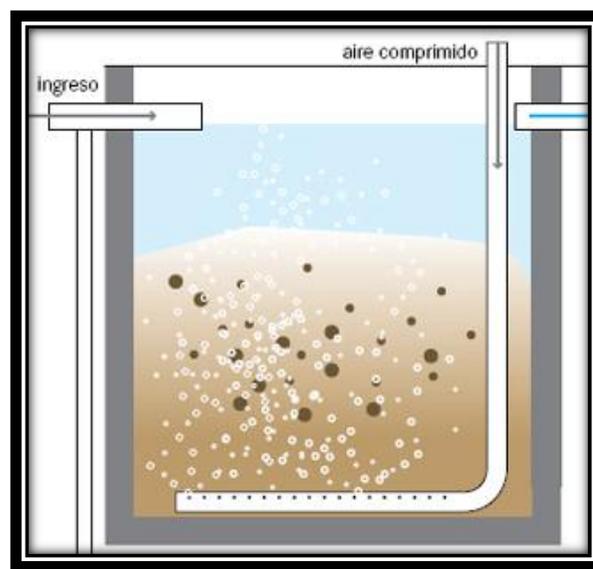
Fuente: (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable)

- **Tratamiento secundario.**

Conocida también como tratamiento biológico requerida para aquellos que descargan residuos al medio ambiente, como ríos u otro cuerpo de agua natural. Este tipo de Tratamiento hace uso de Bacterias para remover materia Biodegradable Disuelta en su Agua Residual. En general estos sistemas se dividen en dos grupos. (SPENAGROUP, 2014)

Sistemas de tratamiento aeróbico. Los sistemas de tratamiento biológicos aeróbicos usan bacterias para remover material disuelto (DBO) del agua residual en condiciones aeróbicas (agregando aire). (DIGITAL, 2017). La cantidad de aire es controlada por un medidor de oxígeno instalado en el tanque de aireación y se programa de tal forma que el consumo de aire en mínimo. (DIGITAL, Product-Sheet-Bioctor MBBR, 2017)

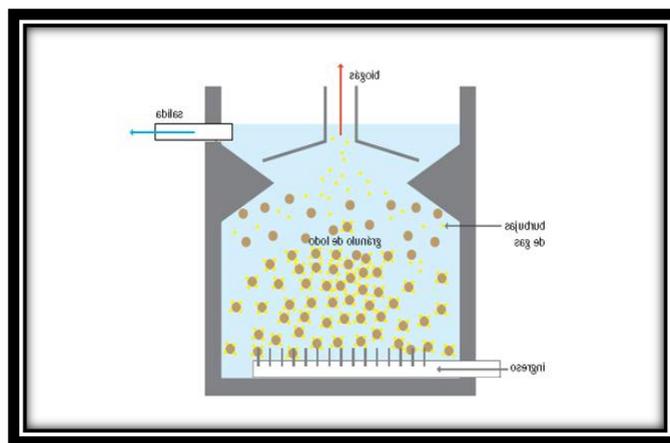
Figura 2. Sistema Aeróbico



Fuente: (Crites y Tchobanoglous, 1998)

Sistemas de tratamiento anaeróbicos. En este caso el aceptor final de electrones es la propia materia orgánica que actúa como fuente de carbono. Como resultado de este metabolismo, la mayor parte del carbono se destina a la formación de subproductos del crecimiento (biogás, que es CO₂ y metano) mientras que la fracción de carbono utilizada para la síntesis celular es baja. De cada tratamiento, este hecho supone una doble ventaja: se produce poca cantidad de lodos a la vez que se produce biogás, el cual puede ser revalorizado. Normalmente se aprovecha para producir energía eléctrica, la cual se auto consume en la propia instalación. (ENVITECH)

Figura 3. Sistema anaeróbico



Fuente: (Lettinga, Roersma y Grin, 1983)

- ***Tratamiento terciario.***

Consisten en procesos físicos y químicos especiales con los que se consigue limpiar las aguas de contaminantes concretos: fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos, etc. De los tres tipos de tratamiento de aguas residuales este es más caro que los anteriores y se usa en casos más especiales como por ejemplo para purificar desechos de algunas industrias. (SPENAGROUP, 2014)

Algunas veces el tratamiento terciario se emplea para mejorar los efluentes del tratamiento biológico secundario. Se ha empleado la filtración rápida en arena para poder eliminar mejor los sólidos y nutrientes en suspensión y reducir la demanda bioquímica de oxígeno.

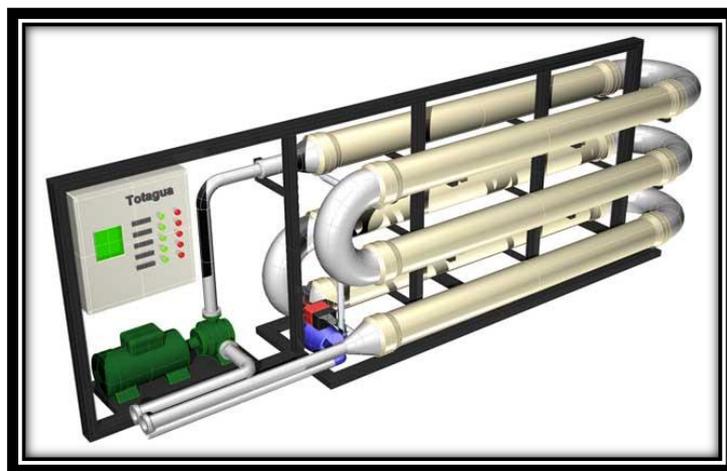
Tratamiento terciario y sistemas de reciclaje. Los siguientes sistemas están disponibles:

- Filtros de arena.
- Medios filtrantes.
- Filtros de carbón activado.
- Filtros de carbón activado aireado.
- Desinfección.
- Sistemas de membranas, tipos: MF, UF y RO.
- Sistemas de recuperación de productos valiosos

Para crear valor a partir de los productos contenidos en su agua residual, diseñamos sistemas para recuperar estos y crear valor de ellos. Por ejemplo, los siguientes materiales pueden ser recuperados del agua residual:

- Nitrógeno y fosforo pueden generar Struvite, un valioso fertilizante
- Proteínas pueden recuperarse de un sistema de tratamiento de algas y reutilizarlo en alimento o como combustible. (SPENAGROUP, 2014)

Figura 4. Ultra filtración de aguas residuales



Fuente: (Totagua, 2009)

Almidón puede ser recuperado del agua residual de una planta procesadora de patatas y reutilizado en alimentación animal. Aceites pueden ser separados y reutilizados como alimentación animal, combustible, etc. (SPENAGROUP, 2014)

2.2.3. Elementos de tratamiento.

Se puede definir el agua residual como la combinación de los residuos líquidos procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y establecimientos industriales y comerciales a los que pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales. En la medida en que

se vaya presentando acumulación y estancamiento del agua residual pueden generarse gases de mal olor debido a la descomposición orgánica que ésta poseen.

Origen de las aguas residuales. Por su origen las aguas residuales presentan en su composición diferentes elementos que se pueden resumir como:

Componentes suspendidos

- Gruesos (inorgánicos y orgánicos)
- Finos (inorgánicos y orgánicos)

Componentes disueltos

- Inorgánicos
- Orgánicos (Anonimo)

Ventajas

- Ventajas de las plantas de tratamiento de aguas residuales.
- No emana olores pestilentes.
- Favorece la degradación de materia orgánica.
- No prolifera fauna nociva.
- Económico en comparación con otros sistemas.
- Aumenta la eficiencia de las lagunas de oxidación.
- El agua tratada no se vierte a fuentes hídricas.
- Los lodos se utilizan como abono orgánico.
- Es una ventaja para aplicar a los sellos y certificaciones. (Café.)

2.2.4. Parámetros para el tratamiento de aguas residuales (DBO).

Se clasifican en cuatro grandes grupos:

- Físicos.
- Químicos.
- Biológicos.
- Radiológico.

A continuación se ilustra una tabla con la composición química del agua doméstica que necesita tratamiento:

Tabla 1. *Composición química del agua doméstica.*

CONTAMINANTES	mg/l	CONCENTRACION		
		FUERTE	MEDIA	DEBIL
Sólidos, en total	mg/l	1200	700	350
Disueltos, en total	mg/l	850	500	250
Fijos	mg/l	525	300	145
Volátiles	mg/l	325	200	105
Suspendido, en total	mg/l	350	200	100
Fijos	mg/l	75	50	30
Volátiles	mg/l	275	150	70
Sólidos sedimentables (ml/l)	mg/l	20	10	50
Demanda bioquímica de oxígeno, 5 días 20°C	mg/l	300	200	100
Carbono orgánico total(COT)	mg/l	300	200	100
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	1000	500	250
Nitrógeno (total como N)	mg/l	85	40	20
Orgánico	mg/l	35	15	8
Amoníaco Libre	mg/l	50	25	12
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fósforo(total P)	mg/l	20	10	6
Orgánico	mg/l	5	3	2
Inorgánico	mg/l	15	7	4
Cloruros	mg/l	100	50	30
Alcalinidad CaCO ₃ *)	mg/l	200	100	50
Grasa	mg/l	150	100	50

Fuente: (Metcalf – Eddy, 1997)

2.2.4.1. Parámetros Físicos.

- **Sabor y Olor.**

Estos parámetros son determinaciones organolépticas y de determinación subjetiva, para dichas observaciones no existen instrumentos de observación, ni registro, ni unidades de medida. Tienen un interés muy evidente en las aguas potables dedicadas al consumo humano y podemos establecer ciertas "reglas". Las aguas adquieren un sabor salado a partir de 300 ppm de Cl (cloruro), y un gusto salado y amargo con más de 450 ppm de SO₄ (sulfato) =. El CO₂ (dióxido de carbono) libre en el agua le da un gusto "picante". Trazas de fenoles u otros compuestos orgánicos le confieren un olor y sabor desagradables. (Bonsai Menorca, 2017)

- **Color.**

El color es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible. Existen muchas causas y por ello no podemos atribuirlo a un constituyente en exclusiva, aunque algunos colores específicos dan una idea de la causa que los provoca, sobre todo en las aguas naturales. El agua pura es bastante incolora sólo aparece como azulada en grandes espesores.

En general presenta colores inducidos por materiales orgánicos de los suelos vegetales:

- Color amarillento debido a los ácidos húmicos.
- Color rojizo, suele significar la presencia de hierro.
- Color negro indica la presencia de manganeso.

El color, por sí mismo, no descalifica a un agua como potable pero la puede hacer rechazable por estética, en aguas de proceso puede colorear el producto y

en circuito cerrado algunas de las sustancias colorantes hacen que se produzcan espumas. Las medidas de color se hacen en laboratorio por comparación, y se suelen medir en ppm de Pt, las aguas subterráneas no suelen sobrepasar las 5 ppm de Pt pero las superficiales pueden alcanzar varios cientos de ppm de Pt. La eliminación suele hacerse por coagulación-floculación con posterior filtración o la absorción en carbón activo.

- **Turbidez.**

Es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos y que se presentan principalmente en aguas superficiales, en general son muy difíciles de filtrar y pueden dar lugar a depósitos en las conducciones. La medición se hace por comparación con la turbidez inducida por diversas sustancias, la medición en ppm de SiO₂ ha sido muy utilizada pero se aprecian variaciones según la sílice y la técnica empleadas. Otra forma es mediante célula fotoeléctrica, existen numerosos tipos de turbidímetros.

2.2.4.2. Parámetros Químicos.

- **pH**

Anteriormente ya hemos definido el valor pH, como la medida de la concentración de los iones hidrógeno. Nos mide la naturaleza ácida o alcalina de la solución acuosa. La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 6 y 8. (Bonsai Menorca, 2017)

- **Dureza.**

Ya hemos profundizado con anterioridad sobre la dureza; la hemos definido e incluso tabulado en función de las sales que contiene el agua, hemos definido sus unidades de medida y las correspondientes equivalencias. La dureza, como ya sabemos, es debida a la presencia de sales de calcio y magnesio y mide la capacidad de un agua para producir incrustaciones. (Bonsai Menorca, 2017)

Afecta tanto a las aguas domésticas como a las industriales y desde el punto de vista de la ósmosis inversa es uno de los principales parámetros que se deben controlar.

- Las aguas con menos de 50 ppm de CO_3Ca (carbonato de calcio) se llaman blandas.
- Hasta 100 ppm de CO_3Ca , ligeramente duras.
- Hasta 200 ppm de CO_3Ca , moderadamente duras.
- Y a partir de 200 ppm de CO_3Ca , muy duras.

Lo frecuente es encontrar aguas con menos de 300 ppm de carbonato cálcico, pero pueden llegar hasta 1000 ppm e incluso hasta 2000 ppm.

La estabilidad de las aguas duras y alcalinas se verá más adelante cuando tratemos el Índice de Langelier. La eliminación de la dureza se hace, principalmente, por descalcificación o ablandamiento por intercambio iónico con resinas. (Bonsai Menorca, 2017)

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Mide la capacidad de consumo de un oxidante químico, dicromato, permanganato entre otros por el total de materias oxidables orgánicas e inorgánicas. Los Parámetros Bacteriológicos anteriores mencionados ya que es de

medición casi inmediata, la unidad de medida es ppm de O₂. Las aguas no contaminadas tienen valores de DQO de 1 a 5 ppm. Las aguas residuales domésticas están entre 260 y 600 ppm.

Hay un índice que nos indicará el tipo de vertido, aguas arriba que tenemos en el líquido que estamos analizando y es la relación (DBO / DQO) si es menor de 0,2 el vertido será de tipo inorgánico y si es mayor de 0,6 se interpretará que aguas arriba tenemos un vertido orgánico. (Bonsai Menorca, 2017). La demanda química de oxígeno, DQO, corresponde a la cantidad de oxígeno requerida para oxidar completamente por medios químicos los compuestos orgánicos a CO₂ y H₂O.

En la práctica, la materia orgánica en agua es oxidada por K₂Cr₂O₇ bajo condiciones estrictas (en medio de ácido sulfúrico concentrado, y a una temperatura de 160 °C). La cantidad de oxígeno del dicromato usado, es determinada y expresada como DQO. (Cisterna Osrio & Peña, s.f)

- **Sólidos.**

En sentido general y para términos de este artículo, se denomina “sólido” a toda aquella materia que se encuentra en el agua y que es sólida cuando se encuentra fuera de ella; por ejemplo, basura que se ha sedimentado en el fondo de un estanque o lago, partículas finas de tierra u otras sustancias que se encuentran en suspensión; el azúcar o la sal disueltas que no se ven ni se sienten también se consideran sólidos, puesto que lo serían si es que estuvieran en estado puro. (Microlab Industrial, 2016)

Según su Naturaleza Química-Biológica:

- **Sólidos Orgánicos:** (50-80 %) Son proteínas, carbono-hidratos, grasas que pueden degradarse biológicamente. La DBO5/DQO nos da una orientación sobre su degradabilidad. (GEDAR, s.f.)
- **Sólidos Inorgánicos:** (20-50 %) Están constituidos por gravas, arcillas, arenas, metales (Moléculas no Orgánicas). No se degradan por la acción de las bacterias y permanecen como cenizas después de una calcinación. (GEDAR, s.f.)
- **Sólidos Disueltos:** Los sólidos disueltos o salinidad total, es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua. El origen puede ser múltiple tanto en las aguas subterráneas como en las superficiales. Para las aguas potables se fija un valor máximo deseable de 500 ppm, este dato por sí sólo no es suficiente para catalogar la bondad del agua. El proceso de tratamiento, entre otros, es la ósmosis inversa. (Bonsai Menorca, 2017)
- **Sólidos en Suspensión.** Se suelen separar por filtración y decantación. Son sólidos sedimentables, no disueltos, que pueden ser retenidos por filtración. Las aguas subterráneas suelen tener menos de 1 ppm, las superficiales pueden tener mucho más dependiendo del origen y forma de captación
- **Sólidos Totales.** Es la suma de los dos anteriores disueltos y en suspensión. (Bonsai Menorca, 2017)
- **Nitrógeno.** El nitrógeno es un elemento esencial para el crecimiento de plantas que junto con el fósforo constituyen los llamados nutrientes. En el agua residual el nitrógeno es de suma importancia ya que es necesario para el crecimiento de los microorganismos, y si no contiene suficiente nitrógeno

pueden ocurrir dificultades en los tratamientos biológicos. (Salamanca, 2009). Pero también el nitrógeno es un contribuyente especial para el agotamiento del oxígeno y la eutrofización de las aguas cuando se encuentra en elevadas concentraciones. (Grefa Vegay, 2013) Rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales – Centro de faenamiento municipal de ganado de Orellana (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.

- **Fósforo.** Otro componente del agua residual importante para los microorganismos es el fósforo. (Salamanca, 2009). El fósforo, como el nitrógeno, es un elemento esencial para el crecimiento biológico. En el agua residual el fósforo se encuentra en 3 formas: ortofosfatos solubles, polifosfatos inorgánicos y fosfatos orgánicos. El ortofosfato es la forma más fácilmente asimilable por

Los microorganismos y se utiliza como un parámetro de control en los procesos biológicos de eliminación de fósforo.

Los operadores de la planta de tratamiento miden, a menudo, el fósforo total del influente y efluente de la planta. El fósforo total es la suma de los compuestos de las tres formas de fósforo. Las aguas residuales domésticas tienen una concentración de fósforo total de aproximadamente 5-15 mg/L. Es importante reseñar que la descarga tanto de fósforo como de nitrógeno debe ser controlada porque puede provocar un crecimiento excesivo de algas en las aguas receptoras. (Caracterización A. Residual, s.f.)

2.2.4.3. *Parámetros Biológicos.*

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).**

Mide la cantidad de oxígeno consumido en la eliminación de la materia orgánica del agua mediante procesos biológicos aerobios, se suele referir al consumo en 5 días (DBO_5), también suele emplearse, pero menos el (DBO_{21}) de 21 días. Se mide en ppm de O_2 que se consume. (Bonsai Menorca, 2017).

Las aguas subterráneas suelen contener menos de 1 ppm, un contenido superior es sinónimo de contaminación por infiltración freática. En las aguas superficiales es muy variable y dependerá de las fuentes contaminantes aguas arriba. En las aguas residuales domésticas se sitúa entre 100 y 350 ppm. En las aguas industriales puede alcanzar varios miles de ppm, como por ejemplo: fabricación de aceites, alcoholes, industria de la alimentación, etc. (Bonsai Menorca, 2017)

La demanda bioquímica de oxígeno, DBO, se define como la cantidad de oxígeno usado por los microorganismos no fotosintéticos a una temperatura de $20^\circ C$, para metabolizar los compuestos orgánicos degradables biológicamente.

Carbohidratos microorganismos $CO_2 + H_2O + NH_4 + + minerales.$

Proteínas -----> +Hidrocarburos O_2 Biomasa microbiana Grasas y aceites.

Se tiene que el nitrógeno está libre en la forma de hidróxido de amonio y es susceptible de oxidación en presencia de oxígeno, pasando a nitrato. La nitrificación de este compuesto es inhibida si se utiliza un inhibidor selectivo, tal como Allylthiourea o nitrapyrin {2- cloro-6- tricloro metil- piridina}. Para

obtener un resultado estable y reproducible, el oxígeno consumido es medido durante un periodo de cinco días. Durante los primeros dos días, los microorganismos rápidamente metabolizan los compuestos orgánicos disponibles y viables de degradar biológicamente.

En una investigación previa se ha demostrado que gran parte de los microorganismos metabolizan aeróbicamente los sustratos orgánicos, tales como lípidos, azúcares, alcoholes o proteínas, tal que alcanzan un máximo rendimiento de producción celular de 0.4 g de células en peso seco por gramo de DQO eliminada (Sikes,1975)

Este valor es de gran importancia ya que se relaciona con la cantidad de energía oxidable en el sustrato el cual es microbiológicamente usable por las células para sus requerimientos de energía y su posterior síntesis. Por otra parte se tiene que el valor obtenido para este parámetro en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de Galicia es de 0,127 (Ortiz y Águila, 1997), lo cual se sustenta en el origen industrial de estas, lo que se manifiesta en una menor fracción de compuestos biodegradables presentes en el influente.

Esto implica que, cuando los microorganismos metabolizan aeróbicamente 1g de DQO, estos inmovilizan aproximadamente la mitad de la materia orgánica en la forma de biomasa y consumen oxígeno para oxidar la otra mitad, en la experiencia de Sikes y para el segundo caso solo inmovilizan un 13% en forma de biomasa. La anterior consideración relaciona el máximo rendimiento celular y no tiene en cuenta la manutención del metabolismo de la bacteria durante la segunda fase del ensayo. (Cisterna Osrio & Peña, s.f)

2.2.4.4. Parámetros radiológicos.

La radiación ionizante que emiten algunas sustancias químicas radioactivas presentes en el agua de consumo puede ocasionar peligros radiológicos. Estos peligros derivados del agua de consumo, no suelen tener consecuencias significativas para la salud pública, por valores mínimos de la radiación, y la exposición a la radiación por el agua de consumo, debe evaluarse conjuntamente con la exposición por otras fuentes. El método propuesto en las Guías para controlar los peligros radiológicos comprende dos etapas que son:

Análisis inicial de la radioactividad alfa total y beta total para determinar si la concentración de radioactividad (en Bq/l) (becquerel mide la actividad radiactiva) es menor que el nivel establecido por debajo del cual no es preciso tomar medidas adicionales; y si se superan estos umbrales, se analizan las concentraciones de radionúclidos individuales y se cotejan con los niveles de referencia específicos.

El riesgo asociado a la presencia de radón en aguas de consumo procedentes de aguas subterráneas suele ser bajo comparado con el correspondiente al total de radón inhalado, pero es un riesgo diferenciado de éste, puesto que la exposición se produce tanto por el consumo del gas disuelto como por la inhalación del radón liberado y de sus radionúclidos derivados.

La exposición mayor es por inhalación ambiental general y por inhalación de radón de fuentes terrestres, que generan gas que se infiltra en las viviendas, especialmente en los sótanos por lo que la contaminación de las aguas subterráneas se produce. El radón procedente de aguas subterráneas constituirá, por lo general, una proporción muy pequeña del total, pero puede ser indicativo

de la existencia de depósitos en la zona que emiten radiactividad en los sótanos.
(Ruiz Mora, 2012)

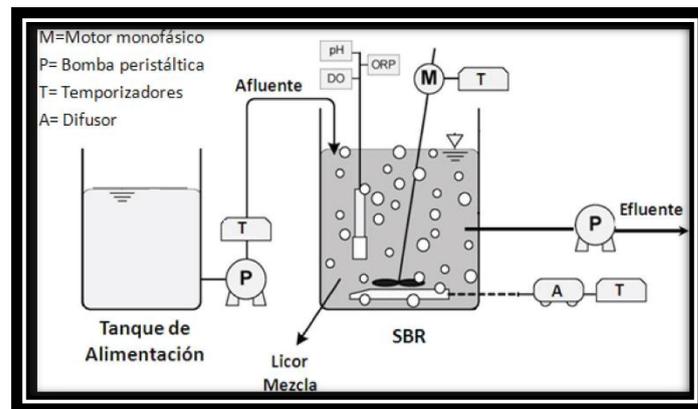
2.2.5. Reactor Aeróbico secuencial discontinuo.

2.2.5.1. Definición 1.

Se puede definir como un sistema de lodos activados, cuyo funcionamiento se basa en la secuencia de llenado y vaciado. Los procesos unitarios que intervienen son similares a los de un proceso convencional de lodos activados. Ambos sistemas intervienen la mezcla, reacción y sedimentación, pero entre ambos existe una diferencia importante, ya que, en las plantas convencionales, los procesos se llevan a cabo simultáneamente en tanques separados, mientras que en un sistema SBR los procesos tienen lugar en el mismo tanque. (Juan Fernando Muñoz Paredes¹, 2014)

El sistema SBR consta de al menos cuatro procesos cíclicos: llenado, reacción, decantación y vaciado, tanto de efluente como de lodos. Esta tecnología es capaz de tolerar variaciones de carga y caudal y genera como producto lodos estabilizados. Dependiendo de la naturaleza del efluente a tratar es la calidad y las propiedades de los lodos generados. (Laureano Felix, s.f)

Figura 5. Reactor discontinuo secuencial (SBR)



Fuente: (Carrasquero Ferrer, Pire Sierra, Rincon Lizardo, & Diaz Montiel, 2014)

2.2.5.2. Definición 2.

Un reactor discontinuo secuencial (SBR) se puede definir como un sistema de lodos activados, cuyo funcionamiento se basa en la secuencia de llenado y vaciado. (Muñoz Paredes & Ramos Ramos, 2014). Los procesos unitarios que intervienen son similares a los de un proceso convencional de lodos activados. Ambos sistemas intervienen la mezcla, reacción y sedimentación, pero entre ambos existe una diferencia importante, ya que, en las plantas convencionales, los procesos se llevan a cabo simultáneamente en tanques separados, mientras que en un sistema SBR los procesos tienen lugar en el mismo tanque.

En contraste con el sistema continuo, el agua se introduce al reactor en un tiempo establecido previamente, la degradación de la materia orgánica y la sedimentación se realizan en el mismo tanque. Las etapas del proceso son secuenciales y se repiten periódicamente, además de que se emplea aireación (proceso aerobio) o no (proceso anaerobio), para conseguir la degradación de la materia orgánica y la eliminación de nitrógeno y de fósforo.

Los sistemas de reactores discontinuos tienen en común 4 etapas, las cuales se llevan a cabo en secuencia: etapa de llenado para la adición de sustrato al reactor; etapa de reacción, en la cual el reactor se somete o no a aireación; dependiendo de las necesidades del tratamiento, etapa de sedimentación que permite la separación de sólidos para lograr un sobrenadante clarificado como efluente; y etapa de vaciado, cuyo propósito es la extracción del agua clarificada del reactor.

Hay que mencionar además, que los SBR fueron usados originalmente para la eliminación de demanda química de oxígeno (DQO) y fosfatos de las aguas residuales. La regulación en las descargas resultó en la modificación de estos sistemas para lograr la nitrificación y desnitrificación, junto con la eliminación de DQO y de fosfatos. Algunos autores sostienen que la eliminación biológica de nutrientes y de materia orgánica se obtiene gracias a la combinación de ciclos de reacción aerobios y anóxicos, dependiendo de las necesidades del tratamiento.

El sistema SBR ha sido utilizado con éxito para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria química, para el tratamiento de estiércol de cerdo, aguas residuales salinas y suelos contaminados entre otros efluentes. Además de permitir el manejo de un amplio espectro de compuestos orgánicos, y con la incorporación de etapas anaeróbicas/ anóxicos, se puede lograr la remoción conjunta de materia orgánica (MO), nitrógeno (N) y fósforo (P)

Con la introducción de la fase anaerobia se produce la liberación de fósforo por parte de los microorganismos; en la fase aerobia tiene lugar la nitrificación, consumo de oxígeno y de fósforo; mientras que la desnitrificación ocurre en la siguiente fase anóxica. Debido a que en la operación de un SBR el sustrato orgánico soluble es

consumido por los microorganismos en la fase aerobia, se deben efectuar mediciones para asegurar suficiente sustrato orgánico soluble para la desnitrificación.

La intensidad en la aireación durante la fase aerobia en este tipo de reactores influye en el desempeño del proceso global. Para optimizar el desempeño y mejorar el control del proceso se deben implementar estrategias de control y realizar mediciones de parámetros en tiempo real. Algunos de los más utilizados son el potencial de oxidoreducción (ORP, por sus siglas en inglés), pH y el oxígeno disuelto (OD).

Muchos de estos sistemas se construyeron en Australia, Estados Unidos y Japón. En países como Alemania y Japón se han realizado avances significativos en sistemas que emplean este tipo de reactores, y existe gran cantidad de información sobre técnicas de diseño y parámetros de operación para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. En los últimos años se ha evolucionado en el tratamiento con reactores secuenciales discontinuos de biopelícula, los cuales tienen la ventaja de remover nitrógeno y fósforo en un solo reactor.

En cuanto a los reactores de biopelícula, éstos permiten que la presencia de una zona anóxica facilite la nitrificación y la desnitrificación simultánea durante la fase aerobia. En este caso, la nitrificación ocurre en la superficie de la biopelícula y la desnitrificación ocurre en las capas internas debido al gradiente de oxígeno. Por otro lado, estos reactores ofrecen ventajas como ahorro de espacio y energía, mayor concentración de biomasa, operación flexible, menor sensibilidad a la toxicidad, baja producción de lodo y cargas volumétricas altas.

Además, en estos sistemas la biomasa adherida al medio de soporte es la que gobierna el proceso de tratamiento. Sin embargo, cuando se incrementa el espesor de

la biopelícula pueden aparecer regiones aerobias y anaerobias, permitiendo la remoción simultánea de DBO (Demanda bioquímica de oxígeno) y de nitrógeno. (Muñoz Paredes & Ramos Ramos, 2014)

2.2.6. Operación del reactor aeróbico secuencial.

Funcionamiento del SBR. Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales por Medio de Reactores Biológicos de tipo Secuencial Intermitente. El funcionamiento en secuencia está dado por una serie de ciclos los cuales se llevan a cabo en un tanque (reactor) y consisten en:

1er. Paso: **llenado/reacción.** El ciclo comienza específicamente en el reactor, a un 50 % aproximado de su capacidad de licor mixto proveniente de un ciclo anterior que contiene "lodo activado" o bacterias; bacterias disponibles que deben presentarse en el proceso pues de esto depende la eficiencia del mismo, de lo contrario, el aire sólo no podría hacer mucho para tratar el agua.

Normalmente aguas residuales con características especiales requieren de un cultivo de bacterias específicas, como lo son las aguas residuales industriales por lo que demandarán de un periodo de aclimatación especial para producir dicho cultivo en el cual se desarrollarán y se multiplicarán las bacterias adecuadas para el tratamiento. El agua residual proviene de un tanque regulador o bien del sistema de recolección y empieza a llenar el reactor mientras está siendo aereado.

Los sistemas de aireación son diseñados por ciclos con el fin de optimizar el uso de energía y mejorar en una forma económica. En este punto es importante conocer los niveles de oxígeno disuelto máximos requeridos para determinar el tiempo de oxigenación entre ciclo y ciclo para lograr un mejor asentamiento de flóculos. El

reactor parcialmente lleno durante el período de llenado, actúa como un tanque igualador que suaviza la carga orgánica e hidráulica.

2do. Paso: **Reacción**. Este es un período de tiempo que varía entre 1 y 3 horas normalmente y que permite el "pulimiento" del agua residual para alcanzar la calidad deseada en el efluente. El período deberá ser totalmente manipulable y puede ser adaptado para cualquier necesidad presentada, dependiendo de las características del agua. Durante este período el agua cruda puede ser derivada a un segundo reactor o tanque regulador.

3er. Paso: **Sedimentación** Todas las formas de energía que entran al reactor tales como el agua cruda, el aire, la agitación etc. se suspenden permitiendo que el reactor se comporte como un clarificador. El período de sedimentación varía, dependiendo de la eficiencia del reactor, podría ser de una hora pero para un excelente licor mixto le bastarían diez o quince minutos. Normalmente la biomasa asentada ocupa 1/3 del volumen en el fondo del reactor.

Otra característica es la capa de interface entre la biomasa y el sobrenadante donde aparecerá como una línea solida-líquida bien definida. El licor mixto sedimentado permite una reducción de líquido a sólido de 3:1, lo que prevé una fase conveniente en la cual el gasto excede los lodos activados. Esta exacta actividad de lodos residuales permite un buen control del tiempo de retención de sólidos (TRS), por consiguiente una gran confiabilidad en el proceso.

4to. Paso: **Descarga**. Vaciado o periodo de desagüe del agua en el cual las bombas son las recomendadas para hacerlo debido a que: La velocidad de extracción puede ser calculada y ajustada al sistema de bombeo. La tubería de desagüe es de un diámetro muy pequeño. Es recomendable colocar bombas múltiples pues se

garantiza al 100 % la extracción, además de que permite organizarse para flujos superiores al de diseño.

5to. Paso: **Tiempo inactivo** Es el tiempo medio transcurrido entre el momento en que el reactor se encuentra descargado y el momento en que el reactor nuevamente se empieza a llenar. Esta condición debe ocurrir en un sistema de dos reactores; pues un reactor que se está llenando puede no llenarse al mismo tiempo que el segundo reactor se ha vaciado.

Cuando el reactor se encuentra en esta etapa, la entrada de aire es reducida, permitiendo que el aire que entra sea únicamente el necesario, para mantener una población bacteriana activa. Pues el reactor inactivo no necesita ser aereado a la misma velocidad como cuando recibe aguas residuales. Es importante mencionar que este período sólo ocurre cuando el flujo de entrada es menor que el gasto de diseño.

Los tratamientos biológicos de aguas residuales (reactores aeróbicos y anaeróbicos) aprovechan la capacidad de determinados microorganismos (entre los que destacan las bacterias) de asimilar la materia orgánica y los nutrientes disueltos en el agua residual a tratar para su propio crecimiento, llevando a cabo la eliminación de componentes solubles en el agua. La materia orgánica soluble es asimilada por los microorganismos como fuente de carbono.

Tras esta operación se separa por decantación la biomasa generada del sobrenadante. Para el crecimiento de los microorganismos es necesario, aparte de la materia orgánica, la presencia de nitrógeno y fósforo en el efluente. Si su concentración no es suficiente, se deberán aportar al tratamiento.

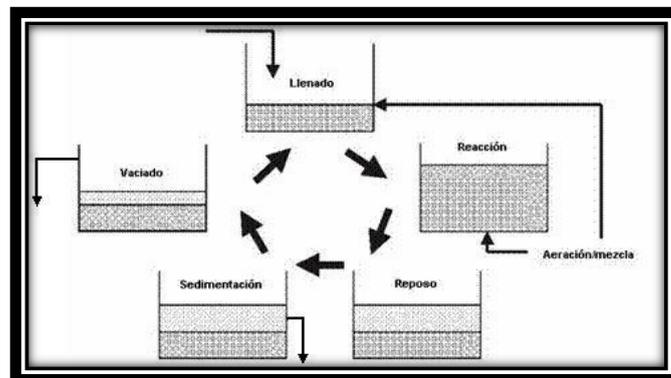
La aplicación tradicional consiste en la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto soluble como coloidal, así como la eliminación de compuestos

que contienen nitrógeno y fósforo. Es uno de los tratamientos más habituales, no solo en el caso de aguas residuales urbanas, sino en buena parte de las aguas industriales, por su sencillez y su bajo coste económico de operación.

Los únicos requisitos para la aplicación satisfactoria de estas tecnologías son que la contaminación sea biodegradable y que no haya presencia de ningún compuesto biosida en el efluente a tratar. (Bañuelos Ruedas, 1992)

Bañuelos Ruedas, R. (1992). *Estudio comparativo de un sistema de tratamiento biológico de aguas residuales del tipo convencional con otro de reactores biológico de tipo secuencial intermitente* (maestría). Universidad Autónoma de Nueva León, Monterrey.

Figura 6. Funcionamiento de reactor aeróbico secuencial



Fuente: (Remtavares, 1 de Diciembre, 2016)

2.2.7. Tipos de reactores

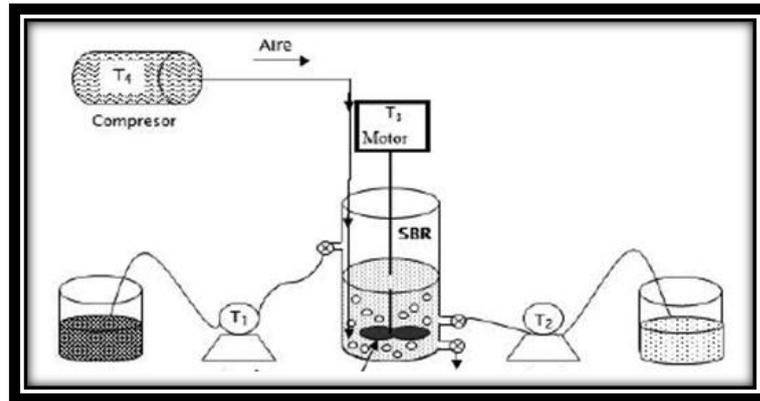
1. Biomasa en Suspensión (lodos activados): la biomasa crece libre o en suspensión en el interior del biorreactor, produciendo la formación de flóculos.

Proceso convencional.

Reactores secuenciales (SBR): Este tipo de reactor opera en discontinuo y se dan todos los procesos en el mismo tanque de forma secuencial en el tiempo. Es una

buena alternativa para aquellas industrias que producen pequeños efluentes pero con una elevada variabilidad en cuanto a sus características.

Figura 7. Reactores secuenciales (SBR)



Fuente: (Condorchem Envitech, s.f.)

Reactores de Biomembrana (MBR): Este reactor es similar al de fangos activos con la singularidad de que dispone de un módulo de membranas de ultrafiltración en su interior. Este módulo permite la separación del fango y el líquido mediante membranas, obteniendo importantes ventajas en relación a los tradicionales decantadores secundarios. Es una alternativa para aquellos casos en los que se dispone de poco espacio.

Biocarb: Es un modelo exclusivo patentado por Condorchem Envitech y se basa en el desarrollo de un reactor aeróbico de lecho fijo cuyo material de relleno es carbón lignítico granulado. El carbón filtra, adsorbe y hace de soporte para la biopelícula, además de alimentar a los microorganismos de minerales y elementos traza. Por otro lado, el proceso de adsorción realiza una doble contribución al proceso al laminar los picos de carga de contaminantes y al hacer que el tiempo de

residencia de los contaminantes en el interior del reactor aumente con lo que es posible la degradación de compuestos orgánicos persistentes.

El reactor BioCarb se ha demostrado especialmente efectivo en el tratamiento de contaminantes difíciles de biodegradar y con color. Además, la inmovilización de la biomasa en la superficie del carbón lignítico permite realizar en una sola etapa un tratamiento biológico y fisicoquímico de las aguas residuales.

Figura 8. Reactores secuenciales (SBR)

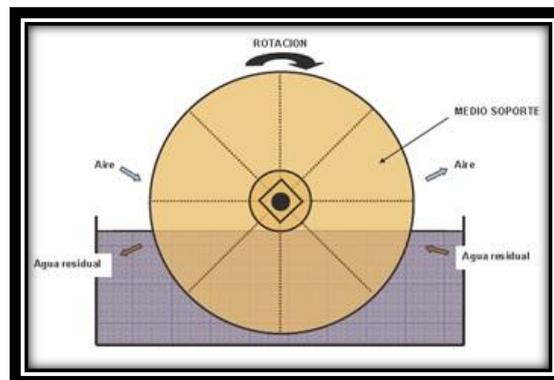


Fuente: (Condorchem Envitech, s.f.)

2. Biomasa Fija: la biomasa crece adherida a un soporte que puede ser natural o artificial, formando una lama o película.

Biodiscos: Conjunto de discos de un material determinado (madera, polietileno corrugado, poliestireno corrugado, pvc) que giran en torno a un eje horizontal, situados dentro en el reactor. Sobre este soporte se desarrolla gradualmente una película de biomasa bacteriana, que emplea como sustrato para su metabolismo la materia orgánica soluble presente en el agua residual. Cuando la superficie del disco se encuentra en contacto con el aire, la biomasa adherida al disco toma el oxígeno necesario para que durante el período de inmersión se produzca la degradación de la materia orgánica.

Figura 9. Biodiscos de los Reactores secuenciales (SBR)

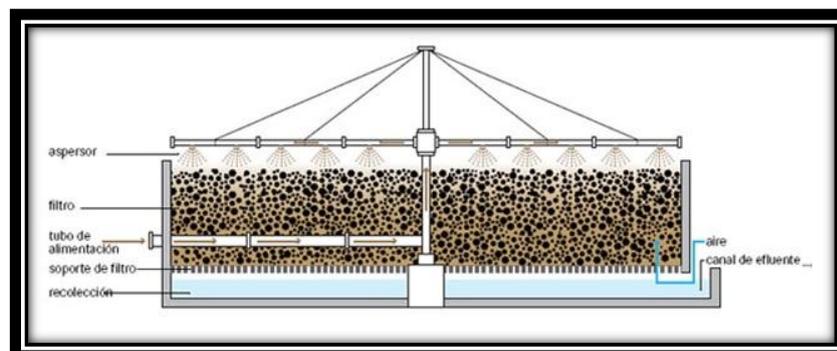


Fuente: (Condorchem Envitech, s.f.)

Biofiltros: El aire es aspirado cerca del foco de emanación y habitualmente guiado a una cámara de acondicionamiento. Aquí es saturado de humedad y luego guiado a un lecho de biomasa fijada. Las sustancias contaminantes se absorben a la biopelícula de biomasa formada sobre el relleno y aquí posteriormente son digeridos por microorganismos. En el proceso de digestión y metabolización son transformados en compuestos que ya no huelen.

Filtros percoladores: Se “deja caer” o rocía agua de desecho decantada sobre el filtro. Al migrar el agua por los poros del filtro, la materia orgánica se degrada por la biomasa que cubre el material del filtro.

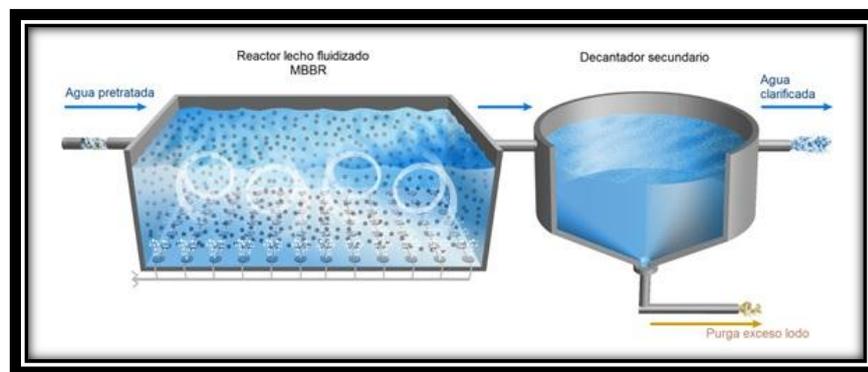
Figura 10. Filtros percoladores



Fuente: (Condorchem Envitech, s.f.)

Filtros de lecho móvil (MBBR). El cultivo bacteriano encargado de la depuración se encuentra en forma de biopelícula adherido a soportes de alta superficie específica (relleno filtrante). Estos soportes se encuentran sumergidos y en movimiento en el reactor biológico.

Figura 11. Filtros de lecho móvil (MBBR)



Fuente: (Condorchem Envitech, s.f.)

La selección de un proceso biológico de biomasa fija o biomasa en suspensión de más conveniente sólo se puede hacer después de analizar las características del efluente, el tipo de proceso industrial que lo genera, el grado de depuración requerido y las necesidades globales del usuario: (Condorchem Envitech, s.f.)

2.2.8. Ventajas del sistema SBR sobre el convencional

La tecnología de los reactores biológicos secuenciales 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 secuenciales SBR 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 productos estabilizados, siendo en ocasiones, la tecnología más apropiada para la industria.

Entre las ventajas de utilizar la tecnología de los reactores biológicos secuenciales (SBR) están:

- 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 nos 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.
- 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.
- Permiten mayor control sobre el crecimiento de microorganismos filamentosos y problemas de decantación.

- Diseño compacto. Es una solución ideal para aquellas industrias que no dispongan de suficiente espacio. Un SBR requiere mucho menos espacio que los sistemas convencionales como lodos activados, además de poder alcanzar alturas importantes en los reactores, favoreciendo la transferencia de oxígeno como consecuencia de elevar la columna de agua con la configuración del reactor biológico.

Entre las desventajas de utilizar la tecnología de los reactores biológicos secuencia (SBR) están:

- Los reactores biológicos secuenciales requieren una mayor capacitación técnica del personal que va a explotarlo, debido a la exigencia de cambio de parametrización en el funcionamiento del sistema ante cambios de calidad de vertido de la industria.
- Son sistemas que necesitan mayores inversiones en el sistema de aireación y mayor demanda de energía puntualmente, debido a la alimentación discontinua del sistema.
- Es muy importante tener un buen dimensionamiento y con margen de seguridad, en el sistema de aireación.
- Es una tecnología que no es aplicable a todo tipo de efluente orgánico, la presencia de compuestos tóxicos puede afectar negativamente el desempeño de este tratamiento, favoreciendo los impactos tóxicos por la alimentación puntual.

2.2.9. Marco legal.

5.2.3. Normas generales para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado

5.2.3.1. Se prohíbe la descarga de residuos líquidos sin tratar hacia el sistema de alcantarillado proveniente del lavado y/o mantenimiento de vehículos aéreos y terrestres, así como el de aplicadores manuales y aéreos, recipientes, empaques y envases que contengan o hayan contenido agroquímicos u otras sustancias tóxicas. Las descargas tratadas deben cumplir con los valores establecidos en la tabla 9.

5.2.3.2. Las descargas líquidas de sistemas de potabilización de aguas no deberán disponer en sistemas de alcantarillado, a menos que exista capacidad de recepción en la planta de tratamiento o proyectadas en los planes maestros o programas de control de la contaminación. En implementación de la Autoridad Ambiental Nacional o la Autoridad Ambiental competente que corresponda.

5.2.3.3. Cuando los sujetos de control, aun cumpliendo con las normas de descarga, contribuyan con una concentración que afecte a la planta de tratamiento, la Entidad Prestadora de Servicio podrá exigirles valores más restrictivos en la descarga, previo a los estudios técnicos que deberán realizar para justificar esta decisión.

5.2.3.4. Se prohíbe descarga en un sistema público de alcantarillado sanitario, combinado o pluvial cualquier sustancia que pudiere bloquear los colectores o sus

accesorios, formar vapores o gases tóxicos explosivos o de mal olor, o que pudiere deteriorar los materiales de construcción en forma significativa. Esto incluye las siguientes sustancias y materiales, entre otros:

- Fragmentos de piedra, cenizas, vidrios, arenas, basura, fibras, fragmentos de cuero, textiles, etc. (los sólidos no deben ser descargados ni aún después de haber sido triturados).
- Resinas sintéticas, plásticos, cemento, hidróxido de carbono.
- Residuos de malta, levadura, látex, bitumen, alquitrán y sus emulsiones de aceite, residuos líquidos que tienden a endurecerse.
- Gasolinas, petróleo, aceites vegetales y animales, aceite minerales usados, hidrocarburos clorados, ácidos, y álcalis.
- Cianuro, ácido hidrazoico y sus sales, carburos que forman acetileno y sustancias tóxicas.

5.2.3.5. La EPS podrá solicitar a la Entidad Ambiental de Control, la autorización necesaria para que los regulados, de manera parcial o total descarguen al sistema de alcantarillado efluente, cuya calidad se encuentre por encima de los estándares para descarga a un sistema de alcantarillado, establecidos en la presente norma.

La EPS deberá cumplir con los parámetros de descarga hacia un cuerpo de agua, establecidos en esta Norma.

5.2.3.6. Las descargas al sistema de alcantarillado provenientes de actividades sujetas a regularización, deberán cumplir, al menos, con los valores establecidos

en la TABLA 9, en la cual las concentraciones corresponden a valores medios diarios.

Tabla 2. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite	máximo
Aceites y grasas	Solubles en hexano	mg/l	70,0	
Explosivas	o Sustancias	mg/l	Cero	
Alkil mercurio		mg/l	No detectable	
Aluminio	Al	mg/l	5,0	
Arsénico total	As	mg/l	0,1	
Cadmio	Cd	mg/l	0,02	
Cianuro total	CN	mg/l	1,0	
Cinc	Zn	mg/l	10,0	
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5	
Cloroformo	Extracto carbón	mg/l	0,1	
Cobalto total	Co	mg/l	0,5	
Cobre	Cu	mg/l	1,0	
Compuestos	Expresado como	mg/l	0,2	
Compuestos	Organoclorados	mg/l	0,05	
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5	
Demanda	DBO ₅	mg/l	250,0	
Demanda Química	DQO	mg/l	500,0	
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0	
Fósforo total	P	mg/l	15,0	
Hidrocarburos	TPH	mg/l	20,0	
Hierro total	Fe	mg/l	25,0	
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0	
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01	
Níquel	Ni	mg/l	2,0	
Nitrógeno Total	N	mg/l	60,0	
Organofosforados	Especies Totales	mg/l	0,1	
Plata	Ag	mg/l	0,5	
Plomo	Pb	mg/l	0,5	
Potencial de	Ph		6-9	
Selenio	Se	mg/l	0,5	
Sólido sedimentables		mg/l	20,0	
Sólidos suspendidos		mg/l	220,0	
Sólidos totales		mg/l	1600,0	
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	400,0	
Sulfuros	S	mg/l	1,0	
Temperatura	°C		< 40,0	
Tensoactivos	Sustancias Activas	mg/l	2,0	
Tetradoruro de	Tetracloruro de	mg/l	1,0	
Tricloetileno	Tetracloroetileno	mg/l	1,0	

Fuente: (Ambiente, 2015, pág. 97)

5.2.4. Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce.

Dentro del límite de actuación, los municipios tendrán la facultad de definir las cargas máximas permisibles a los cuerpos receptores de los sujetos de control, como resultado del balance de masas para cumplir con los criterios de calidad para defensa de los usos asignados en condiciones de caudal crítico y cargas contaminantes futuras. Estas cargas máximas serán aprobadas y validadas por la Autoridad Ambiental Nacional y estarán consignadas en los permisos de descarga. Si el sujeto de control es un municipio, este podrá proponer las cargas máximas permisibles para sus descargas las cuales deben estar justificadas técnicamente y serán revisadas y aprobadas por la Autoridad Ambiental Competente.

5.2.4.1. La determinación de la carga máxima permisible para una descarga determinada se efectúa mediante la siguiente relación desarrollada a través de un

$Q_e \cdot C_e = (Q_e + Q_r) C_c - Q_r C_r$ En donde:

balance de masa, en el punto de descarga, en cualquier sistema consistente de unidades:

C_e = concentración media diaria (del contaminante) máxima permitida en la descarga (o efluente tratado), para mantener el objetivo de calidad en el tramo aguas abajo de la descarga, en condiciones futuras.

C_c = concentración media diaria igual al criterio de calidad para el uso asignado en el tramo aguas abajo de la descarga.

C_r = concentración del contaminante en el tramo aguas arriba de la descarga, cuyo valor debe ser menor que la concentración que el criterio de calidad C_e .

Q_r = caudal crítico de cuerpo receptor, generalmente correspondiente a un período de recurrencia de 10 años y siete días consecutivos o caudal con una garantía del 85%, antes de la descarga o caudal ambiental.

Q_e = Caudal de la descarga en condiciones futuras (generalmente se considera de 25 años, período que es el utilizado en el diseño de las obras de descontaminación).

Ante la inaplicabilidad para un caso específico de algún parámetro establecido en la presente norma o ante la ausencia de un parámetro relevante para la descarga bajo estudio, la Autoridad Ambiental Nacional deberá establecer los criterios de calidad en el cuerpo receptor para los caudales mínimos y cargas contaminantes futuras.

La carga máxima permisible que deberá cumplir el sujeto de control será determinada mediante balance de masa del parámetro en consideración. La Entidad Ambiental de Control determinará el método para el muestreo del cuerpo receptor en el área de afectación de la descarga, esto incluye el tiempo y el espacio para la realización de la toma de muestras.

5.2.4.4. Para el caso en el cual el criterio de calidad es la concentración de bacterias, la correspondiente modelación bacteriana es de carácter obligatorio, como parte de un Plan Maestro de Control de la Contaminación del Agua.

5.2.4.5. En los tramos del cuerpo de agua en donde se asignen usos múltiples, las normas para descargas se establecerán considerando los valores más restrictivos de cada uno de los parámetros fijados para cada uno.

5.2.4.6. En condiciones especiales de ausencia de estudios del cuerpo receptor, falta de definición de usos del agua (como es el caso de pequeñas municipalidades que no pueden afrontar el costo de los estudios), se utilizarán los valores de la TABLA 10 de limitaciones a las descargas a cuerpos de agua dulce, en forma temporal, con el aval de la Autoridad Ambiental Competente. Las concentraciones corresponden a valores medios diarios.

5.2.4.7. Los lixiviados generados en los rellenos sanitarios cumplirán con las normas fijadas considerando el criterio de calidad de acuerdo al uso del cuerpo receptor.

Tabla 3. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

TABLA 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce				
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite	máximo
Aceites y grasas.	Sust. Solubles en	mg/l	30,0	
Alkil mercurio		mg/l	No detectable	
Aluminio	Al	mg/l	5,0	
Arsénico total	As	mg/l	0,1	
Bario	Ba	mg/l	2,0	
Boro Total	B	mg/l	2,0	
Cadmio	Cd	mg/l	0,02	
Cianuro total	CN	mg/l	0,1	
Cinc	Zn	mg/l	5,0	
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5	
Cloroformo	Ext. Carbón	mg/l	0,1	
Cloruros	Cl	mg/l	1000	
Cobre	Cu	mg/l	1,0	
Cobalto	Co	mg/l	0,5	
Coliformes	NMP	NMP/100 ml	10000	
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable	en
Compuestos	Fenol	mg/l	0,2	
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5	
Demanda	DBQ ₅	mg/l	100	
Demanda	DQO	mg/l	200	
Estaño	Sn	mg/l	5,0	
Fluoruros	F	mg/l	5,0	
Fósforo total	P	mg/l	10,0	
Hierro total	Fe	mg/l	10,0	
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0	
Materia flotante	Visibles		Ausencia	
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005	
Níquel	Ni	mg/l	2,0	
Nitrógeno	N	mg/l	30,0	
Nitrógeno total	N	mg/l	50,0	
Compuestos	Organoclorados	mg/l	0,05	
Compuestos	Organofosforados	mg/l	0,1	
Plata	Ag	mg/l	0,1	
Plomo	Pb	mg/l	0,2	
Potencial de	pH		6-9	
Selenio	Se	mg/l	0,1	
Sólidos	SST	mg/l	130	
Sólidos totales	ST	mg/l	1600	
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	1000	
Sulfuros	S ⁻²	mg/l	0,5	
Temperatura	°C		Condición natural	
Tensoactivos	Activas al azul de	mg/l	0,5	
Tetracloruro de	Tetracloruro de	mg/lL	1,0	

Fuente: (Ambiente, 2015, pág. 98)

5.2.4.9. Cuando los regulados, aun cumpliendo con las normas de descarga, produzcan concentraciones en el cuerpo receptor, que excedan los criterios de calidad para el uso o los usos asignados al agua, la Autoridad Ambiental Competente podrá exigirles valores más restrictivos en la descarga.

5.2.4.10. Las aguas residuales que no cumplan, con los parámetros de descarga establecidos en esta Norma, deberán ser tratadas adecuadamente, sea cual fuera su origen: público o privado. Los sistemas de tratamiento deben contar con un plan de contingencias frente a cualquier situación que afecte su eficiencia.

5.2.4.11. Se prohíbe la descarga de residuos líquidos sin tratar hacia los cuerpos receptores, canales de conducción de agua a embalses, canales de riego o canales de drenaje pluvial, provenientes del lavado y/o mantenimiento de vehículos aéreos y terrestres, así como el de aplicadores manuales y aéreos, recipientes, empaques y envases que contengan o hayan contenido agroquímicos u otras sustancias tóxicas.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.

3.1. Tipo de investigación.

3.1.1. Investigación experimental.

La investigación experimental consiste en la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento en particular. (Noemagico, 2003)

Se trata de un experimento porque precisamente el investigador provoca una situación para introducir determinadas variables de estudio manipuladas por él, para controlar el aumento o disminución de esa variable, y su efecto en las conductas observadas. El investigador maneja deliberadamente la variable experimental y luego observa lo que sucede en situaciones controladas. (Noemagico, 2003)

3.2. Enfoque de la investigación.

3.2.1. Enfoque cuantitativo.

En este enfoque la continuidad, rigurosidad y objetividad son sus características principales. Se usa la recolección de datos para probar hipótesis (suposiciones o probabilidades acerca de la naturaleza y explicación de un problema), luego realiza una medición numérica para comprobar la hipótesis, se analizan los datos obtenidos de forma estadística y se formulan las conclusiones. El enfoque cuantitativo es un proceso deductivo, cada etapa conduce de forma lógica a la que viene, sirve para comprobar, explicar o predecir un determinado hecho. Es una muy buena opción

para producir conocimiento objetivo, definido, muy particularizado y comprobable. (NORMAS APA, 2014)

3.2.2. Enfoque cualitativo.

Se basa en el análisis no estadístico de datos para luego formular propuestas de interpretación, es un enfoque más subjetivo y amplio del estudio de problemáticas. Parte de los juicios, ideas y opiniones del investigador, aunque es menos riguroso no por eso deja de ser serio (NORMAS APA, 2014). Puede afirmar fundamentos a partir de la lógica y la coherencia. Tiende más hacia la expansión y la generalización del conocimiento y la recolección de los datos al ser documental es mucho más abierta, pues el investigador puede utilizar escritos, entrevistas, material gráfico o audiovisual, siempre que se establezca la pertinencia. Este enfoque va de lo particular a lo general. (NORMAS APA, 2014)

3.3. Técnicas de la investigación.

Hacer una investigación requiere, como ya se ha mencionado, de una selección adecuada del tema objeto del estudio, de un buen planteamiento de la problemática a solucionar y de la definición del método científico que se utilizará para llevar a cabo dicha investigación. Aunado a esto se requiere de técnicas y herramientas que auxilien al alumno a la realización de su investigación, en este caso al desarrollo de su tesis. (Técnicas de Investigación)

Entre las técnicas más utilizadas y conocidas se encuentran:

- La investigación documental.
- La investigación de campo.

3.3.1. Investigación documental.

La investigación de carácter documental se apoya en la recopilación de antecedentes a través de documentos gráficos formales e informales, cualquiera que éstos sean, donde el investigador fundamenta y complementa su investigación con lo aportado por diferentes autores. Los materiales de consulta suelen ser las fuentes bibliográficas, iconográficas, fonográficas y algunos medios magnéticos.

3.3.2. Investigación de campo.

La investigación de campo es la que se realiza directamente en el medio donde se presenta el fenómeno de estudio.

Herramientas de apoyo:

- El cuestionario.
- La entrevista.
- La encuesta.
- La observación.
- La experimentación.

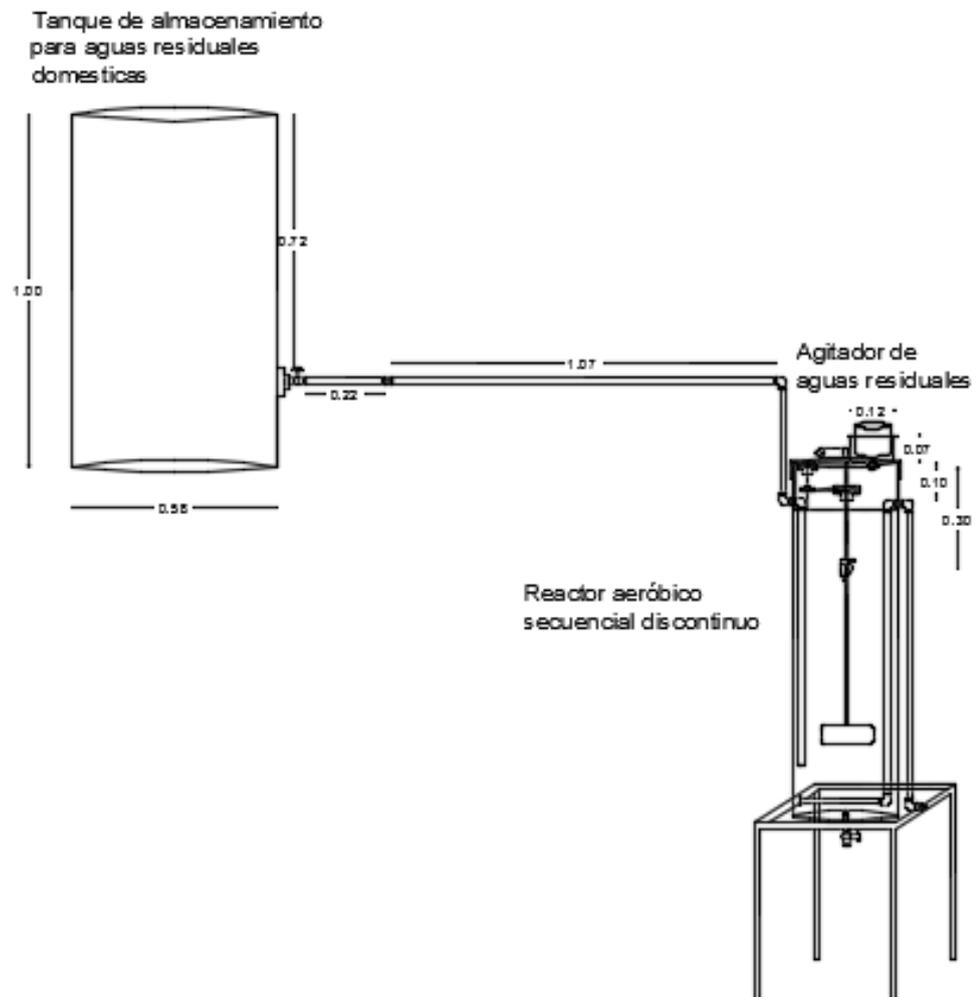
3.4. Diseño y construcción del reactor aeróbico secuencial discontinuo.

3.4.1. Fundamentos de diseño del reactor aeróbico secuencial discontinuo.

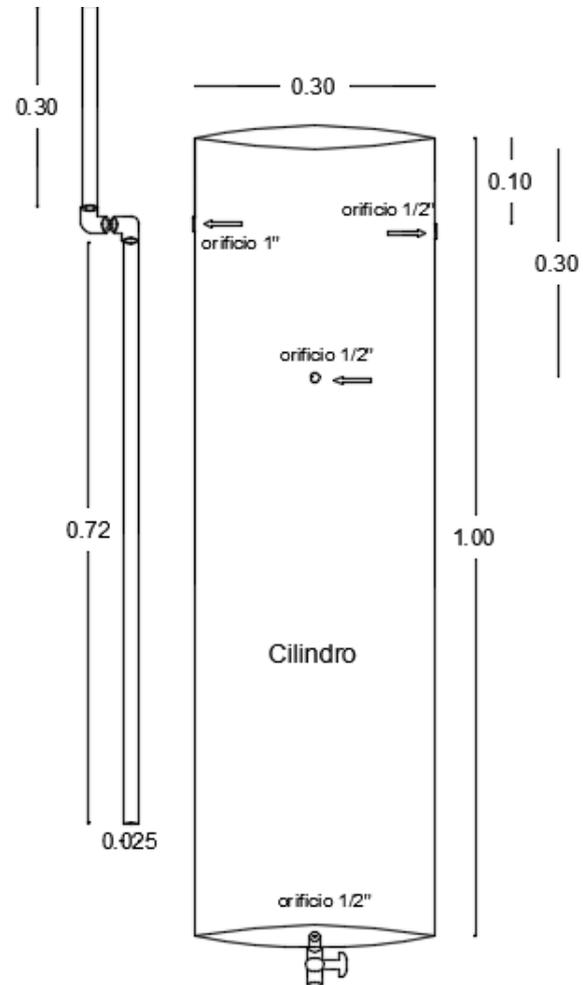
Existen en el mercado diversos modelos de reactores aeróbicos secuenciales discontinuos utilizados para aguas de uso industrial y residencial. En el caso del tema se selecciona el tipo de reactor aeróbico secuencial que trabaja en un solo recipiente mencionado en el ítem 2.2.2. (Fig. 2) del Marco Teórico el cual sirvió de

inspiración para el diseño del mismo pero en un solo recipiente que cumpla con las 5 fases del proceso y se ilustra en el ítem siguiente.

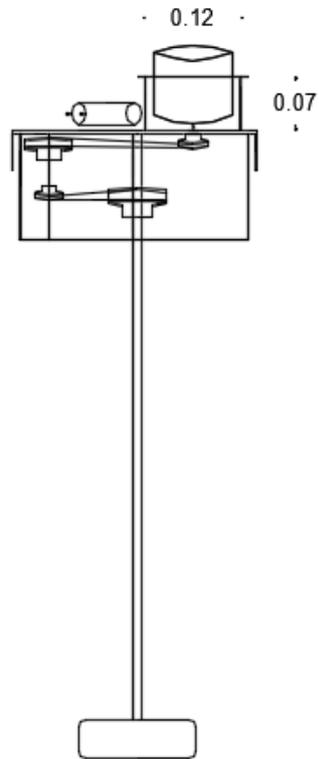
3.4.1.1. *Bosquejo del reactor aeróbico secuencial discontinuo.*



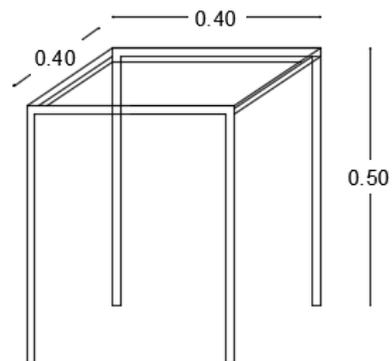
Cilindro de acrílico con su orificios y medidas.

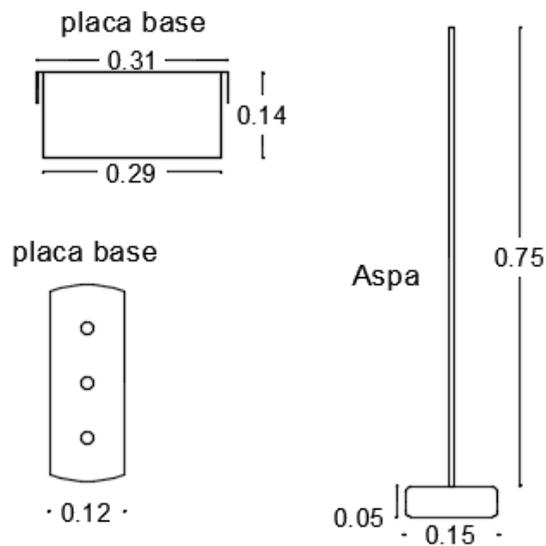
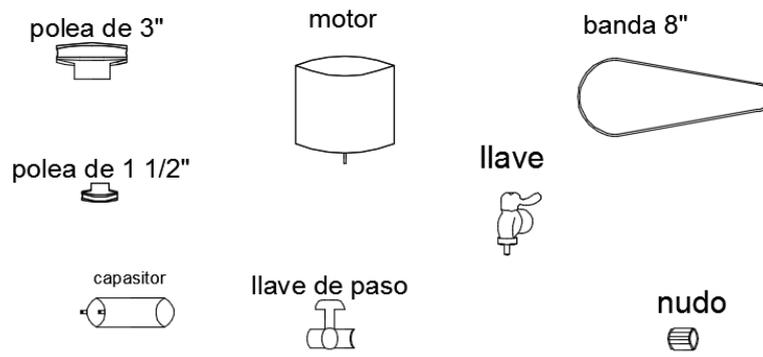


Agitador de aguas residuales



Base





3.4.2. Materiales para la construcción del reactor aeróbico secuencial discontinuo.

3.4.2.1. Fabricación del cilindro.

- Una plancha de acrílico de 3mm de espesor,
- Silicón
- Pegamento instantáneo mundial (súper dura).

3.4.2.2. Fabricación del soporte del reactor.

- 3.60 metros de ángulo de 1½" por 3 mm

- 1.29 metros de platina de 1½" por 3 mm
- 5 palillos de soldadura agá 60-11
- 1 disco para cortar metal de 4" de diámetro
- 0.25 litros de pintura anticorrosiva para fondo
- 0.25 litros de pintura anticorrosiva para acabado

3.4.2.3. Gasfitería.

- 2.63 metros de Tubería PVC de 1 pulgada
- 1.70 metros de Tubería PVC de media pulgada
- 1 conector de media pulgada, PVC.
- 1 conector de 1 pulgada, PVC.
- 4 codos de media pulgada, PVC.
- 3 codos de 1 pulgada, PVC.
- 1 nudo universal de 1 pulgada, PVC.
- 1 llave de paso de 1 pulgada, PVC.
- 1 llave de paso de media pulgada, PVC.
- 1 neplo perdido de 1 pulgada, PVC.
- 1 neplo perdido de media pulgada, PVC.
- 1 unión de media pulgada, PVC.
- 1 tapón de media pulgada hembra, PVC.
- 3 teflones
- 1 tubo de silicón transparente
- 1 llave de pico de media pulgada, PVC.

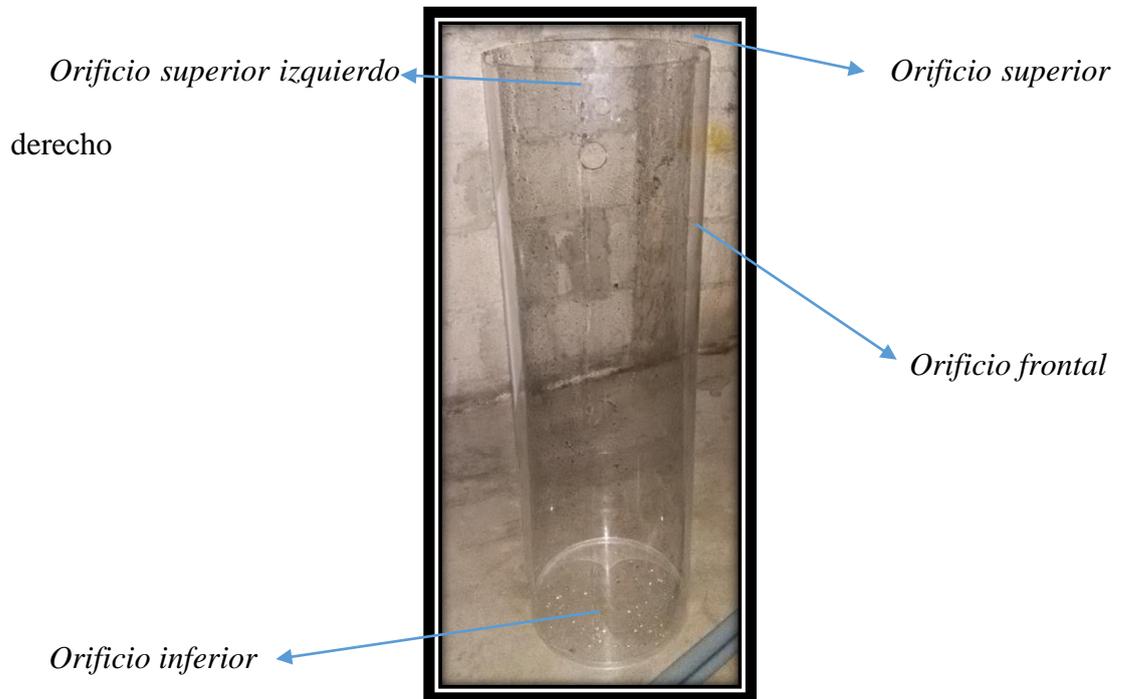
3.4.2.4. Agitador.

- 1 motor de lavadora
- 1 capacitor
- 1 interruptor sencillo
- 2 poleas de 1 ½"
- 1 polea de 3"
- 1 polea de 3 ½"
- 1 banda # 19
- 1 banda # 13
- Platinas de 1 ½" por 3mm
- 3 palillos Soldadura agá 60-11
- 0.25 litros de pintura anticorrosiva para fondo
- 0.25litros de pintura anticorrosiva para acabado.

3.4.3. Proceso de construcción del reactor aeróbico secuencial discontinuo.

Para el receptor de aguas residuales de uso doméstico se fabricó un cilindro de 30 cm de diámetro y 100 cm de altura, el cual tiene un orificio en la parte inferior de media pulgada de diámetro, un orificio en la parte frontal de media pulgada de diámetro ubicado a 30cm de la parte superior, un orificio de media pulgada de diámetro ubicada a 10cm de la parte superior derecha y un orificio de 1 pulgada de diámetro ubicada en la parte superior izquierda. Ver ilustración a continuación:

Foto 1. Vista del prototipo de reactor aeróbico secuencial



Elaboración: Quinto Manuel/Yépez Moisés (2017)

Además se implementó un soporte cuadrado de 40 cm de lado por 50 cm de altura con un soporte horizontal de platina que sirve de apoyo para la circunferencia de 31 cm de diámetro con el fin de asegurar la estabilidad del reactor. Cuyo proceso se puede apreciar en gráficas siguientes y que se explican por si solas.

Foto 2. Se empezó a cortar los materiales



Elaboración: Quinto Manuel/Yépez Moisés (2017)

Foto 3. Diseño del soporte



Elaboración: Quinto Manuel/Yépez Moisés (2017)

Foto 4. Fondeando el soporte



Elaboración: Quinto Manuel/Yépez Moisés (2017)

Foto 5. Pintado del soporte



Elaboración: Quinto Manuel/Yépez Moisés (2017)

Con los accesorios descritos anteriormente se procedió al ensamblaje de los elementos para construir el reactor, para lo cual se utilizó una atarrajada de media pulgada, una atarrajada de 1 pulgada, una llave de tubo, un taladro y una moledora pequeña. Se empezó a instalar el conector de media pulgada en el orificio ubicado en la parte inferior del cilindro, en el cual se conectó una llave de paso de media pulgada la cual sirvió para la evacuación de lodos producido por el licor vertido en el reactor una vez terminado el proceso de y agitación aireación, en el proceso de reposo para posterior limpieza del reactor. Ver gráfica a continuación.

Foto 6. Accesorios de plomería del reactor aeróbico secuencial.



Para construir el agitador se utilizaron 1.20 metros de platina con la cual se diseñó una base de 11cm de ancho por 31cm de largo con una altura de 16 cm. Existen 3 orificios, el primero de 8 mm de diámetro que se encuentra ubicado en el centro de la base superior el cual sirve para sostener el agitador del reactor, el segundo de 12 mm de diámetro que se encuentra ubicado en la parte izquierda superior del reactor y sirve para implementar el eje del motor, y por último el tercer orificio de 12 mm de

diámetro que se encuentra ubicado en la parte superior derecha del reactor y sirve para sostener las poleas reductoras de velocidad del aspa. Ver ilustración a continuación:

Foto 7. Fabricación del sistema agitador del reactor aeróbico secuencial



Elaboración: Quinto Manuel/Yépez Moisés (2017)

Foto 8. Colocación de poleas



Elaboración: Quinto Manuel/Yépez Moisés (2017)

Foto 9. Instalando el aspa



Elaboración: Quinto Manuel/Yépez Moisés (2017)

Foto 10. Comprobando el agitador



Elaboración: Quinto Manuel/Yépez Moisés (2017)

3.4.4. Implementación del reactor aeróbico secuencial en el laboratorio de aguas y materiales de ULVR.

Una vez construidas las partes del reactor aeróbico secuencial discontinuo se procedió a la implementación en el laboratorio de aguas y materiales de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil. Comensando con la perforación del orificio de un pulgada de diametro en el tanque de PVC de 250 litros en donde se instaló un conector de 1 pulgada que sirvio para conectar la llave de paso de 1 pulgada, que sirvio para controlar el llenado de reactor, tambien se utilizo tuberia de PVC de 1 pulgada, un nudo universal, codos, teflon, para construir la

gafiteria y de esta manera quedo instalado el reactor aeróbico sesuencial discontinuo como se muestra en la siguiente figura.

Foto 11. De esta manera quedó implementado el reactor



Elaboración: Quinto Manuel/Yépez Moisés (2017)

3.5. Experimento con el reactor aeróbico secuencial discontinuo.

3.5.1. Fase previa del experimento.

En la operación del reactor aeróbico secuencial previa a la realización del proceso experimental se requiere definir ciertos indicadores o parámetros de medición que facilitan la obtención de los resultados en la calidad del agua. Asimismo, es menester realizar una prueba de medición de confiabilidad de funcionamiento del reactor aeróbico secuencial discontinuo, la misma que se efectuó con el llenado de agua potable y aire luego se procedió a la agitación que permitió establecer el óptimo funcionamiento del equipo.

3.5.2.1. Prueba piloto del equipo

Foto 12. Observación cómo se introduce el aire



Elaboración: Quinto Manuel/Yépez Moisés (2017)

3.5.2.2. Indicadores de volumen y caudal para el experimento.

a) Volumen del cilindro.

- Diámetro del cilindro = 29.7 cm
- Altura de llenado = 79 cm

$$\text{Vol} = \pi r^2 * h$$

$$\text{vol} = \pi(14.85\text{cm})^2 * 79\text{cm} = 54730.56 \text{ cm}^3 = \frac{1 \text{ litro}}{1000 \text{ cm}^3} = 54.73 \text{ litros}$$

b) Caudal de llenado.

- Tiempo de llenado = 68 segundos

$$Q = \frac{\text{vol}}{\text{tiempo}}$$

$$Q = \frac{54.73 \text{ litros}}{68 \text{ segundos}} = 0.80 \text{ L/seg.}$$

3.5.2. Procedimiento de operación del reactor aeróbico secuencial.

Una vez instalado el reactor en el laboratorio de aguas y materiales se procedió con las siguientes fases. Llenado el reactor es abastecido de agua residual doméstica, reacción se comienza con el proceso de agitación y aireación, sedimentación, tiempo de reposo y toma de muestra del agua residual tratada, vaciado momento de descarga para limpieza y posterior llenado como se indica en el ítem 2.2.6

3.5.2.1. Llenado del reactor.

La implementación del reactor aeróbico secuencial se efectuó en el laboratorio de aguas y materiales de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

Para la obtención del agua residual doméstica, se consiguió inicialmente un tanque con una capacidad de 250 litros, el cual fue llenado con agua residual doméstica obtenida de varias viviendas del sector. Parroquia Camilo Ponce, Barrio el Cafetal de la ciudad de Babahoyo.

Se definió ejecutar 4 corridas con diferentes tiempos de aireación y agitación y de reposo, con el fin de evaluar la variación del parámetro DBO.

Primera corrida: {
 Tiempo de llenado = 68 segundos
 Tiempo de aireación y agitación = 20 minutos
 Tiempo de reposo del agua = 2 horas

Segunda corrida: {
 Tiempo de llenado = 68 segundos
 Tiempo de aireación y agitación = 30 minutos
 Tiempo de reposo del agua = 3 horas

Tercera corrida: {
 Tiempo de llenado = 68 segundos
 Tiempo de aireación y agitación = 40 minutos
 Tiempo de reposo del agua = 4 horas

Cuarta corrida: {
 Tiempo de llenado = 68 segundos
 Tiempo de aireación y agitación = 40 minutos
 Tiempo de reposo del agua = 174 horas

En la cuarta corrida, se consideró agregar un “inóculo”, este inóculo consiste en un volumen de agua residual extraído del tanque de aireación de una Planta de Tratamiento de lodos activados en funcionamiento. El volumen extraído fue de 4 litros, que corresponde al 25 % de lo que indica la literatura técnica que debe inocularse en un reactor aeróbico secuencial. Es decir, lo ideal era inocular 16 litros de un total del volumen del reactor de 54 litros.

Y se consideró una velocidad de agitación del aspa de 97 revoluciones / minuto para las cuatro corridas, y una presión del aire de 20 PSI con el compresor.

Se trabajó con un caudal de 0.80 L/seg.

La primera corrida se efectuó el día miércoles 17 de enero de 2018 a las 18:00 horas y una vez terminado el laboratorio INGEESTUDIOS procedió tomar muestra a la entrada y a la salida (llave superior) del agua con el fin de medir la concentración de DBO presente en el agua.

La segunda y tercera corrida se efectuó el día jueves 18 de enero de 2018 comenzando desde las 09:00 hasta las 18:20 minutos, de igual manera el laboratorio INGEESTUDIOS procedió a tomar las muestras para medir la concentración de DBO presente en el agua.

La cuarta corrida se efectuó el día viernes 9 de febrero de 2018 empezado con la toma de muestra de agua residual sin tratar para luego empezar con la cuarta corrida desde las 12:00 hasta el día 16 de Febrero a las 18:00 así mismo el laboratorio INGEESTUDIOS procedió a tomar las muestras para medir la concentración de DBO presente en el agua.

Foto 13. Se empieza a llena el reactor



Elaboración: Quinto Manuel/Yépez Moisés (2017)

Foto 14. Completando la fase de llenado



Elaboración: Quinto Manuel/Yépez Moisés (2017)

3.5.2.2. Aireación y agitación.

Para introducir el aire en el reactor se utilizó el orificio ubicado en la parte superior izquierda de media pulgada de diámetro en la que se instaló una tubería de media pulgada de diámetro, la cual en su parte inferior de 25cm de longitud con orificios de 3 mm de diámetro cada 3 cm de separación.

Para comenzar el proceso de aireación y agitación se comenzó con un tiempo de 20 minutos para la primera corrida, 30 minutos para la segunda corrida y 40 minutos para la tercera y cuarta corrida.

Foto 15. Momento de agitación y aireación



Elaboración: Quinto Manuel/Yépez Moisés (2017)

3.5.2.3. *Tiempo de reposo.*

El tiempo de reposo para la primera corrida fue de 2 horas, para la segunda corrida de 3 horas, para la tercera corrida de 4 horas y para la cuarta corrida su tiempo fue de 174 horas.

Foto 16. Observa el licor en reposo



Elaboración: Quinto Manuel/Yépez Moisés (2017)

3.5.2.4. Toma de muestra.

Del mismo modo se instaló la llave de pico de media pulgada en el orificio ubicado en la parte frontal del cilindro, el cual sirvió para tomar muestra del agua residual de uso doméstico una vez terminado el proceso de agitación y aireación para lo cual se necesitó que el agua se encuentre en reposo.

Foto 17. Procedió a tomar muestra de agua residual domestica



Elaboración: Quinto Manuel/Yépez Moisés (2017)

3.5.2.5. Vaciado del reactor

Una vez tomada la muestra se procedió al vaciado del reactor para posteriormente volverlo a llenar para la siguiente toma de muestra que se efectuaron en diferentes horas.

Foto 18. Observación de la evacuación del agua residual doméstica

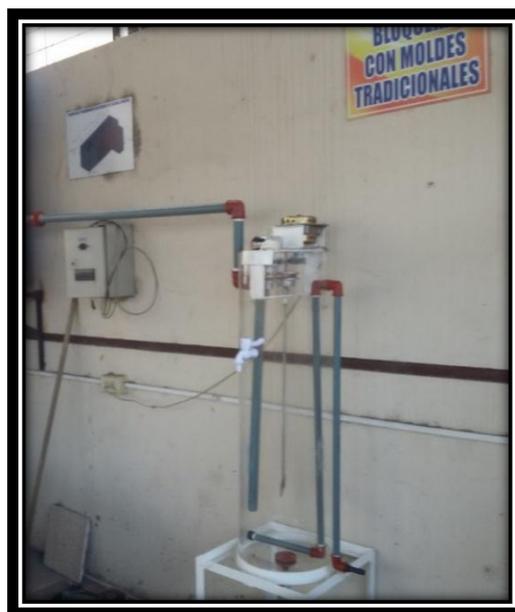


Elaboración: Quinto Manuel/Yépez Moisés (2017)

3.5.2.6. Limpieza del reactor

Terminada el vaciado del reactor en cada muestra se limpia el reactor con sus respectivos equipos de limpieza.

Foto 19. Momento de limpieza



Elaboración: Quinto Manuel/Yépez Moisés (2017)

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Resultados obtenidos.

4.1.1. Primera corrida.

Considerando un tiempo de llenado de agua residual doméstica en el reactor aeróbico secuencial de 68 segundos, un tiempo de aireación y agitación de 20 minutos y un tiempo de reposo del agua de 2 horas, se encuentran los siguientes resultados de muestra.

Tabla 4. *Resultado primera corrida*

	Unidades	Resultados	Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce (NORMA TULSMA)	Límite de descarga al sistema de alcantarillado público (NORMA TULSMA)
DBO entrada	mg/l	987	100	250
DBO salida	mg/l	948	100	250
Remoci ón de DBO	%	3,95		

$$\frac{987-948}{987} = 0.0395 * 100 = 3.95 \%$$

4.1.2. Segunda corrida.

Considerando un tiempo de llenado de agua residual doméstica en el reactor aeróbico secuencial de 68 segundos, un tiempo de aireación y agitación de 30 minutos y un tiempo de reposo del agua de 3 horas, se encuentran los siguientes resultados de muestra.

Tabla 5. *Resultado segunda corrida*

	Unidades	Resultados	Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce (NORMA TULSMA)	Límite de descarga al sistema de alcantarillado público (NORMA TULSMA)
DBO entrada	mg/l	987	100	250
DBO salida	mg/l	943	100	250
Remoción de DBO	%	4,46		

$$\frac{987-943}{987} = 0.04457 * 100 = 4.46 \%$$

4.1.3. Tercera corrida.

Considerando un tiempo de llenado de agua residual doméstica en el reactor aeróbico secuencial de 68 segundos, un tiempo de aireación y agitación de 40 minutos y un tiempo de reposo del agua de 4 horas, se encuentran los siguientes resultados de muestra.

Tabla 6. *Resultado tercera corrida*

	Unidades	Resultados	Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce (NORMA TULSMA)	Límite de descarga al sistema de alcantarillado público (NORMA TULSMA)
DBO entrada	mg/l	987	100	250
DBO salida	mg/l	939	100	250
Remoción de DBO	%	4,86		

$$\frac{987-939}{987} = 0.0486 * 100 = 4.86 \%$$

4.1.4. Cuarta corrida.

Considerando un tiempo de llenado de agua residual doméstica en el reactor aeróbico secuencial de 68 segundos, un tiempo de aireación y agitación de 40 minutos y un tiempo de reposo del agua de 174 horas, se encuentran los siguientes resultados de muestra.

Tabla 7. *Resultado cuarta corrida*

	Unidades	Resultados	Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce (NORMA TULSMA)	Límite de descarga al sistema de alcantarillado público (NORMA TULSMA)
DBO entrada	mg/l	1098	100	250
DBO salida	mg/l	699	100	250
Remoción de DBO	%	36,34		

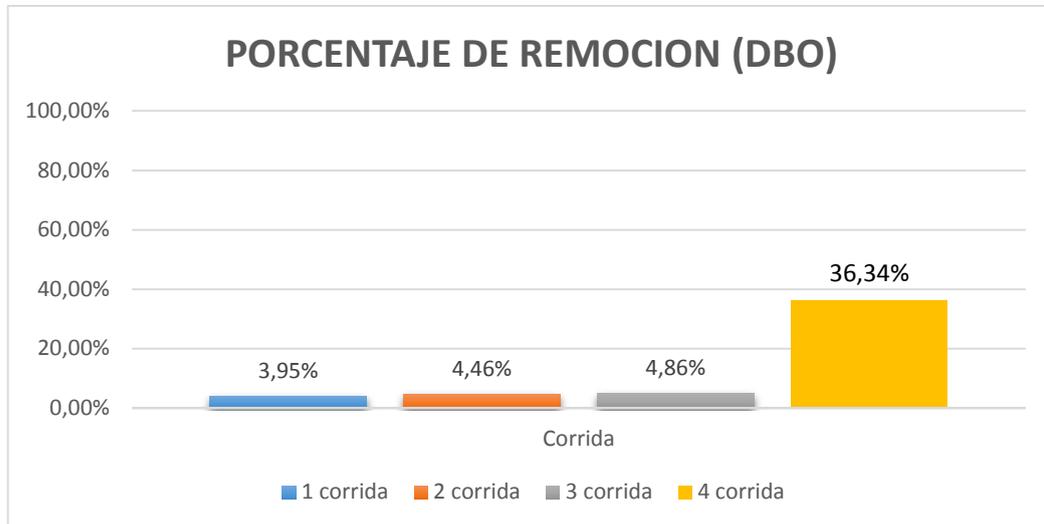
$$\frac{1098-699}{1098} = 0.0363 * 100 = 36.34 \%$$

4.2. Evaluación de la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en un reactor aeróbico secuencial.

Tabla 8. *Evaluación de los resultados*

Tiempo de aireación (minutos)	Tiempo de reposo del agua (horas)	% Remoción de DBO (mg/l)	Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	Límite de descarga al sistema de alcantarillado público
20	2	3,95	100	250
30	3	4,46	100	250
40	4	4,86	100	250
40	174	36,34	100	250

De acuerdo a los resultados indicados en el numeral 3.5, se hace a continuación la gráfica.



4.2.1. Determinación del tiempo óptimo de los procesos de tratamiento de aguas residuales en función de la remoción adecuada de demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

 : Tiempo de aireación = 20 minutos, tiempo de reposo (sedimentación) = 2 horas

 : Tiempo de aireación = 30 minutos, tiempo de reposo (sedimentación) = 3 horas

 : Tiempo de aireación = 40 minutos, tiempo de reposo (sedimentación) = 4 horas

 : Tiempo de aireación = 40 minutos, tiempo de reposo (sedimentación) = 174 horas. Este tiempo de reposo fue definido de acuerdo a la literatura técnica en otras investigaciones del mismo tema.

Se puede observar que se obtiene un % de remoción de DBO más elevado (36,34%) en la cuarta corrida, esto indica que el tiempo óptimo es para aireación 40 minutos, y para reposo (sedimentación) de 174 horas. Sin embargo, es necesario recalcar que para la cuarta corrida se adicionó un inóculo, lo cual no fue efectuado en las tres primeras corridas. Además, el porcentaje de inóculo introducido fue apenas el 7 % (4 litros) de lo que idealmente debió ponerse que era el 30% (16 litros) del volumen total del reactor de 54 litros.

CONCLUSIONES

Las concentraciones obtenidas de materia orgánica en términos de DBO en el efluente no cumplen con los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce y al alcantarillado público. Esto se debe a que se trabajó con un agua residual almacenada en un tanque séptico, lo cual hizo que tenga mayor concentración de materia orgánica elevando la DBO de dicha agua.

Sin embargo, se observó en la cuarta corrida un porcentaje de remoción de materia orgánica en términos de DBO del 36,34 %, lo cual es muy significativo, en el caso de aguas residuales domésticas que posean una concentración media de DBO de 300 mg/l, con lo cual se obtendrían una concentración de DBO en el efluente del reactor de 190,98 mg/l, concentración que si cumpliría para descargar a un alcantarillado público, no así para descargar a un cuerpo de agua dulce.

Se concluye que el tiempo óptimo para lograr el mejor rendimiento de remoción de materia orgánica en términos de DBO en un reactor aeróbico secuencial para el caso de este trabajo de investigación fue de tiempo de aireación 40 minutos, y tiempo de reposo (sedimentación) de 174 horas.

Por último, se concluye que apenas se adicionó el 25 % del volumen total de inóculo que indica la literatura técnica para una total efectividad de remoción de materia orgánica en términos de DBO en reactores aeróbicos secuenciales.

RECOMENDACIONES

Se recomienda probar con agua residual que ingresa a una Planta de Tratamiento de aguas residuales y no con agua residual almacenada de un tanque séptico, con el fin de obtener mejores resultados en las pruebas de remoción de DBO.

Se recomienda que para futuros trabajos de investigación se varíe tanto el tiempo de aireación como el tiempo de reposo (sedimentación) en virtud de buscar una mejor eficiencia en la remoción de DBO.

Se recomienda probar un porcentaje mayor de inóculo tomado en la investigación (25%), un valor entre el 40 al 60 % del volumen ideal con respecto al volumen total del reactor, podría mejorar la eficiencia de remoción de la DBO en los reactores aeróbicos secuenciales.

GLOSARIO

Eutrofización:

f. Ecol. Incremento de sustancias nutritivas en aguas dulces de lagos y embalses, que provoca un exceso de fitoplancton.

m. Biol. Plancton marino o de agua dulce, constituido predominantemente por organismos vegetales, como ciertas algas microscópicas.

Inóculo

m. Biol. Y Med. Pequeña cantidad de la sustancia que se inocula.

Tr. Biol. Y Med. Introducir en un organismo una sustancia que contiene los gérmenes de una enfermedad.

DBO: Demanda bioquímica de oxígeno

BIBLIOGRAFÍA

ABC, D. (2007). *Definicion de microorganismo*.

Alonso Serrano, A., García Sanz, L., León Rodrigo, I., García Gordo, E., Gil Álvaro, B., & Ríos Brea, L. (s.f.). *Métodos de investigación de enfoque experimental*.

Obtenido de Postgradoune:

<http://www.postgradoune.edu.pe/documentos/Experimental.pdf>

Ambiente, M. d. (2015). Registro Oficial. Quito.

Anonimo. (s.f.).

<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/tratamientoresiduales/tratamientoresiduales.html>.

Anonimo. (2013). Tratamiento de aguas residuales domésticas.

Anónimo. (s.f.). Tratamiento de aguas residuales capítulo 4. Obtenido de

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lar/oropeza_b_vm/capitulo_4.pdf

APA, N. (s.f.). *¿Cómo enfocar la tesis? Enfoque cuantitativo y cualitativo*. Obtenido de NORMAS APA: <http://normasapa.net/tesis-enfoque-cuantitativo-cualitativo/>

Bonsai Menorca. (2017). *Parámetros de Calidad de las Aguas de Riego*. Obtenido de Bonsai Menorca: <http://www.bonsaimenorca.com/articulos/articulos-tecnicos/parametros-de-calidad-de-las-aguas-de-riego/>

Café., A. A. (s.f.). Tratamiento de aguas residuales del beneficiado húmedo del café. https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Tratamiento_aguas_residuales_Beneficio.

Caracterización A. Residual. (s.f.). Obtenido de USAL:

http://aulavirtual.usal.es/aulavirtual/demos/simulacion/modulos/curso/uni_03/u3c3s6.htm#Anchor2

Carrasquero Ferrer, S. J., Pire Sierra, M. C., Rincon Lizardo, N. C., & Diaz Montiel, A. R. (2014). Monitoreo de la remoción biológica de nitrógeno en efluentes de tenerías usando un reactor por carga secuencial. *SciELO Analytics*. Obtenido de SciELO.

Condorchem Envitech. (s.f.). *Sistemas con reactores aeróbicos para tratar aguas residuales*. Obtenido de Condorchem: <http://blog.condorchem.com/sistemas-con-reactores-aerobicos-para-tratar-aguas-residuales/>

DIGITAL, B. (2017). *Product-Sheet-Bioctor MBBR*. Obtenido de <https://www.nijhuisindustries.com/es/solutions/tratamiento-biologico-aerobico/>

drcalderonlabs. (julio 1997). DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO.

ECURED. (s.f.). Obtenido de [https://www.ecured.cu/Tratamiento de aguas residuales](https://www.ecured.cu/Tratamiento%20de%20aguas%20residuales)

Enfoque Cuantitativo. (28 de Mayo de 2015). Obtenido de

humanidades2osneideracevedo:

<https://humanidades2osneideracevedo.wordpress.com/2015/05/28/enfoque-cuantitativo/>

ENVITECH, C. (s.f.). Tratamiento biológico de aguas residuales.

<http://blog.condorchem.com/tratamiento-biologico-de-aguas-residuales/>.

Florencia Ucha. (30 de Noviembre de 2012). *Aguas residuales*. Obtenido de

Definición ABC: <https://www.definicionabc.com/medio-ambiente/aguas-residuales.php>

FYNDECOL. (2017). TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

GEDAR. (s.f.). *Aguasresiduales.info*. Obtenido de GEDAR:

<https://www.gedar.es/clasificacion-de-los-solidos-del-agua-residual/>

INFOJARDIN. (2002). Nitrificación.

Juan Fernando Muñoz Paredes¹, M. R. (13 de junio de 2014). REACTORES

DISCONTINUOS SECUENCIALES: UNA TECNOLOGÍA VERSÁTIL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*,

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-81702014000100003.

Juan Manuel Parra, (29 de junio de 2013) La investigación o enfoque cualitativo [Blog] Recuperado de <http://yamilesmith.blogspot.com/2012/06/la-investigacion-o-enfoque-cualitativo.html>.

Martínez, J. A. (s.f.). *SCRIBD*. Obtenido de

<https://es.scribd.com/presentation/339145049/Planta-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales>

Martínez, J. A. (s.f.). *SCRIBD*. Obtenido de

<https://es.scribd.com/presentation/339145049/Planta-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales>

Meyer, W., & Van Dalen, D. (21 de Septiembre de 2016). *Manual de técnica de la investigación educativa*. Obtenido de Noemagico:

<https://noemagico.blogia.com/2006/092201-la-investigaci-n-experimental.php>

Microlab Industrial. (2016). Los sólidos en el agua; maneje sus sólidos y mejore su efluente. *Aguasresiduales.info*.

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, E. (s.f.). Obtenido de <http://www.energia.gob.ec/mazar-dudas/desadenador-alazanok/>

Muñoz Paredes, J. F., & Ramos Ramos, M. (2014). *REACTORES DISCONTINUOS SECUENCIALES: UNA TECNOLOGÍA VERSÁTIL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. Pasto.

Remtavares. (2006). blogs madrid.

research, e. a. (s.f.). Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento. <http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/t/t10.html>.

Ruiz Mora, C. A. (2012). *Parametros Radiologicos*. Santo Domingo.

Técnicas de Investigación. (s.f.). Obtenido de Profesores.fi-b.unam.mx: http://profesores.fi-b.unam.mx/jlfl/Seminario_IEE/tecnicas.pdf

Totagua, D. (2009). *Totagua*. Obtenido de <http://www.totagua.com/equipos-para-la-depuracion/ultrafiltracion-de-aguas-residuales.html>

WebMaster. (s.f.). *SPENA GROUP*. Obtenido de <http://spenagroup.com/tipos-tratamiento-agua-aguas-residuales/>

ANEXOS

Anexo 1: Resultados obtenidos entrada y primera salida



INFORME DE RESULTADOS		No. 0001-0002-18			
FECHA DEL INFORME: 01/02/2018		DATOS DEL MUESTREO:			
INFORMACIÓN DEL CLIENTE		Tipo de Muestra: Simple			
Empresa:	Universidad Laica Vicente Rocaforte	Lugar de Toma: Universidad Laica			
Dirección:	Av. De las Américas	Fecha de Toma: 17/01/2018			
Solicitado por:	Dr. Alexis Franco	Responsable Muestreo: Ing. Kiebet Mazono			
CONDICIONES DEL ANÁLISIS		Hora: 14:00 Simple			
F. Inicio del Análisis:	17/01/2018 T ° C : 25.6	Fecha de Ingreso: 17/01/2018			
F. Fin del Análisis:	23/01/2018 %H : 50,1				
RESULTADOS					
Identificación de la muestra: Universidad Laica (Entrada) (No. 0001)					
PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	U (n=2)	MÉTODO DE REFERENCIA	LÍMITES
*Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	997	12%	SM 52108 PE-13	100
Identificación de la muestra: Universidad Laica (Salida) (No. 0002)					
PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	U (n=2)	MÉTODO DE REFERENCIA	LÍMITES
*Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	945	12%	SM 52108 PE-13	100



 Jefe del Laboratorio
 Dra. Esmeralda Quintero

NOTAS

1. Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometida(s) al ensayo.
 2. No se debe reproducir el informe de manera parcial solo en su totalidad.
 3. Los apilados e interpretaciones no forman parte del alcance de acreditación otorgada al OMS.
- *Parámetro incluido en el alcance de acreditación otorgada al OMS (Organismo de Acreditación Ecuatoriana)
 **Parámetro no acreditado

Anexo 2: Resultados obtenidos segunda y tercera salida



INFORME DE RESULTADOS		No. 0005-0009-18			
FECHA DEL INFORME: 01/02/2018		DATOS DEL MUESTREO			
INFORMACIÓN DEL CLIENTE		Tipo de Muestra : Simple			
Empresa :	Universidad Laica Vicente Rocaforte	Lugar de Toma : Universidad Laica			
Dirección :	Av. De las Américas	Fecha de Toma : 18/01/2018			
Solicitado por :	Sr. Alexis Franco	Responsable Muestreo : Ing. Kieber Moscoso			
CONDICIONES DEL ANÁLISIS		Hora : 14H00 Simple			
F.Inicio del Análisis :	18/01/2018 T ° C : 27.2	Fecha de Ingreso : 18/01/2018			
F.Fin del Análisis :	24/01/2018 %H : 45.4				
RESULTADOS					
Identificación de la muestra: Universidad Laica (Muestra #3) (No. 0008)					
PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	U (k=2)	METODO DE REFERENCIA	LÍMITES
*Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	943	12%	SM 5210B PE-13	100
Identificación de la muestra: Universidad Laica (Muestra #4) (No. 0009)					
PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	U (k=2)	METODO DE REFERENCIA	LÍMITES
*Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	938	12%	SM 5210B PE-13	100



 Jefe del Laboratorio
 Qca. Esmeralda Quintero

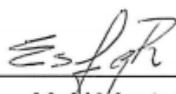
NOTAS:

1. Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometida(s) al ensayo.
 2. No se debe reproducir el informe de manera parcial solo en su totalidad.
 3. Las opiniones e interpretaciones no forman parte del alcance de acreditación solicitada al OAE.
- *Parámetro incluido en el alcance de acreditación solicitada al OAE (Organismo de Acreditación Ecuatoriana)
 **Parámetro no acreditado

Anexo 3: Resultados obtenidos segunda entrada



INFORME DE RESULTADOS		No. 0070-18			
FECHA DEL INFORME: 24/02/2018		DATOS DEL MUESTREO			
INFORMACIÓN DEL CLIENTE		Tipo de Muestra : Simple			
Empresa :	Universidad Laica Vicente Rocafuerte	Lugar de Toma : Universidad Laica (Entrada)			
Dirección :	Av. De las Américas	Fecha de Toma : 09/02/2018			
Solicitado por :	Sr. Moises Yepez y Manuel Quinto	Responsable Muestreo : Ing. Kleber Moscoso			
CONDICIONES DEL ANÁLISIS		Hora : 13H00 Simple			
F.Inicio del Análisis :	09/02/2018 T ° C : 26,2	Fecha de Ingreso : 09/02/2018			
F.Fin del Análisis :	14/02/2018 %H : 60,5				
RESULTADOS					
PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	U (k=2)	MÉTODO DE REFERENCIA	LÍMITES
*Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	1098	12%	SM 5210B PE-1.3	100



 Jefe del Laboratorio
 Qca. Esmeralda Quintero

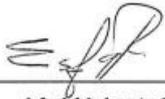
NOTAS:

1. Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometidas al ensayo.
 2. No se debe reproducir el informe de manera parcial solo en su totalidad
 3. Las opiniones e interpretaciones no forman parte del alcance de acreditación solicitado al OAE
- *Parámetro incluido en el alcance de acreditación solicitado al OAE (Organismo de Acreditación Ecuatoriano)
 **Parámetro subcontratado

Anexo 4: Resultados obtenidos cuarta salida



INFORME DE RESULTADOS		No. 0081-18			
FECHA DEL INFORME: 24/02/2018		DATOS DEL MUESTREO			
INFORMACIÓN DEL CLIENTE		Tipo de Muestra : Simple			
Empresa :	Universidad Laica Vicente Rocafuerte	Lugar de Toma : Universidad Laica (Salida)			
Dirección :	Av. De las Américas	Fecha de Toma : 17/02/2018			
Solicitado por :	Sr. Moises Yopez y Manuel Quinto	Responsable Muestreo : Ing. Kleber Moscoso			
CONDICIONES DEL ANÁLISIS		Hora : 13H00 Simple			
F.Inicio del Análisis :	17/02/2018 T * C : 25,8	Fecha de Ingreso : 17/02/2018			
F.Fin del Análisis :	22/02/2018 %H : 59,9				
RESULTADOS					
PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	U (k=2)	METODO DE REFERENCIA	LIMITES
*Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	699	12%	SM 5210B PE-1.3	100



 Jefe del Laboratorio
 Qca. Esmeralda Quintero

NOTAS:

1. Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometidas al ensayo.
 2. No se debe reproducir el informe de manera parcial sólo en su totalidad
 3. Las opiniones e interpretaciones no forman parte del alcance de acreditación solicitado al OAE
- *Parámetro incluido en el alcance de acreditación solicitado al OAE (Organismo de Acreditación Ecuatoriano)
 **Parámetro subcontratado