

TRABAJO DE GRADO
Opción Investigación o Proyecto de Grado

Diseño de un sistema de Contactores de Discos Biológicos Rotatorios para tratamiento de aguas residuales domesticas

Corporación Universitaria Remington.
Facultad de ingeniería.
Ingeniería ambiental.

Gunter José Navarro Murillo.
Tutor: Libia Liliana Julio Galvis.

2026.

Proyecto de investigación.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis compañeros de estudio en el programa de ingeniería, aquellos con quienes inicié este bonito proceso lleno de nuevas experiencias, aprendizaje y buenos momentos compartidos. A mis tutores de la facultad de ingeniería, buen equipo de profesionales llenos de experiencia y buenos hábitos educativos, con ánimos de enseñar lo mejor cada día y dar orientación valorable a los que estamos en formación.

A mis familiares y amigos que estuvieron presentes en este camino lleno de lucha y sacrificios, gracias por su comprensión en esos momentos en los que se acercaron y ofrecieron una voz de apoyo para seguir adelante, por su acompañamiento, confianza, determinación y compromiso.

Agradecimientos

Agradezco de manera atenta a mi tutora Libia Liliana Julio Galvis, quien con su apoyo, motivación y constancia, hizo posible la culminación de este logro; por su orientación y acompañamiento en la investigación de Contactores Biológicos Rotatorios.

A la empresa prestadora de servicios públicos de Montería Veolia Aguas de Montería S.A E.S.P. por suministrarnos de manera oportuna y completa los resultados de caracterización del efluente de la ciudad, datos necesarios para la proyección de remociones del reactor.

A la Corporación Universitaria Remington y al equipo de profesionales que ejercen la tutoría del programa, quienes, con su conocimiento, experiencia y compromiso académico, constituyeron el fundamento y la orientación permanente en mi proceso de formación como Ingeniero Ambiental.

Tabla de Contenidos

Resumen.....	6
Palabras clave.....	7
Introducción.....	8
Referente teórico.....	10
Planteamiento del problema.....	13
Justificación.....	17
Objetivos.....	20
Objetivo General.....	20
Objetivos específicos.....	20
Metodología.....	21
Aspectos éticos.....	21
Descripción de la unidad de análisis.....	21
Las variables.....	21
Población y muestra.....	22
Nivel de investigación.....	22
Diseño de la investigación.....	23
Investigación experimental.....	23
Resultados y Discusión.....	24
Caudal de diseño.....	24
Datos de referencia del diseño.....	24
Area de reactor.....	25
Area de reactor.....	25
Conclusiones.....	27
Referencias.....	28
Material suplementario.....	33

Lista de tablas

Tabla 1. Criterios de diseño establecidos.....	22
Tabla 2. Distribución de las etapas.	26

Resumen

En esta investigación se tiene como propósito principal diseñar un contactor biológico rotatorio a escala de laboratorio, con parámetros sujetos a las condiciones y características de aguas residuales domiciliarias; con el fin de identificar la viabilidad de uso de este tipo de tecnologías de tratamiento en zonas domésticas.

Los cálculos y diseños fueron ajustados por literatura existente y confiable, los parámetros adquiridos durante el tiempo por ensayos de prueba y error de diferentes autores en situaciones y afluentes con características similares a las muestras analizadas fueron factor clave para el desarrollo de esta investigación. Para el diseño se define un sistema compacto con tres etapas separadas por pantallas deflectoras, biopelícula de adherencia compuesta por 16 discos de 0.12 m de diámetro, la eficiencia de remoción de DBO proyectada es superior al 70%.

Se propone variedad de materiales para la adherencia de la biomasa con el fin de evaluar el comportamiento y afinidad del sustrato con la biopelícula inicialmente se propone la implementación de discos de polietileno de alto impacto (PEAD) y Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) materiales de alta manejabilidad, resistencia mecánica, termoformado comercial en la industria y distribución mercantil de fácil acceso.

Las tecnologías RBC son reactores compactos de alta eficiencia y bajo costo de mantenimiento, estas condiciones lo establecen como buenas alternativas para el tratamiento de aguas residuales; el bajo consumo de energía en estos lo convierten en una inversión adecuada en estructuras sociales con bajos recursos económicos.

Palabras clave

Contactador Biológico Rotatorio, CBR, Depuración, Efluente, Afluente

Introducción.

La demanda por recurso hídrico se ha convertido en una preocupación creciente, pues se necesita para el consumo humano, para el sector industrial y en la agricultura. Esta situación se vuelve compleja dado los efectos del cambio climático, el aumento en la población, la poca disponibilidad y la contaminación generada por actividades humanas en sectores como el industrial, domésticas y agropecuarias (Echeverría et al., 2020). En relación con esto último son muchas las industrias que en sus procesos de producción generan aguas residuales ricas en compuestos orgánicos. Se estima que la carga orgánica contaminante oscila en los 1,7 Kg DBO/m³, lo cual tiene sin duda un gran impacto en la calidad del recurso hídrico en atención a los sólidos disueltos y sólidos suspendidos que terminan siendo dispuestos en sistema de alcantarillado y en casos más graves en cuerpos de agua (Quintero Pulgar et al., 2021).

El tratamiento de aguas residuales tiene como tecnología principal procesos biológicos (UASB, MBR, zanjonos de oxidación, lodos activados, RBC, entre otros,) y es considerado económico, energéticamente eficiente y ambientalmente racional (Waqas et al., 2021). En las plantas de tratamiento de agua residual doméstica (PTARD) de tipo biológico, el afluente a tratar estará en contacto con cada uno de los componentes que se encargan de los procesos que integran el sistema, teniendo en cuenta que los procesos son netamente biológicos se asegura la restricción de insumos químicos para degradar la materia orgánica, además de no incluir equipos eléctricos para la aplicación de estos; es por esta razón que los sistemas de depuración biológicos se convierten en una buena. El contactor biológico rotatorio (CBR) es un equipo de tratamiento de agua residual

compuesto por una superficie de alojamiento bacteriano que está en constante movimiento giratorio sobre un mismo eje, de esta manera las bacterias pueden estar en contacto con el sustrato presente en el agua y el oxígeno presente en el aire. Dentro de sus ventajas se destacan factibilidad, simplicidad en el diseño y operación, corto tiempo de arranque, bajo requerimiento de terreno, bajo consumo de energía, y bajos costos de operación y mantenimiento (Cortez et al., 2013). Aun cuando se reconocen sus beneficios, los CBR se cuestionan por su inestabilidad operativa y calidad variable del efluente, así como los costos de construcción, situaciones que limitan su puesta en marcha hoy día. En tal sentido surge la necesidad de diseñar y construir un sistema de contactores de discos biológicos rotatorios a escala de laboratorio para tratamiento de aguas residuales domésticas, variando parámetros de diseño claves y a partir de estos resultados evaluar la posibilidad de implementación a escala real.

Referente teórico

Las tecnologías utilizadas para la reducción de cargas contaminantes en aguas residuales por métodos biológicos, las podemos dividir en dos grupos, anaerobias y aerobias. Los tratamientos anaerobios se encargan de disminuir la carga de sustratos presente en aguas residuales, el proceso de degradación del sustrato es realizado con la presencia de cultivos de bacterias anaerobias; mientras que la aerobiosis consiste en la oxidación de la materia orgánica colocándola en contacto de bacterias adaptables a la presencia de oxígeno.

- Tecnologías de tratamiento anaerobias:

En las tecnologías de tratamiento anaerobio se destaca gracias a su eficiencia en la reducción de la materia orgánica los reactores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), estos equipos fueron creados y diseñados desde hace más de 50 años; el principio fundamental para la depuración en estos equipos de tratamiento de aguas contaminadas consiste en la suspensión de un manto de lodo homogéneo, esto se logra conservando una velocidad constante del agua ascendente, un factor importante en estos sistemas es la distribución de forma equitativa del caudal en toda el área superficial del reactor, el lodo suspendido es el medio de soporte de la comunidad microbiana encargada de degradar el sustrato presente en el agua residual; estos sistemas deben contar con componentes internos para la separación de gases y natas generados en ellos (Lorenzo & Obaya, 2006).

- Tecnologías de tratamiento aerobias.

Una tecnología de tratamiento aerobio usada es el filtro percolador, este sistema de depuración consiste en la mezcla de oxígeno y agua residual dando la creación de una biopelícula conformada por una comunidad bacteriana que se adhiere a una superficie de contacto fija; usualmente se usan materiales sintéticos. El agua es rociada por sistemas giratorios de riego hidráulicos o mecánicos, en algunos casos por sistemas fijos; en ambas situaciones el sustrato presente en la masa de agua atraviesa en sentido descendente formando una lluvia y entrando en contacto con los microorganismos que habitan la biopelícula (Reyes-Lara & Reyes-Mazzoco, 2009).

Cabe aclarar que la combinación de diferentes tecnologías de tratamiento biológico puede complementarse para la construcción de un sistema o planta para tratamiento de agua residual domestica (PTARD), la reducción de contaminantes puede realizarse mediante un tratamiento aerobio precedido por un proceso anaerobio, no obstante, es necesario resaltar la utilización tecnologías que promuevan la autosostenibilidad, alta eficiencia y bajo requerimiento de intervención para su funcionamiento; estas características las ofrece una tecnología de tratamiento aerobia denominada Contactor Biológico Rotatorio (RBC) o Biodiscos rotatorios. Los RBC al igual que los filtros percoladores son tecnologías que utilizan la mezcla de oxígeno para lograr la depuración de la materia de origen orgánico presente en el agua contaminada; el flujo del afluente en estos equipos de tratamiento funciona completamente diferente a los filtros percoladores, los microorganismos cultivados y encargados de la degradación habitan una biopelícula que está en constante movimiento rotatorio sobre un mismo eje, y el flujo de agua atraviesa la biomasa en sentido horizontal (Waqas et al., 2020).

La presencia de compuestos nitrogenados (nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato) en vertimientos promueve a la reducción del oxígeno disuelto en los cuerpos naturales de agua, la eficiencia de los reactores de biodiscos rotatorios ofrece ventajas adicionales en la calidad de agua tratada, en esta tecnología se presentan condiciones anóxicas que favorecen la eliminación de estas sustancias con los procesos de nitrificación y desnitrificación (Espinosa, 2015).

Los contactores biológicos rotatorios son un sistema exitoso que se ha desarrollado desde hace mucho tiempo, fueron ampliamente utilizados para el tratamiento secundario de aguas residuales domésticas e industriales para la eliminación de DQO/DBO y con fines de nitrificación/desnitrificación (Mohammed, 2015).

Usualmente los contactores biológicos rotatorios son utilizados como tratamiento secundario en la depuración de aguas contaminadas, la optimización de área en este sistema es debido a que se utiliza un gran número de discos seguidos uno de otro sobre el mismo eje rotatorio, un contactor a escala real normalmente puede medir 7600 mm de longitud y 3600 mm de diámetro y lograr hasta 9290 m² de área de contacto (Castillo-Borges et al., 2013).

Planteamiento del problema.

El agua es un recurso vital para la todas las especies y el ser humano, en particular, lo involucra en gran parte de sus actividades domésticas y económicas (Liu et al., 2020). Una vez utilizada, lo ideal es que sea tratada de manera eficiente antes de ser vertida al medio ambiente, evitando que se constituya en un factor que contribuya a la contaminación ambiental.

En efecto, la fuerte industrialización y los crecientes asentamientos demográficos han elevado los vertimientos de agua residuales, provocando la contaminación de cuerpos de agua natural, lo que sin duda se convierte una preocupación mundial (Maheepala et al., 2022).

Según la organización de Naciones Unidas (ONU), en países desarrollados y en vías de desarrollo, cerca de 297 mil niños mueren por enfermedades asociadas a la baja calidad del agua y se estima que el 80% de aguas residuales regresan al medio ambiente sin tratamiento previo (Khan et al., 2022).

Actualmente Colombia presenta un porcentaje de tratamiento de aguas residuales del 42.85%, y de acuerdo con la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) existen 190 sistemas de tratamiento de aguas residuales en un total de 230 municipios, lo que permite inferir que se deben sumar esfuerzos si se quiere cumplir con la meta del 68% establecido para el 2030 (CONPES, 2020). En tal sentido desde el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) se han tomado medidas para que en el año 2022 se avance en este objetivo trazado, estableciendo tratar el 54% de las

aguas residuales y una estrategia es incentivar su uso en sectores agrícolas e industrial bajo ciertos criterios de calidad (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021)

Las aguas residuales domesticas (ARD) se definen como la masa de agua producto de los vertimientos realizados por los habitantes de un complejo residencial, estas aguas usualmente son captadas por un sistema de recolección y canalización (sistema de alcantarillado) para su posterior tratamiento y depuración de la materia orgánica antes de ser vertidas a cuerpos de agua natural. Las entidades ambientales están encargadas de vigilar y controlar estos tipos de vertimientos, se debe asegurar que las cargas de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) del efluente de un sistema de depuración de aguas residuales no supere la capacidad admitida por el cuerpo receptor sin que se alteren las características naturales del mismo.

En tal sentido, el diseño de sistema de tratamiento de aguas residuales, con el fin de mitigar sus impactos ambientales, ha despertado el interés y se están proponiendo rediseños y/o sugiriendo mejoras a las estructuras existentes (Shiek et al., 2021). Siendo el propósito central lograr la remoción de materia orgánica a través de dichos procesos, lo que permitirá que el agua residual cumpla con las disposiciones establecidas por la normatividad legal vigente.

Los sistemas de tratamiento para la descontaminación de agua generalmente son de alto costo, tanto para la construcción de la infraestructura como, para el mantenimiento de esta, es por ello, por lo que escoger las tecnologías de tratamiento exige en análisis ser analizadas desde todos los puntos de vista, escoger una determinada tecnología de tratamiento para aguas residuales debe prever el impacto que causará en el ambiente, los

consumos energéticos asociados a los equipos eléctricos con los que contará, el nivel de eficiencia que se requiere para su descarga al cuerpo natural de agua, entre otros.

La apreciación de Lorenzo & Obaya plantea que los costos generados para la descontaminación de aguas residuales deben ser proporcional al ingreso de la economía de las comunidades, proponiendo que países en vía de desarrollo implementen tecnologías que no requieran costos excesivos para su sostenimiento (Lorenzo & Obaya, 2006)

Las tecnologías de tratamiento biológico de aguas residuales domesticas convencionales utilizadas en la actualidad para la depuración de la materia orgánica, presentan dificultades para su autosostenibilidad. Los costos generados por factores energéticos, de mantenimientos y operativos, son reflejados directamente en la administración económica de los sistemas.

En lo que se refiere a los contactores biológicos rotativos (CBR) son una tecnología apropiada para el tratamiento de aguas residuales de diverso origen. Consiste en una biopelícula que consta de microorganismos inmovilizados y adheridos al área superficial de cada disco y cuya rotación expone alternativamente la biopelícula al oxígeno atmosférico y a las aguas residuales. Esta biopelícula cumple la función de degradar la materia orgánica y absorber los nutrientes presentes en las aguas residuales(Waqas et al., 2021).Dentro de las ventajas de los CBR se pueden citar requisitos mínimos de tierra y energía, huella biológica pequeña, bajos costos operativos, entre otros (Maheepala et al., 2022),

La eficiencia de biodegradación de este sistema de contactores biológicos depende de varios parámetros, tales como el contenido de oxígeno disuelto en las aguas residuales, la intensidad del flujo de las aguas residuales, el contenido de compuestos orgánicos, la velocidad de rotación del rotor y la configuración del sistema (Szulżyk-Cieplak et al., 2018), lo que indica que evaluar el impacto generado por la variación de estos parámetros permitirá definir ciertas condiciones que beneficien y determinantes en la eficiencia de degradación de contaminantes en este tipo de tecnologías.

En tal sentido se formula la siguiente pregunta problema:

¿Qué parámetros de diseño se deben considerar para determinar la eficiencia y viabilidad de un CBR para el tratamiento de aguas residuales domésticas?

Justificación.

Los efectos adversos ocasionados por el exceso de materia orgánica en aguas residuales domésticas son difíciles de solucionar, la presencia de materia orgánica, inorgánica, elementos como el fósforo (P) o el nitrógeno (N), estos componentes son los responsables de generar la eutrofización de los cuerpos receptores, condición que modifica la calidad del cuerpo natural y a su vez con los organismos vivos presentes en el (Cárdenas et al., 2012).

No tratar las aguas servidas de una población puede generar problemáticas ambientales, es por esto por lo que los sistemas de tratamiento juegan un papel importante, tecnologías de tratamiento biológico, para aguas producto de los vertimientos residuales son soluciones viables, gracias al bajo costo para su construcción, operación y mantenimiento del sistema.

Los sistemas para el tratamiento de aguas residuales de usos domésticos (PTARD) son un conjunto de equipos que, mediante procesos biológicos, químicos o una combinación de ambos, se encargan de disminuir la carga de origen orgánico presente en el cuerpo de agua efluente del sistema de alcantarillado de una comunidad, para luego ser dispuestas en cuerpos de agua natural con condiciones aceptables que no lo alteren.

En la actualidad existen muchas tecnologías de tratamiento de agua residual de tipo biológico, podemos encontrar de carácter aerobio y de carácter anaerobio; entre las más usadas en Colombia se encuentran los UASB por sus siglas en inglés Upflow Anaerobic Sludge Blanket (Manto de lodo anaeróbico de flujo ascendente), Filtros Percoladores de flujo descendente, FAFA Filtros anaerobios de flujo ascendente.

Para seleccionar la tecnología de tratamiento adecuada del sistema es necesario tener en cuenta varios factores como por ejemplo, características físico-químicas y microbiológicas del afluente a tratar (concentración de contaminantes presentes en el cuerpo de agua), costos relacionados para la construcción y mantenimiento de la infraestructura, la eficiencia de remoción de materia orgánica (resultado de la comparación de la concentración de agentes contaminantes del afluente y el efluente de la planta de tratamiento expresado en porcentaje), costos de operación por recurso humano del sistema de tratamiento, caudal de agua vertido al sistema incluidas las variaciones que en él se presenten durante el día, uso intensivo de energía eléctrica; en todo caso, la selección de la tecnología de un sistema de tratamiento de agua residual está dirigida a la autosostenibilidad, costos económicos requeridos para su operación, huella ambiental, y no dejar de lado la disponibilidad de área necesaria para la construcción de la infraestructura (Waqas et al., 2020).

En este sentido, la importancia de optimizar la utilización de áreas superficiales para la construcción de sistemas de depuración radica en el aprovechamiento de cada espacio de la zona urbana, todas las poblaciones tienden al aumento y con ello sus vertimientos, a medida del crecimiento poblacional los sistemas de tratamiento pierden capacidad por la demanda y es por ello de requieren optimización para la depuración de los contaminantes que reciben; y para lograrlo es necesario incluir nuevos componentes o modificar las dimensiones de los existentes, en ambos casos se compromete la utilización de área superficial; las condiciones de los vertimientos de aguas residuales generados en los

países en vía de desarrollo es una problemática que se identificó hace mucho tiempo pero a la fecha no es solucionada (Ramón, 2010).

Considerando que las tecnologías de tratamiento de aguas residuales por métodos biológicos pueden ser hasta un 40% más económicos que los tratamientos químicos, energéticamente eficientes y ambientalmente racionales es pertinente incurrir en investigaciones que evalúen la implementación de sistemas de tratamiento que requieran menores áreas y que demuestren altas eficiencias en la depuración de los agentes contaminantes (Ebrahimi et al., 2010, Mohammed, 2015, Waqas et al., 2021, Castillo-Borges et al., 2013).

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un sistema de contactores de discos biológicos rotatorios (CBR) para en el tratamiento de aguas residuales domésticas, con el propósito de reducir su impacto ambiental.

Objetivos específicos

- Definir los parámetros de diseño para el sistema de CBR, considerando factores como la carga de aguas residuales, la disponibilidad de recursos y los requisitos normativos y ambientales.
- Dimensionar prototipo a escala de laboratorio el sistema de CBR
- Proponer materiales y componentes adecuados para la construcción del sistema de CBR, asegurando su durabilidad, eficiencia y facilidad de mantenimiento.

Metodología.

Aspectos éticos. Se declara completa responsabilidad de preservar los datos originales y que estos sean sometidos a verificación, además las conclusiones reportadas reflejarán con precisión los datos obtenidos en la investigación. Todo lo anterior respetando los lineamientos básicos éticos, bioéticos y de integridad científica establecidos en Resolución 0314 (Minciencias, 2018).

Descripción de la unidad de análisis. Reactor aerobio de tipo mecánico rotativo, Contactor biológico rotatorio.

Las variables. Las variables de la unidad de análisis se relacionan a continuación:

a) Parámetros de diseño

- Porcentaje de área sumergida del disco
- Tiempo de retención hidráulica
- Diámetro de los discos y del tanque
- Área total de contacto para la biomasa
- Número de discos
- Número de etapas de tratamiento
- Espaciamientos entre discos y disco-etapas
- Velocidad de rotación de los discos

b) Parámetros fisicoquímicos de efluentes

- pH
- Demanda Química de oxígeno - DQO.
- Demanda Biológica de oxígeno - DB05

- Sólidos Suspendedos Totales – SST
- Sólidos Sedimentables SSED
- Grasas y aceites

Población y muestra. Población y muestra: por cada parámetro de diseño se procede a realizar tres modificaciones por parámetro de diseño, que clasificaremos en tres categorías: baja, media y alta, para un total, de 24 diseños

Tabla 1. Criterios de diseño establecidos.

<i>Parámetro</i>	<i>Baja</i>	<i>Media</i>	<i>Alta</i>
Porcentaje de área sumergida del disco	20%	30%	40%
Tiempo de retención hidráulica	4h	8h	12h
Diámetro de los discos y del tanque	0.4 m	0.3 m	0.2 m
Número de discos	10	12	14
Número de etapas de tratamiento	2	3	4
Espaciamientos entre discos y disco-etapas	3 mm	6 mm	9 mm
Velocidad de rotación de los discos	3 rpm	6 rpm	9 rpm

Nivel de investigación. Esta investigación tendrá un alcance de tipo proyectiva. Considerará los principales elementos que componen un sistema de contactor biológico rotatorio, los factores que inciden en su operación, descripción de los principales parámetros de diseño y suministrar especificaciones técnicas sustanciales para su futura construcción.

Diseño de la investigación

Investigación experimental. Para el desarrollo de la investigación se propone diseñar y dimensionar todos los componentes del sistema como se indica a continuación:

- Porcentaje de área sumergida del disco: definir área de exposición del disco al sustrato y la atmósfera.
- Diámetro de los discos y dimensiones del tanque: establecer dimensiones que brinden holgura y se eviten obstrucciones
- Tipo de materiales para la construcción de tanque y biodiscos.
- Número de discos: definir el área total de contacto en cada una de las etapas del reactor, establecer el número por cada una de ellas y su espaciamiento
- Velocidad de rotación de los discos: definir velocidad de giro (rpm), factor que incide en la oxigenación del reactor
- Sistema de Recirculación: estará sujeto a la revisión de la literatura; si es probable incluirlo o no en el diseño
- Soporte del tanque: definir el material según su resistencia al contacto con el agua
- Volumen de retención hidráulica: establecer el tiempo de retención y velocidad de flujo de agua en cada etapa.

Resultados y Discusión

Teniendo en cuenta los resultados de la caracterización del agua residual del sistema de alcantarillado de la ciudad de Montería suministrada por el prestador de servicios de acueducto y alcantarillado municipal (Veolia Aguas de Montería S.A. E.S.P.) y los valores máximos permisibles por la normatividad ambiental para vertimientos vigente en Colombia, se puede definir el área de los discos y el tiempo de contacto del agua residual en el reactor, se debe lograr una eficiencia de remoción superior al 70%, tal cual establece Resolución 631 de 2015 (DQO 180 mg/l, DBO 90 mg/l, SST 90). A continuación, se presenta un resumen de Memorias literales de diseño hidráulico y Memorias numéricas de diseño hidráulico (para mayor detalle ver material suplementario).

Caudal de diseño. Por ser un proyecto a escala de laboratorio se propone la utilización de un equipo electrónico de alta precisión que facilite el control de las variaciones de caudales durante el seguimiento de este, el equipo de bombeo a utilizar tiene un caudal de 1 litros por hora.

$$1 \frac{l}{h} * \frac{24h}{1d} = 24 l/d$$

Datos de referencia del diseño. Los datos de referencia de este diseño se toman del resultado de caracterización realizado por la empresa prestadora de servicios de la ciudad, teniendo en cuenta el objeto del proyecto, es necesario utilizar caudales de tratamiento que permitan el transporte y alimentación con agua del alcantarillado de la ciudad, que faciliten el constante monitoreo del comportamiento del reactor, es por ello por lo que se

define un caudal pequeño con el fin de poder diseñar un prototipo a escala. A

continuación, se presentan los datos bases para el cálculo de este

Capacidad de equipo de bombeo: 0.00028l/s - 1,00 l/h - 24,00 l/d

DBO proyectada a la salida de reactor: 50,00 mg/l

Caudal de tratamiento: 0,00028 l/s - 24,00 l/d - 0,024 m³/d

DBO en el agua cruda: 223,00 mg/l

Carga de DBO a la entrada: 0,0054 kg/d

Remoción proyectada: 173,00 mg/l - 0,0042 kg/d

Area de reactor. A continuación, se muestra el resumen de los resultados del cálculo realizado con los datos de referencia del diseño.

Factor adoptado: 11,50 g/m²/d - 0,0115 kg/m²/d

Área total requerida 0,3610 m²

Número de discos: 32 unidades

Corrección por duplicación de área: 16 unidades

Área por disco: 0,01 m² $A = \pi r^2$

Diámetro de disco: 0,12 m

Area de reactor. Un contactor biológico rotatorio debe tener por lo menos tres etapas, todas incluidas en un solo reactor, separadas por pantallas deflectoras que puedan definir límites entre una etapa y otra. Esta condición promueve el crecimiento de diferentes colonias en el cultivo de la biomasa, y cada colonia se ajusta a las condiciones fisicoquímicas del agua que ingresa a su etapa. El área de contacto de la primera etapa deberá ser de mayor proporción de las consiguientes, dado que, el sustrato que ingresa a

esta cámara tendrá mayor contenido de materia orgánica que la segunda y tercera, es por esta razón que cada etapa seguirá siendo de menor área de su antecesora.

Tabla 2. Distribución de las etapas.

Etapa	Area total de reactor	%	Área de la etapa	Nº de discos
Primera etapa	0.36	50%	0.36	8.00
Segunda etapa	0.36	31%	0.23	5.00
Tercera etapa	0.36	19%	0.14	3.00

Nota: El diseño del reactor fue establecido siguiendo las recomendaciones de (Metcalf & Eddy et al., 1991)

Conclusiones.

Considerando la caracterización del agua residual del sistema de alcantarillado de la ciudad de Montería, el caudal de vertimiento y los valores máximos permisibles por la normatividad ambiental vigente, se puede definir el área de los discos y el tiempo de contacto del agua residual en el reactor para lograr una eficiencia de remoción superior al 70 %

Con el fin de facilitar el monitoreo del comportamiento del reactor y facilitar la alimentación del afluente del sistema de tratamiento a escala, se define un caudal de tratamiento de veinticuatro litros por día (24 l/d).

La carga orgánica del afluente en el contactor biológico rotatorio será de 0.0054 kilogramos de DBO al día, los parámetros de diseño definidos son los recomendados por la literatura pertinente en el ámbito relacionado a sistemas de tratamiento de agua residual.

Teniendo en cuenta la resistencia mecánica, facilidad de moldeo y disponibilidad comercial los materiales a proponer para la biopelícula del sistema de contactores de discos biológicos rotatorios es el Polietileno de alto impacto (HDPE), Poliestireno de alto impacto (HIPS) y Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS).

Referencias

- Cárdenas, Carmen, Yabroudi, Suher Carolina, Benítez, Andreina, Páez, Katiuska, Perruolo, Tomás, Angulo, Nancy, Araujo, Ismenia, & Herrera, Lenín. (2012). Desempeño de un reactor biológico secuencial (RBS) en el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 14(2), 111-120. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-34752012000200012&lng=en&tlng=es.
- Castillo-Borges, E. R., Santos-Ocampo, B., Méndez-Novelo, R. I., Pietrogiovanna-Bronca, J. A., Espadas-SolÃ-s, A., Quintal-Franco, C., & Pat-Canul, R. (2013). Tratamiento de efluentes de fosas sépticas mediante el uso de un sistema de contactor biológico rotatorio. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, 4(3), 125-134. <https://www.revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/369>
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2020). Economía circular en la gestión de los servicios de agua potable y manejo de aguas residuales en Colombia (Documento CONPES 4004). Departamento Nacional de Planeación. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/4004.pdf>
- Cortez, S., Teixeira, P., Oliveira, R., & Mota, M. (2013). Bioreactors: Rotating Biological Contactors. En M. C. Flickinger, *Encyclopedia of Industrial Biotechnology* (p. eib650). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9780470054581.eib650>

- Ebrahimi, A., Najafpour, G., Mohammadi, M., & Hashemiyeh, B. (2010). Biological treatment of whey in an UASFF bioreactor followed a three-stage RBC. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 16(2), 175-182. <https://doi.org/10.2298/CICEQ100315025E>
- Echeverría, I., Saavedra, O., Escalera, R., Heredia, G., & Montoya, R. (2020). Diseño, construcción y evaluación de un sistema de contactor biológico rotatorio (CBR) para el tratamiento de aguas residuales municipales a escala piloto. *Revista Investigación & Desarrollo*, 20(1). <https://doi.org/10.23881/idupbo.020.1-3i>
- Espinosa, L. M. (2015). Estudios de tratabilidad de agua residual industrial utilizando tecnología de membranas. Recuperado de: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/54174>.
- Khan, S. A. R., Ponce, P., Yu, Z., Golpîra, H., & Mathew, M. (2022). Environmental technology and wastewater treatment: Strategies to achieve environmental sustainability. *Chemosphere*, 286, 131532. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131532>
- Liu, Y., Yang, L., & Jiang, W. (2020). Qualitative and quantitative analysis of the relationship between water pollution and economic growth: A case study in Nansi Lake catchment, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(4), 4008-4020. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07005-w>.

Lorenzo, Yaniris; Obaya, Ma. Cristina La digestión anaerobia y los reactores UASB. Generalidades ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. XL, núm. 1, enero-abril, 2006, pp. 13-21 Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar Ciudad de La Habana, Cuba.

Maheepala, S. S., Fuchigami, S., Hatamoto, M., Akashi, T., Watari, T., & Yamaguchi, T. (2022). Stable denitrification performance of a mesh rotating biological reactor treating municipal wastewater. *Environmental Technology & Innovation*, 27, 102543. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102543>.

Metcalf & Eddy, Burton, F. L., & Metcalf & Eddy (Eds.). (1991). *Wastewater engineering: Treatment, disposal, and reuse* (3rd ed). McGraw-Hill.

Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2018, 5 de abril). Resolución 0314 de 2018. Por la cual se adopta la Política de Ética de la Investigación, Bioética e Integridad Científica. <https://minciencias.gov.co/normatividad/resolucion-0314-2018>.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021, 23 de noviembre). Resolución 1256 de 2021. Por la cual se reglamenta el uso de las aguas residuales y se adoptan otras disposiciones. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/12/Resolucion-1256-de-2021.pdf>

- Mohammed, A. K. (2015). Modeling of Mass Transfer Coefficient in Rotating Biological Contactor with Perforated Discs (RPBC). *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, 11(4), 20-27. <https://alkej.uobaghdad.edu.iq/index.php/alkej/article/view/271>.
- Quintero Pulgar, Luisa Fernanda, MolanoGuarín, Andrés Felipe, & Pramparo, Laura Mariela. (2021). Hydraulic design and laboratory-scale evaluation of a RBC (Rotating Biological Contactor) system for primary non-domestic wastewater tank from a non-alcoholic Beverage Industry. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 29(2), 324-333. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052021000200324>
- Reyes-Lara, S., & Reyes-Mazzoco, R.. (2009). Efecto de las cargas hidráulica y orgánica sobre la remoción masica de un empaque estructurado en un filtro percolador. *Revista mexicana de ingeniería química*, 8(1), 101-109. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382009000100010&lng=es&tlng=es.
- Shiek, A. G., Machavolu, V. R. K., Seepana, M. M., & Ambati, S. R. (2021). Design of control strategies for nutrient removal in a biological wastewater treatment process. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(10), 12092-12106. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09347-2>.
- Szulżyk-Cieplak, J., Tarnogórska, A., & Lenik, Z. (2018). Study on the Influence of Selected Technological Parameters of a Rotating Biological Contactor on the Degree of Liquid Aeration. *Journal of Ecological Engineering*, 19(6), 247-253. <https://doi.org/10.12911/22998993/92512>

Waqas, S., Bilad, M. R., Man, Z. B., Klaysom, C., Jaafar, J., & Khan, A. L. (2020). An integrated rotating biological contactor and membrane separation process for domestic wastewater treatment. *Alexandria Engineering Journal*, 59(6), 4257-4265. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.07.029>

Waqas, S., Bilad, M. R., Man, Z. B., Suleman, H., Hadi Nordin, N. A., Jaafar, J., Dzarfan Othman, M. H., & Elma, M. (2021). An energy-efficient membrane rotating biological contactor for wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 282, 124544. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124544>

Material suplementario

- I. Memorias literales de diseño hidráulico
- II. Memorias numéricas de diseño hidráulico