

FACULTAD DE DERECHO

Escuela Académico Profesional de Derecho

Trabajo de Suficiencia Profesional

**Informe de actividades jurídicas desarrollado en el estudio
jurídico "Grupo Servilegal Asociados" en derecho de
familia, ciudad de Huancayo-Junín**

Kevin Dann Cuillar Pardo

Para optar el Título Profesional de
Abogado

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Dante Manuel García Jiménez
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 29 de enero de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

"Influencia de la velocidad y forma de los discos de un contactor rotativo biológico, en la reducción de la DQO de agua residual municipal del distrito de San Jerónimo a nivel de laboratorio"

Autores:

1. Acuña Clemente Odemary Luzverily – EAP. Ingeniería Ambiental
2. Vilcatoma Giron Yordi – EAP. Ingeniería Ambiental

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 20% de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- | | | |
|---|--|-----------------------------|
| • Filtro de exclusión de bibliografía | SI ☒ | NO ☐ |
| • Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas: 15 | SI ☒ | NO ☐ |
| • Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante | SI ☒ | NO ☐ |

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

**La firma del asesor obra en el archivo original(No se
muestra en este documento por estar expuesto a publicación)**

ASESOR:

Dr. DANTE MANUEL GARCIA JIMENEZ

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios

A nuestra familia, por su motivación, aliento que nos inspira a seguir adelante
Y a nuestro Asesor, quien nos compartió sus experiencias, conocimientos, tiempo y nos guió durante el desarrollo y culminación de la tesis.

DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado en primer lugar a Dios por derramar su bendición, sabiduría, salud sobre nosotros, a nuestros padres por su apoyo incondicional, que nos impulsaron día a día a no rendirnos y seguir con lo anhelado.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	9
INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO I.....	13
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	13
1.1. Planteamiento y formulación del problema	13
1.1.1. Planteamiento del problema	13
1.1.2. Formulación del problema.....	14
1.2. Objetivos.....	14
1.2.1. Objetivo general.....	14
1.2.2. Objetivos específicos.....	14
1.3. Justificación e importancia	15
1.3.1. Justificación ambiental.....	15
1.3.2. Justificación metodológica	15
1.3.3. Justificación teórica	16
1.4. Delimitación del proyecto.....	16
1.5. Hipótesis y variables.....	17
1.5.1. Hipótesis general.....	17
1.5.2. Hipótesis específicas	17
1.5.3. Variables.....	17
1.6. Operacionalización de variables.....	18
CAPÍTULO II.....	19
MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. Antecedentes del problema	19
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	19
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	21
2.1.3. Antecedentes locales	22
2.2 Bases teóricas	23
2.2.1 Aguas residuales	23
2.2.2 Clasificación del tratamiento de aguas residuales	24
2.2.3 Contactores rotatorios biológicos.....	27
2.2.4 Beneficios de los contactores biológicos giratorios	29
2.2.5 Desventajas de los separadores biológicos giratorios.....	29
2.2.6 Características de calidad de aguas residuales	30

2.2.7	Evaluación y pruebas de muestras de agua residual.....	36
CAPÍTULO III		40
METODOLOGÍA.....		40
3.1	Método, tipo y nivel de investigación	40
3.1.1.	Método General	40
3.1.2.	Método Específico.....	40
3.1.3.	Tipo de investigación	40
3.1.4.	Nivel de la investigación	41
3.2	Diseño de la investigación.	41
3.3	Población y muestra	42
3.3.1	Población	42
3.3.2	Muestra.....	42
3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	42
3.4.1	Técnicas	42
3.4.2	Instrumentos de la recolección de datos	44
3.4.3	Procedimiento	46
CAPÍTULO IV		49
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		49
4.1	Resultados de la investigación	49
4.2	Discusión de resultados	58
CAPÍTULO V		60
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		60
5.1	Conclusiones.....	60
5.2	Recomendaciones.....	61
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....		62
ANEXOS.....		65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de las variables de investigación	18
Tabla 2. Niveles de los factores.....	41
Tabla 3. Tabla interacción de factores del diseño 2^2	42
Tabla 4. Parámetros de calidad de agua residual.....	49
Tabla 6. Resultado de reducción de DQO al cabo de 5 días.....	57
Tabla 7. Análisis de varianza de dos factores y su interacción	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de biodiscos	28
Figura 2. Sistema de discos biológicos, de un módulo.....	29
Figura 3. Contactor biológico rotatorio para los experimentos con discos planos y con alabes	45
Figura 4. Fotografía del contactor biológico rotativo instalado	45
Figura 5. Detalle de los discos planos y con alabes.....	46
Figura 6. Variación de la temperatura del agua residual en el contactor biológico rotativo ...	51
Figura 7. Registro de concentraciones de oxígeno disuelto durante las pruebas experimentales	52
Figura 8. Mediciones de DQO a 15 rpm	53
Figura 9. Mediciones de DQO a 20 rpm	54
Figura 10. Reducción de DQO con discos a 15 rpm	55
Figura 11. Resultados de DQO con discos a 20 rpm.....	56

RESUMEN

Los contactores rotatorios biológicos (CRB) son unidades destinadas al tratamiento aerobio de aguas residuales, basadas en el metabolismo de bacterias adheridas a la superficie de discos que giran, en agua residual parcialmente sumergidos. Esta investigación se realizó con el objetivo de, evaluar el efecto de la velocidad y la forma de los discos de un contactor rotativo biológico, en la reducción de la demanda química de oxígeno (DQO) de agua residual municipal del distrito de San Jerónimo, a nivel de laboratorio. Asimismo, se ha formulado como hipótesis que, el efecto, tanto de la velocidad y la forma de los discos, es significativa. Para el desarrollo, se adoptó el tipo de investigación aplicada, con nivel explicativo, y el método científico, como método general. Los datos que se emplearon para el análisis y contrastación de hipótesis procedieron observaciones y mediciones en pruebas experimentales con un CRB que fue adaptado con dos tipos de discos en celdas independientes. La población fue identificada como los procesos de descontaminación de las aguas residuales de la localidad mencionada, en un CRB a nivel de laboratorio. En cada prueba, se utilizó 12 L de muestra de agua residual. Los dos tipos de discos fueron con superficies planas y, el otro, de superficies con deflectores. Los experimentos con cada tipo de discos fueron sometidos a velocidades de 15 y 20 rpm, de acuerdo con el diseño factorial 2^2 . Con las mediciones experimentales durante cinco días de tratamiento, se observó diariamente que la DQO disminuye. El máximo porcentaje reducción de DQO respecto de la DQO inicial, que fue alcanzada, fue de 90.64 % con los discos planos y, de 93.09 % con los discos con deflectores. También, se observó que el incremento de la reducción de DQO es bajo cuando se aumenta la velocidad, pero, al modificar el tipo de disco, se obtuvo mayor reducción de DQO cuando se empleó discos con deflectores, dada la mayor turbulencia del agua residual que provoca este último. Se realizó el análisis de varianza para contrastar la hipótesis, del cual se concluye que la variable tipo de disco ejerce una influencia significativa en la reducción de la DQO.

PALABRAS CLAVE: contactor rotativo biológico, velocidad, discos, agua residual

ABSTRACT

Biological rotary contactors (BRC) are units for aerobic wastewater treatment based on the metabolism of bacteria attached to the surface of rotating discs in partially submerged wastewater. The objective of this research was to evaluate the effect of the speed and shape of the discs of a rotating biological contactor on the reduction of the chemical oxygen demand (COD) of municipal wastewater from the district of San Jeronimo, at laboratory level. And, it has been hypothesized that: the effect of both the speed and the shape of the discs is significant. For the development, the type of applied research was adopted, with explanatory level, and the scientific method, as general method. The data used for the analysis and contrastation of hypotheses came from observations and measurements in experimental tests with a CRB that was adapted with two types of discs in independent cells. The population was identified as: the processes of decontamination of the wastewater of the aforementioned locality, in a CRB at laboratory level. In each test, 12 L of wastewater sample was used. The two types of discs were: one with flat surfaces and the other with baffled surfaces. The experiments with each type of discs were subjected to speeds of 15 and 20 rpm, according to factorial design 22. With the experimental measurements during five days of treatment, it was observed that COD decreases daily. The maximum percentage reduction of COD with respect to the initial COD that was achieved was 90.64 % with the flat discs and 93.09 % with the discs with baffles. It was also observed that the increase in COD reduction is low when the speed is increased, but when the type of disc is modified, a greater COD reduction was obtained when discs with baffles were used, given the greater turbulence of the wastewater caused by the latter. An analysis of variance was performed to test the hypothesis, from which it was concluded that the disc type variable has a significant influence on COD reduction.

KEY WORDS: biological rotary contactor, velocity, discs, wastewater.

INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental provocada por las aguas contaminadas que son vertidas al medio ambiente, sin previo tratamiento, es un problema ocasionado por la generación de agua residual, en el día a día, de las actividades domésticas e industriales. El tratamiento de estos líquidos residuales es muy necesario e importante para reducir el impacto negativo medioambiental; pues con ello se permite la reducción y, en el mejor de los casos, la eliminación de contaminantes perjudiciales que están en las aguas residuales, antes de ser vertidas a un cuerpo receptor (1). Las sustancias contaminantes de aguas residuales son diversas; entre ellas, se tienen a sustancias orgánicas constituidas por carbono, nitrógeno y fósforo, metales pesados, patógenos, entre otros, que, dependiendo de su composición y concentración, al ser vertidos, afectarán la vida acuática, las características del suelo y la salud de ecosistemas en general.

Los procesos de tratamiento deben adecuarse según las características del agua residual que se generan, de modo tal que sean eficaces y permitan controlar los vertidos, alineándose a la normativa, protegiendo el medio ambiente y la salud pública. Por esta razón, la investigación e innovación en las tecnologías para el tratamiento de aguas residuales es de mucha importancia para incrementar la eficiencia de descontaminación, y con ello, reducir el impacto negativo ocasionado por vertimientos de aguas residuales sin tratamiento.

Existen dos tipos de tratamiento bastante conocidos para depurar aguas residuales, clasificadas en función al oxígeno que requieren en el proceso. En ambos casos, se emplean microorganismos, por lo que, también, los denominan tratamientos biológicos. Uno de ellos es denominado tratamiento biológico aerobio, y el otro, tratamiento biológico anaerobio. En el primero, los microorganismos requieren de oxígeno disuelto, y es suministrado por aireación, mientras que, en el segundo, no. En términos generales, los tratamientos biológicos son eficaces, así como sostenibles, para disminuir la contaminación que se pueda ocasionar al medio ambiente (Weldegebríal et al. citado por Waqas et al., (2)). En el caso del tratamiento

biológico de agua residual, la eficacia estará condicionada a la selección adecuada de los factores que afectan, tales como los tipos de contaminantes y su concentración en las aguas residuales, las características de los microorganismos que participan en el proceso de descontaminación, el diseño y características de los elementos u operaciones que integran todo el proceso, entre otras condiciones de operación. Existen dos tipos principales de sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales, basados en la forma de cómo crecen los microorganismos durante el tratamiento, y son de crecimiento suspendido y los de crecimiento adherido (3). En el primero, los microorganismos se encuentran suspendidos y completamente mezclados en el agua residual provisto de oxígeno disuelto, y los sistemas de este tipo son los lodos activados, reactores discontinuos secuenciados y zanjas de oxidación. En el segundo tipo, los microorganismos se encuentran adheridos a la superficie de un componente del biorreactor, formando una biopelícula en la superficie, y adquiriendo características especiales. Entre estos sistemas de crecimiento adherido, están los filtros percoladores, los contactores biológicos rotativos, los biofiltros sumergidos aireados, entre otros. Los de crecimiento en suspensión son eficaces, pero requieren de más espacio, energía y mantenimiento para mantener la estabilidad del sistema. Los de crecimiento adherido, también, son eficaces, pues no requieren de mucha energía, pero son susceptibles de obstrucción requieren de mantenimiento frecuente. Seleccionar uno u otro dependerá de las características del agua residual, la disponibilidad de espacio, recursos, eficiencia de tratamiento que se desea obtener (2), (3).

Pese a que los contactores rotativos son conocidos y aplicados, requieren de más investigación sobre la influencia de los tipos de discos y demás componentes, orientados a disminuir aún más el consumo de energía y mantenimiento, y elevando el desempeño en la descontaminación de aguas residuales.

De acuerdo con todo ello, en esta investigación, se realizó un estudio y comparación, con datos experimentales a nivel de laboratorio, de dos tipos de discos para un contactor rotativo, en la eficiencia de descontaminación biológica de agua residual municipal.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

En la segunda etapa de tratamiento de aguas residuales domésticas y municipales, que aplica la técnica por lodos activos y denominado tratamiento biológico, en la que se realiza la descontaminación del agua, por medio del metabolismo microbiano de sustancias disueltas y biodegradables, se presentan diversos factores que influyen en el rendimiento depurativo del agua residual. Entre estos factores, se tienen a la temperatura del tratamiento, cantidad, tipo y composición de contaminantes, pH, nivel de oxígeno disuelto, cantidad y tipos de microorganismos, tiempo de tratamiento, entre los más importantes.

En la literatura, se encontró que, en la segunda etapa de tratamiento de agua residual en una planta depuradora, existe mayor consumo de energía, a consecuencia del abastecimiento de oxígeno disuelto al líquido residual, que se debe proporcionar para la respiración de los microorganismos, pues, según (4), estableció que el costo energético para cubrir los requerimientos de oxigenación del agua residual representan entre el 45% al 70% de costo total de operación de la estación depuradora

También, en la literatura que se revisó, se encuentran diversos aparatos, dispositivos y unidades, que permiten llevar a cabo el proceso por lodos activos para descontaminar aguas residuales. Uno de ellos son los contactores rotativos biológicos (CRB) que disponen de discos parcialmente sumergidos en el agua residual y que giran a cierta velocidad con el fin de oxigenar al agua. Son unidades que ocupan menos espacio y, según muchos investigadores, presentan más ventajas en la remoción de contaminantes del agua residual.

Según esto, en esta investigación, se pretende evaluar el desempeño de un contactor rotativo biológico implementado con diferentes discos, específicamente, se propone investigar el efecto que ejerce los tipos de discos que se emplean en un CRB, sobre el desempeño en la depuración de agua residual a nivel de laboratorio.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

- ¿Cómo influye la velocidad y la forma de discos de un contactor rotativo biológico, en la reducción de DQO de agua residual municipal del distrito de San Jerónimo a nivel de laboratorio?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas de calidad de una muestra agua residual municipal del distrito de San Jerónimo?
- ¿Cómo influye la velocidad de discos en la reducción de la DQO del agua residual sometido a descontaminación biológica en el CRB a nivel de laboratorio?
- ¿Cómo influye la forma del disco en la reducción de la DQO del agua residual sometido a descontaminación biológica en el CRB a nivel de laboratorio?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto de la velocidad y la forma de los discos de un contactor rotativo biológico, en la reducción de DQO de agua residual municipal del distrito de San Jerónimo, a nivel de laboratorio

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar las características fisicoquímicas de calidad de una muestra agua residual municipal del distrito de San Jerónimo
- Determinar la influencia de la velocidad de discos en la reducción de la DQO del agua residual sometido a descontaminación biológica en el CRB a nivel de laboratorio
- Determinar la influencia de la forma de los discos en la reducción de la demanda química de oxígeno del agua residual sometido a descontaminación biológica en un CRB a nivel de laboratorio

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación ambiental

Es conocido ampliamente que el tratamiento de aguas residuales que se generan a diario es muy importante para evitar los impactos que deterioran el medio ambiente, especialmente los cuerpos de agua. Existen, a la fecha, variadas formas de llevar a cabo el tratamiento de aguas residuales, de acuerdo con su composición y características. Cada una de ellas con tecnologías que presentan ciertas modificaciones que se adaptan a una situación de tratamiento en especial. Todo esto es bastante aplicado en muchos países, sobre todo los desarrollados, pero lamentablemente en el Perú, muy poco. Y, en nuestra localidad de Huancayo, prácticamente, no se realiza tratamiento de las aguas residuales, y si se realiza, la aplicación de las tecnologías no es la idónea. Por esto, ello conduce al continuo daño al medio ambiente, contaminándolo así como al elevado costo que generan las operaciones de tratamiento de aguas residuales. El proceso de tratamiento de aguas residuales es costoso, y más aún si no se realiza con la tecnología y conocimiento adecuada para cada caso. Por ello, en nuestro medio, a la fecha, las autoridades toman la opción de no afrontar este grave problema. Por esta razón, es importante disponer de estudios sobre la descontaminación de aguas residuales, domésticas y municipales, mediante diversas tecnologías, para que, según su rendimiento y performance que presentan, puedan aplicarse en pequeños, medianos y grandes tamaños, en la descontaminación de los líquidos residuales. En este caso, se presenta la investigación sobre los contactores rotativos biológicos, tecnología que se encuentra en la bibliografía, pero poco estudiada con las condiciones de nuestro entorno.

1.3.2. Justificación metodológica

Los procesos de tratamiento biológicos son afectados por diversos factores. En principal, por las características del agua residual, así como el diseño y funcionamiento de los procesos, equipamiento y componentes del sistema de tratamiento. En el caso de los RBC, son aparatos que se utilizan en el tratamiento biológico de agua residual, sus principales ventajas que ofrece a este proceso están el poco espacio que ocupa, y el menor costo de operación, comparado con los de lodos activos de lodos suspendidos y difusores. Por esta razón, se justifica esta investigación, pues se evaluó la aplicación de los RBC en la descontaminación de agua residual empleando dos tipos de discos, a fin de emplear el más apropiado con las tecnologías de los contactores biológicos, así como su condición de operación ideal en su funcionamiento. También, todo ello se realiza con la posibilidad de observar su desempeño, e instalarlo como un sistema de tratamiento en las viviendas o residencias, donde se generan las aguas residuales.

1.3.3. Justificación teórica

Los RBC se han utilizado con éxito para proporcionar un tratamiento secundario a las aguas residuales municipales, desde pequeñas unidades que dan servicio a viviendas residenciales hasta grandes unidades que tratan caudales de hasta varios millones de litros al día. En el aspecto de teoría y conocimientos que aporta esta investigación, los resultados que se obtuvieron de las experiencias de descontaminación biológica con los dos tipos de discos que fueron empleados en los contactores biológicos, constituyen una información valiosa, con lo que se puede comparar otros sistemas de tratamiento biológico, a fin de seleccionar. También, estos datos servirán de base para realizar el diseño preliminar de un sistema igual o semejante, para la localidad de donde se obtuvo la muestra u otra donde aún no se da el tratamiento de sus aguas residuales que generan.

1.4. Delimitación del proyecto

El proyecto que se desarrolló tuvo un alcance que cubrió el desarrollo de una teoría básica que permitió respaldar con fundamentos y conceptos sobre aguas residuales y los principios de descontaminación biológica, así como los aparatos empleados para llevar a cabo dicho proceso. En este caso, principalmente, la teoría sobre los contactores biológicos rotativos. Los resultados que se presentan en este informe están orientados a la evaluación del porcentaje de reducción de DQO después del tratamiento biológico en la unidad implementada. También, en la parte experimental, se ha llegado a adecuar un aparato experimental, con todas las características de un contactor rotatorio, que operan simultáneamente en dos celdas independientes, cada una, con un tipo de discos. Esta unidad de experimentación fue a nivel de laboratorio, con el que se logró investigar y obtener datos del proceso de depuración biológica de aguas residuales.

La delimitación, en la parte de la experimentación, están, primero, que la temperatura del agua residual no fue controlado a una magnitud específica. Segundo, el proceso biodepurativo se llevó a cabo de manera discontinua o por lotes. Tercero, las muestras de agua residual que fueron empleadas en cada prueba, no fueron las mismas, lo que tuvo como consecuencia que su composición no fue idéntica. Finalmente, se ha realizado gran parte de todo el análisis y evaluación del desempeño de este sistema de tratamiento, en función de un parámetro del agua residual, que es la DQO, a razón de los costos que demandan la determinación de cada parámetro de calidad.

1.5. Hipótesis y variables

1.5.1. Hipótesis general

- Cuando se eleva la velocidad junto a un cambio de superficie de los discos, de planos a con deflectores, de un contactor rotativo biológico, provoca que la reducción de la DQO del agua residual tratada biológicamente es modificada favorablemente.

1.5.2. Hipótesis específicas

- La demanda química de oxígeno de la muestra de agua residual municipal del distrito de San Jerónimo es mayor a 200 mg/L.
- La velocidad de rotación del contactor rotativo biológico influye de manera directa, sobre la reducción de la DQO del agua residual que es sometida a tratamiento en el CRB a nivel de laboratorio.
- Los discos, cuya superficie tiene alabes, promueven mayor reducción de la DQO del agua residual tratada en un CRB que, los discos con superficies planas.

1.5.3. Variables

1.5.3.1. Variable independiente

VARIABLES INDEPENDIENTE:

- 1.- Forma de la superficie del disco
- 2.- Velocidad del disco

1.5.3.2. Variable dependiente

Reducción de DQO de agua residual municipal

1.6. Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de las variables de investigación

VARIABLES		DESCRIPCIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
INDEPENDIENTE	Forma de superficie de disco	Se refiere a la característica que posee la superficie de los discos del contactor rotatorio biológico (7)	Forma de superficie	Superficie plana, superficie con deflectores	NOMINAL
	Velocidad del disco	Está definido como la cantidad de vueltas a la que gira un disco por unidad de tiempo durante la operación del CRB (7).	Cantidad de vueltas por unidad de tiempo	RPM	ORDINAL
DEPENDIENTE	Reducción de DQO de agua residual municipal	Es el nivel de disminución de (DQO) al cabo de un tiempo de tratamiento (7).	Reducción de la DQO	mg/L de DQO reducido	ORDINAL

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

En trabajo de investigación realizado por (5) que lleva por título “Diseño hidráulico y evaluación a escala laboratorio de un sistema RBC (Rotating Biological Contactor) para tanque primario de aguas residuales no domésticas provenientes de una industria de bebidas no alcohólicas”, centraron la investigación en el objetivo de evaluar a nivel de laboratorio, un sistema RBC (Rotating Biological Contactor), para aguas residuales no domésticas, de la industria de bebidas no alcohólicas, que permita reducir la tasa de generación de lodos residuales en el tratamiento, a través de oxidación y degradación de compuestos presentes en el agua. Para ello, los materiales y métodos que utilizaron fueron un RBC a escala de laboratorio que disponía de 4 etapas y, en cada etapa, dispusieron 7 discos. Los investigadores utilizaron discos de 23cm de diámetro, separados a 1cm de distancia entre ellos, y a 7cm entre etapas. Cada etapa poseía una capacidad de 5.325 L. La velocidad de rotación a la cual llevaron a cabo sus experimentos fue a 40 RPM. Asimismo, realizaron una caracterización bioquímica del afluente proveniente de la industria de bebidas no alcohólicas, así como la selección y bioproducción de microorganismos asilados del agua residual, y determinaron los parámetros hidráulicos para funcionamiento óptimo del sistema. Con los resultados que observaron, llegaron a la conclusión que el sistema de 4 etapas propuesto es eficiente cuando opera con tiempos de retención altas, y presenta porcentajes de remoción de DQO y DBO5 mayores al 80% en cada etapa.

En el trabajo de investigación realizado por (6), titulado “Diseño y evaluación de un reactor de contactores biológicos rotativos (Biodiscos) a escala para el tratamiento de aguas residuales de la central térmica el descanso”, el autor del estudio se enfoca en proponer una alternativa para la biorremediación natural de contaminantes, empleando microorganismos como las pseudomonas fluorescentes (ATCC 13525). Estos microorganismos, al igual que todos los organismos vivos, requieren nutrientes para completar su ciclo vital, y cuando los microorganismos son reactivados, necesitan una fuente de carbono para su supervivencia. Sus muestras de aguas residuales lo obtuvieron de la central térmica del Descanso. Tomaron muestras del efluente en cinco recipientes de plástico con una capacidad de 18,92 litros cada uno, así obtuvo un total de 94,63 litros de agua contaminada con hidrocarburos, las cuales mantuvo a una

temperatura ambiente de 15°C. Luego, para que pueda evaluar la eficiencia del reactor, mezcló el agua con 10 ml de diésel y 10 ml de aceite SAE 90 para lubricación de engranajes. Los análisis que realizaron indicaron que esta cantidad de agua fue suficiente para llevar a cabo el experimento y verificar la efectividad del sistema. Luego, procedió a llenar un medio tanque de acero con los biodiscos de poliuretano, dispuestos en línea sobre el agua a tratar, dio comienzo a girar mediante un motor eléctrico a bajas revoluciones por minuto (7 rpm), durante un promedio de 10 días, y a (10 rpm) durante aproximadamente 18 días. En los biodiscos, se concentró la biomasa, lo que dio inicio al tratamiento del agua residual y a la reducción de los hidrocarburos de petróleo.

En el informe de investigación elaborado por (7), bajo el título de "Design, construction and evaluation of a rotating biological contractor (RBC) system for municipal wastewater treatment at pilot scale ", el objetivo principal del estudio fue abordar de manera integral el diseño, evaluación y construcción de un contactor biológico para el tratamiento de aguas residuales municipales. En este sentido, los investigadores implementaron una planta piloto de tratamiento que emplea un RBC como sistema biológico principal, utilizando materiales y servicios locales. Seleccionaron poliestireno rugoso como medio de soporte, confirmando su idoneidad para el desarrollo de la biopelícula. El periodo de aclimatación del RBC fue de aproximadamente 1 mes, realizado bajo condiciones óptimas de operación, con un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 2,6 horas y una velocidad de rotación entre 2,5 y 3 RPM. Según las observaciones de los autores, el CBR logra una remoción máxima del 81%, 75% y 85% en la eliminación de DQO total y SST, respectivamente. Para verificar la eficiencia de cada unidad del prototipo, tomaron muestras a la entrada y salida de cada una de ellas para el análisis de parámetros como la demanda química de oxígeno total (DQO total) y soluble (DQO soluble), sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno amoniacal (N-NH₃) y fósforo (P). Los resultados que obtuvieron mostraron que las concentraciones medias a la salida del prototipo cumplen con las regulaciones establecidas para descargas en la ley boliviana, excepto para N-NH₃ y P, según las investigaciones realizadas.

2.1.2. Antecedentes nacionales

En el artículo de investigación, llevado a cabo por (8) bajo el título de “Efecto de la Velocidad Rotacional en Reactor Biodiscos sobre la Remoción de Materia Orgánica en Agua Residual Doméstico de Campamento Minero La Libertad – Perú”, el objetivo primordial planteado por el investigador fue de evaluar el efecto de la velocidad rotacional de un reactor de biodiscos, en la remoción de la materia orgánica de las aguas residuales domesticas en un campamento minero de la región de La Libertad. El autor manifiesta que los reactores de biodiscos logran la degradación de la materia orgánica y nutrientes al mismo tiempo, obteniendo así una elevada eficiencia de remoción. Para tal fin, empleó agua residual doméstica captada de tres campamentos mineros de la región de la Libertad. También, el autor sometió a un proceso de depuración en una planta de tratamiento con tecnología biodiscos. La estrategia para sus experimentos se basó en el empleo un diseño de bloques al azar con tres réplicas. La velocidad rotacional que experimentó en los ensayos con los biodiscos para permitir la aireación fue la siguiente: 1, 2, 3 y 4 RPM. Los resultados no fueron los esperados, pese a ello, la velocidad rotacional de 3 RPM mostró resultados mucho más favorables donde se visualizó la remoción de materia orgánica hasta un 94.95%, así llegó a la conclusión que la velocidad rotacional es un factor clave que influye en el rendimiento del reactor de biodiscos, con ello, obtener una buena calidad del efluente.

En la investigación académica desarrollada por (9), el propósito principal de esta investigación consistió en examinar el impacto de la geometría y la velocidad de rotación de los discos parcialmente sumergidos en un aireador en la velocidad de transferencia de oxígeno en agua residual sintética bajo condiciones atmosféricas de Huancayo. Llevó a cabo pruebas de aireación por lotes para oxigenar agua residual doméstica, previamente preparada con una mezcla de carbohidratos, proteínas y minerales para alcanzar una Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 400 ppm. Implementó una unidad de aireación con discos lisos y alabeados, distribuidos en 09 unidades cada uno, realizando así un total de 18 ensayos experimentales. Cada unidad de análisis consistió en 14 L de agua residual sintética (ARS), sumando un volumen total de 252 L. Evaluó dos tipos de discos: uno liso y otro con dos alabes de policloruro de vinilo (PVC), fabricados con un material polimérico termoplástico con un diámetro de 25 cm y un espesor de 0.3 cm. Llegó a probar tres niveles de velocidad de rotación: 20, 25 y 30 RPM. Durante los experimentos de aireación, registro datos de concentración de oxígeno disuelto y temperatura del líquido. El coeficiente de transferencia de oxígeno (KLa) lo utilizó como indicador de la velocidad de transferencia de oxígeno en el agua residual. Los resultados mostraron que, en

promedio, el valor máximo de K_{La} para los discos lisos fue de 0.0562 min⁻¹, mientras que para los discos con alabes fue de 0.1818 min⁻¹, ambos a una velocidad de 30 RPM, indicando que la velocidad de disolución del oxígeno en el agua residual es mayor cuando se emplean discos con alabes. Concluyó que, con ambos tipos de discos, un aumento en la velocidad de rotación conlleva un incremento en el valor de K_{La} . Asimismo, determinó que el efecto de ambos factores y su interacción sobre el coeficiente de transferencia de oxígeno (K_{La}) es estadísticamente significativo a un nivel de confianza del 95%.

2.1.3. Antecedentes locales

En el artículo investigativo (10) titulado “Modelamiento de la oxigenación de agua residual sintética con un aireador rotativo circular”, el autor propone como objetivo principal desarrollar un modelo matemático que tome en consideración los diversos factores que inciden en el proceso de transferencia del oxígeno desde el aire atmosférico hacia el agua residual. Para lograr esto, llevó a cabo pruebas de aireación utilizando agua residual sintética. La elección que tuvo el autor sobre este tipo de agua residual se justifica debido a la facilidad de manipulación de las concentraciones y compuestos químicos que conforman la muestra, lo cual sería complicado de lograr con muestras de aguas residuales reales, especialmente en lo referente al control de contaminantes y a la conservación de las muestras. Siguiendo preparó las muestras de agua residual sintética para cada prueba experimental en recipientes plásticos con un volumen de 18 L. Esto implicó la adición de agua potable en una cantidad de 16 L, seguida de la incorporación de peptona (160 g), extracto de carne (110 g), urea (30 g) y ortofosfato de potasio diácido (KH_2PO_4) (28 g), según las cantidades indicadas para alcanzar la concentración deseada de DQO. Una vez disueltos completamente los compuestos, evaluó la concentración de oxígeno disuelto, y en base a esta concentración, llegó a calcular la cantidad de sulfito de sodio necesaria para eliminar el oxígeno disuelto de la mezcla. Posteriormente, determinó el volumen de agua residual sintética para someterlo a la prueba de oxigenación. Además, formuló una ecuación matemática para medir los factores que influyen en el proceso de transferencia de oxígeno, representada por la ecuación $dCL/dt = (KT5 E\rho\sigma PS) [KC s PS T5E\rho - CL]$, con un margen de error de estimación menor a ± 0.086 mg/L. Observó un incremento no significativo en el error de estimación del modelo matemático al aumentar la concentración de DQO del agua residual sintética de 400 a 700 ppm. Además, concluyó que, al modificar el tipo de disco, se produce un cambio, aunque no significativo.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Aguas residuales

Las aguas residuales urbanas comprenden primordialmente desechos fecales humanos y animales, así como residuos domésticos que incluyen grasas y detergentes, entre otros componentes. Por otro lado, las aguas residuales industriales exhiben una variada composición según el proceso productivo específico. En consecuencia, diversas regulaciones normativas controlan la descarga de estos desechos en cuerpos receptores de agua, con el propósito de mitigar impactos ambientales como la degradación de la calidad del agua. Para abordar esta problemática, se han concebido múltiples tecnologías de tratamiento diseñadas para reducir la carga contaminante inicial. La elección de la tecnología adecuada depende del tipo de contaminante a eliminar, ya sea sólidos, materia orgánica, nutrientes como nitrógeno y fósforo, patógenos, o compuestos específicos, considerando el uso final del agua, sea potable, recreativo o para riego, entre otros fines.

Los sistemas de tratamiento son el resultado de la combinación de diversos procesos y operaciones unitarias, que se estructuran en diferentes niveles según los objetivos específicos que se pretenden alcanzar. La selección del sistema de tratamiento apropiado se fundamenta en una serie de factores, tales como la naturaleza y concentración de los contaminantes presentes, el volumen y caudal de las aguas residuales a tratar, la disponibilidad de recursos y la viabilidad técnica y económica de implementar cada opción. Entre las tecnologías de tratamiento más comunes se encuentran los procesos físicos, químicos y biológicos, que pueden aplicarse de manera individual o combinada según las características y requerimientos del efluente a tratar. Los procesos físicos, como la sedimentación y la filtración, se basan en la separación de sólidos y partículas mediante la fuerza de la gravedad o el uso de medios filtrantes. Los procesos químicos implican la adición de reactivos para la precipitación de compuestos, la desinfección o la neutralización de pH. Por su parte, los procesos biológicos se valen de microorganismos para degradar materia orgánica y nutrientes presentes en el agua (6).

Además de los procesos convencionales, existen tecnologías más avanzadas y especializadas, como la membrana de ultrafiltración, la ósmosis inversa y la electrocoagulación, que permiten obtener un tratamiento más eficiente y una mayor calidad del agua tratada. Estas tecnologías suelen ser más costosas de implementar y operar, pero ofrecen ventajas en términos de rendimiento y calidad del efluente tratado.

Llegamos a tener en mención que el tratamiento de aguas residuales es un proceso complejo que requiere la aplicación de tecnologías adecuadas y la implementación de sistemas de gestión eficientes para garantizar el cumplimiento de los estándares ambientales, y la protección de la salud pública y los recursos hídricos. La continua investigación y desarrollo, en este campo, son esenciales para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en todo el mundo.

2.2.2 Clasificación del tratamiento de aguas residuales

a. Tratamiento preliminar

El tratamiento dirigido hacia la preparación o acondicionamiento de las aguas residuales se centra en resguardar las instalaciones y asegurar el funcionamiento adecuado de las obras de tratamiento. Su propósito fundamental consiste en eliminar o reducir de manera significativa las condiciones no deseadas asociadas, principalmente, con el aspecto visual de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Esta fase de tratamiento preliminar se ejecuta con el fin de prevenir o minimizar inconvenientes tales como olores desagradables, acumulación de sedimentos, formación de espumas, proliferación de algas u otros organismos indeseables, así como cualquier otro factor que pudiera afectar adversamente tanto la apariencia estética como el funcionamiento eficiente de las instalaciones de tratamiento.

Con el propósito de alcanzar dicho objetivo, se aplican una diversidad de técnicas y tecnologías específicas, las cuales pueden involucrar desde la extracción de sólidos gruesos mediante el empleo de rejillas y cribas, hasta procesos de desengrasado y desarenado para la remoción de materiales flotantes y sedimentables, y la implementación de procedimientos de control de olores, como la utilización de desodorizantes o la instauración de cubiertas y sistemas de ventilación adecuados. Adicionalmente, pueden emplearse métodos de desinfección con el fin de disminuir la carga bacteriana y microbiana en el agua, lo cual contribuye a mejorar la calidad del efluente final y a reducir los riesgos sanitarios asociados. Es crucial resaltar que el tratamiento de preparación o acondicionamiento de aguas residuales constituye una etapa inicial fundamental dentro del proceso global de tratamiento de aguas, dado que asegura la eficacia y el desempeño óptimo de las instalaciones de tratamiento (11).

b. Tratamiento primario

El tratamiento primario se centra en la eliminación de una parte sustancial del material sedimentable o flotante mediante procedimientos físicos o mecánicos. Su propósito abarca no solo la extracción de la materia no deseada, sino, también, una proporción considerable de la carga orgánica presente en el efluente. En resumen, el tratamiento primario apunta a eliminar tanto la materia que causa molestias visuales o sensoriales como una fracción importante de la carga orgánica, que puede representar entre el 25% y el 40% de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y entre el 50% y el 65% de los sólidos suspendidos (11).

Durante el tratamiento primario, se aplican diversas técnicas y procesos para lograr la remoción eficiente de los contaminantes en el agua residual. Estas técnicas incluyen la sedimentación, la filtración y la flotación. La sedimentación implica la separación de los sólidos suspendidos por acción de la gravedad, mientras que la filtración emplea medios filtrantes para retener las partículas sólidas presentes en el agua. Por otro lado, la flotación se basa en la captura de los materiales flotantes mediante la introducción de burbujas de aire en el efluente. Es relevante señalar que, si bien el tratamiento primario no elimina todos los contaminantes del agua residual, constituye una etapa crucial en el proceso global de tratamiento de aguas. Al reducir de forma considerable la carga orgánica y los sólidos suspendidos, el tratamiento primario prepara el agua residual para las etapas posteriores de tratamiento, como el tratamiento secundario y el tratamiento terciario (11).

En su función en la eliminación de contaminantes, el tratamiento primario, también, contribuye a preservar el funcionamiento de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, al evitar la acumulación de sedimentos en equipos y conductos, y prevenir obstrucciones que podrían afectar la eficiencia del sistema en su totalidad.

c. Tratamiento secundario

El proceso de reducción de los compuestos orgánicos en el agua residual, tras su previo tratamiento primario, desempeña un rol crucial en la cadena de tratamiento de aguas residuales. Esta fase, conocida como tratamiento secundario, se basa exclusivamente en procesos biológicos. Su finalidad principal radica en disminuir o modificar la materia orgánica, ya sea finamente dividida o en solución, convirtiéndola en sólidos floculantes sedimentables, que, posteriormente, pueden ser separados mediante sedimentación en tanques de decantación.

Entre las técnicas biológicas más recurrentes para el tratamiento secundario destacan los lodos activados y los filtros percoladores. Estos métodos han sido objeto de múltiples adaptaciones para adecuarse a las necesidades específicas de cada situación de tratamiento. También, se incluyen en este conjunto otras tecnologías como las lagunas de estabilización y aeradas, además del tratamiento biológico con oxígeno puro y el tratamiento anaeróbico. En el ámbito de los tratamientos biológicos para el tratamiento secundario, los discos rotatorios han emergido como una tecnología relevante y eficaz. Estos sistemas constan de discos giratorios montados en un eje horizontal, parcialmente sumergidos en el agua residual. Al rotar, los discos distribuyen uniformemente el agua residual sobre su superficie, fomentando así una mayor interacción entre el agua y los microorganismos presentes en el biofilm adherido a los discos.(12). Esta interacción facilita la degradación de la materia orgánica contenida en el agua residual.

Los discos rotatorios presentan diversas ventajas sobre otros sistemas de tratamiento biológico. Su diseño compacto posibilita una eficiente utilización del espacio, lo que los hace especialmente aptos para aplicaciones en zonas urbanas con limitaciones de espacio. Además, su operación sencilla y bajo requerimiento de mantenimiento los convierte en una opción atractiva para instalaciones de tratamiento de aguas residuales de distintos tamaños.

En cuanto a la eficiencia en la eliminación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), los discos rotatorios ofrecen resultados equiparables a otros sistemas de tratamiento biológico, con una eficiencia típica que oscila entre el 85% y el 95%. Esto los posiciona como una alternativa viable para el tratamiento secundario de aguas residuales en diversos escenarios, desde comunidades pequeñas hasta grandes plantas de tratamiento. Los discos rotatorios pueden emplearse de una manera muy eficiente para la eliminación de nutrientes como nitrógeno y fósforo, mediante la integración de procesos de desnitrificación y fosfatación en el diseño del sistema. Esto amplía aún más su versatilidad y los hace adecuados para aplicaciones que requieren un tratamiento integral de aguas residuales (13).

d. Tratamiento avanzado o terciario

El propósito primordial de este tipo de tratamiento consiste en complementar las etapas previas para alcanzar efluentes con una menor carga contaminante y mayor pureza, lo que los hace idóneos para diversos usos como la recarga de acuíferos, actividades recreativas y aplicaciones industriales, entre otros. Para este fin, se persigue la eliminación de una amplia gama de sustancias o

compuestos presentes en las aguas residuales, incluyendo fosfatos, nitratos, huevos y quistes de parásitos, sustancias tenso activas, algas, bacterias y virus (mediante procesos de desinfección), radionúclidos, sólidos totales y disueltos, además del control de la temperatura, prosiguiendo para alcanzar estos objetivos, los procesos de tratamiento de esta categoría integran una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos. Los procesos físicos se enfocan en la eliminación de sólidos suspendidos y la separación de materiales insolubles mediante técnicas como la sedimentación, la filtración y la flotación. Por otro lado, los procesos químicos implican la adición de productos químicos para precipitar compuestos indeseables, ajustar el pH del agua, así como facilitar la coagulación y floculación de los sólidos (13).

En estos procesos biológicos, disponen el uso de microorganismos para descomponer la materia orgánica presente en el agua residual, los cuales pueden ser aerobios o anaerobios según las condiciones del tratamiento. Estos procesos biológicos comprenden la biodegradación de compuestos orgánicos, la nitrificación y desnitrificación para eliminar nitratos y nitritos, así como la descomposición de otros contaminantes biodegradables.

La desinfección representa un aspecto crucial en el tratamiento de aguas residuales, particularmente en la eliminación de bacterias y virus patógenos. Para ello, se utilizan diversos métodos como la cloración, la ozonización, la radiación ultravioleta y la desinfección térmica.

2.2.3 Contactores rotatorios biológicos

Según (14), el Contactor Biológico Rotativo (CBR), también conocido como biodisco, representa una solución innovadora en el tratamiento de aguas residuales, donde la eficiencia y la automatización se combinan para ofrecer resultados óptimos. En este sistema, los microorganismos esenciales para la depuración del agua se adhieren a un material de soporte, típicamente discos o cilindros, parcialmente sumergidos en el agua residual en constante movimiento. El principio detrás de los biodiscos es simple pero efectivo, ya que, al girar lentamente sobre un eje, estos discos o cilindros mantienen contacto continuo con el agua residual, permitiendo que la biomasa se desarrolle en forma de películas biológicas adheridas a su superficie. Este movimiento rotativo garantiza una oxigenación constante y automática de la biopelícula, ya que expone continuamente las capas exteriores al aire, creando condiciones óptimas para los procesos biológicos de tratamiento.

Una de las principales ventajas de los contactores biológicos rotativos es su capacidad para mantener una oxigenación constante, lo que favorece la actividad microbiana y,

por ende, la eficiencia del proceso de tratamiento; otro aspecto destacado de los CBR es su capacidad para realizar nitrificación y oxidación de manera continua, lo que contribuye a mejorar la calidad del agua tratada. Sin embargo, como todo sistema, los contactores biológicos rotativos, también, presentan algunas desventajas.

En primer lugar, es necesario realizar un pretratamiento de las aguas residuales antes de introducirlas en el depósito con los biodiscos, lo que puede aumentar la complejidad y el costo del proceso de tratamiento. Además, las variaciones de caudal, comunes en este tipo de instalaciones, pueden afectar la eficacia del tratamiento, requiriendo una cuidadosa gestión del proceso.

A pesar de estas desventajas, los CBR siguen siendo una opción atractiva para el tratamiento de aguas residuales, especialmente en situaciones donde se busca una alta eficiencia y una operación automatizada. Con una adecuada planificación y gestión, los contactores biológicos rotativos pueden ofrecer resultados satisfactorios, contribuyendo así a la preservación del medio ambiente y la salud pública.

Como indica (15), citado en (6), los biodiscos se definen como sistemas de tratamiento de aguas residuales que se componen principalmente de discos con una superficie recubierta de biomasa, operando en condiciones aerobias. Estos sistemas, bajo un régimen de flujo continuo, metabolizan la materia orgánica presente en el agua residual de entrada. Se consideran parte de las tecnologías de tratamiento biológico secundario que implican el crecimiento de biomasa adherida a un soporte, también conocido como reactor de película fija. Estructuralmente, consisten en placas sintéticas que giran sobre un eje horizontal con una velocidad variable, estando parcialmente sumergidas en un tanque que contiene el agua residual.

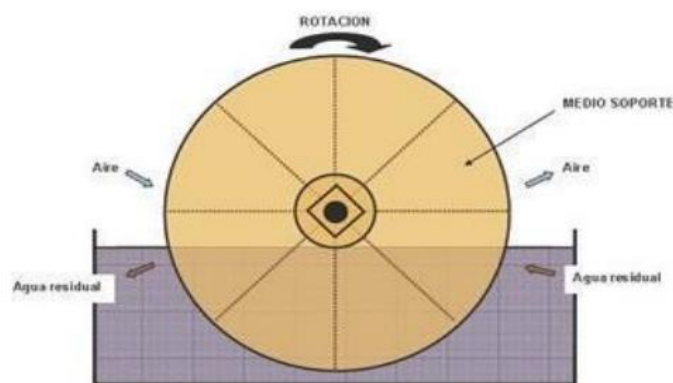


Figura 1. Esquema de biodiscos

Fuente. (15)

Según (16), un Contactor Biológico Giratorio (CBG) constituye un método de purificación de efluentes líquidos, en el cual los microorganismos se adhieren a un

sustrato que se encuentra parcialmente inmerso en el agua residual. Dicho sustrato, que puede adoptar forma de placas o prismas, efectúa un movimiento rotatorio de baja velocidad.

Los organismos biológicos proliferan en forma de láminas biológicas adheridas a las mencionadas placas o prismas, los cuales giran continuamente alrededor de un eje, manteniendo contacto con la corriente de efluentes. Los desechos líquidos, tras haber sido sometidos previamente a un proceso de pretratamiento, son introducidos en el tanque junto con los biodiscos, donde el caudal permanece constante.

2.2.4 Beneficios de los contactores biológicos giratorios

a. Oxigenación automática y sostenida

Gracias al movimiento constante de los biodiscos, la oxigenación se efectúa de manera automática y sostenida, ya que la rotación continua expone la película biológica al medio exterior, logrando condiciones óptimas de oxigenación.

b. Reducción de la necesidad de extracción de lodos

La ausencia de emisiones de oxígeno desde el fondo en los biodiscos evita la posibilidad de Re floculación por parte de los lodos, minimizando así la necesidad de extracción de los mismos.

c. Proceso continuo de nitrificación y oxidación

Los CBG son capaces de llevar a cabo procesos.

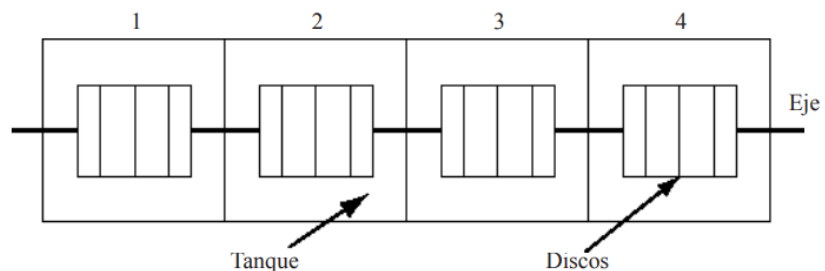


Figura 2. Sistema de discos biológicos, de un módulo

Fuente. (16)

2.2.5 Desventajas de los separadores biológicos giratorios

a) Necesidad de pre tratar los efluentes

Antes de ser admitidos en el tanque junto con los biodiscos, los efluentes líquidos deben ser sometidos a un pretratamiento, lo cual podría incrementar la complejidad y el costo del proceso de tratamiento.

b) Fluctuaciones en el caudal

Las concentraciones de los flujos en estas agrupaciones suelen experimentar variaciones considerables, lo que podría afectar la eficacia del tratamiento.

c) Tiempo de retención

Aunque los lodos generados sean altamente estables, el tiempo de retención requerido es menor en los biodiscos en comparación con otros sistemas de tratamiento de efluentes.

2.2.6 Características de calidad de aguas residuales

En la literatura sobre las características de calidad de aguas residuales, se encuentran muchos parámetros que reflejan cualitativamente el impacto de diversos contaminantes en aguas residuales. En esta parte, se describe los parámetros y características comúnmente asociados con los procesos de tratamiento de aguas residuales.

Características físicas.

En esta categoría de parámetros que se emplean para caracterizar aguas residuales, se encuentran los sólidos, turbidez, la temperatura, el color y olor. A continuación, se describe los tres primeros.

Los sólidos en las aguas residuales se clasifican como suspendidos, sedimentables, coloidales o disueltos. Otra manera de clasificar a los sólidos es por ser volátiles o no volátiles. Con relación a la distribución de los sólidos, se determina mediante el cálculo del porcentaje de sólidos filtrables por rangos de tamaño. De acuerdo a la naturaleza de los sólidos se suelen clasificar en sólidos inorgánicos (limo, arena, grava y arcilla de las riberas) y sólidos orgánicos (fibras vegetales y microorganismos de fuentes naturales o artificiales)(17).

La turbidez es una medida del nivel en que la luz es absorbida o dispersada a consecuencia de la presencia de material suspendido en el agua. Este fenómeno de absorción o dispersión es afectado por el tamaño y las características de la superficie del material suspendido en el agua. Los microorganismos y la materia vegetal contribuyen a la turbidez. Las aguas residuales de la industria y los hogares suelen contener una gran variedad de materiales que producen turbidez. Los detergentes, jabones y diversos agentes emulsionantes contribuyen a la turbidez. El material coloidal, también, afecta a la turbidez y proporciona sitios de absorción para microorganismos y sustancias químicas que pueden ser nocivas o causar sabores y olores indeseables (17).

La temperatura del agua residual es un problema dado a que los aumentos de calor o temperatura en las aguas superficiales, afectan a la solubilidad del oxígeno en el agua, a la tasa de actividad bacteriana y a la velocidad a la que los gases se transfieren hacia y desde el agua. La temperatura es uno de los parámetros importantes en los sistemas

naturales de aguas superficiales, dado a que las aguas superficiales están sujetas a grandes variaciones de temperatura (18).

Características químicas

En esta categoría, se encuentra que las aguas residuales se componen de tres partes:

Materia orgánica.

Las sustancias orgánicas de interés, en esta discusión, incluyen proteínas, aceites y grasas, hidratos de carbono y detergentes (tensioactivos).

1. Las proteínas son sustancias orgánicas nitrogenadas de elevado peso molecular de origen animal y vegetal. Las proteínas están compuestas total o parcialmente por un gran número de aminoácidos. Los átomos que componen las proteínas en general son carbono, hidrógeno, oxígeno, azufre, fósforo y una proporción bastante elevada de nitrógeno. Los materiales proteicos constituyen una gran parte de los biosólidos de aguas residuales. Además, el contenido de proteínas oscila entre el 15 y el 30% de la materia orgánica presente en los biosólidos digeridos, y entre el 28 y el 50% en el caso de los biosólidos activados. Las proteínas y la urea son las principales fuentes de nitrógeno en las aguas residuales. Cuando las proteínas están presentes en grandes cantidades, los microorganismos las descomponen y producen productos finales que desprenden olores desagradables. Durante este proceso de descomposición, las proteínas se hidrolizan en aminoácidos y luego se degradan en amoníaco, sulfuro de hidrógeno y compuestos orgánicos simples (17).
2. Los aceites y grasas son otro componente importante de los alimentos. También, suelen estar relacionados con vertidos u otras liberaciones de productos derivados del petróleo. Los problemas menores de aceites y grasas pueden deberse a la esorrentía de las autopistas en tiempo húmedo o al vertido inadecuado de aceite de motor en los desagües pluviales. Son insolubles en agua, pero se disuelven en disolventes orgánicos como el petróleo, el cloroformo y el éter. Las grasas, aceites, ceras y otros componentes relacionados que se encuentran en las aguas residuales suelen agruparse bajo la categoría de grasas. Las grasas y aceites que se incorporan a las aguas residuales domésticas son la mantequilla, la manteca de cerdo, la margarina y las grasas y aceites vegetales. Las grasas, que son compuestos de alcohol y glicerol, se encuentran entre los compuestos orgánicos más estables y no son fácilmente descompuestos por las bacterias; sin embargo, pueden ser descompuestos por ácidos minerales, dando lugar a la formación de ácido graso y glicerina. Cuando estos glicéridos de ácidos grasos son líquidos a temperatura ordinaria, se consideran aceites y los que son sólidos son grasas (17).

Entre los problemas que los aceites y grasas provoca en las unidades de tratamiento de aguas residuales, se pueden mencionar: altos contenidos de grasa pueden

provocar la obstrucción de filtros, boquillas y lechos de arena. La grasa puede recubrir las paredes de los tanques de sedimentación y descomponerse, aumentando así la cantidad de espuma. También, si la grasa no es eliminada, puede interferir en los procesos biológicos de las aguas superficiales y crear materia flotante y películas antiestéticas. En sistemas de tratamiento, la grasa puede recubrir los filtros percoladores e interferir en el proceso de lodos activados que, a su vez, interfiere en la transferencia de oxígeno del líquido al interior de las células vivas (17).

3. Los carbohidratos son sustancias orgánicas que incluyen almidón, celulosa, azúcares y fibras de madera; contienen carbono, hidrógeno y oxígeno. Los azúcares son solubles, pero los almidones son insolubles en agua. La función principal de los carbohidratos en los animales mayores es servir como fuente de energía. En los organismos inferiores (por ejemplo, las bacterias), los hidratos de carbono, en presencia de oxígeno, se utilizan para sintetizar grasas y proteínas, además de como fuente de energía. En ausencia de oxígeno, los productos finales de la descomposición de los hidratos de carbono son ácidos orgánicos y alcoholes, así como gases como el dióxido de carbono y el sulfuro de hidrógeno. Los hidratos de carbono, están ampliamente distribuidos en la naturaleza y siempre se encuentran presentes en aguas residuales (17).
4. Los detergentes (tensioactivos) son moléculas orgánicas de gran tamaño que son ligeramente solubles en agua y provocan la formación de espuma en las plantas de tratamiento de aguas residuales y en las aguas superficiales en las que se vierte el agua. Entre los efectos que ocasionan se encuentran los siguientes: el más grave, es que en los procesos de tratamiento de aguas residuales es su tendencia a reducir la absorción de oxígeno en los procesos biológicos. También, están la emulsión de grasas y aceites, defloculan coloides; inducen la flotación de sólidos y dan lugar a espumas; y pueden matar bacterias útiles y otros organismos vivos, pero el uso creciente de detergentes sintéticos estos problemas fueron reducidos (17).

Materia inorgánica

Muchos de los componentes que se encuentran en aguas naturales, también, se encuentran en las aguas residuales. La gran mayoría de constituyentes inorgánicos, se añaden por las actividades humanas. Entre los componentes inorgánicos, se incluyen los siguientes: el pH, los cloruros, la alcalinidad, el nitrógeno, el fósforo, el azufre, los compuestos inorgánicos tóxicos y los metales pesados

1. El pH de un agua o de un agua residual está referido a la concentración de iones hidrógeno. Y tiene una escala de 0 a 14, que se determina con el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno en un medio líquido. Un valor de pH de 7 representa una condición neutra. Un valor de pH bajo (inferior a 5) indica

condiciones ácidas; un pH alto (superior a 9) indica condiciones alcalinas. La acidez, la concentración de iones de hidrógeno, impulsa muchas reacciones químicas en los organismos vivos. Muchos procesos biológicos, como la reproducción, no pueden funcionar en aguas ácidas o alcalinas. Las condiciones ácidas, también, agravan los problemas de contaminación tóxica porque los sedimentos liberan tóxicos en aguas ácidas (18).

2. El cloruro está referido a los iones Cl^- , y está presente en aguas residuales. La concentración en aguas residuales es mayor que en agua bruta porque el cloruro sódico (sal) forma parte habitual de la dieta y pasa sin cambios por el sistema digestivo. Dado que los métodos convencionales de tratamiento de residuos no eliminan el cloruro en una medida significativa, las concentraciones de cloruro superiores a las habituales pueden tomarse como una indicación de que la masa de agua se está utilizando para la eliminación de residuos (18).
3. La alcalinidad es una medida de la capacidad amortiguadora del agua y en las aguas residuales, pues contribuye a resistir las variaciones de pH provocados por la adición de ácidos. La alcalinidad del agua está relacionada con la presencia de iones oxhidrilo, carbonatos y bicarbonatos. Estos compuestos son principalmente los carbonatos y bicarbonatos de calcio, potasio, magnesio y sodio. Las aguas residuales suelen ser alcalinas (17).
4. Los compuestos nitrogenados proceden de la descomposición biológica de las proteínas y de la urea vertida en los residuos corporales. En el tratamiento de aguas residuales, el tratamiento biológico no puede llevarse a cabo a menos que el nitrógeno, en alguna de sus formas, esté presente. El nitrógeno debe estar presente en forma de nitrógeno orgánico (N), amoníaco (NH_3), nitrito (NO_2) o nitrato (NO_3). El nitrógeno orgánico incluye componentes naturales como péptidos, proteínas, urea, ácidos nucleicos y numerosos materiales orgánicos sintéticos. El amoníaco está presente de forma natural en las aguas residuales. Se produce principalmente por desgasificación de compuestos orgánicos que contienen nitrógeno y por hidrólisis de la urea. El nitrito, un estado de oxidación intermedio del nitrógeno, puede entrar en un sistema de agua a través de su uso como inhibidor de la corrosión en aplicaciones industriales. El nitrato se deriva de la oxidación del amoníaco. En relación con los compuestos nitrogenados, se debe indicar que la información sobre los datos de cantidades de nitrógeno es esencial para evaluar la tratabilidad de las aguas residuales mediante procesos biológicos. Si el nitrógeno no está presente en cantidades suficientes, puede ser necesario añadirlo a los residuos para hacerlos tratables. Una vez finalizado el proceso de tratamiento, es importante determinar cuánto nitrógeno hay en el efluente. Esto es importante porque el vertido de

nitrógeno en las aguas receptoras puede estimular el crecimiento de algas y plantas acuáticas. Estas, por supuesto, ejercen una elevada demanda de oxígeno durante la noche, lo que afecta negativamente a la vida acuática y repercute negativamente en el uso beneficioso de los recursos hídricos (17).

5. El fósforo (P) es un macronutriente necesario para todas las células vivas y es un componente que siempre se encuentra en las aguas residuales. Se encuentra principalmente en forma de fosfatos y sales de ácido fosfórico. Las aguas residuales municipales pueden contener entre 10 y 20 mg/L en forma de fósforo. Gran parte de los fosfatos proviene de los detergentes. Los compuestos de fósforo en el agua residual, al ser vertidos a aguas superficiales, ocasiona la proliferación de algas nocivas. La reducción de las aportaciones de fósforo a las aguas receptoras puede controlar este problema (18).
6. El azufre (S) es necesario para la síntesis de proteínas y se libera cuando se degrada la proteína. El ion sulfato se encuentra de forma natural en la mayoría de los suministros de agua y, también, está presente en las aguas residuales. El sulfato se reduce biológicamente a sulfuro, que, a su vez, puede combinarse con hidrógeno para formar sulfuro de hidrógeno (H_2S). El H_2S es tóxico para animales y plantas. El H_2S , en contacto con materiales metálicos, puede causar una corrosión grave en las tuberías y accesorios (18).
7. Los compuestos inorgánicos tóxicos que contienen al cobre, el plomo, la plata, el arsénico, el boro y el cromo están clasificados como contaminantes prioritarios y son tóxicos para los microorganismos. Por lo tanto, deben tenerse en cuenta en el diseño y funcionamiento de un proceso de tratamiento biológico. Cuando se introducen en un proceso de tratamiento, estos contaminantes pueden matar a los microorganismos necesarios para el tratamiento y detener así el proceso de tratamiento (18).
8. Los metales pesados son aquellos con una masa atómica elevada. Pero es necesario indicar que, esta clasificación de los metales pesados es bastante floja, y algunos consideran que incluye el arsénico, el berilio y el selenio, que no son realmente metales, y es mejor denominarlos metales tóxicos. Los metales pesados principalmente se encuentran en aguas residuales industriales. Pueden afectar negativamente a las bacterias en el tratamiento biológico de las aguas residuales. Dada su toxicidad, su presencia en el agua restringe muchos usos. La escorrentía urbana es una fuente importante de plomo y zinc en muchas masas de agua. El plomo procede de los gases de escape de los automóviles que utilizan gasolina con plomo, mientras que el zinc procede del desgaste de los neumáticos (18).

Características biológicas

La presencia o ausencia de determinados organismos biológicos es de primordial importancia en las aguas residuales. Estos organismos biológicos son los patógenos, que son capaces de infectar o transmitir enfermedades en humanos y animales. No son nativos de los sistemas acuáticos y, por lo común, necesitan de un huésped animal para crecer y reproducirse, pero pueden ser transportados por los sistemas acuáticos naturales. Estos patógenos transmitidos por el agua incluyen especies de bacterias, virus, protozoos y gusanos parásitos (helminthos).

- **Bacterias**

Las bacterias son organismos unicelulares microscópicos que se multiplican por división en dos (fisión binaria). Si las bacterias son autótrofas, necesitan dióxido de carbono del aire para multiplicarse, y de compuestos orgánicos (vegetación muerta, carne, aguas residuales) si son heterótrofas. Su energía procede de la luz solar, si son fotosintéticas, o de reacciones químicas, si son quimiosintéticas. Las bacterias están presentes en el aire, el agua, la tierra, la vegetación en descomposición y los intestinos de los animales. En los procesos de tratamiento de aguas residuales, las bacterias son fundamentales, especialmente, en la degradación de la materia orgánica, que tiene lugar en los filtros percoladores, los procesos de biosólidos activados y la digestión de biosólidos. Entre las especies predominantes se encuentran *Escherichia*, *Salmonella*, *estreptococos* fecales, *Proteus*, entre otras. Las bacterias coliformes, utilizadas como indicadores de contaminación por vertidos humanos, representan una gran proporción de la carga bacteriana en estas aguas (18).

- **Virus**

También, son componentes importantes de las aguas residuales, provenientes de excreciones humanas o animales infectadas. Su capacidad de adsorción a sólidos fecales les permite sobrevivir durante períodos prolongados en estas aguas. Los virus presentes incluyen Poliovirus, virus Echo, Cocksackievirus, virus de la hepatitis, entre otros, y su supervivencia en el tratamiento de aguas residuales puede representar un riesgo para la salud pública (18).

- **Algas**

Se encuentran condiciones óptimas para su crecimiento en las aguas residuales ricas en nutrientes como fósforo y nitrógeno. Este fenómeno, conocido como eutrofización, puede estar causado por algas de diversos géneros como

Anacystis, Anabaena, Spirogyra, entre otros, y puede tener impactos negativos en la calidad del agua (18).

- **Protozoos**

Amebas, flagelados y ciliados, también, son comunes en las aguas residuales y desempeñan un papel importante en los procesos de tratamiento biológico. Estos organismos pueden ayudar a eliminar bacterias suspendidas en el agua, contribuyendo a la clarificación del efluente (18).

- **Hongos**

Mayormente aerobios, también, pueden encontrarse en las aguas residuales y desempeñar un papel relevante en su tratamiento. Algunos géneros como Geotrichium, Mucor, Fusarium, entre otros, pueden ser problemáticos en sistemas de tratamiento como los fangos activados, donde su presencia puede dificultar la sedimentación adecuada de los fangos (18).

2.2.7 Evaluación y pruebas de muestras de agua residual

A continuación, se describen los métodos generales para la determinación de algunos parámetros de calidad de las aguas residuales que se emplearon en esta investigación:

Oxígeno disuelto

En realidad, el oxígeno es poco soluble en agua. Su solubilidad está relacionada con la presión y la temperatura. El agua fría retiene más oxígeno que el agua caliente. Los vertidos térmicos (como el agua utilizada para enfriar la maquinaria en una planta de fabricación o en una central eléctrica) elevan la temperatura del agua y disminuyen su contenido de oxígeno. En los sistemas de abastecimiento de agua, el oxígeno disuelto (OD) en el agua bruta se considera el elemento necesario para mantener la vida de muchos organismos acuáticos (17).

Las aguas residuales de las depuradoras suelen contener materiales orgánicos que son descompuestos por microorganismos, los cuales utilizan oxígeno en el proceso. La cantidad de oxígeno consumida por estos organismos en la descomposición de los residuos es la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Otras fuentes de residuos que consumen oxígeno son la escorrentía de aguas pluviales procedentes de tierras de cultivo o de calles urbanas, los cebaderos y los sistemas sépticos defectuosos.

El oxígeno se mide en su forma disuelta como oxígeno disuelto. Si se consume más oxígeno del que se produce, los niveles de OD disminuyen y algunos microorganismos sensibles pueden alejarse, debilitarse o morir.

El oxígeno disuelto se mide como la cantidad de oxígeno en un litro de agua (miligramos por litro, o mg/L) o como porcentaje de saturación, que es la cantidad de oxígeno en un litro de agua relativa a la cantidad total de oxígeno que el agua puede contener a esa temperatura. El oxígeno disuelto se determina utilizando alguna variación del método de Winkler o utilizando un medidor y una sonda.

Un medidor de oxígeno disuelto es un dispositivo electrónico que convierte las señales de una sonda colocada en el agua en unidades de OD en miligramos por litro. La mayoría de los medidores y sondas, también, miden la temperatura. La sonda tiene una membrana selectivamente permeable que permite que el OD pase del agua de la corriente a la solución salina (20).

La ventaja de utilizar el método del medidor de oxígeno disuelto es que el medidor puede utilizarse para determinar directamente la concentración de oxígeno disuelto. En el campo, puede obtenerse una lectura directa utilizando una sonda o recogiendo muestras para analizarlas en el laboratorio utilizando una sonda de laboratorio.

La sonda utilizada en la determinación de OD consta de dos electrodos, una membrana y una solución de relleno de membrana. El oxígeno pasa a través de la membrana a la solución de relleno y provoca un cambio en la corriente eléctrica que pasa entre los dos electrodos. El cambio se mide y se muestra como la concentración de O. El único producto químico utilizado en el método del medidor de OD durante el funcionamiento normal es la solución de llenado de la membrana, mientras que en el método de OD de Winkler se requieren productos químicos para la calibración del medidor.

Demanda bioquímica de oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno mide la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos en la descomposición de la materia orgánica en el agua. El tiempo que se adopta para la determinación de la cantidad de oxígeno consumido por estos organismos, normalmente, es de 5 días a 20 °C

La DBO afecta directamente a la cantidad de oxígeno disuelto en el agua residual. Cuanto mayor es la DBO, más rápidamente se agota el oxígeno en el agua, dejando menos oxígeno disponible. Las consecuencias de una DBO elevada son las mismas que las de un oxígeno disuelto bajo: los organismos acuáticos se estresan, se asfixian y mueren (22).

Demanda química de oxígeno

La demanda química oxígeno (DQO) se utiliza como una medida del equivalente del contenido de materia orgánica de una muestra susceptible de oxidación por un oxidante químico fuerte. Para las muestras de una fuente específica, el DQO puede relacionarse empíricamente con el DBO, el carbono orgánico, o la materia orgánica. El método de determinación, comúnmente utilizado, es el de reflujo de dicromato, debido a su mayor capacidad oxidante, a su aplicabilidad, a una mayor variedad de muestras y a su fácil manipulación. La oxidación de la mayoría de los compuestos orgánicos es del 95 al 100 por 100 del valor teórico (22).

pH

El pH es un indicador de la actividad de los iones hidrógeno en la muestra de agua. Un pH-metro es el instrumento que se emplea para determinar el pH, que mide el potencial eléctrico en milivoltios, y lo convierte a un valor de pH en el rango de 0 a 14. Por ello, un pH-metro consta de un potenciómetro, que mide el potencial eléctrico de la muestra de agua; un electrodo de referencia, que proporciona un potencial eléctrico constante; y un dispositivo de compensación de temperatura, que ajusta las lecturas en función de la temperatura de la muestra (porque el pH varía con la temperatura) (22).

Conductividad eléctrica

La conductancia específica es una medida de la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica. Depende en gran medida de la cantidad de sólidos disueltos (como la sal) en el agua. El agua pura, como el agua destilada, tiene una conductancia específica muy baja, y el agua de mar posee una conductancia específica alta. La conductancia específica es una medida importante de la calidad del agua porque está relacionado con la cantidad de material disuelto en el agua (20).

Turbidez

La turbidez es una medida de la claridad del agua (20). Cuanto mayor material suspendido se encuentra en el agua, provoca la disminución del paso de la luz a través de ella. Las partículas suspendidas en el agua pueden estar causadas por diversos materiales, orgánicos e inorgánicos. Estas partículas suelen tener un tamaño comprendido entre 0,004 mm (arcilla) y 1,0 mm (arena). La aparición de aguas de origen turbias puede ser permanente o temporal. Puede afectar al color del agua. Una mayor turbidez aumenta la temperatura del agua, porque las partículas en suspensión absorben más calor. Esto, a su vez, reduce la concentración de oxígeno disuelto porque

el agua caliente retiene menos OD que la fría. Una mayor turbidez, también, reduce la cantidad de luz que penetra en el agua, lo que reduce la fotosíntesis y la producción de OD (17).

La turbidez, también, afecta al funcionamiento de las depuradoras; por ejemplo, dificulta la desinfección al proteger a los microbios, algunos de ellos patógenos, del desinfectante. Las pruebas de turbidez proporcionan una indicación de la eficacia de la filtración de los suministros de agua. Es importante señalar que para eliminar la turbidez se adicionan productos químicos y se aplica la decantación, la coagulación, la sedimentación y la filtración en el tratamiento del agua potable (17).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Método, tipo y nivel de investigación

3.1.1. Método General

Como método general que sirvió de guía para llevar a cabo esta investigación, se aplicó el método científico, pues la investigación inició con la identificación del problema científico, dentro de la problemática sobre contaminación ambiental en la localidad de San Jerónimo. El problema identificado, específicamente, se orienta en la descontaminación de agua residual doméstica, aplicando la tecnología de los contactores biológicos rotativos con diferentes formas de superficie. Seguido a esto, se formularon hipótesis acorde a teorías y fundamentos básicos de la bibliografía. Para la demostración de estas hipótesis, se recurrió a datos de experimentos de descontaminación de agua residual, que se llevaron a cabo en un aparato experimental. Los experimentos se desarrollaron en función a un diseño experimental. Finalmente, los resultados fueron evaluados para la demostración de las hipótesis. Todas estas etapas se realizaron de manera ordenada y sistemática, tal como lo indica el método científico.

En la bibliografía, se encuentra a Arias (2012, citado en (19)), quien indica que, el método científico es “el conjunto de pasos, técnicas y procedimientos que se emplean para formular y resolver problemas de investigación mediante la prueba o verificación de hipótesis” (p.).

3.1.2. Método Específico

Dado que, en principio, se formularon hipótesis, basados en fundamentos teóricos, para luego verificar su veracidad o falsedad, y con todo ello, se logró deducir conclusiones sobre el problema general, el método que fue aplicado es el hipotético deductivo (21). La verificación de las hipótesis fue realizada mediante las pruebas estadísticas de los datos de tipo cuantitativo, obtenidos por observación en las experiencias de descontaminación de agua residual con microorganismos que requieren de oxígeno, lo cual fue llevado a cabo en un contactor rotativo circular, a nivel de laboratorio.

3.1.3. Tipo de investigación

De acuerdo con el fin que se persigue, es del tipo aplicada. “Una investigación aplicada tiene por objetivo encontrar una solución inmediata para un problema al que se enfrenta una sociedad, industria, negocio u organización, mientras que, la investigación básica o fundamental, se enfoca en la generación y formulación de teoría” (21). En este caso, el

problema que se planteó está relacionado con el problema de contaminación que generan las aguas residuales, específicamente, en los sistemas y equipamientos destinados a la descontaminación de aguas residuales, pues se investigó el efecto de condiciones de operación de discos rotativos de contactores biológicos en la eficiencia de descontaminación de agua residual. Para ello, se emplearon fundamentos de la teoría de depuración de aguas residuales con microorganismos aerobios.

3.1.4. Nivel de la investigación

Se logró alcanzar el nivel explicativo:

Los estudios explicativos, van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de las relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos... Se centra explicar por qué ocurre un fenómeno (...). (23)

En este caso, se explica el porqué de las ocurrencias en la reducción del DBO del agua residual, por efecto de la velocidad y forma de discos de un contactor rotativo biológico, a nivel de laboratorio.

3.2 Diseño de la investigación.

El diseño de la investigación está referido al esquema de trabajo a realizar por un investigador durante las etapas del proyecto de investigación. Con el diseño de la investigación uno puede verificar y operar muy fácilmente el trabajo de investigación. Según (24), “el diseño de la investigación esta referido al planeamiento de los experimentos, que permitan recabar datos adecuados para analizarlos y con los que se pueda llegar a las conclusiones validas y objetivas” (p.). De acuerdo con este último autor, el diseño que se aplicó en esta investigación fue el diseño experimental, particularmente un diseño factorial con dos factores, cada una con dos niveles. A este tipo particular de diseño se le conoce como diseño factorial 2².

En función a lo mencionado, y en base a la Tabla 1, sobre la operacionalización de las variables que se definieron en el planteamiento del problema, el diseño con las interacciones para llevar a cabo la experimentación se muestra en la Tabla 3, según ello, se realizaron experimentos a cuatro condiciones experimentales cada una con tres réplicas.

Tabla 2. Niveles de los factores.

FACTOR A Forma de superficie de disco	FACTOR B Velocidad de los discos
--	---

Nivel bajo (A1): Plano	Nivel bajo (B1): 15 RPM
Nivel alto (A2): Plano con deflectores	Nivel alto (B2): 20 RPM

Fuente. Elaboración propia

Tabla 3. *Tabla interacción de factores del diseño 2²*

FACTOR A	FACTOR B	
	15 RPM (B1)	20 RPM (B2)
PLANO (A1)	A1-B1	A1-B2
PLANO CON DEFLECTORES (A2)	A2-B1	A2-B2

Fuente. Elaboración propia

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

Como se desea estudiar la disminución de DQO de agua residual, mediante el tratamiento, a nivel de laboratorio, en un contactor biológico de discos rotativos (CRB), en este caso, la población es agua residual municipal del afluente a la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de San Jerónimo de Tunan. Es decir, el agua residual que fue empleada para los ensayos, fueron tomadas en la desembocadura del sistema de alcantarillado de este distrito, al ingreso de la planta de tratamiento (ver ubicación en anexos). Según (23), “la población o universo viene ser el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones” (p.).

3.3.2 Muestra

Como la muestra es una porción representativa de la población, entonces, de acuerdo con la capacidad del CRB disponible en el laboratorio, se empleó 12 L de agua residual, para la experimentación con cada tipo de disco y velocidad de giro. Este volumen permitirá cubrir con el plan de experimentación según la Tabla 3.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnicas

Los datos que se obtuvieron de la fuente principal o denominados, también, datos primarios (21), en este caso, fueron recopilados directamente de las pruebas experimentales de depuración en el aparato de descontaminación de agua residual. La

técnica que se empleó fue la observación y registro, mediante apuntes escritos y, también, en forma digital.

Los experimentos que fueron realizados, de acuerdo con el plan de experimentación (ver Tabla 3), consistieron en depurar muestras de agua residual en un aparato adaptado a nivel de laboratorio (ver Figura 3). Además de la observación directa del proceso de descontaminación en el aparato, se realizaron mediciones y registros manuales de:

- Las características fisicoquímicas de la muestra de agua residual, antes de las pruebas de descontaminación, fueron llevadas a cabo en el laboratorio de análisis de agua. Estas determinaciones analíticas fueron desarrolladas por el personal responsable del laboratorio de análisis. Los métodos de análisis que emplearon para las determinaciones fueron en base a Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Limpias y Residuales, de acuerdo con lo siguiente:

Tabla 4. *Método de referencia de los ensayos de parámetros de calidad de agua residual*

Ensayo para determinación de:	Método de referencia
pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 - H ⁺ B, 23rd Ed.2017
Conductividad eléctrica	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 23rd Ed.2017
turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23rd Ed. 2017
Demanda química de oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed.2017
Oxígeno disuelto	MEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 - O G, 23rd Ed.2017

- Inspección visual y medidas de las dimensiones de los dos tipos discos, así como el conteo de las revoluciones por minuto a las cuales giraban durante las pruebas. Por observación directa y registro manual.
- DQO del agua residual, realizado diariamente, lo cual fue llevado a cabo en el laboratorio de análisis, según método normalizado de determinación de Demanda química de oxígeno, indicado en la tabla 4. Los datos de DQO fueron registrados en una hoja electrónica Excel, en dos columnas: una de tiempo y otro de DQO. Posteriormente, con ello, se realizaron, gráficos y respectivos cálculos de acuerdo con los objetivos de esta investigación.

- Temperatura del agua residual, realizado instrumentalmente, mediante un sistema de medición y registro digital. En este caso, se empleó (sensor) un termómetro de variación de resistencia, que fue instalado en el recipiente del contactor biológico, y estuvo conectado eléctricamente con un registrador de campo fieldlogger, marca NOVUS, para registrar los datos medidos por el sensor de temperatura.
- Oxígeno disuelto en el agua residual, durante los experimentos, fue realizado instrumentalmente, mediante un sistema de medición y registro digital. El instrumento de medición de oxígeno disuelto fue del tipo óptico, cuyo fenómeno que emplea es la fluorescencia de un material dispuesto en una superficie (lamina) en presencia de oxígeno del agua residual, ante la incidencia de un emisor de luz. El registro digital de los datos que mide el sensor, fueron almacenados en el mismo registrador de campo, empleado para registrar los datos medidos de temperatura.
- El registrador de campo permite registrar hasta ocho señales procedentes de sensores. En este caso, se utilizaron dos sensores de temperatura y dos sensores de oxígeno disuelto. El almacenamiento de los datos medidos lo realizó continuamente durante el tiempo que duro cada experimento. La descarga de los datos digitales desde la memoria del registrador de campo NOVUS fue realizada mediante su software de aplicación: Configurador FieldLogger V1.7.2.01 (<https://www.novusautomation.com/es/sitio/software>). Para la descarga, se requirió instalar en un computador portátil este aplicativo y, también, disponer el Software Excel para permitir la exportación de todos los datos registrados.

3.4.2 Instrumentos de la recolección de datos

Un instrumento de medición empleado para un proceso de investigación científica, según (23), “es el recurso que utiliza el investigador para registrar información o datos sobre las variables que tiene en mente investigar” (p.). En función a ello, fue adaptado un aparato experimental para permitir llevar a cabo las pruebas de descontaminación de las muestras de agua residual. En el aparato, se encuentra instalados instrumentos de medición de temperatura y oxígeno disuelto, mientras que, para determinar la DQO, se tomaron muestras para ser enviadas al laboratorio de análisis.

El diagrama del aparato y los elementos que componen el aparato experimental se muestra en la Figura 3.

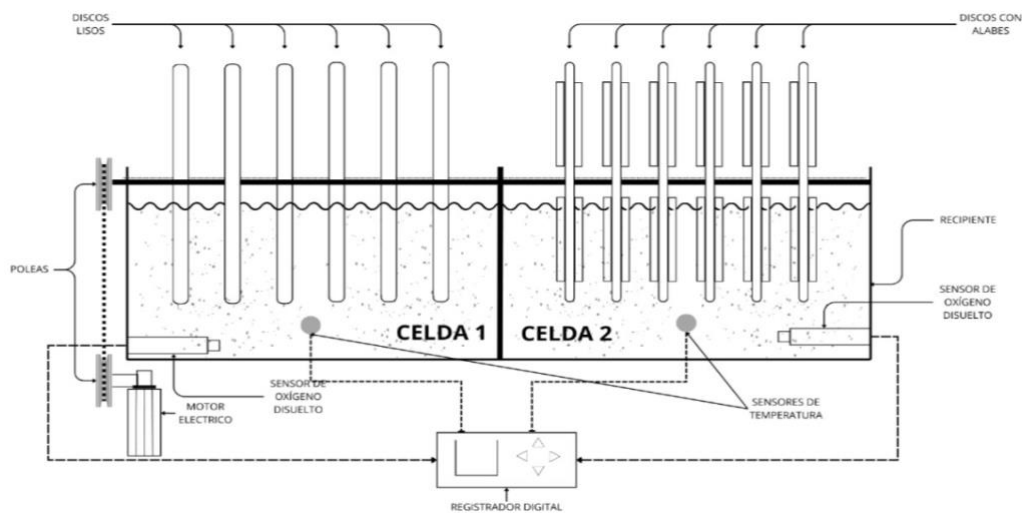


Figura 3. *Contactor biológico rotatorio para los experimentos con discos planos y con alabes*

Fuente. Elaboración propia



Figura 4. *Fotografía del contactor biológico rotativo instalado*

Fuente. Elaboración propia

El recipiente consta de dos celdas, cada una con una capacidad máxima para almacenar agua de 14 L.

Los discos fueron contruidos de material de PVC nuevo y, tienen un diámetro de 250 mm, un espesor de 3mm. Están provistos un agujero en el centro de 16 mm. En el caso de los discos con alabes (deflectores), estos elementos poseen forma triangular con lados de 10 mm. Para mayor detalle, se tiene la Figura 5.

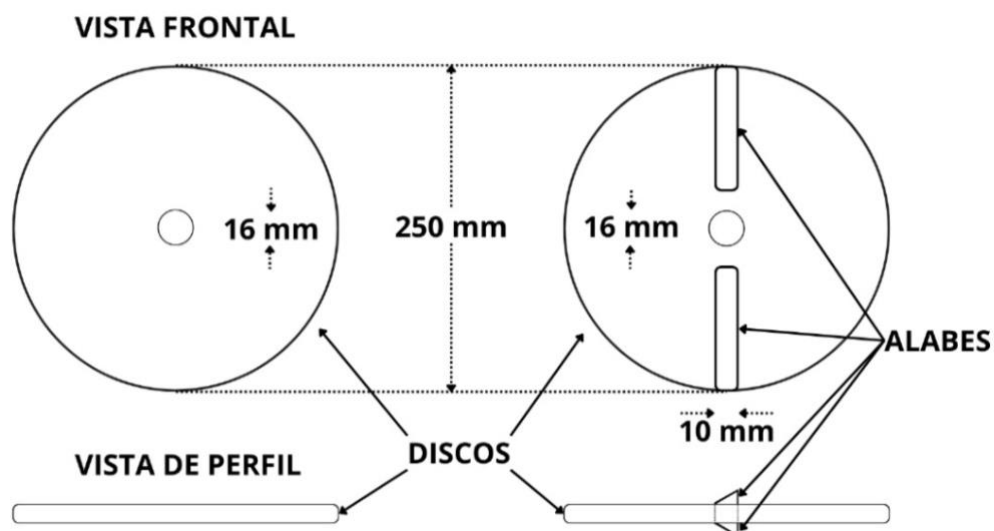


Figura 5. Detalle de los discos planos y con alabes

Fuente. Elaboración propia

Fueron instalados 06 discos lisos en una celda y 06 discos con alabes (deflectores) en otra celda. Todos ellos fueron soportados y fijados en un eje de acero inoxidable de 16 mm. Para que los discos entren en movimiento circular, se empleó un motor eléctrico con reductor de velocidad, que, mediante un conjunto de dos poleas y faja, transmitía movimiento al eje y los discos.

Los sensores de oxígeno disuelto tienen un rango de 0 a 20 mg/L. Son del tipo óptico por fluorescencia. Los sensores de temperatura son del tipo termoresistivos, que aprovechan la variación de la resistencia eléctrica de un material conductor de platino, por efecto de la temperatura. Estos dispositivos fueron conectados a un registrador digital configurado para el registro respectivo.

3.4.3 Procedimiento

Antes de los experimentos

Las actividades preexperimentales han consistido en las siguientes:

1. **La adecuación del aparato experimental**, denominado contactor biológico rotativo, cuyo esquema y fotografía se encuentra en la Figura 3 y 4. En el proceso de adecuación, en principio, se realizó la toma de medidas, el desarmado y limpieza de todos los componentes de la unidad experimental existente, tales como recipiente de acrílico, sensores de temperatura y oxígeno disuelto, motor, poleas, faja, eje de giro y la parte eléctrica. Luego, para la adecuación e implementación con nuevos discos,

se mandó a fabricar 06 discos de dos tipos, cuyo material es de PVC, con dimensiones que se muestran en la Figura 5.

Con los discos fabricados, y todos los componentes limpios, se procedió a armar todo el aparato experimental. Culminado con la instalación, se realizó pruebas preliminares empleando agua potable, para verificar el funcionamiento correcto de todos los componentes del equipo, a fin de evitar fugas, derrames, imperfecciones en ajustes de las piezas móviles, desconexiones eléctricas de los sensores, registrador digital y el motor.

2. **Toma de muestras de agua residual.** En dos recipientes de polietileno con su respectiva tapa, limpios y secos, de una capacidad aproximada de 20 L, se recogieron muestras de agua residual, del lugar que se indicó anteriormente. Para llevar a cabo esta actividad, se utilizó los elementos de protección personal apropiados y, con los recipientes listos, se procedió a coleccionar la muestra. En cada recipiente, se coleccionó aproximadamente 15 L (3/4 partes del recipiente). Luego, se procedió a taparlo y asegurarlo, para luego transportarlo rápidamente al lugar donde se ubicaba el aparato experimental instalado. El tiempo que demoró transportar fue aproximadamente de 20 min.
3. **Preparación de la muestra.** Una vez en el lugar de experimentación, el agua contenida en los dos recipientes fue mezclada, vertiendo de un recipiente a otro. Hecho esto, se esperó aproximadamente un tiempo de 15 minutos, para que precipite los pocos sólidos que contenían en cada recipiente. En seguida, se tomó una muestra en frasco de polietileno de 200 mL; se rotuló y se envió al laboratorio de análisis para su caracterización físico química de esta muestra.

Durante los experimentos

Los experimentos de descontaminación fueron realizados de la siguiente manera:

1. Antes de verter el agua residual en cada una de las celdas, fueron activados los sensores de oxígeno, temperatura y registrador digital. También, fue realizado la programación del sistema de control, incorporado en el registrador digital, para que los discos comiencen a girar cuando la concentración de oxígeno disuelto este por debajo de 3.0 mg/L., luego, fue realizada una prueba rápida de funcionamiento.
2. En seguida, se vertió el agua residual preparada de los dos recipientes, en cada una de las celdas del aparato experimental. El volumen que se vertió en ambas celdas fue de 12 L.
3. Ya con el agua residual cargado en ambas celdas, se puso en funcionamiento el equipo, activando el motor para que giren los discos a la velocidad establecida según

el plan de experimentos. También, se tomó nota de la hora en que inicio el proceso, para luego, con ello, extraer los datos del registrador digital.

4. Luego, diariamente, a la misma hora que se inició, se tomó muestras de agua de cada celda para enviar a analizarlos en el laboratorio de análisis. El análisis de DQO en el laboratorio lo realizaron por triplicado.
5. Este proceso experimental demoró 5 días, Luego de este tiempo, se procedió a descargar los datos de oxígeno disuelto y temperatura, almacenados digitalmente en el registrador, así como se consolidó los datos de DQO diario.
6. Finalmente, se procedió con la descarga del agua depurada de las dos celdas, a través de las válvulas de descarga de cada celda, para luego proceder con la limpieza de todo el aparato experimental.
7. Se procedió del mismo modo a la otra velocidad de giro de los discos, pero, para ello, antes, fue configurado en el aparato eléctrico que gobierna la tensión y frecuencia de la corriente eléctrica que se suministra al motor, para que modifique su velocidad. Todo lo demás de manera semejante.

Después de los experimentos

En esta etapa, se realizó actividades de gabinete, que fueron orientadas a la evaluación y análisis de resultados. Estos consistieron en los siguientes:

1. Ordenamiento en una hoja electrónica Excel, de los datos registrados manualmente de DQO y, descargados del registrador, como son temperatura y concentración de oxígeno disuelto
2. Realización de las gráficas dentro de la hoja de cálculo, así como también, de los cálculos de reducción de la DQO en cada caso experimental
3. Realización del análisis de varianza para la evaluación de efectos de los factores, en la hoja de cálculo de Excel y su comprobación en el software Minitab

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados de la investigación

Los resultados que fueron colectados y consolidados son los que proceden del análisis fisicoquímico de la muestra de agua residual antes de iniciar con los experimentos de descontaminación, las mediciones de temperatura y oxígeno disuelto, las mediciones diarias de DQO de cada caso experimental. Finalmente, se encuentra los resultados de análisis estadístico y prueba de hipótesis.

4.1.1 Características fisicoquímicas de muestras de agua residual

El primer objetivo que se estableció está orientado a la caracterización de las muestras de agua residual procedentes de la planta de tratamiento de San Jerónimo; específicamente, al ingreso de esta planta, y que fueron empleados en las pruebas experimentales. Los parámetros que fueron factibles de ser determinados mediante análisis en laboratorio se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. *Parámetros de calidad de agua residual*

PARAMETRO	PRIMERA MUESTRA	SEGUNDA MUESTRA	Límites máximos permisibles (LMP) DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM
DQO	354.2 mg/L	346.3 mg/L	200 mg/L
OXIGENO DISUELTO	1.6 mg/L	2 mg/L	No indica
pH	7.9	8	6.5-8.5
TURBIDEZ	81.4 NTU	103.7 NTU	No indica
CONDUCTIVIDAD	589.2 uS/cm	621.5 uS/cm	No indica

Fuente. Elaboración propia

Estos parámetros constituyen los valores iniciales que las muestras presentaban, antes de realizar los ensayos respectivos.

Si se realiza una comparación referencial de estos resultados de DQO de las muestras antes de realizar los ensayos (Tabla 5), se observa que superan los 200 mg/L de DQO, por lo cual, debe realizarse un tratamiento previo en una planta de tratamiento antes de su vertimiento a los cuerpos receptores de aguas.

Los resultados finales de DQO que se obtuvieron en los ensayos experimentales de descontaminación en el contactor biológico rotativo, empleando ambos tipos de discos, indican reducción hasta valores por debajo de 30 mg/L (ver figura 8 y 9), lo cual sí cumple con la normativa indicada (están por debajo de 200mg/L), y de aplicarse este tipo de

tecnología en reemplazo de la planta actual de esta localidad, se podría verter al cuerpo receptor que es el río Mantaro. Estos resultados que se obtuvieron en los ensayos de biodepuración con el aparato experimental, son importantes y ofrecen una alternativa que se recomienda a las autoridades de la provincia de San Jerónimo, a fin de que consideren la aplicación de esta tecnología en próximas inversiones para su planta de tratamiento.

Los resultados de DQO de la Tabla 5 indican que la contaminación del agua por material orgánico disuelto es considerable, y, de acuerdo (13), estos resultados se estarían ubicando entre niveles de concentración bajos a medios, es decir, entre 200 a 500 mg/L (ver los niveles de concentración de aguas residuales en la referencia (13)) a concentraciones de nivel bajo a medio típicos de agua residual doméstica (13).

Las concentraciones de oxígeno disuelto están a niveles bajos, por debajo de la concentración de saturación de agua a la temperatura ambiente de 15 a 17 °C, cuyos valores son entre 7.0 a 6.6 mg/L respectivamente, a la presión atmosférica de 520 mmHg (27). Como el oxígeno disuelto es el gas, que requieren los microorganismos aerobios para su respiración, en este caso, los niveles bajos indican que hubo presencia de bacterias aerobias que se encontraban en actividad en las muestras que se utilizó para los experimentos. Esta concentración de oxígeno disuelto en el agua residual es un factor importante para el desarrollo con éxito del proceso biodepurativo del agua residual.

El pH del agua indica la presencia de sustancias disueltas que le dan carácter alcalino al agua residual, pues tienen valores mayores a 7, que es el valor de pH neutro, donde la concentración de iones H^+ (ácido) y OH^- (básico) son iguales. Como es típico de las aguas residuales domésticas y municipales, las sustancias que le dan carácter alcalino o básico son las que provienen de detergentes, jabones y compuestos de carbonatos.

La turbidez indica la falta de transparencia del agua residual por efecto de la presencia de sólidos suspendidos. En este caso, la turbidez es considerable en las muestras.

La conductividad eléctrica del agua residual indica la presencia de sales disueltas en el agua residual, lo que el conductímetro indica es cuán conductivo es el agua por efecto de todas las sales que se encuentran ionizadas (con carga eléctrica) que se encuentran en el agua, es decir, a través de este parámetro; es posible inferir la concentración de las sales ionizadas en el agua residual.

4.1.2 Observaciones realizadas durante los experimentos

En cada uno de los experimentos que fueron llevados a cabo, se realizaron observaciones de los principales factores que afectan durante el proceso depurativo. Estas observaciones

fueron realizadas mediante mediciones con los instrumentos instalados en el aparato de experimentación, tales como temperatura, la concentración de oxígeno disuelto y la demanda química de oxígeno (DQO) del agua residual. La DQO fue determinado mediante análisis de una muestra tomada del agua en proceso biodepurativo en el aparato de experimentación. Las mediciones que fueron registradas se encuentran a continuación.

4.1.2.1 Mediciones de temperatura

La temperatura del agua residual que fue medida durante los procesos de experimentación se muestra de manera grafica en la Figura 6. Se sabe que este parámetro afecta en la velocidad de reacciones químicas, así como las bioquímicas. También, afecta en la concentración de saturación de oxígeno disuelto en el agua residual.

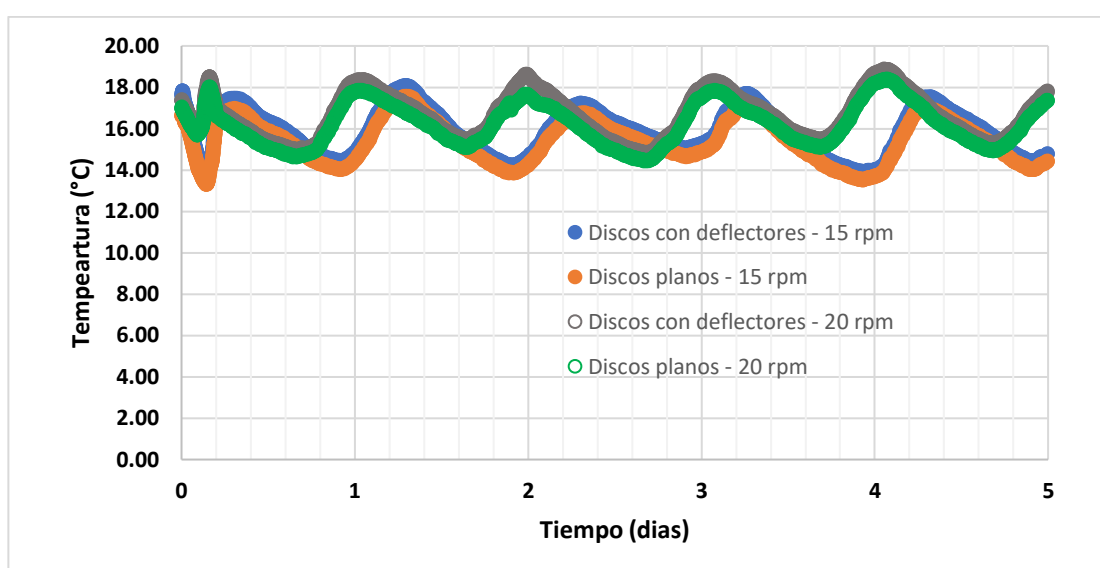


Figura 6. Variación de la temperatura del agua residual en el contactor biológico rotativo

Fuente. Elaboración propia

En la Figura 6, se muestran dos curvas semejantes a velocidades de 15 rpm y del mismo modo a 20 rpm. Esto se explica por la razón que los experimentos a 15 rpm con discos planos y con deflectores, fueron realizados simultáneamente en celdas individuales, tal como se muestra en la imagen del equipo en la parte metodológica. Es decir, el aparato experimental permitió realizarlo de este modo. Del mismo modo, se realizó a 20 rpm.

Como se puede notar en la Figura 5, la temperatura experimentó variación dentro del rango de 13 a 19 °C. Esta situación era lógica de esperar, pues el módulo experimental solo dispone de instrumentos de medición y registro de temperatura, mas no de sistema de control de esta magnitud. Estos casos se dan en plantas de tratamiento de agua residual, donde no controlan la temperatura a un nivel constante, por ocasionar demandas de

consumo de energía excesivas, y la temperatura del agua residual, vario acorde al cambio de la temperatura atmosférica de la localidad.

4.1.2.2 Mediciones de oxígeno disuelto

En la Figura 6, se tienen las mediciones que fueron registrados de oxígeno disuelto durante las pruebas de depuración de agua residual. En todos los casos, se observa que el rango de variación de la concentración de oxígeno disuelto fue entre 3 a 3.5 con los discos plano y de 3 a 3.83 mg/L con los discos con deflectores.

Como se indicó en la parte metodológica, respecto del aparato experimental, que cuenta con un sistema de control de oxígeno disuelto, y fue configurado para que active la rotación de los discos cuando la concentración de oxígeno disuelto este por debajo del mínimo de 3.0 mg/L. En esta Figura 6, se refleja esta acción.

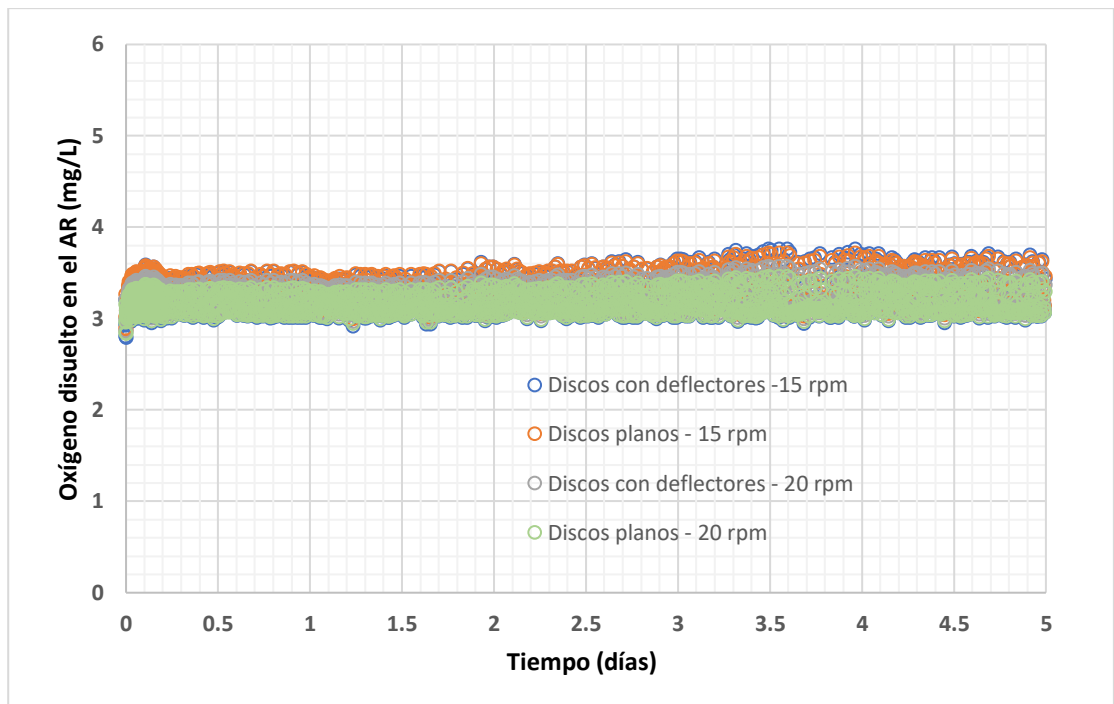


Figura 7. Registro de concentraciones de oxígeno disuelto durante las pruebas experimentales

Fuente. Elaboración propia

Se eligió esta concentración de oxígeno disuelto, dado que en la referencia de (28) indica que, para procesos aerobios continuos, donde el objetivo es eliminar solo materia orgánica biodegradable, la concentración de oxígeno debe encontrarse entre 0.5 y 1.5 mg/L aproximadamente, mientras que, para promover la nitrificación, la concentración de oxígeno debe ser mayor o en exceso. También, el otro aspecto de no incrementar más de

3 mg/L fue porque existiría menos déficit de oxígeno para que se sature, con lo que la velocidad de transferencia de oxígeno al agua disminuiría.

4.1.2.3 Mediciones de DQO

En relación al indicador de contenido de materia orgánica en el agua residual (13), en este caso, se utilizó el parámetro de DQO. Los valores que se obtuvieron del monitoreo diario, durante los cinco días que duró cada prueba, según el diseño experimental que se estableció, se muestran en la Figura 7 y 8.

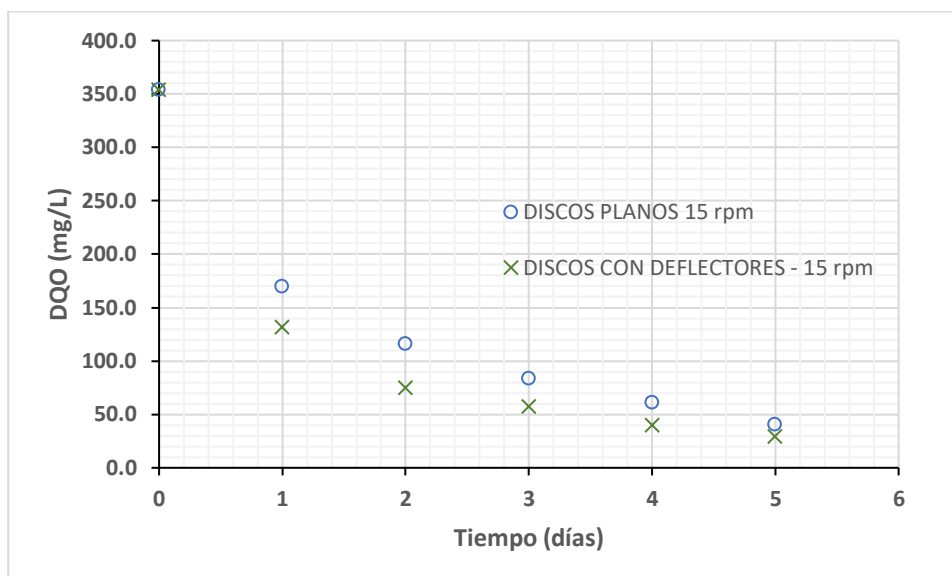


Figura 8. Mediciones de DQO a 15 rpm

Fuente. Elaboración propia

En estas Figuras 7 y 8, se muestran los promedios de la DQO de las tres replicas que se obtuvieron diariamente. Se puede apreciar que, en ambos casos, al cabo del primer al cuarto día, la DQO se reduce más cuando se utilizan deflectores. El quinto día, los niveles de DQO son bastante próximos. También, en todos los casos, el primer día es donde se observa mayor reducción de la DQO. La razón de este último comportamiento es porque, en las muestras de agua residual que se colectaron, había presencia de bacterias en plena actividad, pues el contenido de oxígeno que poseen eran bajos, como ya se explicó con los parámetros de calidad al inicio de este capítulo. Se puede afirmar también en esta parte, que, estas bacterias se encontraban adaptadas a este medio líquido, por la rapidez depurativa que exhiben, según ambas figuras, pues se les suministró el oxígeno disuelto, a la concentración por encima del mínimo que requieren y se puede decir que trabajaron satisfactoriamente.

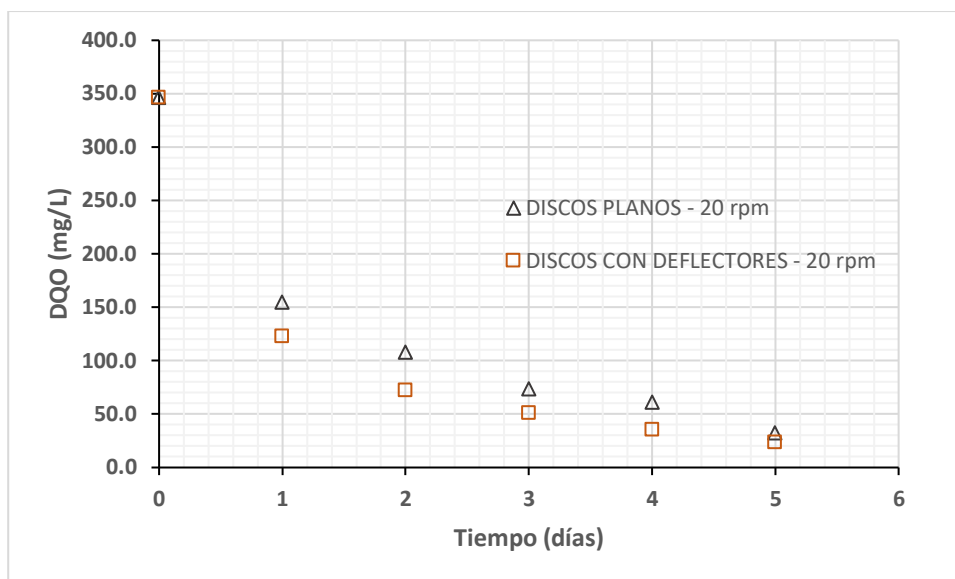


Figura 9. Mediciones de DQO a 20 rpm

Fuente. Elaboración propia

Durante la operación con ambos discos, se observó en todos los casos, un mayor nivel de agitación del agua residual en las celdas del bioreactor con los discos que tenían deflectores. Esto permite homogenizar mejor el agua residual y establecer mayor contacto entre las bacterias, sólidos y oxígeno disueltos en el agua. Esta es una razón que explica la mayor reducción del contenido de materia orgánica en el agua residual, cuando se utilizan discos con deflectores a las dos velocidades de giro de 15 y 20 rpm, respecto de los discos planos. Esta particularidad que se manifiesta, entonces, se podría aprovechar para implementar biorreactores con discos que permitan mayor agitación del medio líquido.

Respecto a los valores finales de DQO al cabo de cinco días, fue en promedio de 40.4 y 32.4 mg/L a 15 rpm y 20 rpm para los discos planos y, de 29.4 y de 23.9 mg/L a 15 rpm y 20 rpm para los discos con deflectores. Esto indica que los deflectores promueven mayor turbulencia con la que se obtiene disminuir más la materia orgánica contaminante.

Es preciso indicar, en esta parte, que los discos que se utilizaron en cada experiencia fueron discos nuevos de PVC. Es decir, sobre su superficie no existía ninguna película microbiana adherida o formada, tampoco, durante las pruebas de biodepuración, no se observó la formación significativa de dicha película. Sí se observó en el líquido la aparición y aumento de sólidos que tendían a precipitar, lo cual constituye la masa microbiana en crecimiento.

En general, una de las cuestiones respecto a la operación de los discos en contactores rotativos biológicos que se encuentra con la superficie con películas microbianas, es que,

cuando se presenta mayores niveles de agitación o turbulencia del agua, las películas microbianas sobre la superficie de los discos tienden a desprenderse, sobre todo, cuando la película es gruesa y esponjosa (29). Para tal efecto, se debe evaluar y elegir una velocidad de giro adecuada que permita evitar esos defectos.

4.1.3 Influencia de la velocidad y forma de discos sobre la reducción de DQO.

Los objetivos específicos finales están enfocados en evaluar la influencia de las dos variables que se declararon como independientes sobre la reducción de la DQO que en cada caso experimental se manifiesta.

Para la evaluación de la influencia que ejercen la velocidad de giro y el tipo de disco, fue calculado los resultados de reducción de la DQO. Es decir, la reducción de contenido de materia orgánica, durante el proceso de depuración en cada prueba. Los resultados promedio se encuentran representados gráficamente en las Figuras 9 y 10.

Se puede apreciar en estas dos figuras, como era lógico que la reducción de DQO aumenta con el tiempo. La reducción de DQO diaria es mayor en el primer día que los días siguientes, por las razones que ya se comentaron en la sección anterior. Se debe recordar que, el proceso de depuración experimental en los biorreactores fue llevado a cabo de manera discontinua o por lotes. Esta es la razón por la que, en los últimos días del proceso experimental, el nivel de reducción diaria tiende a cero, es decir, la reducción acumulada tiende a un valor constante a partir del quinto día de tratamiento.

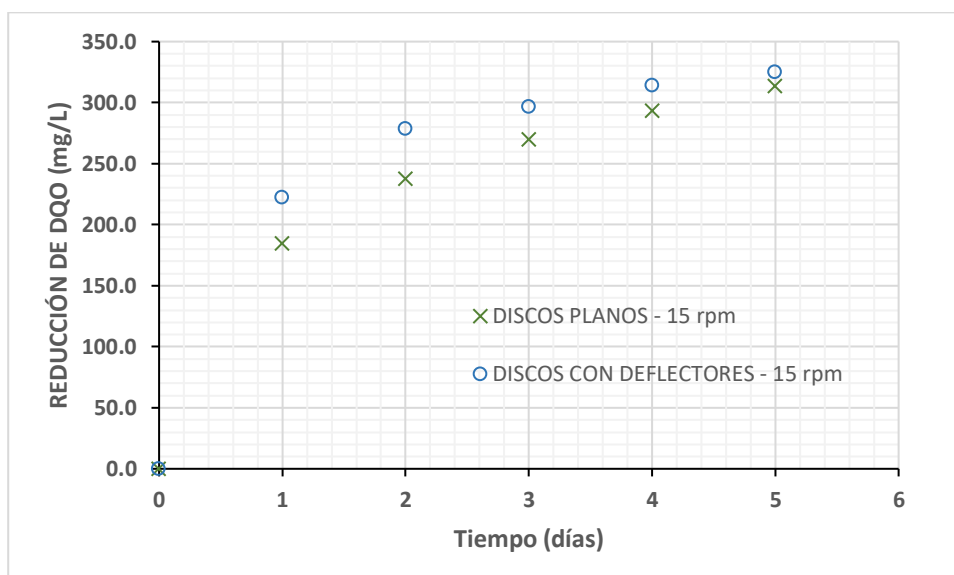


Figura 10. Reducción de DQO con discos a 15 rpm

Fuente. Elaboración propia

Las diferencias en DQO reducida desde el primer al quinto día, cuando la velocidad de giro fue de 15 rpm con los discos planos y con deflectores fueron de 37.6 mg/L a 11 mg/L. Por otro lado, cuando la velocidad de giro fue 20 rpm, las diferencias fueron de 31.5 a 8.5 mg/L. Claro está que se obtuvo mayor reducción de DQO cuando se empleó discos con deflectores.

Las diferencias de DQO reducida tienden a bajar cuando el tiempo de tratamiento avanza. A mayor velocidad, se observa que la diferencia en DQO reducida es menor, pues a mayor velocidad, los discos planos provocaron un incremento de la agitación del agua residual, con lo que el nivel de depuración se ve aumentado.

Los discos que puedan provocar mayor turbulencia en el agua residual durante el tratamiento se podrían decir que son los más apropiados para utilizarlos como contactores biológicos, como se observa con el comportamiento que se encontró con los discos con deflectores.

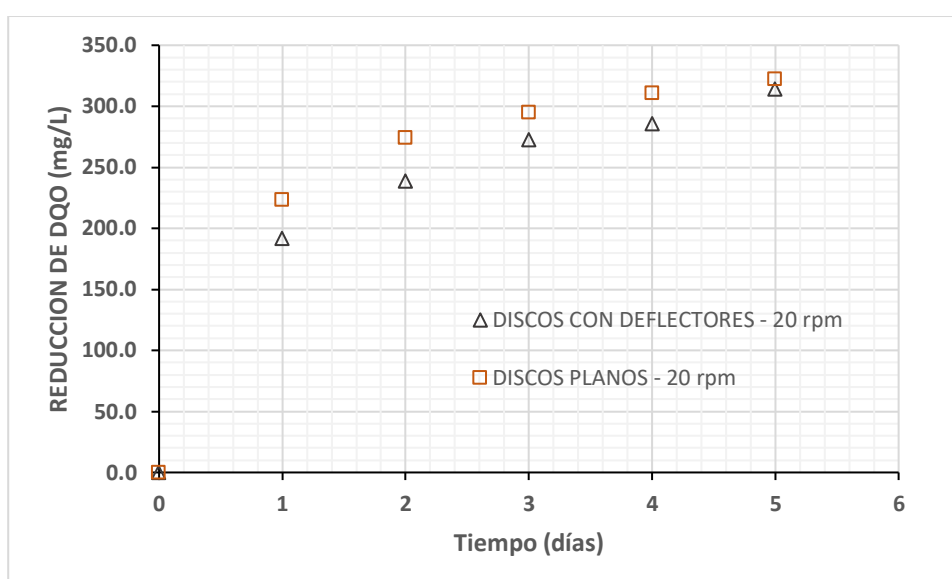


Figura 11. Resultados de DQO con discos a 20 rpm

Fuente. Elaboración propia

4.1.4 Evaluación de significancia de efectos de las variables manipuladas.

El objetivo general, se enfoca en evaluar si los efectos o la influencia que ejercen cada una de las dos variables que fueron manipuladas, son significativos o no. Por ello, en esta parte, se realizó el análisis de varianza, aplicado al diseño factorial según fue estructurado en la parte metodológica.

En la Tabla 7, se encuentra los resultados de manera resumida, del análisis de varianza que fue realizado de forma semejante al procedimiento en la referencia de (24). Los datos que se empleó para este análisis fueron los valores de reducción de DQO que se

lograron alcanzar al cabo de cinco días de tratamiento. Se optó al cabo de este tiempo por la razón de que fue donde se alcanzaron mayores reducciones de DQO. En la Tabla 6, se tienen estos datos.

Tabla 6. Resultado de reducción de DQO al cabo de 5 días

VELOCIDAD	TIPO DE DISCO					
	DISCOS PLANOS			DISCOS CON DEFLECTORES		
15 rpm	313.1	313.0	315.2	325.6	325.2	323.6
20 rpm	313.9	312.8	315.0	322.5	322.1	322.5

Fuente. Elaboración propia

Tabla 7. Análisis de varianza de dos factores y su interacción

VARIABLE	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fo	F (densidad prob)	
Velocidad de Giro	3.968	1	3.9675	4.0416	F(0.05,1,8)	5.32
Tipo de disco	285.188	1	285.1875	290.5136	F(0.05,1,8)	5.32
Interacción	4.941	1	4.94083333	5.0331	F(0.05,1,8)	5.32
ERROR	7.853	8	0.98166667			
TOTAL	301.949	11				

Fuente. Elaboración propia

El análisis permite evaluar si los efectos de los factores que fueron manipulados tienen una incidencia significativa o no. Para ello, se pone a evaluación la hipótesis nula, que en este caso son:

“El efecto que ejerce la velocidad de giro de los discos, sobre la reducción de DQO en el biotratamiento del agua residual en un contactor rotativo, NO es significativo”

“El efecto que ejerce el tipo de discos, sobre la reducción de DQO en el biotratamiento del agua residual en un contactor rotativo, NO es significativo”

“El efecto que ejercen la interacción de las dos variables independientes, sobre la reducción de DQO en el biotratamiento del agua residual en un contactor rotativo, NO es significativo”

La aceptación o rechazo de estas hipótesis nulas se realizan en función a la comparación de los indicadores estadísticos F (de Fisher). Según (24), se rechaza la hipótesis nula si el F_o es mayor a $F(\text{densidad de probabilidad})$. Los valores de este último se encuentran en la columna final de la Tabla 7, y están referidos a un nivel de significancia del 5 %. Entonces, se puede verificar que, solo en el caso del tipo de disco, $F_o = 290.5$ es mayor

que F (densidad de probabilidad) = 5.32, por lo que la hipótesis nula para esta variable se rechaza, y las hipótesis referidas a la otra variable y la interacción se aceptan.

En consecuencia, como ya se fue viendo los resultados de la relación de los efectos, sobre la reducción de la DQO en la sección que antecede, con esta prueba de hipótesis se puede decir que, la variable tipo de disco es el que ejerce un efecto significativo, mientras que, la velocidad de giro y la interacción, pese a que provocan modificaciones en la reducción de DQO, no son significativos.

4.2 Discusión de resultados

El agua residual que fue empleado en esta investigación tiene la característica de poseer una DQO inicial entre 346 a 354 mg/L, concentración baja a media de carga contaminante en agua residual municipal. En otros estudios que llevaron a cabo en biorreactores de este tipo, se tienen al que realizó (5), donde utiliza agua residual no doméstica, a una DQO de 1024 mg/L que corresponde a una concentración bastante alta de DQO, también, el que realizó (6) y (7). Por ello, no habría un punto de comparación en relación con la carga contaminante de las muestras que se utilizaron en cada estudio. Otro detalle particular es que las características que poseen las aguas residuales siempre van a ser distintas por diferentes razones, por ejemplo: hábitos de uso del agua por parte de los usuarios, tipos de sustancias empleadas en los quehaceres diarios, horarios de uso del agua, entre otros.

El tipo de biorreactor empleado en este estudio, corresponden a unidades de tratamiento aerobio que permite realizar la descontaminación de aguas residuales, mediante biomasa adherida a la superficie de los discos. Entre los beneficios que presentan están el poco espacio que ocupan, por lo que puede ser aplicado en pequeñas comunidades, generan poca cantidad de lodos, un mayor tiempo de detención de lodos, entre otros. Se menciona esto, porque un motivo que se desea alcanzar en este estudio es aplicar esta tecnología en plantas de tratamiento de nuestra localidad.

Sobre las dimensiones y características de los contactores rotativos biológicos que emplearon otros investigadores, en los estudios de descontaminación de muestras de agua residual, se tienen al realizado por (5). En su estudio, como se indicó, emplearon un contactor rotativo biológico de cuatro etapas para pruebas en operación continua, cada etapa tenía 5.3 L de capacidad con siete discos de 23 cm de diámetro y, la velocidad de rotación a la que realizó todas sus pruebas fue de 40 rpm. En el estudio realizado por (6), utilizaron contactores rotativos biológicos a una velocidad de giro de 7 rpm durante 10 días iniciales y, después hasta los 18 días, con una velocidad de 10

rpm, todo sus experimentos en modo continuo. Por otro lado, (7) realizó sus pruebas, también, en estado continuo, pero la velocidad de giro de los discos entre 2.5 y 3 rpm. En función a estos estudios, que guardan cierta semejanza con los equipos empleados en esta investigación, se puede afirmar que la velocidad de giro va a depender de las condiciones de operación que tenga cada equipo, y con ello, permitir que el agua tenga la cantidad necesaria de oxígeno para las bacterias. En este estudio, las pruebas que se realizaron con el contactor en modo discontinuo o por lotes fueron con velocidades de 15 y 20 rpm, estas velocidades permitieron mantener el nivel de oxígeno disuelto por encima de 3 mg/L sin ninguna dificultad, pese a que el sistema de control de oxígeno disuelto fue desactivando el motor para evitar que giren los discos. Según esto, se podría reducir aún más la velocidad para evitar un consumo innecesario de energía en operaciones reales. No se podría comparar el modo de operación empleado en este estudio con los otros comentados, pues son diferentes. No obstante, se podría anticipar que, en operación continua, permitirá conseguir más ventajas en relación con la disminución de velocidad, y también, reducción de consumo energético que es un aspecto crítico en sistemas de tratamiento de aguas.

Con respecto a la reducción de DQO alcanzados en las pruebas, si calculamos los porcentajes de reducción de DQO obtenidos al cabo de 5 días, con discos planos a 15 rpm y 20 rpm, se logró reducir el DQO inicial, en un 88.58% y 90.64% respectivamente. En los discos con deflectores, con 15 y 20 rpm, se redujo a 91.7% y 93.1%, respectivamente, recordando el modo de operación en discontinuo (por lotes). Mientras que, en sus experimentos de (5), operando en continuo, obtuvieron remoción de DQO y DBO5 mayores al 80% en cada etapa. En la investigación realizada por (7), consiguieron alcanzar remociones mayores de 75%. Todo esto conduce a establecer y confirmar que los contactores rotativos biológicos permiten conseguir la remoción de contaminantes con buena performance, pero estará condicionado por la composición de los contaminantes presentes en el agua y las condiciones de operación a la que trabajan.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Fue evaluado el efecto de la velocidad y la forma de los discos de un contactor rotativo biológico, en la reducción de DQO de agua residual municipal del distrito de San Jerónimo, a nivel de laboratorio, y se encontró que, al aumentar la velocidad de los discos, la reducción de DQO se incrementa y, con relación a los tipos de discos, se observó que los discos con deflectores permiten alcanzar mayor reducción de DQO.
- Se determinaron las características de calidad de muestras de agua residual municipal del distrito de San Jerónimo, que fue empleada en las pruebas de depuración con el contactor rotativo biológico, y se encontró que posee una DQO entre 346 a 354 mg/l, oxígeno disuelto entre 1.6 a 2 mg/L, potencial de hidrógeno entre 7.9 a 8, turbidez entre 81 a 103 NTU y, conductividad de 589 a 621 uS/cm.
- Se determinó la influencia de la velocidad de discos en la reducción de la DQO del agua residual sometido a descontaminación biológica en el CRB a nivel de laboratorio, y se concluye que la influencia ejercida por esta variable estadísticamente no es significativa al 95 % de confianza.
- Se determinó la influencia de la forma de los discos en la reducción de la DQO del agua residual sometido a descontaminación biológica en un CRB a nivel de laboratorio, y se concluye que la influencia que ejerce estadísticamente es significativa al 95 % de confianza.

5.2 Recomendaciones

- Realizar estudios que permitan evaluar el desempeño de la unidad en la descontaminación de agua residual, a más niveles de velocidad de giro, con valores menores a 15 rpm, con el fin de establecer una velocidad apropiada que faculte suministrar la cantidad de oxígeno necesario a las bacterias, la turbulencia promueva el contacto adecuado entre bacterias y contaminantes, con todo ello, que se invierta en la menor cantidad de energía para llevar a cabo el proceso depurativo
- Se debe desarrollar investigaciones que pongan a prueba a otros tipos de discos, con diferentes configuraciones geométricas, tanto en modo discontinuo y continuo. También, se debe investigar la utilización de bacterias especializadas o mejoradas en laboratorios, aplicando la técnica de bioaumentación.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. YIN, Qidong, Yuepeng SUN, Bo LI, Zhaolu FENG a Guangxue WU. The r/K selection theory and its application in biological wastewater treatment processes. *Science of the Total Environment* [online]. 2022, **824**. ISSN 18791026. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2022.153836
2. WAQAS, Sharjeel, Noorfidza Yub HARUN, Nonni Soraya SAMBUDI, Muhammad Roil BILAD, Kunmi Joshua ABIOYE, Abulhassan ALI a Aymn ABDULRAHMAN. A Review of Rotating Biological Contactors for Wastewater Treatment. *Water (Switzerland)* [online]. 2023, **15**(10), 1–19. ISSN 20734441. Dostupné z: doi:10.3390/w15101913
3. DENG, Lijuan, Wenshan GUO, Huu Hao NGO, Xinbo ZHANG, Cheng CHEN, Zhuo CHEN, Dongle CHENG, Shou Qing NI a Quan WANG. Recent advances in attached growth membrane bioreactor systems for wastewater treatment. *Science of the Total Environment* [online]. 2022, **808**, 152123. ISSN 18791026. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2021.152123
4. IVAILOVA, I., J. J. SOLÍS, A. BES-PIA a D. AGUADO. Evaluación del coeficiente de transferencia de oxígeno en procesos de fangos activados para optimizar la aireación. *Ingeniería del agua* [online]. 2020, **24**(3), 183. ISSN 1134-2196. Dostupné z: doi:10.4995/ia.2020.12877
5. QUINTERO PULGAR, Luisa Fernanda, Andrés Felipe MOLANO GUARÍN a Laura Mariela PRAMPARO. 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* [online]. 2021, **29**(2), 324–333. ISSN 07183305. Dostupné z: doi:10.4067/S0718-33052021000200324
6. RAFAEL, Edwin a Arichábala CABRERA. Diseño y evaluación de un reactor de contactores biológicos rotativos (biodiscos) a escala para el tratamiento de aguas residuales de la Central Térmica El Descanso. 2020, (363).
7. ECHEVERRÍA, Ivette, Oliver SAAVEDRA, Ramiro ESCALERA, Gustavo HEREDIA a Renato MONTROYA. Diseño, Construcción Y Evaluación De Un Sistema De Contactor Biológico Rotatorio (Cbr) Para El Tratamiento De Aguas Residuales Municipales a Escala Piloto. *Investigacion & Desarrollo* [online]. 2020, **20**(1), 41–49. ISSN 18146333. Dostupné z: doi:10.23881/idupbo.020.1-3i

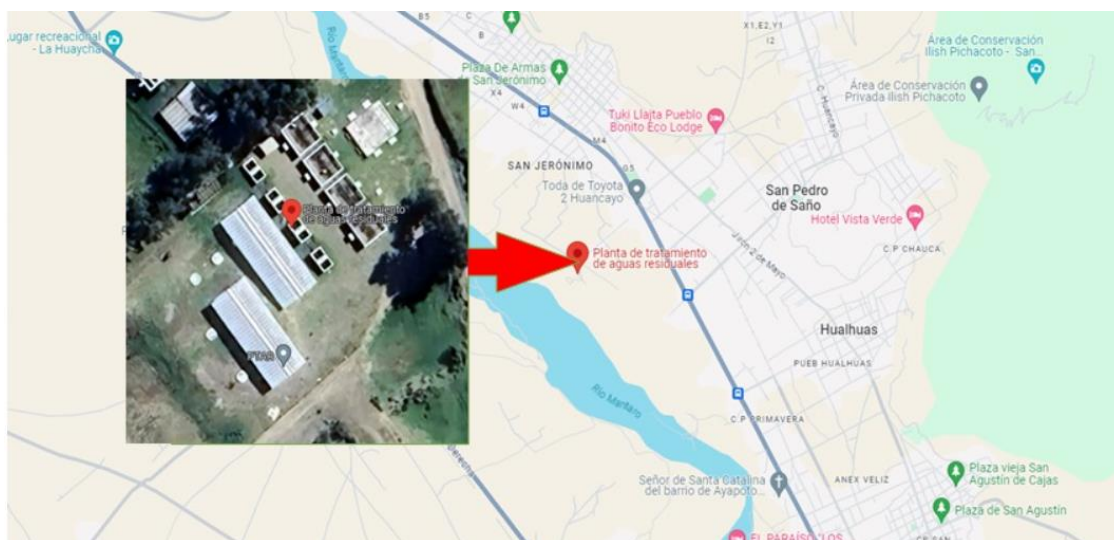
8. VÁSQUEZ, Edgar. Efecto de la Velocidad Rotacional en Reactor Biodiscos sobre la Remoción de Materia Orgánica en Agua Residual Doméstica de Campamento Minero La Libertad-Perú. *Ciencia y Tecnología*. 2018, **14**(1), 9–18. ISSN 1810-6781.
9. VAQUEZ, Hans. Análisis del efecto de la forma y velocidad de los discos parcialmente sumergidos de un aireador en la rapidez de disolución de oxígeno a las condiciones atmosféricas de Huancayo - 2022 [online]. 2022, 72. Dostupné z: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12577/2/IV_FIN_107_TE_Vásquez_Meza_2022.pdf
10. RODRÍGUEZ, Victor. U-nivers-id-ad Nacional del Centro del Perú. *Universidad Nacional del Centro del Perú*. 2020, 1–114.
11. ÓN, Geti, I Ntegral D E TRATAMI, Ento D E AGUAS, Resi DUALES a I Ricardo ROJAS. Conferencia Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. 2002.
12. PEREZ, Juan David. Trabajo de grado juan david pérez aristizábal. *Trabajo De Grado*. 2010, **0**, 185.
13. METCALF AND EDDY. *Ingeniería de aguas residuales. Volumen 1: Tratamiento, vertido y reutilización*. 1995. ISBN 0070416907.
14. COMPACTAS, Plantas. Plantas compactas. nedatov  no.
15. MENÉNDEZ-GUTIÉRREZ, Carlos a Jaime DUE  NAS-MORENO. Criterios de diseño y escalado de biodiscos para el tratamiento de aguas residuales Design and scaleup criteria of biodiscs for wastewater treatment. 2020, **51**(2), 64–74.
16. DELOYA MARTÍNEZ, Alma. Biodiscos: una alternativa de tratamiento biológico para aguas residuales cuando no se dispone de grandes extensiones de terreno. *Biodiscos: una alternativa de tratamiento biológico para aguas residuales cuando no se dispone de grandes extensiones de terreno*. 2001, **13**(4), 57–59. ISSN 0379-3962.
17. SPELLMAN, F. *Water and Wastewater Treatment Plant Operations*. 2009. ISBN 9781466553385.
18. METCALF, Eddy. *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. 2013. ISBN 9788578110796
19. TORRES, Edison Damián Cabezas Mejía; Diego Andrade Naranjo y Johana a SANTAMARÍA. *Introduccion a la metodologia de la investigacion cientifica*. priemera e. 2018. ISBN 9789942765444.
20. CREUS, Antonio. *Instrumentación industial*. Marcombo. Mexico: 2010, 2011.

ISBN 9786077070429.

21. BHOME, Shraddha, Vinod CHANDWANI, Seethalakshmi IYER, Archana PRABHUDESAI, Nishikant JHA, Swati DESAI a Suryakant D.KOSHTI. *Research methodology* [online]. First Edit. 2013. Dostupné z: www.himpub.com
22. OROZCO, Alvaro. *Bioingeniería De Aguas Residuales Teoría Y Diseño*. 2014, 521–531.
23. HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto, Carlos COLLADO FERNÁNDEZ a Pilar BAPTISTA LUCIO. *Metodologia de la Investigacion*. 2014.
24. MONTGOMERY, DC. *Diseño y análisis de experimentos*. 2004. ISBN 968-18-6156-6
25. CLESECERI, Leonore S., Arnold E. GREENBERG a R. Rhodes TRUSSSELL. *Metodos normalizados para el analisis de aguas potables y residuales*. 17. vyd. 1992. ISBN 9788479780319.
26. APHA, A.W.W.A. a W.P.C.F. *Standart Methods for the Examinations of Water and Wastewater*. Washington: s.n, nedatováno.
27. LEE, Johnny. Development of a model to determine mass transfer coefficient and oxygen solubility in bioreactors. *Heliyon* [online]. 2017, **3**(2), e00248. ISSN 24058440. Dostupné z: [doi:10.1016/j.heliyon.2017.e00248](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2017.e00248)
28. DÍAZ, Fabio a Julian VARILA. Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio. *Revista de Tecnología - Journal of Technology* •. 2008, **7**(2), 21–28.
29. DONG, Yang, Jinsong GUO, Zhen ZHONG, Jianhui WANG a Youpeng CHEN. Packed cage rotating biological contactor for mustard tuber wastewater treatment: Performance and microbiome along the axial direction. *Journal of Water Process Engineering* [online]. 2021, **44**(July), 102384. ISSN 22147144. Dostupné z: [doi:10.1016/j.jwpe.2021.102384](https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102384)

ANEXOS

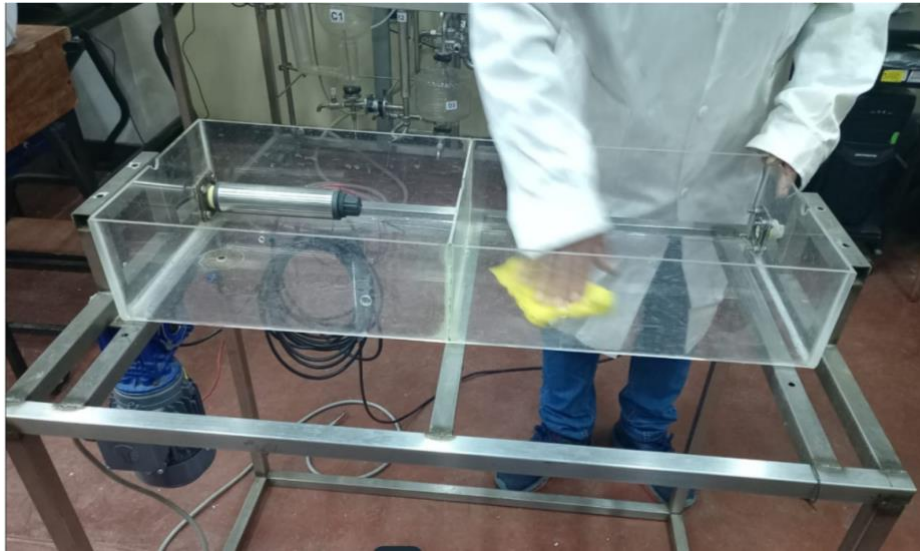
1. Ubicación del lugar donde se colectó el agua residual



2. Fotografía de los componentes e instalación del aparato experimental



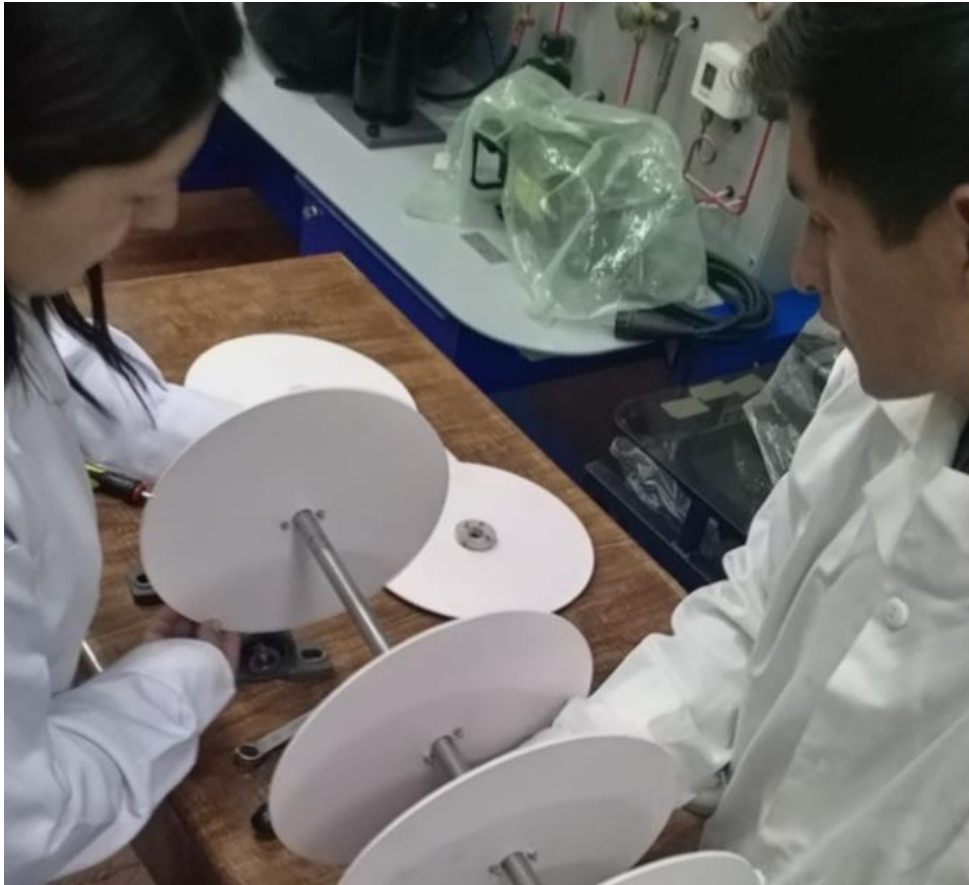
Esta fotografía muestra en el proceso de instalación de los componentes del contactor, al recipiente de acrílico con dos celdas que se encuentra soportado en estructura de acero inoxidable. También, en el recipiente, se encuentran los sensores de temperatura y oxígeno disuelto. En la estructura de acero se encuentra fijado el motor eléctrico.



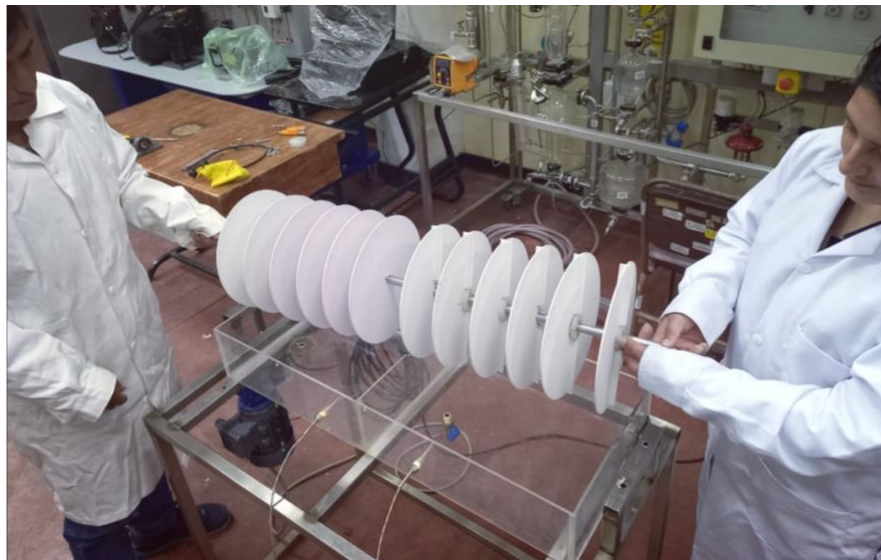
En esta fotografía, se muestra el recipiente de acrílico del contactor rotativo biológico en pleno proceso de limpieza



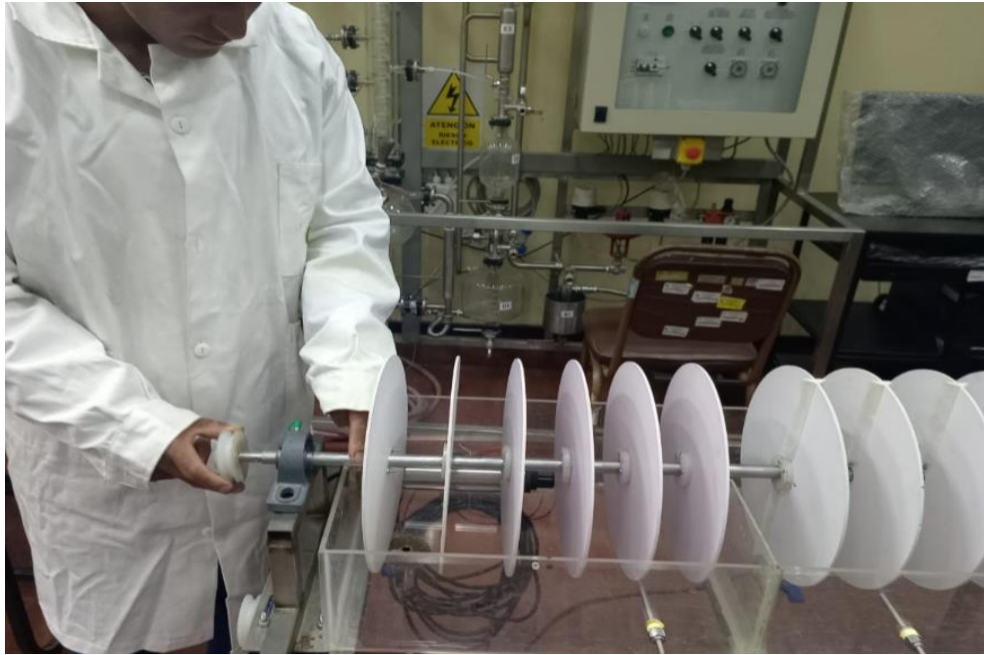
Fotografía que muestra la instalación de los sensores de temperatura en cada celda del recipiente de acrílico



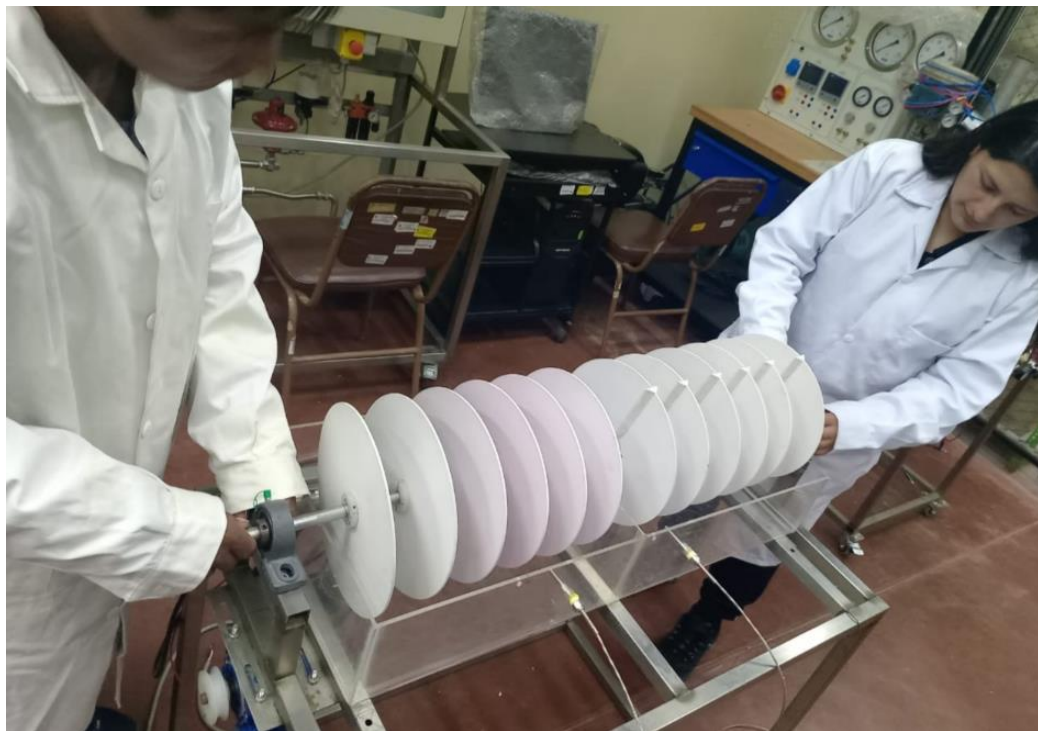
Fotografía mostrando la colocación y fijación de los discos de superficie plana, en el eje de acero inoxidable del contactor rotativo biológico



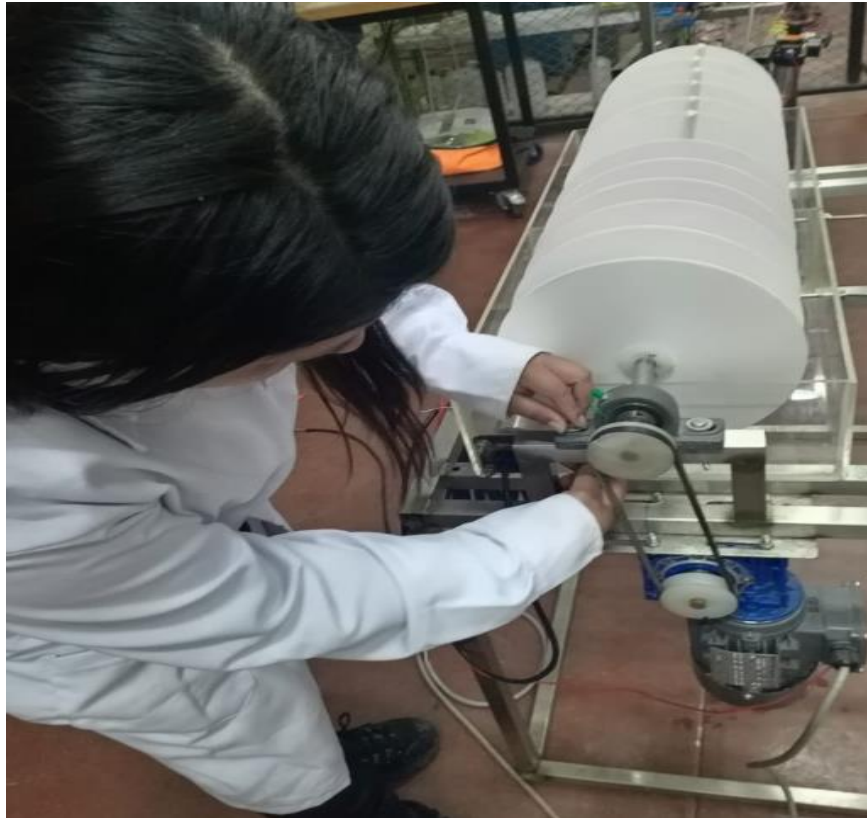
Fotografía que muestra todos los discos; tanto de superficie plana como de superficie con alabes, fijados en el eje de acero inoxidable, listo para ser ensamblado sobre la estructura de acero con sus respectivas chumaceras, de tal modo que, 06 discos planos encajen en una celda, y 06 discos con alabes en encajen en la otra celda



Fotografía mostrando la colocación de la polea en el eje que está fijado los discos



Fotografía que muestra colocando el eje con los discos, las poleas y, alineando el conjunto de discos y eje, para que se ubique en la celda.



Fotografía que muestra colocando los pernos de ajuste de la chumacera. El contactor ya se encuentra casi con todos los componentes instalados.

3. Fotografía de la toma de muestras



Fotografía mostrando el punto de donde se colectó las muestras (afluente a la planta de tratamiento de agua residual)



Fotografía que muestra la colección de muestra del afluente a la planta de tratamiento de agua



Fotografía que muestra el trasvase al recipiente de 20 L con la ayuda de otro recipiente para cubrir el volumen requerido en los experimentos



Esta fotografía muestra la medición de la temperatura del agua residual colectada. Se utilizó un termómetro de mercurio



Fotografía en el que se observa el trasvase de muestra de agua en un recipiente de polietileno, que fue enviado al laboratorio de análisis.

4. Certificado de análisis de calidad de agua



LABORATORIO DE ENSAYOS “AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.”

INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2024-048-E

NOMBRE DEL CLIENTE : VILCATOMA GIRON YORDI.
DOMICILIO LEGAL : AV. GIRON COLON NRO 422- EL TAMBO
SOLICITADO POR : VILCATOMA GIRON YORDI.
REFERENCIA DEL CLIENTE : CALIDAD DE AGUA.
PROCEDENCIA : LAGUNA DE OXIDACIÓN DE SAN JERÓNIMO.
ORDEN DE SERVICIO N° : AL/OS - 2024 - 002-E.
CANTIDAD DE MUESTRAS : 36 FRASCOS DE PLÁSTICO.
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA : 14/03/2024 AL 20/03/2024.
PERIODO DE ENSAYO : 14/03/2024 - 30/03/2024.
TOMA DE MUESTRA : POR EL CLIENTE.
CONDICIÓN DE LA MUESTRA : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL MONITOREO:

Código del Cliente	Código de Laboratorio	Coordenadas		Fecha de Monitoreo	Hora de Monitoreo	Producto Declarado
		Este	Norte			
MUESTRA 1 - 14/03/2024	M-24033-E	-----	-----	14/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 1 - 15/03/2024	M-24034-E	-----	-----	15/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 1 - 16/03/2024	M-24037-E	-----	-----	16/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 1 - 17/03/2024	M-24040-E	-----	-----	17/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 1 - 18/03/2024	M-24043-E	-----	-----	18/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 1 - 19/03/2024	M-24046-E	-----	-----	19/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 2 - 15/03/2024	M-24035-E	-----	-----	15/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 2 - 16/03/2024	M-24038-E	-----	-----	16/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 2 - 17/03/2024	M-24041-E	-----	-----	17/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 2 - 18/03/2024	M-24044-E	-----	-----	18/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 2 - 19/03/2024	M-24047-E	-----	-----	19/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 3 - 15/03/2024	M-24036-E	-----	-----	15/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 3 - 16/03/2024	M-24039-E	-----	-----	16/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL

El presente informe es redactado íntegramente en AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C., su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública. Está prohibido la reproducción parcial o total salvo autorización escrita de AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C. Las muestras serán conservadas en un periodo máximo de 15 días de haber ingresado al laboratorio, excedido el tiempo se procede a su eliminación. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Página 1 de 5

Oficina principal: Av. Ferrocarril N° 661 – Chilca – Huancayo. Laboratorio: Av. Ferrocarril S/N – Barrio Chanchas - Huayucachi



LABORATORIO DE ENSAYOS “AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C”

INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2024-048-E

DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL MONITOREO

Código del Cliente	Código de Laboratorio	Coordenadas		Fecha de Monitoreo	Hora de Monitoreo	Producto Declarado
		Este	Norte			
REPLICA 3 - 17/03/2024	M-24042-E	-----	-----	17/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 3 - 18/03/2024	M-24045-E	-----	-----	18/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 3 - 19/03/2024	M-24048-E	-----	-----	19/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
MUESTRA II - 21/03/2024	M-24049-E	-----	-----	21/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 1 - 22/03/2024	M-24050-E	-----	-----	22/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 1 - 23/03/2024	M-24053-E	-----	-----	23/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 1 - 24/03/2024	M-24056-E	-----	-----	24/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 1 - 25/03/2024	M-24059-E	-----	-----	25/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 1 - 26/03/2024	M-24062-E	-----	-----	26/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 2 - 22/03/2024	M-24051-E	-----	-----	22/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 2 - 23/03/2024	M-24054-E	-----	-----	23/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 2 - 24/03/2024	M-24057-E	-----	-----	24/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 2 - 25/03/2024	M-24060-E	-----	-----	25/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 2 - 26/03/2024	M-24063-E	-----	-----	26/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 3 - 22/03/2024	M-24052-E	-----	-----	22/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 3 - 23/03/2024	M-24055-E	-----	-----	23/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 3 - 24/03/2024	M-24058-E	-----	-----	24/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 3 - 25/03/2024	M-24061-E	-----	-----	25/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL
REPLICA 3 - 26/03/2024	M-24064-E	-----	-----	26/03/2024	12:20	AGUA RESIDUAL



LAB-FR-004 VERSIÓN 02 / F.E.: 01/2022

El presente informe es redactado íntegramente en AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C., su aduheración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública. Esta prohibido la reproducción parcial o total salvo autorización escrita de AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C. Las muestras serán conservadas en un periodo máximo de 15 días de haber ingresado al laboratorio, excedido el tiempo se procede a su eliminación. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Página 2 de 5

Oficina principal: Av. Ferrocarril N° 661 – Chilca – Huancayo. Laboratorio: Av. Ferrocarril S/N – Barrio Chanchas - Huayucachi
Cel.: 998900666 - 956000691



LABORATORIO DE ENSAYOS
“AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.”

INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2024-048-E

II. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método de Referencia	Descripción
pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 - H+ B, 23nd Ed.2017	pH Value. Electrometric Method.
Conductividad Eléctrica	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 23nd Ed.2017	Conductivity, Laboratory Method
Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23nd Ed. 2017	Turbidity, Nephelometric Method.
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23nd Ed.2017	Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method.
Oxígeno Disuelto	MEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 - O G, 23nd Ed.2017	Membrane – Electrode Method



III. RESULTADOS:

Código del Cliente	Ensayo	Resultado	Unidad
MUESTRA I - 14/03/2024	pH	7.9	Unidad de pH
	Conductividad Eléctrica	589.2	µS/cm
	Turbidez	81.4	NTU
	Demanda Química de Oxígeno	354.2	O ₂ mg/L
	Oxígeno Disuelto	1.6	mg/L
REPLICA 1 - 15/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	172.1	O ₂ mg/L
REPLICA 1 - 16/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	115.6	O ₂ mg/L

LAB-FR-004 VERSIÓN 02 / F.E.: 01/2022

El presente informe es redactado íntegramente en AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C., su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública. Está prohibido la reproducción parcial o total salvo autorización escrita de AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C. Las muestras serán conservadas en un periodo máximo de 15 días de haber ingresado al laboratorio, excedido el tiempo se procede a su eliminación. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Página 3 de 5

Oficina principal: Av. Ferrocarril N° 661 – Chilca – Huancayo. Laboratorio: Av. Ferrocarril 5/N – Barrio Chanchas - Huayucachi
Cel.: 998900666 - 956000691

INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2024-048-E

RESULTADOS:

Código del Cliente	Ensayo	Resultado	Unidad
REPLICA 1 - 17/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	85.9	O ₂ mg/L
REPLICA 1 - 18/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	63.1	O ₂ mg/L
REPLICA 1 - 19/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	41.1	O ₂ mg/L
REPLICA 2 - 15/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	169.9	O ₂ mg/L
REPLICA 2 - 16/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	114.6	O ₂ mg/L
REPLICA 2 - 17/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	84.4	O ₂ mg/L
REPLICA 2 - 18/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	60.5	O ₂ mg/L
REPLICA 2 - 19/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	41.2	O ₂ mg/L
REPLICA 3 - 15/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	167.1	O ₂ mg/L
REPLICA 3 - 16/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	118.9	O ₂ mg/L
REPLICA 3 - 17/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	81.9	O ₂ mg/L
REPLICA 3 - 18/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	59.6	O ₂ mg/L
REPLICA 3 - 19/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	39.0	O ₂ mg/L
MUESTRA II - 21/03/2024	pH	8.0	Unidad de pH
	Conductividad Eléctrica	621.5	µS/cm
	Turbidez	103.7	NTU
	Demanda Química de Oxígeno	346.3	O ₂ mg/L
	Oxígeno Disuelto	2.0	mg/L
REPLICA 1 - 22/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	153.3	O ₂ mg/L
REPLICA 1 - 23/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	108.5	O ₂ mg/L
REPLICA 1 - 24/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	73.5	O ₂ mg/L
REPLICA 1 - 25/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	61.6	O ₂ mg/L
REPLICA 1 - 26/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	32.4	O ₂ mg/L



LAB-PR-004 VERSIÓN 02 / F.E: 01/2022

El presente informe es redactado íntegramente en AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C, su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública. Está prohibido la reproducción parcial o total salvo autorización escrita de AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C. Las muestras serán conservadas en un periodo máximo de 15 días de haber ingresado al laboratorio, pasado el tiempo se procede a su eliminación. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Página 4 de 5

Oficina principal: Av. Ferrocarril N° 661 – Chilca – Huancayo. Laboratorio: Av. Ferrocarril 5/N – Barrio Chanchas - Huayucachi
 Cel.: 998900666 - 956000691

INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2024-048-E

RESULTADOS:

Código del Cliente	Ensayo	Resultado	Unidad
REPLICA 2 - 22/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	154.1	O ₂ mg/L
REPLICA 2 - 23/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	105.4	O ₂ mg/L
REPLICA 2 - 24/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	74.0	O ₂ mg/L
REPLICA 2 - 25/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	61.0	O ₂ mg/L
REPLICA 2 - 26/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	33.5	O ₂ mg/L
REPLICA 3 - 22/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	87.2	O ₂ mg/L
REPLICA 3 - 23/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	156.3	O ₂ mg/L
REPLICA 3 - 24/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	109.7	O ₂ mg/L
REPLICA 3 - 25/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	73.5	O ₂ mg/L
REPLICA 3 - 26/03/2024	Demanda Química de Oxígeno	60.1	O ₂ mg/L



Huancayo, 30 de Marzo del 2024

AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.
LABORATORIO - CONSULTORÍA



AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.
Ing. Irvin H. Laurente Galarza
GERENTE GENERAL
DIF N° 175812

LAB-FR-004 VERSIÓN 02 / F.E.: 01/2022

El presente informe es redactado íntegramente en AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C., su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública. Esta prohibido la reproducción parcial o total salvo autorización escrita de AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C. Las muestras serán conservadas en un periodo máximo de 15 días de haber ingresado al laboratorio, excedido el tiempo se procede a su eliminación. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Página 5 de 5

Oficina principal: Av. Ferrocarril N° 661 – Chilca – Huancayo. Laboratorio: Av. Ferrocarril 5/N – Barrio Chanchas - Huayucachi
Cel.: 998900666 - 956000691

5. Resultados de análisis de varianza realizado en el software MINITAB

Información del factor

Factor	Niveles Valores
velocidad de giro	2 15; 20
tipo de disco	2 planos; con deflectores

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	294.096	98.032	99.86	0.000
Lineal	2	289.155	144.577	147.28	0.000
velocidad de giro	1	3.968	3.968	4.04	0.079
tipo de disco	1	285.187	285.187	290.51	0.000
Interacciones de 2 términos	1	4.941	4.941	5.03	0.055
velocidad de giro*tipo de disco	1	4.941	4.941	5.03	0.055
Error	8	7.853	0.982		
Total	11	301.949			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.990791	97.40%	96.42%	94.15%

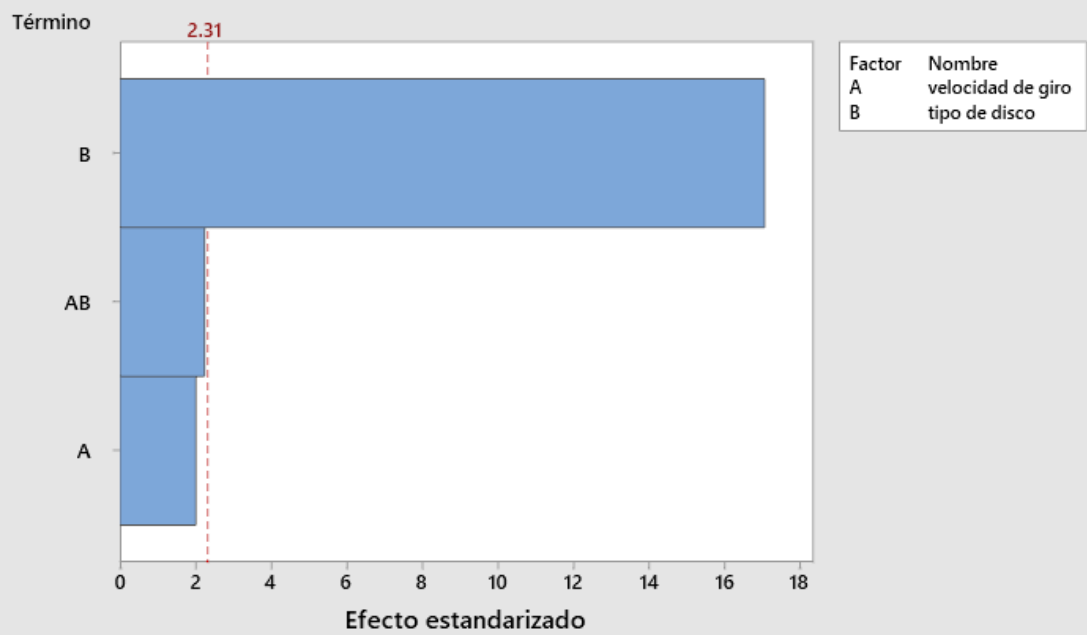
Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	318.708	0.286	1114.30	0.000	
velocidad de giro					
15	0.575	0.286	2.01	0.079	1.00
tipo de disco					
planos	-4.875	0.286	-17.04	0.000	1.00
velocidad de giro*tipo de disco					
15 planos	-0.642	0.286	-2.24	0.055	1.00

Ecuación de regresión

reducción de DQO = 318.708 + 0.575 velocidad de giro_15 - 0.575 velocidad de giro_20 - 4.875 tipo de disco_planos + 4.875 tipo de disco_con deflectores - 0.642 velocidad de giro*tipo de disco_15 planos + 0.642 velocidad de giro*tipo de disco_15 con deflectores + 0.642 velocidad de giro*tipo de disco_20 planos - 0.642 velocidad de giro*tipo de disco_20 con deflectores

Diagrama de Pareto de efectos estandarizados
(la respuesta es reduccion de DQO; $\alpha = 0.05$)



Gráfica de probabilidad normal
(la respuesta es reduccion de DQO)

