

**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



## **TESIS**

**“SISTEMA DE BIODISCOS PARA LA REMÓCION DE CARGA  
ORGÁNICA EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS  
RESIDUALES A NIVEL DE LABORATORIO DE LA  
UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS – FILIAL HUANCAYO 2016”**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:**

**ZEVALLOS SOTO, Constancio Hector**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**HUANCAYO - PERÚ**

**2016**

## **TESIS**

**“SISTEMA DE BIODISCOS PARA LA REMÓCION DE CARGA  
ORGÁNICA EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES  
A NIVEL DE LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD ALAS  
PERUANAS – FILIAL HUANCAYO 2016”**

## DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a:

- A Dios por acompañarme siempre a consolidar mis objetivos; además por enseñarme que todo lo puedo lograr con dedicación, fe y amor.
- A mis padres **Ayda Soto Valdez y Héctor Zevallos Hinostraza**; por haberme apoyado en todo momento; por brindarme sus sabios consejos para tomar decisiones firmes en todas las etapas de mi vida. Y sobre todo por darme una formación académica humanística y espiritual.
- A mis hermanos Merly y Ángelo por apoyarme y estar emocionalmente siempre conmigo.

## **AGRADECIMIENTO**

La presente investigación ha sido un largo proceso de aprendizaje que no habría podido culminarse sin la ayuda de muchas personas, por lo que quiero expresar mi gratitud a todos quienes, de una u otra manera, me han acompañado en esta larga jornada.

Agradezco en primer lugar a Dios, por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

Deseo expresar un sentido agradecimiento a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS - Filial Huancayo, por acogerme como alma mater que generosamente me formó, nutrió y equipó con las teorías e instrumentos para contribuir al desarrollo del país; y que también me permitieron desarrollar este trabajo de tesis y adquirir mucha experiencia profesional.

Quisiera agradecer a mi Asesor el Ing. César Loayza Morales por sus acertadas sugerencias, grandes conocimientos y sabias orientaciones durante el desarrollo de la investigación. De igual forma agradezco al Ing. Henry Ochoa León quien enriqueció esta tesis con sus invalorable aportes y críticas. A todos mis maestros que aportaron a mi formación. Para quienes me enseñaron más que el saber científico, y a compartir el conocimiento con los demás.

Al Ing. José Manuel Valer Silva, Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Alas Peruanas - Filial Huancayo, por permitirme el uso de las instalaciones del laboratorio y por las recomendaciones realizadas.

Con profunda y absoluta sinceridad, mi agradecimiento a todos los que hice mención ya que con su aporte hicieron posible esta presentación.

# INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
INDICE DE CONTENIDOS .....	v
INDICE DE ABREVIATURAS .....	ix
INDICE DE TABLAS .....	x
INDICE DE FIGURAS .....	xi
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT .....	xv
INTRODUCCIÓN .....	xvii
CAPÍTULO I .....	18
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.1. Caracterización de la realidad problemática .....	18
1.2. Formulación del problema.....	19
1.2.1. Problema general .....	19
1.2.2. Problemas específicos.....	19
1.3. Objetivos .....	20
1.3.1. Objetivo general.....	20
1.3.2. Objetivos específicos.....	20
1.4. Justificación.....	20
1.5. Importancia.....	21
1.6. Limitaciones .....	21
CAPÍTULO II .....	22

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	22
2.1. Marco referencial.....	22
2.1.1. Antecedentes de la investigación .....	22
2.1.2. Referencias históricas.....	26
2.2. Marco legal.....	29
2.2.1. Ley.....	29
2.2.2. Resolución .....	31
2.2.3. Norma técnica.....	32
2.3. Marco conceptual .....	32
2.4. Marco teórico.....	35
2.4.1. Las aguas residuales .....	35
2.4.2. Origen y clasificación de las aguas residuales .....	39
2.4.3. Parámetros utilizados en la caracterización de AR.....	40
2.4.4. Tratamiento de aguas residuales.....	44
2.4.5. Tecnologías existentes y comunes para el tratamiento .....	
de aguas residuales.....	44
2.4.6. Sistema de biodiscos aerobio .....	58
CAPÍTULO III .....	78
3. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO .....	78
3.1. Metodología.....	78
3.1.1. Método.....	78
3.1.2. Tipo de la investigación .....	95
3.1.3. Nivel de la investigación .....	96
3.2. Diseño de la investigación.....	96

3.3. Hipótesis de la investigación .....	97
3.3.1. Hipótesis general .....	97
3.3.2. Hipótesis específicas .....	97
3.4. Variables .....	97
3.4.1. Variable independiente .....	97
3.4.2. Variable dependiente .....	97
3.5. Cobertura del estudio. ....	98
3.5.1. Universo.....	98
3.5.2. Población .....	98
3.5.3. Muestra.....	98
3.6. Técnicas e instrumentos .....	98
3.6.1. Técnicas de la investigación .....	98
3.6.2. Instrumentos de la investigación.....	99
3.7. Procesamiento estadístico de la información. ....	99
3.7.1. Estadísticos .....	99
3.7.2. Representación.....	99
3.7.3. Técnica de comprobación de la hipótesis .....	99
CAPITULO IV.....	100
4. ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	100
4.1. Resultados .....	100
4.1.1. Datos de las corridas experimentales para el blanco .....	100
4.1.2. Datos de las corridas experimentales con tratamientos .....	101
4.1.3. Parámetros de control en el sistema de biodiscos.....	105
4.2. Discusión de resultados .....	107

4.3. Contrastación de la hipótesis .....	111
4.3.1. Análisis de anova.....	111
CONCLUSIONES. ....	115
RECOMENDACIONES.....	116
BIBLIOGRAFÍA .....	117
ANEXOS.....	121

## INDICE DE ABREVIATURAS

ALL:	Aguas Lluvias
ANA:	Autoridad Nacional del Agua
ARA:	Aguas Residuales Agrícolas
ARD:	Aguas Residuales Domésticas
BRS:	Bacterias Sulfato Reductoras
CBR:	Contactador Biológico Rotatorio
DBO:	Demanda Biológica de Oxígeno
DQO:	Demanda Química de Oxígeno
ECA:	Estándares de Calidad Ambiental
EPS:	Empresa Prestadora de Servicios
FONAM:	Fondo Nacional del Ambiente
LMP:	Límites Máximos Permisibles
MINAM:	Ministerio del Ambiente
NTK:	Nitrógeno Total Kjeldahl
PTAR:	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
RLI:	Residuos Líquidos Industriales
RPM:	Revoluciones por Minuto
SST:	Sólidos Suspendidos Totales
SSV:	Sólidos Suspendidos Volátiles
TRH:	Tiempo de Retención Hidráulica
Q:	Caudal
mL:	Mililitros
Ha:	Hectárea
t:	Tiempo
s:	Segundos
L/d:	Litros/día
L/h:	Litros por hora
mg/L:	Miligramos por litro

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Principales propiedades físicas, químicas y biológicas de las aguas..... residuales.....	38
Tabla 2.2 LMP para efluentes de una PTAR.....	43
Tabla 2.3 Características típicas para reactores de biodiscos .....	75
Tabla 3.1 Ubicación del lugar de estudio .....	78
Tabla 3.2 Características del motor .....	85
Tabla 3.3 Tiempos de monitoreo.....	91
Tabla 3.4 Diseño de la investigación.....	96
Tabla 4.1 Características del agua residual, muestra blanco.....	100
Tabla 4.2 Resultados de la primera corrida experimental .....	101
Tabla 4.3 Réplica de los resultados de la primera corrida experimental .....	102
Tabla 4.4 Resultados de la segunda corrida experimental .....	102
Tabla 4.5 Réplica de los resultados de la segunda corrida experimental .....	103
Tabla 4.6 Resultados de la tercera corrida experimental .....	103
Tabla 4.7 Réplica de los resultados de la tercera corrida experimental .....	103
Tabla 4.8 Resultados de la cuarta corrida experimental .....	104
Tabla 4.9 Réplica de los resultados de la cuarta corrida experimental .....	104
Tabla 4.10 % de remoción de DQO y DBO <sub>5</sub> .....	107
Tabla 4.11 Réplica del % de remoción de DQO y DBO <sub>5</sub> .....	109
Tabla 4.12 Parámetros para análisis de hipótesis en función del caudal y el ..... porcentaje de remoción de DQO.....	111

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Componentes de la $DQO_t$ en un agua residual.....	42
Figura 2.2 Esquema de proceso de lodos activados.....	54
Figura 2.3 Proceso convencional de los CBR .....	55
Figura 2.4 Secuencia completa de tratamiento de ARD .....	57
Figura 2.5 Intercambio de aire y agua residual .....	59
Figura 2.6 Esquema de un reactor de biodiscos .....	59
Figura 2.7 Factor de corrección a la superficie necesaria de discos a una temperatura menor a 13 °C.....	66
Figura 2.8 Fases de la Biopelícula en los CBR .....	69
Figura 2.9 Flóculos generados en el tratamiento biológico .....	71
Figura 2.10 Curva de diseño para la remoción de DBO y DBO soluble .....	
en relación a la CH.....	74
Figura 3.1 Vista satelital del lugar de estudio.....	79
Figura 3.2 Construcción final del reactor.....	82
Figura 3.3 Disco de poliestireno rugoso.....	83
Figura 3.4 Sedimentador secundario .....	85
Figura 3.5 Motor-reductor .....	86
Figura 3.6 Equipo controlador de tiempo .....	87
Figura 3.7 Eje central .....	87
Figura 3.8 Chumacera .....	88
Figura 3.9 Poleas y faja .....	88
Figura 3.10 PTAR “Doris Mendoza P. – Concepción” .....	89
Figura 3.11 Obtención de los lodos.....	90
Figura 3.12 Fase de acondicionamiento .....	91
Figura 3.13 Extracción de la muestra.....	92
Figura 3.14 Filtración de los sólidos.....	93
Figura 3.15 Medición de temperatura .....	94
Figura 3.16 Muestreo .....	95
Figura 4.1 Concentración de DQO en las corridas experimentales .....	104

Figura 4.2 Concentración de DBO <sub>5</sub> en las corridas experimentales .....	105
Figura 4.3 Comportamiento de pH en las pruebas experimentales .....	106
Figura 4.4 Comportamiento de la T° en las pruebas experimentales.....	106
Figura 4.5 Comparación del % de remoción de DQO .....	107
Figura 4.6 Comparación del % de remoción de DBO <sub>5</sub> .....	108
Figura 4.7 Réplica de comparación del % de remoción de DQO .....	110
Figura 4.8 Réplica de comparación del % de remoción de DBO <sub>5</sub> .....	110
Figura 4.9 Valores individuales de % remoción DQO_1 vs. RPM Q1 L/h .....	112
Figura 4.10 Valores individuales de % remoción DQO_2 vs. RPM Q2 L/h .....	114
Figura 4.11 Extracción del agua residual del colector central de la UAP .....	122
Figura 4.12 Determinación de caudal (método cálculo de probeta) .....	122
Figura 4.13 Preparando la muestra para su análisis de laboratorio .....	123
Figura 4.14 Muestra del agua residual (pre-post tratamiento) .....	123
Figura 4.15 Módulo instalado y funcionando en el laboratorio .....	124
Figura 4.16 Visita a la PTAR “Doris Mendoza P.”- Concepción .....	124
Figura 4.17: Diagrama de bloques del circuito de fuerza y de mando .....	
para un motor trifásico .....	125

## RESUMEN

Generalmente muchos líquidos contaminantes son vertidos a las fuentes hídricas provenientes de diversas actividades antropogénicas como las domésticas, industriales, y agropecuarias sin ningún tipo de tratamiento, esta situación nos lleva a la necesidad de utilizar nuevas tecnologías para la remoción de contaminantes de las aguas residuales, una de ellas es el tratamiento biológico aerobio a través de un sistema de biodiscos.

El tratamiento de las aguas residuales “UAP – Filial Huancayo” se realizó con un flujo continuo por todo el sistema de biodiscos, sin recirculación con un caudal y velocidad rotacional de los discos variable para la parte experimental, empleando el lodo obtenido de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas “Doris Mendoza Paredes” de la provincia de Concepción, Región Junín.

El proyecto de investigación tuvo como objetivo principal determinar la influencia del sistema de biodiscos en la eficiencia de remoción de carga orgánica para el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Alas Peruanas - Filial Huancayo a nivel de laboratorio. Con tal fin se caracterizó fisicoquímicamente el agua residual de la UAP - Filial Huancayo, recopilando una muestra representativa, obteniendo un olor desagradable, color oscuro. Los parámetros de pH=8,0; Temperatura=15,5°C; DQO (mg/L)=591; DBO<sub>5</sub> (mg/L)=350,2; Sólidos Totales (mg/L)=608; Sólidos Disueltos (mg/L)=201; Sólidos Suspendidos (mg/L)=160.

El caudal determinado en el tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de biodiscos fue de 0,42 L/h para un tiempo de retención hidráulica de 48 horas; ya que alcanzó una tasa alta de disminución de carga orgánica para la DQO=92,7 mg/L y DBO<sub>5</sub>=66,9 mg/L, siendo los mejores resultados de las cuatro corridas experimentales.

La velocidad rotacional óptima de los discos en el tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de biodiscos fue de 8 RPM logrando una tasa de disminución de carga orgánica de 92,7 mg/L y 66,9 mg/L para la DQO y DBO<sub>5</sub> respectivamente, siendo los mejores resultados obtenidos de las cuatro pruebas experimentales.

En base a los resultados obtenidos al realizar el tratamiento del efluente mediante un sistema de biodiscos, se alcanzó una eficiencia de un 80,95 % para la remoción de la DQO y una eficiencia de un 79,90 % para la remoción de DBO<sub>5</sub>. Estos valores óptimos de operación se obtuvieron con un caudal de 0,42 L/h para un Tiempo de Retención Hidráulica de 48 horas a condiciones de velocidad rotacional de los discos de 8 Revoluciones por Minuto. Considerando el pH natural del efluente de 7,23 a una temperatura promedio de 15,54 °C.

## ABSTRACT

Generally many polluting liquids are discharged into water sources from various anthropogenic activities such as domestic, industrial, and agricultural without any treatment, this situation leads to the need to use new technologies to remove pollutants from wastewater and one is the aerobic biological treatment through a system biodiscs.

The treatment of wastewater "UAP - Subsidiary Huancayo" was performed with a continuous flow throughout the system biodiscs without recirculation flow and rotational speed of the variable- disks for the experimental part , using the sludge obtained Plant Domestic Wastewater treatment "Doris Mendoza Paredes" of the province of Concepción , Junín Region.

The research project's main objective was to determine the influence biodiscs system efficiency of removal of organic load for the treatment of wastewater from Alas Peruanas University - Subsidiary Huancayo in the laboratory. To this end the residual water is physicochemical characterized UAP - Subsidiary Huancayo, collecting a representative sample, obtaining an unpleasant odor, dark color. The parameters of pH = 8.0 ; Temperature = 15.5 ° C ; COD ( mg / L ) = 591 ; BOD5 ( mg / L ) = 350.2 ; Total Solids ( mg / L ) = 608 ; Dissolved Solids ( mg / L ) = 201 ; Suspended Solids ( mg / L ) = 160.

The flow rate determined in the wastewater through a system biodisc was 0.42 L / h for hydraulic retention time 48 hours ; since it reached a high rate of reduction of organic load for COD = 92.7 mg / L and BOD5 = 66.9 mg / L , with the best results of the four experimental runs.

The optimum rotational speed of the disks in the treatment of wastewater through a system of biodiscs was 8 RPM achieving a rate decrease organic loading of 92.7

mg / L and 66.9 mg / L for COD and BOD5 respectively , being the best results of the four experimental tests.

Based on the results obtained by performing effluent treatment through a system biodisc , an efficiency of 80.95 % for the removal of COD and an efficiency of 79.90 % for BOD5 removal it was reached. These optimal values were obtained operating at a rate of 0.42 L / h for Hydraulic Retention Time 48 hours to conditions of rotational speed of the discs 8 rpm. Considering the natural pH of the effluent of 7.23 at an average temperature of 15.54 °C.

## INTRODUCCIÓN

Debido al crecimiento poblacional de los últimos años la sociedad ha tenido que solventar los requerimientos básicos con el fin de satisfacer sus necesidades, pero de la misma manera esto ha traído como consecuencia la generación de aguas que contienen elementos y compuestos que disminuyen notoriamente su reutilización, por tanto es indispensable diseñar e implementar sistemas de tratamiento de este tipo de aguas, que ayuden a minimizar concentraciones de dichos compuestos y de esta manera disminuir la contaminación al medio ambiente.

Existen varios métodos para el tratamiento de aguas residuales, pero entre los más utilizados están los tratamientos biológicos, que consiste básicamente en disminuir la carga orgánica presente en el agua a partir de la actividad microbiana de algunas bacterias que se encuentran dentro de ella, disminuye así la contaminación de los recursos naturales y el medio ambiente en general.

El tratamiento de aguas residuales de forma aerobia a partir de un sistema de biodiscos, permite minimizar las cargas de materia orgánica presentes en el agua residual, manteniendo de esta manera un balance ecológico y asegurando la proyección de la biomasa.

Este es un sistema sencillo y fácil de implementar que gracias a la ayuda de una energía motriz y discos de poliestireno rugosos, se puede incrementar el oxígeno disponible en el agua cruda, permitiendo que los microorganismos realicen su metabolismo básico, descomponiendo esencialmente la materia orgánica presente en la misma y de esta forma contribuir a la preservación del recurso hídrico, el cual es el sitio de disposición final de este tipo de agua.

El presente trabajo de investigación busca relacionar la remoción de carga orgánica respecto al porcentaje de eficiencia que se generan en el proceso del tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de biodiscos por tal motivo se realizaron la variación del caudal en función al tiempo de retención hidráulica y la variación de velocidad rotacional de los discos para determinar qué relación cumplen.

## **CAPÍTULO I**

### **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Caracterización de la realidad problemática**

El calentamiento global constituye un problema ambiental que se hace cada vez más severa. Este fenómeno se da por acumulación anómala en la atmósfera de gases pesados, originados básicamente por acción antropogénica. Estos gases al acumularse aumentan la temperatura superficial de la Tierra, causando impactos ambientales como el cambio climático. Derivándose de esto uno de los problemas principales, la disponibilidad de fuentes de agua.

El agua que nos proporciona la naturaleza en sus distintas formas no reúne los requisitos para el consumo humano, si a este factor le sumamos el vertido de los productos de desecho de las áreas urbanas y de las industriales, el problema ambiental es realmente grave.

La Región Junín registra un grave problema de contaminación de sus principales fuentes de recursos hídricos como es el caso del río Mantaro, así como ha venido produciendo la contaminación de ríos y lagunas de alrededores que han provocado la extinción de diversas especies como truchas y otras especies del ecosistema hídrico.

En la provincia de Huancayo, la situación del manejo de aguas residuales es una problemática debido a la mala conducción de ello y que pueden originar problemas colaterales entre ellos el contagio de enfermedades y la contaminación ambiental, es por ello que frente a esta situación las propuestas ambientales inciden en un manejo real, consciente y responsable en la gestión de las aguas residuales.

Las aguas residuales desembocan al río Mantaro sin ningún previo tratamiento, sumándole a esto los sistemas de alcantarillado que son pésimos y que se mezclan con las aguas de lluvia e infiltraciones de terreno, es definitivamente un problema grave para la población.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿De qué manera influye el sistema de biodiscos en la eficiencia de remoción de carga orgánica en el tratamiento de las aguas residuales de la UAP - Filial Huancayo a nivel de laboratorio?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Qué características fisicoquímicas contienen los efluentes de las aguas residuales de la UAP - Filial Huancayo?
- ¿Cómo influye la variación del caudal en la remoción de carga orgánica en el tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de biodiscos?
- ¿Cuál es la velocidad rotacional óptima de los discos para la remoción de carga orgánica en el tratamiento de aguas residuales de la UAP - Filial Huancayo?
- ¿Cuál es el % de remoción de carga orgánica en el tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de biodiscos de la UAP - Filial Huancayo?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar la influencia del sistema de biodiscos en la eficiencia de remoción de carga orgánica para el tratamiento de las aguas residuales de la UAP - Filial Huancayo a nivel de laboratorio.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar fisicoquímicamente el efluente de las aguas residuales de la UAP - Filial Huancayo.
- Determinar el caudal en la remoción de carga orgánica en el tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de biodiscos.
- Evaluar la velocidad rotacional de los discos en la remoción de carga orgánica para el tratamiento de aguas residuales de la UAP - Filial Huancayo.
- Determinar el % de remoción de carga orgánica en el tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de biodiscos de la UAP - Filial Huancayo.

### **1.4. Justificación**

Con el desarrollo de la urbanización y con la diversificación de los procesos industriales, un sin número de elementos químicos elaborados por la sociedad junto a una mayor cantidad de materias orgánicas que son dispuestos en los cursos normales de agua, depositándose en lagunas, ríos y mar. La DBO aumenta y el limitado oxígeno disuelto no es suficiente para posibilitar la recuperación de dichos elementos. La naturaleza no es capaz por si sola de realizar el proceso de auto purificación de los cursos de agua. Un importante efecto de la contaminación orgánica o biológica es el peligro para la salud. En los sistemas de alcantarillado, que llevan aguas servidas sin tratamiento a los ríos, lagos y mares produce la proliferación de microorganismos que causan enfermedades como el cólera, la hepatitis

entre otros, las que se adquieren principalmente por beber agua contaminada o por consumir frutas o verduras regadas con agua contaminada.

Considerando lo mencionado y por todo ello sabemos que el agua es un recurso que está presente en la vida de todos los seres vivos de forma increíble. Por lo cual resulta trascendental conocer el desarrollo de sus procesos, tecnologías y como llega a nosotros para así crear una conciencia en la sociedad sobre la significancia de un recurso como este.

### **1.5. Importancia**

La importancia radica en que en los sistema de tratamiento de biodiscos, emplean el mismo principio de tratamientos biológicos convencionales pero, en lugar de ser fijos son giratorios; consiste en discos que rotan alrededor de un eje central, con una parte de su área total sumergida y otra al aire. El sistema de biodiscos, puede ser instalado en serie, ya sea en paralelo o de forma mixta. Además, se puede acoplar a este procedimiento un decantador, siendo los discos versátiles y aplicables con otros métodos de tratamiento que los complementen.

Sumándole el interés que puede generar este proyecto, ya que podrá servir para otros tipos de investigación, tomando como referencia alternativa para el tratamiento de aguas residuales.

### **1.6. Limitaciones**

La limitación que tiene la presente investigación es no conocer las características principales de los lodos activados que vienen a ser el contenido de microorganismos, que utilizan nutrientes en solución para el crecimiento celular contribuyendo a la limpieza del agua residual.

## **CAPÍTULO II**

### **2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

#### **2.1. Marco referencial**

##### **2.1.1. Antecedentes de la investigación**

###### **Evaluación de una planta de tratamiento de aguas servidas en base a biodiscos**

(Droppelman Cuneo, López Planes, & Wilkes, 1991).

Los objetivos de este trabajo fueron verificar parámetros de diseño y el adecuamiento a la norma, de la planta de tratamiento en base a biodiscos de San Pedro de Quillota (Chile), localidad rural de unos 3000 habitantes ubicada en la zona central de ese país. En base a dos campañas de 24 horas cada una, se determinó un aporte por habitante de 105 L/día y una carga hidráulica de 0,037 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> día y en base a una campaña de 24 horas un aporte de DBO<sub>5</sub> por habitante de 24 g/día, una carga orgánica al biodisco de 7,6 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup> día, una remoción de DBO<sub>5</sub> y de sólidos suspendidos totales en el sistema biodisco-sedimentador de 90 % (6,9 g removidos/m<sup>2</sup> día) y de 94 % respectivamente.

Los parámetros de  $DBO_5$  y sólidos suspendidos totales a la salida de la planta y el nivel de ruidos producidos cumplen con la norma. Durante el período de evaluación se presentó en los biodiscos un crecimiento excesivo de microorganismos filamentosos. En un período anterior a la evaluación presentada, cuando la población servida correspondía sólo a 2000 habitantes. Se observó una sobre producción de pequeños caracoles que acarrearón problemas de operación.

### **Depuración de agua residual con salinidad variable empleando un proceso de biodiscos**

(Castillo, Bezanilla, Amieva, Jacome , & Tejero, 1995).

Se analizó el impacto que producen las aguas residuales de concentración salina variable sobre el proceso de biodiscos (RBC). Una planta piloto de biodiscos (RBC), de 4 etapas, se operó a carga hidráulica de  $0,078 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$  y a carga orgánica de  $11,66 \text{ g DQO}/\text{m}^2.\text{d}$ , bajo distintos ciclos de agua salina + agua dulce. Durante las operaciones cíclicas de 6 h+6 h y 6 h+18 h, se obtuvo un 90 % de la eliminación de la carga orgánica afluyente. Bajo condiciones de salinidad variable, el rendimiento de la primera etapa del RBC, es menor que con agua dulce. El proceso muestra menor eliminación de la DQO a medida que el tiempo o con salinidad aumenta.

### **Modelo de flujo y expresión cinética para un sistema de biodiscos**

(Borzacconi, y otros, 1995).

Se realizaron experiencias para caracterizar el comportamiento fluido dinámico y cinético de un sistema de biodiscos rotatorios (RBC). El sistema, compuesto por cuatro módulos iguales, estaba

siendo utilizado para el tratamiento aerobio de lixiviado de Relleno Sanitario.

Para determinar el modelo de flujo se realizaron pruebas utilizando Litio como trazador. Las curvas de respuesta del sistema ajustan a un modelo de cuatro tanques agitados en serie, comportándose cada módulo como un reactor continuo agitado.

Una vez conocido el modelo de flujo se correlacionaron los datos de carga de entrada y salida de cada módulo con el fin de obtener una expresión cinética para la remoción de materia orgánica presente en el líquido a tratar. Se realizaron experiencias con cargas (referidas a la superficie total) entre 5 g DQO/m<sup>2</sup>.d y 35 g DQO/m<sup>2</sup>.d. Los datos indican en los cuatro módulos un ajuste con una cinética de orden cero respecto al sustrato. Los valores de la constante cinética global disminuyen de 21,4 g DQO/m<sup>2</sup>.d a 3,6 g DQO/m<sup>2</sup>.d al pasar del primer al cuarto modulo. Esto se corresponde con la disminución observada de la biomasa adherida a los discos, la disminución en la relación DBO/DQO y la variación en la calidad de sustrato a medida que se avanza en los módulos.

### **Tratamiento aerobio de dos efluentes industriales utilizando reactores biológicos rotativos de contacto**

(Behling, Marín, Gutiérrez, & Fernandez , 2003).

Se evaluó el tratamiento aeróbico de dos efluentes industriales utilizando reactores biológicos rotativos de contacto (RBC) bajo condiciones mesofílicas. El caudal sometido a tratamiento fue de 5,2 mL/min con un tiempo de retención hidráulica de 24 h. El RBC de 9,5 L estaba provisto de 50 discos (área de contacto total 2,443 m<sup>2</sup>). La carga orgánica promedio aplicada con las aguas de producción petrolera fue de 2,04 ± 0,27 g DQO/m<sup>2</sup>.d y con el efluente cárnico se incrementó progresivamente (7,59 ± 0,83; 12,09

$\pm 0,40$ ;  $20,01 \pm 0,96$  y  $24,45 \pm 1,21$  g DQO/m<sup>2</sup>.d), debido al alto contenido de materia orgánica en la muestra inicial (12250 mg DQO/L). Se evaluaron los siguientes parámetros: Demanda Química de Oxígeno (DQO), pH, alcalinidad total, Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV). Para el efluente cárnico, los resultados muestran que el sistema remueve eficientemente altas concentraciones de materia orgánica, obteniéndose  $87,9 \pm 5,2$  % como valor promedio de remoción de DQO, para una carga orgánica promedio de  $15,67 \pm 6,73$  g DQO/m<sup>2</sup>.d. Para el efluente petrolero, se encontró  $76,1 \pm 5,9$  % como valor promedio de remoción de DQO. Es necesario evaluar un postratamiento para disminuir los valores de los parámetros fisicoquímicos evaluados a los límites de descarga permisibles a cuerpos de aguas superficiales establecidos por las normas venezolanas.

### **Remoción de materia orgánica en aguas residuales de rastro por el proceso de contactor biológico rotacional**

(Castillo, Bolio Rojas, Méndez Novelo, & Osorio Rodríguez, 2012)

En el trabajo de investigación para el tratamiento de aguas residuales de rastro del proceso de contactor biológico rotacional (CBR) mencionan los siguientes resultados. Se diseñó y construyó un reactor (escala piloto) para determinar la eficiencia del tratamiento en el que se probaron las cargas orgánicas de 6,6; 12,2 y 11,6 g DQO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>/d a 30 rpm a las que les correspondieron tiempos de retención hidráulica (TRH) DE 47,4; 31,6 y 23,7 horas.

Los resultados demostraron que la carga orgánica más eficiente fue la de 12,2 g DQO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>.d, con una remoción como DQO<sub>5</sub> de 98,35 %, una DBO<sub>5s</sub> de 97,96 %; 62,11 % de remoción de nitrógeno Kjeldahl total, eliminación de 37,81 % de sólidos totales, 48,33 % de

remoción de sólidos suspendidos totales y 70,0 % de reducción (consumo) de alcalinidad.

### **Tratamiento de efluentes de fosas sépticas mediante el uso de un sistema de contactor biológico rotatorio**

(Castillo Borges, y otros, 2012).

En el trabajo de investigación realizado, se presentan los resultados de un proceso tipo contactor biológico rotatorio (CBR) a escala piloto para el tratamiento de efluentes de fosas sépticas. El reactor CBR fue operado con tres cargas orgánicas (5,2; 15,9 y 17,2 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>-d) y dos velocidades de rotación (15 y 30 rpm). Se midieron las eficiencias de remoción de DQO, DBO<sub>5</sub>, NKT y N-NH<sub>3</sub>, y se determinó mediante un análisis factorial cuáles eran las mejores condiciones de operación. Se demostró que la variable que más afecta al proceso es la carga orgánica aplicada; a menor carga, mayor eficiencia (casi 90 % para DQO y DBO<sub>5</sub>). La velocidad de rotación resultó significativa para la remoción de materia nitrogenada. La combinación más eficiente para la remoción de materia orgánica fue con 5,2 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>-d y con una velocidad de rotación de 30 rpm, que equivale a una velocidad tangencial de 16,49 m/min.

#### **2.1.2. Referencias históricas**

El primer contactor biológico rotatorio (CBR) fue desarrollado en Alemania por Weigand en 1900, cuya patente describe un cilindro formado de tablillas de madera. Sin embargo, no se construyeron más unidades hasta la década de 1930 cuando Bach e Imhoff lo probaron como sustituto para el tanque Emscher. Estas unidades experimentaron severos problemas debidos a obstrucciones en las tablillas, por lo que las investigaciones no continuaron.

En los Estados Unidos se reporta la invención de la rueda biológica por Maltby en 1929, que consistía en una serie de ruedas de paletas giratorias. En el mismo año Doman reporta sus ensayos con placas de acero rotatorias. No obstante que no fueron empleados para el tratamiento de aguas residuales, esta fue la primera vez que los discos fueron investigados como medios de contacto, pero los resultados no fueron satisfactorios y se dejaron las investigaciones. Nada había sido desarrollado en Europa hasta finales de 1950 cuando primero Hartman y después Popel, en la Universidad de Stuttgart, realizaron pruebas exhaustivas usando discos de plástico de 1,0 m de diámetro. Casi al mismo tiempo el poliestireno expandido se empezó a usar como un material de construcción barato. Con este nuevo material el trabajo desarrollado por Hartman y Popel concluyó en un nuevo proceso de tratamiento de aguas residuales.

En 1957, la compañía J. Conrad Stengelin en Tuttlingen, Alemania, comenzó a fabricar discos de poliestireno expandido de 2 m y 3 m de diámetro para el uso en plantas de tratamiento de aguas residuales. La primera instalación comercial entró en operación en 1960, y su uso se extendió rápidamente en toda Europa por su simplicidad y bajo consumo de energía. En 1980 existían 1,000 instalaciones localizadas principalmente en Alemania, Suiza y Francia, las demás se encuentran en Italia, Austria, Gran Bretaña y Escandinavia. La mayoría de estas instalaciones son para poblaciones menores a 1,000 habitantes, sólo había unas cuantas instalaciones con capacidad de hasta 10,000 habitantes. Aunque ofrece gran simplicidad en su operación y bajos consumos de energía, el sistema de discos de poliestireno ha sido restringido a pequeñas instalaciones debido a los altos costos de construcción

en comparación con el proceso de lodos activados. (Solorio Perusquia, 1988).

En el inicio de los años sesenta, en EUA, la división de investigación de la compañía Allis-Chalmers analiza el uso de discos rotatorios para diversas aplicaciones en procesos químicos. El procedimiento se denominó Contactor de dos fases (TPC) y fue utilizado para absorción de gases, extracción líquido-líquido, transferencia de masa y, eventualmente, para estudiar la transferencia de oxígeno. Durante el verano de 1965, se evaluó un sistema con discos de 1 m de diámetro en la planta de Jones Island en Wisconsin. Fundamentalmente, se utilizó el equipo para la transferencia de oxígeno dentro de un proceso de aireación; luego, fue probado sin recirculación y con biomasa adherida (como un reactor biológico de contacto). Experimentos posteriores confirmaron los resultados favorables de estas pruebas. El proceso fue designado como Rotating Biological Contactor, RBC (Alleman, 1982).

En 1968, se establece un acuerdo de licencia entre la compañía Allis-Chalmers y los fabricantes alemanes para efectuar la producción, venta y distribución en EUA. Se vende el proceso con el nombre comercial de Bio-Disc. La primera instalación comercial entró en operación en Estados Unidos para una pequeña fábrica de queso en 1969. (Solorio Perusquia, 1988).

En 1970, Allis-Chalmers vende la tecnología del RBC a la Corporación Autotrol. El proceso aún no era competitivo debido al alto costo del poliestireno. Sin embargo, en 1972 Autotrol anuncia el desarrollo de un nuevo material de soporte construido con hojas corrugadas de polietileno. La densidad de área superficial ( $52.5 \text{ m}^2/\text{m}^3$  del disco de poliestireno) aumenta a  $121 \text{ m}^2/\text{m}^3$  con el nuevo material. (Alleman, 1982).

En la década de los 90, Friedman y Tait desarrollaron investigaciones con sistemas de biodiscos anaerobios (AnRBC) con aguas de alta concentración cuyo principal objetivo fue comprobar las condiciones en las cuales microorganismos metanogénicos y no-metanogénicos se desarrollan exitosamente en la superficie de discos rotatorios, además, el desarrollo de modelos para la predicción de remoción de sustratos orgánicos solubles en función de la tasa de alimentación. Estos estudios incluyeron el aprovechamiento del gas metano producido como fuente de energía de la unidad CBR.

Durante los años de 1980 a 2000 se desarrollaron estudios exhaustivos de aplicación de sistemas de CBR en aguas residuales municipales e industriales, sobre todo en la remoción de nutrientes, realizándose modificaciones de diseño y registrando su respectiva eficiencia. Las tendencias europeas actuales de este sistema se enfocan a la integración de sistemas compactos con altos valores de superficie de contacto, desarrollándose distintas patentes que proporcionan tratamiento desde 10 a 10,000 habitantes equivalentes. En Alemania y Suiza el empleo de discos rotatorios está ampliamente extendido en las plantas de tratamiento pequeñas. En EUA este tipo de plantas ha sido usado en plantas de todos los tamaños durante los años 70. (Henze *et al*, 2002).

## **2.2. Marco legal**

### **2.2.1. Ley**

#### **Constitución Política del Perú de 1993**

En el artículo 2 inciso 22, dice: Todas las personas tienen derecho a la paz, a la tranquilidad, a la salud y al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.

### **Ley N° 29338, Ley General de Recursos Hídricos**

Título V; capítulo VI: Vertimientos de aguas residuales tratadas

Artículo 135°, Prohibición de efectuar vertimientos sin previa autorización.

En ningún caso se podrá efectuar vertimientos de aguas residuales sin previo tratamiento en infraestructuras de regadío, sistemas de drenaje pluvial ni en los lechos de quebrada seca.

### **Ley N° 28611, Ley General del Ambiente**

Artículo 120°, Menciona que el estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fines de sus reutilización, considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria para su reusó, sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizarán.

Artículo 122°, Corresponde a las entidades responsables de los servicios de saneamiento la responsabilidad por el tratamiento de los residuos líquidos domésticos y de las aguas pluviales.

### **Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental y su Reglamento**

Artículo 2°, Se establece el ámbito de la Ley, la que dice: quedan comprendidos en el ámbito de aplicación de la presente ley, los proyectos de inversión públicos y privados que impliquen actividades, construcciones u obras que puedan causar impactos ambientales negativos.

### **Ley N° 26338, Ley General de Saneamiento**

Artículo 150°, Los usuarios de los servicios de saneamiento tienen la obligación de hacer uso adecuado de dichos servicios, no dañar la infraestructura correspondiente.

### **Ley N° 26842, Ley General de Salud**

Artículo 103°, Señala que toda persona natural o jurídica está impedida de efectuar descargas de desechos o descargas

contaminantes en el agua, el aire o el suelo, sin haber adoptado las precauciones de depuración en la forma que señalan las normas sanitarias y de protección del ambiente.

Así también, el artículo 107°, Indica que el abastecimiento de agua, alcantarillado, disposición de excretas, reúso de aguas servidas y disposición de residuos sólidos quedan sujetos a las disposiciones que dicta la autoridad de salud competente, la que vigilará su cumplimiento.

**Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos y su reglamento**

El artículo 10°, Menciona la obligación de todo generador a acondicionar y almacenar de forma segura, sanitaria y ambientalmente adecuada los residuos, previo a su entrega la EPS-RS o a la EC-RS o municipalidad, para continuar su manejo hasta su disposición final.

El artículo 18°, Está prohibido el abandono, vertido o disposición de residuos en lugares no autorizados por la autoridad competente o aquellos establecidos por ley.

**2.2.2. Resolución**

**Resolución Ministerial N°121-2009-MINAM**, Se aprobó el plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) Y Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Fuentes Domésticas.

**Resolución Jefatural N°202-2010-ANA**, Que aprueba la clasificación de cuerpos de aguas superficiales y marino-costeras.

**Resolución Jefatural N°182-2011-ANA**, Que aprueba el protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales.

### 2.2.3. Norma técnica

**Decreto Supremo N°002-2008-MINAM**, Que aprueba los Estándares Nacionales de Calidad de Agua.

**Decreto Supremo N°023-2009-MINAM**, Que aprueba las disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.

**Decreto Supremo N°003-2010-MINAM**, Aprobación de Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.

### 2.3. Marco conceptual

- **Agente contaminante:** Viene a ser toda aquella sustancia cuya incorporación a un cuerpo de agua conlleve el deterioro de la calidad física, química o biológica de este.
- **Agua residual:** Es el residuo líquido transportado por una alcantarilla, el cual puede incluir descargas domésticas industriales, así como también aguas lluvias, infiltraciones y flujos de entrada. Agua que ha recibido un uso y cuya calidad ha sido degradada por la incorporación de agentes contaminantes.
- **Aireación:** Técnica que se utiliza en el tratamiento de aguas que exige una fuente de oxígeno, conocida comúnmente como purificación biológica aeróbica del agua. El agua es traída para ponerla en contacto con las gotitas de aire o rociando el aire se trae en contacto con agua por medio de instalaciones de la aireación. El aire es presionado a través de la superficie del agua, este burbujea y el agua se provee de oxígeno.
- **Biomasa:** Materia orgánica originada en un proceso biológico.
- **Biopelícula:** (Biofilm) Es un ecosistema microbiano organizado, conformado por uno o varios microorganismos asociados a una superficie viva o inerte, con características funcionales y estructuras

complejas. Este tipo de contaminación microbiana ocurre cuando las células planctónicas se adhieren a una superficie o sustrato, formando una comunidad, que se caracteriza por la excreción de una matriz extracelular adhesiva protectora.

Una biopelícula puede contener aproximadamente un 15% de células y un 85% de matriz extracelular. Esta matriz generalmente está formada de ex polisacáridos, que forman canales por donde circulan agua, enzimas, nutrientes y residuos. Allí las células establecen relaciones y dependencias: viven, cooperan y se comunican a través de señales químicas (percepción de quórum), que regulan la expresión de genes de manera diferente en las distintas partes de la comunidad, como un tejido en un organismo multicelular.

- **Carga orgánica:** Son los kilogramos, libras, toneladas, etc. de DBO por volumen de agua residual, generalmente se da en kilogramos de DBO/día (kg DBO/día).
- **Carga orgánica superficial:** Es la carga orgánica en una superficie dada de tratamiento. Generalmente se da en kg DBO/m<sup>2</sup> o kg DBO/ha<sup>2</sup> (ha=hectárea).
- **Caudal:** Volumen de agua por unidad de tiempo.
- **Cuerpo receptor:** Es todo aquel manantial, zonas de recarga, río, quebrada, arroyo permanente o no, lago, laguna, marisma, embalse natural o artificial, estuario, manglar, tubería, pantano, agua dulce, salobre o salada, donde se vierten aguas residuales.
- **DBO (Demanda Biológica de Oxígeno):** La cantidad de oxígeno (medido en mg/L) que es requerido para la descomposición de la materia orgánica por los organismos unicelulares, bajo condiciones de prueba. Se utiliza para medir la cantidad de contaminación orgánica en aguas residuales.

- **DBO<sub>5</sub>:** La cantidad de oxígeno disuelto consumido en cinco días por las bacterias que realizan la degradación biológica de la materia orgánica.
- **DQO:** Es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en dióxido de carbono y agua”. La DQO se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mg O<sub>2</sub>/L).
- **Diseño de sitio:** Es el plano de ingeniería en el cual se indica toda la infraestructura interrelacionada con una obra a desarrollar, se hace a una escala donde se muestren todas las obras a construir y existentes con los retiros a colindancias y cuerpos de agua.
- **Efluente del sistema de tratamiento:** En el manejo de aguas residuales, es el caudal que sale de la última unidad de tratamiento.
- **Lodos:** Residuo semisólido. Que contiene microorganismos y sus productos, de cualquier sistema de tratamiento de aguas.
- **Lodo activado:** Proceso biológico dependiente del oxígeno que sirve para convertir la materia orgánica soluble en biomasa sólida, que es eliminada por gravedad o filtración.
- **Muestras compuestas:** Dos o más muestras simples que se han tomado y se han mezclado en proporciones conocidas y apropiadas para obtener un resultado representativo de su calidad a intervalos de tiempos definidos.
- **Proyecto:** Conjunto de planos, cálculos y demás documentos pertinentes para la planificación y definición de una planta de tratamiento de aguas residuales.
- **Red:** Es la distribución de acueductos y alcantarillas en base a un diseño.
- **Sedimentación:** Es el proceso en donde el floculo se trasladan a un tanque, donde por su propio peso se precipitan.

- **Sistema de tratamiento:** Conjunto de operaciones y procesos físicos, químicos y/o biológicos, cuya finalidad es depurar la calidad del agua residual a la que se aplican.
- **TRH (Tiempo de Retención Hidráulica):** Tiempo teórico de permanencia del agua en el volumen del reactor.

## 2.4. Marco teórico

### 2.4.1. Las aguas residuales

Se define como agua residual aquella que procede del empleo de un agua natural o de la red de un uso determinado. Las aguas residuales, además de patógenos contienen otras muchas sustancias contaminantes; definir de una forma exacta lo que es un agua residual es complejo, ya que está en función de las características que se den en cada población o industria, y también depende del sistema de recogida que se emplee. (Metcalf & Eddy, 1995).

#### 2.4.1.1. Características

Las aguas residuales domésticas contienen aproximadamente un 99.9% de agua y el resto está constituido por materia sólida, los residuos sólidos están conformados por materia mineral y materia orgánica, el material mineral proviene de subproductos desechados durante la vida cotidiana y de la calidad de las aguas de abastecimiento. La materia orgánica proviene exclusivamente de la actividad humana y está compuesta por materia carbonácea, proteínas y grasas. (Romero Rojas, 2002).

A continuación se incluye algunos de los constituyentes más comunes de las aguas residuales domésticas.

### **A) Características físicas**

Las características físicas del agua residual son los sólidos, estos son compuestos que están flotando en el agua residual, sea suspendidos o disueltos comúnmente expresado en mg/L. La temperatura que es por lo general mayor que el abastecimiento, expresado en °C. El color que es causado por los sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución, si el color es gris oscuro o negro, se trata en general de aguas sépticas que han sufrido una fuerte descomposición bacterial bajo condiciones anaeróbicas (en ausencia de oxígeno).

El olor que es producto de la descomposición biológica bajo condiciones anaeróbicas del agua residual, un agua residual fresca tiene un olor desagradable mientras que las aguas residuales sépticas tienen un olor ofensivo. (Crites & Tchobanoglous, 2000).

### **B) Características químicas**

Los constituyentes químicos de las aguas residuales son con frecuencia clasificados en inorgánicos y orgánicos. Dentro de los inorgánicos está la concentración del ion Hidrógeno (pH), su concentración permite un tratamiento eficaz de las aguas residuales. El nitrógeno (N) y el fosforo (P), estas son esenciales para el crecimiento biológico y evaluar la tratabilidad de las aguas residuales para tratamientos biológicos, el contenido de total del nitrógeno está compuesto por nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico y la forma más frecuente en que se puede encontrar el P incluye los ortofosfatos, polifosfatos y fosfato orgánico.

Dentro de los orgánicos está la demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (estabilizar) la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias, se suele referir al consumo en 5 días ( $DBO_5$ ), también suele emplearse ( $DBO_{21}$ ) días. Se mide en ppm de  $O_2$  que se consume ( $mg/L - O_2$ ). (Crites & Tchobanoglous, 2000).

### **C) Características biológicas**

Las características biológicas de las aguas residuales son importantes para el control de enfermedades causadas por organismos patógenos de origen humano, por el papel activo y fundamental de las bacterias y otros organismos dentro de la descomposición y estabilización de la materia orgánica, bien sea en el medio natural o en plantas de tratamiento de aguas residuales. Se encuentran las bacterias quienes cumplen un papel fundamental y de gran importancia en la descomposición y estabilización de la materia orgánica, las bacterias que se encuentran con mayor frecuencia son las bacterias entéricas que colonizan el tracto gastrointestinal del hombre y son eliminadas a través de la materia fecal.

Los coliformes que se utilizan como organismos indicadores de contaminación en otras palabras, como un indicador de la existencia de organismos productores de enfermedad.

Cada persona evacua de  $1 \times 10^5$  a  $4 \times 10^5$  de coliformes al día. En aguas tratadas, los coliformes totales funcionan como un alerta de que ocurrió contaminación. (Crites & Tchobanoglous, 2000).

Tabla 2.1 Principales propiedades físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales

<b>Características</b>	<b>Procedencia</b>
<b>Propiedades Físicas</b>	
Color, olor, temperatura	A.R. domésticas e industriales
<b>Constituyentes Químicos Orgánicos</b>	
Carbohidratos, grasas, aceites	A.R. domésticas, industriales y comerciales
Pesticidas	Residuos agrícolas
Fenoles	Vertidos industriales
Proteínas	A.R. domésticas, industriales y comerciales
Compuestos orgánicos volátiles	A.R. domésticas, industriales y comerciales
Contaminantes prioritarios	A.R. domésticas, industriales y comerciales
<b>Constituyentes Químicos Inorgánicos</b>	
Alcalinidad	A.R. domésticas, agua de suministro
Cloruros	A.R. domésticas, agua de suministro
Ph	A.R. domésticas, industriales y comerciales
Fósforo	A.R. domésticas, industriales y comerciales
Contaminantes prioritarios	A.R. domésticas, industriales y comerciales
Azufre	A.R. domésticas, agua de suministro
<b>Gases</b>	
Sulfuro de Hidrógeno	Descomposición de residuos domésticos
Metano	Descomposición de residuos domésticos
Oxígeno	Agua de suministro, infiltración de agua superficial
<b>Constituyentes Biológicos</b>	
Animales, Plantas	Cursos de agua y plantas de tratamiento

Protistas	A.R. domésticas, plantas de tratamiento, infiltración.
Virus	Aguas residuales domésticas

Fuente: (Cisterna, 2003)

#### 2.4.2. Origen y clasificación de las aguas residuales

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

- Componentes suspendidos:
  - Gruesos (inorgánicos y orgánicos)
  - Finos (inorgánicos y orgánicos)
- Componentes disueltos:
  - Inorgánicos
  - Orgánicos

En general las aguas residuales se clasifican así:

##### 2.4.2.1. Aguas residuales domésticas (ARD)

Son las provenientes de las actividades domésticas de la vida diaria como lavado de ropa, baño, preparación de alimentos, limpieza, etc. Estos desechos presentan un alto contenido de materia orgánica, detergentes y grasas. Su composición varía según los hábitos de la población que los genera. (Metcalf & Eddy, 1995).

##### 2.4.2.2. Aguas lluvias (ALL)

Son las originadas por el escurrimiento superficial de las lluvias que fluyen desde los techos, calles, jardines y demás superficies del terreno. Los primeros flujos de ALL son generalmente muy contaminados debido al arrastre de basura y demás materiales acumulados en la superficie. La naturaleza de esta agua varía según su procedencia: zonas urbanas, rurales, semi rurales y aún dentro de estas zonas se presentan enormes variaciones según el

tipo de actividad o uso del suelo que se tenga. (Metcalf & Eddy, 1995).

#### **2.4.2.3. Residuos líquidos industriales (RLI)**

Son los provenientes de los diferentes procesos industriales. Su composición varía según el tipo de proceso industrial y aún para un mismo proceso industrial, se presentan características diferentes en industrias diferentes. Los RLI pueden ser alcalinos o ácidos, tóxicos, coloreados, etc. Su composición refleja el tipo de materias primas utilizado dentro del proceso industrial. (Metcalf & Eddy, 1995).

#### **2.4.2.4. Aguas residuales agrícolas (ARA)**

Son las que provienen de la escorrentía superficial de las zonas agrícolas. Se caracterizan por la presencia de pesticidas, sales y un alto contenido de sólidos en suspensión. La descarga de esta agua es recibida directamente por los ríos o por los alcantarillados. (Metcalf & Eddy, 1995).

### **2.4.3. Parámetros utilizados en la caracterización de AR**

#### **A) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

La DBO es una medida del consumo de oxígeno debido a la oxidación biológica de la materia orgánica y el amonio presente en un efluente que ocurriría cuando las aguas residuales son descargadas en un cuerpo receptor (lagos, ríos mares, etc.); se expresa en mg DBO/L. La DBO es un parámetro muy importante desde el punto de vista del impacto del agua residual en el cuerpo receptor ya que un valor alto de DBO indica un alto potencial de consumo de oxígeno. Por otra parte, debido a que la oxidación de la materia orgánica es llevada a cabo por

microorganismos, se dice que la DBO es una medida de la materia orgánica biodegradable. A pesar de su importancia, es un test muy poco práctico ya que los resultados se obtienen como mínimo en 5 días. (Davis & Masten, 2001).

### **B) Demanda química de oxígeno (DQO)**

Otro parámetro muy utilizado para estimar el contenido de materia orgánica en aguas es la DQO. En esta determinación, los compuestos orgánicos son oxidados por dicromato de potasio en medio sulfúrico a 150 °C durante 2 horas. El ensayo debe realizarse en presencia de un catalizador, sulfato de plata y mercurio, para facilitar la oxidación de los compuestos orgánicos así como para evitar interferencias de cloruros. La mayoría de los compuestos son oxidados completamente y solamente en algunos hidrocarburos aromáticos y piridinas la oxidación puede resultar parcial. En las condiciones de ensayo, el amonio tampoco puede ser oxidado, razón por la cual no interfiere en los resultados. Este test es relativamente fácil de realizar y los resultados se obtienen en pocas horas, por ello es ampliamente utilizado en estudios de laboratorio. (Cairncross, 1990).

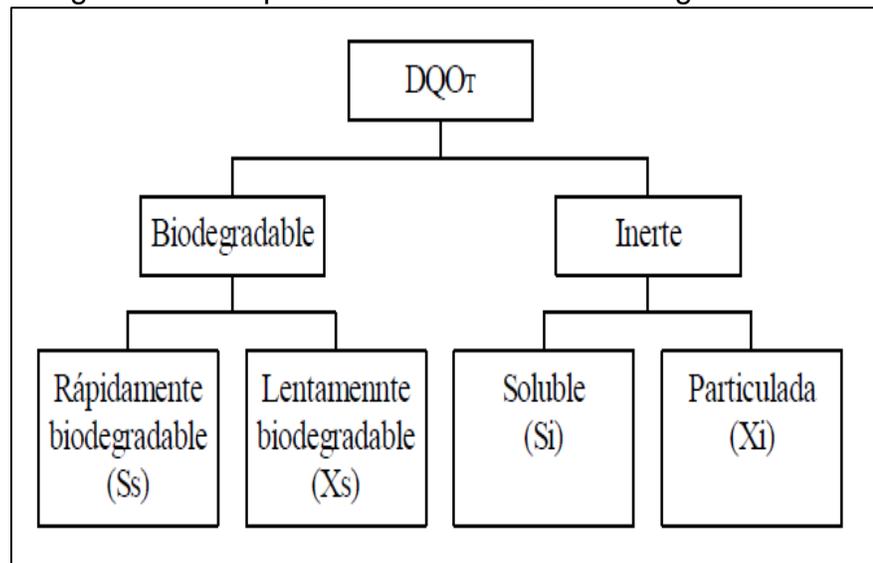
Los resultados se expresan como la cantidad equivalente de oxígeno que se hubiera consumido para oxidar la materia orgánica presente (mg DQO/L). Resulta evidente que la DQO total de un agua residual ( $DQO_T$ ) es una medida que engloba diferentes tipos de sustancias tanto en solución como en suspensión (Figura 2.1).

Por un lado, la DQO presente en el agua residual puede ser biodegradable o inerte (no biodegradable). A su vez, es posible que existan componentes solubles y particulados. La DQO biodegradable soluble se asocia a compuestos como ácidos

grasos de cadena corta, carbohidratos y alcoholes, los cuales pueden ser utilizados directamente por los microorganismos para su desarrollo.

La DQO biodegradable particulada corresponde a moléculas de alto peso molecular que por hidrólisis se descomponen dando sustrato soluble. Algunos autores incluso hacen una distinción entre hidrólisis rápida y lenta; sin embargo, estas diferentes fracciones son muy difíciles de identificar. (Cairncross, 1990).

Figura 2.1 Componentes de la DQO<sub>t</sub> en un agua residual



Fuente: (Cairncross, 1990)

### C) Sólidos suspendidos totales (SST)

Es el peso de la materia secada durante dos horas a 105 °C contenida en un cierto volumen de muestra; se expresan en mg SST/L. En sistemas modelo y cultivos puros representa aproximadamente la masa microbiana, no así en lodos activados donde puede existir una proporción importante de materia inorgánica. (Perez, 1984).

#### D) Sólidos suspendidos volátiles (SSV)

Es el peso de los compuestos que pueden ser volatilizados a 600 °C durante 15 minutos contenidos en un cierto volumen de muestra y se asocian a la cantidad de materia orgánica en suspensión o a los microorganismos presentes en un sistema determinado; se expresa en mg SSV/L. La diferencia entre los SST y los SSV corresponde a los sólidos suspendidos fijos (SSF) y son una medida de la fracción inorgánica (sales) presente en la muestra expresados como mg SSF/L. (Perez, 1984)

#### E) Nitrógeno total Kjeldahl (NTK)

Representa la concentración total de todos los compuestos de nitrógeno presentes en una muestra y se expresa en mg N/L.

#### 2.4.3.1. Norma nacionales de control de calidad de aguas

Tabla 2.2 LMP para efluentes de una PTAR

Parámetro	Unidad	LMP Efluentes para Vertidos a Cuerpos de Agua
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	10.000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6,5 – 8,5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: (MINAM, 2010)

#### **2.4.4. Tratamiento de aguas residuales**

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales son un conjunto integrado de operaciones y procesos físicos, químicos y biológicos, que se utilizan con la finalidad de depurar las aguas residuales hasta un nivel tal que permita alcanzar la calidad requerida para su disposición final, o su aprovechamiento mediante el reúso. (Metcalf & Eddy, 1995).

#### **2.4.5. Tecnologías existentes y comunes para el tratamiento de aguas residuales**

El tratamiento de aguas residuales consta de etapas o procesos con diferentes características que contribuyen a un nivel de purificación. Dentro de los procesos del tratamiento se encuentra la autodepuración. En esta etapa, los microorganismos y algas comparten la función de descomponer los desechos, gracias a la metabolización de las sustancias. Es aquí cuando se transforman todas las sustancias simples en dióxido de carbono, nitrógeno, entre otras. También cabe señalar que dentro del proceso de autodepuración, se encuentra la acción de microorganismos para absorber sustancias orgánicas. (Metcalf & Eddy, 1995).

A pesar de estos procesos de descomposición orgánica, debemos eliminar patógenos que causan enfermedades a la salud e higiene de las personas. Esta eliminación requiere de fases que tengan como resultado estándares que cuiden el bienestar humano y ambiental. Todas estas fases se realizarán dentro de una planta, llamada planta de tratamiento de aguas residuales. Es un área destinada a la recuperación del agua, mediante procesos físicos, químicos y biológicos. De acuerdo a la calidad de agua que se desea obtener en el proceso de reutilización se colocan más exigentes los estándares de calidad. Con respecto a la planta de

tratamiento, se deberá buscar en todo momento, un diseño eficiente y económico que satisfaga la necesidad de la población específica en un tiempo específico, incluyendo un plan de mantenimiento y revisión constante. En nuestra sociedad, hemos podido observar a través de la historia, la carencia de una cultura de operatividad y mantenimiento en los sistemas de agua y desagüe. Es así que también se busca en una planta de tratamiento, que el diseño se amolde a la realidad nacional, sin que esta involucre efectos secundarios como por ejemplo malos olores, que incomoden y hagan peligrar la salud de las personas que habitan cerca. Finalmente, en el diseño de una planta de tratamiento se busca tener mucho cuidado en aspectos como el caudal, el uso final del agua tratada, el área empleada, la viabilidad económica, entre otros. (FONAM, 2010).

A continuación se describirán los procesos que ocurren dentro de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, desde el pre-tratamiento, tratamiento primario y secundario, finalmente describir el tratamiento terciario, el cual no siempre es utilizado.

#### **A) Pre – tratamiento**

El pre-tratamiento es un proceso mediante el cual se busca reducir y quitar las partículas sólidas que podrían causar problemas en los procesos físicos o biológicos. Es decir, se trata de descomponer el material en una cantidad y tamaño razonable, esto también involucra la separación de elementos que no son orgánicos. Dentro del pre-tratamiento se encuentran procedimientos que minimizan la carga sólida antes que entre al tratamiento primario para su mayor eficiencia, es así que se tiene:

- I. **Desbaste:** Procedimiento que consiste en la separación de partículas de tamaños considerables mediante el uso de rejillas. El tamaño de las partículas separadas es elegido de acuerdo al tipo de tratamiento posterior que se le dará. Se tienen diferentes tamaños entre los cuales se puede señalar como importantes los siguientes: (FONAM, 2010)
  - i. **Desbaste fino:** Con separación libre entre barrotes de 10 mm – 25 mm.
  - ii. **Desbaste grueso:** Con separación libre entre barrotes de 50 mm – 100 mm. En cuanto a los barrotes, estos han de tener unos espesores mínimos según sea: Reja de gruesos: entre 12 mm – 25 mm. Reja de finos: entre 6 mm – 12 mm. Además estas rejillas tienen características de su uso, como la limpieza manual o automática.
  
- II. **El tamizado:** Es un procedimiento similar al desbaste pero su calidad de separación de partículas es más minuciosa. Así tenemos dimensiones de orificios de paso del tamiz como: (FONAM, 2010)
  - i. **Macrotamizado:** Se lleva a cabo sobre chapa perforada o enrejado metálico con paso superior a 0,2 mm. Se emplea para retener materias en suspensión, flotantes, semiflotantes, residuos vegetales o animales de tamaño entre 0,2 mm y varios milímetros.
  - ii. **Microtamizado:** Se utiliza como material tela metálica o plástica de malla inferior a 100 micras. Es empleado para eliminar materias en suspensión

muy pequeñas contenidas en aguas residuales pre tratadas. En casos especiales, los tamices se incluirán en el pre tratamiento de una estación depuradora.

**iii. Desarenador:** Los desarenadores son filtros que tienen por finalidad separar partículas superiores a 200 micras. Este procedimiento es necesario para evitar que los sedimentos entren a los equipos o bombas, además de proteger los aparatos de la abrasión. El sub proceso dará una eliminación del 90%. (FONAM, 2010).

**III. Desaceitado y desengrasador:** En esta etapa se tiene como objetivo eliminar grasas, aceites y materiales flotantes ligeros en el agua. El desaceitado es un sub proceso que consiste en separar los materiales líquido-líquido, mientras que el desengrase separa los materiales sólido-líquido. En los dos casos se eliminan por la insuflación de aire, para desemulsionar las grasas y mejorar la flotabilidad. Este proceso se podría realizar en los decantadores primarios, si estos están provistos de unas rasquetas superficiales de barrido. Sin embargo, la cantidad y el volumen de las partículas generarían problemas haciendo que el proceso sea ineficiente. Si se junta el desaceitado y el desengrasador en el mismo compartimiento, se sugiere tener una zona de tranquilización, donde tanto en la zona superficial como en la zona de fondo, se puedan evacuar los residuos que son indiferentes en el proceso. (FONAM, 2010).

## **B) Tratamiento primario**

Después de haber retirado elementos sólidos de tamaños mayores, el tratamiento primario tiene como objetivo remover los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, para disminuir la carga que se tratará biológicamente en el proceso posterior. Los procesos que involucran el tratamiento primario son: (FONAM, 2010).

**I. Sedimentación:** Este proceso depende de los pesos específicos de los sólidos, debido a que determinará su comportamiento. Algunos sólidos que tienen el peso específico mayor que el agua sedimentada pasarán a sedimentarse y las partículas que tiene peso específico menor flotarán. También se puede encontrar la sedimentación floculenta que consiste en ir generando mayor velocidad en las partículas sólidas que van cayendo a la superficie por aumento de tamaño de las mismas. Este aumento de tamaño se origina generalmente por floculación, es decir por la acción de barrido o por turbulencias que tiene como resultado agrupar material. (FONAM, 2010).

Finalmente se tiene la sedimentación primaria la cual tiene como objetivo el remover las partículas que son sedimentables.

**II. Coagulación y floculación:** La coagulación y floculación tienen como objetivo retirar los sólidos en suspensión y las partículas coloidales. Debido a que estos procesos actúan casi simultáneamente, muchas veces no se logran diferenciar sus funciones. En el caso de la coagulación se genera la desestabilización de la suspensión coloidal y la floculación genera modificaciones en el transporte de

sólidos, evitando que se junten y unan, tratando de minimizar las partículas. La coagulación es un proceso que utiliza un reactivo químico llamado coagulante al cual se debe controlar su comportamiento de pH. Los coagulantes más utilizados en el mercado son el sulfato de alúmina, sulfato férrico, cloruro férrico. (Metcalf & Eddy, 1995).

Los coagulantes metálicos son los más usados en la clarificación de aguas y eliminación de DBO y fosfatos de aguas residuales. Tiene como ventaja trabajar como coagulantes-floculantes al mismo tiempo. La floculación es un proceso de separación de líquido-sólido de las partículas suspendidas en aguas residuales. Este método sirve para remoción de grasas, aceites y sólidos de densidad baja. Para lograr que los sólidos lleguen a flotar de una manera artificial y con mayor velocidad, se busca ayuda de instrumentos como el compresor de aire, la válvula reductora de presión y el tanque de presión. El proceso de floculación se realiza inyectando aire a las aguas residuales crudas, o el efluente recirculado del tanque de flotación, este se mezcla nuevamente con las aguas residuales crudas. Los floculantes más usados son los oxidantes, adsorbentes y sílice activa.

Los factores que influyen en los procesos de coagulación y floculación son la velocidad, el pH y el tiempo. Estos factores pueden originar que las partículas se desintegren o se aglomeren. También cabe señalar que el pH es uno de los factores claves para la estabilización del proceso. (FONAM, 2010).

A continuación se describirá una de las unidades principales donde se puede encontrar los procedimientos del tratamiento primario, el Tanque Imhoff. Dicho tanque tiene como objetivo la remoción de los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, para reducir el material que pasará por el tratamiento secundario o biológico. Los tanques Imhoff son unidades de sedimentación primaria que tienen como finalidad la remoción de sólidos suspendidos. Dentro de los tanques, en la parte inferior, se incorpora el digester de lodos. Son también llamados tanques de doble cámara. El tanque Imhoff tiene un funcionamiento sencillo y no está sujeta al uso de partes mecánicas. Aunque si es necesario que antes de entrar al tanque, el material haya pasado por pre-tratamientos (como el cribado y remoción de arenas). El tanque Imhoff tiene una forma rectangular y se compone de una cámara de sedimentación, una cámara de digestión de lodos, y el área de ventilación y acumulación de natas. (FONAM, 2010)

Las aguas residuales entran a una cámara de sedimentación, donde se remueven los sedimentos y se resbalan por las paredes inclinadas. Cuando el material comienza a resbalar con destino al fondo está pasa por una ranura con traslape, la cual entra a la cámara de digestión. El traslape desvía el material suspendido en el proceso de la digestión, hacia la cámara de natas o al área de ventilación. Estos tanques no cuentan con mecanismos que requieran mantenimiento pero sí se debe tener un régimen de cuidados con respecto a las espumas y a los lodos. Los lodos son retirados

periódicamente al lecho de secado, allí se filtrará el líquido restante y el sólido permanecerá para finalmente utilizarlo para mejoramiento de los suelos. (Metcalf & Eddy, 1995)

Es importante conocer los procesos llevados a cabo dentro del digester de lodos. Los lodos son dependientes de factores como el volumen residual tratado y la climatología.

Cabe señalar que, en el tratamiento primario se pueden encontrar tanques de sedimentación y tanques de flotación, ambos por separado. En el caso del tanque de sedimentación, genera la acumulación de material mediante gravedad, esperando recolectar la mayor cantidad de material sólido residual en el fondo. Para el retiro temporal de los lodos, cada cierto tiempo de mantenimiento, se retira el material mediante equipo de bombeo, el cual también tendrá que ser especificado mediante diseño para no perjudicar los procesos del tanque. Finalmente el tanque de flotación, como su mismo nombre lo dice, trata de remover los materiales suspendidos, usando el aire como agente de flotación. (Metcalf & Eddy, 1995).

### **C) Tratamiento secundario**

La materia orgánica biodegradable en un proceso aerobio, sirve como nutriente en una población bacteriana proporcionando oxígeno y condiciones controladas. La materia orgánica será oxidada en este proceso, y a la vez se manifestarán bacterias que acompañarán el proceso para disminuir los contaminantes.

Para que la transformación biológica se ejecute de una manera más eficiente, se deberá contar con ciertas características que no deben dejarse de lado. El crecimiento bacteriano debe contar con ciertos parámetros como la temperatura (30°C - 40°C), oxígeno disuelto (1 mg/L - 2 mg/L), pH (6,5-8,0), salinidad (menor a 3,000 ppm). También se debe considerar que actúan de forma inhibidora sustancias tóxicas como Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Cromo (Cr), entre otros. Asimismo, las grasas y aceites en desengrasadores previos deben ser evitados.

En el libro "*Ingeniería de aguas residuales*" de (Metcalf & Eddy, 1995) , se señalan como procesos biológicos más comunes al proceso de lodos activados, laguna aireada, filtros percoladores, biodiscos, y tanques de estabilización, los cuales son descritos a continuación:

**I. Lagunas aireadas:** Son depósitos donde se trata el agua residual a manera de flujo continuo sin recirculación de los sólidos. Tiene como principal tarea convertir la materia orgánica, mediante aireadores superficiales o difusores sumergidos que aportan oxígeno. La turbulencia creada por los aireadores tiene como finalidad mantener en suspensión el contenido del depósito. Después de un tiempo de retención, en un periodo de 3 días a 6 días, el efluente puede resultar hasta la mitad del DBO de afluente. Por lo tanto, es necesario utilizar posteriormente un tanque decantador para eliminar mayor material orgánico por gravedad. Se debe tener en consideración para el diseño de una laguna aireada, la eliminación de DBO, las características del efluente, la demanda de oxígeno, el efecto de temperatura, la demanda energética para el mezclado y la separación de sólidos. (Metcalf & Eddy, 1995).

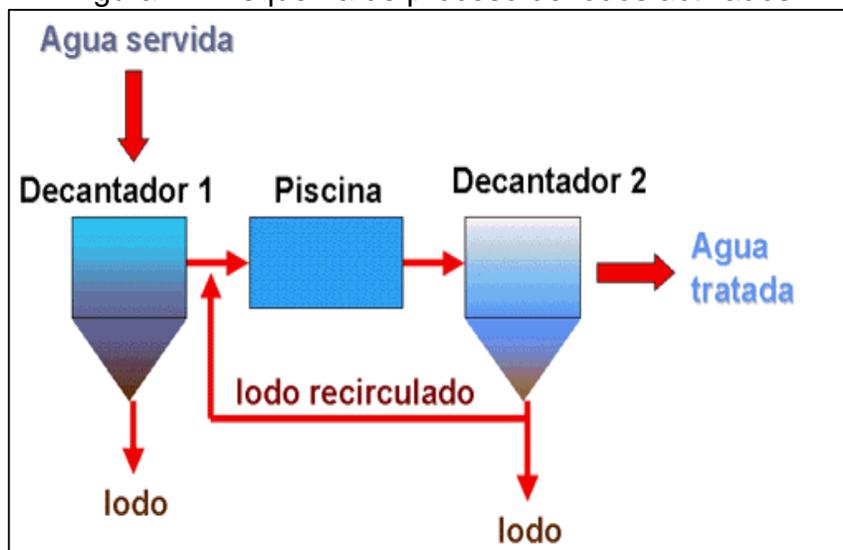
**II. Lagunas de estabilización:** Conocido popularmente como lagunas de oxidación, son empleadas en muchas provincias del Perú como unidad principal de las plantas de tratamiento de aguas residuales, siendo la razón principal el bajo costo de construcción y mantenimiento. Las lagunas de oxidación son cantidades de agua ubicadas en un tanque excavado en el terreno y pueden clasificarse de acuerdo a su actividad biológica en: aerobias, anaerobias o aerobia-anaerobia. Según (Metcalf & Eddy, 1995), el tratamiento más completo que se puede tener en aguas residuales domésticas es un sistema anaerobio seguido por un aerobio-anaerobio. El tratamiento en lagunas de oxidación tiene como principal desventaja, la entrega de su efluente ya que se debería descargar el material tratado cuando las algas y nutrientes puedan ser asimilados por el receptor. Esto considera un mantenimiento y evaluación constante, situación que en el Perú no ocurre. Cada vez que se considere descargar el material tratado, se deberá tomar muestras del efluente y compatibilizarlas con el receptor. Muchas veces este es el principal motivo de contaminación al ambiente y daño al ecosistema.

**III. Lodos activados:** Este proceso fue desarrollado en Inglaterra en 1914 por Ardem y Lockett, y su nombre proviene de la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aeróbica. (Metcalf & Eddy, 1995).

Este sistema funciona con la instalación previa de material que genere bacterias aerobias. Este ambiente se puede lograr ingresando aire con un soplador y difusores, pudiéndose también emplear difusores mecánicos. Al entrar,

las aguas servidas se decantan y gracias al efecto de una bomba genera la suspensión del material. Una vez suspendido el material se pone en contacto con el oxígeno, luego la materia degradada flocula y vuelve a decantarse. Es aquí donde la biomasa sedimentada se devuelve para ser reutilizada. En el proceso de los lodos activados, las bacterias son los principales actores debido a que ellos son quienes degradan la materia orgánica del agua residual entrante. En el reactor aireado, las bacterias facultativas y aerobias se encargan de utilizar la materia orgánica para generar energía, esto para la síntesis de la materia orgánica como masa biológica. El proceso de lodos activados es un método muy empleado en distintas partes del mundo, debido a su buen funcionamiento y reúso del lodo. Uno de sus puntos más desfavorables es la gran cantidad de energía necesaria para su operatividad.

Figura 2.2 Esquema de proceso de lodos activados



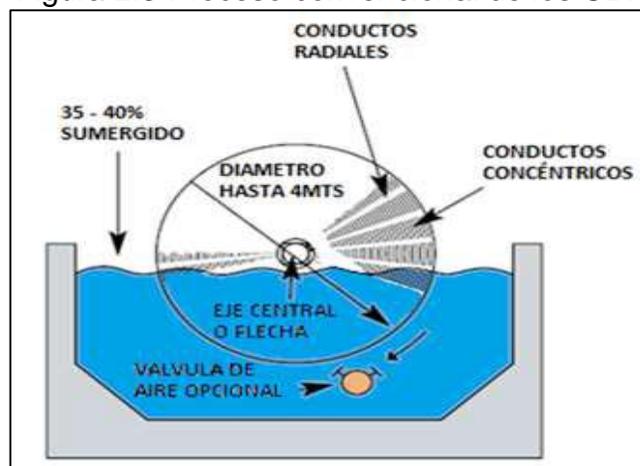
Fuente: (FONAM, 2010)

**IV. Biodiscos:** Los reactores biológicos rotativos de contacto, más conocidos como biodiscos, es otro ejemplo donde se asume un tratamiento biológico aerobio. Este proceso se compone de una serie de discos circulares de poliestireno, o cloruro de polivinilo, situados sobre el mismo eje, la distancia entre cada disco es relativamente corta.

Su operación se basa, fundamentalmente, en la posición de los discos parcialmente sumergidos y sus giros lentos. El crecimiento de la película biológica va a la par del movimiento giratorio de los discos, esto contribuye a que la película se encuentre en contacto directo con la materia orgánica y con la atmósfera. Al estar en contacto con la atmósfera induce a la transferencia de oxígeno y mantiene a la biomasa en condiciones aerobias satisfactorias.

Estas rotaciones generan eliminación de la materia sólida mediante esfuerzos cortantes. Además del tratamiento secundario, los biodiscos pueden ser usados para la nitrificación y desnitrificación estacionales o permanentes. (Metcalf & Eddy, 1995)

Figura 2.3 Proceso convencional de los CBR



Fuente: [www.USFilter.com](http://www.USFilter.com)

**V. Filtros percoladores:** El primer filtro percolador se puso en operación en Inglaterra en 1893. La idea nació del uso de estanques impermeables, donde se adicionaba una capa de piedra machacada. Después de esto, se vertían las aguas residuales por la parte superior, generando que se tenga contacto con el ambiente por cierto tiempo. Luego se dejaba drenar y se dejaba en reposo antes de empezar nuevamente con el proceso. La duración de los ciclos se estimaba en 12 horas, de las cuales 6 horas se empleaba para poner el material en contacto con la atmósfera.

El filtro percolador actual consiste en un lecho constituido por un medio permeable, donde los microorganismos se adhieren y a través del cual percola el agua residual.

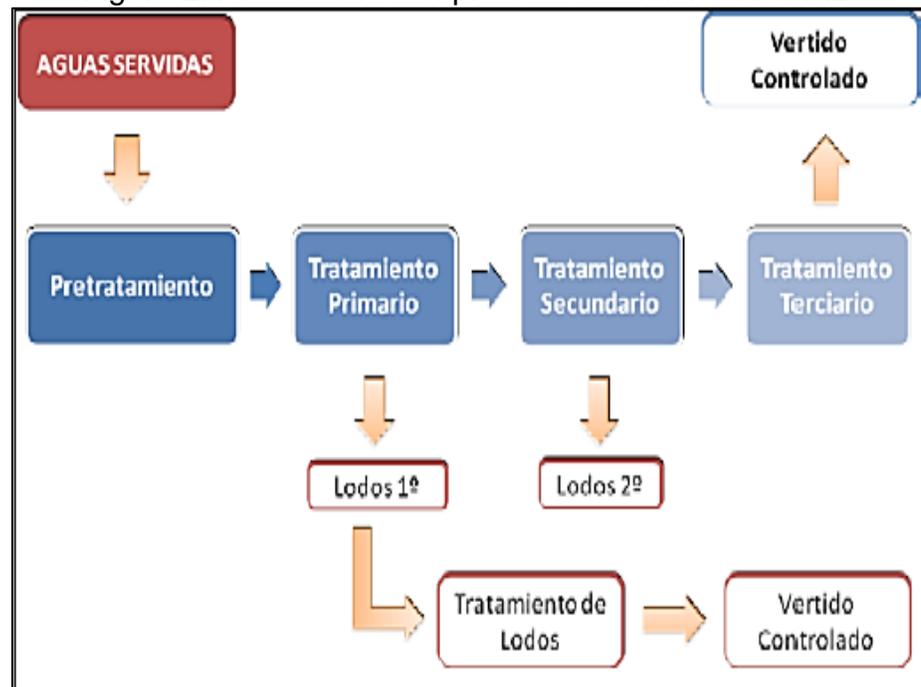
El medio filtrante puede estar compuesto por piedras o diferentes materiales plásticos. Es muy usado el filtro de piedra el cual tiene forma circular y reparte el agua residual mediante el distribuidor rotatorio. Los filtros constan de un drenaje inferior que recolecta el agua tratada. El agua tratada pasa a un tanque sedimentador, donde se genera la separación de algunos materiales sólidos restantes. Finalmente, el agua tratada pasa a ser reutilizada, mientras que los sólidos sedimentados logran generar una película biológica, la cual servirá para minimizar la carga biológica y maximizar la reducción de lodo. (Metcalf & Eddy, 1995).

#### **D) Tratamiento terciario**

El principal objetivo del tratamiento terciario es llegar a cumplir el estándar de calidad de agua efluente de la planta de tratamiento para no generar contaminación al receptor o ser adecuada para su reutilización, según sea el caso. Muchas veces suele pasar el

agua residual del tratamiento secundario con algunos microorganismos patógenos, o agua tratada con mal olor, mal color y con diferentes características con las que no sería adecuado reutilizarse, es por ello que se debe tener un tratamiento final para dar seguridad a las comunidades. De acuerdo al tipo de reutilización, se debe cumplir con la eliminación de ciertos microorganismos, es así que los tratamientos pueden pasar de los más a menos estrictos. Se pueden utilizar los métodos de cloración, filtros con material apropiado, humedal artificial de flujo sub-superficial, radiación UV, etc. (Metcalf & Eddy, 1995).

Figura 2.4 Secuencia completa de tratamiento de ARD



Fuente: (FONAM, 2010)

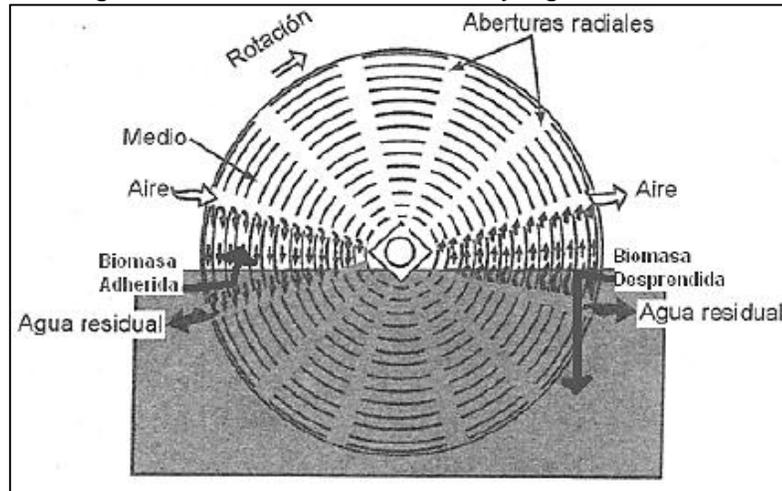
#### **2.4.6. Sistema de biodiscos aerobio**

El reactor de Biodiscos (Rotating Biological Contactor o RBC en sus siglas inglesas) es un tratamiento biológico aerobio de crecimiento adherido utilizado para la depuración de aguas residuales mediante la oxidación de compuestos orgánicos carbonáceos y amoniacales. (Aristizábal, 2010).

##### **2.4.6.1. Principio de funcionamiento**

El reactor posee una serie de discos que están parcialmente sumergidos en el agua residual. Esta situación estimula a la adherencia de población microbiológica al material de soporte (discos) y posteriormente se desarrolla una película biológica sobre la superficie del disco, también llamada biopelícula o biofilm. El giro de los discos permite que la biopelícula este en contacto con el agua residual y luego con la atmósfera alternadamente. Cuando la superficie está sumergida, los microorganismos degradan los compuestos orgánicos depurando el agua, luego cuando gira el disco y los deja expuestos a la atmósfera se presenta absorción de oxígeno a la biopelícula y posteriormente se transfiere al agua residual para garantizar las condiciones aerobias y se evite anaerobiosis en el proceso. El giro también sirve como mecanismo para la eliminación de exceso de biomasa adherida en la superficie de los discos mediante el esfuerzo cortante producido por el agua, de este modo parte de la biomasa queda suspendida en el reactor y posteriormente se transporta hasta el sedimentador secundario. (Aristizábal, 2010).

Figura 2.5 Intercambio de aire y agua residual

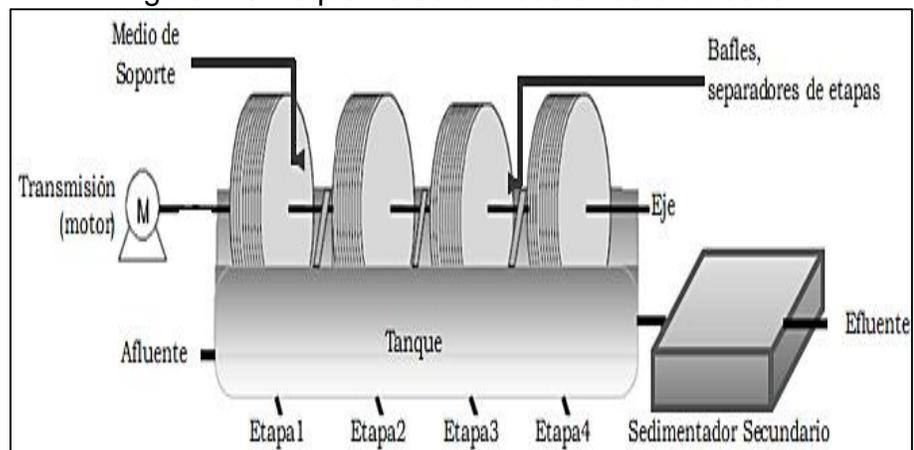


Fuente: (Romero Rojas, 2008)

#### 2.4.6.2. Componentes de un sistema de biodiscos

En esta sección se enunciarán los principales elementos que componen un sistema de biodiscos con su respectiva finalidad o importancia dentro del proceso, de acuerdo con (Metcalf & Eddy, 1996). Los principales componentes son los discos, el eje, la transmisión, el tanque, cerramientos y tanque de sedimentación, los cuales se esquematizan en la Fig. 2.6.

Figura 2.6 Esquema de un reactor de biodiscos



Fuente: (Castillo, Vergara, & Moreno, 2007)

### **A) Ejes**

Los ejes son los encargados de dar el soporte a los discos y por ende a su rotación la cual es elemental para la operación del reactor. El material de estos ejes debe ser fuerte para sostener el peso de los discos sumado al peso de la biomasa adherida al material de soporte. De igual manera, se debe tener en cuenta que el eje estará en contacto con el agua residual y por lo tanto debe ser resistente a la corrosión del líquido. Sin embargo se puede minimizar o prevenir la corrosión si se refuerza con pintura anticorrosiva o se recubre con algún material resistente como el plástico u otro polímero. (Mba, Bannister, & Findlay, 1999).

### **B) Medio de soporte (discos)**

El disco es la superficie donde la población microbiológica se adhiere y se desarrolla para el funcionamiento del sistema de tratamiento. Al igual que los ejes, el material del disco debe ser resistente a la corrosión por los constituyentes del agua residual pero también se puede generar corrosión por los microorganismos adheridos a la superficie, los cuales pueden llevar a cabo un rápido deterioro de los discos. (Mba, Bannister, & Findlay, 1999).

El material del medio de soporte debe estar diseñado para:

- + Proveer máxima área superficial para el crecimiento de la biomasa y mayor contacto con el agua residual.
- + Permitir el máximo drenaje del líquido sobre el área del disco durante la rotación (Mba, 2003).

### **C) Mecanismo de transmisión**

Generalmente el mecanismo utilizado para el giro de los discos es mediante la transmisión mecánica, el cual se utiliza un motor y un sistema de poleas o piñones para ajustar al giro deseado al

eje y por ende a los discos. También es utilizado el empleo de aire para el giro del disco, esto se hace mediante la instalación de cangilones dispuestos en los extremos del material de soporte y un sistema de inyección de aire en el fondo del tanque. El giro del disco se presenta cuando se inyecta aire al tanque y las burbujas son atrapadas por los cangilones, las cuales crean una fuerza tal que provocan el giro del disco. (Metcalf & Eddy, 1996).

#### **D) Tanque**

El tanque es el compartimiento donde está contenida el agua y donde se sumergen parcialmente los discos. Su volumen depende de la carga orgánica superficial y la carga hidráulica a aplicar. Se establece que el volumen óptimo es  $0.0049 \text{ m}^3/\text{m}^2$  de medio.

#### **E) Cerramiento**

Normalmente los reactores de Biodiscos son protegidos por una cubierta de plástico reforzado con fibra de vidrio. Puede haber varios propósitos para el cerramiento de los reactores, los más comunes son: razones estéticas, protección contra el frío en zonas que alcanzan temperaturas bajas, evitar la proliferación de algas, proteger a la biomasa y al material de soporte de la intemperie.

#### **F) Tanque de sedimentación**

Aunque el tanque de sedimentación está separado físicamente del reactor de Biodiscos, se tiene que considerar como parte integral del tratamiento secundario pues los procesos biológicos generan biomasa que debe ser retenida y por lo tanto el sedimentador secundario ejecuta esa actividad. Este sería el último componente del tratamiento biológico y el efluente del sedimentador puede ser descargado a un cuerpo hídrico o

llevado a un tratamiento terciario dependiendo de la complejidad del sistema. (Metcalf & Eddy, 1996).

#### **2.4.6.3. Factores que influyen en la operación de biodiscos**

El desempeño del reactor de Biodiscos depende de diferentes factores. De ellos los más importantes son: las características del agua residual, tiempo de retención hidráulica, carga orgánica e hidráulica, temperatura, pH, número de etapas, velocidad de rotación de los discos, las características de la biopelícula y el nivel de oxígeno disuelto, los cuales serán descritos a continuación de acuerdo con revisiones y estudios de varios autores. (Cortez , Teixeira, Oliveira, & Mota, 2008).

##### **A) Agua residual**

Es uno de los factores más importantes en la operación de los Biodiscos puesto que el contenido orgánico del agua residual es el sustrato para la comunidad microbiológica y por ende es necesario para mantener el buen desarrollo de la biopelícula. Otro aspecto a considerar son los constituyentes adicionales que pueden afectar la degradación de la materia orgánica tales como los metales pesados y otros componentes tóxicos, los cuales pueden inhibir la actividad microbiológica y por ende disminuir las eficiencias de remoción. De igual manera, la presencia de material suspendido en el agua residual puede ocupar espacio en el disco, reduciendo el flujo de contenido orgánico soluble a la biopelícula y por ende baja las tasas de biodegradación.

##### **B) Tiempo de retención hidráulica (TRH)**

Hay estudios que comprueban que altos TRH mejoran la difusión del sustrato en la biopelícula y por ende aumenta la eficiencia de remoción, no obstante debe tenerse en cuenta que

TRH muy bajas se obtiene bajas remociones y TRH muy altas no será económicamente viable.

### C) Carga hidráulica y orgánica

La carga hidráulica corresponde al caudal aplicado por unidad de superficie, la cual se calcula así:

$$C.H = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

Dónde:

C.H: Carga Hidráulica ( $m^3/m^2.d$ )

Q: Caudal de afluente ( $m^3/d$ )

A: Área de los discos ( $m^2$ )

Anteriormente, el desempeño de los Biodiscos fue correlacionado con la carga hidráulica y fue utilizado como factor de diseño, no obstante este parámetro no incluye las características del afluente (sustrato) y por lo tanto fue cambiado por la carga orgánica como parámetro de mayor confiabilidad. La carga orgánica corresponde al contenido orgánico aplicado en un tiempo por unidad de superficie. La carga orgánica puede expresarse como la total o soluble para diferentes parámetros como DBO, DQO o COT. Para el caso donde se diseña un reactor para eliminación de nitrógeno amoniacal, la carga puede ser expresada como el contenido de  $NH_4^+-N$  o NTK en el afluente. La carga orgánica es calculada como se muestra en la Ecuación.

$$CO = \frac{C * Q}{A} \quad (2)$$

Dónde:

CO: Carga Orgánica (g DBO, DQO o COT/m<sup>2</sup>.d)

C: Concentración de carga orgánica del afluente (g/L)

Q: Caudal del afluente (L/d)

A: Área de los discos (m<sup>2</sup>)

Como se menciona, las características del agua residual y la carga hidráulica son dos factores importantes en la operación del Biodiscos, sin embargo la utilización de la carga orgánica se hace conveniente debido a que combina el efecto de las dos anteriores.

La forma más confiable de fijar la carga orgánica es mediante un estudio a escala piloto o laboratorio. Esto se lleva a cabo variando la carga orgánica (mediante dilución y/o aumento de caudal) y se determina su respectiva eficiencia de remoción (en DBO, DQO, COT, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N o NTK). La carga óptima se alcanza en el rango donde se obtenga mayores eficiencias de remoción.

Operar el reactor Biodiscos a baja carga orgánica puede perjudicar el buen desarrollo de la biopelícula al no haber suficiente sustrato para la biomasa. Además, diseñar el reactor con una carga orgánica baja es ineficiente económicamente pues se estaría operando un reactor con más área (discos) de la necesaria y por ende el costo de construcción sería mayor y se incurre a mayores costos en su operación por un consumo más alto de energía para el giro de los discos. Cargas orgánicas muy altas pueden generar problemas por sobrecargas, las cuales pueden disminuir el nivel del oxígeno disuelto especialmente en la primera etapa y desarrollar condiciones anaerobias, generación de olores y excesivo crecimiento de microorganismos no deseados.

#### **D) Oxígeno disuelto**

Teniendo en cuenta que este sistema es de tipo aerobio, el oxígeno disuelto es primordial para el desarrollo de los procesos biológicos. La transferencia de oxígeno del aire al Biodiscos puede darse por tres vías:

- Absorción de oxígeno en la película líquida sobre la superficie de la biopelícula cuando está expuesta a la atmósfera.
- Inyección directa de oxígeno en la interface aire – agua.
- Absorción directa de oxígeno a los microorganismos durante la exposición al aire. (Cortez, Teixeira, Oliveira, & Mota, 2008).

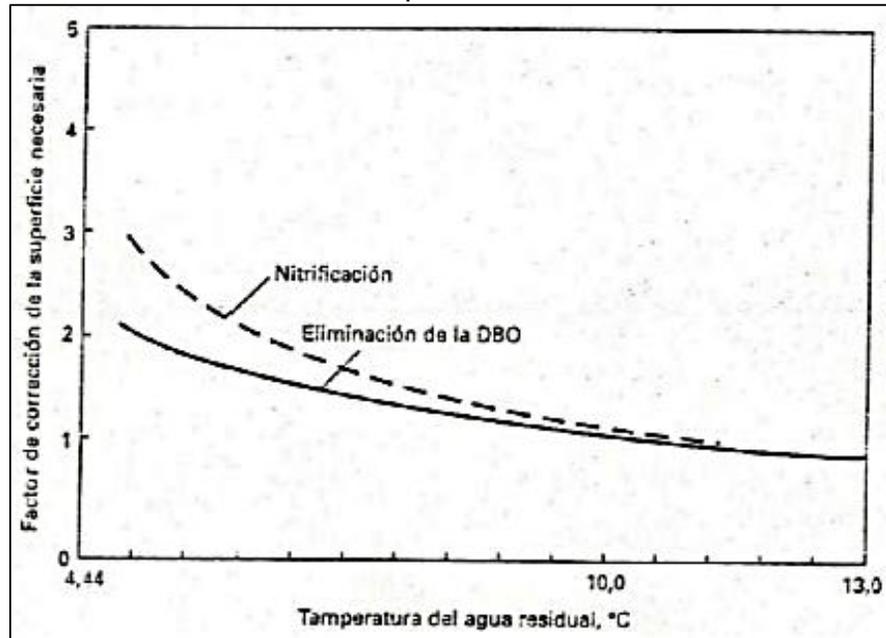
El oxígeno disuelto es utilizado para la oxidación de la materia orgánica carbonosa y para la nitrificación. Para llevar a cabo las reacciones bioquímicas es necesario garantizar una cantidad de oxígeno suficiente para los procesos aerobios, los cuales se presenta con un oxígeno disuelto mayor a 0,5 mg/L (Romero Rojas, 2008).

#### **E) Temperatura y pH**

La temperatura influye en el desempeño del reactor debido a la afectación que puede ocurrir en los procesos biológicos. Un incremento de temperatura puede aumentar la actividad microbiana y por ende aumenta la tasa de remoción de contaminantes. Cuando la temperatura está por debajo de 13 °C los procesos de remoción de carbono y Nitrógeno se ven muy afectados y por lo tanto se debe aplicar un factor de corrección de la superficie necesaria de Discos para contrarrestar ese efecto, aunque el aumento de temperatura contribuye a la

actividad microbiológica, la temperatura no puede ser muy alta porque afecta la solubilidad del oxígeno disuelto en el agua y puede ser factor limitante para el proceso microbiológico.

Figura 2.7 Factor de corrección a la superficie necesaria de discos a una temperatura menor a 13 °C



Fuente: (Metcalf & Eddy, 1996)

El pH es otro factor importante en el desempeño del reactor teniendo en cuenta que interviene en el desarrollo de las comunidades biológicas. La mayoría de las bacterias no toleran pH más bajos de 4,0 y superiores a 9,5. En general, el pH óptimo para el crecimiento bacteriano se sitúa entre 6,5 y 7,5. Para garantizar un pH estable es necesario que se tenga contenido amortiguador (buffer) en el agua para que no perjudique la actividad microbiológica, por tal motivo se debe analizar dentro del reactor la alcalinidad pues muestra la capacidad de neutralizar ácidos en el agua. (Metcalf & Eddy, 1996).

## **F) Etapas**

Las etapas consisten en subdivisiones que se le instalan al reactor mediante baffles o separando el volumen del reactor en diferentes tanques con el propósito de distribuir el material de soporte (discos). Conforme como el agua recorre el reactor, cada etapa recibe una carga orgánica menor a la etapa anterior debido a la depuración o tratamiento continuo. Esta situación promueve el establecimiento de diferentes condiciones en cada etapa (carga orgánica, pH, oxígeno disuelto) y contribuyen al desarrollo de diferentes tipos de microorganismos. (Metcalf & Eddy, 1996).

Es recomendado dividir el reactor de Biodiscos en etapas cuando se tiene altas cargas orgánicas y para maximizar la remoción de carbono y nitrógeno amoniacal. Además, un reactor construido mediante etapas mitiga los efectos de cargas choque que puedan ocurrir en su operación, citado por (Droppelman Cuneo, López Planes, & Wilkes, 1991) señala que, al experimentar con 2 unidades de Biodiscos de igual área superficial total, una dividida en 2 etapas y la otra en 4, se obtuvo una remoción del 85% de DBO para la de más etapas mientras que la otra elimino el 75%.

Se sugiere que el reactor de Biodiscos sea diseñado y operado con 3 etapas. Pero para la remoción conjunta de DBO y  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  se recomienda instalar 4 etapas como mínimo.

## **G) Velocidad de los discos**

La velocidad de rotación es un parámetro importante debido a que la transferencia del oxígeno en el agua está en función del giro, de igual manera la velocidad de rotación afecta la transferencia de nutrientes a la biopelícula y por ende afecta las tasas de remoción.

A mayor velocidad de giro se obtiene mayor oxigenación y mayores tasas de remoción, no obstante la rotación del disco no puede exceder una velocidad lineal de 0,33 m/s porque el esfuerzo cortante del agua y la turbulencia puede provocar el desprendimiento descontrolado de la biopelícula adherida al disco, además aumenta los costos operativos al consumirse mayor energía de la necesaria. (Castillo & Vivas, 1996).

#### **H) Biopelícula**

El conocimiento de la biopelícula se hace fundamental, pues la función de esta es remover las sustancias contaminantes del agua residual. Conocer las características de la biopelícula como su color, su aspecto, espesor y su constitución se hace ineludible pues dependiendo de estos factores se puede inferir su desempeño y se pueden establecer correctivos para optimizar los procesos biológicos tendientes a la mejora de eficiencias de remoción.

#### **Fases de la biopelícula:**

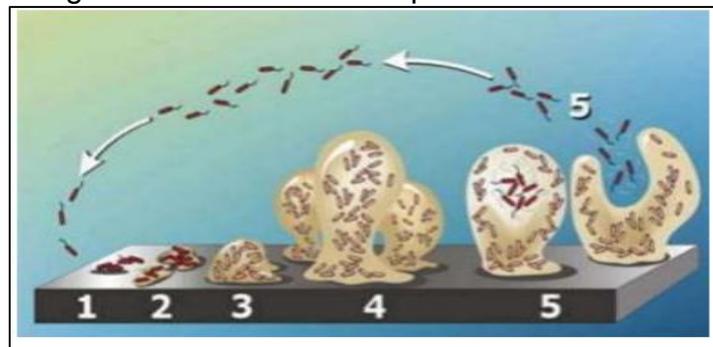
El funcionamiento de los CBR se puede diferenciar en cuatro fases con base en los fenómenos que se producen:

- i) En primer lugar el sustrato y el oxígeno se transportan del agua residual a la superficie de la biopelícula;
- ii) Después se transportan hacia el interior de la biopelícula por difusión;
- iii) Posteriormente se produce una oxidación del sustrato en el interior de la biopelícula;
- iv) Más tarde, hay una eliminación de los productos de desecho, producidos en la tercera fase, vertiéndolos al agua residual situada en el depósito. Las poblaciones de microorganismos que se forman en cualquier etapa del

proceso reflejan las condiciones ambientales y de carga de esa etapa; y

- v) Una vez desprendida la porción de película bacteriana comienza en ese lugar el crecimiento de nueva biomasa, y así indefinidamente, regulándose el espesor de la biopelícula de forma natural. La biomasa desprendida se separa del efluente depurado en la etapa de decantación, que sigue al tratamiento biológico, en la que, por gravedad, procede la separación de ambas. Las aguas depuradas constituyen el efluente final del proceso, mientras que la biomasa decantada da lugar a los lodos, que precisan ser estabilizados y deshidratados, como pasos previos a su disposición. (Lazcano Navarro, 2013).

Figura 2.8 Fases de la Biopelícula en los CBR



Fuente: (Biología Tecnológica, 2010)

#### 2.4.6.4. Procesos bioquímicos

Se cataloga el reactor de Biodiscos como un Sistema Aerobio de crecimiento adherido, es necesario explicar el funcionamiento y las características de los procesos bioquímicos que ocurren dentro del reactor, pues mediante esta vía se ejecuta la degradación de los compuestos orgánicos y se hace control del sistema de tratamiento.

### **Comunidades microbiológicas:**

Los microorganismos pueden obtener energía de diferentes componentes. Los microorganismos que se encargan de remover el Carbono, Nitrógeno y Fósforo del agua residual son llamados Organismos Quimiótrofos, es decir, organismos que obtienen energía a partir de reacciones químicas como la oxidación de compuestos orgánicos (Organismos Quimiheterótrofos) o inorgánicos (Organismos Quimioautótrofos) (Metcalf & Eddy, 1996).

Los principales organismos que intervienen en un proceso biológico son:

#### **a) Bacterias:**

Son organismos procariontas. El interior de la célula contiene una suspensión coloidal de proteínas, carbohidratos y otros compuestos orgánicos complejos, la cual se llama citoplasma. Dentro del citoplasma posee ácido ribonucleico (ARN) el cual cumple la función de síntesis de proteínas. También posee ácido desoxirribonucleico (ADN), el cual contiene toda la información necesaria para la reproducción de todos los componentes de la célula (Metcalf & Eddy, 1996)

Su tamaño oscila entre 0,5  $\mu\text{m}$  y 5  $\mu\text{m}$ . Son los organismos más importantes en el sistema aerobio porque se desarrollan bien en el sistema y son excelentes oxidadores de la materia orgánica. Una característica importante de algunas bacterias es su capacidad de flocular, constituidas por bacterias unidas unas y otras. (Romero Rojas, 2008).

Figura 2.9 Flóculos generados en el tratamiento biológico



Fuente:(M, 2001)

**b) Bacterias filamentosas:**

Son bacterias que degradan muy bien los compuestos orgánicos. En pequeñas cantidades son bastantes buenos para la biomasa, ya que ellos pueden dar estabilidad y servir de soporte para la estructura de los flóculos, evitando que haya desprendimiento del floculo por turbulencia, aireación o por cualquier otro factor. (Romero Rojas, 2008).

**c) Protozoos:**

Estos organismos son protistas unicelulares que pueden ser aerobios o anaerobios. Los protozoos se alimentan de bacterias y otros microorganismos, por lo tanto son muy importantes en el tratamiento biológico pues mejora la calidad del efluente. (Romero Rojas, 2008).

**d) Metazoos:**

Los metazoos son organismos pluricelulares. Su presencia en el tratamiento de agua residual es menor que la de los protozoos. Los dos grupos que se pueden encontrar son los Rotíferos y Nematodos:

- Rotíferos: Estos organismos presentan un órgano rotatorio, con cilios de movimiento giratorio, crenado fuertes corrientes de agua que le sirven para captar su alimento. Los rotíferos frecuentemente se encuentran aferrados a partículas floc en la superficie.
- Nematodos: Pueden vivir en cualquier ambiente y pueden desarrollarse aun en condiciones anóxicas. La presencia de los nematodos es importante debido a que forma cavidades en la biopelícula cuando se mueve y de esta manera se mejora la difusión de oxígeno. También previene el crecimiento excesivo de la biopelícula y evita su obstrucción. (Spellman, 2003).

#### **2.4.6.5. Criterios para diseño**

Para el diseño de un sistema CBR o la selección de uno, la recomendación principal es tener un tratamiento previo ya sea aerobio o anaerobio de tal manera que elimine los SST para un mejor funcionamiento del CBR.

Una forma de dimensionar los CBR como cualquier tratamiento, es mediante modelos matemáticos que simulan el proceso de tratamiento de las aguas residuales, en distintas condiciones ambientales y operacionales, se expresan mediante ecuaciones algebraicas y/o diferenciales. (Lazcano Navarro, 2013).

Como en todo sistema existen variables de entrada y de salida. Un modelo queda representado mediante un conjunto de parámetros que se ajustan a los datos de entrada y de salida.

La estructura del modelo se determina después de observar el comportamiento del sistema con base en el análisis estadístico de datos experimentales. No se necesita conocer los mecanismos

internos del proceso, sino solamente la relación entre las variables de entrada y salida. Tales modelos que se expresan mediante nomogramas, curvas de diseño o ecuaciones matemáticas, se denominan modelos empíricos o de caja negra. (Lazcano Navarro, 2013).

Los modelos empíricos más difundidos de remoción de DBO<sub>5</sub> se dan a continuación:

Popel (1964) fue uno de los primeros en sugerir una relación matemática para el sistema CBR, relacionando la concentración de la DBO<sub>5</sub> efluente en la etapa i (S<sub>i</sub>) con la DBO<sub>5</sub> influente (S<sub>o</sub>), el área total de los biodiscos (A) y el gasto (Q).

$$A = \frac{0.022Q(S_o - S_i)^{1.4}}{S_i^{0.4}} \quad (3)$$

$$S_o = S_i + \left( \frac{AS * S_i^{0.4}}{0.022Q} \right)^{\frac{1}{1.4}} \quad (4)$$

Otra fórmula desarrollada por Edeline y Van de Venne (1979), es expresada en términos de la eficiencia (E) del sistema y carga orgánica (CR):

$$\frac{1}{E} \left( \frac{1}{E} - 1 \right)^{0.4} = 0.022 \frac{Q}{A} S_o \quad (5)$$

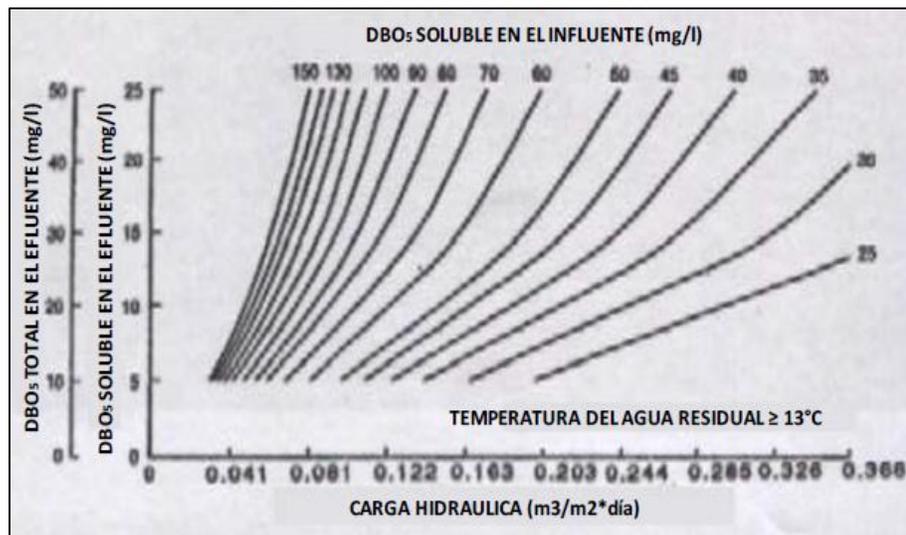
Dónde:

$$E = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \text{ y } \frac{Q}{A} S_0 \quad (6)$$

Es la carga orgánica CO, que está expresada en g/m<sup>2</sup>/día.

También podemos relacionar las principales variables que intervienen en el proceso de los CBR, como un ejemplo de esto tenemos las figura 2.10, en la primera se relaciona la DBO<sub>5</sub> tanto soluble como total con la CH, para obtener la DBO<sub>5</sub>.

Figura 2.10 Curva de diseño para la remoción de DBO y DBO soluble en relación a la CH



Fuente: (Romero, Sánchez , Welter, Ascar, & Grumelli , 2004)

Además de considerarse los componentes del sistema de biodiscos y los factores que afectan su operación, a continuación se describen los principales parámetros de diseño de los biodiscos a escala real de acuerdo con varios autores.

Tabla 2.3 Características típicas para reactores de biodiscos

Parámetro	(Romero Rojas, 2008)	(Metcalf y Eddy, 1996)
Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)	0.8 - 1.2 h	1.5 - 4 h
Carga Hidráulica	0.02 - 0.10 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	0.03 - 0.08 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d
Carga Orgánica	12 - 20 g DBO <sub>sol</sub> /m <sup>2</sup> .d 30 - 40 g DBO/m <sup>2</sup> .d	2.45 - 7.35 g DBO <sub>sol</sub> /m <sup>2</sup> .d 7.35 - 14.7 g DBO/m <sup>2</sup> .d
Longitud Eje	<7.5 m	<8.23 m
Diámetro Eje	13 - 25 mm	
Numero de Etapas	4 y 5	
Diámetro de los Discos	2 - 3.6 m	<3.6 m
Sumergencia de los Discos	40%	
Velocidad de Rotación	1 = 2 RPM 0.2 - 0.3 m/s	

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1996)

#### 2.4.6.6. Problemas operacionales

##### i) Biopelícula blanca

La biopelícula blanca es un indicio de la presencia de microorganismos no deseados como la *Beggiatoa*. Esta es una bacteria filamentosas autotrófica oxidante de azufre y se desarrolla cuando hay alta concentración de sulfuros, bajos niveles de oxígeno disuelto y sobrecarga en la primera etapa. Como estos se desarrollan en la biopelícula, compiten con los organismos heterótrofos que degradan la DBO, y por lo tanto bajan las eficiencias de remoción (Romero Rojas, 2008). Además este tipo de microorganismos pueden proveer nutrientes para la formación de Bacterias Sulfato Reductoras (BRS) (Mba, 2003). Cuando las BRS

se desarrollan, se empieza a generar ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) debido al proceso de reducción de sulfatos y por ende se pueden producir olores molestos para la planta y la comunidad circundante.

Para corregir este problema es necesario aumentar las tasas de aireación en el reactor, disminuir la carga orgánica aplicada, ajustar o eliminar la división entre la etapa 1 y 2 para incrementar el área superficial disponible para la primera etapa y/o agregar nitrato de sodio ( $NaNO_3$ ) o Peróxido de hidrogeno al afluente. (Spellman, 2003).

#### **ii) Desprendimiento descontrolado de biopelícula**

El desprendimiento de la biopelícula se presenta por condiciones ambientales adversas para el desarrollo de la comunidad microbológica como variaciones extremas de pH y entrada de sustancias tóxicas. Para evitar estos inconvenientes, se debe controlar la entrada de tóxicos, controlar las variaciones de pH mediante sustancias neutralizadoras o amortiguadoras y balancear la entrada de flujo.

En caso de que las causas no sean por las anteriormente descritas, debe observarse si el desprendimiento de la biopelícula se está presentado por el giro rápido de los discos, en caso de ser así, debe reducirse un poco la rotación para evitar el problema.

#### **iii) Acumulación excesiva de sólidos en el reactor**

Este problema es causado por un inadecuado pretratamiento. Teniendo en cuenta que el reactor de Biodiscos es un tratamiento secundario, el agua residual debe haber pasado previamente por un sistema de cribado, una desarenación y un sistema primario que remueven sólidos suspendidos de volumen y peso considerable.

#### **2.4.6.7. Ventajas**

Como ventajas obtenidas en la implementación de este sistema aerobio se listan:

- ✓ Alta Remoción de compuestos orgánicos carbonáceos y Nitrógeno amoniacal. (Alvarez & Suárez, 2006)
- ✓ Alta sedimentabilidad de lodos. (Borzacconi, y otros, 1995)
- ✓ Resistencia a las variaciones de pH sin deteriorar su operación. (Borzacconi, y otros, 1995)
- ✓ Mínimo nivel de ruido (Welter, Romero, Grumelli, Sanchez, & Ascar, 2004)
- ✓ Bajo consumo de energía frente a otros sistemas aerobios.
- ✓ Poca área de terreno requerida debido al corto tiempo de retención hidráulica.
- ✓ Resistencia frente a variaciones de cargas hidráulicas y orgánicas.
- ✓ Construcción modular.
- ✓ Generalmente no hay recirculación de efluentes ni lodos.
- ✓ Simplicidad en su operación, por lo tanto su mantenimiento es mínimo. (Romero Rojas, 2008)

## CAPÍTULO III

### 3. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

#### 3.1. Metodología

##### 3.1.1. Método

##### 3.1.1.1. Lugar de estudio

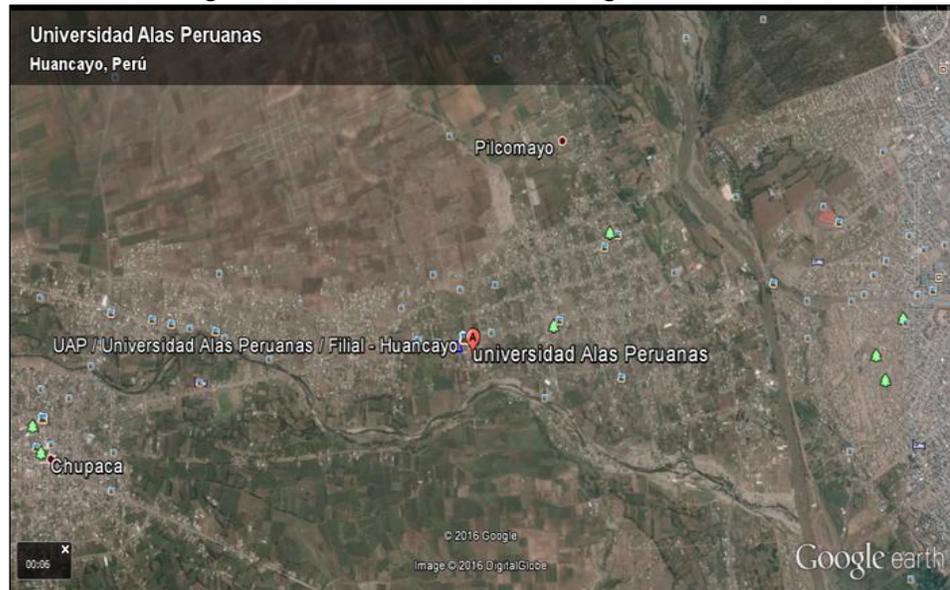
El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Alas Peruanas – Filial Huancayo, cuya ubicación es la siguiente:

Tabla 3.1 Ubicación del lugar de estudio

Altitud	3220 m.s.n.m.
Latitud Sur	12° 03' 17,73"
Latitud	75° 15' 34,85"
Clima	Templado - Frío
Distrito	Pilcomayo
Provincia	Huancayo
Departamento	Junín

Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.1 Vista satelital del lugar de estudio



Fuente: Google Earth

### 3.1.1.2. Construcción del sistema de biodiscos a escala de laboratorio

#### A) Características y dimensiones del reactor

El reactor está constituido por un material de Policloruro de vinilo (PVC) de forma cilíndrica, en la cual están adheridos discos de poliestireno sujetos a un eje que es rotado por un motor reductor de 0,37 kW de potencia; el cual nos transfiere las revoluciones necesarias para el funcionamiento de dicho reactor. (Hinostrza Sanchez & Moscoso Barboza, 2014).

El volumen total del reactor es de 42,73 litros, siendo el volumen real ocupado de 20,41 litros.

#### Especificaciones:

##### i) Determinación del área total del cilindro:

$$A_{\text{Total Cilindro}} = \pi * r^2 \quad (7)$$

$$A_{\text{Total Cilindro}} = (3,14)(17^2)\text{cm}$$

$$A_{\text{Total Cilindro}} = 907,46 \text{ cm}^2$$

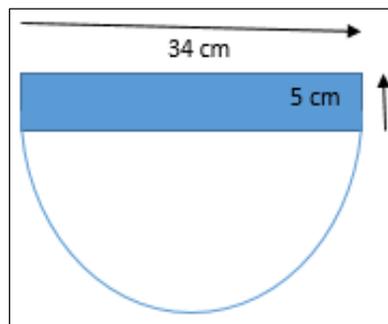
**ii) Determinación del volumen total del cilindro:**

Se tomó el dato del área total del cilindro y se realizó el siguiente procedimiento.

$$A_{\text{Total Cilindro}} = 907,46 \text{ cm}^2$$

$$\frac{A_{\text{Total Cilindro}}}{2} = 453,73 \text{ cm}^2$$

También se determinó el área del sólido rectangular; la cual se sumó el área de la mitad del cilindro para poder obtener el volumen efectivo del reactor.



Fuente: Elaboración propia

$$A_{\text{Sólido rectangular}} = L * A \quad (8)$$

$$A_{\text{Sólido rectangular}} = (5 \text{ cm}) * (34 \text{ cm})$$

$$A_{\text{Sólido rectangular}} = 170 \text{ cm}^2$$

Sumándole las áreas determinadas entonces tenemos:

$$A_{\text{Sólido rectangular}} + \frac{A_{\text{Total Cilindro}}}{2}$$

$$A_{\text{Reactor total}} = 170 \text{ cm}^2 + 453,73 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{Reactor total}} = 623,73 \text{ cm}^2$$

Para el volumen total del reactor tenemos:

$$V_{\text{Reactor total}} = A_{\text{Reactor}} * \text{Altura} \quad (9)$$

$$V_{\text{Reactor total}} = 623,73 \text{ cm}^2 * 68,5 \text{ cm}$$

$$V_{\text{Reactor total}} = 42725,505 \text{ cm}^3 \left( \frac{1 \text{ m}^3}{1000000 \text{ cm}^3} \right)$$

$$V_{\text{Reactor total}} = 0,042725 \text{ m}^3 \left( \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \right)$$

$$V_{\text{Reactor total}} = 42,725 \text{ L}$$

### iii) Determinación del volumen efectivo del reactor:

Se realizó el siguiente procedimiento mediante las siguientes formulas:

#### Segmento circular:

$$\text{Altura} = \text{radio} \left( 1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right) \quad (10)$$

$$\frac{13}{17} = \left( 1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right)$$

$$\cos \frac{\alpha}{2} = 0,24$$

$$\alpha = 152,22^\circ$$

Se desarrolló la siguiente fórmula para poder hallar el volumen efectivo del reactor.

$$S = 2r * \sin \left( \frac{152,22^\circ}{2} \right)$$

$$S = 30,18$$

Para el área entonces tenemos:

$$A = \frac{13}{6 * 30,18} * (3(13^2) + 4(30,18^2))$$

$$A = 297,96 \text{ cm}^2$$

Entonces el Volumen Efectivo es:

$$V_{\text{Reactor Efectivo}} = 297,96 \text{ cm}^2 * 68,5 \text{ cm}$$

$$V_{\text{Reactor Efectivo}} = 20410,14 \text{ cm}^3 \left( \frac{1 \text{ m}^3}{1000000 \text{ cm}^3} \right)$$

$$V_{\text{Reactor efectivo}} = 0,02041014 \text{ m}^3 \left( \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \right)$$

$$V_{\text{Reactor efectivo}} = 20,410 \text{ L}$$

$$V_{\text{Reactor efectivo}} = 20 \text{ L}$$

Figura 3.2 Construcción final del reactor



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.2 se observa al reactor compuesto por dos motores, un reductor de velocidades, ejes, poleas y discos de poliestireno.

### **B) Soporte del tanque**

Como soporte del tanque se utilizó una estructura de fierro (acero), fue utilizado este material por su rigidez y dureza para resistir en peso usado en el reactor.

### **C) Características y dimensiones de los discos**

De acuerdo con los estudios con reactores a pequeña escala, se establece un porcentaje de área sumergida del disco del 40%, siendo este el dato más común. El material empleado fue de poliestireno rugoso transparente; 22 discos de 0,003 m de espesor

por estar compuesta por dos planchas pegadas entre sí por la parte llana y con el diseño rugoso visto para su mayor adherencia de los microorganismos en los biodiscos. El diámetro de los discos usados fue de 0,28 m las cuales están fijadas a intervalos de 0,02 m de espaciamiento entre discos, teniendo en cuenta el crecimiento del espesor de la biopelícula.

Figura 3.3 Disco de poliestireno rugoso



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.3 se observa que se utilizó (22) discos de poliestireno transparente rugoso con un espesor de 0,003 m.

#### **D) Sistema de recirculación**

No hubo sistema de recirculación de lodos sedimentado ni del efluente. Pues hay estudios que concluyen que la recirculación no influye significativamente en las eficiencias ni el desempeño del reactor.

#### **E) Sedimentador secundario**

Es insuficiente la información existente sobre diseño de sedimentadores secundarios utilizando biodiscos a pequeña escala como tratamiento biológico.

Por bibliografía se encuentra la proporción: (Aristizábal, 2010).

$$\frac{V_{\text{reactor}}}{V_{\text{sedimentador}}} = \frac{12,4 \text{ L}}{3,33 \text{ L}} = 3,7 \quad (11)$$

Reemplazando para el volumen total del reactor con el volumen hallado:

$$V_{\text{tr}} = 42,73$$

Considerando lo mencionado:

$$V_s = 11,55 \text{ L}$$

Volumen del Cilindro:

$$V = \pi r^2 * h \quad (12)$$

Por lo tanto, reemplazando valores:

$$V = (3,1416)(13)^2 \text{cm}^2 (20.1) \text{cm}$$

$$V = 10671,70 * 0.001$$

$$V = 10,67 \text{ L}$$

Volumen del Cono:

$$V = \frac{1}{3} \pi r^2 * h \quad (13)$$

Por lo tanto, reemplazando valores:

$$V = \frac{1}{3} (3,1416)(169)^2 \text{cm}^2 (5) \text{cm}$$

$$V = 664,4 \text{ cm}^3 * 0,001$$

$$V = 0,88 \text{ L}$$

Figura 3.4 Sedimentador secundario



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.4 se observa el sedimentador de material de plástico duro, complementado con tuberías y válvulas

## F) Otros parámetros de diseño

### i. Motor-reductor

La selección del motor se hizo a partir de la asesoría del proveedor del moto reductor (Sr. Carlos Carhuamaca).

Las especificaciones se describen a continuación:

Tabla 3.2 Características del motor

Especificaciones del Motor-Reductor	
Marca	Delcrosa
Modelo Motor	Ms711-2
Modelo Reductor	Ms70-y
Fase	Trifásico
Potencia	0.5 hp
Voltaje	2.20 v
RPM externas	1720 rpm

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5 Motor-reductor



Fuente: Elaboración propia

Se trabajó con dos motores ya que se consideró que el solo trabajar con un solo motor habría sobrecalentamiento. Al trabajar con dos motores existió una alternancia de éstos trabajando con un sistema de temporizador de tiempo (controlador) que facilitaron el desarrollo del proyecto. Todas estas especificaciones se realizaron en base al uso de lodos activados durante el funcionamiento continuo de 24 horas, ya que sino se alteraría el proceso de crecimiento de las bacterias para la depuración de agua residual.

## ii. Alternador de tiempo (Temporizador)

Se empleó este equipo para mantener los motores en buenas condiciones durante el desarrollo del proyecto, la cual constaba con alternancias de tiempo para el funcionamiento de cada motor respectivamente, (tiempo de cambio cada 20 minutos)

Figura 3.6 Equipo controlador de tiempo



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.6 se observa el control de los tiempos para el desempeño de cada motor.

### iii. Eje

Para el reactor se utilizó un eje de acero trefilado de  $\frac{1}{2}$  de pulgada, el eje está soportado en ambos extremos por chumaceras para facilitar el giro y estas a la vez se apoyan en el soporte del tanque.

Figura 3.7 Eje central



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.8 Chumacera



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.8 se observa el empleo de la chumacera para el giro del eje central y por ende de los discos.

#### iv. Elementos de transmisión de potencia

Se optó por la transmisión mediante poleas y fajas, debido esencialmente a su simplicidad en su operación, mantenimiento y bajos costos de operación.

Figura 3.9 Poleas y faja



Fuente: Elaboración propia

#### v. Tuberías y válvulas

Se optó por una red tuberías de ½ pulgada para la distribución del sistema en base al diseño realizado, complementándose con válvulas de PVC.

#### vi. Rotoplast

Nos sirvió como sedimentador primario para la acumulación y almacenamiento de la muestra y por consiguiente el agua residual a tratar.

### 3.1.1.3. Recolección y acondicionamiento de los lodos

#### a) Recolección

Para el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Alas Peruanas – Filial Huancayo a escala laboratorio se empleó los lodos obtenidos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas “Doris Mendoza Paredes” de la Provincia de Concepción, Región Junín.

Figura 3.10 PTAR “Doris Mendoza P. – Concepción”



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.10 se observa la visita a la PTAR “Doris Mendoza” para la obtención y traslado de los Lodos.

Las mismas que se trasladaron cumpliendo con el protocolo, utilizando los equipos y materiales respectivos para la extracción realizada.

Figura 3.11 Obtención de los lodos



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.11 se observa la obtención de los lodos por medio de una manguera proveniente de la planta.

#### **b) Acondicionamiento**

Primero se llenó el reactor con un volumen de 15 L con agua residual proveniente de la Universidad Alas Peruanas - Filial Huancayo. A continuación se inoculó los lodos extraídos de la PTAR “Doris Mendoza” con un volumen de 5 L; se puso en marcha el giro de los discos a 4 RPM dejándolo por un periodo de 7 días en Sistema Batch o discontinuo el tratamiento; con la finalidad de estimular la formación de la biopelícula en los discos; observándose el cambio de color de lodos de color negro a marrón oscuro. Controlando los parámetros de

pH, T° y DQO para después trabajar las 3 semanas continuas, a diferentes tiempos de retención hidráulica.

Figura 3.12 Fase de acondicionamiento



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.12 se observa la adición de los lodos al sistema de biodiscos para la fase de acondicionamiento.

#### 3.1.1.4. Operación del reactor

Esta fase comienza luego de acondicionarse el reactor de Biodiscos a las condiciones diseñadas para el tratamiento, por lo tanto en esta parte se determinan ciertos criterios influyentes en el desarrollo del proyecto.

Se aplicó el sistema de monitoreo compuesto respecto a las características con un protocolo, en tres horarios definidos:

Tabla 3.3 Tiempos de monitoreo

HORARIO	HORA
Mañana	8:00 – 9:00 am

Mediodía	12:00 – 1:00 pm
Tarde	5:00 – 6:00 pm

Fuente: Elaboración Propia

Comenzamos en primer lugar con la extracción de la muestra del agua residual a tratar en este caso de la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo. Cumpliendo con el protocolo de extracción de muestras. Extrajimos del colector central las muestras a tratar en recipientes (baldes); de ahí se trasladó al laboratorio para realizar el siguiente paso.

Figura 3.13 Extracción de la muestra



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.13 Se observa el uso una soguilla y un balde pequeño para facilitar la extracción del agua residual.

Seguidamente se realizó la filtración de los Sólidos Suspendidos con un mantel, para de esta manera evitar obstrucción de sólidos durante el proceso. Se almaceno en el rotoplast hasta alcanzar la cantidad necesaria para trabajar la parte experimental (240 L)

Figura 3.14 Filtración de los sólidos



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.14 se observa el proceso de filtración para evitar obstrucción de sólidos por la red de tuberías, durante el proceso de tratamiento.

### 3.1.1.5. Parte experimental:

Se procedió a las corridas experimentales; teniendo en consideración las variables que intervinieron en este caso los diferentes caudales y la velocidad de los discos:

#### A. Determinación del caudal

(Por el método cálculo de probeta)

➤ Para 48 Horas:  $Q = 7 \text{ mL} / t = 60 \text{ s}$

$$Q = \frac{7}{60} = 0,12 \text{ ml/seg}$$

$$Q = 0,12 \frac{\text{ml}}{\text{seg}} \left( \frac{3600 \text{ seg}}{1 \text{ h}} \right) \left( \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ ml}} \right)$$

$$Q = 0,42 \text{ L/h}$$

➤ El TRH es:

$$\text{TRH} = \frac{20 \text{ L}}{0,42 \text{ L/h}} = 47,62 \text{ h}$$

$$\text{TRH} = 48 \text{ h}$$

➤ Para 24 Horas:  $Q = 14 \text{ mL} / t = 60 \text{ s}$

$$Q = 0,84 \text{ L/h}$$

$$\text{TRH} = 24,09 \text{ h}$$

$$\text{TRH} = 24 \text{ h}$$

### **B. Determinación de la velocidad de los discos**

La velocidad de giro se fijó en 4 RPM. Sin embargo se vio favorable aumentarlo para mejorar la oxigenación en el reactor, ya que las biopelículas que se formaban en el proceso era un buen indicador y garantizaban una buena oxigenación de los discos.

### **C. Condiciones ambientales**

Existen diferentes factores que influyen en la operación y desempeño de los Biodiscos como son la temperatura y pH. Su medición se hace necesaria. Por lo tanto durante esta fase se hizo el seguimiento diario de la temperatura y pH para observar el comportamiento del reactor ante variaciones.

Figura 3.15 Medición de temperatura



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.15 se observa la medición de la temperatura dentro del reactor, para tener en consideraciones.

#### **D. Parámetros fisicoquímicos**

Se analizó la DBO<sub>5</sub> y DQO en el afluente (entrada) y el efluente (salida) para observar el comportamiento del tratamiento y a la misma vez determinar la eficiencia del mismo.

Figura 3.16 Muestreo



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.16 se observa la toma de muestra para el análisis de laboratorio.

#### **E. Determinación de datos experimentales**

La información resultante de los diversos experimentos según el diseño experimental planteado se evaluó, según su grado de correlación entre las variables con sus respectivos indicadores para determinar las relaciones entre ellas.

#### **3.1.2. Tipo de la investigación**

El tipo de investigación que se empleó fue experimental - explicativa entendiendo que reúne los requisitos fundamentales; ya que se manipulo variables de los parámetros dentro del sistema de

biodiscos y así se pudo determinar la influencia sobre la carga orgánica.

### 3.1.3. Nivel de la investigación

El trabajo de investigación se realizó a un nivel de investigación de correlación que tuvo como propósito medir el grado de relación que existe entre los parámetros del sistema de biodiscos sobre la eficiencia en la remoción de carga orgánica.

## 3.2. Diseño de la investigación

Para la investigación se utilizó un diseño experimental del tipo factorial simple con dos variables y dos niveles para cada variable  $2^2 = 4$  por lo tanto se realizó una réplica para cada corrida experimental obteniendo de esta manera 8 pruebas experimentales totales.

$$N=2^K$$

Dónde:

K=N° de variables

N=N° de experimentos

Tabla 3.4 Diseño de la investigación

Variable	Rango	
	Mínimo	Máximo
Caudal	0,42 L/h	0,84 L/h
Velocidad Rotacional de Discos	4 rpm	8 rpm

Fuente: Elaboración Propia

### **3.3. Hipótesis de la investigación**

#### **3.3.1. Hipótesis general**

El sistema de biodiscos es eficiente en un 80 % de la remoción de carga orgánica en el tratamiento de las aguas residuales de la UAP - Filial Huancayo a nivel de laboratorio.

#### **3.3.2. Hipótesis específicas**

- Las características fisicoquímicas de las aguas residuales de la UAP - Filial Huancayo indican que tienen alta carga orgánica.
- El caudal en óptimas condiciones de carga hidráulica alcanzara un 80 % de eficiencia.
- Las velocidades rotacionales mayores a 8 RPM logrará mejores eficiencias de remoción de carga orgánica.
- La remoción de carga orgánica será mayores al 80 %.

### **3.4. Variables**

#### **3.4.1. Variable independiente**

- Sistema de Biodiscos

##### **Indicadores:**

- Velocidad rotacional de discos (RPM)
- Caudal (L/h)

#### **3.4.2. Variable dependiente**

- Carga orgánica

##### **Indicadores:**

- DBO (mg/L)
- DQO<sub>5</sub> (mg/L)

### **3.5. Cobertura del estudio.**

#### **3.5.1. Universo**

Las aguas residuales urbanas del Distrito de Pilcomayo.

#### **3.5.2. Población**

Las aguas residuales de la Universidad Alas Peruanas.

#### **3.5.3. Muestra**

El volumen del agua residual tratado representa 20 L

##### **3.5.3.1. Muestreo**

El muestreo es aleatorio simple puntual debido a que la muestra es tomada en un lugar representativo, en un determinado momento. El procedimiento para la toma de muestras puntuales se podrá desarrollar a través de la utilización de un muestreador.

Para el análisis de laboratorio se tomó una porción de 10 mL.

##### **a) Materiales y equipos**

Es necesario contar con materiales adecuados para el muestreo de agua residual para ello hemos utilizado:

- Guantes.
- Rótulos y/o Etiquetas.
- Marcadores y/o plumas.
- Recipiente y/o balde de plástico de 20 L
- Guardapolvo
- Mascarillas

### **3.6. Técnicas e instrumentos**

#### **3.6.1. Técnicas de la investigación**

Las técnicas utilizadas en el presente trabajo de investigación fueron la observación de procesos experimentales, trabajos de investigación realizados con características semejantes, libros y revistas de investigación.

### **3.6.2. Instrumentos de la investigación**

Los instrumentos de investigación utilizados fueron los reportes de laboratorio sobre el análisis del agua realizado en la facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Centro del Perú, los resúmenes de los trabajos de investigación y las normativas de contaminación del agua y también los reportes de campo.

## **3.7. Procesamiento estadístico de la información.**

### **3.7.1. Estadísticos**

Se utilizó un software estadístico denominado Minitab, para los análisis de varianza mediante un Anova de Tukey.

### **3.7.2. Representación**

Las representaciones de la parte experimental se dieron por medio de reportes de laboratorios y gráficas, las relaciones de variables mediante ecuaciones lineales y los análisis estadísticos según el software estadístico desarrollado.

### **3.7.3. Técnica de comprobación de la hipótesis**

El trabajo de investigación realizó los Análisis de varianza de los resultados mediante una prueba de Anova de Tukey.

## CAPITULO IV

### 4. ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1. Resultados

##### 4.1.1. Datos de las corridas experimentales para el blanco

Tabla 4.1 Características del agua residual, muestra blanco

Sólidos Totales	608 mg/L
Sólidos Disueltos	201 mg/L
Sólidos Disueltos Volátiles	120 mg/L
Sólidos Suspendidos	160 mg/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	591 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	350,2 mg/L
Nitrógeno Amoniacal	14 mg/L
Nitritos	2,51 mg/L-N
Nitratos	13 mg/L-N
Fosforo Total	5,94 mg/L-P
Alcalinidad	193,0 mg/L – CaCO <sub>3</sub>
Sulfatos	50,2mg/L – SO <sub>4</sub>
O <sub>2</sub>	1,25 ppm
Conductividad	690,0 μS/cm
pH	8,0

Fuente: Laboratorio de Análisis Químico - UNCP

En la tabla 4.1 se aprecia los parámetros de la caracterización del efluente de las aguas residuales de la “Universidad Alas Peruanas - Filial Huancayo” las cuales fueron llevadas al Laboratorio de Análisis Químico de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Centro del Perú - Huancayo para su análisis correspondiente

Observándose notoriamente un alto contenido de carga orgánica biodegradable reflejado en la DQO, DBO<sub>5</sub> y Sólidos Totales que están por encima de los Límites Máximos Permisibles establecidos por la Legislación Peruana.

#### 4.1.2. Datos de las corridas experimentales con tratamientos

Según el diseño de la investigación se realizó 4 pruebas experimentales, dando las diferentes condiciones de cada variable que intervinieron; en el desarrollo del trabajo con sus respectivas réplicas, según la variación del caudal y la velocidad rotacional de los discos.

La primera corrida experimental se realizó a las condiciones de un nivel de caudal mínimo regulado en 0,42 L/h y una velocidad rotacional de los discos de 4 RPM; para el ingreso al sistema de biodiscos. Se tomó en cuenta la disminución de la carga orgánica en función de la DQO y la DBO<sub>5</sub> en un tiempo determinado, donde se estabiliza la reducción de la carga orgánica; teniendo como resultado la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Resultados de la primera corrida experimental

N° de Prueba	TRH	DQO (mg/L)	DBO5 (mg/L)	pH	Temperatura (°C)
0	0	522,81	348,98	7,3	15,7
1	24	239,06	148,98	7	15,4
2	48	153,92	96,9	7,2	15,5

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.3 nos muestra la réplica de la primera corrida experimental donde se obtuvo los valores de DQO y DBO<sub>5</sub> en los diferentes tiempos de retención hidráulica a las condiciones de operación de un caudal de 0,42 L/h y 4 RPM de velocidad rotacional de los discos.

Tabla 4.3 Réplica de los resultados de la primera corrida experimental

N° de Prueba	TRH	DQO (mg/L)	DBO5 (mg/L)	pH	Temperatura (°C)
0	0	539,48	368,7	7,1	15,2
1	24	245,39	160,98	7,3	15,1
2	48	156,81	97,2	7	15,4

Fuente: Elaboración propia

La segunda corrida experimental se efectuó a las condiciones de un caudal de 0,42 L/h y una velocidad rotacional de los discos a 8 RPM donde se logró una tasa alta de disminución con respecto a las otras corridas experimentales, para la DBO<sub>5</sub> se alcanzó un indicador de remoción de carga orgánica de 66,9 mg/L para un tiempo de retención hidráulica de 48 horas.

Tabla 4.4 Resultados de la segunda corrida experimental

N° de Prueba	TRH (Horas)	DQO (mg/L)	DBO5 (mg/L)	pH	Temperatura (°C)
0	0	486,53	332,85	7,4	15,5
1	24	206,88	134,55	7,2	15,7
2	48	92,7	66,9	7,1	15,2

Fuente: Elaboración propia

Relativamente en la réplica de la segunda corrida experimental se trabajó a las mismas condiciones de caudal y velocidad rotacional de los discos; donde la carga orgánica en el análisis del inicio del tratamiento nos arrojaba que tenía de DQO 548,7 mg/L alcanzando

una disminución de remoción a 112,95 mg/L como nos muestra la tabla 4.5 para un tiempo de retención hidráulica de 48 horas.

Tabla 4.5 Réplica de los resultados de la segunda corrida experimental

N° de Prueba	TRH	DQO (mg/L)	DBO5 (mg/L)	pH	Temperatura (°C)
0	0	548,7	367,95	7,5	15,6
1	24	229,35	150,15	7,1	15,8
2	48	112,95	82,5	7,3	16

Fuente: Elaboración propia

En la tercera corrida experimental se trabajó a condiciones de un nivel de caudal de 0,84 L/h para el ingreso al sistema de biodiscos con una velocidad rotacional de los discos de 4 RPM. Se considera que en esta corrida experimental se alcanza mínimos indicadores de remoción de carga orgánica tanto para la DQO y DBO<sub>5</sub> en los diferentes TRH. Para la réplica de la tercera corrida experimental se dan las mismas condiciones de operación.

Tabla 4.6 Resultados de la tercera corrida experimental

N° de Prueba	TRH	DQO (mg/L)	DBO5 (mg/L)	pH	Temperatura (°C)
0	0	459,51	299,82	7,3	15,7
1	24	268,74	173,61	7,2	15,4
2	48	157,41	102,45	7,7	16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.7 Réplica de los resultados de la tercera corrida experimental

N° de Prueba	TRH	DQO (mg/L)	DBO5 (mg/L)	pH	Temperatura (°C)
0	0	492	309,45	7	15,5
1	24	282,66	177,84	6,9	15,1
2	48	168,45	106,85	7,2	15,3

Fuente: Elaboración propia

La cuarta corrida experimental se desarrolló a condiciones de un caudal de 0,84 L/h y una velocidad rotacional de los discos de 8 RPM, la DQO indica que disminuye de 535,14 mg/L a 232,82 mg/L para un tiempo de retención hidráulica de 24 horas.

Tabla 4.8 Resultados de la cuarta corrida experimental

N° de Prueba	TRH	DQO (mg/L)	DBO5 (mg/L)	pH	Temperatura (°C)
0	0	535,14	351,57	6,9	15,8
1	24	232,82	145,97	7,1	15,5
2	48	150,51	95,55	7,4	15,1

Fuente: Elaboración propia

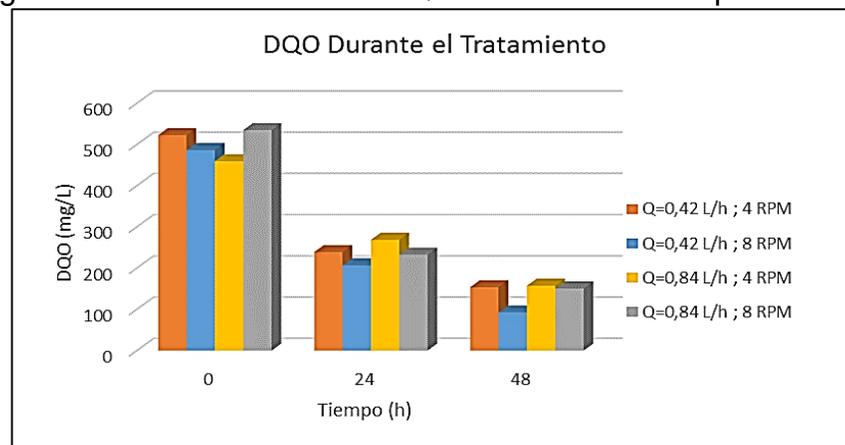
En la tabla 4.9 podemos apreciar los resultados de la réplica de la cuarta corrida experimental donde nos indica que la DBO<sub>5</sub> disminuye a los 79,44 mg/L para un tiempo de retención de 48 horas.

Tabla 4.9 Réplica de los resultados de la cuarta corrida experimental

N° de Prueba	TRH	DQO (mg/L)	DBO5 (mg/L)	pH	Temperatura (°C)
0	0	449,30	296,01	7,4	15,1
1	24	191,81	120,27	7,2	15,6
2	48	127,98	79,44	7,1	15,3

Fuente: Elaboración propia

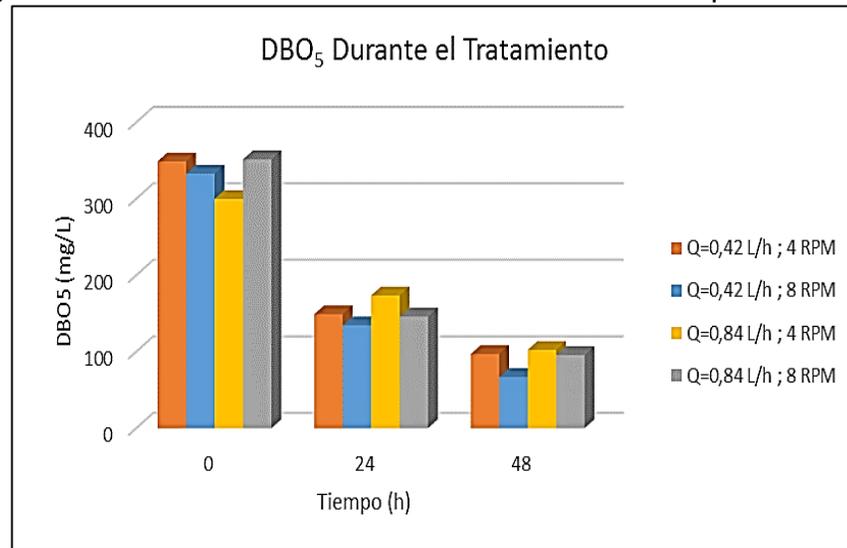
Figura 4.1 Concentración de DQO en las corridas experimentales



Fuente: Elaboración propia

La figura 4.1 muestra la relación existente entre la remoción de DQO y el tiempo retención hidráulica (horas). Se observa que la mejor remoción de DQO se encuentra a un nivel de caudal de 0,42 L/h y a una velocidad rotacional de los discos de 8 RPM.

Figura 4.2 Concentración de DBO<sub>5</sub> en las corridas experimentales



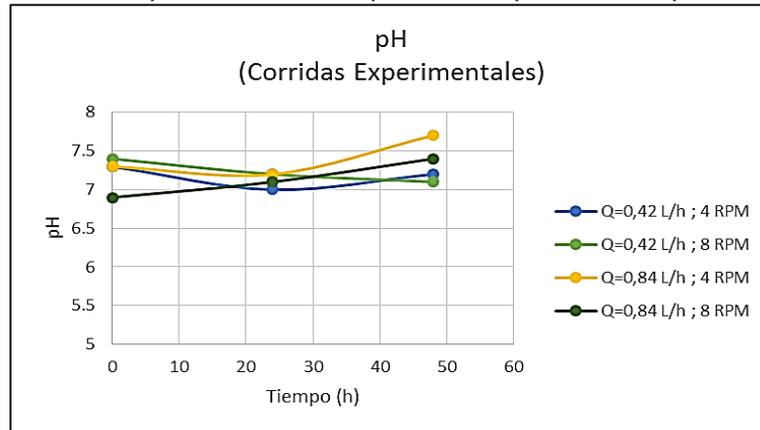
Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.2 se observa la relación existente entre la remoción de DBO<sub>5</sub> y el tiempo de retención hidráulica (horas). Se observa que las remociones moderadas de DBO<sub>5</sub> se dan a un nivel de caudal de 0,84 L/h y a una velocidad rotacional de los discos de 4 RPM, para los dos tiempos de retención hidráulica

#### 4.1.3. Parámetros de control en el sistema de biodiscos

Dentro de los parámetros intervinientes y de control se encuentra la temperatura y el pH. Los cuales fueron indicadores de que la operación que se desarrollaba era de óptimas condiciones.

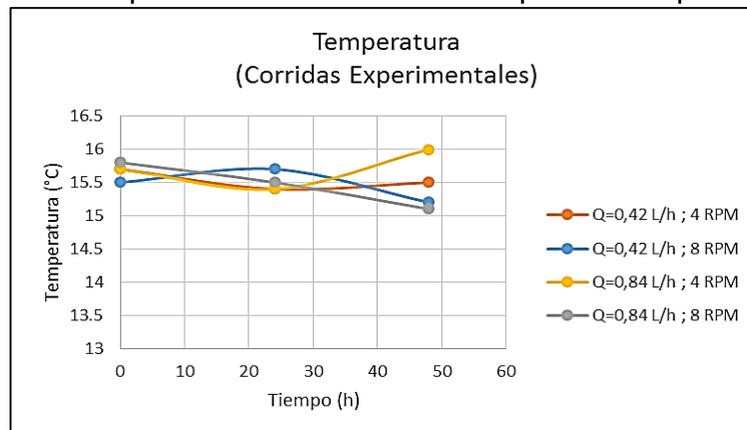
Figura 4.3 Comportamiento de pH en las pruebas experimentales



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.3 se muestra el comportamiento del pH que es moderadamente básico en todas las pruebas experimentales y se mantuvo casi constante lo que indica que la operación en el sistema de biodiscos se encuentra en condiciones favorables debido a que no hubo variaciones extremas. La réplica estuvo en un rango de 6,9 y 7,5 no existiendo variación alguna.

Figura 4.4 Comportamiento de la T° en las pruebas experimentales



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.4 se ilustra el comportamiento de la temperatura en el sistema de biodiscos durante las pruebas experimentales, lo que indica que oscilaba en un rango de 15,1°C a 16°C. Es ligeramente relativa respecto a la

temperatura ambiente. Similar situación se registró para la réplica de las pruebas experimentales.

#### 4.2. Discusión de resultados

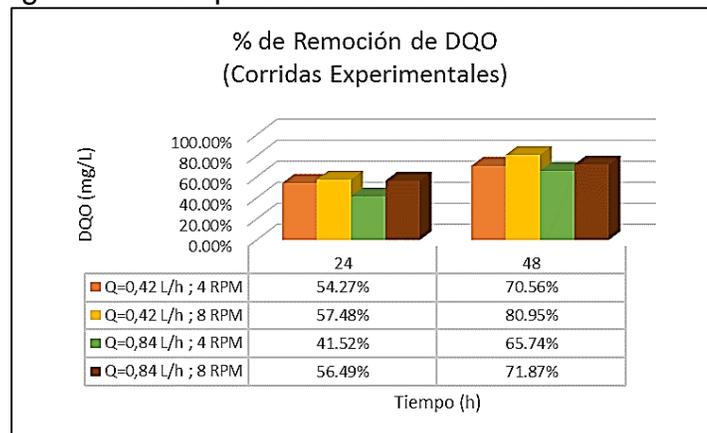
Para cada prueba experimental independientemente se realizó una réplica, por tal motivo se obtuvieron los porcentajes para tener una mayor representatividad de los resultados que se ilustran en las tablas y figuras siguientes.

Tabla 4.10 % de remoción de DQO y DBO<sub>5</sub>

CAUDAL	RPM	N° de Prueba	Pruebas Experimentales	
			%Remoción DQO	%Remoción DBO <sub>5</sub>
0,42 L/h	4	1	0.00%	0.00%
		2	54.27%	57.31%
		3	70.56%	72.23%
	8	1	0.00%	0.00%
		2	57.48%	59.58%
		3	80.95%	79.90%
0,84 L/h	4	1	0.00%	0.00%
		2	41.52%	42.10%
		3	64.74%	65.83%
	8	1	0.00%	0.00%
		2	56.49%	58.48%
		3	71.87%	72.82%

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5 Comparación del % de remoción de DQO

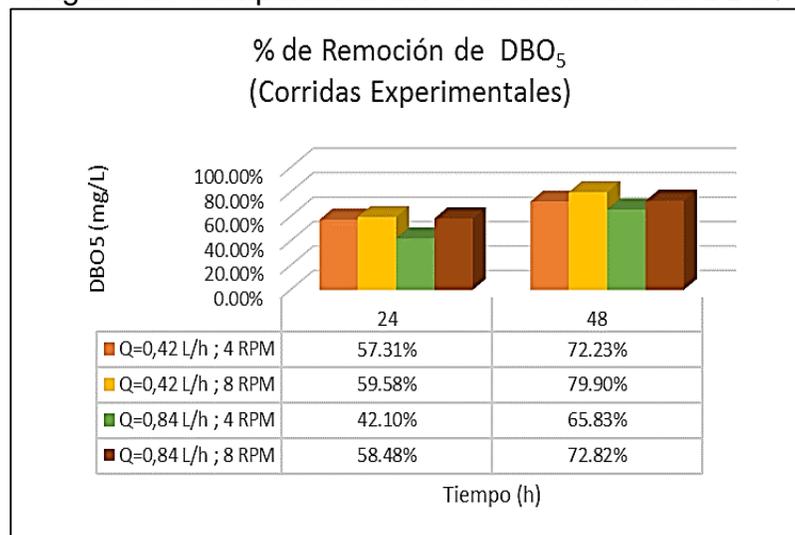


Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.5 muestra la relación existente entre los diferentes porcentajes de remoción de DQO y los diferentes tiempos de retención hidráulica (horas) encontrando que a un caudal de 0,42 L/h y una velocidad rotacional de los discos a 8 RPM el porcentaje más alto de remoción de DQO es 80,95 % para un TRH de 48 horas. Ello se debe a que las condiciones del nivel de caudal eran bajas y la velocidad rotacional de los discos era óptima, ya que se podía apreciar durante su operación la formación de biopelículas, que eran indicadores favorables.

También debido primordialmente a las condiciones de pH el cual era adecuado para que las bacterias realicen su proceso de descomposición, la cual debe oscilar en un rango de 6,5 - 7,5. Otra de las condiciones favorables era la temperatura ya que al incrementarse, el rendimiento del sistema mejora y se intensifica el proceso biológico, como antecedente de la investigación elaborado por (Reyes, Torres, & Díaz, 2011)

Figura 4.6 Comparación del % de remoción de DBO<sub>5</sub>



Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo en la figura 4.6 muestra la relación existente entre los distintos porcentajes de remoción de DBO<sub>5</sub> y los diferentes tiempos de

retención hidráulica (horas) pudiéndose observar que también el más alto porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> es 79,90 % a condiciones de un caudal de 0,42 L/h y con una velocidad rotacional de los discos de 8 RPM para un tiempo de retención hidráulica de 48 horas, lo que se comprobó que el sistema era eficiente.

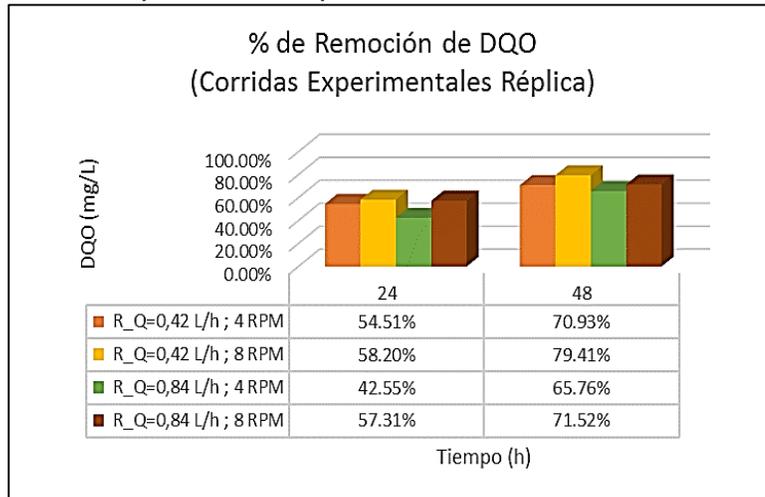
Además según la investigación de (Welter , Castillo, Grumelli, & Martinez , 2010) concluye que la aplicación de la tecnología biodiscos como tratamiento secundario logra una remediación eficiente de los líquidos residuales, reflejadas en la disminución de los valores de la DBO<sub>5</sub> y DQO y Sólidos Sedimentables que se correlaciona con la del sistema integrado. Asimismo hacen mención de las disminuciones de la DBO<sub>5</sub> siempre superan el 80 % con una media de 88 % lo que afirma una alta eficiencia de planta piloto.

Tabla 4.11 Réplica del % de remoción de DQO y DBO<sub>5</sub>

CAUDAL	RPM	N° de Prueba	Réplicas	
			%Remoción DQO	%Remoción DBO <sub>5</sub>
0,42 L/h	4	1	0.00%	0.00%
		2	54.51%	56.34%
		3	70.93%	73.64%
	8	1	0.00%	0.00%
		2	58.20%	59.19%
		3	79.41%	77.58%
0,84 L/h	4	1	0.00%	0.00%
		2	42.55%	42.53%
		3	65.76%	65.47%
	8	1	0.00%	0.00%
		2	57.31%	59.37%
		3	71.52%	73.16%

Fuente: Elaboración propia

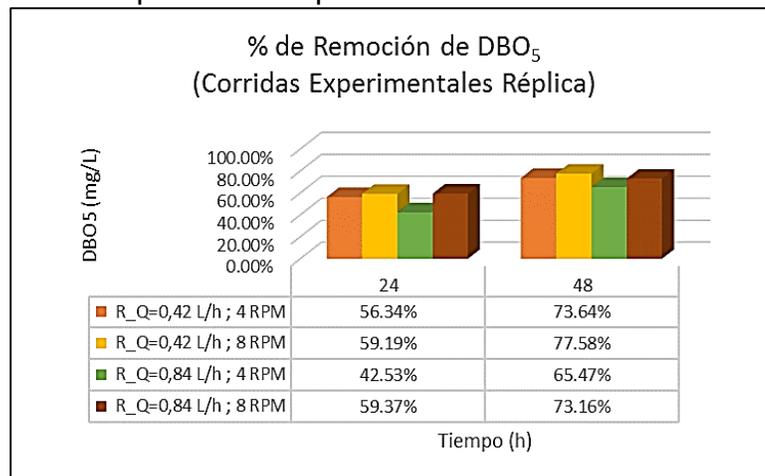
Figura 4.7 Réplica de comparación del % de remoción de DQO



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.5 observamos que el porcentaje de eficiencia va aumentando conforme va transcurriendo el tiempo de retención hidráulica (horas), tanto para un caudal de 0,42 L/h. y 0,84 L/h. La DQO promedio de entrada fue de 504,18 mg/L y de salida: 104,09 mg/L indica que si existen diferencias significativas entre los valores antes y después del tratamiento por sistema de biodiscos, lo que complementa a lo observado en los resultados de las DQO del líquido a tratar y refuerza la premisa de la eficiencia comprobada.

Figura 4.8 Réplica de comparación del % de remoción de DBO<sub>5</sub>



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.6 se observa la réplica de remoción de  $DBO_5$  la cual alcanza un porcentaje mínimo de eficiencia 42,53 % a un nivel de caudal de 0,84 L/h y una velocidad rotacional de los discos a 4 RPM para un tiempo de retención hidráulica de 24 horas.

Sin embargo se observó que el sistema es vulnerable frente a los cortes en el suministro eléctrico lo que puede causar el desprendimiento de la biomasa adherida a los discos y la desestabilización del sistema, ocasionando a su vez mayores periodos de adaptación, como hace énfasis en la investigación (Torres Lozada, Vasquez Sarria, Perez Vidal, Madera Parra, & Rodriguez Victoria, 2011).

El porcentaje de eficiencia fue mejor respecto a que con un caudal menor y una mayor velocidad rotacional de los discos se daban las condiciones favorables del sistema de biodiscos debido a la fuente de materia que estuvo degradándose en el reactor.

### 4.3. Contrastación de la hipótesis

#### 4.3.1. Análisis de anova

Tabla 4.12 Parámetros para análisis de hipótesis en función del caudal y el porcentaje de remoción de DQO

CAUDAL 0.42		CAUDAL 0.84	
RPM	%remoción DQO_1	RPM	%remoción DQO_2
4	70,56	4	80,95
4	70,93	4	79,41
8	64,74	8	71,87
8	65,76	8	71,52

Fuente: Elaboración propia

#### ANOVA unidireccional: %remoción DQO\_1 vs. RPM Q1 L/h

Fuente	GL	SC	MC	F	P
RPM Q1 L/h	1	89.019	89.019	141.95	0.007
Error	2	1.254	0.627		
Total	3	90.273			

S = 0.7919 R-cuad. = 98.61% R-cuad. (ajustado) = 97.92%

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada
4	2	70.745	0.262	(-----*-----)
8	2	80.180	1.089	(-----*-----)

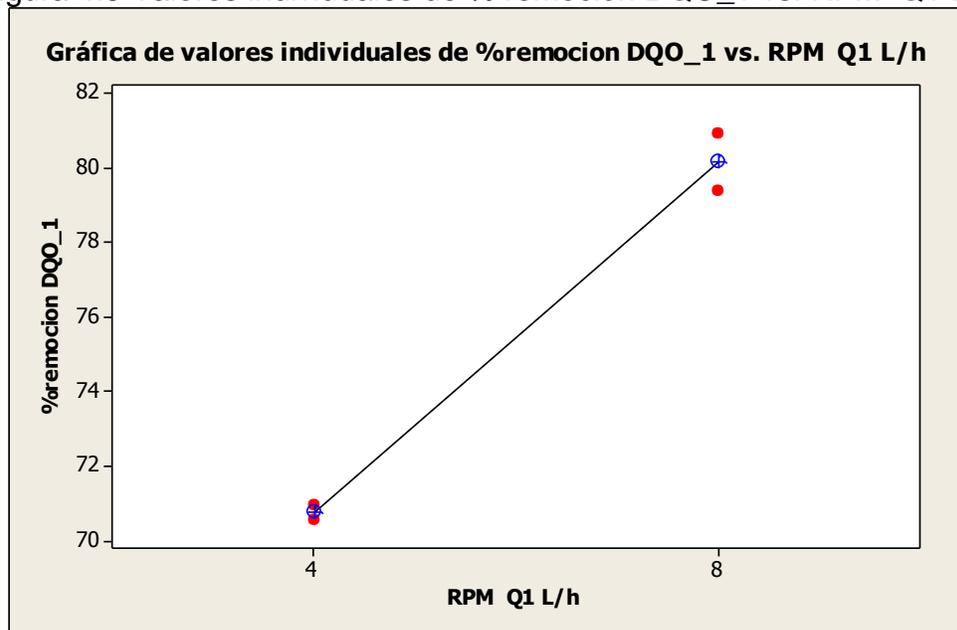
-----+-----+-----+-----+-----+  
72.0      76.0      80.0      84.0

Desv.Est. agrupada = 0.792  
Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

**Interpretación:**

Según los resultados del programa Minitab del análisis de datos de los experimentos con el Anova de Tukey y el valor de P obtenido es de 0,007; siendo este menor al valor de significancia 0,05 por lo tanto se rechaza la hipótesis, la variación de las revoluciones por minuto de los discos no tiene diferencia significativa en la remoción de materia orgánica debido a que las medias calculadas se encuentran distantes para un caudal de operación de 0,42 L/h.

Figura 4.9 Valores individuales de % remoción DQO\_1 vs. RPM Q1 L/h



Fuente: Elaboración propia

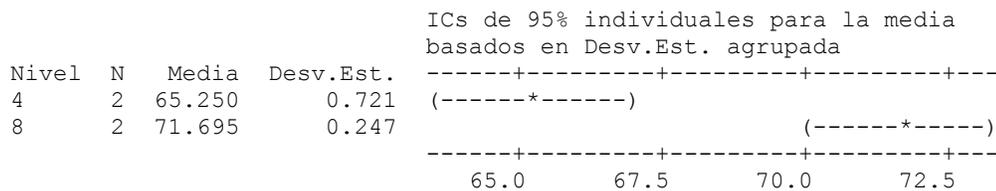
### Interpretación:

En la figura 4.9 se representa que las variaciones rotacionales de los discos respecto al % de remoción de DQO, para 4 y 8 RPM por lo que se deduce que influye significativamente las RPM en la remoción de la materia orgánica de las aguas residuales de la “UAP - Filial Huancayo” para un caudal de 0,42 L/h.

### ANOVA unidireccional: %remoción DQO\_2 vs. RPM Q2 L/h

Fuente	GL	SC	MC	F	P
RPM Q2 L/h	1	41.538	41.538	142.88	0.007
Error	2	0.581	0.291		
Total	3	42.119			

S = 0.5392    R-cuad. = 98.62%    R-cuad. (ajustado) = 97.93%

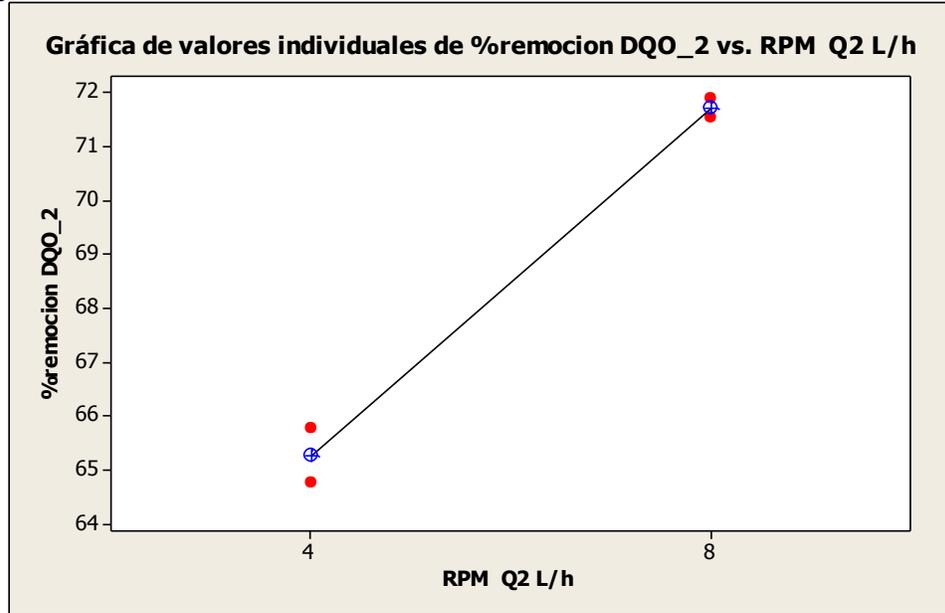


Desv.Est. agrupada = 0.539  
Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

### Interpretación:

Según los resultados del programa Minitab del análisis de datos de los experimentos con el Anova de Tukey y el valor de P obtenido es de 0,007; siendo este menor al valor de significancia 0,05 por lo tanto se rechaza la hipótesis, la variación de las revoluciones por minuto de los discos no tiene diferencia significativa en la remoción de materia orgánica debido a que las medias calculadas se encuentran distantes para un caudal de operación de 0,84 L/h.

Figura 4.10 Valores individuales de % remoción DQO\_2 vs. RPM Q2 L/h



Fuente: Elaboración propia

**Interpretación:**

En la figura 4.10 se representa que las variaciones rotacionales de los discos respecto al % de remoción de DQO, para 4 y 8 RPM por lo que se deduce que influye significativamente las RPM en la remoción de la materia orgánica de las aguas residuales de la “UAP - Filial Huancayo” para un caudal de 0,84 L/h.

## CONCLUSIONES.

- Se caracterizó el efluente del colector central de la “UAP – Filial Huancayo” recopilando una muestra representativa, obteniendo un olor desagradable, color oscuro. Los parámetros de pH=8,0; Temperatura=15,5°C; DQO (mg/L)=591; DBO<sub>5</sub> (mg/L)=350,2; Sólidos Totales (mg/L)=608; Sólidos Disueltos (mg/L)=201; Sólidos Suspendidos (mg/L)=160.
- El caudal determinado en el tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de biodiscos fue de 0,42 L/h para un tiempo de retención hidráulica de 48 horas; ya que alcanzó una tasa alta de disminución de carga orgánica para la DQO=92,7 mg/L y DBO<sub>5</sub>=66,9 mg/L, siendo los mejores resultados de las cuatro pruebas experimentales.
- La velocidad rotacional óptima de los discos en el tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de biodiscos fue de 8 RPM logrando una tasa de disminución de carga orgánica de 92,7 mg/L y 66,9 mg/L para la DQO y DBO<sub>5</sub> respectivamente, siendo los mejores resultados obtenidos de las cuatro pruebas experimentales.
- El porcentaje de remoción de DQO Y DBO<sub>5</sub> en el tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de biodiscos fue de 80,95 % y 79,90 % respectivamente, con un caudal de operación de 0,42 L/h y una velocidad rotacional de los discos de 8 RPM, siendo el porcentaje más eficiente y queda comprobada. Los resultados obtenidos en las remociones convierten al Sistema de Biodiscos en un sistema eficaz y apropiado para el tratamiento secundario de aguas residuales con el propósito de remover principalmente compuestos orgánicos.

## **RECOMENDACIONES.**

- Por los resultados obtenidos en este proceso, se recomienda profundizar el análisis de su composición biológica y química que permita plantear nuevas investigaciones referidas a este tema en particular.
- Continuar estudios sobre las variables cinéticas referentes a razón de utilización de sustratos requerimientos de oxígeno, factores de carga orgánica, crecimiento bacterial, producción de lodos que permitan definir la cinética biológica a seguir.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Alleman, J. E. (1982). *Scanning Electron Microscope Evaluation of Rotating Biological Contactor Biofilm*. Gran Bretaña: Water Research.
2. Alvarez, A., & Suárez, J. (2006). Tratamiento Biológico del Lixiviado generado por el Relleno Sanitario "El Guayabal" de la Ciudad de San Jose de Cucuta. *Ingeniería y Desarrollo*.
3. Aristizábal, J. D. (2010). *Aplicación y Evaluación de un Reactor de Contactores Biológicos Rotativos a Escala Laboratorio como Tratamiento de los Lixiviados Generados en el Relleno Sanitario La Pradera*. Medellín: Universidad de Medellín.
4. Behling, E., Marín, J., Gutiérrez, E., & Fernandez, N. (2003). Tratamiento Aerobio de dos Efluentes Industriales Utilizando Reactores Biológicos Rotativos de Contacto. *Revista Académica del Departamento de Ingeniería Ambiental y Sanitaria*.
5. *Biología Tecnológica*. (12 de Octubre de 2010). Obtenido de Biología Tecnológica: <http://biologiatecnologicaiti.blogspot.pe/>
6. Borzacconi, L., López, I., Arcia, E., Cardelino, L., Castagna, A., & Viñas, M. (1995). Modelo de Flujo y Expresión Cinética para un Sistema de Biodiscos.
7. Cairncross, M. (1990). *Agua Residual y Tratamiento de Efluentes Cloacales*. Lima: G.E.I.A. - U.T.N.
8. Castillo Borges, E., Santos Ocampo, B., Méndez Novelo, R., Pietrogiovanna Bronca, J., Espadas Solís, A., Quintal Franco, C., & Pat Canul, R. (2012). Tratamiento de Efluentes de Fosas Sépticas Mediante el uso de un Sistema de Contactor Biológico Rotatorio. *Ingeniería-Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México*.
9. Castillo, B. E., Bolio Rojas, E., Méndez Novelo, R., & Osorio Rodríguez, J. (2012). Remoción de Materia Orgánica de Aguas Residuales de rastro por el Proceso de Contactor Biológico Rotacional. *Ingeniería-Revista*

*Academica de la Facultad de Ingenieria, Universidad Autonoma de Yucatan, Mexico.*

10. Castillo, E., Vergara, M., & Moreno, Y. (2007). Landfill leachate treatment using a rotating biological contactor and upward-flow anaerobic sludge bed reactor. *Waste Management*.
11. Castillo, F., & Vivas, F. (1996). Tratamiento de Aguas Residuales, de una Empresa Papelera, con Sistema de Biodiscos. *ACOTEPAC*.
12. Castillo, P., Bezanilla, J., Amieva, J., Jacome , A., & Tejero, I. (1995). Depuración de Agua Residual con Salinidad Variable Empleando un Proceso de Biodiscos. *Depuración de Aguas Residuales*.
13. Cisterna, P. (2003). *Ingenieria y Tratamiento de Aguas Residuales*. Concepcion: Universidad del Bio, Bio, Facultad de Ingenieria.
14. Cortez , S., Teixeira, P., Oliveira, R., & Mota, M. (2008). Rotating biological contactors: a review on main factors affecting performance . *"Reviews in Environmetal Science and Biotechnology*.
15. Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales en pequeñas Poblaciones*. Santa Fe de Bogota: McGraw-Hill.
16. Davis, L. M., & Masten, J. S. (2001). *Ingenieria y Ciencias Ambientales*. España: McGraw-Hill.
17. Droppelman Cuneo, V., López Planes, R., & Wilkes, M. (1991). Evaluación de una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas en base a Biodiscos. *XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitaria e Ambiental*.
18. FONAM. (2010). Oportunidades de Mejoras Ambientales por el Tratamiento de Aguas Residuales en el Peru. *Fondo Nacional del Ambiente - Peru*, 1-37.
19. Hinostroza Sanchez, J. L., & Moscoso Barboza, E. (2014). *Construcción de un Sistema de Biodiscos para el Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas de los Efluentes "Las Virgenes" - Huancayo a Nivel Laboratorio*. Huancayo, Junín: UNCP - FIQ.
20. Lazcano Navarro, P. (2013). *Tratamiento del Agua Residual Generado en un Edificio Mediante Contactores Biologicos Rotatorios*. México: UNAM.

21. M, M. V. (2001). Observación Microscópica de Fangos Activados en los Tratamientos de Depuración Biológica. *Boletín INTEXTER*.
22. Mba, D., Bannister, R., & Findlay, G. (1999). Mechanical redesign of the rotating biological contactor. *Water Residual*.
23. Metcalf, & Eddy. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización*. Madrid: McGraw-Hill.
24. Metcalf, & Eddy. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización*. Mexico: McGraw-Hill.
25. MINAM. (17 de Marzo de 2010). *Diario El Peruano*. Obtenido de Diario El Peruano: <http://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-003-2010-minam/>
26. Perez, M. L. (1984). Remoción de F y N en Aguas Residuales utilizando un Reactor Discontinuo Secuencial. *Femisca*, 24-32.
27. Reyes, D. R., Torres, M. J., & Díaz, S. X. (2011). Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas Rurales a partir de un Contactor Biológico Rotatorio (RCB O BIODISCO). *Innovando en la U*.
28. Romero Rojas, J. A. (2002). *Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño*. Bogota: Escuela Colombiana de Ingeniería.
29. Romero Rojas, J. A. (2008). *Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño*. Bogota: Escuela Colombiana de Ingeniería.
30. Romero, J., Sánchez, J., Welter, A., Ascar, G., & Grumelli, Y. (2004). Modelos Matemáticos para Biodiscos. *Universidad Católica de Córdoba, Facultad de Ingeniería*.
31. Solorio Perusquia, F. (1988). *Tratamiento de Agua en Remojo de la Cebada por medio de Biodisco*. México: UNAM.
32. Spellman, F. (2003). *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations*. Lewis Publishers.
33. Torres Lozada, P., Vasquez Sarria, N., Perez Vidal, A., Madera Parra, C., & Rodríguez Victoria, J. (2011). Alternativas de Tratamiento Biológico Aerobio

para el Agua Residual Domestica del Municipio de Cali, Colombia.  
*AFINIDAD LXVIII.*

34. Welter , A., Castillo, J., Grumelli, Y., & Martinez , M. (2010). Diseño, Construccion e Instalacion de una Planta Piloto Compacta de Depuracion de Liquidos Residuales que posee como Tratamiento Biologico la Tecnologia Biodiscos. *Avances en Energias Renovables y Medio Ambiente.*
35. Welter, A. B., Romero, J. M., Grumelli, Y. A., Sanchez, J. A., & Ascar, G. I. (2004). La Biopelícula en los Procesos RBC. *Universidad Catolica de Cordoba; Facultad de Ingenieria.*

## **ANEXOS.**

## FOTOGRAFIAS DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL PROYECTO

Figura 4.11 Extracción del agua residual del colector central de la UAP



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12 Determinación de caudal (método cálculo de probeta)



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13 Preparando la muestra para su análisis de laboratorio



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14 Muestra del agua residual (pre-post tratamiento)



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15 Módulo instalado y funcionando en el laboratorio



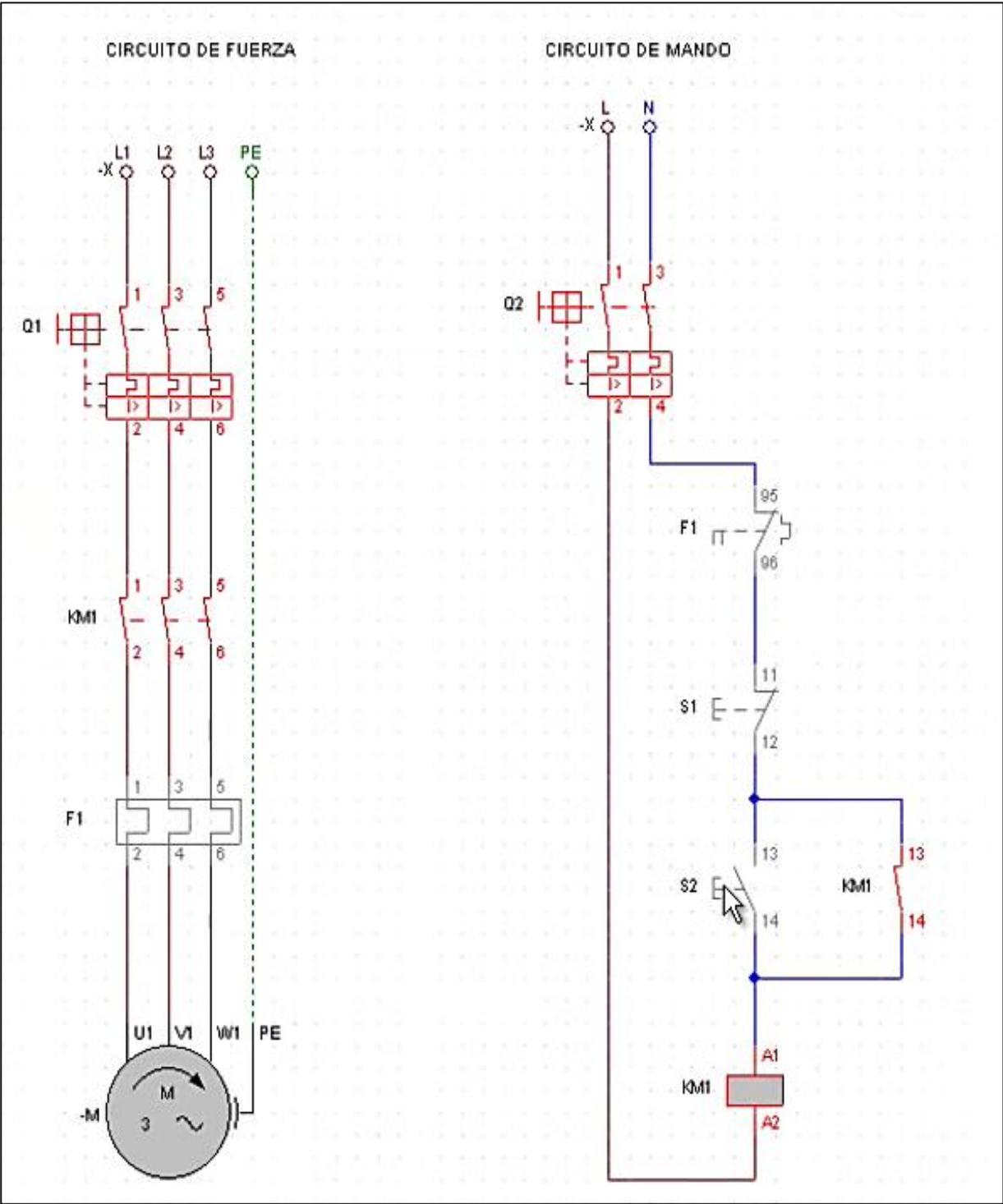
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16 Visita a la PTAR "Doris Mendoza P."- Concepción



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.17: Diagrama de bloques del circuito de fuerza y de mando para un motor trifásico



Fuente: Elaboración propia

# FLUJOGRAMA - SISTEMA DE BIODISCOS

