

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



TESIS

**“DETERMINACIÓN DE COEFICIENTES CINÉTICOS DE UN
SISTEMA DE BIODISCOS A NIVEL LABORATORIO PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA UNIVERSIDAD
ALAS PERUANAS FILIAL HUANCAYO”**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
Cristian John, HUAMAN GRIJALVA**

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

HUANCAYO - PERÚ
2016

TESIS

**“DETERMINACIÓN DE COEFICIENTES CINÉTICOS DE UN
SISTEMA DE BIODISCOS A NIVEL LABORATORIO PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA UNIVERSIDAD
ALAS PERUANAS FILIAL HUANCAYO”**

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a:

- Al creador de todas las cosas, el que me ha dado fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado; por ello, con toda la humildad que de mi corazón puede emanar, dedico primeramente mi trabajo a DIOS.
- De igual forma, dedico ésta tesis a mis padres Luis Huaman y Gloria Grijalva quienes me formaron con buenos hábitos y valores; quienes siempre me apoyaron en esta etapa de mi vida como estudiante; por lo cual estaré eternamente agradecido.
- A mis hermanas María Huaman y Abigail Huaman que siempre confiaron en mí y me dieron su apoyo incondicional.
- A mi familia quienes siempre me apoyaron en este trabajo de investigación y así poder lograr cumplir mí meta.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradecer a DIOS por bendecirme cada día, por estar conmigo en cada paso que doy, por darme la fortaleza para salir adelante y cumplir mi meta.

A la UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS, cuál fue mi centro de estudios durante cinco años y me brindó grandes enseñanzas respecto a mi carrera profesional. También por haberme permitido llevar a cabo mi trabajo de investigación dentro de sus instalaciones específicamente en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental.

Al Director de la Escuela Ing. José Valer Silva por todo el apoyo académico profesional; al Asesor César Loayza Morales por la asesoría de elaboración de la tesis y al Ing. Henry Ochoa por sus buenos consejos para realizar dicho trabajo de investigación.

A mi amigo Héctor Zevallos Soto quien ayudo a que este trabajo se pueda llevar a cabo y así poder lograr cumplir mí meta.

INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
INDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	x
INDICE DE TABLAS	xi
INDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN	xix
CAPÍTULO I	21
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
1.1 Caracterización de la realidad problemática	21
1.2 Formulación del problema	23
1.2.1 Problema general	23
1.2.2 Problemas específicos.....	23
1.3 Objetivos	23
1.3.1 Objetivo general.....	23
1.3.2 Objetivos específicos.....	24
1.4 Justificación.....	24
1.5 Importancia.....	25
1.6 Limitaciones	25
CAPÍTULO II	27
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	27

2.1	Marco referencial.....	27
2.1.1	Antecedentes de la investigación	27
2.1.2	Referencias históricas	35
2.2	Marco legal.....	36
2.2.1	Ley.....	36
2.2.2	Decretos supremos y legislativos	37
2.2.3	Norma técnica.....	37
2.3	Marco conceptual	38
2.4	Marco teórico.....	40
2.4.1	Aguas residuales	40
2.4.2	Características de las aguas residuales	41
2.4.3	Efectos de polución por las aguas residuales.....	42
2.4.4	Formación de la biopelícula	44
2.4.5	Modelos conceptuales de la estructura de la biopelícula.....	46
2.4.6	Rol de la biopelícula en el proceso del tratamiento.....	48
2.4.7	Reacciones biológicas esquemáticas	49
2.4.8	Cinética del crecimiento bacteriano	49
2.4.9	Bacterias.....	51
2.4.10	Lodos activados.....	52
2.4.11	Remoción biológica de nitrógeno.....	52
2.4.12	Límites máximos permisibles (LMP)	53
2.4.13	Proceso de tratamiento de aguas residuales.....	54
2.4.14	Plantas de tratamiento de aguas residuales	56
2.4.15	Sistema de biodiscos.....	57

2.4.16	Principio de funcionamiento del reactor biológico.....	60
2.4.17	Carga orgánica	61
2.4.18	Carga hidráulica.....	61
2.4.19	Tiempo de retención hidráulica (TRH)	62
2.4.20	Velocidad de giro de los discos	62
2.4.21	Carbono orgánico total (COT).....	62
2.4.22	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	63
2.4.23	Demanda química de oxígeno (DQO)	65
2.4.24	Temperatura	65
2.4.25	El pH en el tratamiento biológico	67
2.4.26	Procedimiento del diseño de biodiscos.....	68
2.4.27	Determinación de coeficientes cinéticos “K” y “p” en biodiscos	75
CAPÍTULO III		78
3.	PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	78
3.1	Metodología.....	78
3.1.1	Método.....	78
3.1.1.1	Lugar de estudio	78
3.1.1.2	Fase I: Construcción del sistema de biodiscos	
	a nivel laboratorio	79
3.1.1.3	Fase II: Recolección y acondicionamiento de lodos	
	en el reactor:.....	97
3.1.1.4	Fase III: Operación del reactor.....	99
3.1.1.5	Fase IV: Parte Experimental	102
3.1.2	Tipo de la investigación	108

3.1.3	Nivel de la investigación	108
3.2	Diseño de la investigación.....	109
3.3	Hipótesis de la investigación	110
3.3.1	Hipótesis general	110
3.3.2	Hipótesis específicas	110
3.4	Variables	111
3.4.1	Variable independiente	111
3.4.2	Variable dependiente.....	111
3.5	Cobertura del estudio.....	111
3.5.1	Universo	111
3.5.2	Población.....	111
3.5.3	Muestra.....	111
3.5.3.1	Muestreo.....	111
3.6	Técnicas e instrumentos	112
3.6.1	Técnicas de la investigación.....	112
3.6.2	Instrumentos de la investigación.....	112
3.7	Procesamiento estadístico de la información.	113
3.7.1	Estadísticos	113
3.7.2	Representación.....	113
3.7.3	Técnica de comprobación de la hipótesis.....	113
CAPITULO IV.....		114
4.	ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	114
4.1	Resultados	114

4.1.1	Datos de las pruebas experimentales con 8 RPM	
	de los discos.....	114
4.1.2	Datos de las pruebas experimentales con 4 RPM	
	de los discos.....	119
4.2	Discusión de resultados	123
4.2.1	Comparación de % de remoción de DBO ₅ Y DQO	
	con 8 RPM.....	123
4.2.2	Comparación de % de remoción de DBO ₅ Y DQO	
	con 4 RPM.....	129
4.2.3	Determinación de los coeficientes cinéticos K y p	134
4.3	Contrastación de hipótesis	140
4.3.1	Análisis de anova.....	140
CONCLUSIONES		146
RECOMENDACIONES		147
BIBLIOGRAFÍA		148
ANEXOS		150

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

AR	: Aguas Residuales
ARD	: Aguas Residuales Domésticas
CH	: Carga Hidráulica
CO	: Carga Orgánica
COT	: Carga Orgánica Total
DBO	: Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	: Demanda Química de Oxígeno
DIGESA	: Dirección General de Salud
EPP	: Equipos de Protección Personal
OD	: Oxígeno Disuelto
PTAR	: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
PVC	: Policloruro de Vinilo
RBC	: Reactores Biológicos de Contacto
RPM	: Revoluciones por minuto
SST	: Sólidos Suspendidos Totales
SSV	: Sólidos Suspendidos Volátiles
TRC	: Tiempo de Retención Celular
TRH	: Tiempo de Retención Hidráulica

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Composición Típica de las ARD.....	41
Tabla 2.2: Contaminantes y la causa de su importancia.....	42
Tabla 2.3: Contaminantes y su impacto ambiental.....	43
Tabla 2.4: Límites Máximos Permisibles para Efluentes de PTAR	53
Tabla 2.5: Características de los efluentes y los procesos de tratamiento de..... aguas residuales.....	56
Tabla 3.1: Ubicación del Lugar de Estudio.....	78
Tabla 3.2: Muestreo de Agua Residual primera y segunda semana.....	100
Tabla 3.3: Muestreo de Agua Residual tercera y cuarta semana.....	100
Tabla 3.4: Muestras Representativas para Análisis de DBO ₅ y DQO	107
Tabla 3.5: Diseño de la investigación.....	109
Tabla 4.1: Resultados de la Primera prueba experimental	114
Tabla 4.2: Resultados de la Primera réplica experimental	115
Tabla 4.3: Resultados de la Segunda réplica experimental	115
Tabla 4.4: Resultados de la Tercera réplica experimental	116
Tabla 4.5: Resultados de la Primera prueba experimental	119
Tabla 4.6: Resultados de la Primera réplica experimental	119
Tabla 4.7: Resultados de la Segunda réplica experimental	120
Tabla 4.8: Resultados de la Tercera réplica experimental	120
Tabla 4.9: % de remoción de DBO ₅ y DQO con 8 RPM-Primera prueba..... experimental.....	124
Tabla 4.10: % de remoción de DBO ₅ y DQO con 8 RPM-Primera réplica	125
Tabla 4.11: % de remoción de DBO ₅ y DQO con 8 RPM-Segunda réplica..... experimental.....	125
Tabla 4.12: % de remoción de DBO ₅ y DQO con 8 RPM-Tercera réplica..... experimental.....	126

Tabla 4.13: % de remoción de DBO ₅ y DQO con 4 RPM-Primera prueba	
experimental.....	129
Tabla 4.14: % de remoción de DBO ₅ y DQO con 4 RPM-Primera réplica	
experimental.....	130
Tabla 4.15: % de remoción de DBO ₅ y DQO con 4 RPM-Segunda réplica.....	
experimental.....	131
Tabla 4.16: % de remoción de DBO ₅ y DQO con 4 RPM-Tercera réplica.....	
experimental.....	132
Tabla 4.17: Datos para el cálculo de K y p con 8 RPM	135
Tabla 4.18: Datos para el cálculo de K y p con 4 RPM	136

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Sistema Experimental de Evaluación del Tratamiento Aeróbico	28
Figura 2.2: El glicocálix	45
Figura 2.3: Formación de la Biopelícula – Barros de Macedo	46
Figura 2.4: Modelo del Canal de Agua	47
Figura 2.5: Modelo de Mosaico Heterogéneo	47
Figura 2.6: Modelo de Película Densa	48
Figura 2.7: Cinética de Crecimiento Bacteriano	50
Figura 2.8: El metabolismo bacteriano quimioheterotrófico	51
Figura 2.9: Proceso de Biodiscos – Teoría y Principios de Diseño	58
Figura 2.10: Intercambio de Aire y Agua Residual	61
Figura 2.11: Curva característica de DBO	64
Figura 2.12: Velocidad de reacciones bioquímicas	67
Figura 2.13: Detalle de la zona Húmeda de un biodisco	68
Figura 2.14: Esquema de un Biodisco	75
Figura 2.15: Relación entre la tasa específica de remoción de DBO y la DBO	76
del efluente.....	
Figura 2.16: Gráfico para la Obtención de K y p	77
Figura 3.1: Instalaciones de la Universidad Alas Peruanas – Filial Huancayo	79
Figura 3.2: Área sumergida del disco en el reactor	80
Figura 3.3: Discos sumergidos en el reactor biológico	80
Figura 3.4: Diámetro del disco de poliestireno	81
Figura 3.5: Corte circular al centro del disco para el eje central.....	81
Figura 3.6: Separadores rectangulares para los discos	82
Figura 3.7: Etapas del Reactor.....	83
Figura 3.8: Reactor Biológico	84
Figura 3.9: Medidas específicas respecto a los discos en el Reactor	84
Figura 3.10: Área Total del Cilindro de PVC	85
Figura 3.11: Volumen total del Reactor Biológico	86

Figura 3.12: Volumen del Reactor Efectivo	88
Figura 3.13: Eje central del Reactor para los discos	88
Figura 3.14: Dimensiones del Soporte del Reactor	89
Figura 3.15: Rejilla de soporte para los motores y para el reductor de velocidad	90
Figura 3.16: Reductor de Velocidad	90
Figura 3.17: Temporizador para funcionamiento de los motores	91
Figura 3.18: Poleas para el giro de los discos	92
Figura 3.19: Acoplamiento de los discos al eje central	93
Figura 3.20: Soporte del Tanque de Alimentación	94
Figura 3.21: Acoplamiento de tuberías al reactor	95
Figura 3.22: Sedimentador Secundario	96
Figura 3.23: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Doris Mendoza Paredes”	97
Figura 3.24: Recolección del Lodo de la PTAR de Concepción	98
Figura 3.25: Inoculación del lodo al reactor Biológico	99
Figura 3.26: Recojo de muestra de agua residual del colector central de la UAP-Huancayo	101
Figura 3.27: Balde de 20 L utilizado para el recojo de la muestra de agua residual	101
Figura 3.28: Filtración del Agua Residual extraído del colector principal de la Universidad Alas Peruanas	102
Figura 3.29: Alimentación del Tanque primario con agua residual	103
Figura 3.30: Regulación de velocidad del giro de los discos	104
Figura 3.31: Programación del Tablero Temporizador	104
Figura 3.32: Medición del Caudal a través de las tuberías del reactor	105
Figura 3.33: Medición de la Temperatura	106
Figura 3.34: Muestras de lodos para su Análisis de laboratorio	108
Figura 4.1: Comparación de Cc. de DBO ₅ con 8 RPM-Primera Prueba y réplicas experimentales	116

Figura 4.2: Comparación de Cc. de DQO con 8 RPM-Primera Prueba y..... réplicas experimentales	117
Figura 4.3: Comparación de resultados de pH con 8 RPM-Primera prueba	
y réplicas experimentales.....	118
Figura 4.4: Comparación de resultados de temperaturas con	
8 RPM-Primera prueba y réplicas experimentales	118
Figura 4.5: Comparación de Cc. de DBO ₅ con 4 RPM-Primera prueba.....	
y réplicas experimentales.....	121
Figura 4.6: Comparación de Cc. de DQO con 4 RPM-Primera prueba.....	
y réplicas experimentales.....	121
Figura 4.7: Comparación de resultados de pH con 4 RPM-Primera prueba	
y réplicas experimentales.....	122
Figura 4.8: Comparación de resultados de Temperatura con 4 RPM-Primera	
prueba y réplicas experimentales.....	123
Figura 4.9: Comparación de % de remoción de DBO ₅ con	
8 RPM-Primera prueba y réplicas experimentales	127
Figura 4.10: Comparación de % de remoción de DQO con	
8 RPM-Primera prueba y réplicas experimentales	128
Figura 4.11: Comparación de % de remoción de DBO ₅ con	
4 RPM-Primera prueba y réplicas experimentales	132
Figura 4.12: Comparación de % de remoción de DQO con	
4 RPM-Primera prueba y réplicas experimentales	133
Figura 4.13: Gráfico para la obtención de los valores de K y p con 8 RPM	135
Figura 4.14: Gráfico para la obtención de los valores de K y p con 4 RPM	137
Figura 4.15: Comparación de valores de K y p con respecto.....	
a 8RPM y 4 RPM	139
Figura 4.16: Diferencias de Medias por % de remoción de materia orgánica	
(DQO)	142
Figura 4.17: Intervalo del % de remoción de materia orgánica (DQO).....	
VS RPM	142

Figura 4.18: Diferencia de Medias por % de remoción de
materia orgánica (DBO₅) 144
Figura 4.19: Intervalo del % de remoción de materia orgánica (DBO₅).....
VS RPM 145

RESUMEN

Existen diferentes metodologías para el tratamiento de aguas residuales urbanas para las distintas características del efluente que en cada caso será diferente; es por eso que en esta oportunidad utilicé la metodología de Sistema de Biodiscos a nivel laboratorio implementados en la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo. En el presente trabajo de investigación se planteó como objetivo de investigación el poder determinar los coeficientes cinéticos del sistema de biodiscos y consecuentemente la eficiencia de degradación de materia orgánica a través de la Metodología por Sistema de Biodiscos.

Los valores de los coeficientes cinéticos respecto a 8 RPM de los discos fueron para la concentración de DQO en el Sistema (K) el valor de 38,012 mg/L y para la Tasa específica de remoción en el sistema (p) fue el valor de 126,58 g/m².d y respecto a 4 RPM de los discos fueron para la concentración de DQO en el Sistema (K) fue el valor de 348,25 mg/L y para la Tasa específica de remoción en el sistema (p) fue el valor de 136,98 g/m².d

El diseño del reactor fue tomado como referencia de otros trabajos de investigación las cuales nos permitió obtener buenos resultados, en la cual el volumen efectivo del reactor fue de 20 L cuyas dimensiones fueron 0,685 m de largo y 0,35 m de ancho, respecto a los discos fueron de material de poliestireno rugoso transparente, cuyo diámetro fue de 0,28 m con un espesor de 0,003 m; la sumergencia de los discos lo consideré a un 32 % para que hubiera mayor área de oxigenación para la materia orgánica.

Se determinó la concentración del contaminante en el agua después del tratamiento que fue acorde a los Límites Máximos Permisibles de Efluentes para PTARs.

El porcentaje de remoción más alto se llevó a cabo a velocidades de giro de discos de 8 RPM con un valor de 85,86 % teniendo en cuenta el tiempo de retención celular de 72 horas y al crecimiento óptimo de bacterias en fase estacionaria o de equilibrio para la degradación eficiente de la materia orgánica.

ABSTRACT

There are different methodologies for the treatment of waters residual urban for the different characteristics of the effluent that in each case will be different; is by that that in this opportunity used the methodology of system of biodisk plants to level laboratory implemented in the University wing Peruvian subsidiary Huancayo.

In the present research was raised as objective research to determine the kinetic coefficients of the system biodisk plants and consequently the efficiency of degradation of organic matter through the methodology by biodisk plants system.

Values of the kinetic coefficients with respect to 8 RPM discs were for the concentration of DQO in the system (K) 38,012 mg/L value and (p) was the value of 126,58 g/m².d for the specific rate of removal in the system and with regard to 4 RPM discs were for cod concentration in the system (K) was the value of 348,25 mg/L and for specific removal rate in the system (p) was the value of 136,98 g/m².d.

The design of the reactor was taken as a reference for other research works which allowed us to get good results, in which the effective volume of the reactor was 20 L whose dimensions were 0,685 m long and 0.35 m wide, on discs were material of rugged transparent polystyrene, whose diameter was 0.28 m with a thickness of 0.003 m; the submergence of the albums thought it to 32 % that had greater area of oxygenation to the organic matter.

It was determined the concentration of the contaminant in the water after the treatment that was consistent with the allowable maximum limits of effluents for PTARs.

He percentage of removal more high is led to out to speeds of spin of disks of 8 RPM with a value of 85,86 % taking in has the time of retention cell of 72 hours and to the growth optimum of bacteria in phase stationary or of balance for the degradation efficient of the matter organic.

INTRODUCCIÓN

La descarga directa sin tratamiento previo de las aguas residuales en los cuerpos receptores (ríos, lagos, quebradas secas o el mar) es uno de los principales factores de contaminación no solo de los diversos ecosistemas existentes sino, sobre todo, de nuestras actuales fuentes de agua, tanto superficiales como subterráneas, lo que amenaza la sostenibilidad del recurso y pone en riesgo la salud de la población. Existen diferentes metodologías de tratamiento del agua residual; pero es importante poder determinar cuál es el proceso adecuado según las características del efluente.

En el proyecto titulado “Determinación de Coeficientes Cinéticos de un Sistema de Biodiscos a nivel Laboratorio para el Tratamiento de Aguas Residuales en la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo” se planteó el objetivo de determinar los coeficientes cinéticos que ayudan a evaluar el comportamiento del Sistema de Tratamiento de aguas residuales y también la cual se desarrolló como una alternativa de solución al problema del tipo medioambiental generado por las aguas residuales urbanas. El presente trabajo de investigación contiene cuatro capítulos que nos ayudaran a entender mejor las etapas del proceso de tratamiento de aguas residuales realizado y que se describen a continuación.

En el CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, se detalla la característica de la realidad problemática respecto a la incorrecta disposición de aguas residuales, las acciones o metodologías que utilicé para el tratamiento de agua residual, se explica por qué estamos realizando este trabajo de investigación y la importancia que abarca este trabajo tanto para el cuidado del medio ambiente como también para mejorar la calidad de vida de las personas.

En el CAPITULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS, se detallan los antecedentes del uso de la metodología de tratamiento de aguas residuales que utilicé en mi trabajo de investigación y referencias históricas de la investigación, el marco legal que especifica las normativas que regulan la disposición de aguas residuales, marco conceptual y el marco teórico en el cual se tomará mucha importancia

porque nos ayudará a entender los diferentes fenómenos que ocurren en el proceso de tratamiento de aguas residuales urbanas.

En el CAPITULO III: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO, se detallan la metodología utilizada para el proceso de tratamiento de aguas residuales por el Sistema de Biodiscos, las variables a evaluar y su estudio respecto a cómo influyen en el proceso de tratamiento, las técnicas y el procedimiento estadístico que nos ayudaran a la comprobación de nuestra hipótesis y a la confiabilidad de nuestros datos obtenidos de las diferentes muestras.

En el CAPITULO IV: ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS, se detallan los resultados obtenidos y su discusión de resultados.

Al final del trabajo de investigación realizado puedo concluir que los resultados obtenidos después del tratamiento por el Sistema de Biodiscos cumplen con los Límites Máximos Permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales y que los coeficientes cinéticos obtenidos nos ayuda a explicar el comportamiento del sistema de biodiscos en la degradación de carga orgánica con referencia a sus características específicas como es el caso del caudal del efluente, la cual es importante para poder predecir el tamaño de los discos y del reactor a utilizar en otros tipos de efluentes.

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Caracterización de la realidad problemática

El crecimiento acelerado de la población, la contaminación de las fuentes naturales de agua superficial y subterránea, la desigual distribución espacial del recurso hídrico y los prolongados períodos de estiaje, vienen forzando la necesidad de propuestas innovadoras como fuentes alternativas para el abastecimiento de agua. A nivel mundial, y particularmente en los países de América Latina y el Caribe, la gestión del agua es un tema vital porque debemos revertir la situación en que están sumidas millones de personas que no tienen acceso a servicios de agua potable y porque también carecen de servicios de saneamiento adecuado. Ante el problema de contaminación del agua se ha venido realizando diferentes estudios sobre diferentes alternativas para el tratamiento de aguas residuales, uno de estos es el sistema de biodiscos en las cuales se determinan y evalúan los parámetros cinéticos en lodos activados; estos permiten optimizar el proceso de tratamiento del agua residual. En el Perú solo un 25 % de las aguas residuales son tratadas, el resto se arroja a los mares, lagos y ríos provocando un impacto negativo en el medio ambiente y en la salud de las personas. Según datos de DIGESA, en el Perú, unas 4,500 hectáreas de

cultivo se riegan con aguas residuales, de ellas solo un 10 % son tratadas, lo que representa un serio riesgo para los consumidores y para quienes riegan sus cultivos bajo esta modalidad. Actualmente en las instalaciones de la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo se puede observar que la disposición de las aguas residuales viene siendo de forma inapropiada, ya que se puede observar que contiene alta concentración de carga orgánica, la cual incrementa y contribuye en la contaminación del agua que desemboca en el río o afecta en la capa freática de donde se extrae agua de los pozos y que a su vez genera malestar en la salud de las personas al consumirlo para sus necesidades biológicas. Es importante mencionar que urge realizar el tratamiento de aguas residuales por el sistema de biodiscos ya que se puede observar que el riego de las áreas verdes es mediante agua potable tomado directamente de la red, cuya fuente es agua extraída del subsuelo. Con el fin de reemplazar el uso de agua potable por una fuente de agua recuperada mediante tratamiento de efluentes residuales, fundamentalmente doméstico, se propone el desarrollo de un proceso de tratamiento de aguas residuales producidas en las instalaciones de la Universidad Alas Peruanas. Como estudiante egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental me veo en la responsabilidad de poder realizar este proyecto de investigación referente al tratamiento de aguas residuales para poder dar solución al problema de contaminación del agua y poder disminuir los impactos ambientales y los problemas de salud en las personas. Por ello ya planteado el proceso de tratamiento ha sido importante determinar los coeficientes cinéticos de degradación de materia orgánica con las que se desarrolla dicho tratamiento de aguas residuales en las cuales intervienen diferentes variables las cuales se evaluó y especificó donde se presente la eficiencia de remoción de carga orgánica para poder reutilizar el agua tratada y bajo los límites máximos permisibles.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuáles son los coeficientes cinéticos de degradación de la materia orgánica en lodos activados y la variación de las revoluciones por minuto (RPM) de los discos en el tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de biodiscos a nivel laboratorio en la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál será la concentración de contaminante en el agua al ingreso y salida del tratamiento mediante un sistema de biodiscos a nivel laboratorio en la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo?
- ¿Cómo influye la variación de las revoluciones por minuto (RPM) de los discos en los valores de los coeficientes cinéticos “K” y “p” en el tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de biodiscos a nivel laboratorio en la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo?
- ¿Cuál será el valor de coeficiente cinético “K” en el tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de biodiscos a nivel laboratorio en la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo?
- ¿Cuál será el valor de coeficiente cinético “p” en el tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de biodiscos a nivel laboratorio en la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar los coeficientes cinéticos de degradación de la materia orgánica en lodos activados y la variación de las revoluciones por minuto (RPM) de los discos en el tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de biodiscos a nivel laboratorio en la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la concentración de contaminante en el agua al ingreso y salida del tratamiento mediante un sistema de biodiscos a nivel laboratorio en la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo.
- Evaluar la influencia de la variación de las revoluciones por minuto (RPM) de los discos en los valores de los coeficientes cinéticos “K” y “p” en el tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de biodiscos a nivel laboratorio en la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo.
- Determinar el valor de coeficiente cinético “K” en el tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de biodiscos a nivel laboratorio en la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo.
- Determinar el valor de coeficiente cinético “p” en el tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de biodiscos a nivel laboratorio en la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo.

1.4 Justificación

El presente proyecto respecto a la determinación de los coeficientes cinéticos en el sistema de biodiscos a nivel laboratorio para el tratamiento de aguas residuales en la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo fue realizado debido al motivo de poder conocer y entender el funcionamiento adecuado del sistema de biodiscos a partir de las diferentes variables a intervenir y las cuales ayudaran a obtener mayor eficiencia en el resultado del tratamiento de aguas residuales urbanas. El resultado obtenido permitió disminuir la carga orgánica excesiva presentes en los efluentes de aguas residuales que sobrepasan los Límites Máximos Permisibles y que a su vez permitirán disminuir el impacto que genera la contaminación del agua tanto en el medio ambiente como en la salud de las personas. Se tomó en cuenta este método de tratamiento de aguas residuales debido a que este sistema de biodiscos a nivel laboratorio es recomendable y más efectivo para este

tipo de aguas residuales y que presentan algunas ventajas el proceso respecto a las variables a considerar y la facilidad de poder implementar en las instalaciones de la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo.

1.5 Importancia

El fin de poder conocer los coeficientes cinéticos del funcionamiento en el tratamiento de aguas residuales por el sistema de biodiscos a nivel laboratorio nos permitirá optimizar el proceso de degradación de la materia orgánica que está generando la contaminación del agua y así poder minimizar los impactos en el ambiente y en la salud de las personas. El presente trabajo también es considerado de importancia para la institución universitaria ya que urge de poder implementar este tipo de proyectos de investigación para mejorar la disposición correcta del agua residual y así poder impulsar las acciones respecto al cuidado del medio ambiente. Es importante considerar que el sistema de biodiscos es una de las alternativas para el tratamiento de aguas residuales que en los últimos años a nivel nacional recién se viene conociendo y empleando; es por eso que consideré de importancia poder experimentar este sistema de biodiscos en la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo a partir del estudio del comportamiento de los coeficientes cinéticos para optimizar el tratamiento del agua residual y que de alguna manera en unos años más se tenga estudios que mejorarán la eficiencia y así poder generar mayor trascendencia en la localidad y que se puedan emplear en distintas zonas con el apoyo de las distintas autoridades responsables del cuidado del medio ambiente.

1.6 Limitaciones

El estudio realizado presentó algunas dificultades al momento de poder caracterizar las bacterias presentes en los lodos activados a utilizar en el tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de biodiscos a nivel laboratorio. Es importante conocer con qué tipo de bacterias se va a trabajar y así poder acondicionar el crecimiento adecuado y lograr una

mayor eficiencia en el proceso de tratamiento de aguas residuales , para la cual se tiene que realizar un análisis de laboratorio y buscar mucha información específica referentes a estas bacterias.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Marco referencial

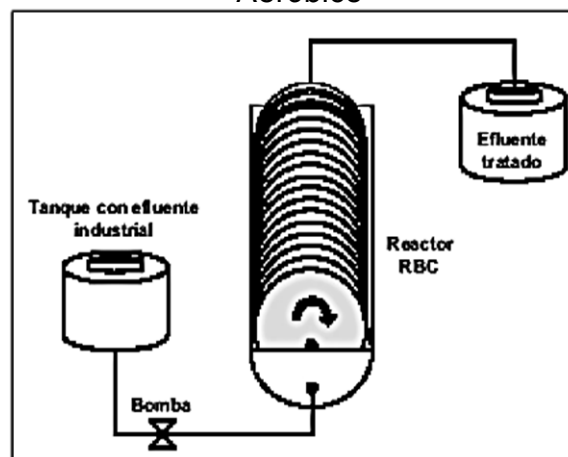
2.1.1 Antecedentes de la investigación

TRATAMIENTO AERÓBICO DE DOS EFLUENTES INDUSTRIALES UTILIZANDO REACTORES BIOLÓGICOS ROTATIVOS DE CONTACTO. (Behling, Marín , Gutierrez, & Fernandez, 2006)

En este trabajo 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 hidráulico de 24 h. En el sistema experimental los ensayos de laboratorio fueron desarrollados empleando un modelo experimental semejante al que se presenta en la Figura 2.1. Cada Reactor Biológico de Contacto (RBC) contenía 50 discos circulares de cloruro de polivinilo corrugado (18 cm de diámetro), separado a 0,8 cm y sumergido aproximadamente un 40 % en el efluente en tratamiento. El área de contacto total de los discos fue de 2,443 m². Estos discos fueron soportados en un eje de acero de carbono de 3/8" de diámetro, el

cual les permitía girar lentamente a 2,5 rpm, utilizando un motor eléctrico COLE-PARMER de 110 v. El tanque del reactor se fabricó a partir de una tubería de PVC de 8" de diámetro externo y 60 cm de longitud, cortada longitudinalmente y cerrada a los lados con tapas de plexiglás transparente. Así, el reactor aportaba un volumen de agua a ser tratada de 7,5 L a un caudal de 5,2 mL/min. Inicialmente, los reactores RBC se sometieron a un período de aclimatación, durante el cual el sistema funcionó como un reactor por carga, manteniéndose un Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) de 24 h. Cada reactor se inoculó con 2 L de lodo aeróbico proveniente de una laguna de aireación de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de Santa Cruz de Mara, estado Zulia. Luego de formada la película microbiana en los discos y lograda la estabilidad en los parámetros operacionales, los reactores fueron puestos en funcionamiento a flujo continuo (5,2 mL/min) con su respectivo efluente industrial, durante 34 d (TRH = 24 h). Los Reactores Biológicos de Contacto (RBC) se mantuvieron a temperatura ambiente de laboratorio (27 ° C - 32 ° C).

Figura 2.1: Sistema Experimental de Evaluación del Tratamiento Aeróbico



Fuente: (Behling, Marín , Gutierrez, & Fernandez, 2006)

OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE BIODISCOS PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS, (Navarro, Palladino, & Moreno, 2004)

En este trabajo se trató de determinar las características operativas de un sistema de biodiscos, construido a escala piloto, a través de la determinación de los parámetros cinéticos de un modelo que lo represente. Asimismo sacar conclusiones a cerca de las distintas variables que actúan sobre estos sistemas.

Para ello se construyó en laboratorio una unidad a escala piloto consistente en diez discos parcialmente sumergidos en una pileta o colector, unidos a través de un eje central y girando a bajas rpm. Se seleccionó un modelo para identificar la operación del equipo y a partir de distintos caudales del efluente a tratar y manteniendo aproximadamente la misma carga orgánica inicial, se determinaron los parámetros cinéticos correspondientes. A partir de aquí se sacaron conclusiones respecto a las características y eficiencia del sistema, como así también comportamiento frente a diferentes condiciones climáticas. El cálculo de los biodiscos responde a numerosos modelos que intentan determinar a través de los parámetros de operación más importantes, el comportamiento frente a una determinada carga orgánica. En este trabajo se sigue el modelo de Eckenfelder y Kornegay. Se realizaron ensayos con caudales de 300 mL/min - 400 mL/min y 500 mL/min que corresponden a tiempos de residencia del efluente dentro del sistema de 3,10 h - 2,33 h y 1,87 horas, asimismo se midió la carga orgánica del efluente sin tratar y del tratado (previo paso por filtro de 0,45 μm) para cada uno de los casos. Mediante el modelo seleccionado que representa la operación de un sistema de biodiscos construido en laboratorio a escala piloto, es posible predecir cuál será la operación de este sistema frente a otros caudales y cargas orgánicas de entrada.

Frente a los valores del coeficiente de remoción publicados en bibliografía (0,20 m³/d/m² a 0,81 m³/d/m²) se observó un valor bajo en su caso debido probablemente a una baja superficie expuesta para el crecimiento bacteriano, lo cual se podía mejorar aumentando el número de discos para el modelo en estudio. Se observa además que al ser un sistema abierto está mucho más influenciada por las condiciones ambientales que otras técnicas de tratamiento, fundamentalmente la temperatura que afecta la aireación del sistema incorporando zonas anaeróbicas dentro del mismo y bajando su eficiencia, lo cual fue observado durante toda la ejecución de las experiencias. Asimismo el crecimiento bacteriano resultó más notable respecto a otros sistemas de película fija.

- Modelo cinético utilizado

El cálculo de los biodiscos responde a numerosos modelos que intentan determinar a través de los parámetros de operación más importantes, el comportamiento frente a una determinada carga orgánica (Kornegay, Schulze, Eckenfelder, etc.). En este trabajo se siguió el modelo de Eckenfelder y el modelo cinético de Kornegay que considera las siguientes expresiones:

Caso 1

$$Q(S_0 - S) = \frac{1}{2}\pi(D_0^2 - D_i^2)NKS \quad (1)$$

Caso “n” etapas

$$S = S_0 \left[\frac{Q}{Q + K(\pi/2)(D_0^2 - D_i^2)N} \right]^n \quad (2)$$

Donde:

$$P = \frac{\mu_{\max,A}}{Y_A} X_A d \quad (3)$$

D₀: Diámetro del disco (mm)

D_i: Diámetro del área circular no sumergida (mm)

N: Numero de discos.

Q_o : Caudal volumétrico (m^3/s)
 S_o : Concentración de sustrato al ingreso (mg/L)
 S_e : Concentración de sustrato a la salida (mg/L)
 S_i : de salida de la etapa i (mg/L)
 d : Espesor de película microbiana (mm)
 X_a : Biomasa activa por unidad de volumen de película en el biodisco (mg/L)
 Y_a : Coeficiente de producción de biomasa en el biodisco
 $\mu_{m\acute{a}x.}$: Velocidad máxima de crecimiento específica de la biomasa en el biodisco (t^{-1})
 K_s : Concentración de sustrato cuando la velocidad de consumo es la mitad de la máxima (mg/L)

- Ajuste de parámetros cinéticos:

Reordenando la Ecuación (1) se puede obtener una forma de la misma que permita determinar los parámetros correspondientes.

$$\frac{\frac{1}{2} \pi(D_o^2 - D_i^2)N}{Q_o(S_o - S_e)} = \frac{1}{P} + \frac{K_s}{P S_e} \quad (4)$$

INFLUENCIA DEL AREA DE DISCOS Y VOLUMEN DE PILETA EN LA OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE BODISCOS, (Navarro, Albertario, & Palladino, 2004)

En este trabajo se tuvo como objetivo determinar la influencia que tienen sobre la operación de un sistema de biodiscos, construido a escala piloto, el aumento del número de discos y la forma de la pileta en la cual se encuentran parcialmente sumergidos. Dicha influencia se establece ajustando el parámetro cinético del modelo de referencia y contrastando las eficiencias de degradación con las obtenidas en el trabajo previo Para ello se tomó como referencia el modelo anterior construido a escala piloto con diez discos parcialmente sumergidos en una pileta o colector, unidos a través de

un eje central y girando a bajas rpm. Se le duplicó el número de discos y se construyó una nueva pileta de menor volumen con una geometría que se ajusta mejor al contorno de los mismos. Se continuó utilizando el modelo de Eckenfelder para identificar la operación del equipo y a partir de distintos caudales del efluente a tratar y cargas orgánicas iniciales similares, se determinó el parámetro cinético correspondiente. A partir de aquí se sacaron conclusiones respecto a la influencia citada y eficiencia del nuevo sistema.

Se construyó un modelo de biodiscos a escala piloto siguiendo los lineamientos generales de construcción de estos sistemas a escala industrial. El mismo consta de: Pileta de acrílico de 20 L de 600 mm de largo por 310 mm de ancho y por 180 mm de altura, construida de tal forma que mantiene su ancho hasta una distancia de 90 mm desde el borde superior y de aquí en adelante la pared lateral forma un ángulo de 45° para terminar con una base de 13 mm de ancho. Veinte discos de acrílico de 300 mm de diámetro con espesor de 2 mm, unidos a través de un eje central que atraviesa la pileta longitudinalmente a 160 mm de distancia a partir de la base. Una moto reductora de doble reducción a sinfín y corona, de 0,25 HP, es el encargado de mantener en movimiento los discos que giran a 1,5 rpm. Se realizaron ensayos con caudales comprendidos entre 85 mL/min y 420 mL/min que corresponden a tiempos de residencia del efluente dentro del sistema de 48 min a 3 horas 55 min., se midió además la Temperatura, el Oxígeno Disuelto (OD) y el pH asociado al interior de la pileta, en el momento en que se realizó el muestreo del efluente. Los valores de OD estuvieron en el orden de los 4 mg/L (por encima de los valores típicos de buen funcionamiento) lo cual indicó que en el sistema se mantuvieron las condiciones aeróbicas, salvo determinados puntos aislados donde ocurrieron condiciones

anaeróbicas. La temperatura medida se correspondió con la época del año en la cual se realizaron los ensayos. Para esta experiencia en particular, se observó que luego de aumentar el área para el crecimiento bacteriano, duplicando el número de discos, y disminuyendo el volumen de masa de líquido con crecimiento en suspensión, existe una tendencia similar respecto al modelo construido originariamente. El valor del coeficiente de remoción sigue en el mismo orden del encontrado en primer lugar. Sin embargo se observa un notable aumento en la eficiencia de remoción, en el ensayo anterior trabajando en la zona de mayores caudales se obtuvieron eficiencias comprendidas entre un 10% y un 21 % y actualmente se han duplicado los valores alcanzando órdenes del 52,6 % en zona de bajos caudales. Basándonos en el modelo propuesto por Pópel se encuentra que para nuestro sistema el número de discos necesarios para la remoción encontrada es de 16 discos (valor muy cercano al utilizado en este trabajo). Los valores medios informados en la literatura son para carga hidráulica de $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ y para carga orgánica por unidad de superficie expuesta comprendida entre $0,03 \text{ Kg DBO u/m}^2/\text{d}$ y $0,15 \text{ kg DBO u/m}^2/\text{d}$ siendo los valores utilizados en este trabajo de $0,051 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ a $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ para la primera variable y $0,013 \text{ Kg DQO/m}^2/\text{d}$ a $0,051 \text{ kg DQO/m}^2/\text{d}$ para la segunda, que se encuentran dentro de los órdenes antes mencionados.

ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO AEROBIO PARA EL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA DEL MUNICIPIO DE CALI, COLOMBIA, (Lozada, Vasquez Sarria, Perez Vidal, Madera Parra, & Rodriguez Victoria, 2011)

En este trabajo de investigación se evaluó el desempeño de diferentes alternativas biológicas para el tratamiento del agua residual domestica del municipio de Cali, se estudiaron a escala de

laboratorio diferentes modalidades del sistema de lodos activados (convencional, aireación extendida, estabilización por contacto y adsorción biooxidación – sistema A/B) y un sistema de biodiscos. El estudio mostró la potencialidad de los sistemas de lodos activados y biodiscos como alternativas de tratamiento secundario del efluente primario convencional de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Canaveralajo, perteneciente a la ciudad, ofreciendo eficiencias de reducción promedio de DQO, DBO₅ y SST superiores al 80 %, cumpliendo con la normatividad colombiana para el vertimiento de agua residual a cuerpos receptores. Entre los sistemas de lodos activados evaluados, las modalidades convencionales y estabilización por contacto mostraron el menor requerimiento de áreas comparadas con las modalidades de aireación extendida y A/B; adicionalmente, los inconvenientes operacionales presentados con las modalidades convencionales y estabilización por contacto fueron minimizados por su flexibilidad y rápida adaptabilidad a los cambios, siendo las opciones más atractivas como alternativa de tratamiento secundario del agua residual domestica generada en la ciudad de Cali.

El reactor constaba de dos etapas de discos para la operación en serie o en paralelo, cada una con su respectivo sedimentador secundario. Cada etapa contó con 20 discos de 7,5 cm de diámetro, sumergencia del 40 % y una separación entre discos de 1,5 cm, los cuales se construyeron en acrílico corrugado para favorecer la adherencia de la biopelícula. La rotación de los discos se realizó mediante un motor de rotación constante a 1 r.p.m. Respecto al sistema de biodiscos, su desempeño en términos de reducción de DQO, DBO₅ y SST mostró la potencialidad de aplicación para el tratamiento del efluente primario de la PTAR-C; sin embargo, dada la vulnerabilidad del sistema a presentar desprendimiento de biomasa

se considera necesario realizar otros estudios que permitan disminuir los problemas operacionales asociados al desprendimiento de la biomasa y desestabilización del sistema y determinar si es una alternativa técnicamente viable para su aplicación en el municipio de Cali.

2.1.2 Referencias históricas

Este sistema no es una tecnología nueva, su concepto y principio de funcionamiento ha sido utilizada desde principios del Siglo XX el cual está descrito en la investigación de Castillo y Vivas (1996). Originalmente fue concebido en Alemania en 1900, el cual se describe como un cilindro constituido por tablas de madera y posteriormente en 1930 se construyeron unidades industriales. Para el año 1929 en Estados Unidos ya se estaban haciendo trabajos de investigación con este reactor pero con discos metálicos como medio de soporte, sin embargo no fueron muy alentadores los resultados por lo cual se decide suspender dichos estudios. Posteriormente en la década de los 50, algunos investigadores empiezan a trabajar con discos plásticos (poliestireno) para mejorar el reactor y se inicia su comercialización. Sin embargo el biodisco no podía competir con el sistema de lodos activados debido a los altos costos para su construcción.

Luego en 1965 se utilizó un sistema de discos para la transferencia de oxígeno dentro de un proceso de aireación. Posteriormente se hicieron estudios con biomasa adherida y sin recirculación lo que confirmaron buenos resultados. A este proceso lo denominaron "Rotating Biological Contactor (RBC)". Después se desarrolló un nuevo material para los discos construidos con hojas corrugadas de polietileno. (Castillo F. &., 1996)

Para 1978 ya se tenía 59 plantas de Biodiscos en Estados Unidos, 308 en 1980 y más de 600 en 1988 y para esa época ya había más

de 3000 plantas de Biodiscos en el mundo. Para 1985 Japón ya tenía 1323 plantas con Rotating Biological Contactor (RBC), el cual 10 % de ellas ya eran utilizadas para el tratamiento de lixiviados. (Castillo E. V., 2007)

La secuencia del proceso biológico en el sistema de Biodiscos inicia con dos etapas definidas como adherencia y adsorción; en la primera los microorganismos presentes en el agua residual comienzan adherirse al disco formando la película biológica y en la segunda el agua residual pasa a través del biodisco, arrastrando los sólidos coloidales y solubles, mediante enlaces físicos y químicos, proporcionando la materia orgánica que será utilizada como alimento por parte de los microorganismos. (Avila & Ramirez, 1989)

2.2 Marco legal

2.2.1 Ley

El marco normativo para la gestión de las descargas y reuso de aguas residuales en el Perú no sólo está orientado al control de la calidad y manejo de los efluentes tratados, sino también, a cumplir con los objetivos ambientales y sanitarios en los cuerpos receptores donde se descargan las aguas residuales tratadas y el reuso de dichas aguas residuales tratadas ya sea para la agricultura u otra actividad. Es así como en el Perú se advierten diversas normas de carácter transectorial y sectoriales que permiten la intervención de diversas instituciones del Estado en su gestión, asignándole competencias exclusivas y compartidas para la regulación de descargas y reúsos de las aguas residuales tratadas. Basados en esta clasificación se han identificado las siguientes:

- Constitución Política del Perú, año 1993.
- Ley N° 26842 “Ley General de Salud”
- Ley N° 28611 “Ley General del Ambiente”, del 15-10-2005
- Ley N° 29338 “Ley de Recursos Hídricos”

- Ley N° 757 “Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada”, del 13-11-1991.
- Ley N° 28245 “Ley del Sistema Nacional de Gestión Ambiental”, del 08-06-2004.
- Ley N° 27446 “Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental”, del 23-04-2001.
- Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental - LEY N° 29325.

2.2.2 Decretos supremos y legislativos

- D.S. N° 001-2010-AG, Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos.
- D.S. N° 002-2008-MINAM del 31-07-2008, Aprueban los Estándares de Calidad Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.
- D.S. N° 016-2009-MINAM “Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental”, del 25-09-2009
- D.S. N° 012-2009-MINAM, Política Nacional del Ambiente (23 de mayo de 2009).
- Decreto Legislativo N° 1013 - Aprueba la ley de creación, organización y funciones del ministerio del ambiente.
- Decreto Legislativo N° 997 - Crea la Autoridad Nacional del Agua, como organismo público adscrito al Ministerio de Agricultura.

2.2.3 Norma técnica

- **Aprueban como Norma Técnica Peruana, 214.046:2013 - Res. N°31-2013/CNB-INDECOPI:**
CALIDAD DE AGUA.- Determinación de oxígeno disuelto en agua.
Método de sonda instrumental. Sensor basado en luminiscencia.

2.3 Marco conceptual

- **Afluente:** Líquido que ingresa a un reservorio o a un proceso de tratamiento.
- **Agua Residuales Municipales:** Residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una localidad. Incluye aguas residuales domésticas e industriales. predomina las aguas residuales de tipo doméstica y se conocen también como aguas negras.
- **Biodiscos:** Conjunto de discos, de material plástico, unidos a un eje horizontal que les imprime movimiento giratorio, facilitando el contacto de los microorganismos adheridos a los mismos, con el aire y el agua residual a tratar.
- **Biomasa:** Grandes unidades ecológicas definidas por factores ambientales, por las plantas y animales que la componen, cantidad de todas las bacterias presentes en un medio definido.
- **Biopelícula:** Conjunto de microorganismos que se encuentran agregados en un exopolímero y que se organizan en forma de colonias adheridas a diferentes superficies, ya sean blandas, animadas e inanimadas.
- **Carga Orgánica:** Es el producto de la concentración de un determinado contaminante por el caudal, en un lugar determinado.
- **Cinética:** Rama de la ciencia que estudia la velocidad de los procesos del equilibrio.
- **Colector:** Conducto del alcantarillado público en el que vierten sus aguas residuales de diversos ramales de una alcantarilla.
- **Efluente:** Líquido que sale de un reservorio o de un proceso de tratamiento.
- **Estándar de Calidad Ambiental:** Es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición

de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente.

- **Límite Máximo Permisible:** Es la medida de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente o una emisión, que al ser excedido causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.
- **Lodos Activados:** Conjunto de microorganismos que utilizan nutrientes en solución para el crecimiento celular en una determinada superficie y así poder contribuir en la depuración y tratamiento del agua residual.
- **Motorreductor:** Son elementos mecánicos muy adecuados para el accionamiento de todo tipo de máquinas y aparatos de uso industrial, que se necesiten reducir su velocidad de una forma eficiente, constante y segura.
- **Parámetro:** Se llama parámetro a una variable, el establecimiento de una condicional que puede alterar tanto el comportamiento como la estadística de un término predeterminado.
- **Reactor Biológico:** Es el volumen en el que las reacciones biológicas se producen; estas, de acuerdo con la presencia de oxígeno, se pueden clasificar en: Aeróbico y Anaeróbico cuando las reacciones biológicas tienen lugar en ausencia total de oxígeno (bacterias anaerobias extritas o facultativas).
- **Sólidos Suspendidos Totales:** Representa todo el material que se puede separar por filtración en una muestra.
- **Sólidos Disueltos Totales:** Es el residuo seco de la evaporación del filtrado, producto de la separación de los sólidos suspendidos totales.
- **Sólidos Totales:** Es la suma de los sólidos suspendidos y sólidos disueltos. Toda sustancia o material contenida en una muestra de agua excluyendo el agua misma.

- **Sólidos Suspendidos Volátiles:** Es la pérdida en peso de los sólidos disueltos o sólidos suspendidos, después de que se calcine a 600 °C, hasta logra un peso constante.
- **Sólidos Suspendidos Fijos:** Es el residuo remanente después de la calcinación de los sólidos suspendidos y/o disueltos.
- **Sustrato:** Compuesto o sustancia a degradar.
- **Tiempo de Retención Celular:** Relación entre la masa de microorganismos existente en el sistema (kg) y la masa de microorganismos eliminados (kg) por unidad de tiempo (días).
- **Tiempo de Retención Hidráulico:** Tiempo de permanencia del agua residual en el sistema.

2.4 Marco teórico

2.4.1 Aguas residuales

Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado.

Clasificación de Aguas Residuales:

- a) Aguas residuales industriales: Son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras.
- b) Aguas residuales domésticas: Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente.
- c) Aguas residuales municipales: Son aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de

tipo combinado. (Supervisión & Equipo de la Oficina de Comunicaciones y Atención , 2014).

2.4.2 Características de las aguas residuales

La expresión de las características de un agua residual puede hacerse de muchas maneras, dependiendo de su propósito específico; sin embargo vale la pena anotar que toda caracterización de aguas residuales implica un programa de muestreo apropiado para asegurar representatividad de la muestra y un análisis de laboratorio de conformidad con normas estándar que aseguren precisión y exactitud en los resultados. En general un programa de muestreo para caracterización y control de calidad de aguas supone un análisis cuidadoso del tipo de muestras, número de ellas y parámetros que se deben analizar. Es importante recordar que cada agua residual es única en sus características y que, en lo posible, los parámetros de polución deben evaluarse en el laboratorio para cada agua residual específica .En la siguiente tabla se mencionan las características más importantes de aguas residuales (Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2008).

Tabla 2.1: Composición Típica de las ARD

Parámetro	Magnitud
Sólidos Totales	720 mg/L
Sólidos Disueltos	500 mg/L
Sólidos Disueltos volátiles	200 mg/L
Sólidos Suspendidos	220 mg/L
Sólidos Suspendidos volátiles	165 mg/L
Sólidos Sedimentables	10 mg/L
DBO	220 mg/L
COT	160 mg/L

DQO	500 mg/L
Nitrógeno Total	40 mg/L-N
Nitrógeno Orgánico	15 mg/L-N
Nitrógeno Amoniacal	25 mg/L-N
Nitritos	0 mg/L-N
Nitratos	0 mg/L-N
Fósforo total	8 mg/L-P
Fósforo orgánico	3 mg/L-P
Fósforo inorgánico	5 mg/L-P
Cloruros	50 mg/L-Cl
Alcalinidad	100 mg/L-CaCO ₃
Grasas	100 mg/L

Fuente: (Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2008)

2.4.3 Efectos de polución por las aguas residuales

Toda agua residual afecta en alguna manera la calidad de agua de la fuente o cuerpo de agua receptor. Sin embargo, se dice que un agua residual causa polución solamente cuando introduce condiciones o características que hacen el agua de la fuente o cuerpo receptor inaceptable para el uso propuesto de la misma. (Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2008)

Tabla 2.2: Contaminantes y la causa de su importancia

Contaminante	Causa de su importancia
Sólidos Suspendidos	Pueden conducir al desarrollo de depósitos de lodos y condiciones anaerobias cuando se descargan AR crudas en un medio acuático.
Materia Orgánica Biodegradable	Está compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas .Se mide en términos de

	DBO y DQO por lo general. Si no es previamente removida puede producir agotamiento del OD de la fuente receptora y desarrollo de condiciones sépticas.
Patógenos	Producen enfermedad
Nutrientes	El C, N y P son nutrientes. Cuando se descargan en las aguas residuales pueden producir crecimiento de vida acuática indeseable. Cuando se descargan en cantidades excesivas sobre el suelo pueden producir polución del agua subterránea.
Materia Orgánica Refractaria	Resiste tratamiento convencional. Ejemplo: detergentes, fenoles y pesticidas agrícolas.
Metales pesados	Proviene de aguas residuales comerciales e industriales y es posible que deban ser removidos para uso del agua.
Sólidos Inorgánicos disueltos	Algunos como el calcio, sodio y sulfatos son agregados al suministro doméstico original como resultado del uso y es posible que deban ser removidos para reuso del agua.

Fuente: (Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2008)

Tabla 2.3: Contaminantes y su impacto ambiental

Contaminantes	Parámetro típico de medida	Impacto Ambiental
Materia Orgánica Biodegradable	DBO, DQO	Desoxigenación del agua, generación de olores indeseables.

Materia Suspendida	SST, SSV	Causa turbiedad en el agua, deposita lodos.
Patógenos	CF	Hace el agua insegura para consumo y recreación.
Amoniaco	$\text{NH}_4^* - \text{N}$	Desoxigena el agua, es tóxico para organismos acuáticos y puede estimular el crecimiento de algas.
Fósforo	Ortofosfatos	Puede estimular el crecimiento de algas.
Materiales tóxicos	Como cada material tóxico específico	Peligroso para la vida vegetal y animal.
Sales Inorgánicas	SDT	Limita los usos agrícolas e industriales del agua.
Energía Térmica	Temperatura	Reduce la concentración de saturación de oxígeno en el agua, acelera el crecimiento de organismos acuáticos.
Iones hidrógeno	pH	Riesgo potencial para organismos acuáticos.

Fuente: (Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2008)

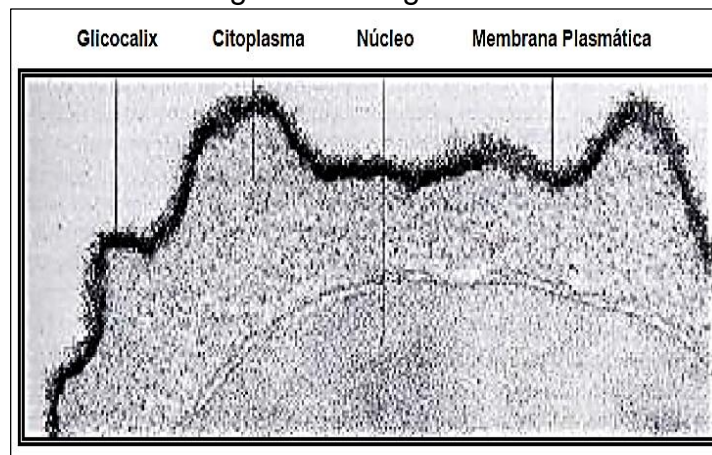
2.4.4 Formación de la biopelícula

Existen varias teorías citadas por Barros de Macedo, J. A. para la formación de biopelícula. La primera fue descrita por Marshal, Stout, et al. (1971), y resalta que la adhesión es un proceso que ocurre en dos fases:

La primera fase es reversible, en función del proceso de adhesión de los microorganismos a la superficie que ocurre por fuerzas Van der Waals y atracciones electrostáticas.

La segunda fase, ocurre con la interacción física de las células a la superficie por medio de material extracelular de naturaleza polisacárida o proteica producida por las bacterias, esta se denomina matriz de glicocálix, y soporta la formación de la biopelícula. El glicocálix, (Figura 2.2) es producido después del proceso de adhesión superficial, y va a favorecer las condiciones de adhesión de los peptidoglicanos de las bacterias Gram positiva. (Romero, Welter , Grumelli, Sanchez, & Ascar, 2004)

Figura 2.2: El glicocálix



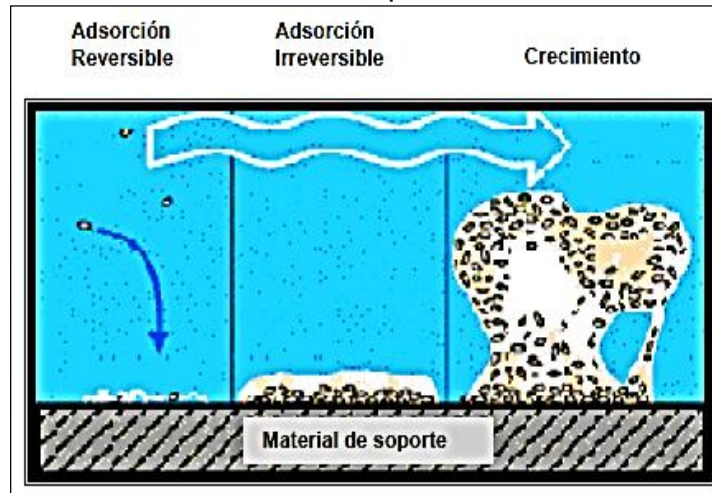
Fuente: (Romero, Welter , Grumelli, Sanchez, & Ascar, 2004)

Barros de Macedo, J. A. cita además la teoría propuesta por Notermans, Dormans, et al (1991), que describe la formación de la biopelícula en 3 (tres) etapas, esquematizada en la (Figura 2.3)

- Fijación de las bacterias.
- Consolidación de las bacterias a la superficie.
- Colonización y crecimiento de las bacterias.

En la etapa de consolidación, ocurre la producción de material extracelular que facilita la fijación de los microorganismos.

Figura 2.3: Formación de la Biopelícula – Barros de Macedo



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

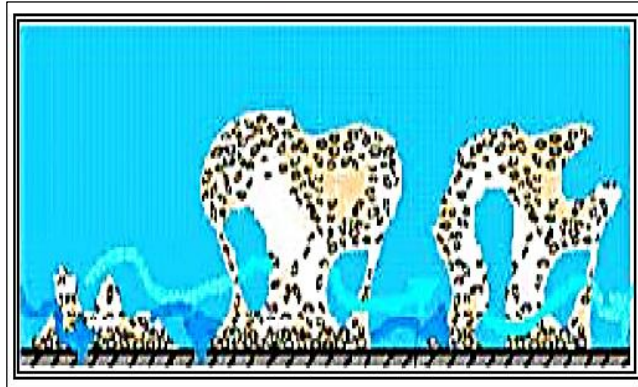
Otros factores que incide en la adhesión de un microorganismo a determinada superficie, es la naturaleza del soporte, principalmente el balance entre cargas eléctricas resultantes en la superficie y la rugosidad superficial.

2.4.5 Modelos conceptuales de la estructura de la biopelícula

a) Modelo del canal de agua

En este modelo, después del periodo de colonización en la superficie del soporte, las células sufren cambios fenotípicos y producen, entre otras moléculas estructurales, exopolisacáridos (EPS). Esta fusión microorganismo - EPS deja una red de canales de agua que llega hasta la base de la biopelícula (observar la Figura 2.4). La importancia de estos canales se ha llegado a comparar al sistema circulatorio de un organismo superior, por su estructura, grado de homeostasis, relación espacial óptima con los organismos que conviven y el intercambio de nutrientes y metabolitos entre la comunidad y la fase fluida. (Colasanti y Wimpenny, 1997).

Figura 2.4: Modelo del Canal de Agua

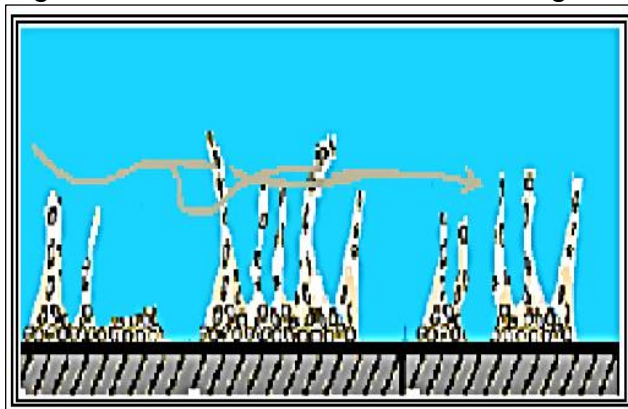


Fuente: (Romero, Welter , Grumelli, Sanchez, & Ascar, 2004)

b) Modelo del Mosaico heterogéneo

Este modelo es típico de los sistemas de distribución de agua. Es un caso extremo del modelo del canal de agua. Consiste en microcolonias formando tallos unidos al soporte por la base pero generalmente bien separados de sus vecinos. Usualmente también puede haber una base muy fina de células individuales unidas a la superficie formando un film de 5 μm de espesor. La diferencia con el modelo de canales es que en este caso debido a la separación entre las torres microbianas no se llegan a formar los canales. (Figura 2.5)

Figura 2.5: Modelo de Mosaico Heterogéneo



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

c) Modelo de película densa

Su estructura no tiene canales de agua y presenta escasa. Hay, sin embargo, alguna organización estructural. Incluye numerosas colonias del mismo tipo de bacteria. Además hay ejemplos de asociaciones específicas. (Figura 2.6) (Romero, Welter , Grumelli, Sanchez, & Ascar, 2004)

Figura 2.6: Modelo de Película Densa



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

2.4.6 Rol de la biopelícula en el proceso del tratamiento

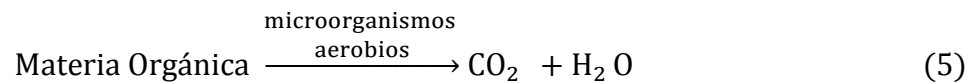
El tratamiento biológico de líquidos residuales consiste principalmente en la estabilización (a veces mal llamada eliminación) de la materia orgánica por acción de los microorganismos que se alimentan de la misma, transformándola en productos más oxidados y por lo tanto más estables.

Los microorganismos de la biopelícula adheridos al soporte, toman principalmente el oxígeno de la atmósfera, para la respiración y se alimentan de materia orgánica contenida en el líquido residual, la cual difunde a través de la biopelícula por diversos mecanismos. (Romero, Welter , Grumelli, Sanchez, & Ascar, 2004)

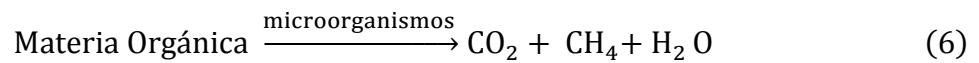
2.4.7 Reacciones biológicas esquemáticas

Las reacciones biológicas más importantes que ocurren en la biopelícula son aerobias y anaerobias, siendo las fotosintéticas características del proceso de lagunas naturales de estabilización. Se representan a continuación en forma esquemática. (Romero, Welter , Grumelli, Sanchez, & Ascar, 2004)

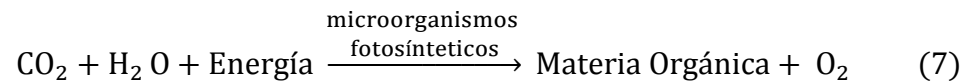
- Aerobias



- Anaerobias



- Fotosíntesis

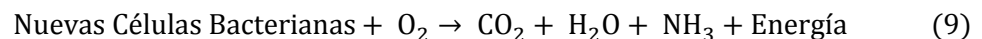


Las actividades de síntesis y respiración que se producen se representan a continuación:

- Oxidación y síntesis:



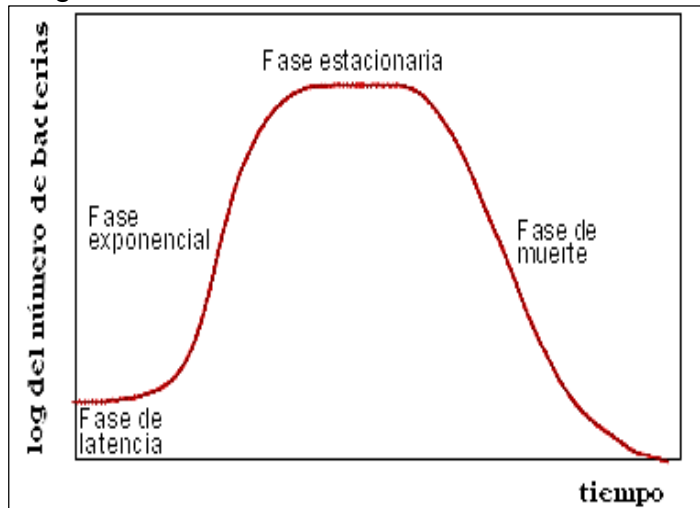
- Respiración Endógena



2.4.8 Cinética del crecimiento bacteriano

Las etapas que atraviesan las poblaciones de microorganismos en la formación de la biopelícula, se explican mediante la curva de crecimiento bacteriana de la (Figura 2.7). (Romero, Welter , Grumelli, Sanchez, & Ascar, 2004)

Figura 2.7: Cinética de Crecimiento Bacteriano



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

En la curva se pueden apreciar básicamente 4 (cuatro) etapas:

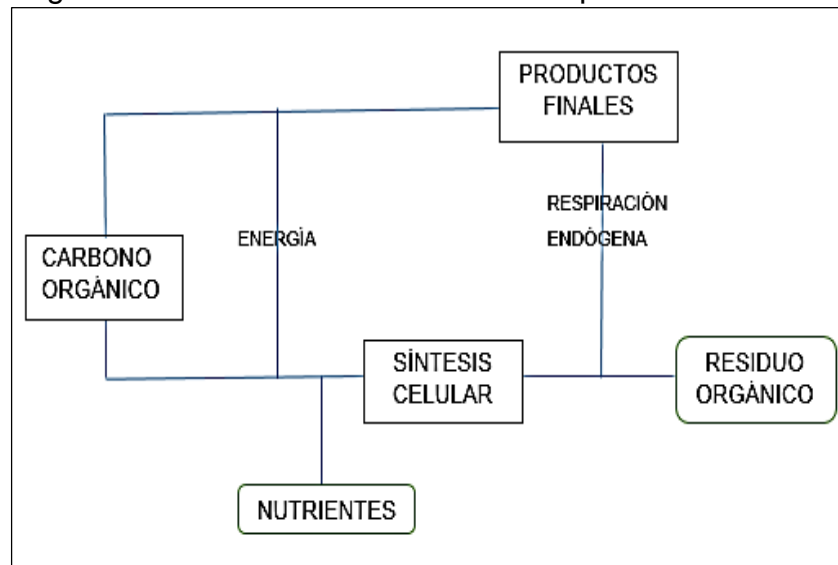
- a) **Etapa de retardo o latencia:** representa el tiempo necesario para que las bacterias se aclimaten a las condiciones ambientales y comiencen a reproducirse.
- b) **Etapa de crecimiento exponencial:** las células se encuentran en plena reproducción a máxima velocidad en las condiciones dadas, debido al exceso de nutrientes. Para las bacterias el tamaño de la población crece en progresión geométrica, resultando una cinética de crecimiento del tipo exponencial. Para los microorganismos filamentosos como hongos y bacterias filamentosas el mecanismo de replicación no supone un comportamiento exponencial, sino más bien cercano a una cinética de crecimiento lineal.
- c) **Etapa estacionaria:** representa el estado donde el crecimiento bacteriano se detiene, o bien, se establece un estado de equilibrio entre la reproducción de bacterias y la muerte de las mismas, una de las causas que conducen a este fenómeno es la limitación en materia de nutrientes.

d) **Etapa de decaimiento o muerte:** la tasa de mortalidad de bacterias excede la generación de células nuevas.

2.4.9 Bacterias

Organismos eubacteriales procarióticos unicelulares y morfológicamente se clasifican como cocos, bacilos, curvados o vibriones, espirales, espiroquetas y filamentosas. Son los organismos más importantes en la descomposición y estabilización de la materia orgánica. Así mismo, los organismos bacteriales patógenos que pueden acompañar las excretas humanas originan uno de los problemas sanitarios más graves en áreas de malas condiciones sanitarias. Las bacterias se reproducen generalmente por fisión binaria, poseen pared celular, citoplasma con suspensiones coloidales de proteínas, carbohidratos y otros compuestos orgánicos. El crecimiento óptimo de bacterias ocurre dentro de los intervalos de pH entre 6,5 pH a 7,5 pH y generalmente no toleran pH mayor que 9,5 pH o inferior a 4,0 pH. (Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2008)

Figura 2.8: El metabolismo bacteriano quimioheterotrófico



Fuente: (Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2008)

2.4.10 Lodos activados

El lodo activado consiste en una masa floculenta de microorganismos, materia orgánica muerta y materiales inorgánicos, tiene la propiedad de poseer una superficie altamente activa para la adsorción de materiales coloidales y suspendidos, a la cual debe su nombre de activado. El resultado final es una porción de materia orgánica, susceptible de descomposición biológica, convertida en compuestos inorgánicos y el resto, transformado en lodo activo adicional. Cuando se ha usado la capacidad de almacenamiento total del lodo, el lodo deja de ser activo en el sentido adsortivo. La actividad se recupera solamente después de un periodo de aireación durante el cual el material orgánico se emplea en oxidación y síntesis. Este proceso de aireación, con el propósito de restablecer la actividad y estimular la capacidad adsortiva, se conoce como estabilización del lodo.

Los protozoos son, con las bacterias, los organismos más abundantes en lodos activados. Algunos son completa o parcialmente sapróbicos y compiten con las bacterias por el material orgánico; otros son holozoicos y usan material orgánico sólido como alimento, al igual que bacterias y otros protozoos, proveyendo un enlace vital en la cadena alimenticia y en el proceso de tratamiento. (Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2008)

2.4.11 Remoción biológica de nitrógeno

Normalmente en un proceso aerobio, 20 % del Nitrógeno que entra en el agua residual es retenido en la sedimentación primaria. Posteriormente en el tratamiento secundario otro 20 % se incorpora en las células para la asimilación (síntesis), la cual consiste en la incorporación del nitrógeno amoniacal dentro de la masa celular. Como se explicó anteriormente, para la síntesis de nuevas células se necesita nitrógeno pues hace parte del componente celular

(C₅H₇NO₂) lo cual significa un porcentaje cercano al 14 % de masa (Metcalf & Eddy, 1996)

La remoción por asimilación se hace luego que la biomasa se retira del sistema de tratamiento de agua mediante la purga de lodos, no obstante la mayoría de aguas residuales tienen mayores contenidos de nitrógeno de lo que puede ser asimilado.

Es por esta razón que debe emplearse otros mecanismos para obtenerse mayores remociones como la Nitrificación y Desnitrificación. (Crites & Tchobanoglous, 2000).

2.4.12 Límites máximos permisibles (LMP)

Para efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, los que en Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo y que son aplicables en el ámbito nacional. Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental. (Ambiente, 2010)

Tabla 2.4: Límites Máximos Permisibles para Efluentes de PTAR

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de	mg/L	200

Oxígeno		
pH	Unidad	6,5-8,5
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: (Ambiente, 2010)

2.4.13 Proceso de tratamiento de aguas residuales

La depuración de aguas residuales es un proceso que persigue eliminar en mayor cantidad posible la contaminación que lleva consigo un vertido antes de que éste incida sobre un cauce receptor, de forma que los niveles de contaminación que queden en el efluente ya tratado puedan ser asimilados de forma natural. La depuración de las aguas residuales, requiere una serie de operaciones que incluyen procedimientos mecánicos, químicos, biológicos y desde hace algunos años con asiduidad los fisicoquímicos. (Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2008)

Etapas de los Procesos de Tratamiento:

a) Pre tratamiento:

Los dispositivos de esta etapa, separan los sólidos mayores o flotantes, eliminan los sólidos inorgánicos pesados y las cantidades excesivas de aceites y grasas.

Estos tratamientos previos son básicamente: Rejas para gruesos, cribas para gruesos, tamizado, desarenadores, separadores de grasas y aceites, sedimentación previa, oxidación, filtración, coagulación-sedimentación, desinfección, lagunaje, tratamiento secundario en algún caso, homogeneización, neutralización y flotación.

b) Tratamiento Primario:

El tratamiento primario prepara las aguas residuales para su tratamiento biológico, elimina ciertos contaminantes y reduce las variaciones de caudal y de concentraciones de las aguas que llegan a la planta de tratamiento. La reducción de sólidos en suspensión totales mediante este tratamiento está asociada en un 60 % - 65 %, contribuyendo también a la caída de una moderada cantidad de materia orgánica y bacterias, oscilante entre 25 % - 40 %.

c) Tratamiento Secundario:

El objetivo primordial de este tratamiento constituye la eliminación de la materia orgánica biodegradable presente tanto en forma disuelta como coloidal. Este proceso se lleva a cabo mediante la actuación de microorganismos en condiciones controladas. Consta de dos etapas: la de naturaleza bioquímica (reacciones metabólicas que producen la degradación y mineralización de materia orgánica generando nuevas células); y otra de naturaleza físico-química (produce la decantación de los fangos secundarios compuestos básicamente de biomasa). Los microorganismos, que son generalmente bacterias y algas, intervienen en este proceso se clasifican en heterótrofos (utilizan carbono orgánico) y autótrofos (utilizan carbono inorgánico y sustancias minerales). Esta degradación puede llevarse a cabo en medios aerobios, anaerobios y en medios llamados facultativos que se adaptan a los dos tipos de condiciones anteriores.

d) Tratamiento Terciario:

Es un proceso más intensivo, requiriendo así mismo un costo elevado adicional, algunos de estos tratamientos son: Coagulación, filtración terciaria y lagunas de afino, eliminación de sólidos en suspensión y materia orgánica biodegradable

(DBO). Adsorción sobre carbón activado y oxidación química: compuestos orgánicos disueltos no biodegradables (refractorios). Métodos químicos y métodos biológicos: eliminación de bionutrientes (compuestos de nitrógeno y fósforo) disueltos.

2.4.14 Plantas de tratamiento de aguas residuales

La selección de un proceso de tratamiento de aguas residuales o de la combinación adecuada de ellas, depende principalmente de:

- Las características del agua cruda
- La calidad requerida del efluente
- La disponibilidad de terreno
- Los costos de construcción y operación del sistema de tratamiento
- La confiabilidad del sistema del tratamiento

La mejor alternativa de tratamiento se selecciona con base en el estudio individual de cada caso, de acuerdo con las eficiencias de remoción requeridas y con los costos de cada una de las posibles soluciones técnicas. En la Tabla 2.5 se resume las características de los efluentes y los procesos de tratamiento de aguas residuales, respectivamente (Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2008).

Tabla 2.5: Características de los efluentes y los procesos de tratamiento de aguas residuales

Contaminante	Proceso
DBO	Lodos activados, lagunas aireadas, filtros percoladores, unidades de contacto biológico rotatorio o biodiscos, lagunas facultativas aireadas o fotosintéticas, lagunas anaeróbicas, filtros anaeróbicos, proceso anaeróbico de contacto, reactores

	anaeróbicos de flujo ascensional (PAMLA o UASB).
Sólidos suspendidos	Sedimentación, flotación, cribado, filtración.
Compuestos Orgánicos refractarios	Adsorción con carbón, intercambio iónico, electrodiálisis, ósmosis inversa.
Nitrógeno	Nitrificación – desnitrificación, intercambio iónico.
Fósforo	Precipitación química, coprecipitación biológica, intercambio iónico.
Metales pesados	Intercambio iónico, precipitación química.
Sólidos disueltos inorgánicos	Intercambio iónico, electrodiálisis, ósmosis inversa.

Fuente: (Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2008)

2.4.15 Sistema de biodiscos

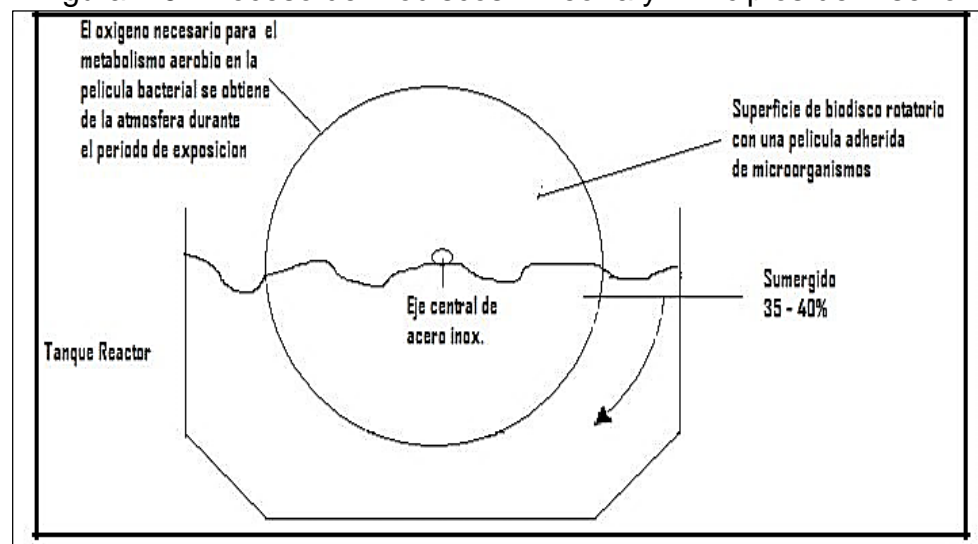
Los biodiscos son un sistema de tratamiento biológico secundario, para aguas residuales domésticas e industriales biodegradables, del tipo de crecimiento adherido o reactor de película fija. Las lamas o películas biológicas crecen sobre discos, en rotación a través del agua residual, montados sobre un eje horizontal. Estos sistemas 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 área de sumersión de los discos, oscila entre el 35 % y 40 % de su superficie total, la cual se recubre con la biopelícula; cuando los discos están sumergidos consumen materia orgánica, mientras que cuando están fuera del agua residual, la película biológica arrastra una capa de la que

escurre por las superficies y absorbe oxígeno. De esta manera, la biopelícula consume materia orgánica y oxígeno para su desarrollo, generando la disminución de la demanda de oxígeno del agua residual. Los discos giran a bajas velocidades, de 1 rpm a 5 rpm, obteniendo así la biopelícula tiempo necesario para desarrollarse. 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 biodiscos versátiles y aplicables con otros métodos de tratamiento que los complementen.

La rotación del disco cumple varios propósitos:

- Sirve como dispositivo de mezclado en el tanque.
 - Mantiene la biomasa en condiciones aerobias.
 - Es el mecanismo de eliminación del exceso de biomasa en los discos por medio de los esfuerzos cortantes.
 - Mantienen en suspensión los sólidos arrastrados, que posteriormente son separados en un clarificador secundario.
- (Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2008)

Figura 2.9: Proceso de Biodiscos – Teoría y Principios de Diseño



Fuente: (Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2008)

➤ **Ventajas del Proceso**

Los biodiscos tiene una serie de ventajas que lo hacen muy competitivo, entre estas tenemos:

- Admiten grandes fluctuaciones en la carga hidráulica y orgánica.
- El consumo energético es bajo, por tratarse de materiales de poco peso y reducida velocidad de giro.
- El sistema admite bajas temperaturas ambientales exteriores, por mantener el agua residual a mayor temperatura.
- El sistema, bien operado, casi no genera ruidos, y no produce malos olores.
- Como complemento a otros sistemas de tratamiento, es muy eficaz.
- Simple y confiable.
- Alta eficiencia de remoción de carbono y nitrógeno.
- Tiempos de retención cortos.
- Bajos costos de instalación, operación y mantenimiento.
- Lodos de buena sedimentabilidad.
- Generalmente no hay recirculación de efluente ni de lodos.
- No requiere personal especializado para el mantenimiento que controle las constantes del proceso, ya que se autorregula automáticamente.
- El impacto ambiental es bajo.

➤ **Factores de Influencia**

El proceso de biodiscos está influenciado por numerosos factores, que definirán el nivel de depuración, el rendimiento del sistema y su capacidad de acción:

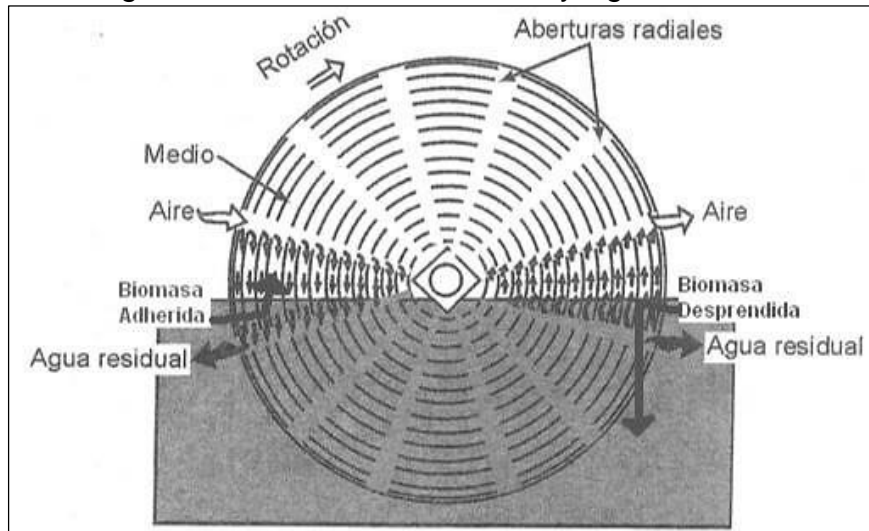
- Temperatura, al incrementar la temperatura, el rendimiento del sistema mejora y se intensifica el proceso biológico.

- Velocidad de giro de los discos, entre 1 rpm y 5 rpm son las velocidades óptimas.
- Potencia del motor que hace girar los discos, el motor necesario para el funcionamiento del sistema que hace girar los discos debe ser pequeño.
- Características del agua residual.
- Carga hidráulica.
- Carga orgánica.
- Profundidad de sumergencia.
- Tiempo de retención.

2.4.16 Principio de funcionamiento del reactor biológico

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 esté 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 (Figura 2.10). El giro también sirve como mecanismo para 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. (Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2008)

Figura 2.10: Intercambio de Aire y Agua Residual



Fuente: (Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2008)

2.4.17 Carga orgánica

La carga orgánica es calculada como se muestra en la Ecuación 10. (Cubillos, 1981)

$$CO = \frac{C \times Q}{A} \quad (10)$$

Donde

CO: Carga Orgánica (g DBO, DQO o COT/m².d)

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

Q: Caudal del afluente (L/d)

A: Área de los discos (m²).

2.4.18 Carga hidráulica

La carga hidráulica corresponde al caudal aplicado por unidad de superficie, la cual se calcula así: (Cubillos, 1981)

$$C.H = \frac{Q}{A} \quad (11)$$

Donde

C.H: Carga Hidráulica (m³/m².d).

Q: Caudal del afluente (m³/d)

A: Área de los discos (m²)

2.4.19 Tiempo de retención hidráulica (TRH)

El tiempo de retención hidráulica, es el tiempo que permanece el agua residual dentro del reactor y se utiliza para comparar reactores; más que para diseño. Debido a que los reactores avanzados tienen diferentes tiempos de retención celular e hidráulica. Su cálculo es mediante la siguiente expresión.

$$TRH = \frac{V}{Q} \quad (12)$$

Donde, V es el volumen del reactor (L) y Q es el flujo de entrada al reactor (L/d), de manera que el TRH se puede expresar en días. (Yaxcelys A. Caldera M.)

2.4.20 Velocidad de giro 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 (Di Palma L. y Verdone, 2008), 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,F y Vivas,F, 1996).

2.4.21 Carbono orgánico total (COT)

El COT es otra manera de medir la contaminación por materia orgánica, especialmente indicado para pequeñas concentraciones. El ensayo se lleva a cabo inyectando una cantidad conocida de la muestra en un horno a alta temperatura o en un medio químicamente oxidante. En presencia de un catalizador, el carbono orgánico se

oxida a dióxido de carbono, y la producción del gas se mide cuantitativamente. (Metcalf & Eddy, 1996).

El COT puede medirse por 3 métodos: Método combustión – infrarrojo, Método oxidación persulfato – ultravioleta y Método de oxidación húmeda. El método de combustión – infrarrojo es aplicable para muestras con altos niveles de TOC, puesto que los demás métodos requieren de diluciones. Además este método sirve para determinar COT de compuestos que son químicamente refractarios y que no pueden ser determinados por los otros dos métodos. El método de combustión – infrarrojo es adecuado para muestras con concentraciones mayores de 1 mg/L Para concentraciones menores, se utiliza el método de oxidación persulfato – ultravioleta o el método de oxidación húmeda ya que estos pueden determinar concentraciones tan bajas como 10 µg/L. (APHA & AWWA, 1998).

2.4.22 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. La DBO es el parámetro más usado para medir la calidad de aguas residuales y superficiales, para diseñar unidades de tratamiento biológico y evaluar sus eficiencias y fijar cargas permisibles en fuentes receptoras. (Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2008)

Usualmente se mide la DBO a los 5 días (DBO_5), la cual representa gran parte del contenido de la materia orgánica carbonosa, sin embargo suele medirse también la DBO a los 20 días (DBO_{20}) la cual representa también el contenido de material orgánico Nitrogenado (DBO nitrogenácea). Matemáticamente, la DBO carbonosa en cualquier tiempo t es:

$$y = L(1 - e^{-Kt}) \quad \text{ó} \quad DBO_t = L(1 - 10^{-kt}) \quad (13)$$

Donde:

y o DBO_t : La DBO ejercida por el agua después de un tiempo (t) (mg/L).

L : DBO última (se refiere a todo el material orgánico biodegradable contenido en el agua) (mg/L).

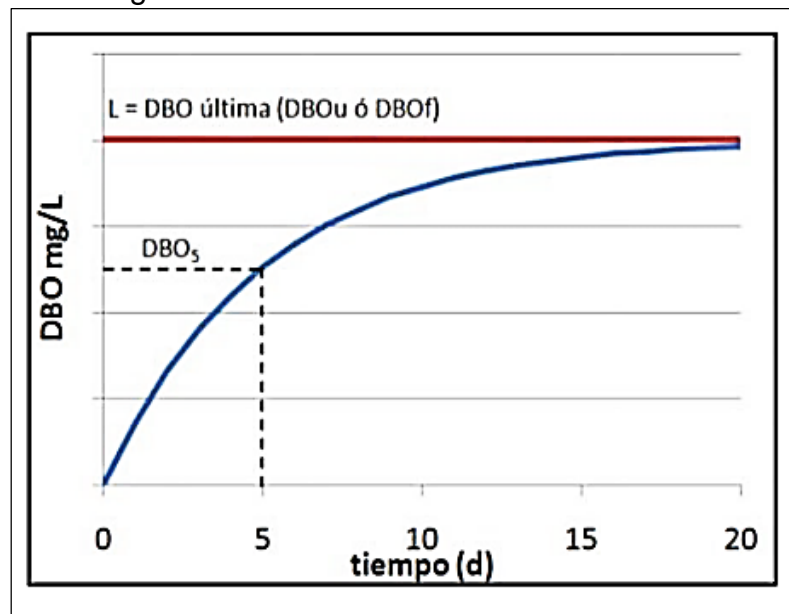
K : Constante de velocidad de reacción de la DBO, base natural, (d^{-1}).

k : constante de velocidad de reacción de la DBO, base decimal, (d^{-1}).

t : Tiempo de reacción (d).

La DBO_5 se representa como $y = L (1 - e^{-5K})$. Gráficamente la Ecuación 13 se puede representar de la siguiente manera:

Figura 2.11: Curva característica de DBO



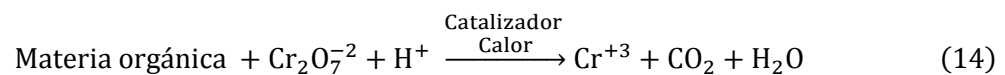
Fuente:(RAMALHO, 1993)

La medición de la DBO consiste en llenar con muestra, hasta rebosar, un frasco hermético e incubarlo a la temperatura establecida durante los días de muestreo (si es DBO_5 , son 5 días de incubación). El oxígeno disuelto se mide antes y después de la incubación y la DBO se calcula mediante la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y el final. (APHA & AWWA, 1998).

2.4.23 Demanda química de oxígeno (DQO)

Se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte, por lo general Dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$), en un medio ácido y a alta temperatura. Para la oxidación de ciertos compuestos orgánicos resistentes se requiere la ayuda de un catalizador como el sulfato de plata. (Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2008)

La reacción principal puede representarse de la siguiente manera:



2.4.24 Temperatura

Es un factor abiótico que regula procesos vitales para los organismos vivos, así como también afecta las propiedades químicas y físicas de otros factores abióticos en un ecosistema. Antes de discutir la naturaleza de dichas interacciones, considero necesario iniciar la presentación con una distinción entre los conceptos de temperatura y calor. Tenemos conocimiento de que la temperatura afecta la energía cinética de los reactivos, así como la estabilidad y actividad de las enzimas que participan en reacciones bioquímicas. En consecuencia, la temperatura ejerce una marcada influencia sobre la reproducción, crecimiento y el status fisiológico de todas las entidades vivas. Los microorganismos como grupo (particularmente el grupo de las bacterias) demuestran una capacidad extraordinaria para vivir y reproducirse a lo largo de un amplio rango de temperaturas (desde temperaturas bajo $0^\circ C$, hasta temperaturas que alcanzan los $113^\circ C$). Los microorganismos se han agrupado en cuatro categorías, a base de su rango de temperatura óptimo para el crecimiento. Las categorías son: psicrófilicos, mesófilicos, termófilicos e hipertermófilicos. El rango de temperatura óptimo y el límite mínimo y

máximo de temperatura que distinguen a cada grupo no se deben tomar como valores absolutos que establecen la frontera entre una y otra categoría y sí como un reflejo del hábitat natural donde se desarrolla cada grupo. De hecho, el rango de temperatura que define a cada categoría varía de un grupo de microorganismos a otro. Al presente, el límite máximo de temperatura que define a los diferentes grupos de microorganismos termofílicos es el siguiente:

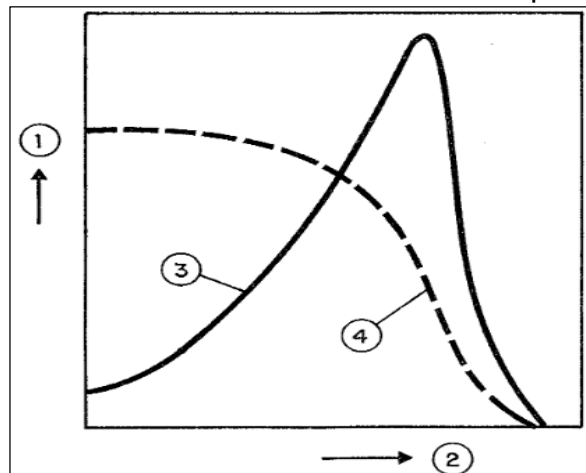
Protozoarios termofílicos.....	56 °C
Algas termofílicas.....	55 – 60 °C
Hongos termofílicos.....	60 – 62 °C
Cianobacterias termofílicas.....	70 – 74 °C
Bacterias fototróficas termofílicas.....	60 – 62 °C
Eubacterias organotróficas termofílicas.....	90 °C
Arqueobacterias (hipertermofílicas).....	113 °C

El efecto de la temperatura en el metabolismo, la nutrición y la reproducción de microorganismos, así como el desarrollo de adaptaciones moleculares para sobrevivir en ambientes con temperaturas extremas ha sido ampliamente discutido en la literatura científica. Por otro lado, la temperatura desempeña un rol fundamental en el funcionamiento de ecosistemas al regular o afectar otros factores abióticos del ecosistema como son: la solubilidad de nutrientes, solubilidad de gases, el estado físico de nutrientes, el grado de toxicidad de xenobióticos y propiedades físico-químicas del medio acuoso como: pH, potencial redox, solubilidad de gases, densidad, el estado físico y la viscosidad del sustrato. De hecho, la viscosidad del agua desempeña un rol importante en determinar la forma de peces y larvas de insectos en ambientes lóticos. Todas estas interacciones afectan a su vez la distribución, composición (diversidad) y el grado de actividad metabólica de los seres vivos que integran un ecosistema.

- **Influencia de la temperatura:**

La velocidad de las reacciones bioquímicas aumenta con la temperatura. Dichas reacciones se realizan en el interior de la célula con la ayuda de catalizadores, papel que desempeñan las enzimas que son construidas por albúminas. Esta aceleración de las reacciones causada por la temperatura en los procesos bioquímicos es compensada por la acción destructiva de las enzimas a temperaturas altas. (Brock et al., 1994)

Figura 2.12: Velocidad de reacciones bioquímicas



Fuente:(Brock et al., 1994)

1. Velocidad de reproducción
2. Temperatura
3. Velocidad de las reacciones bioquímicas.
4. Actividades de las enzimas.

2.4.25 El pH en el tratamiento biológico

Es la medida de la concentración de ion hidrogeno en el agua, expresada como el logaritmo negativo de la concentración molar de ion hidrógeno. Aguas residuales en concentración adversa del ion hidrógeno son difíciles de tratar biológicamente, alteran la biota de las fuentes receptoras y eventualmente son fatales para los

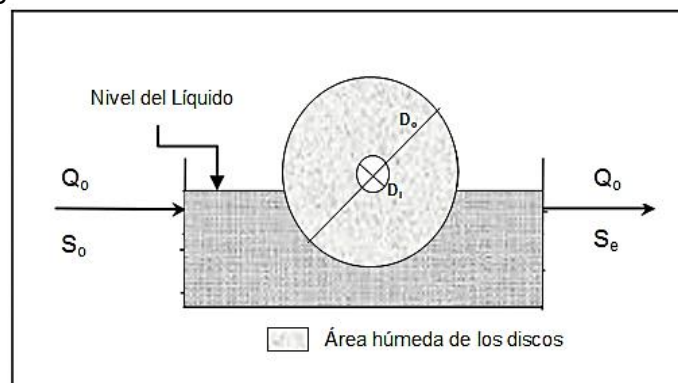
microorganismos. Aguas con pH menor de seis, en tratamiento biológico, favorecen el crecimiento de hongos sobre las bacterias. A pH bajo el poder bactericida del cloro es mayor, porque predomina el HOCl; a pH alto la forma predominante del nitrógeno amoniacal es la forma gaseosa no iónica (NH₃), la cual es tóxica, pero también removible mediante arrastre con aire, especialmente a pH de 10,5 a 11,5. El valor de pH adecuado para diferentes procesos de tratamiento y para la existencia de la mayoría de la vida biológica puede ser muy restrictivo y crítico, pero generalmente es de 6,5 a 8,5. Para descarga de efluentes de tratamiento secundario se estipula un pH de 6,0 a 9,0; para procesos biológicos de nitrificación se recomienda valores de pH de 7,2 a 9,0 y para desnitrificación de 6,5 a 7.5. (Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2008)

2.4.26 Procedimiento del diseño de biodiscos

Si D₀ es el diámetro del disco y D_i es el diámetro del área circular que nunca resulta sumergida, esto significa que la zona húmeda, parte de la cual está sumergida en cualquier momento, y otra parte de la misma está expuesta al aire, está formada por un anillo cuya superficie es igual a:

$$\text{Área del anillo} = \frac{1}{4}\pi(D_0^2 - D_i^2) \quad (15)$$

Figura 2.13: Detalle de la zona Húmeda de un biodisco



Fuente: (R.S.Ramalho, 1993)

Ya que el crecimiento biológico se desarrolla solamente en la zona humedecida, si d es la profundidad (o espesor) del limo formado, el volumen del limo en cada lado de un disco es:

$$\text{Volumen del limo} = \frac{1}{4}\pi(D_o^2 - D_i^2)d \quad (16)$$

Considerando que el limo crece a ambos lados del disco (el crecimiento es en crecimiento perpendicular al plano de la figura 2.13 el volumen del disco será el doble del que se indica en la Ecuación (16). Suponiendo que N es el número de discos por etapa el volumen del limo formado es:

$$V_A = 2 \left[\frac{1}{4}\pi(D_o^2 - D_i^2)d \right] N = \frac{1}{2}\pi(D_o^2 - D_i^2)dN \quad (17)$$

El proceso de diseño se basa normalmente en curvas empíricas de carga suministradas por los fabricantes de los biodiscos. A partir de estas curvas puede estimarse la carga superficial, L , $m^3/(s)(m^2)$ para reducir una DBO dada en el afluente hasta el valor deseado de la DBO del efluente. El área superficial requerida para un caudal total de Q , m^3/s es por tanto:

$$A = \frac{Q_o}{L} = \frac{m^3/s}{m^3/(s)(m^2)} = m^2 \quad (18)$$

Kornegay ha desarrollado un procedimiento de diseño racional que se describe a continuación. Considere el biodisco presentado en la figura 2.13 y escríbase un balance de materia para el sustrato que entra y abandona el biodisco tal como sigue:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Velocidad Neta} \\ \text{de cambio de} \\ \text{sustrato en el} \\ \text{Reactor} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Velocidad a la} \\ \text{que el sustrato} \\ \text{entra al reactor} \\ \text{(en el afluente)} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{Velocidad a la} \\ \text{que el sustrato} \\ \text{deja el reactor} \\ \text{(en el efluente)} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{Velocidad a la} \\ \text{que el sustrato} \\ \text{es oxidado en} \\ \text{en el Reactor} \end{array} \right] \quad (19)$$

En condiciones de equilibrio la concentración del sustrato en el reactor permanece constante y por lo tanto el primer miembro de la Ecuación 19 se hace igual a cero, esto es:

$$0 = \left[\begin{array}{l} \text{Velocidad a la} \\ \text{que el sustrato} \\ \text{entra al reactor} \\ \text{(en el afluente)} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{Velocidad a la} \\ \text{que el sustrato} \\ \text{deja el reactor} \\ \text{(en el efluente)} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{Velocidad a la} \\ \text{que el sustrato} \\ \text{es oxidado en} \\ \text{en el Reactor} \end{array} \right] \quad (20)$$

Los dos primeros términos del segundo miembro de la Ecuación 20 se refieren a la disminución neta de sustrato debido a la acción solamente y se define como sigue:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Velocidad a la} \\ \text{que el sustrato} \\ \text{entra al reactor} \\ \text{(en el afluente)} \end{array} \right] = Q_o S_o \quad (21)$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{Velocidad a la} \\ \text{que el sustrato} \\ \text{deja el reactor} \\ \text{(en el efluente)} \end{array} \right] = Q_o S_e \quad (22)$$

El miembro correspondiente a la velocidad de disminución del sustrato por oxidación mediante la utilización microbiana puede escribirse considerando tanto la velocidad de utilización de sustrato por unidad de volumen de limo formado en el disco como la de utilización de sustrato por unidad de volumen de limo en suspensión. Si estas velocidades se denominan respectivamente:

$$\left(\frac{dS}{dt} \right)_A \quad \text{Y} \quad \left(\frac{dS}{dt} \right)_S$$

Se obtiene:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Velocidad a la} \\ \text{que el sustrato} \\ \text{se oxida en} \\ \text{en el Reactor} \end{array} \right] = \left(\frac{dS}{dt} \right)_A V_A + \left(\frac{dS}{dt} \right)_S V_S \quad (23)$$

En las que V_A y V_S son el volumen de biomasa activa en el disco y el volumen de líquido en el reactor, respectivamente. Utilizando las Ecuaciones (21), (22) y (23) y notando que $V_S=V$ =Volumen de líquido en el reactor, la ecuación la (20) se transforma en:

$$0 = Q_0 S_0 - Q_0 S_e - \left(\frac{dS}{dt} \right)_A V_A - \left(\frac{dS}{dt} \right)_S V \quad (24)$$

Las velocidades de consumo de sustrato (dS/dt) pueden relacionarse con la velocidad de crecimiento de la biomasa, (dX/dt), de la ecuación siguiente:

$$\left(\frac{dX}{dt} \right)_g = Y \left(\frac{dS}{dt} \right)_S - K_d X_v \quad (25)$$

Si se desprecia el término endógeno:

$$\left(\frac{dX}{dt} \right)_g = Y \left(\frac{dS}{dt} \right) \quad (26)$$

La ecuación (26) puede escribirse específicamente para las velocidades de crecimiento de la biomasa en el biodisco y en suspensión como sigue:

$$\left(\frac{dX}{dt} \right)_{g,A} = Y_A \left(\frac{dS}{dt} \right)_A \quad (27)$$

$$\left(\frac{dX}{dt} \right)_{g,S} = Y_S \left(\frac{dS}{dt} \right)_S \quad (28)$$

Ya que Y_A e Y_S son los coeficientes de producción para la biomasa formada en el biodisco y en suspensión, respectivamente. Las ecuaciones (27) y (28) pueden agruparse de la siguiente forma:

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_{g,A} / Y_A = \left(\frac{dS}{dt}\right)_A \quad (29)$$

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_{g,S} / Y_S = \left(\frac{dS}{dt}\right)_S \quad (30)$$

Multiplicando los primeros miembros de las ecuaciones (29) y (30) por X_A/X_A y X_S/X_S , en la que X_A y X_S significa la biomasa activa por unidad de volumen del biodisco y del limo en suspensión, respectivamente, recordando la definición de velocidad de crecimiento específico de la biomasa, μ , esto es:

$$\mu = \frac{1}{X} \left(\frac{dX}{dt}\right) \quad (31)$$

Por lo tanto la ecuación (29), quedaría expresada como:

$$\frac{\left[\left(\frac{dX}{dt}\right)_{g,A} / X_A\right] X_A}{Y_A} = \frac{\mu_A X_A}{Y_A} = \left(\frac{dS}{dt}\right)_A \quad (32)$$

Y la ecuación (30) quedará expresada como:

$$\frac{\left[\left(\frac{dX}{dt}\right)_{g,S} / X_S\right] X_S}{Y_S} = \frac{\mu_S X_S}{Y_S} = \left(\frac{dS}{dt}\right)_S \quad (33)$$

Ya que μ_A y μ_S son las velocidades de crecimiento específicas de la biomasa en el biodisco y del limo en suspensión, respectivamente. Sustituyendo en la ecuación (24) los valores de $\left(\frac{dS}{dt}\right)_A$ y $\left(\frac{dS}{dt}\right)_S$ en las ecuaciones (32) y (33) se obtiene:

$$0 = Q_o S_o - Q_o S_e - \frac{\mu_A X_A}{Y_A} V_A - \frac{\mu_S X_S}{Y_S} V \quad (34)$$

El volumen de biomasa en el biodisco, V_A , está dado por la ecuación (17) la sustitución de este valor en la ecuación (34) conduce a:

$$0 = Q_o S_o - Q_o S_e - \frac{\mu_A X_A}{Y_A} \left(\frac{1}{2} \pi (D_o^2 - D_i^2) dN \right) - \frac{\mu_S X_S}{Y_S} V \quad (35)$$

La velocidad de crecimiento de la biomasa tanto adherida al biodisco como a la biomasa en suspensión puede suponerse que sigue la ecuación de Monod, bajo estas condiciones:

$$\mu_A = \mu_{max,A} \frac{S_e}{K_S + S_e} \quad (36)$$

$$\mu_S = \mu_{max,S} \frac{S_e}{K_S + S_e} \quad (37)$$

Utilizando las ecuaciones (36) y (37), la ecuación (35) conduce a:

$$0 = Q_o S_o - Q_o S_e - \left(\frac{\mu_{max,A}}{Y_A} \right) \left(\frac{S_e}{K_S + S_e} \right) \left(X_A \frac{1}{2} \pi (D_o^2 - D_i^2) dN \right) - \left(\frac{\mu_{max,S}}{Y_S} \right) \left(\frac{S_e}{K_S + S_e} \right) X_S V \quad (38)$$

La mayoría de los RBC operan a tiempo de residencia hidráulicos bajos. En consecuencia la concentración de biomasa en suspensión se mantiene baja y la reducción de la DBO se debe a la presencia del crecimiento adherido al disco. Bajo estas circunstancias el último

término del segundo miembro de la ecuación (38) puede ser despreciado. En consecuencia despreciando ese término y reagrupando la ecuación (38) se obtiene:

$$Q_o(S_o - S_e) = \frac{1}{2} \left(\frac{\mu_{\max,A}}{Y_A} \right) X_A d \pi (D_o^2 - D_i^2) N \left(\frac{S_e}{K_s + S_e} \right) \quad (39)$$

Si el parámetro P se define como:

$$P = \left(\frac{\mu_{\max,A}}{Y_A} \right) X_A d \quad (40)$$

Puede escribirse la ecuación (39) en la forma:

$$Q_o(S_o - S_e) = \frac{1}{2} P \pi (D_o^2 - D_i^2) N \left(\frac{S_e}{K_s + S_e} \right) \quad (41)$$

La ecuación (41) se aplica a una etapa de un sistema de biodiscos. En la ecuación (41) el término $\frac{1}{2} \pi (D_o^2 - D_i^2) N$ corresponde al área total húmeda del disco. En ese caso la ecuación (41) puede escribirse como sigue:

$$Q_o(S_o - S_e) = PA \left(\frac{S_e}{K_s + S_e} \right) \quad (42)$$

El área húmeda requerida para alcanzar la reducción deseada de la DBO desde S_o a S_e es:

$$A = \frac{Q_o(S_o - S_e)}{P \left(\frac{S_e}{K_s + S_e} \right)} \quad (43)$$

Los parámetros cinéticos P y K_s de la ecuación (43) pueden evaluarse a partir de unidades piloto o semi-piloto. Con objeto de

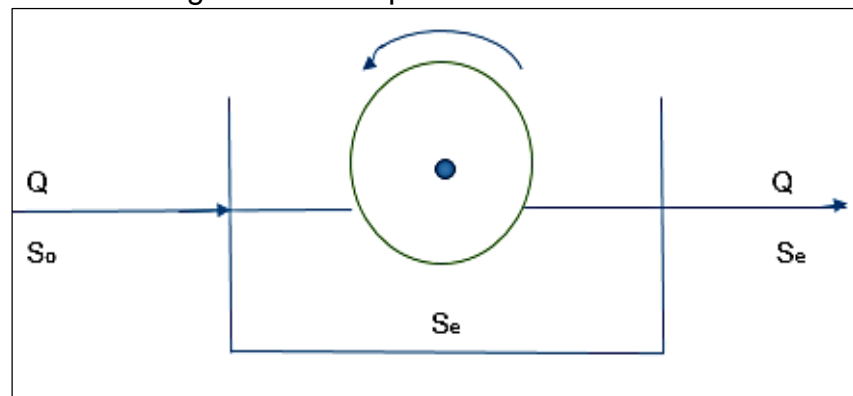
llevar a cabo esta evaluación la ecuación (41) puede reordenarse en forma lineal, expresado de la siguiente forma:

$$\frac{1/2 \left((D_0^2 - D_1^2) N \right)}{Q_0 (S_0 - S_e)} = \frac{1}{P} + \frac{K_S}{P S_e} \quad (44)$$

2.4.27 Determinación de coeficientes cinéticos “K” y “p” en biodiscos

Se hace referencia la hipótesis para los biodiscos, reactores de una sola etapa, reacción bioquímica uniforme sobre todo el área superficial del disco y concentración uniforme en el tanque, es decir mezcla completa, se puede representar el biodisco por el esquema de la Figura 2.14. (Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2008)

Figura 2.14: Esquema de un Biodisco



Fuente:(Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2008)

La tasa específica de remoción de DBO se puede definir por la Ecuación 45:

$$R = \frac{Q(S_0 - S_e)}{A} \quad (45)$$

Donde:

R: Tasa de remoción de DBO por unidad de área de disco, g/m².d

Q: Caudal de aguas residuales, m³/d

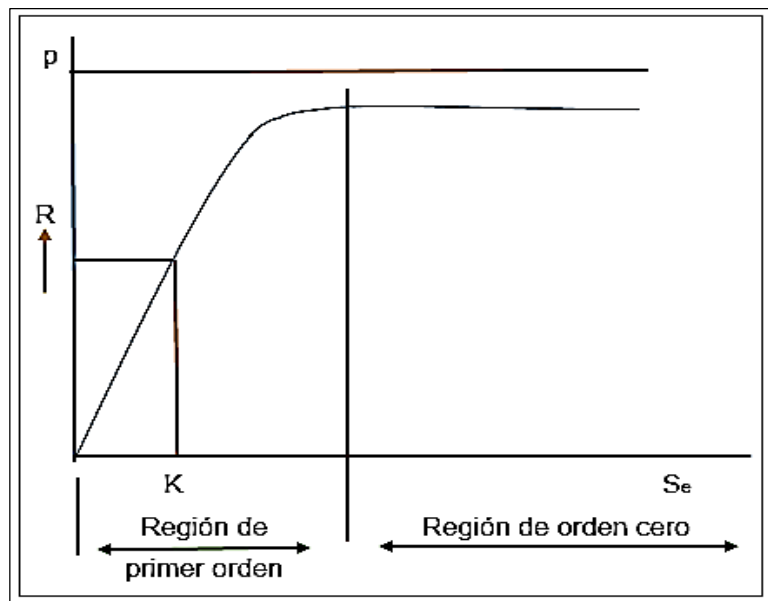
A: Área del disco, m²

S_o: DBO del afluente, g/m³

S_e: DBO del efluente, g/m³

La relación entre la tasa específica de remoción de DBO y la DBO del efluente se ilustra en la Figura 2.15:

Figura 2.15: Relación entre la tasa específica de remoción de DBO y la DBO del efluente



Fuente:(Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2008)

La forma de la curva de la Figura 2.15 indica una cinética de primer orden para DBO baja y de orden cero para concentraciones altas de DBO.

Por tanto:

$$R = \frac{pS_e}{K + S_e} \quad (46)$$

Donde:

R: Tasa de remoción de DBO por unidad del área del disco, g/m².d

p: Tasa específica máxima de remoción de DBO, g/m².d

K: Concentración de DBO para la cual la tasa específica de remoción de DBO es igual a la mitad de la tasa máxima, g/m³.

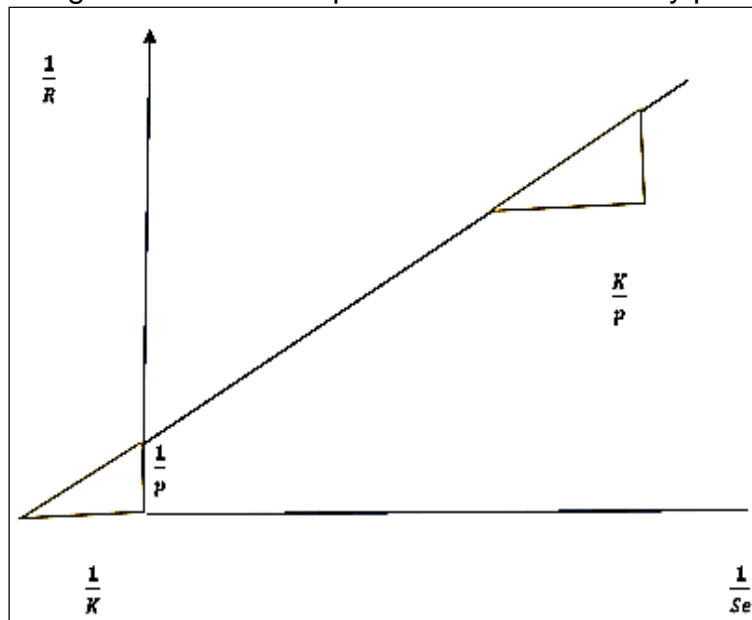
Se: DBO del efluente, g/m³.

Los valores numéricos de p y K se obtienen gráficamente a partir de la Ecuación 27:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{p} + \frac{K}{p} \left(\frac{1}{S_e} \right) \quad (47)$$

La ecuación 27 es la ecuación de una recta con (1/R) como ordenada y (1/S_e) como abscisa, como se observa en la Figura 2.16. (Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2008)

Figura 2.16: Gráfico para la Obtención de K y p



Fuente:(Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2008)

CAPÍTULO III

3. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

3.1 Metodología

3.1.1 Método

3.1.1.1 Lugar de estudio

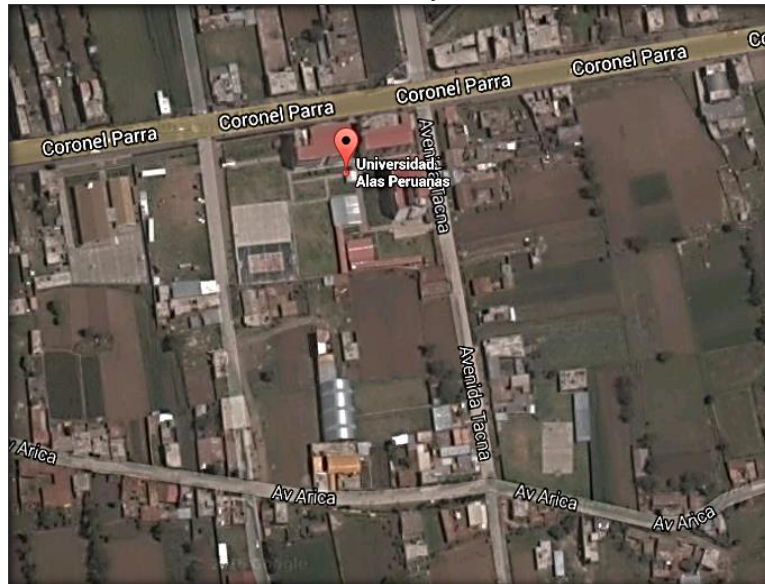
El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Alas Peruanas – Filial Huancayo

Tabla 3.1: Ubicación del Lugar de Estudio

Altitud	:	3225 m.s.n.m.
Latitud Sur	:	17° 28' 18"
Latitud Oeste	:	75° 12' 35"
Clima	:	Templado-Frío.
Distrito	:	Pilcomayo
Provincia	:	Huancayo.
Departamento	:	Junín.

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.1: Instalaciones de la Universidad Alas Peruanas – Filial Huancayo



Fuente: Elaboración Propia

3.1.1.2 Fase I: Construcción del sistema de biodiscos a nivel laboratorio

Para la construcción del equipo a nivel laboratorio se tuvo como referencia una información bibliográfica y otros trabajos de investigación; las cuales me parecieron muy importantes para tomar en consideración; ya que se asemejaba al trabajo de investigación que realicé. (HINOSTROZA SÁNCHEZ & MOSCOSO BARBOZA)

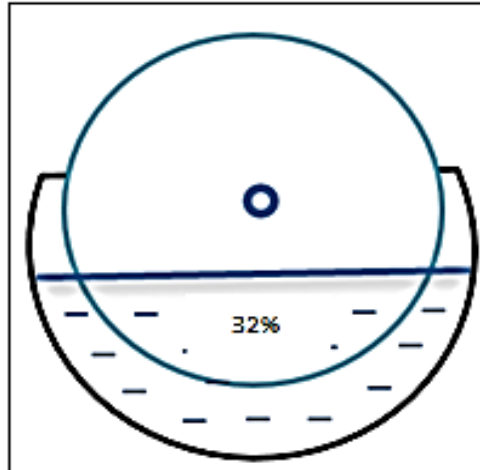
A continuación se detallará las especificaciones técnicas de cada uno de los procesos de construcción del equipo.

a) Porcentaje del área sumergida de los discos

De acuerdo a los estudios con reactores biológicos rotativos a nivel laboratorio, se estableció un porcentaje de área sumergida del disco del 32 %, siendo éste el dato más común como se observa en la Figura 3.2. Porcentajes más altos de sumergencia implica poca exposición del disco a la atmósfera y por ende disminuye la oxigenación de la biopelícula y del reactor, además implica mayor

contacto del eje con el agua aumentando el deterioro de este componente

Figura 3.2: Área sumergida del disco en el reactor



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.3: Discos sumergidos en el reactor biológico



Fuente: Elaboración propia

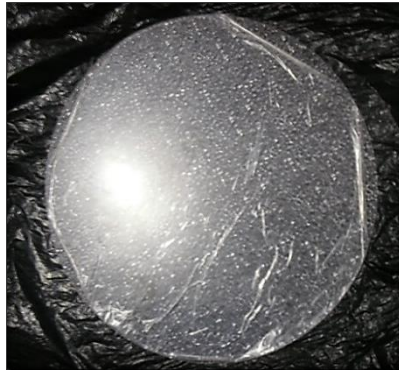
En la Figura 3.3 se observa los discos de poliestireno sumergidos en un 32 % respecto al nivel del agua residual en el reactor biológico.

b) Diámetro de los discos y sus separadores:

Teniendo en cuenta la especificación técnica del porcentaje de área sumergida de los discos, también se fijó el diámetro de los discos en

0,28 m con el objetivo que hubiera 0,02 m de holgura para evitar obstrucciones, pero posibilitando el mayor contacto posible de la biopelícula con el agua residual, evitándose así zonas muertas en el reactor. El material de los discos es de poliestireno rugoso transparente con 0,003 m de espesor.

Figura 3.4: Diámetro del disco de poliestireno



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.4 se observa el corte del disco de material de poliestireno con un diámetro de 0,28 m.

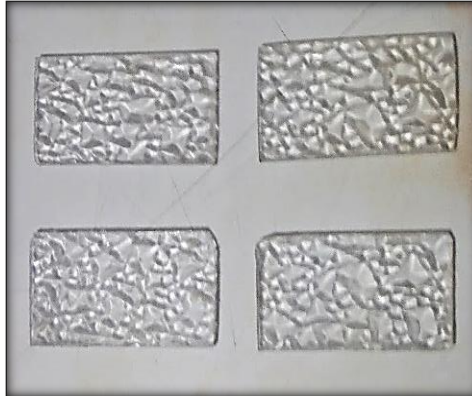
Figura 3.5: Corte circular al centro del disco para el eje central



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.5 se observa el corte al centro del disco que se tuvo que recurrir a maquinas especiales para ello y cuyo diámetro es de 0.025 m para el paso del eje principal y éstos giren correctamente a la misma dirección.

Figura 3.6: Separadores rectangulares para los discos



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.6 se observa los cortes de los separadores de forma rectangular de poliestireno; las cuales sirvieron como espaciadores entre los discos cuyas dimensiones son de 0,02 m de ancho por 0,04 m de largo.

- **Cálculo de la distancia entre discos**

La distancia entre los discos se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$N = \frac{(L - 2E_t - 0.2D + D_d)}{(D_d + E_d)} \quad (48)$$

Donde:

N: Número de discos

L: Longitud del tanque del reactor, m

E_t: Espesor del tanque reactor, m

D: Diámetro del tanque reactor, m

D_d: Distancia entre discos, m

E_d: Espesor del disco, m

Reemplazando los valores en la Ecuación (48):

$$22 = \frac{(0.685 - 2 * 0.002 - 0.2 * 0.35 + D_d)}{(D_d + 0.003)}$$

D_d= 0.02 m

c) Determinación del número de discos y etapas del Reactor:

Decidí realizar una sola etapa constituida de 22 discos ya que se tomó como referencia algunos trabajos de investigación a nivel laboratorio en la cual se trabajó de la misma manera dando buenos resultados.

- **Cálculo del Número de discos**

$$N = \frac{L}{S + B} \quad (49)$$

Donde:

N: Número de discos

L: Longitud del eje central, m

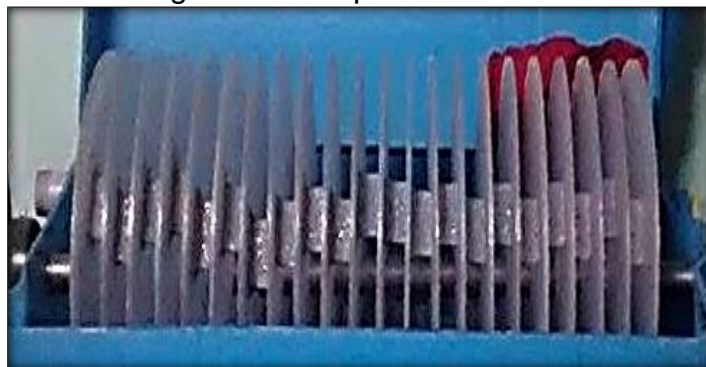
S: Distancia o espacio entre los discos, m

B: Espesor de los discos, m

$$N = \frac{0.51 \text{ m}}{0.02 \text{ m} + 0.003 \text{ m}} \quad (50)$$

$$N = 22 \text{ discos}$$

Figura 3.7: Etapas del Reactor



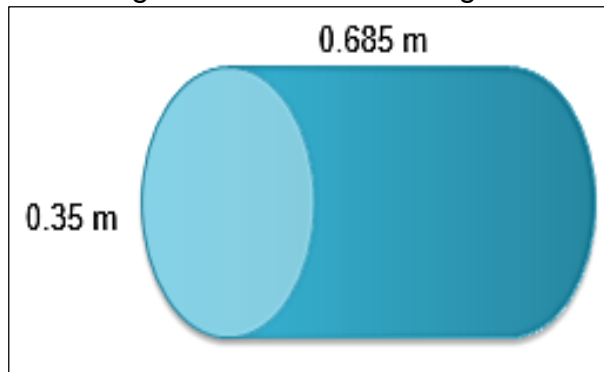
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.7 se observa los 22 discos corrugados transparentes de poliestireno de 0,003 m de espesor con sus respectivos separadores en una sola etapa para el reactor

d) Construcción del Reactor Biológico:

Se utilizó un barril de material de poli cloruro de vinilo (PVC) color azul. Las dimensiones y el material de este equipo son: 0,685 m de largo y el diámetro es de 0,35 m como se observa en la Figura 3.8.

Figura 3.8: Reactor Biológico

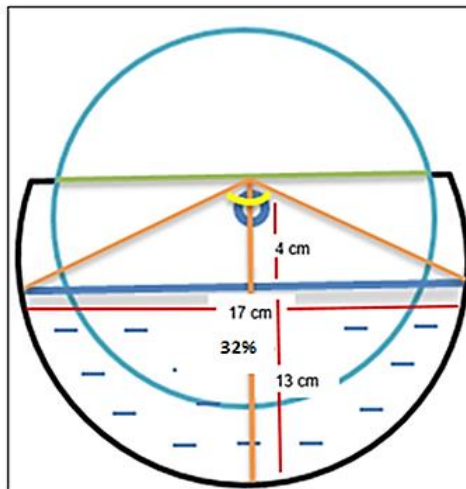


Fuente: Elaboración propia

- **Cálculo del Volumen Total del Reactor**

Para lo cual se tuvo en cuenta las medidas de la sumergencia de los discos respecto al nivel del agua residual y la base inferior del reactor, la cual detallaremos a continuación.

Figura 3.9: Medidas específicas respecto a los discos en el Reactor



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.9 se observa la altura de 0,13 m entre la base final del reactor y el nivel del agua; también la altura de 0,04 m entre la superficie del reactor y el nivel del agua residual.

- **Determinación del Área Total del Cilindro de PVC**

$$A_{\text{Total Cilindro}} = \pi r^2 \quad (51)$$

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

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

Figura 3.10: Área Total del Cilindro de PVC



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.10 se observa el cilindro de PVC color azul que utilicé para construir el reactor biológico para el tratamiento de aguas residuales.

- **Determinación del Volumen Total del Cilindro de PVC**

Para la cual 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 al área de la mitad del cilindro para poder obtener el volumen del reactor efectivo.

$$A_{\text{Sólido rectangular}} = L * A \quad (52)$$

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

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

Sumando las áreas determinadas entonces tenemos:

$$A_{\text{Reactor total}} = A_{\text{Sólido rectangular}} + \frac{A_{\text{Total Cilindro}}}{2} \quad (53)$$

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

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

Para el volumen total del reactor tenemos:

$$V_{\text{Reactor total}} = A_{\text{Reactor}} * \text{Altura} \quad (54)$$

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

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

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

$$V_{\text{Reactor total}} = 42,7 \text{ L}$$

Figura 3.11: Volumen total del Reactor Biológico



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.11 se observa el cilindro de PVC color azul cortado desde un poco más de la mitad del mismo; es decir al que se consideró como el reactor biológico cuyo volumen es de 42,7 L.

- **Determinación del Volumen del Reactor Efectivo**

Para la cual se realizó el siguiente procedimiento mediante las siguientes formulas:

$$\text{Altura} = \text{radio} \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right) \quad (55)$$

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

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

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

Entonces se tomó la siguiente fórmula para poder hallar el volumen efectivo del reactor:

$$S = 2r * \sin \left(\frac{152,22^\circ}{2} \right) \quad (56)$$

$$S = 30,18$$

Para el Área tenemos la siguiente expresión:

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

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

Entonces para el volumen efectivo tenemos:

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

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

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

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

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

Figura 3.12: Volumen del Reactor Efectivo



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.12 se observa el reactor biológico, de la cual se determinó el volumen efectivo; es decir la cantidad de agua residual que se va a tratar con el sistema de biodiscos.

e) Acoplamiento del Eje central para soporte y giro de los discos

Se instaló un eje mandril metálico de $\frac{3}{4}$ pulgadas al reactor que sirvió de soporte a los discos de poliestireno y por ende a su rotación la cual es elemental para la operación del tratamiento de aguas residuales. También se consideró que el material del eje debe ser muy resistente a la corrosión del líquido, por lo cual se reforzó con pintura anticorrosiva.

Figura 3.13: Eje central del Reactor para los discos



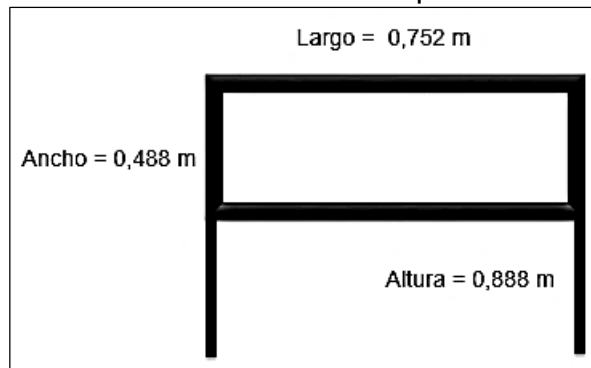
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.13 se observa la instalación del eje central para el soporte de los discos que a su vez está asegurado al soporte del reactor a través de 2 chumaceras – 6004.y a la polea más grande de 9 “que se encuentra en la parte superior del sistema de tratamiento de aguas residuales.

f) Construcción del Soporte del Reactor

Se construyó una estructura metálica de forma rectangular cuyas dimensiones son 0,752 m de largo por 0,488 m de ancho y 0,888 m de altura que sirvió de soporte para el reactor biológico, se tuvo en cuenta el área total del cilindro de PVC de color azul para su construcción.

Figura 3.14: Dimensiones del Soporte del Reactor



Fuente: Elaboración propia

g) Soporte de Motores, y reductor de velocidades

También se colocó una rejilla en el soporte metálico del reactor biológico donde se instaló los 2 motores trifásicos de $\frac{1}{2}$ HP – 0,37 KW junto al reductor de velocidades; se instaló 3 poleas, una polea de 9 pulgadas y dos poleas de 2 pulgadas“, las cuales estaban conectados a los 2 motores para alternar el funcionamiento de cada uno de ellos; así evitar un recalentamiento y mejorar el funcionamiento del reactor como se observa en la Figura 3.15.

Figura 3.15: Rejilla de soporte para los motores y para el reductor de velocidad



Fuente: Elaboración propia

h) Velocidad de rotación de los Discos

Como ya se mencionó anteriormente respecto al reductor de velocidades, es un factor importante para el buen proceso de formación de la biopelícula en los discos y que cuyas velocidades del equipo se encuentra entre los rangos de 2 RPM a 14 RPM, en el proceso de operación del reactor como ya se detallará más adelante se reguló la velocidad adecuada que se determinó luego del proceso de adecuación del reactor para la mejor eficiencia de tratamiento de las aguas residuales.

Figura 3.16: Reductor de Velocidad



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.16 se observa al equipo reductor de velocidades que al principio estaba acoplado a un motor, pero que después se tuvo que acoplar a los otros 2 motores trifásicos para mejorar el proceso de tratamiento de aguas residuales.

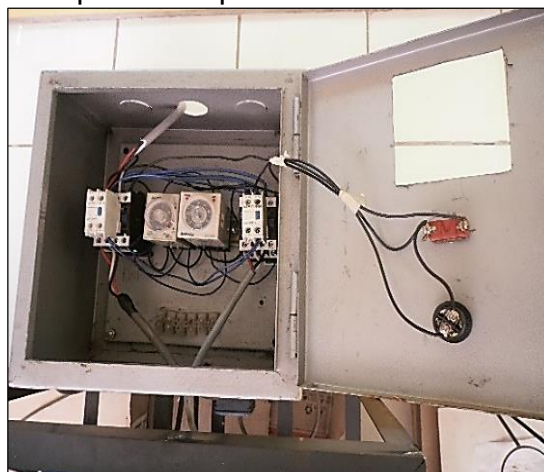
i) Sistema de Recirculación de lodos

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

j) Instalación del Temporizador para el funcionamiento de los motores.

En este sistema de tratamiento se consideró de importancia instalar un equipo temporizador del funcionamiento para los dos motores trifásicos, lo cual nos fue recomendado programar cada 20 min para alternar el funcionamiento de cada motor.

Figura 3.17: Temporizador para funcionamiento de los motores



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.17 se observa al Tablero Temporizador para el arranque alternado que contenía 2 contactores, 2 auxiliares, 2

temporizadores para cada motor trifásico, 1 piloto y 1 interruptor de palanca.

k) Instalación de las poleas para el giro de los discos

Se instaló dos poleas metálicas para el giro del eje con los discos del reactor; la polea grande tiene un diámetro de 0,23 m la cual fue instalada en la parte superior, es decir a la altura del eje central que hizo girar a los 22 discos dentro del reactor; el reductor de velocidades estaba acoplado con una pequeña polea de salida cuyo diámetro es de 0,08 m; la cual sirvió de conexión con la polea grande a través de una faja y así poder realizar el giro continuo de los discos.

Figura 3.18: Poleas para el giro de los discos



Fuente: Elaboración propia

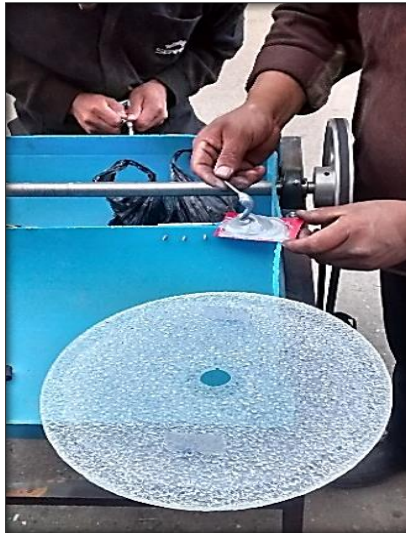
En la Figura 3.18 se observa la polea de 9 pulgadas, la cual sirvió para realizar la función de giro de los discos a través del reductor de velocidades. También es importante mencionar que se usó una correa dentada de caucho N° 38 – 39, la cual fue acoplado a la polea

para el giro adecuado de los discos y la cual se nos fue recomendado para que no haya ningún percance en el desgaste de la correa durante el funcionamiento continuo.

l) Acoplamiento de los discos al eje central del Reactor

Después de los cortes de los discos, éstos se acoplaron al eje central y se separaron cada 0,02 m con la ayuda de pequeños trozos del mismo material del disco de forma rectangular que anteriormente ya fueron cortados; estos se aseguraron con pegamento especial a los discos y así poder girar uniformemente y sin ningún percance en el reactor.

Figura 3.19: Acoplamiento de los discos al eje central



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.19 se observa la preparación del pegamento especial para materiales como el poliestireno.

m) Construcción del Soporte para el Tanque de Alimentación

Se construyó el soporte para el tanque de sedimentación primaria cuyas dimensiones son de 0,6 m por 0,6 m y 1,53 m de altura,

construido de material metálico en la cual se colocó el tanque de alimentación de 250 L de marca ROTOPLAS color negro.

Figura 3.20: Soporte del Tanque de Alimentación



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.20 se observa el soporte del tanque de alimentación la cual fue construida a través del uso de 2 ángulos de 1" ½" x 2 mm, donde se usó ¼ de soldadura Sello Cord.

n) Acoplamiento de las tuberías entre el tanque de alimentación y el reactor biológico

Se instaló el sistema de tuberías para la conexión del tanque de sedimentación y el reactor, la cual consistió de los siguientes materiales como complemento:

- 2 metros de Tubo de PVC de ½ pulgada.
- 3 llaves esféricas de ½ pulgada.
- 1 te de ½ a presión de PVC.
- 2 codos de ½ a presión de PVC.
- 2 reducciones campana de 1" ½ a presión.
- 5 adaptadores de ½.
- 1 pegamento cemento 1/32 y 2 cintas teflón.

Figura 3.21: Acoplamiento de tuberías al reactor



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.21 se observa el sistema de tuberías con tres válvulas esféricas importantes, una de ellas importante para hallar el caudal.

o) Construcción del sedimentador secundario

Para la construcción de sedimentador secundario se tuvo como referencia información bibliográfica en la cual se consideró un valor de proporción para determinar el volumen que tenía que tener el sedimentador.

- Valor de la proporción referenciado de la Bibliografía. (PÉREZ ARISTIZÁBAL, 2010)

$$\frac{V_R}{V_S} = \frac{12,4 \text{ L}}{3,33 \text{ L}}$$

$$\frac{V_R}{V_S} = 3,7 \text{ L}$$

Entonces se consideró el valor del volumen total de reactor ya cortado la cual fue de 42,7 L y este se dividió entre el valor obtenido de la proporción y se obtuvo lo siguiente:

$$V_{\text{Reactor total}} = 42,7 \text{ L}$$

$$\frac{V_R}{3,7} = \frac{42,7 \text{ L}}{3,7}$$

$$V_{\text{Total Sedimentador}} = 11,54 \text{ L}$$

El resultado obtenido de 11,54 L es aquel volumen que debería tener el sedimentador; es así que también consideré otra proporción por bibliografía donde se mencionaba que el volumen total para el sedimentador debe estar en la proporción de 3 a 1; es decir que la parte superior cilíndrica debería tener 3 veces el volumen en relación a la parte inferior cónica del sedimentador; por lo tanto se determinó de la siguiente manera: La especificación del Volumen Total del Sedimentador.

- **Volumen de la parte superior cilíndrica del sedimentador:**

$$V_1 = \pi r^2 h \quad (57)$$

$$V_1 = (3,14)(13^2)\text{cm}(20)\text{cm}$$

$$V_1 = 10613,2 \text{ cm}^3 * 0,001 \text{ L}$$

$$V_1 = 10,6 \text{ L}$$

- **Volumen de la parte inferior cónica del sedimentador:**

$$V_2 = \frac{1}{3} \pi r^2 h \quad (58)$$

$$V_2 = \frac{1}{3} (3,14)(13^2)\text{cm}(5)\text{cm}$$

$$V_2 = 884,4 \text{ cm}^3 * 0,001 \text{ L}$$

$$V_2 = 0,88 \text{ L}$$

Figura 3.22: Sedimentador Secundario



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.22 se observa el sedimentador secundario de material de plástico muy resistente donde se depositara el agua tratada y el lodo sedimentado. Es importante mencionar que dicho sedimentador también está conectado mediante una tubería de PVC de ½ pulgada desde la salida del reactor y que también se acondicionó una salida en la parte inferior de 1" ½ pulgada con su respectiva llave para el control de la salida de los lodos tratados en el proceso de sedimentación.

3.1.1.3 Fase II: Recolección y acondicionamiento de lodos en el reactor:

En esta fase se tomó la muestra del lodo activado de las instalaciones de la PTAR de la Provincia de Concepción "Doris Mendoza", con los debidos documentos de autorización.

Figura 3.23: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Doris Mendoza Paredes"



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.23 se observa la PTAR de donde se extrajo la muestra de lodo activado para mi trabajo de investigación.

- **Manejo y transporte de muestra de lodo activado**

El volumen del lodo extraído fue de 5 L para acondicionar a nuestro reactor biológico que tiene 20 L de volumen efectivo y que para su manejo se tenía que tener mucho cuidado con el modo de extracción y su transporte; por eso se llevó un culer con cubos de hielo para mantener las condiciones buenas y aptas para los microorganismos durante el transporte hacia el laboratorio de trabajo. Es importante mencionar que también se utilizó los debidos EPP para evitar algún problema de salud ya que se trabajó con diferentes tipos de bacterias

Figura 3.24: Recolección del Lodo de la PTAR de Concepción



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.24 se observa la extracción de la muestra de lodo con el debido uso de los EPP.

- **Acondicionamiento del Lodo en el Reactor Biológico**

Dicho lodo extraído cuyo volumen fue de 5 L se inoculó al reactor para ser acondicionado por el periodo de un mes; pero es preciso explicar que los primeros 7 días se acondicionó en sistema batch la cual estaba regulada a una velocidad de 10 RPM, observando el cambio de color del lodo de negro a marrón oscuro formándose láminas. Se controló los parámetros de temperatura, pH y DQO para

después trabajar 3 semanas continuas aun TRH de 48 horas; donde también se dejaba de alimentar al reactor 3 días a la semana para favorecer la oxigenación del proceso.

Es importante mencionar que después del proceso de acondicionamiento se tomó una muestra para realizar un análisis de laboratorio y así poder caracterizar que tipo de microorganismos se presenta en la muestra de lodo del proceso de tratamiento de aguas residuales.

Figura 3.25: Inoculación del lodo al reactor Biológico



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.25 se observa la inoculación del lodo donde se trató de que los discos puedan adherirse uniformemente a éste y así poder mejorar acondicionar para el buen tratamiento del agua residual.

3.1.1.4 Fase III: Operación del reactor

Se estableció el tipo de muestreo compuesto para las aguas residuales y la cual se realizó por el periodo de un mes, la cual fue importante para poder identificar bien las características del lodo, respecto a su cambio de color y adherencia de la biopelícula en los

discos ubicados en el reactor; todo el periodo de muestreo se representa de la siguiente manera:

Tabla 3.2: Muestreo de Agua Residual primera y segunda semana

DIAS/ HORA	07-03-16	09-03-15	11-03-16	14-03-16	16-03-16	18-03-16
7:00 – 8:00 am	6 L	6 L	6 L	6 L	6 L	6 L
12:00 – 1:00 pm	8 L	8 L	8 L	8 L	8 L	8 L
5:00 – 6:00 pm	6 L	6 L	6 L	6 L	6 L	6 L
TOTAL= 120 L	20 L	20 L	20 L	20 L	20 L	20 L

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.3: Muestreo de Agua Residual tercera y cuarta semana

DIAS/ HORA	21-03-16	23-03-15	25-03-16	28-03-16	30-03-16	01-04-16
7:00 – 8:00 am	6 L	6 L	6 L	6 L	6 L	6 L
12:00 – 1:00 pm	8 L	8 L	8 L	8 L	8 L	8 L
5:00 – 6:00 pm	6 L	6 L	6 L	6 L	6 L	6 L
TOTAL= 120 L	20 L	20 L	20 L	20 L	20 L	20 L

Fuente: Elaboración Propia

a) Recolección de Aguas Residuales Urbanas

El recojo de aguas residuales urbanas de la Universidad Alas Peruanas fue extraída del colector principal haciendo uso de baldes de plástico, guantes y guardapolvo por cada 4 horas donde se tomó

en tres horarios las cuales son: 7:00 am a 8:00 am se tomaron 6 L de muestra, al mediodía a horas de 12:00 pm a 1:00 pm se tomaron 8 L y de las 6:00 pm a 7:00 pm se tomaron 6 L de muestra.

Figura 3.26: Recojo de muestra de agua residual del colector central de la UAP-Huancayo



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.26 se observa el recojo de la muestra de agua residual del colector principal con ayuda de un balde pequeño sujetado de una soga porque tenía una profundidad de 1 m, en la cual se hizo uso de los EPP correspondientes.

Figura 3.27: Balde de 20 L utilizado para el recojo de la muestra de agua residual



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.27 se observa el balde de material de PVC color negro de 20 L utilizado para el recojo de la muestra de agua residual.

b) Filtración del Agua Residual

Luego del recojo del agua residual con los baldes; estos fueron filtrados para separar residuos de gran tamaño y así evitar atoramiento en el paso del agua residual por las tuberías conectadas al reactor biológico.

Figura 3.28: Filtración del Agua Residual extraído del colector principal de la Universidad Alas Peruanas



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.28 se observa la filtración del agua residual haciendo uso de una tela y así puedan separar los sólidos suspendidos y así evitar atoramiento en las tuberías.

3.1.1.5 Fase IV: Parte Experimental

a) Alimentación del Tanque Primario con el Agua Residual

Se pasó a llenar el tanque de alimentación con 240 L de agua residual tomando como referencia el volumen total que se llenó en la etapa de acondicionamiento por el periodo de un mes y así pudiera

ver fluido continuo del agua residual; es importante mencionar que se removía con una paleta cada vez que se alimentaba en el tanque para evitar atoramiento en la entrada de las tuberías.

Figura 3.29: Alimentación del Tanque primario con agua residual



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.29 se observa el llenado con agua residual al tanque primario, la cual se realizó a través de baldes de plástico, esto después de la filtración.

b) Regulación de la velocidad de giro de los discos

Como etapa previa del proceso, específicamente en la fase de adecuación de los lodos en el reactor se observó que a principios se había considerado una velocidad de 4 RPM pero que no se notaba buenos resultados al momento de adherirse a los discos, pero cuando se aumentó la velocidad a 8 RPM se notó una mejora en la adhesión de los lodos al disco y que las características del agua tratada era mejor ; es por eso que se trabajó a esa velocidad hasta el final del tratamiento del agua residual para todas las muestras extraídas.

Figura 3.30: Regulación de velocidad del giro de los discos



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.30 se observa la regulación de velocidades a 8 RPM, la cual nos permite ver mejor adherencia de los lodos en los discos biológicos.

c) Programación del Tablero Temporizador

Se realizó la programación del tiempo en que debían alternar el funcionamiento de cada motor trifásico, para así evitar un recalentamiento, por eso se optó programar cada 20 min su alternancia de funcionamiento.

Figura 3.31: Programación del Tablero Temporizador



Fuente: Elaboración propia

d) Determinación del Caudal y el Tiempo de Retención Hidráulica

Para determinar el caudal se midió el volumen de agua residual que pasa por un determinado tiempo; esto a través de la tubería y regulada por una llave de plástico. También se determinó el tiempo de retención Hidráulica (TRH) con la cual se trabajó y se obtuvo las muestras.

$$Q = \left(\frac{V}{t}\right) \quad (59)$$

$$TRH = \left(\frac{V}{Q}\right) \quad (60)$$

- **Determinación Caudal**

$$Q = \left(\frac{7 \text{ ml}}{60 \text{ s}}\right) = 0,117 \frac{\text{ml}}{\text{s}} \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}\right) \left(\frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ ml}}\right)$$

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

- **Determinación del Tiempo de Retención Hidráulica**

$$TRH = \left(\frac{20 \text{ L}}{0,42 \frac{\text{L}}{\text{h}}}\right)$$

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

Figura 3.32: Medición del Caudal a través de las tuberías del reactor



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.32 se observa la medición del caudal a través del uso de una probeta para medir la cantidad del agua residual a través del goteo y también un cronómetro para ver el tiempo exacto.

e) Medición de la Temperatura y el pH

En cada uno de las muestras obtenidas con relación a los tiempos de retención hidráulica se realizó la medición de la temperatura que mayormente presentaba 16 °C y un pH de 6,5 para así poder comparar más adelante de qué manera influyen en el proceso de tratamiento y en su eficiencia de degradación de la materia orgánica.

Figura 3.33: Medición de la Temperatura



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.33 se observa el uso de un termómetro de laboratorio para la medición de la temperatura a la que estaba trabajando el reactor biológico, la cual era un parámetro importante a medir para poder comparar resultados de remoción a distintas condiciones.

f) Análisis de parámetros fisicoquímicos

Se evaluó los parámetros de DBO_5 y DQO para lo cual se tomó dos muestras de 10 ml cada una en afluente y efluente del proceso de

tratamiento de aguas residuales Estos fueron tomados en referencia a las velocidades de 4 RPM y 8 RPM; también por los tiempos de retención celular cada 12 horas.

Tabla 3.4: Muestras Representativas para Análisis de DBO₅ y DQO

<p>Muestra representativa de la Primera Prueba con 4 RPM</p>	<p>Muestra representativa de las réplicas experimentales con 4 RPM</p>
	
<p>Muestra representativa de la Primera Prueba con 8 RPM</p>	<p>Muestra representativa de las réplicas experimentales con 8 RPM</p>
	

Fuente: Elaboración propia

g) Análisis para la caracterización de lodos

Se realizó el análisis de laboratorio para poder conocer que microorganismos se encuentran presentes en dicho lodo activado. Para la cual se tomó dos muestras de 10 mL cada una colocada en tubos de ensayo debidamente rotuladas.

Figura 3.34: Muestras de lodos para su Análisis de laboratorio



Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Tipo de la investigación

La investigación que se realizó es de tipo experimental y aplicado ya que tiene el objetivo de crear una nueva tecnología a partir de los conocimientos adquiridos a través de la investigación estratégica para determinar si estos pueden ser útilmente aplicados con o sin mayor refinamiento para el propósito definido.

3.1.3 Nivel de la investigación

El trabajo de investigación se realizó a un nivel de investigación descriptiva y explicativa, porque la finalidad fue describir y estimar los coeficientes cinéticos del tratamiento de aguas residuales por el Sistema de Biodiscos. También es comparativa, porque compara variables de estudio como son la carga orgánica y el tiempo de

retención hidráulica en los diferentes muestreos para tratamiento de aguas residuales y que primordialmente se determinó los coeficientes cinéticos para la optimización del proceso de tratamiento.

3.2 Diseño de la investigación

El diseño de investigación de la presente investigación corresponde a una Pre - Test y Post - Test prueba experimental con un grupo de control.

GRUPO	Pre -Test	TRATAMIENTO APLICADO AL GE	Post Test
GE	O1	X	O2

Donde:

O1: Pre – Test

X: Aplicación de la variable experimental.

O2: Post –Test

Las unidades experimentales respecto al proceso de tratamiento de aguas residuales urbanas están relacionadas en base al Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) que es de 48 horas. Se evaluó la DBO₅ y DQO en cada muestra, tanto para los de 4 RPM y para los de 8 RPM (afluente y efluente es decir que básicamente se evaluaron los resultados de DQO y DBO₅ con respecto al grupo de control. Es importante mencionar que también se midieron otros parámetros como el pH y la temperatura para cada muestra, la cual siempre se estuvo midiendo en todo el proceso de tratamiento.

Tabla 3.5: Diseño de la investigación

Tiempos	DBO₅	DQO	Grupo de Control
T ₁	R ₁	Q ₁	G1
T ₂	R ₂	Q ₂	G1
T ₃	R ₃	Q ₃	G1

T ₄	R ₄	Q ₄	G1
T ₅	R ₅	Q ₅	G1
T ₆	R ₆	Q ₆	G1
:	:	:	G1
T _n	R _n	Q _n	G1

Esquema de evaluación de pruebas experimentales -
Elaboración propia

3.3 Hipótesis de la investigación

3.3.1 Hipótesis general

Los coeficientes optimizan el proceso cinético de la degradación de la materia orgánica con la variación de las revoluciones por minuto (RPM) de los discos en el tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de biodiscos a nivel laboratorio en la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo.

3.3.2 Hipótesis específicas

- La concentración de contaminante en el agua disminuirá después del tratamiento y estará acorde con los límites máximos permisibles para efluentes mediante un sistema de biodiscos a nivel laboratorio en la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo.
- La variación de las revoluciones por minuto (RPM) de los discos influye significativamente en los valores de los coeficientes cinéticos “K” y “p” en el tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de biodiscos a nivel laboratorio en la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo.
- El coeficiente “K” determinado será mayor al valor de 64,70 mg/L respecto a la concentración de DBO₅ en el tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de biodiscos a nivel laboratorio en la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo.

- El coeficiente “p” determinado será mayor al valor de 6,7 g/m².d respecto a la tasa máxima de remoción en el tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de biodiscos a nivel laboratorio en la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo.

3.4 Variables

3.4.1 Variable independiente

Carga Orgánica

RPM (Revoluciones por minuto) de los discos.

3.4.2 Variable dependiente

Coefficientes Cinéticos

3.5 Cobertura del estudio.

3.5.1 Universo

El agua residual urbana para el tratamiento mediante el sistema de biodiscos, ya que esto se caracterizó de acuerdo a la clasificación que realiza la normativa peruana.

3.5.2 Población

El agua residual tomado del colector principal de la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo en la cual se obtuvo una muestra representativa que viene de diferentes conductos.

3.5.3 Muestra

Estará representado por el volumen de agua residual urbana a tratar que es de 20 L.

3.5.3.1 Muestreo

El muestreo realizado fue compuesto, debido a que se recolectó un conjunto de muestras simples diarias de 20 L, a la semana se juntó el volumen de 60 L y lo cual nos da que al mes del tiempo de acondicionamiento del reactor se recolectó los 240 L, la cual nos

sirvió como dato para poder comenzar el proceso de las pruebas experimentales.

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 las pruebas experimentales, antes y después del tratamiento de aguas residuales.

Se realizó una observación exhaustiva de los cambios importantes que ocurrió en el proceso de tratamiento.

Se hizo uso del fichaje donde se tomó en cuenta los datos del proceso y demás características importantes en la investigación del proceso de tratamiento de aguas residuales.

3.6.2 Instrumentos de la investigación

Los instrumentos de investigación utilizados fueron las fichas de observación de campo de cada prueba experimental en el laboratorio correspondiente, los resúmenes de los trabajos de investigación y las normativas de contaminación del agua.

Los reportes del laboratorio sobre el análisis del agua realizado en la facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Centro del Perú.

3.7 Procesamiento estadístico de la información.

3.7.1 Estadísticos

Se utilizó un software estadístico denominado Minitab para los análisis de tendencia central, estimación de la media y moda del conjunto de datos a procesar y la desviación estándar.

Se utilizó un software estadístico denominado Minitab, para los análisis de medidas centrales y de dispersión, correlación de pearson

3.7.2 Representación

Las representaciones de la parte experimental se dieron por medio de reportes de laboratorios, gráficos estadísticos y comparativos mediante el software estadístico.

3.7.3 Técnica de comprobación de la hipótesis

La técnica de comprobación de la hipótesis se realizó mediante la prueba de ANOVA - TUKEY.

CAPITULO IV

4. ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Resultados

4.1.1 Datos de las pruebas experimentales con 8 RPM de los discos

Según el diseño de investigación se realizó pruebas experimentales dando diferentes condiciones a cada una de las variables que intervinieron, de igual manera se realizó las réplicas cada una de ellas.

Tabla 4.1: Resultados de la Primera prueba experimental

N° de Prueba	TRC	DBO5(mg/L)	DQO(mg/L)	pH	T°
1	0	332.85	486.53	7.4	15.5
2	12	205.80	310.50	6.9	15.4
3	24	134.55	206.88	7.2	15.7
4	36	98.25	148.55	7.0	16.3
5	48	66.90	92.70	7.1	15.2
6	60	58.65	87.24	6.8	15.1
7	72	52.20	78.90	6.9	14.8

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.1 se observa los resultados de DBO₅ y DQO de la primera prueba experimental; se obtuvieron valores de DBO₅ inicial

de 332,85 mg/L y final de 52,20 mg/L; respecto al DQO se obtuvo valor inicial de 486,53 mg/L y final de 78,90 mg/L. El valor de 7 de pH en promedio y de temperatura en 15 °C en promedio.

Tabla 4.2: Resultados de la Primera réplica experimental

N° de Prueba	TRC	DBO5(mg/L)	DQO(mg/L)	pH	T°
1	0	367.95	548.70	7.5	15.6
2	12	217.20	329.25	6.9	15.7
3	24	150.15	259.35	7.1	15.8
4	36	120.30	181.56	6.8	16.4
5	48	82.50	142.95	7.3	16.0
6	60	73.95	110.67	7.0	15.1
7	72	69.30	105.30	6.7	14.9

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.2 se observa los resultados de DBO₅ y DQO de la Primera réplica experimental; se obtuvieron valores de DBO₅ inicial de 367,95 mg/L y final de 69,30 mg/L; respecto al DQO se obtuvo valor inicial de 548,70 mg/L y final de 105,30 mg/L. El valor de 7 de pH en promedio y de temperatura en 16 °C en promedio.

Tabla 4.3: Resultados de la Segunda réplica experimental

N° de Prueba	TRC	DBO5(mg/L)	DQO(mg/L)	pH	T°
1	0	347.85	504.54	7.2	15.3
2	12	235.80	354.81	6.4	15.2
3	24	182.55	275.94	6.8	16.7
4	36	98.25	148.55	7.0	17.8
5	48	60.90	103.70	7.4	16.2
6	60	54.60	94.51	6.8	15.1
7	72	49.20	91.30	6.9	14.8

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.3 se observa los resultados de DBO₅ y DQO de la Segunda réplica experimental; se obtuvieron valores de DBO₅ inicial de 347,85 mg/L y final de 49,20 mg/L; respecto al DQO se obtuvo

valor inicial de 504,54 mg/L y final de 91,30 mg/L. El valor de 6.9 de pH en promedio y de temperatura en 16 °C en promedio.

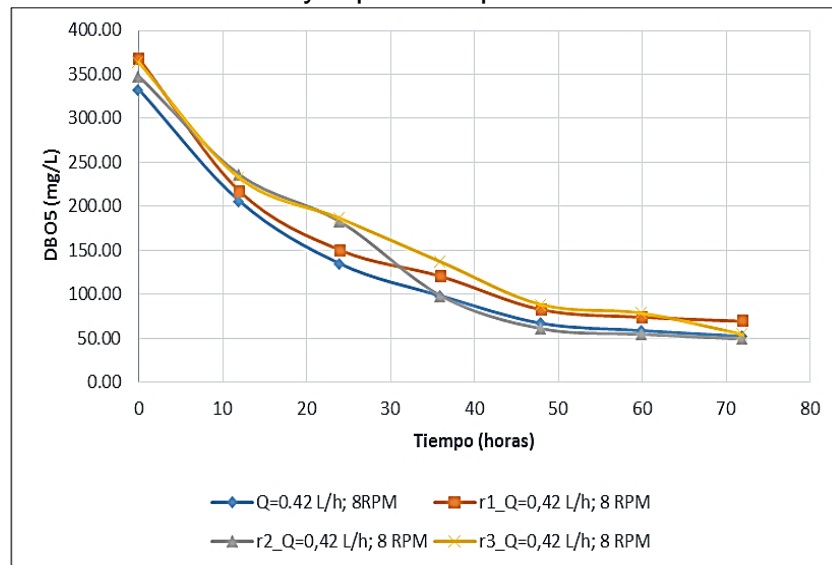
Tabla 4.4: Resultados de la Tercera réplica experimental

N° de Prueba	TRC	DBO5(mg/L)	DQO(mg/L)	pH	T°
1	0	363.45	526.32	6.4	14.8
2	12	232.20	349.25	6.2	15.2
3	24	186.15	289.35	7.4	15.7
4	36	136.80	215.56	6.2	16.3
5	48	88.05	139.95	6.8	17.2
6	60	78.45	125.67	6.7	15.6
7	72	54.30	94.30	6.4	14.7

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.4 se observa los resultados de DBO₅ y DQO de la Tercera réplica experimental; se obtuvieron valores de DBO₅ inicial de 363,45 mg/L y final de 54,30 mg/L; respecto al DQO se obtuvo valor inicial de 526,32 mg/L y final de 94,30 mg/L. El valor de 6.6 de pH en promedio y de temperatura en 16°C en promedio.

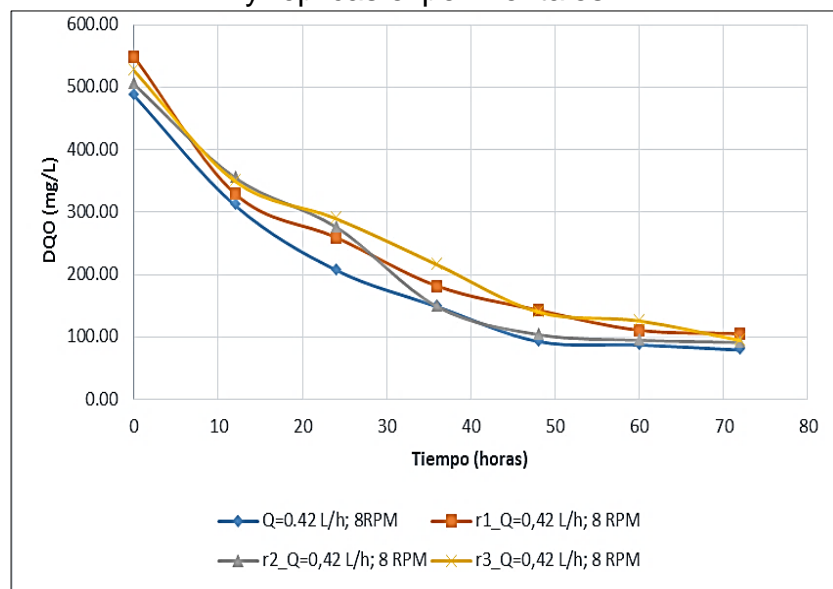
Figura 4.1: Comparación de Cc. de DBO₅ con 8 RPM-Primera Prueba y réplicas experimentales



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.1 se observa las concentraciones de DBO_5 con 8 RPM, donde la Tercera réplica experimental presenta mayor remoción de carga orgánica respecto al tiempo de tratamiento que fue de 72 horas de aguas residuales en el reactor biológico, teniendo un valor de 309,15 mg/L de remoción.

Figura 4.2: Comparación de Cc. de DQO con 8 RPM-Primera Prueba y réplicas experimentales

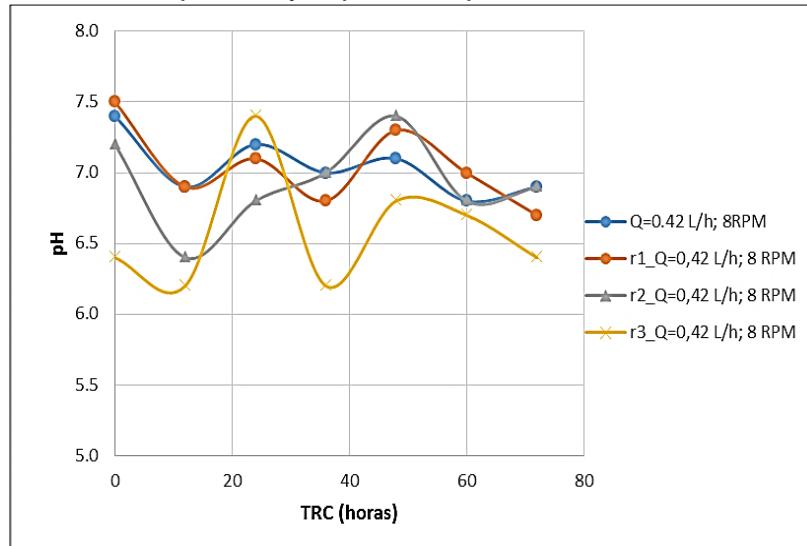


Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.2 se observa las concentraciones de DQO con 8 RPM, donde la Primera réplica experimental presenta mayor remoción de carga orgánica respecto al tiempo de tratamiento que fue de 72 horas de aguas residuales en el reactor biológico, teniendo un valor de 443,64 mg/L de remoción.

Se realizó la comparación de los resultados de pH y las temperaturas obtenidas a partir del tratamiento de aguas residuales por el sistema de biodiscos con 8 RPM, tanto para la primera prueba y las réplicas correspondientes, cuyo tiempo de tratamiento total realizado fue de 72 horas.

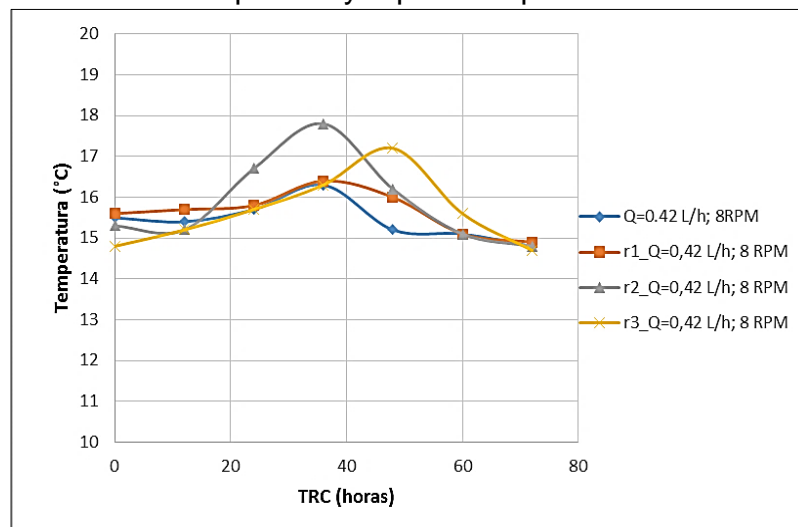
Figura 4.3: Comparación de resultados de pH con 8 RPM-Primera prueba y réplicas experimentales



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.3 se observa la comparación de resultados de pH con 8 RPM de la primera prueba y réplicas experimentales, donde se observa un pH de 7,5 como máximo y un mínimo de 6,2, la cual el rango óptimo para un adecuado proceso de degradación de materia orgánica.

Figura 4.4: Comparación de resultados de temperaturas con 8 RPM-Primera prueba y réplicas experimentales



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.4 se observa la comparación de resultados de temperatura con 8 RPM de la primera prueba y réplicas experimentales, donde se observa una temperatura máxima de 17,8°C y una mínima de 14,7°C, rango óptimo del proceso.

4.1.2 Datos de las pruebas experimentales con 4 RPM de los discos

También se obtuvo datos de la Primera prueba experimental y las réplicas con respecto a la DBO₅, DQO, temperaturas y el pH los cuales están en función de 4 RPM de los discos.

Tabla 4.5: Resultados de la Primera prueba experimental

N° de Prueba	TRC	DBO5	DQO	pH	T°
1	0	348.98	522.81	7.3	15.6
2	12	216.30	335.25	7.1	15.5
3	24	148.98	239.06	7.0	15.4
4	36	96.75	167.70	6.9	16.3
5	48	96.90	153.92	7.2	15.5
6	60	73.65	135.48	6.7	15.1
7	72	68.70	130.67	6.5	14.8

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.5 se observa los valores de DBO₅ inicial de 348,98 mg/L y final de 68,70 mg/L; respecto al DQO se obtuvo valor inicial de 522,81 mg/L y final de 130,67 mg/L. También se presentó el valor de 7 de pH en promedio y de temperatura en 16 °C en promedio.

Tabla 4.6: Resultados de la Primera réplica experimental

N° de Prueba	TRC	DBO5	DQO	pH	T°
1	0	368.70	539.48	7.1	15.2
2	12	236.70	344.00	6.9	15.3
3	24	160.98	245.39	7.3	15.1
4	36	114.30	180.90	6.8	16.2
5	48	97.20	156.81	7.0	15.4
6	60	84.45	138.29	6.7	15.1
7	72	79.80	133.85	6.5	14.7

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.6 se observa los resultados de DBO₅ y DQO de la Primera réplica experimental; se obtuvieron valores de DBO₅ inicial de 368,70 mg/L y final de 79,80 mg/L; respecto al DQO se obtuvo valor inicial de 539,48 mg/L y final de 133,85 mg/L. El valor de 6.9 de pH en promedio y de temperatura en 15 °C en promedio.

Tabla 4.7: Resultados de la Segunda réplica experimental

N° de Prueba	TRC	DBO5	DQO	pH	T°
1	0	339.98	497.42	6.9	14.7
2	12	219.30	324.21	7.4	15.3
3	24	181.98	269.55	6.8	16.4
4	36	116.25	174.70	7.3	15.7
5	48	89.55	138.92	7.8	15.3
6	60	82.65	135.48	7.1	16.2
7	72	72.75	126.50	6.9	14.9

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.7 se observa los resultados de DBO₅ y DQO de la Segunda réplica experimental; se obtuvieron valores de DBO₅ inicial de 339,98 mg/L y final de 72,75 mg/L; respecto al DQO se obtuvo valor inicial de 497,42 mg/L y final de 126,50 mg/L. El valor de 7.2 de pH en promedio y de temperatura en 16 °C en promedio.

Tabla 4.8: Resultados de la Tercera réplica experimental

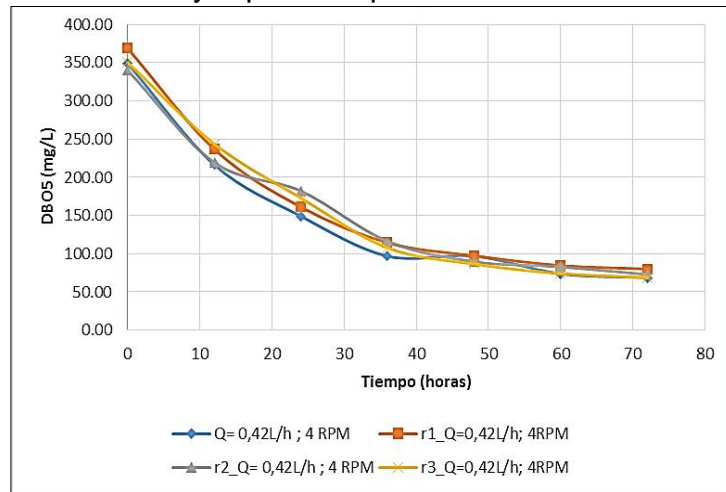
N° de Prueba	TRC	DBO5	DQO	pH	T°
1	0	350.25	521.80	6.7	14.3
2	12	243.60	367.93	7.5	16.5
3	24	172.86	265.39	6.8	15.6
4	36	107.70	184.20	6.5	15.4
5	48	86.40	152.81	7.2	16.7
6	60	73.95	134.54	7.4	15.3
7	72	68.70	130.34	6.8	16.2

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.8 se observa el valor de DBO₅ inicial de 350,25 mg/L y final de 68,70 mg/L; respecto al DQO se obtuvo valor inicial de

521,80 mg/L y final de 130,34 mg/L. se presenta el valor de 7 de pH en promedio y de temperatura en 16°C en promedio.

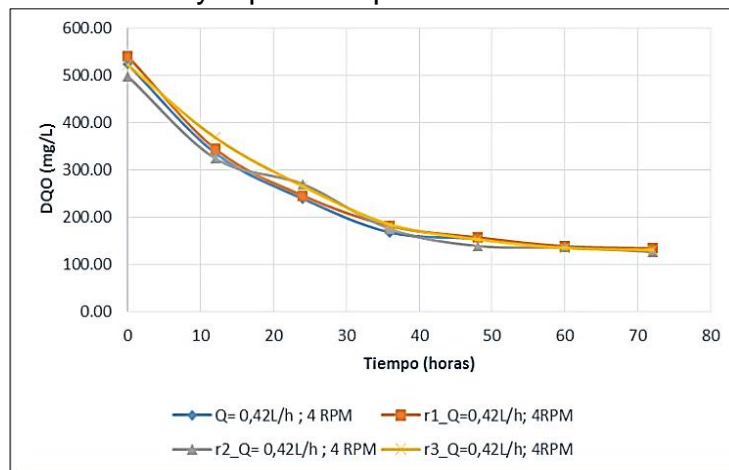
Figura 4.5: Comparación de Cc. de DBO₅ con 4 RPM-Primera prueba y réplicas experimentales



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.5 se observa que la Primera réplica experimental presenta mayor remoción de carga orgánica respecto al tiempo de tratamiento que fue de 72 horas de aguas residuales en el reactor biológico, teniendo un valor de 288,9 mg/L de remoción.

Figura 4.6: Comparación de Cc. de DQO con 4 RPM-Primera prueba y réplicas experimentales

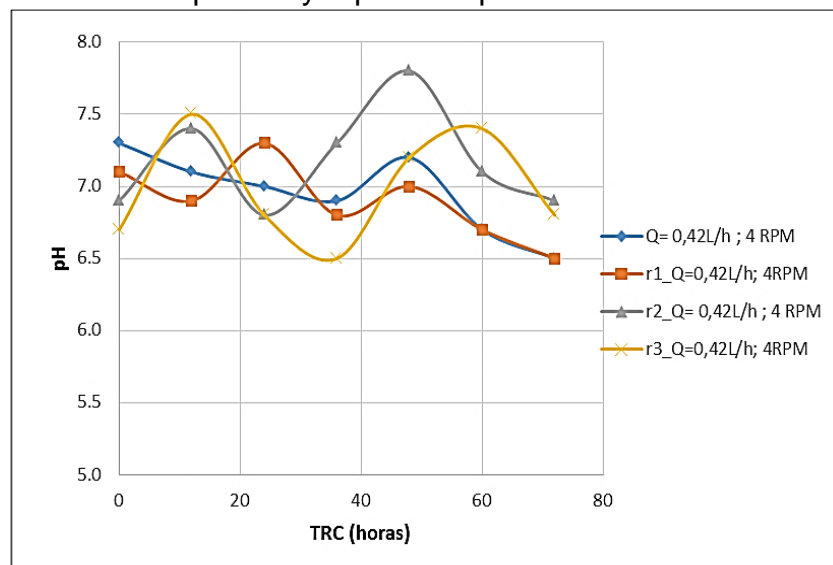


Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.6 se observa que la Primera réplica experimental presenta mayor remoción de carga orgánica respecto al tiempo de tratamiento que fue de 72 horas de aguas residuales en el reactor biológico, teniendo un valor de 405,63 mg/L de remoción.

También se realizó la comparación de los resultados de pH y las temperaturas obtenidas a partir del tratamiento de aguas residuales por el sistema de biodiscos con 4 RPM, tanto para la primera prueba y las réplicas correspondientes, cuyo tiempo de tratamiento total realizado fue de 72 horas.

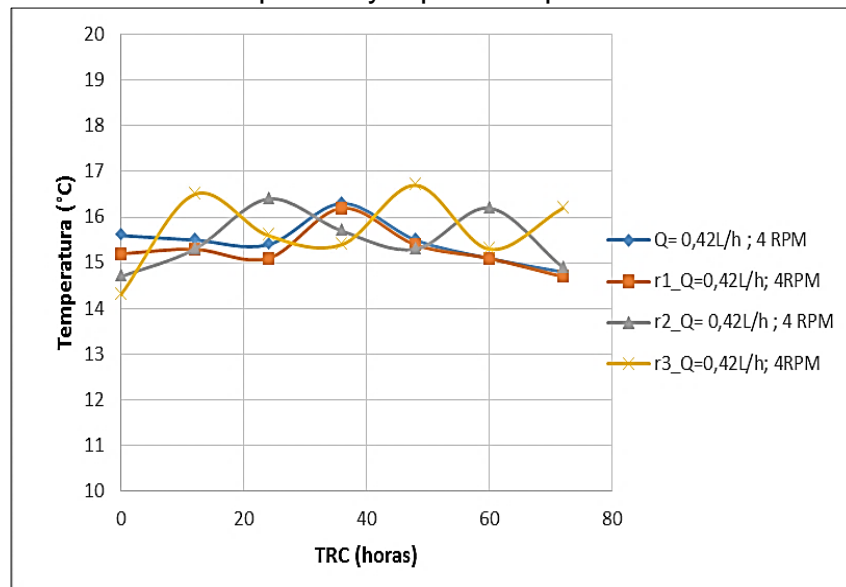
Figura 4.7: Comparación de resultados de pH con 4 RPM-Primera prueba y réplicas experimentales



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.7 se observa la comparación de resultados de pH con 4 RPM de la Primera prueba y réplicas experimentales, donde se observa un pH de 7,8 como máximo y un mínimo de 6,5, la cual el rango óptimo para un adecuado proceso de degradación de materia orgánica.

Figura 4.8: Comparación de resultados de Temperatura con 4 RPM- Primera prueba y réplicas experimentales



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.8 se observa la comparación de resultados de temperatura con 4 RPM de la primera prueba y réplicas experimentales, donde se observa una temperatura máxima de 16,7°C y una mínima de 14,3°C, rango óptimo del proceso.

4.2 Discusión de resultados

4.2.1 Comparación de % de remoción de DBO₅ Y DQO con 8 RPM

Con los resultados que se obtuvieron en el proceso de tratamiento de aguas residuales por Biodiscos a partir de las velocidades de giro de los discos a 8 RPM y 4 RPM se realizó el cálculo del % de remoción y la relación de DBO₅/DQO, la cual indica el índice de biodegradabilidad de la materia orgánica, nos da una idea del nivel de contaminación de las aguas residuales (DBO₅/DQO), es decir si el resultado de la relación es menor a 0,2 no es biodegradable se recomiendan tratamientos químicos para depurarlas, si esa relación es de 0,2 – 0,4 es biodegradable y si la relación es mayor a 0,4 es muy biodegradable. Teniendo en cuenta esta información los resultados se representaron en las siguientes tablas:

Tabla 4.9: % de remoción de DBO₅ y DQO con 8 RPM-Primera prueba experimental

N° de Prueba	TRC	% de remocion DBO5	% de remocion DQO	Relación DBO/DQO
1	0	0.00%	0.00%	0.684
2	12	38.17%	36.18%	0.663
3	24	59.58%	57.48%	0.650
4	36	70.48%	69.47%	0.661
5	48	79.90%	80.95%	0.722
6	60	82.38%	82.07%	0.672
7	72	84.32%	83.78%	0.662

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.9 se observa los resultados obtenidos del porcentaje de remoción de DBO₅ y DQO con 8 RPM en la Primera prueba experimental donde se va incrementando en relación al Tiempo de retención celular hasta presentar una diferencia no significativa entre las 60 horas y 72 horas en la cual se estabilizó la remoción; esto se debió a que existe 4 fases del crecimiento bacteriano, en donde se explica que la fase estacionaria comprende hasta las 72 horas del Tiempo de retención celular y es hasta donde se generó la remoción máxima de materia orgánica, se sabe que una de las causas que conducen a este fenómeno es la limitación en materia de nutrientes. La relación de DBO₅/DQO resultó mayor a 0,4 lo cual indica que presenta materia orgánica muy biodegradable para el tratamiento. Es importante mencionar que debido a la gran capacidad de remoción del Sistema de Biodiscos respecto a la velocidad de giro de los discos de 8 RPM y a los tiempos de retención hidráulica de 0 horas a 72 horas permitió obtener valores de DBO y DQO por debajo de los Límites Máximos Permisibles para efluentes de Plantas de Tratamiento de aguas residuales y respetando los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del agua – Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebidas de animales.

Tabla 4.10: % de remoción de DBO₅ y DQO con 8 RPM-Primera réplica experimental

N° de Prueba	TRC	% de remocion DBO5	% de remocion DQO	Relación DBO/DQO
1	0	0.00%	0.00%	0.671
2	12	40.97%	39.99%	0.660
3	24	59.19%	52.73%	0.579
4	36	67.31%	66.91%	0.663
5	48	77.58%	73.95%	0.577
6	60	79.90%	79.83%	0.668
7	72	81.17%	80.81%	0.658

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.10 se observa los resultados obtenidos del porcentaje de remoción de DBO₅ y DQO con 8 RPM de la Primera réplica experimental que a diferencia de la Primera prueba experimental no representa una diferencia muy significativa en el % de remoción ya que presentó más del 80% de remoción de materia orgánica y respecto a la relación de DBO₅/DQO resultó mayor a 0,4 lo cual indica que presenta materia orgánica muy biodegradable para el tratamiento de aguas residuales por Biodiscos.

Tabla 4.11: % de remoción de DBO₅ y DQO con 8 RPM-Segunda réplica experimental

N° de Prueba	TRC	% de remocion DBO5	% de remocion DQO	Relación DBO/DQO
1	0	0.00%	0.00%	0.689
2	12	32.21%	29.68%	0.665
3	24	47.52%	45.31%	0.662
4	36	71.76%	70.56%	0.661
5	48	82.49%	79.45%	0.587
6	60	84.30%	81.27%	0.578
7	72	85.86%	81.90%	0.539

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.11 se observa los resultados de la Segunda réplica experimental donde se obtuvo el porcentaje máximo de remoción de DBO₅ en un 85,86 % y en donde se apreció una diferencia

significativa a partir de las 48 horas – 72 horas de Tiempo de retención celular, que a comparación de la Primera prueba y réplica no pasaban más del 80 % de remoción de materia orgánica, lo cual se puede explicar que el crecimiento bacteriano en el reactor biológico se detiene en menos tiempo, logrando así un estado de equilibrio y tomando mayor capacidad de remoción a las 72 horas de tiempo de retención celular y respecto a la relación de DBO₅/DQO resultó mayor a 0,4 lo cual indica que presenta materia orgánica muy biodegradable para el tratamiento de aguas residuales por Biodiscos.

Tabla 4.12: % de remoción de DBO₅ y DQO con 8 RPM-Tercera réplica experimental

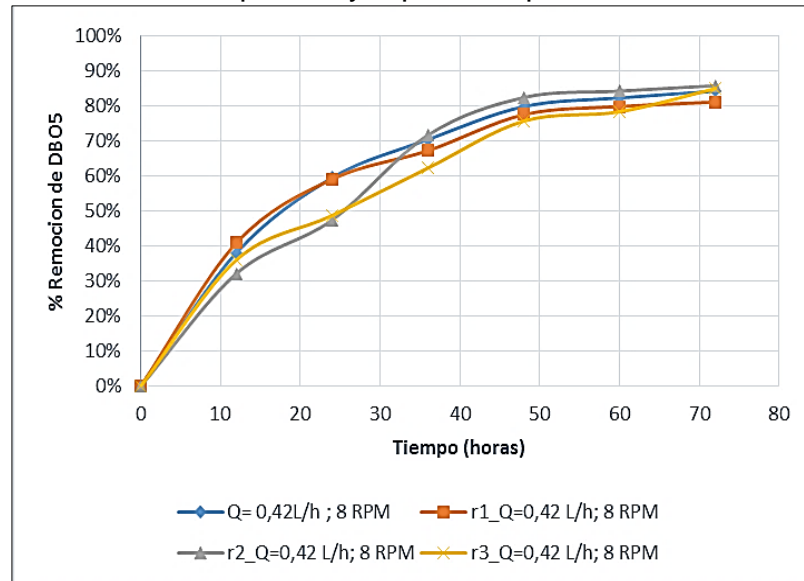
N° de Prueba	TRC	% de remocion DBO5	% de remocion DQO	Relación DBO/DQO
1	0	0.00%	0.00%	0.691
2	12	36.11%	33.64%	0.665
3	24	48.78%	45.02%	0.643
4	36	62.36%	59.04%	0.635
5	48	75.77%	73.41%	0.629
6	60	78.42%	76.12%	0.624
7	72	85.06%	82.08%	0.576

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.12 se observa los resultados obtenidos de la Tercera réplica experimental donde se obtuvo el porcentaje máximo de remoción de DBO₅ en un 85,06 % y un porcentaje máximo de remoción respecto al DQO en un 82,08 %, se apreció una gran diferencia significativa entre las 60 horas y 72 horas de tiempo de retención celular donde se dio un incremento exponencial del crecimiento bacteriano llegando a un equilibrio a las 72 horas todavía para generar mayor capacidad de remoción de materia orgánica y la relación de DBO₅/DQO resultó mayor a 0,4 lo cual indica que presenta materia orgánica muy biodegradable para el tratamiento de

agua residual, donde también es importante mencionar que la reacción de oxidación de la materia orgánica incremento antes de llegar a la etapa estacionaria del crecimiento bacteriano.

Figura 4.9: Comparación de % de remoción de DBO₅ con 8 RPM- Primera prueba y réplicas experimentales

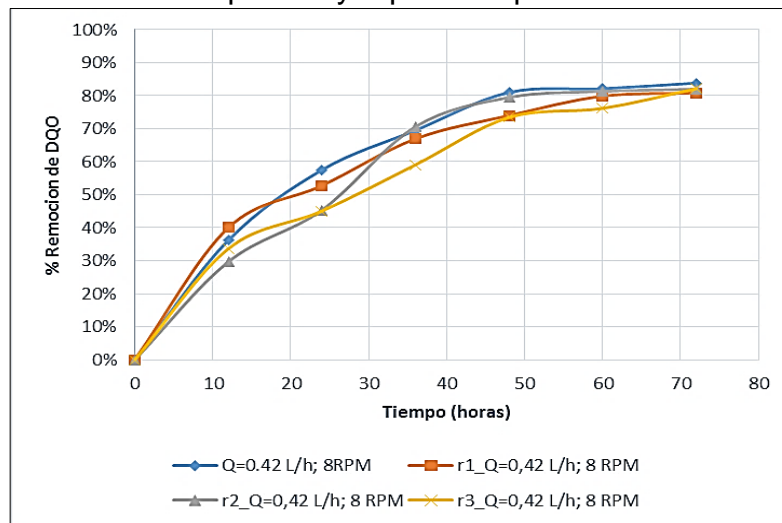


Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.9 se observa la comparación de los % de remoción de DBO₅ con 8 RPM, en la cual se puede apreciar que se alcanzó mayor % de remoción de DBO₅ en la Segunda réplica experimental con un valor de 85,86 % de remoción que también se pudo apreciar en la Primera prueba experimental donde se dio mayor remoción a partir de las 48 horas y 72 horas, la cual se presentó una fase estacionaria del crecimiento bacteriano llegando al límite del consumo de nutrientes de materia orgánica. Es importante mencionar que otro factor importante que influyó mucho es el proceso de oxidación de la materia orgánica debido al área expuesta de los discos al oxígeno de la atmósfera y a la velocidad de giro de los discos, las cuales permiten mayor capacidad de degradación de materia orgánica dando así por entendido del porque el índice de

biodegradabilidad resultó mayor a 0,4 muy biodegradable y así dando cuenta de la gran eficiencia de remoción del sistema de tratamiento por Biodiscos.

Figura 4.10: Comparación de % de remoción de DQO con 8 RPM- Primera prueba y réplicas experimentales



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.10 se observa la comparación de los % de remoción de DQO con 8 RPM, en la cual se pudo apreciar que se alcanzó mayor % de remoción de DQO en la Primera prueba experimental con un valor de 83,78 % de remoción en el proceso de tratamiento al igual que en los resultados de la Segunda réplica experimental, la cual nos indica que a pesar de que la concentración de DQO es más alta en relación a la DBO_5 , la remoción se incrementó a partir de las 48 horas donde se notó mayor concentración de materia orgánica en el reactor y en la biopelícula de los discos. Es importante considerar que la temperatura medida en el reactor durante el proceso de remoción de materia orgánica era de 15 °C y un pH de 6,8 las cuales nos indicaron un factor importante donde las bacterias presentaron un crecimiento adecuado para la degradación de la materia orgánica.

4.2.2 Comparación de % de remoción de DBO₅ Y DQO con 4 RPM

Al igual que realice el proceso de datos para velocidad de giro de los discos biológicos con 8 RPM, también realicé lo mismo para 4 RPM en cuanto se determinó el % de remoción a partir de la concentración del efluente y se relacionaba según la concentración disminuía con respecto a los Tiempos de retención celular. Se tuvo en consideración la relación DBO₅/DQO para diferenciar el índice de biodegradabilidad en cada prueba experimental sin dejar de lado el análisis sobre los factores importantes como son la Temperatura y el pH que influyen en el proceso de crecimiento bacteriano y así en la eficiencia de remoción de materia orgánica, siempre teniendo en cuenta los Límites Máximos Permisibles que son las que nos indican si es adecuado para su disposición y el ECA del agua para cuerpos receptores, por eso a continuación se observa los resultados siguientes:

Tabla 4.13: % de remoción de DBO₅ y DQO con 4 RPM-Primera prueba experimental

N° de Prueba	TRC	% de remocion DBO5	% de remocion DQO	Relación DBO/DQO
1	0	0.00%	0.00%	0.667
2	12	38.02%	35.88%	0.645
3	24	57.31%	54.27%	0.623
4	36	72.28%	67.92%	0.577
5	48	72.23%	70.56%	0.630
6	60	78.90%	74.09%	0.544
7	72	80.31%	75.01%	0.526

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.13 se observa los resultados obtenidos del porcentaje de remoción de DBO₅ y DQO con 4 RPM de la Primera prueba experimental donde se obtuvo el porcentaje máximo de remoción de DBO₅ en un 80,31 % y un porcentaje máximo de remoción respecto

al DQO en un 75,01 %, en la cual se puede diferenciar que no hay significancia importante en la remoción ya que tanto para DBO₅ Y DQO se presenta la fase estacionaria del crecimiento bacteriano recién a las 72 horas limitado al consumo de nutrientes , que a comparación de las Pruebas experimentales con 8 RPM se observó una diferencia respecto a la eficiencia de remoción de materia orgánica, dando cuenta así que se requiere mayor velocidad de giro de los discos para la remoción pero con respecto al tiempo de retención celular que en mi trabajo de investigación trabajé hasta las 72 horas. El índice de biodegradabilidad es mayor a 0,4 – muy biodegradable, expresándose así la relación del DBO₅/DQO para un buen tratamiento de agua residual.

Tabla 4.14: % de remoción de DBO₅ y DQO con 4 RPM-Primera réplica experimental

N° de Prueba	TRC	% de remocion DBO5	% de remocion DQO	Relación DBO/DQO
1	0	0.00%	0.00%	0.683
2	12	35.80%	36.24%	0.688
3	24	56.34%	54.51%	0.656
4	36	69.00%	66.47%	0.632
5	48	73.64%	70.93%	0.620
6	60	77.10%	74.37%	0.611
7	72	78.36%	75.19%	0.596

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.14 se observa los resultados obtenidos del porcentaje de remoción de DBO₅ y DQO con 4 RPM de la Primera réplica experimental donde se obtuvo el porcentaje máximo de remoción de DBO₅ en un 78,36 % y un porcentaje máximo de remoción respecto al DQO en un 75,19 %, la cual se diferencia respecto a la Primera réplica experimental con 8 RPM donde se logró mayor porcentaje de

remoción, esto debido a la velocidad de giro y a la capacidad de oxidación de la materia orgánica por los microorganismos adheridos a la biopelícula de los discos, el crecimiento bacteriano no representa diferencia significativa en relación a los Tiempos de retención celular alcanzando la fase estacionaria a partir de las 60 horas y así la mayor eficiencia en esta prueba. La relación de biodegradabilidad DBO_5/DQO resultó mayor a 0,4 – muy biodegradable, la cual también permitió obtener buenos resultados con 4 RPM.

Tabla 4.15: % de remoción de DBO_5 y DQO con 4 RPM-Segunda réplica experimental

N° de Prueba	TRC	% de remocion DBO_5	% de remocion DQO	Relación DBO/DQO
1	0	0.00%	0.00%	0.683
2	12	35.50%	34.82%	0.676
3	24	46.47%	45.81%	0.675
4	36	65.81%	64.88%	0.665
5	48	73.66%	72.07%	0.645
6	60	75.69%	72.76%	0.610
7	72	78.60%	74.57%	0.575

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.15 se observa los resultados obtenidos del porcentaje de remoción de DBO_5 y DQO con 4 RPM de la Segunda réplica experimental donde se obtuvo el porcentaje máximo de remoción de DBO_5 en un 78,60 % y un porcentaje máximo de remoción respecto al DQO en un 74,57 %, presentando así características parecidas a la Primer réplica experimental, donde el proceso de oxidación es menor con referencia a las Pruebas experimentales con 8 RPM por consecuentes menor capacidad de remoción y limitado consumo de nutrientes para dicho proceso. La relación de biodegradabilidad DBO_5/DQO resultó mayor a 0,4 – muy biodegradable.

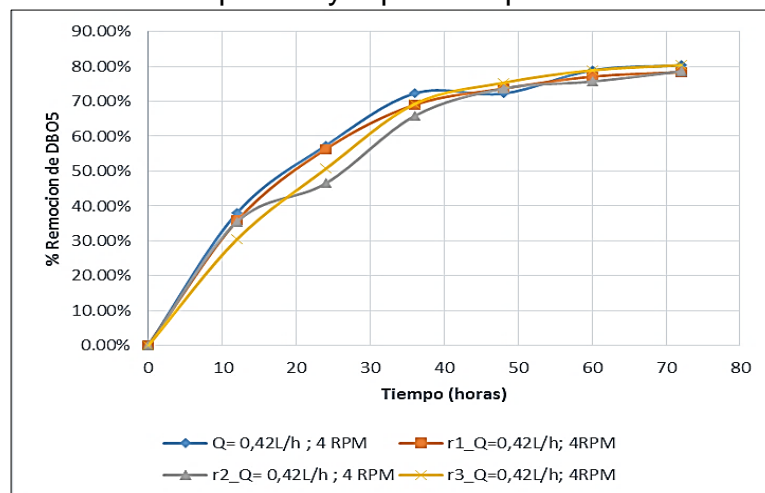
Tabla 4.16: % de remoción de DBO₅ y DQO con 4 RPM-Tercera réplica experimental

N° de Prueba	TRC	% de remocion DBO5	% de remocion DQO	Relación DBO/DQO
1	0	0.00%	0.00%	0.671
2	12	30.45%	29.49%	0.662
3	24	50.65%	49.14%	0.651
4	36	69.25%	64.70%	0.585
5	48	75.33%	70.71%	0.565
6	60	78.89%	74.22%	0.550
7	72	80.39%	75.02%	0.527

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.16 se observa los resultados obtenidos del porcentaje de remoción de DBO₅ y DQO con 4 RPM de la Tercera réplica experimental donde se obtuvo el porcentaje máximo de remoción de DBO₅ en un 80,39 % y un porcentaje máximo de remoción respecto al DQO en un 75,02 % dando así resultados parecidos a la Primera prueba experimental dando en el Tiempo de retención celular de 72 horas llegó así a la fase estacionaria o de equilibrio generando mayor % de remoción. . La relación de biodegradabilidad DBO₅/DQO resultó mayor a 0,4 – muy biodegradable.

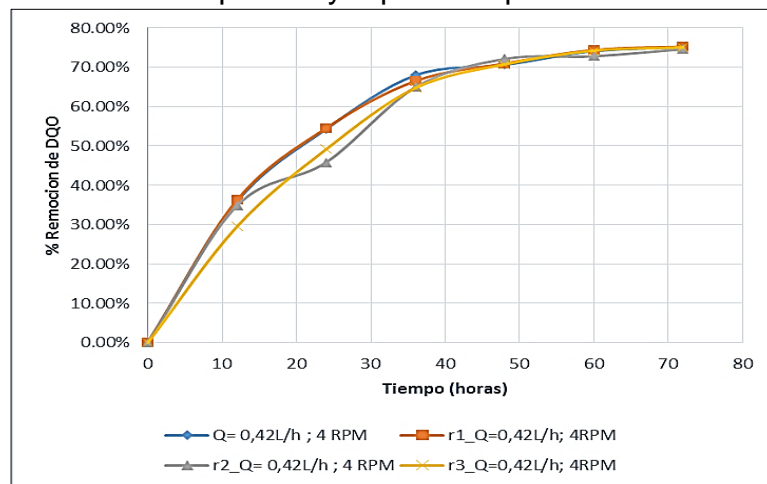
Figura 4.11: Comparación de % de remoción de DBO₅ con 4 RPM-Primera prueba y réplicas experimentales



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.11 se observa la comparación de los % de remoción de DBO₅ con 4 RPM, en la cual se puede apreciar que se alcanzó mayor % de remoción de DBO₅ en la Tercera réplica experimental con un valor de 80,39 % de remoción que también se pudo apreciar en la Primera prueba experimental donde se dio mayor remoción a partir de las 48 horas y 72 horas, la cual se presentó una fase estacionaria del crecimiento bacteriano llegando al límite del consumo de nutrientes de materia orgánica. Es importante mencionar que otro factor importante que influyó mucho es el proceso de oxidación de la materia orgánica debido al área expuesta de los discos al oxígeno de la atmósfera y a la velocidad de giro de los discos, las cuales permiten mayor capacidad de degradación de materia orgánica dando así por entendido del porque el índice de biodegradabilidad resultó mayor a 0,4 muy biodegradable y así dando cuenta de la gran eficiencia de remoción del sistema de tratamiento por Biodiscos.

Figura 4.12: Comparación de % de remoción de DQO con 4 RPM- Primera prueba y réplicas experimentales



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.12 se observa la comparación de los % de remoción de DQO con 4 RPM, en la cual se pudo apreciar que se alcanzó

mayor % de remoción de DQO en la Primera prueba y Tercera réplica experimental con un valor de 75,02 % de remoción en el proceso de tratamiento, la cual nos indica que a pesar de que la concentración de DQO es más alta en relación a la DBO₅, la remoción se incrementó a partir de las 60 horas donde se notó mayor concentración de materia orgánica en el reactor y en la biopelícula de los discos. Es importante considerar que la temperatura medida en el reactor durante el proceso de remoción de materia orgánica era de 16 °C y un pH de 6,8 las cuales nos indicaron un factor importante donde las bacterias presentaron un crecimiento adecuado para la degradación de la materia orgánica.

4.2.3 Determinación de los coeficientes cinéticos K y p

Se determinó los valores de K y p respecto a las velocidades de giro de los discos tanto para 8 RPM y 4 RPM, para lo cual se tuvo en consideración el caudal constante que fue de 0.42 L/h y el valor obtenido de R (Tasa de remoción de DBO por unidad de área de disco, m².d/g) haciendo uso de la **Ecuación (45)**:

$$R = \frac{Q(S_o - S_e)}{A}$$

Donde:

R: Tasa de remoción de DBO por unidad de área de disco, g/m².d

Q: Caudal de aguas residuales, m³/d

A: Área del disco, m²

S_o: DBO - DQO del afluente, g/m³

S_e: DBO - DQO del efluente, g/m³

Se tomó los datos de los afluentes (S_o) y efluentes (S_e) de DQO de la primera prueba y réplicas experimentales tanto para el tratamiento con 8 RPM y 4 RPM, así se obtuvo las siguientes tablas:

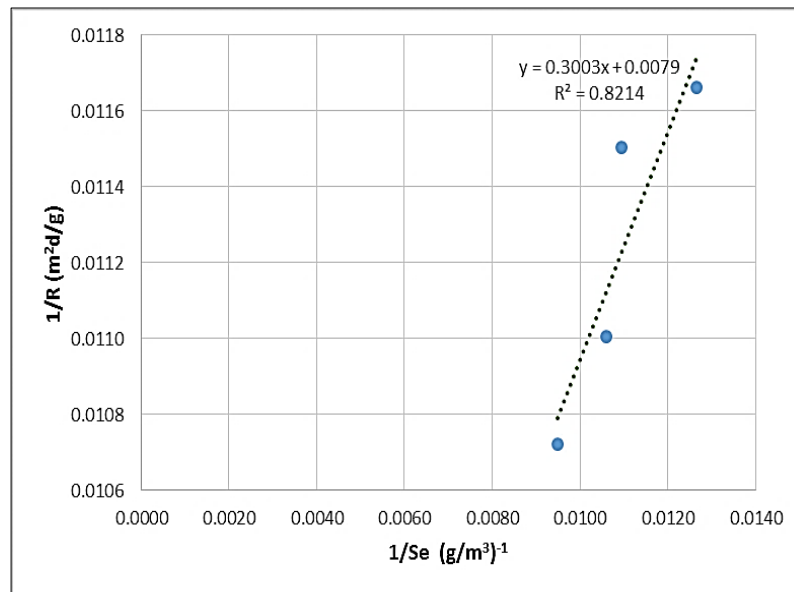
Tabla 4.17: Datos para el cálculo de K y p con 8 RPM

So(mg/L)	Se(mg/L)	Q(L/h)	1/Se(g/m ³)-1	1/R(m ² d/g)
486.53	78.90	0.42	0.0127	0.0117
548.7	105.30	0.42	0.0095	0.0107
504.54	91.30	0.42	0.0110	0.0115
526.32	94.30	0.42	0.0106	0.0110

Fuente: Elaboración propia

Se comparó gráficamente el inverso de la carga orgánica eliminada (1/R) y el inverso de la concentración de la materia orgánica (1/Se) en el efluente y así poder obtener los valores de los coeficientes cinéticos mediante la ecuación lineal para un análisis práctico.

Figura 4.13: Gráfico para la obtención de los valores de K y p con 8 RPM



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.13 se observa los valores de la ecuación lineal con 8 RPM, tales como se presenta en las siguientes expresiones, las cuales nos ayudaran a determinar los valores de K y p. Los valores numéricos de p y K se obtienen gráficamente a partir de la **Ecuación (47)**:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{p} + \frac{K}{p} \left(\frac{1}{Se} \right)$$

Luego se obtuvo los siguientes valores:

$$\frac{1}{p} = 0.0079 \quad \rightarrow \quad p = 126,58 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$$

$$\frac{K}{p} = 0.3003 \quad \rightarrow \quad K = 38,012 \text{ mg/L}$$

Donde “p” que es igual a 126 g/m².d, la cual indica la Tasa específica máxima de remoción de DQO que se da en el sistema de Biodiscos en relación de la concentración de la DQO que se presenta en el reactor biológico durante la remoción de materia orgánica durante los tiempos de retención celular ya especificados, cuya concentración de DQO es expresada por el coeficiente cinético “k” cuyo valor fue de 38,012 mg/L, la cual nos da a entender que a 8 RPM se logra gran eficiencia de remoción de materia orgánica .

También se determinó el área húmeda requerida para alcanzar la reducción deseada de la DQO desde S_o a S_e a continuación:

$$A = \frac{Q_o(S_o - S_e)}{P \left(\frac{S_e}{K_S + S_e} \right)} \quad A = \frac{0.42(486,53 - 78,90)}{126,58 \left(\frac{78,90}{38,012 + 78,90} \right)}$$

$$A = 2,004 \text{ m}^2$$

Respecto al área húmeda para la reducción de DQO es mínimo para que se pueda realizar una eficiente degradación, ya que la velocidad de giro de los discos ayudan al proceso de oxidación de la materia y que los microorganismos puedan consumir los nutrientes para su crecimiento y así lograr mejor % de remoción.

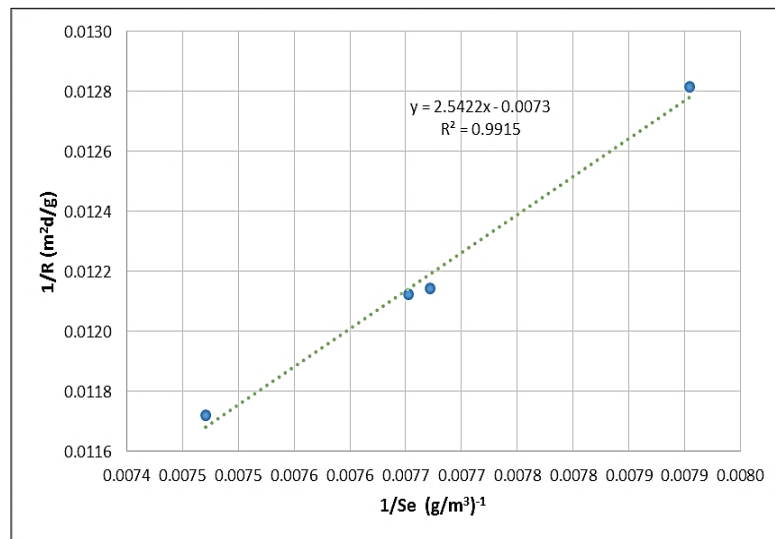
Tabla 4.18: Datos para el cálculo de K y p con 4 RPM

So(mg/L)	Se(mg/L)	Q(L/h)	1/Se(g/m3)-1	1/R(m2d/g)
522.81	130.67	0.42	0.0077	0.0121
539.48	133.85	0.42	0.0075	0.0117
497.42	126.50	0.42	0.0079	0.0128
521.8	130.34	0.42	0.0077	0.0121

Fuente: Elaboración propia

Al igual que se realizó el tratamiento de datos para 8 RPM, también se consideró el mismo procedimiento para 4 RPM. Se comparó gráficamente el inverso de la carga orgánica eliminada ($1/R$) y el inverso de la concentración de la materia orgánica ($1/Se$) en el efluente y así poder obtener los valores de los coeficientes cinéticos mediante la ecuación lineal para un análisis práctico.

Figura 4.14: Gráfico para la obtención de los valores de K y p con 4 RPM



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.14 se observa los valores de la ecuación lineal tales como se presenta en las siguientes expresiones, las cuales nos ayudaran a determinar los valores de K y p. Los valores numéricos de p y K se obtienen gráficamente a partir de la Ecuación (47):

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{p} + \frac{K}{p} \left(\frac{1}{Se} \right)$$

Luego se obtuvo los siguientes valores:

$$\frac{1}{p} = 0,0073 \quad \rightarrow \quad \mathbf{p = 136,98 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}}$$

$$\frac{K}{p} = 2,5422 \quad \rightarrow \quad \mathbf{K = 348,25 \text{ mg/L}}$$

Donde “**p**” que es igual a 136 g/m².d, la cual indica la Tasa específica máxima de remoción de DQO que se da en el sistema de Biodiscos en relación de la concentración de la DQO que se presenta en el reactor biológico durante la remoción de materia orgánica durante los tiempos de retención celular ya especificados, cuya concentración de DQO es expresada por el coeficiente cinético “**k**” cuyo valor fue de 348,25 mg/L, la cual nos da a entender que a 4 RPM se logra una buena Tasa específica de remoción pero que esto lo realiza considerando una alta concentración de DQO en el reactor, la cual es todavía un déficit debido a la poca capacidad de oxigenación del sistema que es por la poca velocidad de giro de los discos que estuvo a 4 RPM, lo cual no indica que no se logre disminuir la concentración de acuerdo a los requerimientos, sino que presenta menor % de remoción de carga orgánica y que esto también se debe a que los microorganismos se desarrollan más tiempo en fase estacionaria y de equilibrio a mayor velocidad de giro de los discos.

También se determinó el área húmeda requerida para alcanzar la reducción deseada de la DQO desde S_o a S_e a continuación:

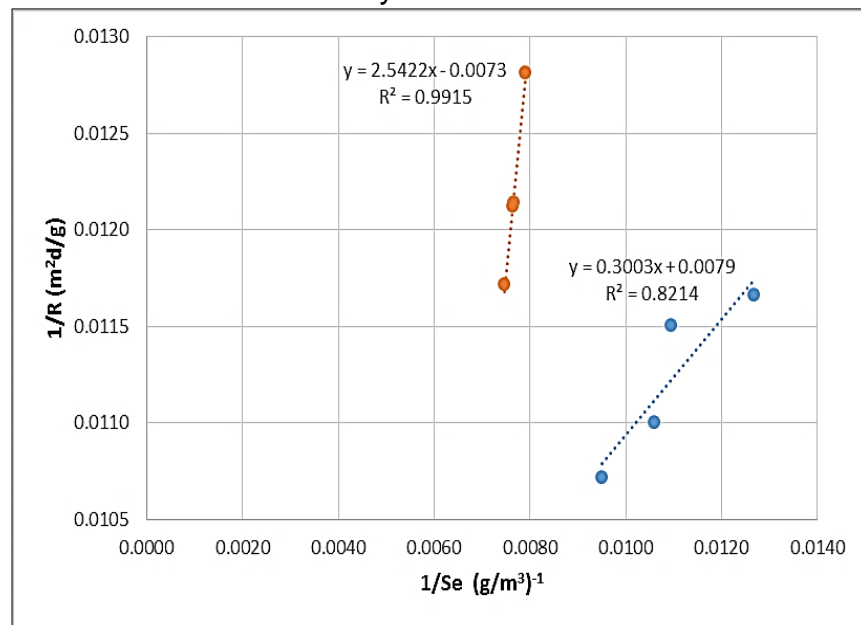
$$A = \frac{Q_o(S_o - S_e)}{P \left(\frac{S_e}{K_s + S_e} \right)} \quad A = \frac{0.42(522,81 - 130,67)}{136,98 \left(\frac{130,67}{348,25 + 130,67} \right)}$$

$$A = 4,430 \text{ m}^2$$

Respecto al área húmeda para la reducción de DQO es mayor a comparación de 8 RPM de velocidad de giro de los discos para que se pueda realizar una eficiente degradación, ya que la velocidad de giro de los discos ayudan al proceso de oxidación de la materia y que los microorganismos puedan consumir los nutrientes para su crecimiento y así lograr mejor % de remoción.

También se realizó una comparación general de los valores de los coeficientes cinéticos “K” y “p” en un Sistema de Biodiscos tanto para velocidades de giro de los discos a 4 rpm y 8 rpm, la cual se graficó y se comparó a continuación:

Figura 4.15: Comparación de valores de K y p con respecto a 8RPM y 4 RPM



Fuente: Elaboración propia

Luego que se determinó los valores de los coeficientes cinéticos “K” y “p”, también el área húmeda requerida para alcanzar la reducción deseada de la DQO tanto para 4 RPM y 8RPM se realizó la comparación de los valores obtenidos en la cual se puede apreciar que el valor de concentración de DQO con 8 RPM es menor en relación al valor obtenido con 4 RPM; estos se ven reflejados en la tasa de remoción de DQO que presentan valores cercanos, donde el valor obtenido para 8 RPM es de 126,58 g/m².d y el valor para 4 RPM es de 136,98 g/m².d.

Es importante mencionar que la variación de velocidad de giro de los discos influyó mucho para poder ver la eficiencia de remoción de materia orgánica, ya que es preciso explicar que mediante los coeficientes cinéticos podemos diferenciar el comportamiento del sistema de biodiscos a altas y bajas concentraciones de materia orgánica y como es la cinética de la formación de la biopelícula ,ya que este no presenta una capa activa total , sino que parte de ella ayuda a realizar la remoción eficiente gracias a la oxidación de la materia orgánica por los microorganismos.

4.3 Contrastación de hipótesis

4.3.1 Análisis de anova

a) Análisis para la DQO con 4RPM y 8 RPM

One-way ANOVA: % de Remocion MO (DQO) versus RPM

Method

Null hypothesis All means are equal
 Alternative hypothesis At least one mean is different
 Significance level $\alpha = 0,05$
 Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
RPM	2	4; 8

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
RPM	1	103,105	103,105	130,50	0,000
Error	6	4,740	0,790		
Total	7	107,845			

Interpretación: Se realizó el análisis estadístico con el software Minitab 17, se utilizó el ANOVA de TUKEY, ingresando los datos del % de remoción de DQO como respuesta de la variación de las

revoluciones por minutos de los discos del reactor en la operación de los experimentos, resultando el valor P-value = 0,000 siendo menor al valor de significancia del 0,05; según este resultado podemos rechazar la hipótesis que la variación de las revoluciones por minutos de los discos no influyen significativamente en la remoción de DQO de las aguas residuales de la Universidad Alas Peruanas en relación no existe diferencia significativa en los coeficientes cinéticos, por lo tanto se aceptara la hipótesis alterna que si existe diferencia significativa en los coeficientes cinéticos en función de las revoluciones por minuto de los discos.

Model Summary

S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
0,888852	95, 60%	94, 87%	92, 19%

Means

RPM	N	Mean	StDev	95% CI
4	4	74,947	0,265	(73,860; 76,035)
8	4	82,127	1,229	(81,040; 83,215)
Pooled StDev = 0,888852				

Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

RPM	N	Mean	Grouping
8	4	82,127	A
4	4	74,947	B

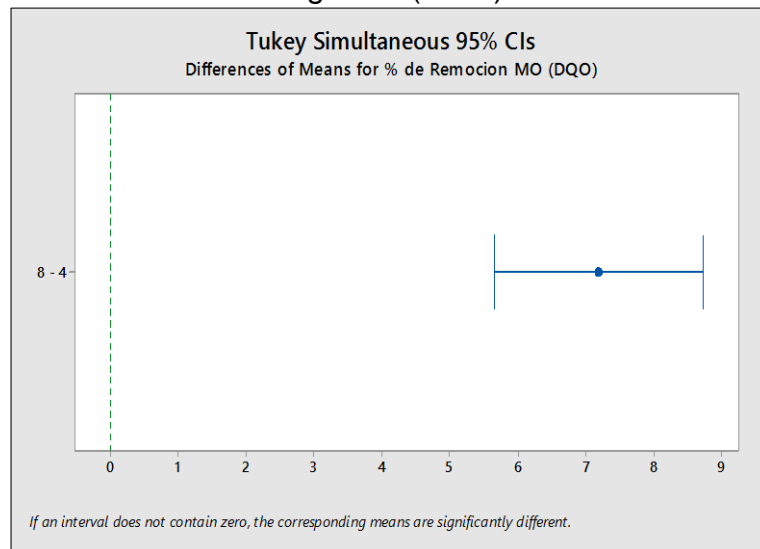
Means that do not share a letter are significantly different.

Interpretación: Se realizó la comparación de Tukey con el software Minitab 17 con los análisis obtenidos de DQO y se observó según las medias calculadas que existen dos grupos A, B esto nos indica que si

existe diferencia significativa para las revoluciones por minuto de los discos y que influyen en los coeficientes cinéticos.

Tukey Simultaneous 95% CIs

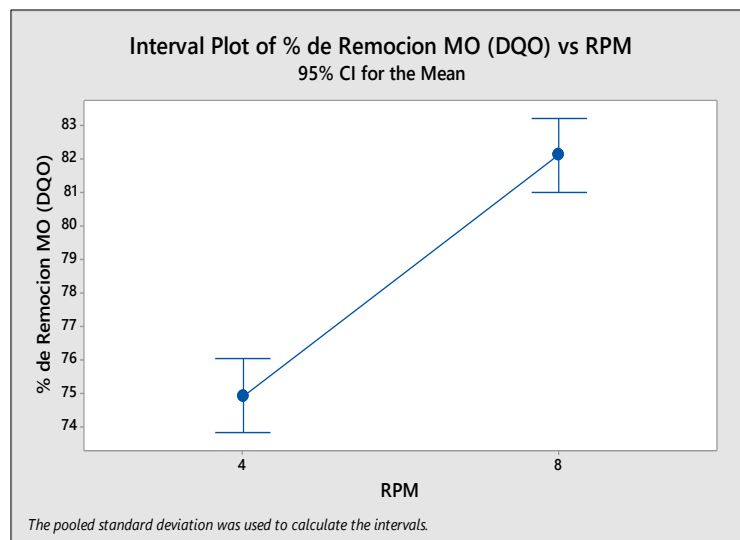
Figura 4.16: Diferencias de Medias por % de remoción de materia orgánica (DQO)



Fuente: Elaboración propia

Interval Plot of % de Remocion MO (DQO) vs RPM

Figura 4.17: Intervalo del % de remoción de materia orgánica (DQO) VS RPM



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.17 se observa que la diferencia de las medias es significativa y los intervalos de confianza se encuentran distantes, la DQO está relacionada a los coeficientes cinéticos por lo tanto se puede afirmar que existe diferencias entre los coeficientes calculados.

b) Análisis para la DBO₅ con 4RPM y 8 RPM

One-way ANOVA: % de Remoción MO (DBO₅) versus RPM

Method
 Null hypothesis All means are equal
 Alternative hypothesis At least one mean is different
 Significance level $\alpha = 0,05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information
 Factor Levels Values
 RPM 2 4; 8

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
RPM	1	43,95	43,945	16,29	0,007
Error	6	16,18	2,697		
Total	7	60,13			

Interpretación: Se realizó el análisis estadístico con el software Minitab 17, se utilizó el ANOVA de TUKEY, ingresando los datos del % de remoción de DBO₅ como respuesta de la variación de las revoluciones por minutos de los discos del reactor en la operación de los experimentos, resultando el valor P-value = 0,007 siendo menor al valor de significancia del 0,05; según este resultado podemos rechazar la hipótesis que la variación de las revoluciones por minutos de los discos no influyen significativamente en la remoción de DBO₅ de las aguas residuales de la Universidad Alas Peruanas en relación no existe diferencia significativa en los coeficientes cinéticos, por lo tanto se aceptara la hipótesis alterna que si existe diferencia significativa en los coeficientes cinéticos en función de las revoluciones por minuto de los discos.

Model Summary

S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
1,64222	73,09%	68,60%	52,16%

Means

RPM	N	Mean	StDev	95% CI
4	4	79,415	1,085	(77,406; 81,424)
8	4	84,10	2,05	(82,09; 86,11)

Pooled StDev = 1,64222

Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

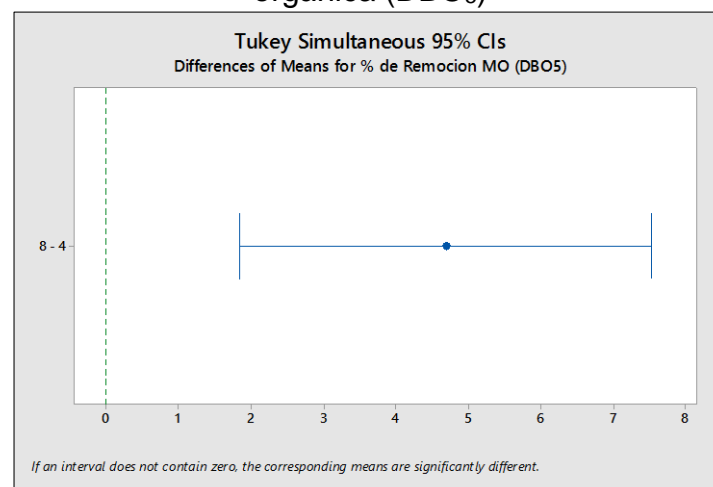
RPM	N	Mean	Grouping
8	4	84,10	A
4	4	79,415	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Interpretación: Se realizó la comparación de Tukey con el software Minitab 17 con los análisis obtenidos de DBO₅ y se observó según las medias calculadas que existen dos grupos A, B esto nos indica que si existe diferencia significativa para las revoluciones por minuto de los discos y que influyen en los coeficientes cinéticos.

Tukey Simultaneous 95% CIs

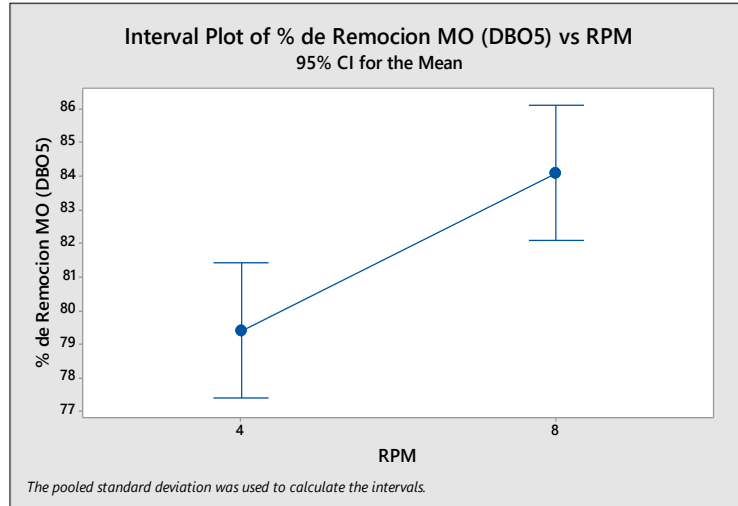
Figura 4.18: Diferencia de Medias por % de remoción de materia orgánica (DBO₅)



Fuente: Elaboración propia

Interval Plot of % de Remocion MO (DBO₅) vs RPM

Figura 4.19: Intervalo del % de remoción de materia orgánica (DBO₅) VS RPM



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.19 se observa que la diferencia de las medias es significativa y los intervalos de confianza se encuentran distantes, la DBO₅ está relacionada a los coeficientes cinéticos por lo tanto se puede afirmar que existe diferencias entre los coeficientes calculados.

CONCLUSIONES

- Se determinó los coeficientes cinéticos de degradación de la materia orgánica; teniendo como referencia la velocidad de giro de los discos que en el caso de 8 RPM nos dio el valor del coeficiente “K” en 38,012 mg/L y el valor del coeficiente “p” en 126,58 g/m².d en el caso de 4 RPM nos dio el valor del coeficiente “K” en 348,25 mg/L y el valor del coeficiente “p” en 136,98 g/m².d.
- Los resultados de las concentraciones finales de DBO₅ Y DQO después del tratamiento por el Sistema de Biodiscos se encuentran acorde a los Límites máximos Permisibles para Efluentes de PTARs.
- La influencia de la variación de velocidades en la determinación de los coeficientes cinéticos presenta una diferencia significativa ya que a mayor velocidad de giro de los discos que en este caso fue de 8 RPM se presentó mayor % de remoción de materia orgánica y respecto al cálculo de los coeficientes cinéticos se ve también una influencia significativa para el cálculo de los valores correspondientes, esto se observó en el resultado del coeficiente “K” para 4 RPM, que resultó un valor muy alto de 348,25 mg/L.
- Se pudo observar que a velocidad de 8 RPM se logró remover mayor cantidad de carga orgánica respecto a DQO el valor máximo de 83,78 % en la primera prueba experimental y respecto al DBO₅ el valor de 85,86 % de la segunda prueba experimental.
- Mediante el Modelo cinético utilizado que representa la operación de un Sistema de Biodiscos construido en laboratorio a escala piloto, es posible predecir bajo qué condiciones de caudal, carga orgánica de entrada y número de discos podrá operar un sistema de las características similares estudiadas en este trabajo de investigación y así poder realizar extrapolaciones a equipos operados en mayor escala.

RECOMENDACIONES

- Esta metodología de Tratamiento de aguas residuales por el Sistema de Biodiscos es recomendado para tratar efluentes con bajas concentraciones de materia orgánica que es eficiente evaluarlo mediante el modelo de Kornegay donde se obtendrán los valores de los coeficientes cinéticos “k” y “p” que ayudaran a evaluar el comportamiento del sistema a diferentes condiciones de caudal y carga orgánica.
- Se recomienda verificar y tener cuidado en la etapa de alimentación y giro de los discos, la cual debe ser continua las 24 horas ya que al trabajar con microorganismos, estas al presentar una falta de alimentación a un caudal continuo o fallas en el giro de los discos pueden minorar su crecimiento y así también disminuir la eficiencia del sistema de tratamiento de agua residual.
- Se recomienda utilizar como material de superficie rugosa en los discos en ambos lados, a fin de que entre las porosidades del material se vayan depositando capas subyacentes de microorganismos degradadores de materia orgánica.
- Se recomienda mejorar el diseño de la sedimentación primaria para que disminuya la aglomeración de sólidos suspendidos y se pueda obtener mejores resultados de degradación de materia orgánica en el reactor secundario.
- Se recomienda realizar trabajos de investigación referente al uso de energía limpia como es el caso de paneles solares y así reemplazar la energía eléctrica para el funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ambiente, M. d. (2010). Aprobación de Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. El Peruano, 2.
2. APHA, & AWWA. (1998). Métodos analizados para el análisis de aguas potables y residuales. Madrid: Diaz Santos.
3. Avila, O., & Ramirez, W. (1989). Diseño, Construcción, Montaje y puesta en marcha de un sistema de discos biológicos rotatorios a escala laboratorio. ACODAL ,142, 35 - 50.
4. Behling, E., Marín , J. C., Gutierrez, E., & Fernandez, N. (2006). Tratamiento Aeróbico de dos efluentes Industriales utilizando reactores Biológicos Rotativos de Contacto. Multiciencias, 17.
5. Brock et at. (1994). "Microbial Ecology". Atlas & Bartha.
6. Castillo, E. V. (2007). "Landfill leachate treatment using a rotating biological contactor and an upward - flow anaerobic sludge bed reactor". Waste management (20), 7pp.
7. Castillo, F. &. (1996). " Tratamiento de Aguas Residuales de una Empresa Papelera,con Sistema de Biodiscos". ACOTEPAC, 6pp.
8. Castillo,F y Vivas,F. (1996). Tratamiento de Aguas. ACOTEPAC, 29, 17-23.
9. Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). Sistema de manejo de Aguas Residuales para Núcleos pequeños y descentralizados. McGraw, 701.
10. Cubillos, A. (1981). Parámetros y características de Aguas Residuales. Lima.
11. HINOSTROZA SÁNCHEZ, J. L., & MOSCOSO BARBOZA, E. (s.f.). Construcción de un Sistema de Biodiscos para el Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas de los Efluentes "Las Virgenes" - Huancayo a nivel Laboratorio. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Química.
12. Lozada, P. T., Vasquez Sarria, N., Perez Vidal, A., Madera Parra, C. A., & Rodriguez Victoria, J. A. (2011). Alternativas de Tratamiento Biológico Aerobio

- para el agua residual domestica del municipio de Cali,Colombia. AFINIDAD - Revista de Quimica Teórica y Aplicada, 8.
13. Metcalf, & Eddy. (1996). Ingenieria de Aguas Residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. McGraww Hill, 1485.
 14. Navarro, A. F., Albertario, M. E., & Palladino, L. A. (25 de Octubre de 2004). Influencia del área de discos y volúmen de pileta en la operación de un Sistema de Biodiscos. La Plata, Argentina.
 15. Navarro, A. F., Palladino, L. A., & Moreno, D. (14 de Mayo de 2004). Ingeniero Ambiental - AIDIS. Obtenido de www.ingenieroambiental.com
 16. PÉREZ ARISTIZÁBAL, J. D. (2010). Aplicación y Evaluación de un Reactor de Contactores Biológicos Rotativos (RBC o Biodiscos) a escala laboratorio como tratamiento de los Lixiviados generados en el Relleno Sanitario de la Pradera. Medellín : Universidad de Medellín, Facultad de Ingeniería.
 17. R. S. Ramalho. (1993). Tratamiento de Aguas Residuales. Barcelona, España: Reverte S.A.
 18. RAMALHO, R. S. (1993). Tratamiento de Aguas Residuales. Barcelona: Barcelona, Ed. Reverte.
 19. Rojas, J. A. (2008). Tratamiento de Aguas Residuales. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
 20. Romero, J. M., Welter, A. B., Grumelli, Y. A., Sanchez, J. A., & Ascar, G. I. (2004). La Biopelícula en los Procesos RBC. Córdoba: Universidad Católica de Córdoba, Campus Universitario, Facultad de Ingeniería.
 21. Supervisión, E. d., & Equipo de la Oficina de Comunicaciones y Atención . (2 de Abril de 2014). Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. Obtenido de Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental: www.oefa.gob.pe
 22. Yaxcelys A. Caldera M., P. I. (s.f.). Efecto Del Tiempo De Retención Hidráulica En El Funcionamiento De Un Reactor Uasb Tratando Efluentes Cárnicos. Venezuela: Universidad del Zulia.

ANEXOS

ANEXO N° 1: RESULTADOS DE LA IDENTIFICACIÓN BIOQUÍMICA Y TINTORIAL DE MICROBIOS AISLADOS ANEXO N° 1.1: ESPECIES IDENTIFICADAS EN LA PRUEBA BIOQUÍMICA DEL LODO ACTIVO

N°	PRUEBAS BIOQUÍMICAS									TINCIÓN GRAM	ESPECIE IDENTIFICADA
	GLU	SAC	LAC	CO ₂	H ₂ S	LIS. DES.	INDOL	MOV.	CIT		
1	+	+	+	-	-	-	-	+	+	Cocos gram positivos	<i>Streptococcus faecalis</i>
2	+	+	+	-	-	-	-	+	-	Bacilos gram negativos	<i>Enterobacter cloacae</i>
3	+	+	+	-	+	-	-	+	+	Bacilos gram negativos	<i>Citrobacter freundii</i>
4	+	-	-	-	-	-	-	+	+	Bacilos gram negativos	<i>Klebsiella oxytoca</i>
5	+	+	+	-	-	-	-	+	-	Bacilos gram positivos	<i>Lactobacillus fermentum</i>
6	+	-	-	-	+	+	-	+	-	Bacilos gram negativos	<i>Salmonella typhi</i>
7	+	+	-	-	+	-	-	+	+	Bacilos gram negativos	<i>Proteus mirabilis</i>
8	+	+	+	-	-	+	-	+	-	Bacilos gram negativos	<i>Escherichia coli</i>

ANEXO N° 1.2: DESCRIPCIÓN DE LAS BACTERIAS IDENTIFICADAS EN EL LODO ACTIVO - PARÁMETROS

BIOQUÍMICAS	ABREVIATURA
Glucosa	GLU
Sacarosa	SAC
Lactosa	LAC
Lisina descarboxilasa	LIS.DES
Indol	INDOL
Movilidad	MOV
Citrato	CIT

ANEXO N° 1.3: FOTOGRAFÍAS DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Extracción de la muestra de agua residual del colector central de la UAP



Fuente: Elaboración propia

Recojo de la muestra del lodo y acondicionamiento en el sistema de biodiscos



Fuente: Elaboración propia

Filtrado del agua residual y llenado al tanque de alimentación



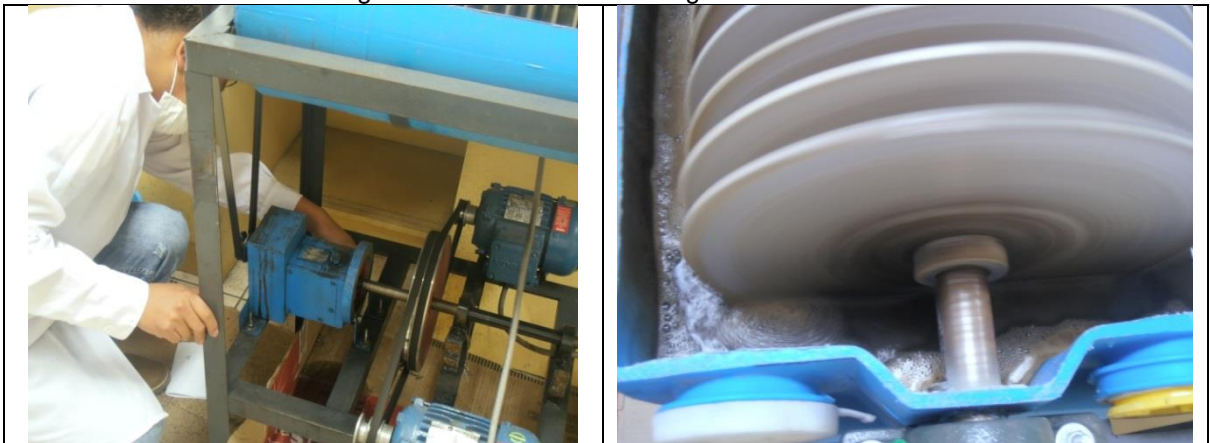
Fuente: Elaboración propia

Determinación de caudal del afluente y programación del temporizador del sistema



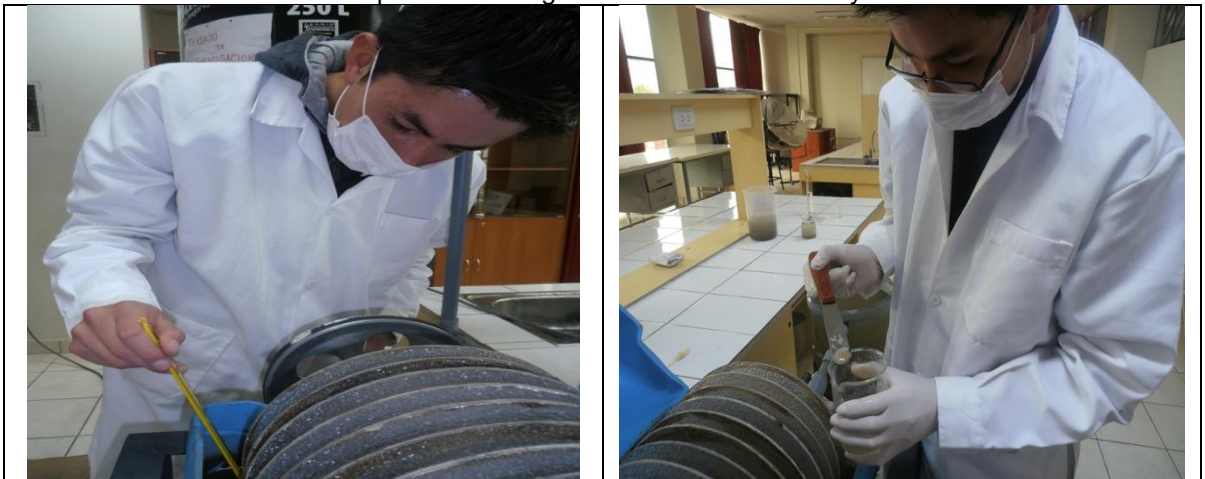
Fuente: Elaboración propia

Regulación de la velocidad de giro de los discos



Fuente: Elaboración propia

Medición de la temperatura del agua residual en el reactor y muestra de lodo



Fuente: Elaboración propia

Acondicionamiento y sedimentación del lodo tratado en dos semanas



Fuente: Elaboración propia

Acondicionamiento y sedimentación del lodo tratado en cuatro semanas







Fuente: Elaboración propia

Toma de muestra en el efluente y rotulación para cada proceso.



Fuente: Elaboración propia

Muestras representativas del tratamiento por biodiscos

<p>Muestra representativa de la Primera Prueba con 4 RPM</p>	<p>Muestra representativa de las réplicas experimentales con 4 RPM</p>
	
<p>Muestra representativa de la Primera Prueba con 8 RPM</p>	<p>Muestra representativa de las réplicas experimentales con 8 RPM</p>
	

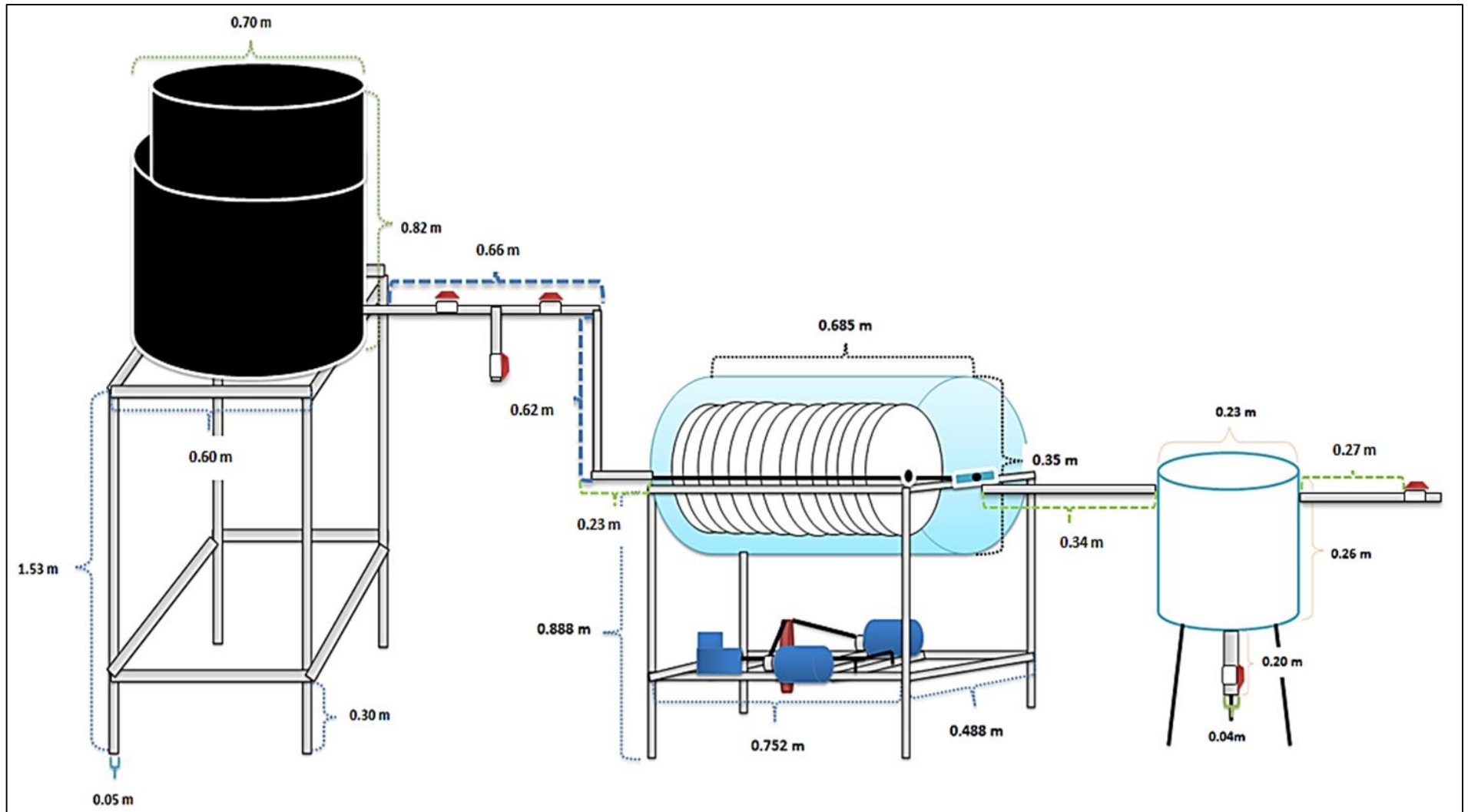
Fuente: Elaboración propia

Fotografía del Sistema de Biodiscos



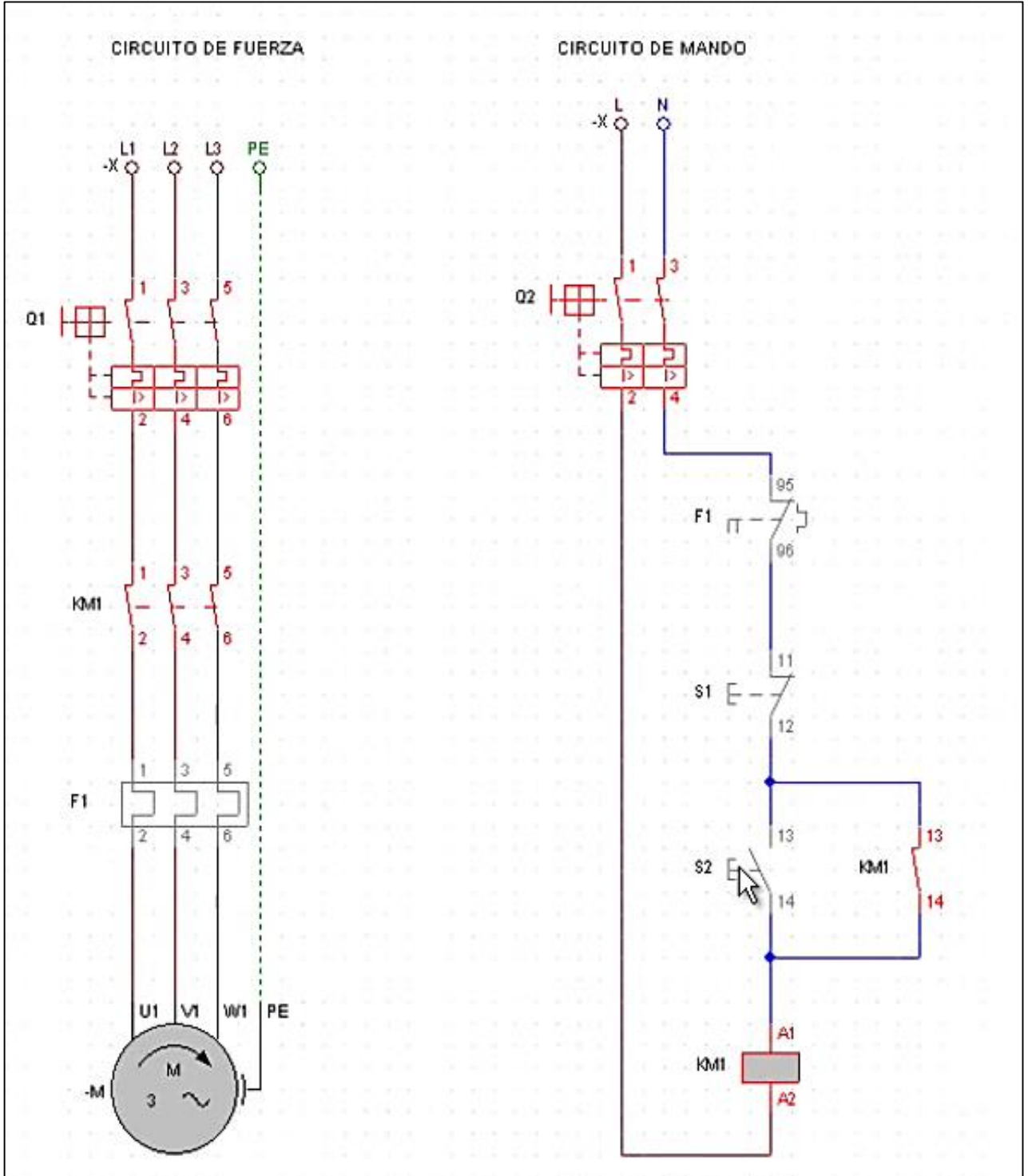
Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 1.4: ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA DE BIODISCOS



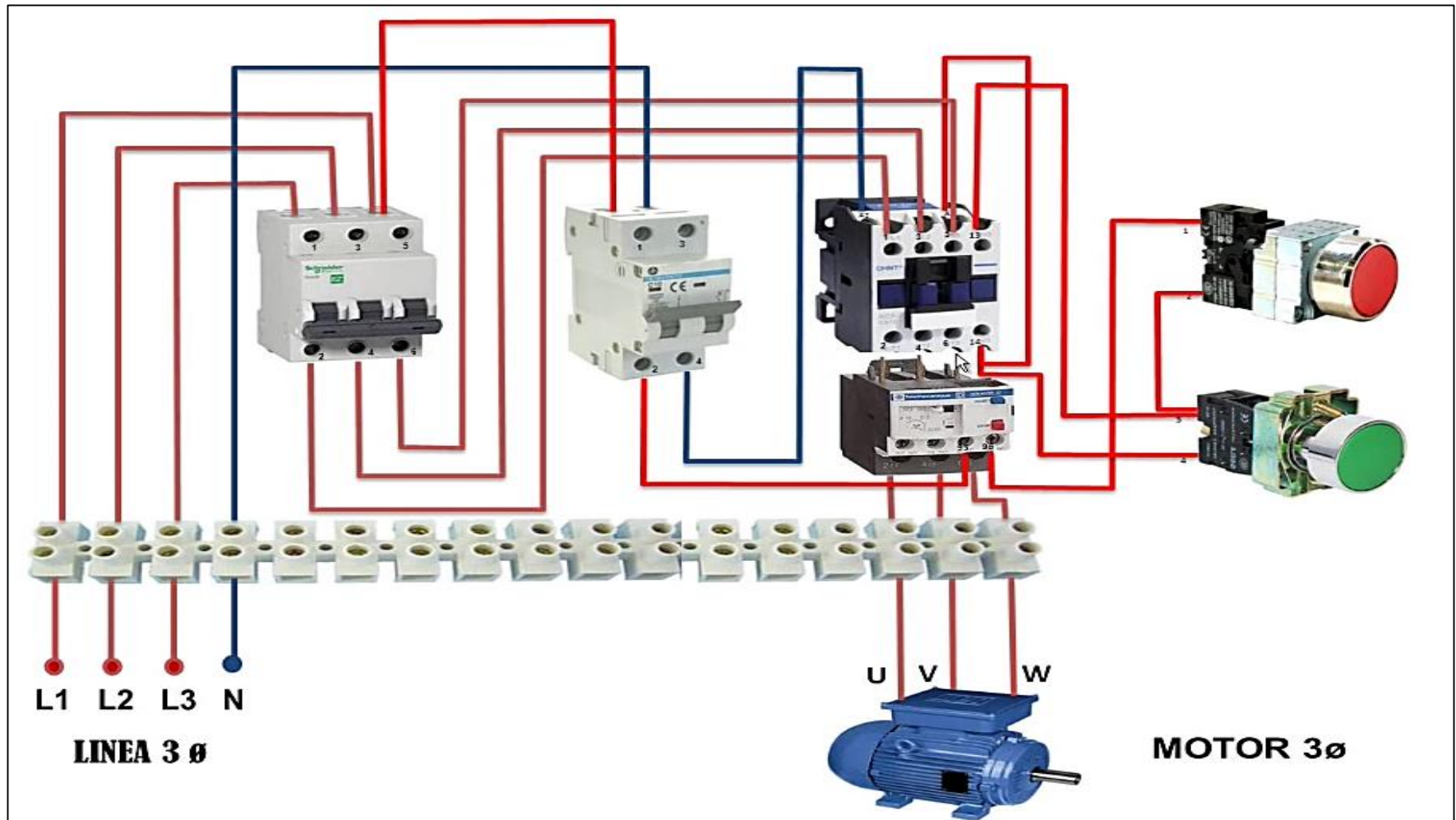
Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 1.5: CIRCUITO DE FUERZA Y DE MANDO PARA UN MOTOR TRIFÁSICO DE INDUCCIÓN



Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 1.6: CIRCUITO CON DISPOSITIVOS EN UN MOTOR TRIFÁSICO DE INDUCCIÓN



Fuente: Elaboración propia