



UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN PARA LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA
UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO GUAYANA.**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO CIVIL

REALIZADO POR

Yelilis Foug El Roumhen

TUTOR ACADÉMICO

Ing. Antonio Seijas Botana

FECHA

Mayo, 2015

*A Dios, por permitirme lograr todas mis metas.
A mis padres Norelquis y Lap Ping,
a mi hermana Norita, a mi abuela Alicia
a mis tías Zuly y Evelin y a toda mi familia
porque el amor y apoyo incondicional de mi familia
es mi fuerza para intentar cada día ser mejor persona.*

Yelilis Foung.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por estar siempre a mi lado, por darme la fuerza la sabiduría necesaria en los momentos difíciles y por permitirme lograr todas mis metas, pero sobre todo por haberme dado una familiar maravillosa.

A mis padres Lap Ping y Norelquis mis dos pilares fundamentales a quienes amo, adoro y admiro, además siempre me han apoyado con sus palabras de aliento y amor incondicional, a mi bella hermana Norita quién siempre me brinda ánimo, apoyo y alegría.

A mi abuela Alicia y mi abuelo Siman, gracias por su amor, sus bendiciones y su apoyo.

A mi tía Zuly por ser un apoyo incondicional en todo momento que siempre busca soluciones a cada problema y a mi tía Evelin por su amor y por siempre estar allí, a mis tíos Simón, Yadlan y Carlos, por su buen sentido del amor y por estar siempre pendiente de mi durante este trabajo de investigación; a mi tía Misin y mi tío Wing quienes son ejemplo de disciplina y estudiantes ejemplares.

A mis primas Carolin, Hieam Loreto y Valeska quienes contagian de risas cada momento vivido con ellas.

A mis amigas Melisa García, Kira Hernández y Carhen Palazzi, mis confidentes en todo momento, mis porristas, consejeras, más que amigas son hermanas que la vida me ha regalado, a Greta Blanco, Juan Batista por estar siempre pendiente, dándome ánimos.

A mi tutor académico Antonio Seijas, por su apoyo incondicional, por su sentido del humor sin igual, porque más que un tutor académico para sus alumnos es un tutor de valores, ética y principios, quién siempre llama a la reflexión a sus estudiantes para que estos se edifiquen como mejores personas, siendo honestas, mejor tutor no podría haber tenido.

A Isbel Talavera y la Sra. Manuela Petit, quienes forman un excelente equipo de trabajo y son un gran apoyo en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria, no sólo para mí persona sino para todos los tesisistas y alumnos.

A Manuel Hernández quién me asistió durante los ensayos de estandarización en el laboratorio.

Al señor Julio Temprano y a Mariam Aguiar quienes me facilitaron el Anteproyecto y Manual de la planta de forma muy cordial.

Al señor Hildebrando Rodríguez quién siempre se mostró muy colaborador en la toma de muestras de aguas residuales de la planta.

Especial agradecimiento a la Profesora Yolanda Montesinos, quién es como la madrina-tía de todos sus alumnos y demuestra gran vocación y amor por lo que hace, gracias por estar siempre allí no sólo para mí, sino para todos en todo momento.

A Yelitza Muñoz, quién más que un gran apoyo en la escuela de ingeniería, la aprecio como amiga.

Y por último quiero agradecer a todos los compañeros de clases con los que he compartido, a los técnicos de laboratorios y a todos los profesores que conforman parte del staff de Profesores de la carrera de Ingeniería Civil, todos y cada uno de ellos, no solo dejan plasmadas lecciones académicas sino lecciones de vida, más que profesores son maestros.

Muchísimas Gracias a todos.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	xii
INTRODUCCIÓN	13
CAPITULO I.....	15
EL PROBLEMA.....	15
Planteamiento del Problema.....	15
Objetivo General.....	18
Objetivos Específicos.....	18
Justificación	18
Alcance y Delimitaciones	19
CAPITULO II	20
MARCO TEÓRICO	20
Antecedentes de la Investigación	20
Bases Teóricas	21
Aguas Residuales.....	21
Caudal	22
Características de las aguas residuales	22
Características físicas de las aguas residuales	22
Características químicas de las aguas residuales	29
Características biológicas de las aguas residuales	34
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	43
PRETRATAMIENTO O TRATAMIENTO PRELIMINAR.....	44
TRATAMIENTO PRIMARIO.....	50
Tanques sedimentadores circulares	51
Tanques de Sedimentación Rectangulares	54
Rendimiento del proceso de decantación o sedimentación primaria	56
Sedimentación primaria mejorada mediante aditivos químicos	59
Mezcla	60
TRATAMIENTO SECUNDARIO O TRATAMIENTO BIOLÓGICO	64

Crecimiento Bacteriano en cultivos puros	71
SISTEMA REACTOR DE MEZCLA COMPLETA SIN RECIRCULACIÓN	79
PROCESO DE LODOS ACTIVADOS	83
Relación F/M.....	85
Índice de Volumétrico de Lodos	88
SISTEMAS DE LODOS ACTIVADOS.....	89
Reactores de Mezcla Completa	89
Ejemplo de un análisis del diseño de un sistema de lodos activados	93
Reactores de flujo en pistón.....	99
Canales de oxidación.....	101
Contacto-estabilización	102
Reactor secuencial discontinuo o SBR	103
LAGUNAS AIREADAS.....	105
TRATAMIENTO TERCIARIO O TRATAMIENTO AVANZADO	107
CAPITULO III	108
METODOLOGÍA.....	109
Tipo de Investigación	109
Diseño de la Investigación	109
Unidades de Análisis.....	110
Variables	111
Técnicas e Instrumentos de Investigación	112
Procedimiento de la Investigación.....	113
CAPITULO IV	116
RECOPIACIÓN DE DATA EXISTENTE, ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA.....	116
Recopilación de datos de análisis de laboratorio	117
Recopilación de Caudales de la planta	123
Recopilación de Memorias de mantenimiento anual.....	124
Recopilación de información adicional	126
ENSAYOS DE ESTANDARIZACIÓN.....	127

RESULTADOS DE LA BATERIA ENSAYOS REALIZADOS PARA ANALIZAR EL COMPORTAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	132
ESTUDIO ACERCA DE LOS TIPOS DE PLANTA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO EN DONDE SE INCLUYAN PROCESOS DE LODOS ACTIVADOS PARA DEFINIR CUAL DE ELLAS ES LA PLANTA A ESTUDIAR O A CUAL SE PODRÍA ADAPTAR	138
<input type="checkbox"/> Sistema de Mezcla Completa sin recirculación:	138
<input type="checkbox"/> Laguna Aireada	139
<input type="checkbox"/> Condiciones de diseño (Lodos Activados con aireación prolongada)	141
<input type="checkbox"/> Condiciones de operación (Lodos Activados con aireación prolongada)	143
Propuestas de adecuación para optimizar la planta a nivel de infraestructura:	145
<input type="checkbox"/> Propuesta de optimización numero 1:	145
<input type="checkbox"/> Propuesta de optimización número 2:	145
- Propuestas de adecuación para optimizar la planta a nivel de operación y mantenimiento:	146
- Propuesta de adecuación para optimizar la planta a nivel de paisajismo:	146
CAPÍTULO V	148
CONCLUSIONES	148
RECOMENDACIONES	151
Referencias Bibliográficas	153
ANEXOS	155
Anteproyecto Planta de tratamiento de Aguas Servidas	156
Manual de operación para la Planta de tratamiento.....	169
Puntos de tomas de muestras dentro de la planta de tratamiento	181
Demanda Bioquímica de Oxígeno	185
Sólidos Suspendidos Totales	187
Sólidos Suspendidos Volumétricos	190
pH.	192
Normas venezolanas para la clasificación y el control de calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos	169
Nuevo formato sugerido de Planillas para medición de caudales	169

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Recopilación de Data de Ensayos de Demanda Bioquímica de Oxígeno en la Entrada y Salida de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Católica Andrés Bello	16
Tabla 2. Colores característicos de aguas residuales asociados a ciertas condiciones	27
Tabla 3. Compuestos Olorosos asociados al agua residual bruta	28
Tabla 4. Clasificación de los Microorganismos	35
Tabla 5. Agentes infecciosos potencialmente presentes en el agua residual doméstica bruta	39
Tabla 6. Organismos específicos que han sido empleados o propuestos como indicadores de la contaminación humana	41
Tabla 7. Organismos indicadores para la determinación de los criterios de rendimiento para diferentes usos del agua	43
Tabla 8. Comparación de los rendimientos de separación de contaminantes en la decantación primaria con y sin coagulación	60
Tabla 9. Requisitos mínimos a nivel nacional para el tratamiento secundario	65
Tabla 10. Algunas definiciones útiles en relación con el tratamiento de las aguas residuales	66
Tabla 11. Principales procesos de tratamiento biológico utilizados en el tratamiento de aguas residuales	69
Tabla 12. Recopilación de data de ensayos anteriores de DBO ₅ realizados en la entrada de la Planta(Punto 1).....	117
Tabla 13. Recopilación de data de ensayos anteriores de DBO ₅ realizados en la salida de la Planta(Punto 4).	118
Tabla 14. Recopilación de data de los valores de pH de muestras correspondientes al punto de entrada de la planta (Punto 1)	119
Tabla 15. Recopilación de data de los valores de pH, oxígeno disuelto, turbidez y conductividad para una muestra en el punto de entrada de la planta (Punto 1). ..	119
Tabla 16. Recopilación de data de los valores de pH, oxígeno disuelto, turbidez y conductividad para una muestra en el reactor biológico de la planta (punto 2) ..	120
Tabla 17. Recopilación de de data de los valores de pH, oxígeno disuelto, turbidez y conductividad para una muestra en el clarificador de la planta. (punto 3)	120
Tabla 18. Recopilación de data de los valores de sólidos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables (sólidos volumétricos) y sólidos disueltos para el afluente de la planta (entrada de la planta correspondiente al punto 1).	121

Tabla 19. Recopilación de data de los valores de sólidos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables (sólidos volumétricos) y sólidos disueltos para el efluente de la planta (Salida de la planta)	122
Tabla 20. Recopilación de data de los valores de aceites y grasas en la entrada y salida de la planta	122
Tabla 21. Recopilación de caudales en el vertedero de entrada de la planta	123
Tabla 22 .Resultados Obtenidos de Estandarización de ensayos de DBO ₅	129
Tabla 23 .Resultados Obtenidos durante la Estandarización de Ensayos de Sólidos Suspendidos Totales, medición del pH y oxígeno Disuelto en el reactor biológico o piscina de aireación (punto 2)	131
Tabla 24 .Resultados Obtenidos durante la Estandarización del Ensayo de Sólidos Volumétricos)	132
Tabla 25. Resultados de la batería de los ensayos de la DBO ₅ para la Entrada de la Planta (punto 1) y la del efluente antes de la Cloración (punto 4)	132
Tabla 26. Resultados de Batería de los ensayos de SST y medición de Oxígeno Disuelto (OD) y pH en el reactor biológico de la planta (punto 2)	133
Tabla 27. Resultados de la batería de los ensayos de Solidos Volumétricos(SV) en la salida del reactor biológico (punto 3).....	134
Tabla 28. Resultado de Ensayo de Sólidos Suspendidos Totales para el punto de entrada (punto 1) y el punto antes del proceso de cloración(punto4)	135
Tabla 29. Valores promedio, desviación estándar, máximo y mínimo correspondientes a las muestras de DBO ₅ ensayadas del 24 - 02-2015 al 19-03-2015	136
Tabla 30. Valores de promedio, desviación estándar, máximo y mínimo correspondientes a las muestras Solidos Volumetricos para el punto 3 y de Sólidos Suspendidos Totales, Cálculo de Sólidos Suspendidos Volátiles, medición de OD y pH para el punto 2.....	137
Tabla 31. Comparación de diseños de distintos sistemas de tratamiento biológico según su DBO de diseño y los SSLM	144

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de flujo helicoidal en un desarenador aireado.	47
Figura 2. Unidad de flotación de aire disuelto (FAD).....	48
Figura 3. Homogeneización en línea.....	49
Figura 4. Homogeneización en paralelo	50
Figura 5. Esquema de un tanque sedimentador circular con alimentación central.....	52
Figura 6. Tanque con sedimentador circular con alimentación central con barredores de fondo	52
Figura 7. Tanque de sedimentación con alimentación central con puntos de drenaje por succión parecidos a los que se emplean en tanques de lodos activados	53
Figura 8. Esquema de un tanque circular de sedimentación circular con alimentación perimetral	54
Figura 9. Tanque rectangular de sedimentación con sistema de recolección de lodos barredores con cadena	55
Figura 10. Tanque rectangular de sedimentación con sistema recolector de puente móvil	56
Figura 11. Velocidad de sedimentación y porcentaje de eliminación	58
Figura 12. Instalaciones de tratamiento de aguas residuales en Ontario, Canadá.....	60
Figura 13. Equipos utilizados para la mezcla de reactivos químicos en agua residual durante tiempos iguales o menores a 1 segundo: (a) agitador de hélice en canal abierto , (b) mezclador estático en línea para tuberías.....	63
Figura 14. Mezclador de paletas típico usado para floculación	63
Figura 15. Curvas de crecimiento características para cultivos de microorganismos	72
Figura 16. Gráfico representativo de los efectos de un nutriente limitante sobre la velocidad específica de crecimiento	76
Figura 17. Representación esquemática de un reactor de mezcla completa sin recirculación	79
Figura 18. Concentración del residuo en el efluente y eficacia de eliminación respecto al tiempo medio de retención celular para un reactor de mezcla completa ($\theta = \theta_c$)	83
Figura 19. Esquema típico de un sistema de lodos activados	84

Figura 20. Esquema de la relación F/M (no a escala).	87
Figura 21. Sistema típico de lodos activados de Mezcla completa	90
Figura 22. Esquema de un sistema de flujo en pistón.....	100
Figura 23. Sistema típico de lodos activados con flujo en pistón	101
Figura 24. Esquema típico de un sistema de canal de oxidación	101
Figura 25. Esquema del sistema de contacto-estabilización	102
Figura 26. Configuraciones típicas para un SBR	105
Figura 27. Laguna aireada típica	106
Figura 28. Evidencia de lodos decantadas durante el mantenimiento de la planta en Agosto de 2013	124
Figura 29. Parte de los Lodos extraídos de la planta durante el mantenimiento anual en Agosto de 2013	125
Figura 30. Efluente de la planta que descarga a la Quebrada El indio durante el mantenimiento de ésta en Agosto de 2013 y escorrentía de agua proveniente de la Urbanización los saltos	125
Figura 31. Planta de tratamiento de aguas residuales de la UCAB luego de haberle realizado el mantenimiento	126



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN
PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO GUAYANA.

AUTOR: Yelilis Founq

TUTOR: Ing. Antonio Seijas

RESUMEN

La planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Católica Andrés Bello; si bien cumple con la norma decreto de vertidos 883, como operación conjunta (el sistema biológico y el proceso de desinfección), no cumple con los estándares de calidad de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), en lo que respecta al sistema biológico (ver Tabla N° 1). Para determinar si un proceso de tratamiento de aguas residuales puede ser optimizado se tiene que conocer la eficiencia del mismo, tanto la de diseño como la de operación actual. Para evaluar la eficiencia de la planta de tratamiento se recopilaron datos de ensayos históricos de laboratorio e información pertinente a la planta así como también se hicieron nuevos ensayos de laboratorio para conocer las condiciones de operación actuales, además: mediante el uso del programa Microsoft Excel se modelaron diferentes sistemas de tratamiento biológico en soporte soluble para aguas residuales, para con ello poder encontrar similitudes con las condiciones de operación y así lograr plantear una propuesta de optimización para la planta de tratamiento. La eficiencia biológica de la planta medida en base a la DBO_{5,20} encontrada en el estudio es cercana al 50%, muy por debajo de las eficiencias típicas en este tipo de plantas. Se encontró que la planta actúa más bien como una planta típica de mezcla completa sin recirculación y no como una planta de lodos activados (base de su diseño).

Palabras Claves: aguas residuales, plantas de tratamiento de aguas residuales, sistemas de tratamiento biológico de aguas residuales, lodos activados, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua potable representa un tema de vital importancia para la sociedad, la denominada "crisis del agua" ha sido un tema a que se ha tratado a nivel internacional debido a que nos concierne a todos.

Siendo el agua un recurso natural renovable indispensable para la vida humana, animal, vegetal resulta inconcebible restarle importancia; la concientización de su usos e importancia son temas que han tomado más fuerza en los últimos años.

Al consumir agua en actividades cotidianas tanto de uso domestico como uso industrial; ésta se convierte en "agua residual" ya que al ser utilizada por nosotros se contamina. Estas aguas residuales deben ser tratadas y pasar por un proceso de saneamiento antes de ser devueltas a vertientes naturales

Las aguas residuales pasan por un tratamiento primario, secundario y terciario antes de ser vertidas a fuentes naturales. Todos estos tratamientos implican procesos de tipo fisicos, quimicos y biológicos que se dan lugar en lo que denominamos una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

En la Universidad Católica Andrés Bello Guayana se cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales o Aguas Servidas, esta infraestructura hidráulica y su eficiencia es el principal motivo de estudio para proponer posibles adecuaciones que se le puedan realizar para optimizarla.

Para lograr el objetivo descrito anteriormente; la investigación se estructuró en cinco capítulos:

El Capítulo I, en él se describe el Planteamiento del Problema, se definen el objetivo general, objetivos Específicos para la Propuesta de Optimización

para la Planta de Aguas residuales de la Universidad Católica Andrés Bello Guayana así como también el alcance y limitaciones de la investigación.

El Capítulo II, consta del Marco teórico bajo el cual se fundamenta la investigación, se centra principalmente en el tratamiento de aguas residuales y en procesos de tratamiento de tipo biológico.

En el Capítulo III se presenta la Metodología utilizada, este capítulo se encuentra estructurado de acuerdo a los objetivos específicos planteados en el Capítulo I.

El Capítulo IV tiene la recopilación de data existente, análisis de resultados y planteamiento de la Propuesta de Optimización para la Planta de Aguas residuales de la Universidad Católica Andrés Bello Guayana.

Por último en el Capítulo V se presentan las conclusiones y recomendaciones que fueron generadas al finalizar el presente trabajo de investigación.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

Planteamiento del problema.

La planta de tratamiento de aguas servidas de la universidad es del tipo biológico de lodos activados; tiene una capacidad de tratamiento de aproximadamente 3 L/s trata los caudales de la Universidad Católica Andrés Bello extensión Guayana (UCAB Guayana) y del colegio Loyola. Trabaja las 24 horas del día, con los procesos de:

- ✓ Captación
- ✓ Sistema de bypass para mantenimiento (hacia la quebrada que genera la planta y las aguas de lluvia de la urbanización los Saltos)
- ✓ Desbaste
- ✓ Sistema de medición (vertedero)
- ✓ Distribuidor de flujo (obra preliminar para una futura planta de las mismas características)
- ✓ Reactor de aireación
- ✓ Sedimentador secundario
- ✓ Sistema de bombeo de lodos activados hacia el distribuidor.
- ✓ Salida de lodos hacia el filtro de arena
- ✓ Desinfección.

Todo sistema de lodos activados está diseñado bajo una relación de entrada denominada; DBO - N - P: 100-5-1 (es decir: la relación DBO, conjuntamente con el nivel de nitrógeno y fosforo), como mínimo, gracias a la información suministrada por el laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la UCAB Guayana, se conoce que ésta relación durante los años 2010, 2012 y 2013 no excedió los 130 mg/l de DBO, (Ver Tabla 1), es decir: la relación está muy cercana a

la mínima aceptada como apta para que el tratamiento se dé en forma eficiente con este tipo de plantas de lodos activados, todo lo dicho anteriormente induce a pensar que la planta está trabajando por debajo de la eficiencia típica para este tipo de plantas.

Tabla 1. Recopilación de Data de Ensayos de Demanda Bioquímica de Oxígeno en la Entrada y Salida de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Católica Andrés Bello

Fecha	DBO Entrada	DBO Salida
11 de octubre de 2010	26,6	7,2
17 de noviembre de 2010	33	4
1 de junio de 2011,	90 60 29 90 52 38	66 30 46 41 35 33 25
6 de diciembre de 2011	200 217 80 72 173	19,3 77
17 de enero de 2012	93 177 190 190 233 250 93	
16 de mayo de 2012	84,4	26
	123	19,5
13 de mayo de 2013	71	26,5
18 de noviembre de 2013	120	26 34 46

Al revisar todos los resultados de ensayos realizados en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria se evidencian: no se encontraron datos acerca de la eficiencia de la en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la UCAB Guayana. Ante la ausencia de un seguimiento sistemático de datos en forma continua del parámetro DBO se dificulta evaluar la eficiencia con la que trabaja la planta en referencia.

Objetivo General

Proponer una Optimización para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la UCAB Guayana

Objetivos Específicos

1. Recopilar datos de análisis de laboratorio, caudales y memorias de mantenimiento anual en la planta de tratamiento de Aguas Residuales de la UCAB Guayana.
2. Realizar nuevos análisis de laboratorio para evaluar la cantidad de Demanda Biológica de Oxígeno, sólidos suspendidos totales, sólidos suspendidos volátiles en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la UCAB Guayana.
3. Realizar un Análisis estadístico del comportamiento de las variables ensayadas.
4. Realizar un estudio acerca de los tipos de planta de tratamiento biológico en donde se incluyan procesos de Lodos Activados para definir cual de ellas es la planta a estudiar o a cual se podría adaptar.
5. Evaluar una posible adecuación para proponer una optimización que pueda realizarse al Sistema de Lodos activados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la UCAB Guayana.

Justificación

Durante una Asamblea General de las Naciones Unidas fue aprobada una Resolución se reconoció "el derecho al agua potable y el saneamiento es un derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida y de todos los derechos humanos". Organización de las Naciones Unidas (2010) Resolución 64/292. El derecho humano al agua y el saneamiento.

Sobre las universidades recae la gran responsabilidad de formar ciudadanos que posean un sentido de responsabilidad social y ambiental; es por ello en las mismas se deben impartir los conocimientos técnicos, científicos y leyes de carácter obligatorio.

Las universidades deben ir más allá de cumplir leyes y normas; dentro de ellas tiene que incentivarse la investigación como herramienta clave para el desarrollo y optimización de procesos ya existentes. En el caso particular de la ingeniería civil se imparten distintas ramas entre ellas la ingeniería sanitaria; entre sus objetivos está la optimización de los procesos implicados en el ámbito de tratamiento de las aguas; incluidas por supuesto las aguas residuales.

La Universidad Católica Andrés Bello tiene como visión situarse como un centro de referencia en distintos ámbitos no solo en el educativo y social sino también en materia ambiental. Como consecuencia de los valores que imparte la UCAB Guayana la investigación presente encuentra su justificación en el cumplir con la visión de la Universidad en la región Guayana ya que al plantear una Propuesta de Optimización para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la UCAB Guayana, la presente investigación pretende proponer una optimización de la Planta para lograr un mejor funcionamiento de la misma.

Alcance y Delimitaciones

El estudio estará centrado en comparar la planta de tratamiento de aguas residuales de la UCAB Guayana con los tipos de plantas de tratamiento que contengan procesos biológicos de lodos activados. Tomando en cuenta procesos con generación de lodos, través del sedimentador secundario. En última instancia se consideraría una planta de lodos activados sin recirculación. La propuesta no contempla la implantación de la optimización dentro de la planta de tratamiento de Aguas servidas; solo pretende proponer soluciones para optimizar la planta.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

Para el presente trabajo de investigación se tomaran como referencia trabajos de investigación basados en plantas de tratamiento de aguas residuales cuyos procesos son de Lodos Activados. Estos trabajos tomados como referencia constituyen los antecedentes de la investigación y a continuación se describen de forma detallada.

Antecedentes de la Investigación

Cruz Carvajal, Jonnathan Jair (2001) "Determinación de la eficiencia de la estación depuradora de Aguas Residuales en la empresa Proleche S.A del Municipio de Chía" el objetivo general del trabajo fue determinar la eficiencia de la estación depuradora de Aguas Residuales para una empresa de lácteos, la estación depuradora funciona mediante el proceso de Lodos Activados; se realizaron diferentes pruebas físicoquímicas y microbiológicas en varios puntos a lo largo del proceso de depuración por tratarse de una empresa de lácteos se hizo énfasis en la remoción de grasas de la planta de tratamiento; sin embargo también se estudiaron parámetros como la demanda química de oxígeno asociada con la demanda bioquímica de oxígeno ya que este se considera un parámetro muy importante para las plantas o depuradoras de aguas residuales que funcionan mediante el proceso de lodos activados; esta investigación resulta muy útil ya que en ella se describe el proceso de lodos activados, parámetros de operación de los sistemas biológicos aerobios de lodos activados, problemas del lodo tales como la sedimentación y lodo ascendente. En esta investigación se

caracterizó el efluente de aguas residuales mediante el seguimiento de parámetros físicoquímicos y microbiológicos para estudiar alternativas para mejorar la eficiencia de la depuración.

Giraldo Valencia, Luis Fernando y Restrepo Marulanda, Isabel Cristina (2003) "Arranque y operación de un reactor experimental de lodos activados para el tratamiento de Aguas Residuales Urbanas" los autores de este trabajo de investigación le hicieron un seguimiento a las etapas de arranque, operación y funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales denominada "El popal" la cual procesa un caudal de 2 L/s. En el marco teórico de la investigación se presenta de forma detallada diversos procesos de lodos activados tales como el de aireación extendida, aireación graduada, aireación escalonada, aireación activada, , zanjas de oxidación, estabilización por contacto y procesos de tipo completamente mezclados. Así como también se exponen los diversos parámetros de diseño empleados para plantas cuyos procesos sean de lodos activados de acuerdo al tipo de proceso. Se simuló condiciones de estabilidad en el reactor biológico de la planta mediante un modelo matemático donde se consideró la población microbiana característica para el tipo de proceso de aireación activada.

Bases Teóricas

1. Aguas Residuales

Son el remanente de aguas contaminadas debido a los diversos usos que se le pueden haber dado a éstas. Las aguas residuales pueden provenir de zonas residenciales, establecimientos públicos, industrias privadas, comercios, hospitales, iglesias, escuelas, universidades, sistemas de alcantarillados, cloacas y cualquier otra edificación y/o obras civiles existentes en una ciudad. (Metcalf & Eddy, 1995, p.1)

Caudal

El caudal (Q) puede definirse como una propiedad física que resulta del cociente del volumen total de agua que atraviesa una sección transversal en cierta unidad de tiempo. (Manuel Vicente Méndez, 2001, p.33)

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

En donde:

Q = Caudal o gasto

Volumen = Volumen de un cuerpo de agua (en metros cúbicos para el Sistema Internacional de medidas)

Tiempo = cantidad de tiempo en que el cuerpo de agua se demora en atravesar una sección transversal (segundos para el Sistema Internacional de medidas)

2. Características de las aguas residuales

Comprende un conjunto de variables y parámetros que pueden observarse, medirse y determinarse a través de ensayos de laboratorio pertinentes que permiten caracterizar un agua residual con la finalidad de emitir un criterio de la condición de calidad de la misma. Los libros, normas y manuales pertinentes al tratamiento de aguas residuales suelen dividir estas características de acuerdo a su composición química, biológica y física.

Características físicas de las aguas residuales

Entre éstas características destacan la cantidad de sólidos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos volátiles, sólidos volumétricos, la temperatura, densidad, olor, color y turbidez. (Metcalf & Eddy, 1995, p.59)

Sólidos totales: representan el remanente de sólidos de una muestra de agua residual homogeneizada contenidos en una cápsula de porcelana; de la cual se conoce su masa en gramos y se le somete a un proceso de evaporización en un horno a 103-105°C durante una hora. Luego se deja enfriar y se pesa la capsula hasta que la misma tenga un peso estable y dicha diferencia representan los sólidos totales en la muestra (Fondonorma, 2005, p.2)

Para el Cálculo de los Sólidos totales, se emplea la siguiente expresión:

$$ST = \frac{(A-B) \times 1000}{c} \quad (\text{Ecuación 2})$$

En donde:

ST: Sólidos Totales

A: Masa de la capsula de porcelana con el remanente o residuo en gramos (g)

B: Masa de la capsula de porcelana vacía en gramos (g)

C: Volumen de la muestra expresado en litros (L)

1000: es el factor de conversión de mil miligramos equivalentes a un gramo

Sólidos suspendidos totales: representan la cantidad total de sólidos en suspensión existente una muestra de agua y se expresan en miligramos de sólidos por litros de muestras (mg/l). (Metcalf & Eddy, 1995, p.59)

Para determinar los sólidos suspendidos totales se realizan ensayos de laboratorio normados, en Venezuela estos ensayos se rigen por la guía de Fondonorma 2461:2005 Aguas Naturales, Industriales y Residuales, Determinación de Sólidos.

En el Laboratorio de la UCAB Guayana se determinan los sólidos siguiendo los pasos del ensayo de "Determinación de sólidos suspendidos totales secados a 103°-105°C " que se encuentran en el ítem 3.3 de la Fondonorma 2461.

Se coloca un filtro de policarbonato en un desecador para que esté libre de humedad y garantizar que no existan variaciones en la masa de éste; luego se lleva el filtro a una balanza de precisión y se observa la masa en gramos, este dato se requiere para calcular la cantidad de sólidos en suspensión. (Fondonorma 2461, 2005, p.7)

Se instala el aparato de filtrado para colocar el filtro dentro de él; es necesario humedecer el filtro con una cantidad mínima de agua destilada para ajustarlo dentro del aparato. (Fondonorma 2461, 2005, p.7)

Se conecta el aparato de filtrado a la bomba de vacío que permite la succión de los sólidos.

Se agita la muestra de agua con la finalidad de homogeneizarla; se mide el volumen de ésta y se coloca en el aparato de filtrado para que la muestra atraviese el filtro y queden contenidas las partículas en suspensión en el mismo mediante el mecanismo de succión que proporciona la bomba de vacío; se deja encendida la bomba durante los 3 minutos posteriores al filtrado. (Fondonorma 2461, 2005, p.7)

Se retira el filtro del aparato de filtrado de forma minuciosa y se coloca en un recipiente resistente a altas temperaturas para llevar a secar la muestra por una hora en un horno a 103°-105° C. (Fondonorma 2461, 2005, p.7)

Al pasar la hora se retira el filtro del horno y se lleva al desecador para que se enfríe y se establezca su masa de forma tal de cuando esta sea medida no exista variación o que la variación de la misma entre una pesada y otra sea menor del 4%, en caso de existir variación alguna se toma el menor valor. (Fondonorma 2461, 2005, p.7)

Para el cálculo de los sólidos en suspensión se utiliza la siguiente expresión:

$$SST = \frac{(B-A)}{c} \times 1000 \quad (\text{Ecuación 3})$$

En la cual:

SST: Sólidos Suspendidos Totales o sólidos en suspensión

A: Masa del filtro vacío en miligramos (mg)

B: Masa del filtro con la muestra secada a 103°-105°C en miligramos (mg)

C: Volumen de la muestra expresado en mililitros (ml)

1000: representa el factor de conversión de mil mililitros equivalentes a un litro

Sólidos volátiles: se presume prácticamente que en su totalidad los sólidos volátiles representan materia orgánica; aunque ésta no se incinera y a su vez ciertos compuestos inorgánicos tampoco lo hacen cuando se someten a altas temperatura.(Crites y Tchobanoglous, 2000, p.33)

Para determinar los sólidos volátiles contenidos dentro de los sólidos totales y sólidos disueltos totales; se someten las muestras de agua residual a una temperatura de 550°C. Estos procedimientos usados para la determinación de los mismos se explican de forma detallada en la guía de Fondonorma 2461:2005 Aguas Naturales, Industriales y Residuales, Determinación de Sólidos.

Sin embargo suele asumirse que de los sólidos en suspensión el 80% de éstos son volátiles y de éstos alrededor del 65% se consideran biodegradables. (Metcalf & Eddy,1995, p.444)

Por lo que para los sólidos volátiles, se podría calcular un valor aproximado al que se obtiene de forma experimental mediante la siguiente expresión:

$$SSV = SST \times 0.80 \quad (\text{Ecuación 4})$$

En donde:

SSV = Sólidos Suspendidos Volátiles

SST= Sólidos Suspendidos Totales

Sólidos sedimentables: también se les conoce como sólidos volumétricos (SV). Para la determinación de los sólidos sedimentables se vierte una muestra de agua en un "cono de Imhoff" hasta que llegue a la marca de un litro y se deja reposar por 45 minutos; transcurridos los 45 minutos se introduce una varilla de vidrio en el cono de Imhoff y se agita con movimientos circulares de forma tal que se desprendan las partículas sólidas de las paredes y se sedimenten. Luego de agitar con la varilla, se esperan 15 minutos y se observa el volumen de sólidos sedimentables y se registra el valor que marque el cono como cantidad de sólidos volumétricos o sólidos sedimentables expresados en mililitros por litro (ml/l). (Fondonorma 2461, 2005, p.9)

Temperatura: se mide en grados centígrados (°C) se considera un parámetro influyente en la vida acuática y velocidad de reacciones químicas; ya que una temperatura excesivamente alta podría provocar un crecimiento de hongos y bacterias no deseado. (Metcalf & Eddy, 1995, p.71)

En aguas residuales tratadas bajo procesos biológicos se considera como óptima una temperatura que oscile de 25 a 35 °C. (Metcalf & Eddy, 1995, p.72)

Densidad: se expresa en unidad de masa por unidad de volumen es decir kilogramos por metros cúbicos (kg/m³) se obtiene al medir la masa de una muestra y dividirla entre el volumen de la misma. La densidad es dependiente de la temperatura y a su vez cambia en función de la cantidad de sólidos contenidos en el agua residual. (Metcalf & Eddy, 1995, p.72)

Color: se puede determinar de forma cuantitativa o cualitativa. Desde el punto de vista cuantitativo el color que se aprecia gracias a los sólidos en suspensión se le conoce como "color aparente" y el originado por sustancias sueltas y coloidales se le llama "color verdadero". (Crites y Tchobanoglous, 2000, p.42)

Para Determinar el color verdadero se filtra una muestra de agua y se le compara el color de ésta con el color que se produce debido a soluciones de distintas concentraciones de cloroplatinato de potasio(K_2PtCl_6). Una unidad de color verdadero equivale al color que genera 1 mg/L de platino. (Crites y Tchobanoglous, 2000, p.42)

La forma de cualitativa se refiere a la que se aprecia a través del ojo humano, y este color suele asociarse con la edad del agua así como también a las condiciones de ésta. (Metcalf & Eddy, 1995, p.72)

En la Tabla 2. Colores típicos de aguas residuales asociados a ciertas condiciones; nos encontramos con una tabla resumen de acuerdo al color con que condición se asocia el agua residual que se mencionan el Texto " Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones" de los autores Crites y Tchobanoglous.

Tabla 2. Colores característicos de aguas residuales asociados a ciertas condiciones. Fuente: Crites y Tchobanoglous

Color característico	Condición Asociada
Café Claro	<i>Agua residual reciente, tiempo menor a 6 horas luego de su descarga.</i>
Gris Claro	<i>Aguas sometidas a algún grado de descomposición leve.</i>
Gris oscuro o Negro	<i>Aguas que han pasado por una fuerte descomposición bacteriana bajo condiciones anaerobias (ausencia o insuficiencia de oxígeno en ellas)</i>

Olor: éste parámetro puede ser apreciado de forma organoléptica es decir mediante métodos sensoriales a través del olfato humano. (Metcalf & Eddy, 1995, p.66) Así como también puede ser estudiado de forma minuciosa

mediante la olfatometría en donde se emplean equipos especiales tales como olfatómetros triangulares dinámicos, discos de butanol, medidores de aroma y otros equipos que permiten la medición de concentraciones de ciertos componentes contenidos en aguas residuales. (Metcalf & Eddy, 1995, p.68)

El estudio de los olores es bastante complejo sin embargo puede existir una correlación entre un olor predominante y un compuesto asociado a éste en las aguas residuales como se evidencia en la Tabla 2 "Compuestos olorosos asociados al agua residual bruta" extraída de Metcalf & Eddy, Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización. (Metcalf & Eddy, 1995, p.65)

Tabla 3. Compuestos Olorosos asociados al agua residual bruta. Fuente: Metcalf & Eddy

Compuestos olorosos	Formula química	Característica del Olor
Aminas	$\text{CH}_3 \text{NH}_2, (\text{CH}_3)_3 \text{H}$	A pescado
Amoníaco	NH_3	Amoniacal
Diaminas	$\text{NH}_2 (\text{CH}_2)_4 \text{NH}_2 (\text{CH}_2)_5 \text{NH}_2$	Carne descompuesta
Sulfuro de hidrogeno	H_2S	Huevos podridos
Mercaptanos (p.e. metilo y etilo)	$\text{CH}_3\text{SH}, \text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{SH}$	Repollo descompuesto
Mercaptanos (p.e butilo y crotilo)	$(\text{CH}_3)_3 \text{CSH}, \text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{SH}$	Zorrillo
Sulfuros orgánicos	$(\text{CH}_3)_2 \text{S}, (\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{S}$	Repollo podrido
Eskatol	$\text{C}_9\text{H}_9\text{N}$	Materia fecal

2.1.8 *Turbidez*: se refiere a la ausencia de la transparencia en las aguas; se mide de forma cuantitativa mediante un instrumento llamado "turbidímetro" y el resultado de la medición es expresado en unidades nefelométricas de turbidez. (Metcalf & Eddy, 1995, p.73)

También se le conoce como turbiedad y se relaciona con las partículas coloidales que se encuentran en suspensión ya que éstas forman una

barrera evitando que se trasmita luz en el agua. (Crites y Tchobanoglous, 2000, p.42)

(Crites y Tchobanoglous, 2000, p.42) No se ha definido una relación entre la turbidez y la cantidad de sólidos suspendidos totales para aguas residuales sin tratamiento. Pero para el caso particular de aguas residuales que han pasado por procesos de lodos activados, si existe una relación que puede generalizarse en la siguiente expresión:

$$SST \approx (fSST)(T) \quad (\text{Ecuación 5})$$

En la cual fSST es un factor comprendido de 2.0 a 2.7 y funciona para relacionar las lecturas de turbidez en sólidos suspendidos totales, los resultados de SST deben expresarse en miligramos por litro (mg/L) y los de turbidez en sus respectivas unidades nefelométricas de turbidez (UNT).

Características químicas de las aguas residuales

Las características químicas de un efluente se estudian de acuerdo a su origen sea orgánico u inorgánico.

Materia Orgánica: Cuando se hace referencia a un compuesto orgánico, se refiere a que se encuentra en la naturaleza y su origen puede ser tanto animal como vegetal. Químicamente éstos se constituyen principalmente por Carbono, Hidrogeno y Oxígeno. Por ende el contenido orgánico de un efluente es atribuido a desperdicios de origen animal y/o vegetal; así como también a las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos de origen vegetal y animal. (Metcalf & Eddy, 1995, p.73)

Dentro de los ensayos de laboratorio asociados la determinación del contenido de Materia orgánica se tienen como referencia el de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Demanda Biológica de Oxígeno: el estudio la Demanda Biológica de Oxígeno es uno de los más utilizados al momento de diseñar plantas de tratamiento de agua residual que incluyan procesos biológicos. (Metcalf & Eddy, 1995, p.80)

Este parámetro está vinculado con la cantidad de oxígeno disuelto consumido por microorganismos mediante un proceso de oxidación biológica y química que se da a lugar en un lapso de cinco días. (Metcalf & Eddy, 1995, p.81)

Por ello no solo se conoce como Demanda Biológica sino que también se le conoce bajo el nombre de Demanda Bioquímica a los cinco días (DBO_5) el resultado obtenido en el cálculo de esta se expresa en miligramos de oxígeno disuelto por cada litro de agua ($mg O_2/ l$). (Metcalf & Eddy, 1995, p.81)

Para el ensayo del DBO_5 se inocula la muestra con un agua de dilución la cual contiene un cultivo de bacterias del mismo ambiente de aguas residuales y nutrientes que sirven de alimento para éstas. (Metcalf & Eddy, 1995, p.81)

Para algunos casos, como los de agua residual que no ha sido tratada en ocasiones, no es necesario inocular el agua con una muestra bacteriana, sin embargo siempre en el agua de dilución deben agregarse nutrientes que funcionen como alimento para las bacterias. (Metcalf & Eddy, 1995, p.81)

De acuerdo a ensayos de DBO_5 que han sido practicados anteriormente para hallar la concentración de la muestra de agua de dilución que arroje resultados más confiables "para realizar el ensayo de DBO_5 , se prepara el agua de dilución a un 3%, es decir que por cada 6 litros de agua destilada se utilizan 180 ml de agua residual y 6ml de cada uno de los reactivos que se

utilizan como nutrientes" (M. Petit, comunicación personal, 26 de noviembre de 2014).

En el laboratorio de la UCAB Guayana se utilizan como nutrientes una solución amortiguadora buffer reguladora, cloruro de calcio dihidratado ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), sulfato de magnesio heptahidratado ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).

Se consideran resultados más fiables los que consumen un mínimo de 2 mg/L de oxígeno al quinto día de incubación. (Fondonorma NVF 3008, 2007, p.8)

El ensayo consiste en llenar una botella con un cierre hermético con una porción de agua que contenga la muestra y el agua de dilución hasta rebosar, medir el oxígeno disuelto (OD) antes de llevarla a incubar a una temperatura de 20°C; luego de 5 días se mide el oxígeno disuelto y el cálculo del DBO_5 se realiza tomando en cuenta la diferencia entre el OD inicial y el final. (Fondonorma NVF 3008, 2007, p.5)

Para garantizar un cierre hermético encima de la tapa del recipiente se coloca un trozo de papel aluminio ya que este reduce la evaporación del agua durante los días de incubación. (Fondonorma NVF 3008, 2007, p.9)

Las expresiones para determinar la son las siguientes:

-Si el agua de dilución no se inocula:

$$\text{DBO}_5 = \frac{D1 - D2}{p} \quad (\text{Ecuación 6})$$

-Si el agua de dilución se inocula:

$$\text{DBO}_5 = \frac{(D1 - D2) - (B1 - B2) f}{p} \quad (\text{Ecuación 7})$$

En donde:

D1= OD de la muestra diluida luego de su preparación (mg/L)

D2= OD de la muestra diluida transcurridos los 5 días de incubación (mg/L)

P= Fracción volumétrica decimal de muestra utilizada

B1= OD del inóculo de control antes de la incubación (mg/L)

B2= OD del inóculo de control después de la incubación (mg/L)

f= volumen de inóculo en cada botella de ensayo /volumen de inóculo en el agua de dilución

Demanda Química de Oxígeno: este parámetro se puede determinar tanto en aguas naturales como en las residuales. El principio de este ensayo se basa en usar un agente químico altamente oxidante en un medio ácido para determinar el equivalente de oxígeno de la materia orgánica presente en el agua que puede oxidarse. (Metcalf & Eddy, 1995, p.93)

Suele emplearse como agente oxidante el dicromato potásico ($K_2Cr_2O_7$) y el sulfuro de plata (Ag_2S) como catalizador en el proceso de oxidación así como también altas temperaturas. (Metcalf & Eddy, 1995, p.93)

Para el ensayo de DBO se necesitan 5 días para determinar su valor final mientras que el ensayo de DQO permite conocer su valor a las 3 horas. En bastantes tipos de aguas residuales se permite establecer una relación de los valores de DBO y DQO, una vez ya establecida esta correlación entre ambos parámetros se pueden utilizar los valores de DQO para determinar la DBO para el caso de monitoreo y mantenimiento en plantas depuradoras. (Metcalf & Eddy, 1995, p.93)

Materia Inorgánica: el contenido de materia inorgánica en un agua residual es asociado al contacto entre formaciones geológicas y aguas naturales; contacto del cual puede originarse una descomposición de minerales y rocas quedando éstos contenidos en el agua natural y siendo por ende transmitidos al agua potable y también residual. (Metcalf & Eddy, 1995, p.95)

Entre los parámetros asociados al estudio de materia inorgánica en aguas residuales se encuentran el pH, alcalinidad, contenido de nitrógeno, contenido de fósforo y oxígeno disuelto. También son estudiados otros el contenido de metales pesados y compuestos tóxicos, pero están relacionados con aguas residuales industriales. . (Metcalf & Eddy, 1995, p. 95)

pH: es el grado de concentración del ión hidrógeno y está asociado al grado de acidez o alcalinidad. Un pH muy bajo o muy alto dificulta el tratamiento del agua residual mediante un proceso de tipo biológico. (Metcalf & Eddy, 1995, p.95)

(Cruz Carvajal, 2001, p.12) Para el caso de las aguas residuales lo aconsejable es que este valor oscile entre 6.5 y 8 ya que las bacterias tienen un pH ideal de 7 a 7.5 para dar lugar al proceso biológico de tratamiento.

El valor del pH puede medirse mediante soluciones indicadoras y cintas de pH, así como también utilizando un instrumento denominado pHmetro.

Alcalinidad: ésta se debe en su mayoría al bicarbonato de calcio, bicarbonato de magnesio, bicarbonato de sodio, hidróxidos, carbonatos, potasio o amoníaco que podrían estar contenidos en un agua residual. La alcalinidad ayuda a atenuar los vertidos ácidos presentes en el agua residual; la mayoría de las aguas residuales son alcalinas y esto resulta favorable para los procesos de tipo biológico. (Metcalf & Eddy, 1995, p.97)

Nitrógeno y Fósforo: El Nitrógeno (N) y el Fósforo (P) se consideran indispensables para la vida vegetal y de microorganismos, por cual se les conoce como "elementos nutritivos" o "bioestimuladores". El Nitrógeno es necesario para sintetizar las proteínas en las aguas residuales. De acuerdo a la UE 91/271/CEE "Referente al tratamiento de aguas residuales urbanas" los valores de fósforo deben estar comprendidos entre 1 y 2 mg/l y para el caso de Nitrógeno debería estar de 10 a 15 mg/l. Cuando el Nitrógeno este por debajo del rango lo más recomendable es añadirlo al efluente para garantizar la síntesis de proteínas en el tratamiento de aguas residuales de tipo biológico. (Metcalf & Eddy, 1995, p.97)

Oxígeno Disuelto: tiene una solubilidad baja en el agua y su presencia es necesaria para que puedan respirar los microorganismos aerobios; ayuda a neutralizar los olores y al desarrollo de los procesos biológicos, por lo cual resulta favorable tener suficiente de este gas en las aguas residuales. Es consumido en procesos de tipo biológico en los cuales una mayor velocidad del proceso está asociada con temperaturas más cálidas y climas tropicales. Existe una tendencia de disponer de una menor cantidad de oxígeno disuelto durante el verano o en climas típicos del trópico.

Características biológicas de las aguas residuales

Tanto en aguas superficiales como en las residuales en común encontramos con una amplia variedad de microorganismos biológicos (hongos, algas, bacterias, virus, protozoos, organismos patógenos) así como también podemos encontrarnos con plantas y animales; que conforman distintas especies biológicas para aguas superficiales o aguas residuales. (Metcalf & Eddy, 1995, p.103)

En la tabla 4 se observa la clasificación de los principales microorganismos tanto para aguas superficiales como aguas residuales también.

Tabla 4. Clasificación de los Microorganismos. Fuente: Metcalf & Eddy

Grupo	Estructura Celular	Caracterización	Miembros Representativos
Eucariotas	Eucariotas	Multicelular, con gran diferenciación de las células y el tejido.	Plantas (plantas de semilla, musgos, helechos). Animales (vertebrados e invertebrados)
Eubacterias	Procariota	Unicelular o coenocítica o micelial; con escasa o nula diferenciación de tejidos.	Protistas (algas, hongos, protozoos)
Arqueobacterias	Procariota	Química celular distintiva	Metanógenos, halófilos, termacidófilos

Algas: la presencia de algas en las aguas superficiales puede acarrear problemas serios, ya que cuando se presentan condiciones propicias para el desarrollo de éstas puede producirse un fenómeno llamado "crecimiento explosivo". (Metcalf & Eddy, 1995, p.104)

El "crecimiento explosivo" puede provocar que lagos, embalses y ríos puedan estar cubiertos de colonias flotantes de algas. (Metcalf & Eddy, 1995, p.104) Produciéndose así los "lagos eutróficos", los cuales tienen un alto contenido de nutrientes requeridos para el crecimiento biológico. (Metcalf & Eddy, 1995, p.105)

Las plantas de tratamiento de aguas residuales tienden a generar efluentes que pueden ser considerados ricos en nutrientes biológicos. Cuando este efluente es descargado a ríos y/o lagos puede verse un incremento en la tasa de eutrofización de los mismos, (Metcalf & Eddy, 1995, p.105)

Hallar un proceso de tratamiento de aguas residuales que no propicie la eutrofización es uno de los retos a los que se enfrenta la rama de la ingeniería sanitaria encargada de la gestión de calidad de las aguas residuales. (Metcalf & Eddy, 1995, p.104)

Dentro de las soluciones para encontrar un proceso de tratamiento adecuado, pueden involucrarse la eliminación del carbono, eliminación de distintas formas de nitrógeno y fósforo y de algunos elementos que podrían hallarse a nivel de trazas tales como el cobalto y el hierro. (Metcalf & Eddy, 1995, p.105)

Animales y plantas: conocer la flora y fauna de un ambiente (lago, río) al cual llega una descarga de agua residual; ayuda a evaluar las condiciones en que éste se encuentra ya que sirve de referente para tener idea de los niveles de toxicidad del efluente de agua de residual y para observar si el tratamiento del mismo es o no eficaz; es decir si durante el tratamiento biológico se destruyen en su mayoría aquellos nutrientes que podrían generar la eutrofización. (Metcalf & Eddy, 1995, p.105)

Además dentro de los animales que se encuentran en aguas residuales deben prestársele atención a ciertos tipos de gusanos que pueden provocar infecciones tales como los "platelmintos" que se les conoce como gusanos planos; ya que éstos podrían ser causantes de infecciones no deseadas. (Metcalf & Eddy, p.105)

Bacterias: son esenciales en el proceso de descomposición y estabilización de materia orgánica tanto en aguas residuales como aguas naturales. (Metcalf & Eddy, 1995, p.104)

Dentro del grupo de las bacterias se tienen a los Escherichia Coli como organismos más comunes en heces humanas y tienen un tamaño aproximado de 0.5 micras de ancho y 2 micras de largo. (Metcalf & Eddy, 1995, p.105)

La determinación de coliformes es un proceso que se utiliza como indicador de contaminación a causa de desechos humanos. (Metcalf & Eddy, 1995, p.105)

Si se desea conocer de forma más detallada el proceso de determinación de coliformes totales y fecales puede consultarse el *Standard Methods* o los manuales de *Fondonorma*.

Hongos: la presencia de éstos en el agua residual favorece a la descomposición del carbono en el ecosistema ya que "Muchos de los hongos son saprófitos; basan su alimentación en materia orgánica muerta". (Metcalf & Eddy, 1995, p.104)

Ante una ausencia de hongos podría alterarse el proceso de biodegradación de materia orgánica en el ciclo del carbono se impediría en poco tiempo y la materia orgánica se podría amontonar. (Metcalf & Eddy, 1995, p.104)

Protozoos: su alimento principal son las bacterias y otros microorganismos; la mayor parte de ellos son aerobios sin embargo también los hay anaerobios; también dentro de los protozoos se encuentran algunos que son patógenos. (Metcalf & Eddy, 1995, p.105)

Los Protozoos son de gran importancia para el desempeño de tratamientos biológicos y la purificación de cursos de agua "ya que son capaces de mantener el equilibrio natural entre los diferentes tipos de microorganismos". (Metcalf & Eddy, 1995, p. 105)

Virus: para el estudio de los distintos mecanismos de transporte y eliminación de virus en aguas residuales y aguas superficiales se requiere de un mayor apoyo por parte de biólogos que de ingenieros. (Metcalf & Eddy, 1995, p.106)
"Los virus son partículas parasíticas formadas por un cordón de material genético— ácido desoxirribonucleico (ADN) o ácido ribonucleico (RNA)— con una capa de recubrimiento proteínico". (Metcalf & Eddy, 1995, p.106)

Los virus no cuentan con capacidad para sintetizar nuevos compuestos, en vez de sintetizar lo que hacen es invadir a las células del cuerpo en el que

están contenidos y cambian la actividad celular ya que producen partículas de virus a costa de las células originales. Al morir la célula original, se liberan numerosas cantidades de virus que infectan a otras células. (Metcalf & Eddy, 1995, p.106)

De acuerdo a datos obtenidos mediante experimentos se comprobó que un gramo de heces de una persona con hepatitis puede contener desde 10.000 hasta 100.000 dosis de virus hepático. Razón por la que algunos brotes de hepatitis infecciosa se le atribuyen a agua potable que podría contener el virus. (Metcalf & Eddy, 1995, p.106)

Se conoce con seguridad que los virus pueden sobrevivir hasta 6 días en ríos normales, e inclusive existen virus que sobreviven hasta 41 días a una temperatura de 20°C, esto puede ocurrir tanto en aguas residuales como en superficiales. (Metcalf & Eddy, 1995, p.106)

Organismos patógenos: los organismos patógenos encontrados en las aguas residuales pueden provenir de los desechos de humanos que estén enfermos o bajo un proceso infeccioso. Estos organismos bacterianos patógenos que pueden ser expulsados mediante las heces por el hombre pueden provocar enfermedades tales como diarreas, cólera, fiebre tifoidea y paratifoidea, entre otras. (Metcalf & Eddy, 1995, p.106)

En la tabla 5 podemos encontrar los principales organismos patógenos que se encuentran en aguas residuales; en la tabla 6 los organismos que se emplean como indicadores de la contaminación humana y en la tabla 7 los organismos indicadores utilizados para la determinación de los criterios de rendimiento para diferentes usos del agua.

Tabla 5. Agentes infecciosos potencialmente presentes en el agua residual doméstica bruta. Fuente: Metcalf & Eddy.

Organismo	Enfermedad	Comentario
Bacteria		
Escherichia coli (enteropatógena)	Gastroenteritis	Diarrea
Legionella pneumophila	Legionelosis	Enfermedades respiratorias agudas
Leptospira (150 esp.)	Leptospirosis	Leptospirosis, fiebre (enfermedad de Weil)
Salmonella typhi	Fiebre tifoidea	Fiebre alta, diarrea, úlceras en el intestino delgado
Salmonella (~1.700 esp.)	Salmonelosis	Envenenamiento de alimentos
Shigella (4 esp)	Shigelosis	Disentería bacilar
Vibrio cholerae	Cólera	Diarreas extremadamente fuerte
Yersenia enterolítica	Yersinosis	Diarrea
Virus		
Adenovirus (31 tipos)	Enfermedades respiratorias Gastroenteritis, anomalías cardíacas, meningitis	
Enterovirus (67 tipos, p.e. polio, eco y virus Cocksakie)	Hepatitis infecciosas	
Hepatitis A	Gastroenteritis	Leptospirosis, fiebre
Agente Norwalk	Gastroenteritis	Vómitos
	Gastroenteritis	

Reovirus		
Rotavirus		
Protozoos		
Balantidium coli	Balantidiasis	Diarrea, disentería
Cryptosporidium	Criptosporidiosis	Diarrea
Entamoeba histolytica	Amebiasis (disentería amébrica)	Diarreas prolongadas con Sangre, abscesos en el Hígado y en el intestino delgado
Giardia lamblia	Giardiasis	Diarrea, náuseas, Indigestión
Helmintos		
Ascaris lumbricoides	Ascariasis	Infestación de gusanos
Enterobius vericularis	Enterobiasis	Gusanos
Fasciola hepática	Ascariasis	Infestación de gusanos
Enterobius vericularis	Enterobiasis	Gusanos
Fasciola hepática	Fascioliasis	Gusanos (tercera)
Hymenolepsis nana	Hymenlepiasis	Tenia enana
Taenia saginata	Teniasis	Tenia (buey)
T. solium	Teniasis	Tenia (cerdo)
Trichuris trichiura	Trichuriasis	Gusanos

Tabla 6. Organismos específicos que han sido empleados o propuestos como indicadores de la contaminación humana. Fuente: Metcalf & Eddy

Organismo indicador	Características
Bacterias coliformes	Especie de organismos que pueden fermentar lactosa con generación de gases (o producen una colonia diferenciable en un periodo de incubación en un medio adecuado de 24 ± 2 h a 48 ± 3 h) a $35 \pm 0,5$ °C. Existen algunas variedades que no se ajustan a la definición. El grupo de coliformes incluye cuatro géneros de la familia Enterobacteriácea. Estos son el Escherichia (especie E.coli) parece ser el más representativo de la contaminación fecal
Bacterias coliformes fecales	Se estableció un grupo de bacterias coliformes fecales en función de la capacidad de generar gas (o colonias) a una temperatura de incubación de elevada ($44,5 \pm 0,2$ °C durante 24 ± 2 h).
Klebisella	La población total de coliformes incluye el género Klebisella termotolerante también se incluye en el grupo de coliformes fecales. Este grupo se cultiva a $35 \pm 0,5$ °C durante 24 h \pm 2 h.
Escherichia coli	El E. coli es parte de la población bacteriana y es el género de coliformes más representativos de las fuentes de contaminación fecal.
Estreptococos fecales	Este grupo se ha empleado, junto con los coliformes fecales, para determinar las fuentes de contaminación fecal reciente (humana o de animales de granja). Con los procedimientos analíticos habituales no es posible diferenciar los verdaderos estreptococos fecales de algunas de las variedades que se parecen a este grupo, lo cual

	representa un impedimento para su uso como organismo indicador.
Enterococos	Dos familias de estreptococos fecales — <i>S. faecalis</i> y <i>S. faecium</i> — son los miembros del grupo de los estreptococos más específicos de la contaminación humana. Las dos familias conocidas como enterococos se pueden aislar y cuantificar mediante la eliminación de las demás familias mediante métodos analíticos. Los enterococos suelen estar presentes en número inferior al resto de los organismos indicadores; no obstante, sobreviven mejor en agua salada.
Clostridium perfringens	Es una bacteria persistente anaerobia formadora de esporas, y sus características la convierten en un indicador útil en los casos en los que se realiza la desinfección del agua, en los que es posible la existencia pasada de contaminación, en los que el tiempo que se tarda antes de realizar los análisis es dilatado.
P. aeruginosa y A. hydrophila	Estos organismos pueden estar presentes en grandes cantidades en agua residual. Ambos se pueden considerar como organismos acuáticos y se pueden encontrar en el agua en ausencia de fuentes de contaminación fecal inmediatas.

Tabla 7. Organismos indicadores para la determinación de los criterios de rendimiento para diferentes usos del agua. Fuente: Metcalf & Eddy.

Usos del agua	Organismo indicador
Agua potable	Coliformes totales
Actividades lúdicas en agua dulce	Coliformes fecales E. coli Enterococos
Actividades lúdicas en agua salada	Coliformes fecales Coliformes totales Enterococos
Zonas de crecimiento de moluscos	Coliformes totales Coliformes fecales
Irrigación agrícola	Coliformes totales (agua reutilizada)
Desinfección de efluentes de aguas residuales	Coliformes totales Coliformes fecales

3. Tratamiento de aguas residuales

El agua potable que utilizamos regresa a una fuente natural bien sea un río, lago o al mar. En la naturaleza encontramos vida animal y vegetal; además requerimos de las fuentes naturales de agua para poder extraer de éstas agua natural o agua cruda como algunos le llaman; y es allí donde radica el principal objetivo del tratamiento de las aguas residuales de garantizar una calidad de agua residual que cumpla con las leyes pertinentes a la calidad de vertidos de agua residual.

Una buena calidad de agua residual implica un impacto positivo en el ecosistema y en el proceso de potabilización de las aguas naturales; ya que una buena calidad de agua residual causaría un bajo impacto cuando esta es regresada al efluente natural implicando así una disminución de costos e insumos a la hora de potabilizar el agua.

Para disminuir el impacto que causamos a nivel de contaminación ambiental existen las plantas de tratamiento de agua residual o plantas depuradoras.

Las aguas residuales están constituidas en su mayoría por compuestos orgánicos, por ende los procesos de tratamiento de éstas tienen un enfoque orientado a reducir variables asociadas al contenido de materia orgánica. Entonces las plantas de tratamiento tradicionales suelen diseñarse para que en ellas se dé lugar a la disminución del DBO5 y los Sólidos Suspendidos Totales. (G. Kiely, 1999, p.671)

Existe una serie de procesos químicos, físicos y biológicos que ocurren en una planta de tratamiento tradicional y de acuerdo al orden que atraviesa el afluente nos encontramos primero con el pretratamiento o tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario y el tratamiento terciario o avanzado. (G. Kiely, 1999, p.690)

PRETRATAMIENTO O TRATAMIENTO PRELIMINAR

Esta fase en aguas residuales urbanas consiste en lograr separar objetos grandes y arenas. Habitualmente el pretratamiento es un proceso de carácter físico. No obstante en esta etapa podrían incluirse la modificación del pH mediante adición de químicos sobre todo para el caso de aguas residuales industriales; adición de Nitrógeno y Fósforo como procesos que forman parte del pretratamiento. (G. Kiely, 1999, p.693)

Rejillas de desbaste: su función primordial es brindar protección a los equipos mecánicos de una planta depuradora; evitando que entren a este objetos sólidos tales como recipientes plásticos, tapas de botellas de metal, rocas, trozos de tela o cualquier otro objeto que pudiese entorpecer los procesos mecánicos en la planta. (G. Kiely, 1999, p.694)

(G. Kiely, 1999, p.694-695) A continuación se explican de forma detallada las rejillas de desbaste más utilizadas:

- *Rejillas para materiales gruesos*: el espacio de abertura de éstas es superior a los 6 milímetros de ancho y sirven para atrapar los objetos de tamaño grande como por ejemplo los recipientes plásticos.
- *Rejillas para materiales finos*: el espacio de abertura varía de 1.5 hasta 6 milímetros de ancho.
- *Rejillas para materiales extra finos*: el espacio de abertura varía de 0.2 hasta 1.5 milímetros de ancho.
- *Microtamices*: no forman parte del proceso de pretratamiento sino que son utilizados para la etapa final del tratamiento de agua debido a su tamaño "micro" cuyos espacios de abertura están comprendidos entre 0,001 hasta 0,3 milímetros de ancho.

Dilaceración o Trituración: en este proceso se emplean dilaceradores, que son equipos utilizados para cortar y triturar los sólidos gruesos sin que éstos sean retirados del agua. (Crites y Tchobanoglous, 2000, p.253)

El uso de este método es controversial y poco recomendado; a algunos diseñadores sostiene que luego de triturar los sólidos resulta más fácil el manejo de los siguientes procesos. (Crites y Tchobanoglous, 2000, p.254)

La Trituración se considera un proceso de desbaste no recomendable, ya que cuando se trituran los desechos sólidos, podrían triturarse objetos plásticos que pueden inhibir con el crecimiento de la población bacteriana que se requiere en procesos posteriores. (G. Kiely, 1999, p.695)

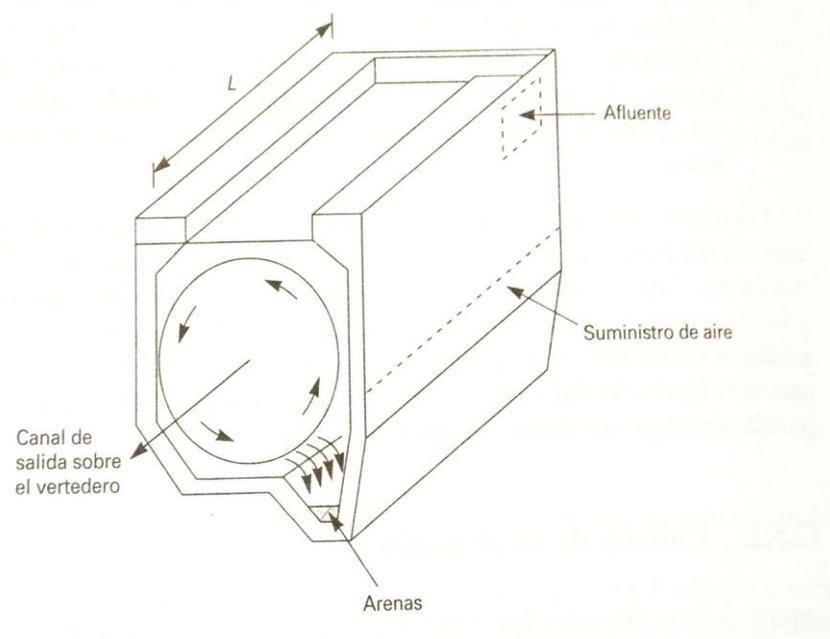
Canales de desarenado: por lo general las aguas residuales que provienen de las industrias no contienen arena; pero es común encontrar arena en el caso de aguas residuales urbanas que se han mezclado con aguas de lluvia y escorrentías. Con la finalidad de evitar los problemas que pueda ocasionar

el contenido de arenas tales como la abrasión en equipos mecánicos, reducción del volumen de la planta debido a la sedimentación; este último ocurre en el caso de plantas de procesos biológicos. Por lo que en el diseño de algunas plantas se utilizan estos canales desarenadores ya sean de flujo horizontal o aireados de flujo helicoidal. (G. Kiely, 1999, p.696)

Canales desarenadores de flujo horizontal: el flujo atraviesa el canal de forma horizontal; se diseñan con la finalidad de separar partículas de arena cuyo diámetro sea superior a 0,15 milímetros y de una velocidad de sedimentación que se aproxima a 0,01 m/s. En el diseño se considera la velocidad del afluente cercana a 0,30 m/s y un tiempo de retención de casi 1 minuto. (G. Kiely, 1999, p.696)

Canales desarenadores aireados de flujo helicoidal: en éstos canales ocurre un movimiento en forma de espiral por ello reciben el nombre de "flujo helicoidal" ya que se introduce aire por un costado y lo largo del canal, entonces el aire choca perpendicularmente con el afluente de agua y allí se originan movimientos de tipo helicoidal, en donde salen a flote las partículas de arena más livianas sedimentándose las más pesadas. La eficacia de éstos canales es superior a la de los canales de flujo horizontal, aunque el tiempo de retención con que se diseñan estos canales es aproximadamente el triple del de un canal de flujo horizontal es decir casi de 3 minutos. (G. Kiely, 1999, p.696)

Figura 1. Modelo de flujo helicoidal en un desarenador aireado. Fuente: G.Kiely

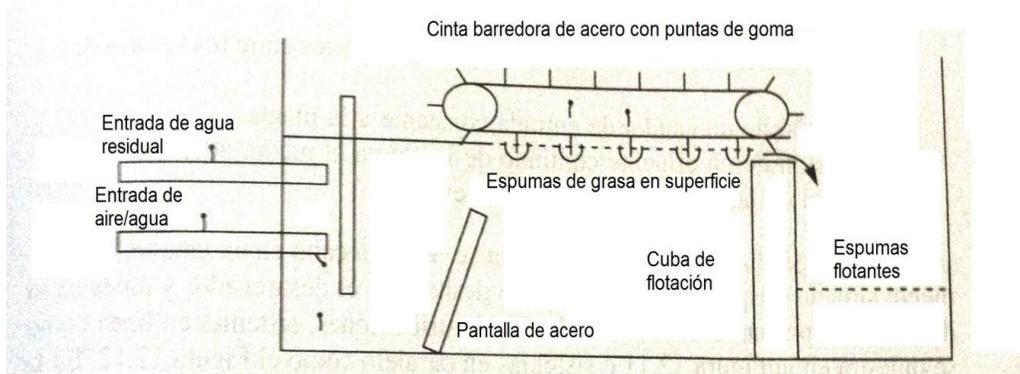


Flotación: no es un proceso común en el pretratamiento de aguas residuales, consiste en hacer flotar las partículas cuyas velocidades de sedimentación son tan bajas que no pueden ser eliminadas en el proceso de decantación. Al hacer flotar las partículas; éstas se elevan a la superficie libre y resulta más fácil la extracción de las mismas. Entre los métodos empleados en la flotación tenemos la flotación por aire disuelto, flotación por gravedad, la electroflotación y la flotación al vacío. (G.Kiely, 1999, p. 698)

Flotación mediante el uso de aire disuelto: con frecuencia de la parte inferior del tanque de flotación se extrae una porción del caudal de agua residual y se lleva a un depósito a presión donde se le agrega aire para luego añadir esta parte del caudal al tanque de flotación nuevamente. Mediante este proceso se busca lograr que al airear el caudal a presión se logre una

presión de aire igual a la atmosférica para que salgan a flote todas las partículas que no pueden ser decantadas. (G.Kiely, 1999, p. 698)

Figura 2. Unidad de flotación de aire disuelto (FAD). Fuente: G. Kiely



Flotación por gravedad: es un proceso que no se utiliza en plantas de tratamiento para aguas residuales urbanas, en este mecanismo se emplean cajones o trampas de grasas en donde el caudal afluyente atraviesa varias cámaras, saliendo a flote las partículas de aceite y grasas, siendo retiradas de forma mecánica. La flotación por gravedad se observa sobre todo en plantas depuradoras de aguas residuales de tipo industrial en especial aquellas que tienen un contenido considerable de grasas como por ejemplo un taller mecánico automotriz o una industria de lácteos. (G.Kiely, 1999, p. 698)

Electroflotación: en este tipo de flotación se instalan electrodos en el fondo del tanque de flotación y éstos se les suministra corriente continua para que se produzcan burbujas dentro del tanque, las burbujas arrastran dentro de ellas las partículas en suspensión hacia la superficie libre para que ocurra la remoción de éstas. La electroflotación es costosa puesto que los electrodos tienen un periodo de vida útil y deben ser sustituidos cada cierto tiempo.

Flotación al vacío: en este proceso se persigue como objetivo lograr parcialmente un vacío en un depósito cubierto mediante la adición de aire al tanque de flotación hasta que se logre saturar el agua residual; al saturarse el agua se desprenden burbujas pequeñas que arrastran dentro de ellas partículas suspendidas y suben a la superficie libre, donde son removidas de forma mecánica.

Homogeneización: se refiere a los distintos procesos aplicables a un afluente de aguas residuales para que éste tenga características similares en el tiempo y sea considerado como un afluente homogéneo. (G. Kiely, 1999 , p.699)

Esta etapa del proceso de tratamiento de aguas residuales persigue como objetivos principales proveer un caudal constante y continuo a la planta depuradora, neutralización del pH y homogeneizar las cargas orgánicas para disminuir la posibilidad de cambios bruscos en el afluente, los cuales podrían alterar el funcionamiento de la planta. (Kiely,1999, p.700)

La homogeneización ocurre por lo general en un tanque o piscina ubicados después de las rejillas de desbaste y el desarenador. Los sistemas de homogeneización suelen distribuirse en línea como se muestra en la Figura 3 y en paralelo tal como se aprecia en la Figura 4 (G. Kiely, 1999 , p.700)

Figura 3. Homogeneización en línea.
Fuente: G. Kiely (adaptado de ASCE y WEF, 1991).

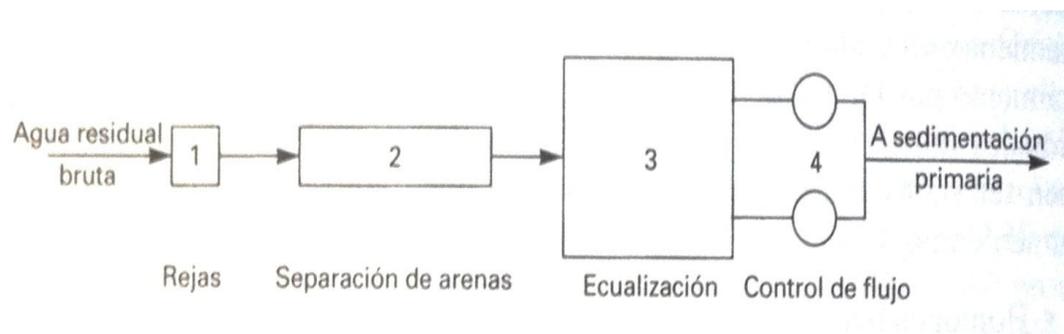
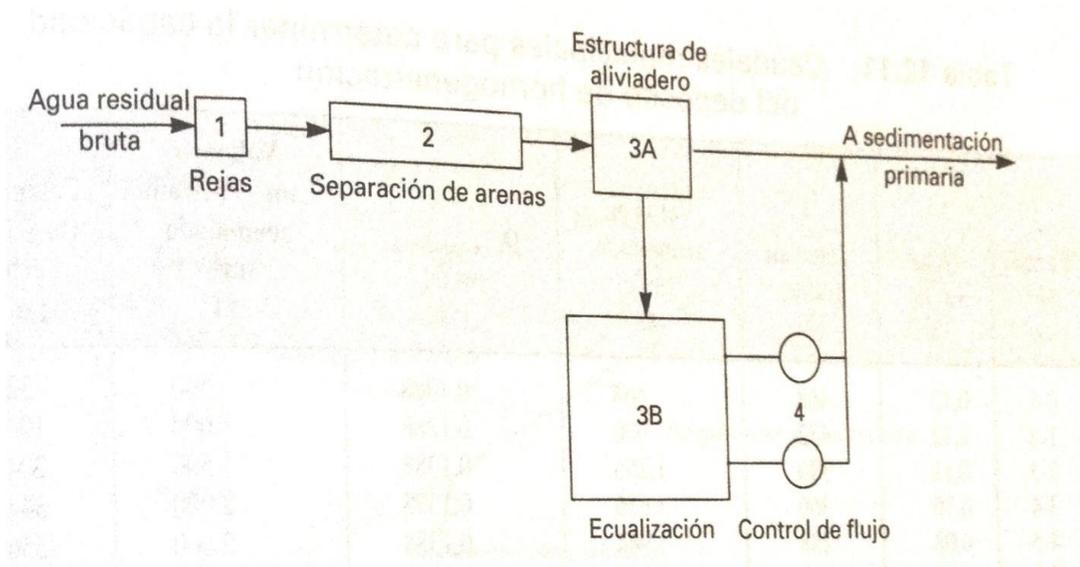


Figura 4. Homogeneización en paralelo. Fuente: G. Kiely (adaptado de ASCE y WEF,1991)



TRATAMIENTO PRIMARIO

Este tratamiento también recibe el nombre de decantación, clarificación o sedimentación en el cual durante un periodo cercano a 2 horas se deja decantar el agua en un tanque de decantación para así obtener un efluente líquido clarificado en una línea y en una segunda línea un lodo en estado líquido-sólido al cual se le llama lodo primario. (G.Kiely, 1999, p.702)

Al lograr separar los sólidos y producir el lodo primario se tiene un efluente líquido mejorado para la siguiente etapa de tratamiento de agua residual, es decir el tratamiento secundario biológico. (G.Kiely, 1999, p.703)

(G.Kiely, 1999, p.703) Dentro de los beneficios que proporciona el tratamiento primario se cuenta con:

- ✓ Disminución de la DBO5.
- ✓ Disminución de los sólidos suspendidos totales.
- ✓ Menor cantidad de lodos activados en la planta de lodos activados

- ✓ Homogeneización parcial de la cantidad de materia orgánica y de los caudales.

Se estima que un buen diseño y funcionamiento del sedimentador primario debería reducir la DBO5 de un 25% al 40% y los sólidos suspendidos totales de un 50% al 70%. (Crites y Tchobanoglous, 2000, p.300)

Es común que los sedimentadores primarios no se incluyan en el diseño de plantas de tratamiento pequeñas. (Crites y Tchobanoglous, 2000, p.300)

Los sedimentadores o decantadores pueden ser circulares, cuadrados y rectangulares. Pueden tener un fondo con pendiente o totalmente horizontal y el tiempo de retención de diseño mas común es de 2 horas, pero el mismo puede ser desde 20 minutos hasta 3 horas. (G.Kiely, 1999, p.703)

Tanques sedimentadores circulares

En ellos el flujo es radial y el agua residual entra al tanque por el centro o de forma perimetral. (Crites y Tchobanoglous, 2000, p.302)

Tanques de sedimentación circulares con alimentación central: en ellos el agua se transporta mediante una tubería suspendida de un puente o una tubería revestida en concreto debajo de la solera hasta llegar al centro del sedimentador. (Crites y Tchobanoglous, 2000, p.302). En el centro del sedimentador hay un vertedero circular cuyo diámetro es aproximadamente de un 15% a un 20% del diámetro exterior del tanque. (Crites y Tchobanoglous, 2000, p.302).

Este tipo de tanques cuentan con un sistema de dos y cuatro brazos que van girando despacio equipados con barredores de fondo para remover los lodos y cuchillas superficiales para retirar la espuma. (Crites y Tchobanoglous, 2000, p.302).

Figura 5. Esquema de un tanque sedimentador circular con alimentación central. Fuente: Crites y Tchobanoglous.

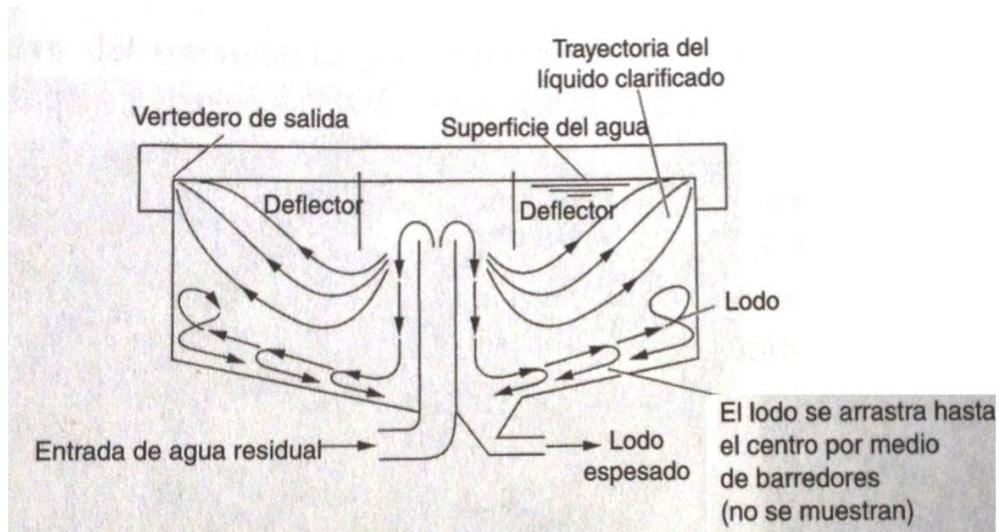
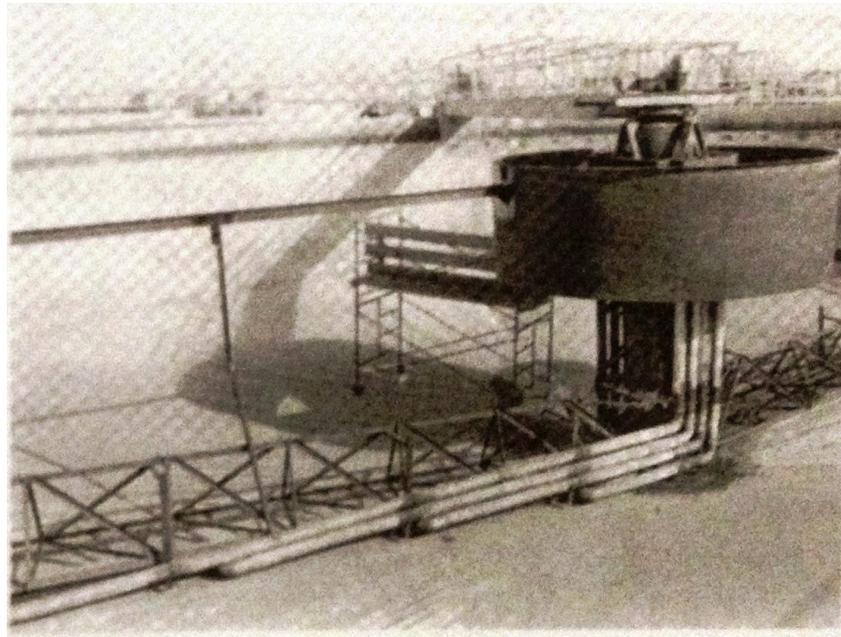


Figura 6. Tanque con sedimentador circular con alimentación central con barredores de fondo. Fuente: Crites y Tchobanoglous.



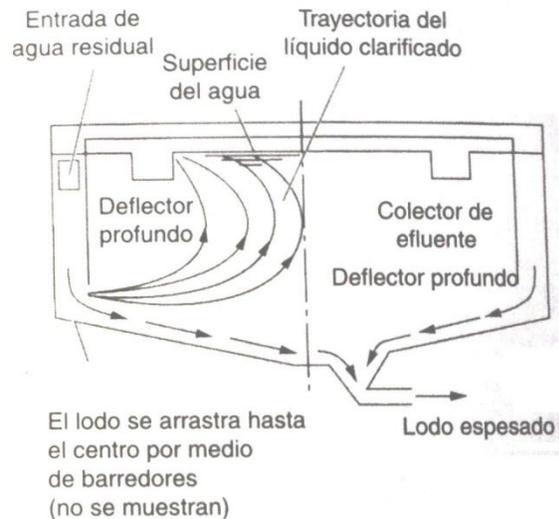
Figura 7. Tanque de sedimentación con alimentación central con puntos de drenaje por succión parecidos a los que se emplean en tanques de lodos activados. Fuente: Crites y Tchobanoglous.



Tanques de sedimentación circulares con alimentación perimetral: poseen un deflector circular suspendido de la pared del tanque; como el espacio entre el deflector y la pared es estrecho se forma un espacio anular por donde el agua se descarga en dirección tangencial. (Crites y Tchobanoglous, 2000, p.302)

El agua corre alrededor del tanque en forma de espiral y pasa debajo del deflector, mientras que el agua clarificada pasa por unos vertederos colocados a los lados de un canal situado en la parte central. Las capas de espuma y grasa quedan atrapadas en la superficie del espacio anular. (Fuente: Crites y Tchobanoglous, 2000, p.303)

Figura 8. Esquema de un tanque circular de sedimentación circular con alimentación perimetral. Fuente: Crites y Tchobanoglous.



Tanques de Sedimentación Rectangulares

En ellos el flujo es horizontal; cuentan con sistemas de recolección de lodos sedimentados tales como barredores con cadenas o de puente móvil. (Crites y Tchobanoglous, 2000, p.301)

Los sistemas con barredores arrastran los lodos sedimentados hasta unos pozos diseñados para éstos a diferencia de las grandes plantas de tratamiento (con una carga igual o mayor de 0.75 Mgal/día equivalentes a aproximadamente 2835m³/día) en las cuales los lodos son arrastrados a unos canales de fondo transversales que tienen colectores transversales con cadenas o tornillo que llevan los lodos hasta uno o más pozos diseñados para recibir los lodos sedimentados. (Crites y Tchobanoglous, 2000, p.301)

En los sistemas de puente móvil, el mecanismo es muy parecido al de los sistemas con barredores pero en vez de tener barredores tienen una o más cuchillas que cuelgan del puente. (Crites y Tchobanoglous, 2000, p.301)

Conviene tener instaladas estaciones de bombeo cerca de los pozos que recogen los lodos que se ubican por lo general a un extremo del tanque. (Crites y Tchobanoglous, 2000, p.301)

Para el diseño de la distribución del caudal de entrada al tanque rectangular de sedimentación se pueden tener los siguientes diseños:

- ✓ Canales que sean del mismo ancho del sedimentador con vertederos de entrada.
- ✓ Canales de entrada que tengan orificios sumergidos.
- ✓ Canales de entrada con compuertas y deflectores que resultan muy útiles para disminuir una velocidad de ingreso alta.

Figura 9. Tanque rectangular de sedimentación con sistema de recolección de lodos barreadores con cadena. (Fuente: Crites y Tchobanoglous)

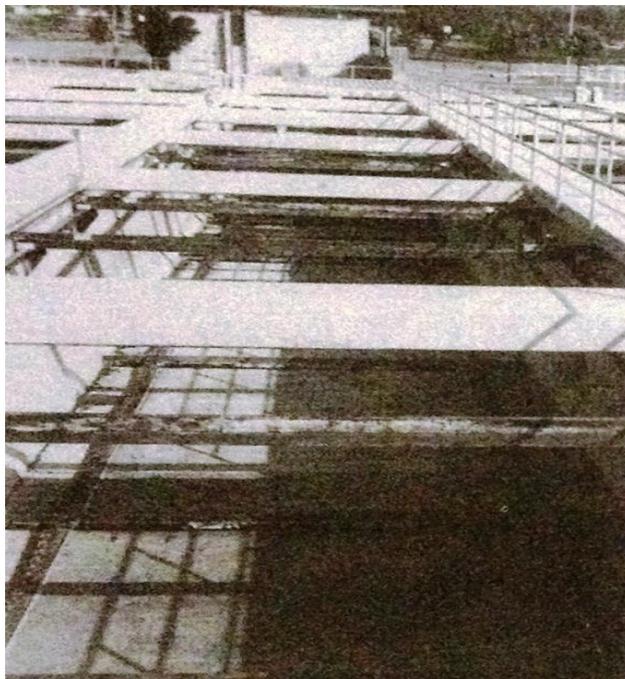
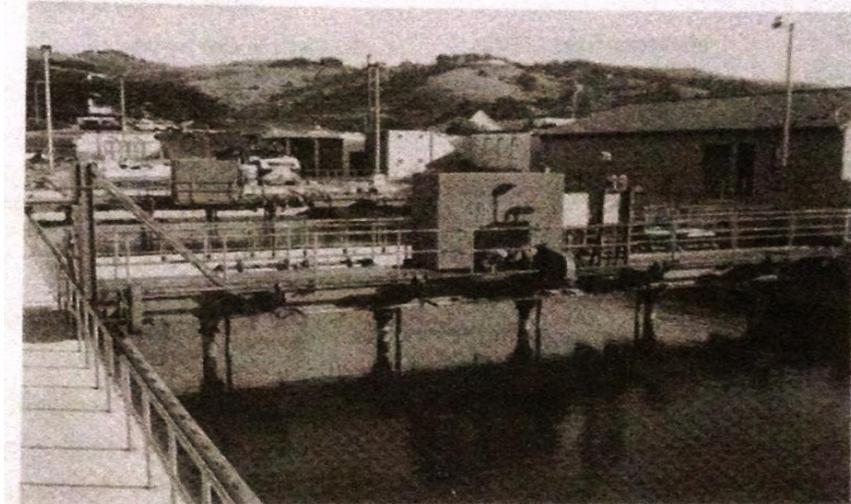


Figura 10. Tanque rectangular de sedimentación con sistema recolector de puente móvil. Fuente: Crites y Tchobanoglous



Rendimiento del proceso de decantación o sedimentación primaria

Según AWWA (1992) "Los fondos empleados en el tratamiento primario frecuentemente proporcionan el mayor retorno de la inversión en términos de dólares por kg de contaminante separado." (G.Kiely, 1999, p.704)

(G.Kiely, 1999,p.704) Los criterios típicos que han venido utilizando a la hora de concebir el diseño del tanque donde ocurra un proceso de sedimentación o decantación primaria son:

- ✓ Profundidad
- ✓ Geometría Superficial
- ✓ Tiempo de retención hidráulica
- ✓ Velocidad ascensional (carga superficial $m^3/día/m^2$)
- ✓ Carga sobre el vertedero ($m^3/día/m$)

Estos son criterios físicos útiles para el diseño pero no suministran información del proceso de operación y rendimiento en el tanque de sedimentación.

(G.Kiely, 1999,p.705) Para obtener información del rendimiento se establecieron parámetros llamados "criterios de rendimiento" que incluyen los siguientes:

- ✓ Caudales de afluente (entrada) y su variación diaria.
- ✓ Tasas de carga contaminante en el efluente (caudal de salida) y su variación.
- ✓ Corrientes de afluente recirculadas de los lodos activados o sépticos, sobredrenantes de la deshidratación de los lodos y aguas de lavado de procesos de filtrado terciario.

Sin embargo éstos criterios pueden variar mucho y tener valores picos superiores al promedio diario; puede darse que existan valores picos que multipliquen varias veces al valor promedio diario; esto puede ocurrir tanto para los valores de los caudales como para las cargas contaminantes y sus respectivas variaciones. (G. Kiely, 1999, p.705)

Como consecuencia de las variaciones, el rendimiento del proceso de sedimentación primaria no puede depender únicamente de los valores de caudales diarios, cargas contaminantes y sus variaciones. (G. Kiely, 1999, p.705)

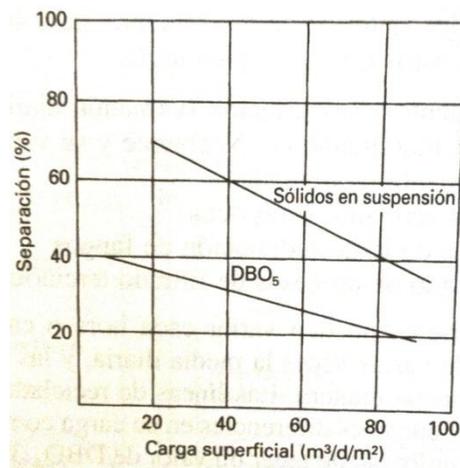
El rendimiento de un sedimentador primario puede verse afectado cuando el diseño original ha sido sobredimensionado en relación al caudal teniendo así tiempos de retención hidráulica mayores a 2 horas e inclusive que multipliquen varias veces este valor. (G. Kiely, 1999, p.705)

Un exceso de tiempo de retención hidráulica no permite el proceso de mezcla en el tanque de sedimentación, por lo que se origina la septicidad. (G. Kiely, 1999, p.705)

Cuando se tienen tiempos de retención altos y se extraen los lodos de manera poco frecuente se considera que se tiene un sistema de operación y mantenimiento deficiente. (G. Kiely, 1999, p.705)

Para el diseño de un tanque de sedimentación primaria se pueden utilizar la Figura 11, así como también las siguientes ecuaciones:

Figura 11. Velocidad de sedimentación y porcentaje de eliminación. Fuente: G. Kiely. (adaptado de Mc Ghee, 1991)



$$\text{Area superficial necesaria} = \frac{\text{Caudal}}{\text{velocidad de sedimentación}} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Asumiendo el tanque es circular, se calcula el volumen del tanque, de la misma forma que se calcula el volumen de un cilindro

$$\text{Volumen cilindro} = \text{Area superficial de la base} \times \text{altura} \quad (\text{Ecuación 9})$$

(G. Kiely, 1999, p.705)

Se utiliza la siguiente ecuación para calcular el tiempo de retención hidráulica:

$$\textit{Tiempo de retención hidráulica} = \frac{\textit{Volumen}}{\textit{Caudal}} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Para calcular la velocidad de carga superficial en el tanque de sedimentación cuando se considera un factor de punta, se emplea la siguiente ecuación:

$$\textit{Velocidad de carga superficial} = \frac{\textit{factor de punta} \times \textit{Caudal}}{\textit{Volumen del tanque de sedimentación}} \quad (\text{Ecuación 11})$$

(G. Kiely, 1999, p.706)

Sedimentación primaria mejorada mediante aditivos químicos

En algunas plantas de tratamiento antes de la sedimentación o decantación primaria se añaden coagulantes tales como la cal, aluminio, y sales de hierro para provocar la floculación de las partículas finas suspendidas y convertirlas en flóculos que son más propensos a decantarse o sedimentarse. (G. Kiely, 1999, p.706)

Este proceso puede aumentar de manera significativa el rendimiento de las tasas de disminución de sólidos suspendidos totales y DBO₅. (G. Kiely, 1999, p.706)

En la tabla 8 puede observarse una comparación del rendimiento del proceso de sedimentación con y sin el uso de coagulantes. (G. Kiely, 1999, p.707)

Tabla 8. Comparación de los rendimientos de separación de contaminantes en la decantación primaria con y sin coagulación. (Fuente: G. Kiely, 1999, p.707)

Parámetros	Rendimiento la eliminación en la decantación primaria Con coagulante (%)	Rendimiento de la eliminación en la decantación primaria Sin coagulante (%)
SST	60-90	40-70
DBO5	40-70	25-40
DQO	30-60	20-30
PT (fósforo total)	70-90	5-10
Bacterias	80-90	50-60

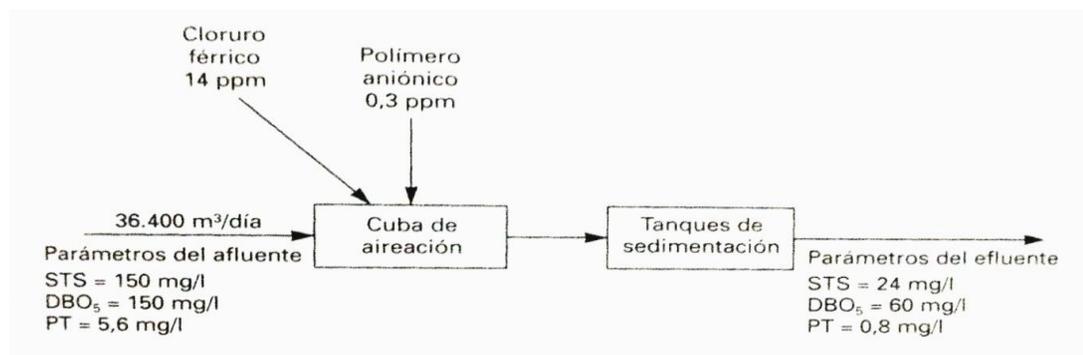
Adaptado de Harleman, 1991.

En Escandinavia, se pueden encontrar varias plantas de tratamiento cuyo proceso se basa en una aireación antes de que el afluente llegue al tanque de sedimentación primaria conjuntamente con adición de coagulante seguido de un tanque de sedimentación primaria. En éstas plantas no se emplea el uso de un tratamiento secundario de tipo biológico. (G.Kiely,1999, p.707)

En Europa Occidental y Estados unidos resulta poco común este tipo de procesos, sin embargo "este proceso puede ser tomado en cuenta para mejorar plantas ya existentes en las cuales el espacio y costos pueden ser condicionantes" (G.Kiely, 1999, p.708)

Figura 12. Instalaciones de tratamiento de aguas residuales en Ontario, Canadá. Fuente: G. Kiely. (adaptado de Harleman, 1991

Mezcla



(Crites y Tchobanoglous, 2000, p.260) El proceso de mezcla en una planta de tratamiento de aguas residuales persigue objetivos tales como:

- ✓ Garantizar que se mezclen de forma completa los aditivos químicos con el agua residual.
- ✓ Dar lugar al proceso de floculación.
- ✓ Obtener una mezcla homogénea en reactores y tanques de almacenamiento

Para casos como el de un proceso de lodos activados "el contenido del tanque de aireación se debe mezclar para que los microorganismos estén en contacto en forma homogénea con el aire u oxígeno puro suministrado". (Crites y Tchobanoglous, 2000, p.260)

Usualmente se recurre a difusores de aire para satisfacer el oxígeno requerido y garantizar el proceso de mezcla, también suelen utilizarse aireadores mecánicos de turbina. (Crites y Tchobanoglous, 2000, p.260)

(Crites y Tchobanoglous, 2000, p.260) La mezcla se puede efectuar de varias formas, entre ellas se tienen:

1. El Resalto hidráulico en canales abiertos.
2. Uso de dispositivos Vénturi.
3. Por medio de tuberías.
4. A través del bombeo.
5. Uso de mezcladores estáticos.
6. Uso de mezcladores mecánicos.

Cuando los equipos mezcladores son utilizados para mezclar aditivos químicos tales como el cloro; no pueden ser considerados como parte del proceso de tratamiento primario; sino como parte del tratamiento avanzado o

terciario en la línea que sigue un proceso de tratamiento típico de aguas residuales.

Mezcladores de turbina y hélice: los mezcladores de este tipo que tienen impulsores pequeños pueden trabajar a altas velocidades, generando así una buena mezcla de pequeñas cantidades de aditivos químicos o gases en las aguas residuales; se puede apreciar el esquema de un mezclador de este tipo en la figura 13 (a). (Crites y Tchobanoglous, 2000, p.260).

Los mezcladores que no trabajan a altas velocidades se recomiendan para el proceso de floculación o mezclar dos líquidos. (Crites y Tchobanoglous, 2000, p.260).

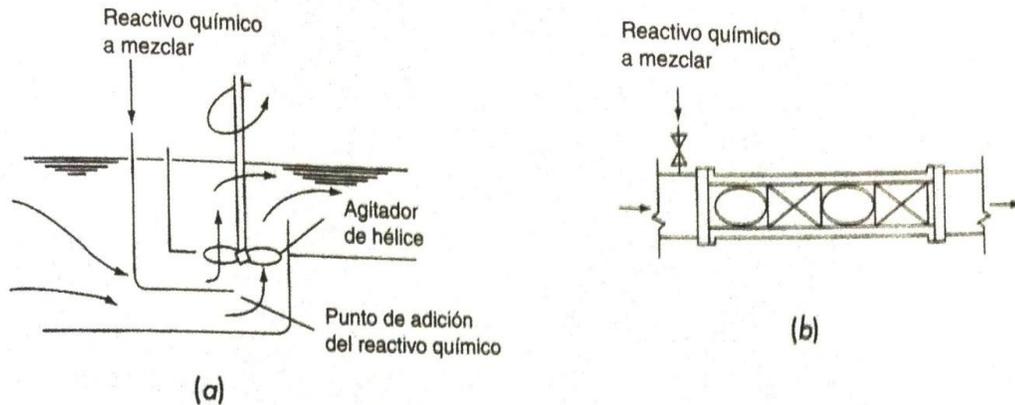
Mezcladores de alta velocidad: se han diseñado mezcladores de alta velocidad que proporcionan una excelente mezcla para una gran gama de aditivos químicos. El "WaterChamp" se utiliza para mezclar el cloro y cuenta con una velocidad de 3450 revoluciones por minuto; el equipo es un claro ejemplo de este tipo de mezcladores de alta velocidad. (Crites y Tchobanoglous, 2000, p.260)

El "WaterChamp" tiene un "impulsor abierto acoplado a un motor, el cual crea un vacío en la parte superior del impulsor" este vacío promueve la mezcla de los aditivos químicos de forma directa en el tanque de almacenamiento sin ningún tipo de dilución. (Crites y Tchobanoglous, 2000, p.260)

Mezcladores estáticos: se utilizan con frecuencia para mezclar aditivos químicos con el agua residual. Estos mezcladores se encuentran conectados en línea y tienen tabiques internos que generan cambios abruptos en la velocidad del fluido, se puede observar un esquema de éste tipo de mezcladores en la figura 13 (b). (Crites y Tchobanoglous, 2000, p.260)

Otra variación de este tipo de mezcladores consiste en canales con deflectores inferiores y superiores. (Crites y Tchobanoglous, 2000, p.260)

Figura 13. Equipos utilizados para la mezcla de reactivos químicos en agua residual durante tiempos iguales o menores a 1 segundo: (a) agitador de



hélice en canal abierto , (b) mezclador estático en línea para tuberías. Fuente: Crites y Tchobanoglous.

Mezcladores de paletas: suelen recomendarse para ser utilizados en el proceso de floculación; cuando en éste se emplea la adición de coagulantes. Las paletas giran a baja velocidad por lo que el líquido rota y se facilita en la mezcla provocando así la floculación. (Crites y Tchobanoglous, 2000, p.261)

Figura 14. Mezclador de paletas típico usado para floculación. Fuente: Crites y Tchobanoglous.



Mezcla neumática: en este tipo de mezcla se busca generar turbulencia y que se formen burbujas de gas en el tanque de mezcla o en la cuba o tanque

de aireación en el proceso de lodos activados para mantener bien mezclado el fluido dentro del tanque. (Crites y Tchobanoglous, 2000, p.261)

Esta turbulencia se genera inyectando aire u oxígeno en el fondo del tanque de mezcla o tanque de aireación. (Crites y Tchobanoglous, 2000, p.261)

TRATAMIENTO SECUNDARIO O TRATAMIENTO BIOLÓGICO

La cantidad de sólidos suspendidos totales se reduce en una buena medida mediante el tratamiento primario; sin embargo no ocurre lo mismo con la DBO5. (G. Kiely, 1999, p.710)

Con el tratamiento secundario se busca la degradación biológica de la materia orgánica para convertirla en productos que no sean contaminantes tales como agua, dióxido de carbono y "biomasa" (lodos). (G. Kiely, 1999, p.710)

El efluente de agua que se obtiene del tratamiento secundario debe ser estable y encontrarse bien oxigenado para prevenir que actúe como "fuente de alimento para bacterias aerobias en el medio receptor". (G. Kiely, 1999, p.710)

La descarga al medio receptor debe llevar mínima o ninguna eliminación de la cantidad de oxígeno disuelto por acción de las bacterias. (G. Kiely, 1999, p.710)

La Agencia de Protección ambiental de los Estados Unidos (U. S. Environmental Protection Agency) estableció unos requisitos mínimos esperados para el tratamiento secundario los cuales pueden observarse en la Tabla 9.

En la Tabla 10 se encuentran algunas definiciones útiles en relación con el tratamiento de las aguas residuales y en la Tabla 11, se pueden ver

resumidos los usos y nombres comunes que reciben principales procesos de tratamiento biológico utilizados en el tratamiento de aguas residuales clasificados de acuerdo a su tipo como procesos aerobios, anaerobios, anóxicos, combinados o en lagunas.

Tabla 9. Requisitos mínimos a nivel nacional para el tratamiento secundario

Fuente: Metcalf & Eddy.

Características del vertido	Unidad de medida	Concentración media en 30 días	Concentración media en 7 días
DBO₅	mg/l	30 ^{c, d}	45 ^c
Sólidos suspendidos	mg/l	30 ^{c, d}	45 ^c
Concentración del ión Hidrogeno	Unidades de pH	Siempre debe mantenerse dentro del intervalo entre 6,0 y 9,0	mantenerse dentro del intervalo entre 6,0 y 9,0 ^e
DBO₅^f carbonosa	mg/l	25 ^{c, d}	40 ^c

^a [Federal Register: «Secondary Treatment Regulation», 40 CFR Part 133, 1 de julio de 1988 y Federal Register: «Amendment to the Secondary Treatment Regulations: Percent Removal Requirements During Dry Weather Periods for Treatment Works combined Sewers», 40 CFR Part 133, 27 de enero de 1989]

^b Las limitaciones actuales permiten, para filtros percoladores y las lagunas de estabilización concentraciones en períodos de 30 días y de 7 días más elevadas que las indicadas (45 y 65 mg/l de DBO y sólidos en suspensión), siempre y cuando la calidad de las aguas receptoras no se vea afectada negativamente. También existen excepciones para las redes de alcantarillado unitario, algunas categorías industriales, y aguas residuales menos concentradas provenientes de redes de alcantarillado separativas.

^c No se deben exceder.

^d El porcentaje de eliminación medio no debe ser inferior al 85%

^e Sólo se aplica en casos de adición de productos químicos inorgánicos de la planta o por su presencia en aguas residuales industriales.

^f La NPDES (National Pollutant Discharge Elimination System) tiene autoridad para permitir que se sustituya por la DBO₅.

Tabla 10. Algunas definiciones útiles en relación con el tratamiento de las aguas residuales. Fuente: Crites y Tchobanoglous.

Término	Definición
Procesos aerobios	Procesos en el tratamiento biológico que ocurren en presencia de oxígeno
Procesos anaerobios	Procesos en el tratamiento biológico que ocurren en ausencia de oxígeno
Proceso anóxico	El proceso por medio del cual el nitrógeno de los nitratos se convierte biológicamente en nitrógeno gaseoso en ausencia de oxígeno. Este proceso se conoce también como denitrificación anóxica
Procesos facultativos	Procesos de tratamiento biológico en los cuales los organismos pueden actuar en presencia de oxígeno molecular
Procesos híbridos (combinados)	Combinaciones diferentes de procesos aerobios, anaerobios y anóxicos agrupados con el fin de conseguir un objetivo particular
Procesos con película bacterial adherida	Procesos de tratamiento biológico en los cuales los microorganismos, que son responsables de la transformación de la materia

	<p>orgánica o de otros constituyentes de las aguas residuales en gases y tejidos celulares, se encuentran adheridos a un medio inerte como rocas, desechos o cerámica especialmente diseñada y materiales plásticos.</p> <p>Los procesos con película bacteriana fija se conocen también como procesos de película fija</p>
Remoción de nutrientes biológicos	El término aplicado a la remoción del nitrógeno y del fósforo en los procesos de tratamiento biológico
Remoción de la DBO carbonácea	La conversión de la materia orgánica carbonácea de las aguas residuales en tejido celular y varios productos finales gaseosos. En la conversión se supone que el nitrógeno presente en los diferentes compuestos se convierte en amoníaco
Denitrificación	Proceso biológico por medio del cual el nitrato se convierte en nitrógeno y otros productos gaseosos finales
Procesos híbridos	Término usado para describir procesos combinados por ejemplo procesos combinados de crecimiento en suspensión y de película adherida
Procesos en lagunas	Término genérico aplicado a procesos de tratamiento que se llevan a cabo en estanques o lagunas de diferentes formas o profundidades
Nitrificación	Proceso biológico de dos etapas por medio del cual el amoníaco se convierte primero en nitrito y luego en nitrato

<p>Estabilización</p>	<p>Proceso biológico por medio del cual se estabiliza la materia orgánica, presente en los lodos producidos en la sedimentación primaria y el tratamiento biológico, generalmente por la conversión en gases y en tejido celular. Dependiendo de si la estabilización se lleva a cabo bajo condiciones aerobias o anaerobias, el proceso se conoce como digestión aerobia o digestión anaerobia</p>
<p>Sustrato</p>	<p>Término utilizado para indicar la materia orgánica a los nutrientes que se transforman durante los tratamientos biológicos, o aquella que puede ser limitante en dichos tratamientos. Por ejemplo la materia orgánica carbonácea de las aguas residuales se considera como el sustrato que se transforma durante el tratamiento biológico.</p>
<p>Procesos de crecimiento en suspensión</p>	<p>Procesos de tratamiento biológico en los cuales los microorganismos responsables de la conversión de materia orgánica o de otros constituyentes de las aguas residuales en gases y tejido celular se mantienen suspendidos dentro del líquido.</p>

Tabla 11. Principales procesos de tratamiento biológico utilizados en el tratamiento de aguas residuales. Fuente: Crites y Tchobanoglous.

Tipo	Nombre Común	Uso*
Procesos aerobios:		
Crecimiento en suspensión	Procesos de lodos activados	Remoción de la DBO carbonácea, nitrificación
	Lagunas aireadas	Remoción de la DBO carbonácea, nitrificación
	Digestión aerobia	Estabilización, remoción de la DBO carbonácea
Película bacteriana adherida	Filtros percoladores	
	Sistemas biológicos de contacto rotatorios	Remoción de la DBO carbonácea, nitrificación
	Reactor de lecho empacado	Remoción de la DBO carbonácea, nitrificación
Híbrido (combinación) procesos de crecimiento en suspensión y de partícula bacteriana adherida	Filtros percoladores/lodo activado	Remoción de la DBO carbonácea, (nitrificación)
	Humedales artificiales	Remoción de la DBO carbonácea, nitrificación
		Remoción de la DBO carbonácea, (nitrificación)

Procesos anóxicos:		
Crecimiento en suspensión	Denitrificación por crecimiento en suspensión	Denitrificación
Película bacterial adherida	Denitrificación por partícula fija	Denitrificación
Procesos anaerobios:		
Crecimiento en suspensión	Procesos de contacto anaerobio	Remoción de la DBO carbonácea, nitrificación
	Digestión anaerobia	Estabilización, remoción de la DBO carbonácea
Película bacterial Adherida	Lecho anaerobio fijo	Remoción de la DBO carbonácea, estabilización de desechos
Híbrido	Proceso anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente	Remoción de la DBO carbonácea, especialmente de desechos muy concentrados
	Reactor de manto de lodos/ reactor del lecho fijo	Remoción de la DBO carbonácea
Procesos aerobios, anóxicos y anaerobios combinados		Remoción de la DBO carbonácea,
Crecimiento en suspensión	Procesos simples o de múltiples etapas, diferentes procesos	nitrificación, denitrificación y

	propios	remoción de fósforo
Crecimiento combinado en suspensión y partícula bacterial adherida	Procesos simples o de múltiples etapas	Remoción de la DBO carbonácea, nitrificación, denitrificación y remoción de fósforo
Procesos en lagunas		
Lagunas aerobias	Lagunas aerobias	Remoción de la DBO carbonácea
Lagunas de maduración (terciarias)	Lagunas de maduración (terciarias)	Remoción de la DBO carbonácea (nitrificación)
Lagunas facultativas	Lagunas facultativas	Remoción de la DBO carbonácea
Lagunas anaerobias	Lagunas anaerobias	Remoción de la DBO carbonácea (estabilización de desechos)

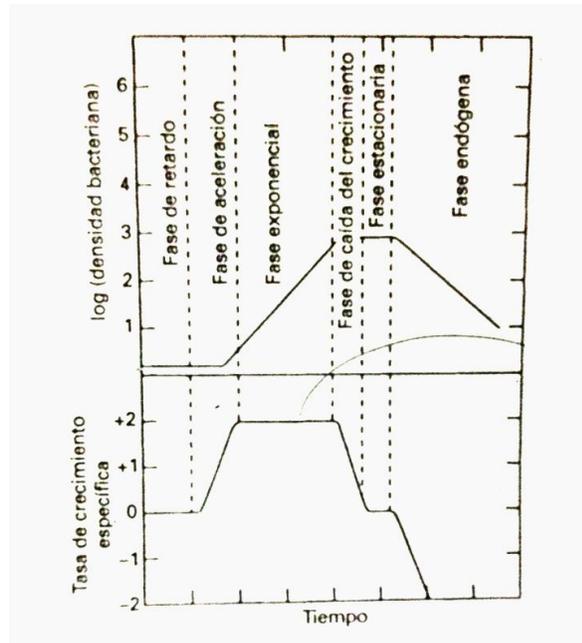
*Los usos principales aparecen primero, los demás se muestran entre paréntesis.

Crecimiento Bacteriano en cultivos puros

La población de bacterias (como por ejemplo la que se tiene en un reactor biológico) es expresada por número de células (N) por unidad de volumen o también por la masa de células (M) por unidad de volumen. (G.Kiely, 1999, p.712)

En la Figura 15. Se tiene un esquema de la curva de crecimiento para un cultivo celular bacteriano típico.

Figura 15. Curvas de crecimiento características para cultivos de microorganismos. Fuente: G. Kiely (adaptado de Monod, 1949).



"Las bacterias se reproducen por fisión binaria y la denominada tasa de regeneración o tiempo de duplicación es un parámetro importante" (G. Kiely, 1999, p. 712)

Este tiempo de duplicación o tasa de regeneración varía en función de la posición en la curva de crecimiento bacteriano típico. (G. Kiely, 1999, p.712)

La curva de crecimiento bacteriano sigue las siguientes fases:

- Fase de retardo: durante esta fase "no hay crecimiento debido a que los microorganismos se aclimatan al nuevo medio" (G. Kiely, 1999, p.712)
- Fase de aceleración: esta fase se consideran aún como un "período de aclimatación" el cual puede durar un máximo de 6 semanas en el caso particular de aguas residuales industriales que contengan en ellas desechos tóxicos. (G. Kiely, 1999, p.712)

- Fase exponencial: en esta fase es "donde las bacterias se reproducen a sus tiempos de regeneración óptimos". (G. Kiely, 1999, p.712).
Este tiempo de regeneración por lo general se encuentra en un rango de 20 a 60 minutos; bajo ciertas condiciones ambientales que se consideran como extraordinarias podría ser de días, pero no es lo común. (G. Kiely, 1999, p.713)
- Fase estacionaria: durante esta fase la población permanece estacionaria, es decir no varía ya que se igualan las tasas de mortalidad y crecimiento de bacterias. (G. Kiely, 1999, p.713)
"En este período el sustrato (alimento) está cada vez más limitado o agotado, o hay un déficit de nutrientes". (G. Kiely, 1999, p.713)
- Fase endógena: en esta fase "las bacterias sobreviven a partir de su propia energía y consumiendo las células ya muertas". (G. Kiely, 1999, p.713)
Durante esta fase aumenta la tasa de mortalidad de las bacterias debido al déficit de sustrato y por ende disminuye la población bacteriana. (G. Kiely, 1999, p.713)

En los sistemas de lodos activados se producen interrelaciones entre las distintas curvas de crecimiento de cada una de las especies de bacterias por lo que el crecimiento bacteriano resulta mucho más complejo de estudiar. (G.Kiely, 1999, p.713)

Como consecuencia de las interrelaciones entre curvas de crecimiento, en un sistema de lodos activados se tiene como objetivo "retener la población mixta dentro de los límites deseables en sus curvas de crecimiento para conseguir un rendimiento óptimo". (G. Kiely, 1999, p.713)

Cinética del crecimiento bacteriano

El crecimiento bacteriano también se le conoce como crecimiento biológico y para que este ocurra es necesario tener ciertas condiciones ambientales.

Estas condiciones ambientales pueden ser controladas mediante la regulación del pH, regulación de la temperatura, adición de nutrientes, adición de oxígeno o por medio de un proceso de mezcla completa adecuada en el medio. (Metcalf & Eddy, 1995, p.421)

Asumiendo que se cuentan con unas condiciones ambientales controladas como es debido, se podría garantizar una estabilización eficaz por medio del control de la tasa de crecimiento de microorganismos. (Metcalf & Eddy, 1995, p.421)

Crecimiento celular

La tasa de crecimiento de las células bacterianas puede ser definida por medio de la siguiente expresión:

$$r_g = \mu X \text{ (Ecuación 12)}$$

Donde,

r_g = tasa de crecimiento bacteriano, masa/volumen unitario x tiempo

μ = tasa de crecimiento específico, tiempo⁻¹

X = concentración de microorganismos, masa/volumen unitario

Como se consideran los cultivos como cultivos de alimentación discontinua, es decir $dX/dt = r_g$, la siguiente relación también es válida:

$$\frac{dX}{dt} = \mu X \text{ (Ecuación 13)}$$

Crecimiento con limitación de sustrato

En cultivos de alimentación discontinua, es decir cultivos mixtos tales como ocurre con los cultivos de bacterias presentes en los sistemas de lodos activados; para que se pueda dar el crecimiento bacteriano el sustrato tiene que estar en una cantidad limitada. (Metcalf & Eddy, 1995, p.422)

(G. Kiely, 1999, p. 715) Mediante experimentos Monod en el año 1949, determino el efecto cuando se dispone de una cantidad de sustrato limitada y lo definió por medio de la siguiente ecuación:

$$\mu = \mu_m \frac{S}{K_s + S} \text{ (Ecuación 14)}$$

Donde:

μ = tasa de crecimiento específico, tiempo⁻¹

μ_m = máxima tasa de crecimiento específico, tiempo⁻¹

S = concentración del sustrato que limita el crecimiento, masa/unidad de volumen

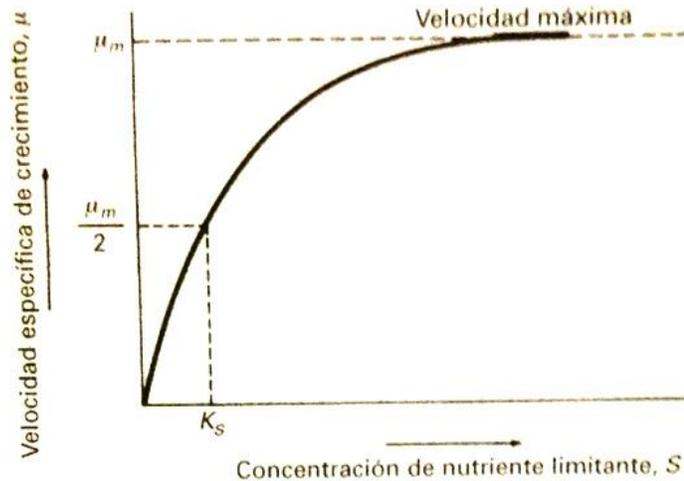
K_s = constante de velocidad media, concentración del sustrato a la mitad de la máxima tasa de crecimiento como se aprecia en la Figura 14, masa/unidad de volumen.

Sustituyendo en la Ecuación 12 el valor de la Ecuación 14, la expresión de la tasa de crecimiento nos queda de la siguiente forma:

$$r_g = \frac{\mu_m X S}{K_s + S} \text{ (Ecuación 15)}$$

Los efectos de la concentración de sustrato sobre la tasa de crecimiento específico pueden apreciarse en la Figura 16.

Figura 16. Gráfico representativo de los efectos de un nutriente limitante sobre la velocidad específica de crecimiento. Fuente: Metcalf & Eddy.



Crecimiento celular y utilización del sustrato

En el proceso de crecimiento bacteriano, una parte del sustrato se transforma en nuevas células y otra parte se oxida produciendo así productos inorgánicos y orgánicos. (Metcalf & Eddy, 1995, p.423)

Mediante la observación del proceso de células nuevas a partir de una cantidad de sustrato dado; se estableció una relación entre el grado de utilización del sustrato y la tasa de crecimiento; esta relación se define mediante la siguiente expresión:

$$r_g = -Y r_{su} \text{ (Ecuación 16)}$$

Donde:

r_g = tasa de crecimiento bacteriano, masa/unidad de volumen

Y = coeficiente de producción máxima medido durante cualquier período finito de la fase de crecimiento exponencial, definido como la relación entre la masa de células formadas y la masa de sustrato consumido, masa/masa.

r_{su} = tasa de utilización de sustrato, masa/volumen x tiempo

Por medio de ensayos de laboratorio, se ha demostrado que la producción depende de diversos parámetros entre ellos encontramos el grado de polimerización del sustrato, el estado de oxidación de la fuente de carbono y de los elementos que actúan como nutrientes, las vías de metabolismo y la tasa de crecimiento. (Metcalf & Eddy, 1995, p.423)

Al sustituir el valor de r_g de la Ecuación 15 en la Ecuación 16, el grado de utilización de sustrato puede reescribirse así:

$$r_{su} = - \frac{\mu_m X S}{K_s + S} - K_d X \quad (\text{Ecuación 17})$$

En la Ecuación 17, el término μ_m/Y se sustituye por K , definido como la tasa máxima de utilización del sustrato por unidad de masa de microorganismos:

$$K = \frac{\mu_m}{Y} \quad (\text{Ecuación 18})$$

Cuando se sustituye el término K por el término μ_m/Y en la Ecuación 17, nos queda la siguiente expresión:

$$r_{su} = - \frac{k X S}{K_s + S} \quad (\text{Ecuación 19})$$

Efectos del metabolismo endógeno

Como se ha mencionado anteriormente, en los sistemas que se utilizan para el tratamiento de agua residual por medio de procesos biológicos, ocurre que no todas las células bacterianas se encuentran en fase de crecimiento exponencial al mismo tiempo. (Metcalf & Eddy, 1995, p.424)

Es por ello que se emplea una consideración denominada descomposición endógena, en esta se consideran factores como la muerte y depredación de las diferentes bacterias. (Metcalf & Eddy, 1995, p.424)

El término de la descomposición endógena puede expresarse de la siguiente forma:

$$r_d(\text{descomposición endógena}) = -k_d X \text{ (Ecuación 20)}$$

Donde:

k_d = coeficiente de descomposición endógena, tiempo⁻¹

X = concentración de células, masa/unidad de volumen

Cuando la Ecuación se combina con las Ecuaciones 15 y 16, se obtienen las siguientes expresiones para la tasa neta de crecimiento:

$$r'_g = \frac{\mu_m X S}{K_s + S} - K_d X \text{ (Ecuación 21)}$$

$$r'_g = -Y r_{su} - K_d X \text{ (Ecuación 22)}$$

Donde:

r'_g = tasa neta de crecimiento bacteriano, masa/unidad de volumen.

La expresión que corresponde a la tasa neta de crecimiento específico viene dada por la siguiente ecuación:

$$\mu' = \mu_m \frac{S}{K_s + S} - k_d \quad (\text{Ecuación 23})$$

Donde:

μ' = tasa neta de crecimiento específico, tiempo⁻¹

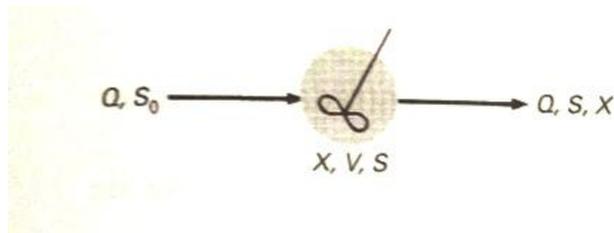
Los efectos de la respiración endógena sobre la producción neta de bacterias se establecen mediante la definición de una producción observada de bacterias, la cual se describe mediante la siguiente expresión:

$$Y_{obs} = - \frac{r'_g}{r_{su}} \quad (\text{Ecuación 24})$$

SISTEMA REACTOR DE MEZCLA COMPLETA SIN RECIRCULACIÓN

Este tipo de sistemas se caracterizan por ser procesos aerobios; es decir ocurren en un reactor biológico de mezcla completa aireado el cual no posee recirculación, tal como se aprecia en el esquema de la Figura 17.

Figura 17. Representación esquemática de un reactor de mezcla completa sin recirculación. Fuente: Metcalf & Eddy



El balance de masa de microorganismos y sustrato en sistema de mezcla completa sin recirculación puede describirse de la siguiente forma:

Si se obtiene la diferencia entre la cantidad de microorganismos que entran y sale de un sistema, y a ésta se le añade el crecimiento neto de microorganismos dentro del sistema, el producto resultado viene a ser la velocidad de acumulación del microorganismo en el sistema; lo cual se puede observar de forma simplificada en la Ecuación 25.

1. Planteamiento simplificado:

Acumulación = Entrada – Salida + crecimiento neto (Ecuación 25)

2. Representación simbólica:

$$\frac{dX}{dt} V_r = Q X_0 - QX + V_r r'_g \quad (\text{Ecuación 26})$$

Donde:

dX/dt = tasa de crecimiento de microorganismos medida en términos de masa (sólidos en suspensión volátiles), masa de SSV/unidad de volumen de tiempo.

V_r = Volumen del reactor

Q = caudal, volumen/tiempo.

X_0 = concentración de microorganismos en el efluente, masa de SSV/unidad de volumen tiempo.

X = concentración de microorganismos en el efluente, masa de SSV/unidad de volumen.

r'_g = tasa neta de crecimiento de microorganismos, masa de SSV/unidad de volumen x tiempo

En la Ecuación 26 y las ecuaciones que se derivan a partir de ella, se considera la masa biológica activa o biomasa como una fracción volátil de los sólidos suspendidos totales. (Metcalf & Eddy, 1995, p.428)

Si se sustituye el valor de r'_g de la Ecuación 21 en la Ecuación 26, se obtiene:

$$\frac{dX}{dt} V_r = QX_0 - QX + V_r \left(\frac{\mu_m X S}{K_s + S} - K_d X \right) \text{ (Ecuación 27)}$$

Donde:

S= concentración del sustrato en el efluente del reactor biológico, mg/l

Suponiendo que es posible despreciar la concentración de microorganismos en el efluente, y que prevalecen las condiciones estacionarias ($dX/dt = 0$), la Ecuación 27 se puede simplificar, y se tendría:

$$\frac{Q}{V_r} = \frac{1}{\theta} = \frac{\mu_m S}{K_s + S} - K_d \text{ (Ecuación 28)}$$

Donde:

θ = tiempo de retención hidráulica, V/Q.

En la Ecuación 28 , el término $1/\theta$ corresponde a la tasa de crecimiento específico y a su vez también corresponde a $1/\theta_c$, siendo θ_c el tiempo de retención media celular.

(Metcalf & Eddy, 1995, p.428) Dentro de un sistema de tratamiento de aguas residuales θ_c puede definirse como el cociente de la masa de microorganismos en el reactor biológico y la cantidad de masa de microorganismos que elimina el sistema en un día; el valor θ_c puede representarse por medio de la siguiente ecuación:

$$\theta_c = \frac{V_r X}{Q X} = \frac{V_r}{Q} \text{ (Ecuación 29)}$$

Al realizar un balance de sustrato correspondiente al balance de microorganismos de la ecuación 27, se tiene como resultado:

$$\frac{dS}{dt} V_r = QS_0 - QS + V_r \left(\frac{k X S}{K_s + S} \right) \quad (\text{Ecuación 30})$$

Simplificando al asumir condiciones estacionarias donde $dS/dt=0$, se tiene:

$$(S_0 - S) - \theta \left(\frac{k X S}{K_s + S} \right) \quad (\text{Ecuación 31})$$

En donde: $\theta = V_r / Q$.

Al resolver la Ecuación 28 para el término $S/(K + S)$ luego se sustituye la expresión resultante en la Ecuación 31 y se simplifica empleando la Ecuación 18, la concentración de microorganismos en el efluente, en condiciones estacionarias puede ser expresada de la siguiente forma:

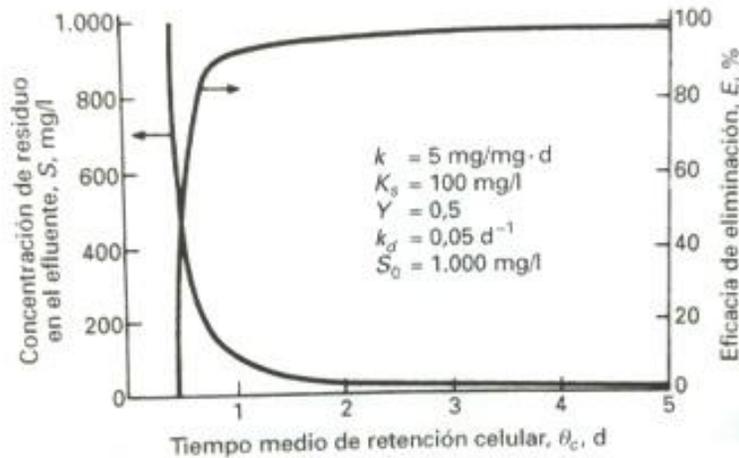
$$X = \frac{\mu_m (S_0 - S)}{k (1 + k_d \theta)} = \frac{Y (S_0 - S)}{(1 - k_d \theta)} \quad (\text{Ecuación 32})$$

Operando de igual forma, la concentración del sustrato en el efluente es:

$$S = \frac{k_s (1 + \theta k_d)}{\theta (Y k - k_d - 1)} \quad (\text{Ecuación 33})$$

Por lo tanto, se pueden utilizar las ecuaciones 32 y 33 para predecir la concentración de microorganismos y sustrato el efluente si se conocen los valores de los coeficientes cinéticos (Ver la Figura 18)

Figura 18. Concentración del residuo en el efluente y eficacia de eliminación respecto al tiempo medio de retención celular para un reactor de mezcla completa. ($\theta = \theta_c$). Fuente: Metcalf & Eddy.



Al sustituir el valor de X que se obtiene de la Ecuación 32 por el valor de r'_g de la Ecuación 24 y dividir por el término $(S_0 - S)$, que corresponde al valor de r_{su} , se obtiene la producción de biomasa observada Y_{obs} , que se expresa en la siguiente ecuación:

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + k_d \theta} \text{ (Ecuación 34)}$$

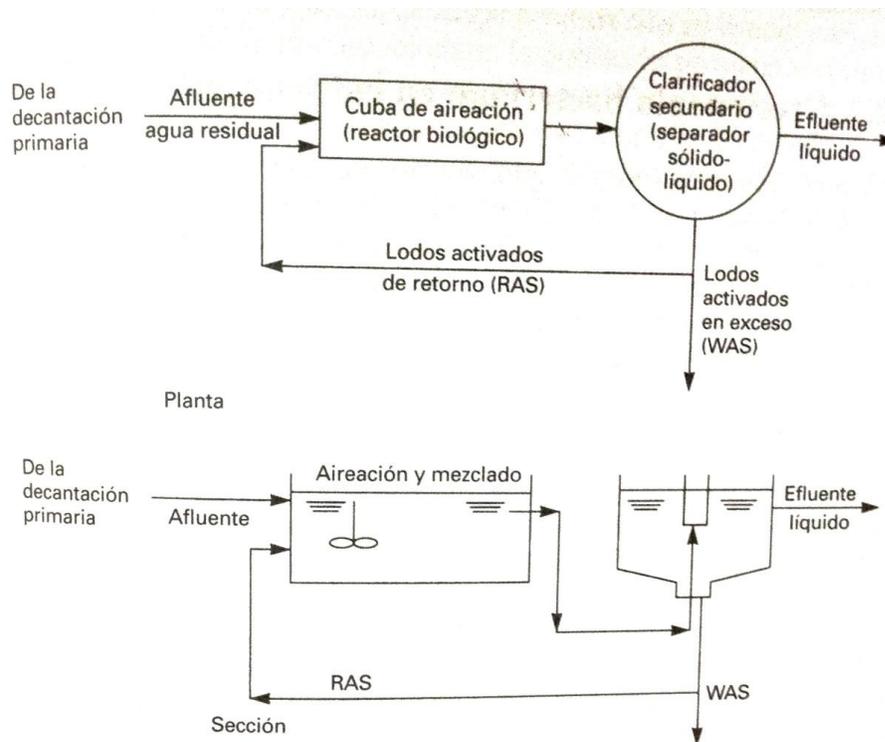
PROCESO DE LODOS ACTIVADOS

Este proceso de tratamiento biológico fue desarrollado en Inglaterra en 1914 por Arden y Locket, lleva el nombre de Lodos Activados porque se refiere a la producción de una Biomasa de microorganismos (lodos) la cual tiene la capacidad de estabilizar un residuo mediante un proceso aerobio. (Metcalf & Eddy, 1995, p.436)

Actualmente existen sistemas de lodos activados con variaciones respecto al sistema original creado en 1914.

Un sistema típico de lodos activados cuenta con dos unidades; la primera es el reactor biológico formado por una cuba, piscina o tanque de aireación en donde el agua es retenida por horas o incluso días en "un medio convenientemente mezclado y aireado antes de conducir el efluente para una clarificación posterior en el decantador secundario". (G. Kiely, 2000, p.711). En la figura 19 puede apreciarse un esquema típico de lodos activados.

Figura 19. Esquema típico de un sistema de lodos activados. Fuente: G. Kiely



El líquido que se encuentra dentro del reactor biológico se le conoce como "líquido mezcla" o "licor mezcla". Dentro del reactor o cuba de aireación es donde ocurre todo el proceso de oxidación y síntesis de la materia orgánica. (Metcalf & Eddy, 1999, p.436)

Por lo general los reactores tienen difusores o aireadores mecánicos para lograr que se dé la condición aerobia y mantener la mezcla completa dentro

de ellos; luego de cierto tiempo de que se han mezclado células viejas de bacterias con células nuevas el agua es conducida a una segunda unidad o tanque de sedimentación. (Metcalf & Eddy, 1995, p.437)

La segunda unidad se le conoce como decantador, clarificador o tanque de sedimentación; y es allí donde se obtiene un efluente clarificado y lodos líquidos; cerca de una quinta parte de los últimos se recirculan nuevamente hacia el tanque de aireación; esta parte recirculada es la que se conoce como lodos activados de retorno. (G. Kiely, 2000, p.711)

El propósito de la recirculación es mantener la actividad bacteriana viva en el reactor biológico para un proceso de biodegradación más eficiente de la materia orgánica. (G. Kiely, 2000, p.711)

Debido a que los principales procesos de tratamiento de aguas residuales son de carácter biológico, uno de los parámetros más útiles cuando se desea realizar el diseño de una sistema de lodos activados o evaluar el rendimiento de operación de uno existente es la relación entre alimento y microorganismos; se le conoce como la relación F/M. (G. Kiely, 1999, p.717)

Relación F/M

Para los sistemas de lodos activados; se dice que un sistema está en equilibrio "Cuando la cantidad de sustrato alimenticio y los microorganismos que lo consumen se iguala". (G. Kiely, 1999, p.717)

Para lograr preservar un equilibrio entre el alimento y los microorganismos se establece la relación F/M.

(G. Kiely, 1999, p.718) La relación F/M se puede definir de la siguiente manera:

$$F/M = \frac{\text{DBO de aguas residuales } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \times \text{caudal afluyente } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right)}{\text{sólidos en el reactor } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \times \text{volumen del reactor } (\text{m}^3)} \quad (\text{Ecuación 35})$$

Podemos reescribir la expresión de la siguiente forma:

$$F/M = \frac{S_0 Q_0}{X V} \quad (\text{Ecuación 36})$$

y nos queda entonces lo siguiente:

$$F/M = \frac{S_0}{\phi X} \quad (\text{Ecuación 37})$$

en donde,

S_0 = concentración del afluyente en DBO (kg/m^3)

Q_0 = caudal del afluyente ($\text{m}^3/\text{día}$)

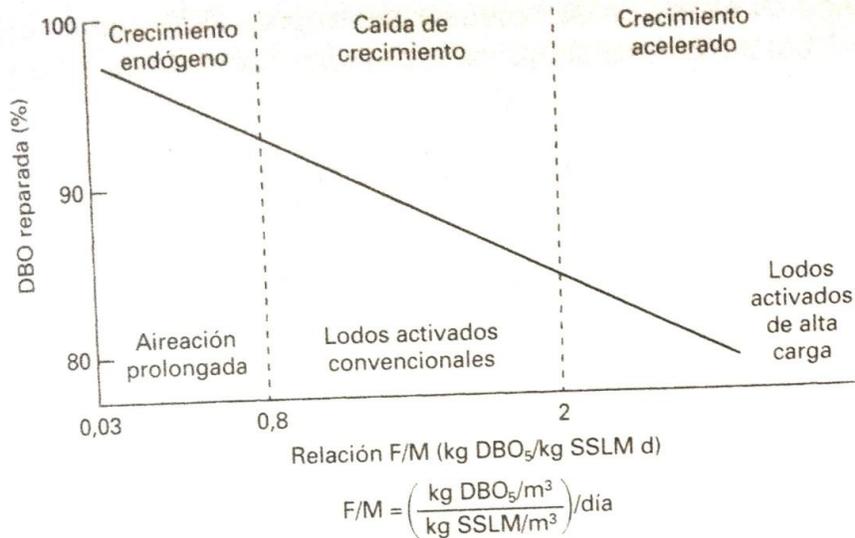
X = concentración de sólidos en el reactor o sólidos en suspensión del líquido mezcla en (kg/m^3)

V = Volumen del reactor (m^3)

ϕ = tiempo de retención hidráulico en días.

En la Figura 20 puede verse un esquema de relación F/M y el porcentaje de la DBO reparada es decir disminuida.

Figura 20. Esquema de la relación F/M (no a escala). Fuente: G. Kiely



(G. Kiely, 1999, p.718) Se tiene para los distintos rangos del valor F/M lo siguiente:

- Convencional: $0,8 < F/M < 2$
- Aireación prolongada: $0,03 < F/M < 0,8$
- Sistema por oxígeno puro: $F/M > 2$

Para las fases de crecimiento exponencial (crecimiento microbiano) y aceleradas se da un exceso de sustrato que se distingue por una relación F/M mayor a 1. (G. Kiely, 1999, p.719)

Se observa en la figura también que el porcentaje de eliminación de DBO es mayor en la fase conocida como proceso de aireación prolongada. (G. Kiely, 1999, p.719)

Índice de Volumétrico de Lodos

La recirculación de lodos es una característica típica de los sistemas de lodos activados; si el reactor biológico no recibiese una recirculación de los lodos la población de microorganismos puede verse disminuida de tal forma que podría llegar a ser insuficiente. (G. Kiely, 1999, p.719)

Para el control de la cantidad de lodos recirculados se utiliza como parámetro el índice volumétrico de lodos (IVL); el cual se determina mediante ensayos de laboratorio utilizando el cono de Imhoff. (G. Kiely, 1999, p.720)

(G. Kiely, 1999, p.720) Para calcular el IVL se utiliza la siguiente expresión:

$$IVL = \frac{SV}{SSLM} \times 1000 \text{ (Ecuación 38)}$$

En donde,

IVL = índice volumétrico de lodos

SV = volumen de sólidos sedimentables en el cono de Imhoff luego de 30 minutos, expresado en ml/l

SSLM = Sólidos Suspendidos del Líquido Mezcla, en mg/l.

Un lodo que tenga un valor de IVL de 80 a 120 y para los Sólidos Totales del Líquido Mezcla el rango puede variar de 2000 a 3500 mg/l, puede ser considerado como un lodo con buenas características de sedimentación. (G. Kiely, 1999, p.720)

A mayor cantidad de SSLM se tendrá un menor valor de IVF. Si se tiene un valor de IVF considerado bajo, podría considerarse un aumento del volumen del reactor biológico o cuba de aireación como una alternativa. (G. Kiely, 1999, p.720)

SISTEMAS DE LODOS ACTIVADOS

Dentro de los sistemas de lodos activados más comunes encontramos los reactores de mezcla completa, reactores de flujo en pistón, canales de oxidación, canales de oxidación y reactores discontinuos. (G. Kiely, 1999, p.721)

Reactores de Mezcla Completa

Los reactores de mezcla completa por lo general son circulares o cuadrados; en ocasiones se pueden encontrar de forma rectangular; este tipo de sistema suele tener características homogéneas en todo el reactor. (G. Kiely, 1999, p. 721)

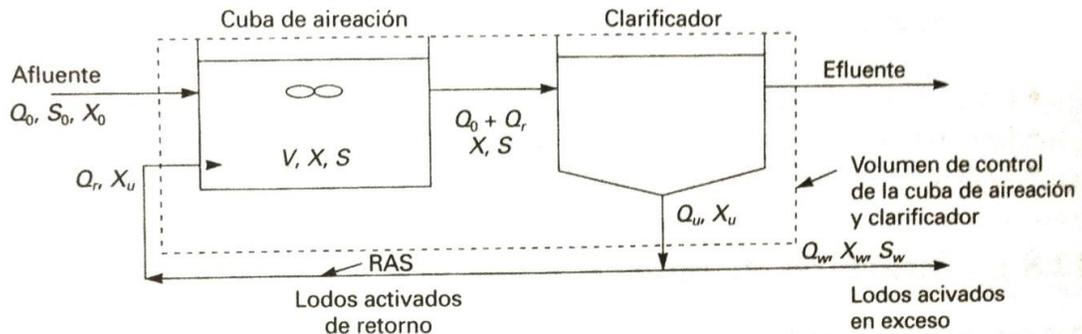
La aireación del tanque viene dada por sistemas de aireación mediante difusores de burbuja que se encuentran sumergidos o turbinas superficiales que pueden ser sumergidas dependiendo de la variación de altura que pueda darse en el reactor como consecuencia de cambios en el caudal. (G. Kiely, 1999, p. 722)

En este tipo de sistemas la calidad del producto final es igual que la calidad en el reactor. (G. Kiely, 1999, p. 722)

Para los reactores de mezcla completa la relación F/M puede ser de 0,04 hasta 0,07; por lo general el oxígeno disuelto en el tanque es siempre mayor a 2mg/L y la carga volumétrica suele ser inferior a 1 Kg DBO₅/día/m³. (G. Kiely, 1999, p. 722)

Gracias a su baja relación F/M este sistema tiene como ventaja su capacidad para resistir cargas de choque por lo que es un diseño recomendable para aguas residuales de tipo industrial que tengan una carga orgánica alta. (G. Kiely, 1999, p. 722)

Figura 21. Sistema típico de lodos activados de Mezcla completa. Fuente: G. Kiely



En la figura 21 puede verse el esquema de un sistema típico de lodos activados de mezcla completa en el cual Q representa el caudal en $m^3/día$, S la concentración del sustrato en kg/m^3 o mg/l , X la concentración de biomasa (sólidos biológicos) es decir DBO o DQO en mg/l y V es el volumen del reactor, cuba o tanque de aireación.

Diseño y control del proceso en un reactor de mezcla completa

Para diseñar un sistema de mezcla completa o verificar como está funcionando el mismo; se deben tener presentes:

1. El tiempo medio de retención hidráulica del sistema (θ_s)

$$\theta_s = \frac{V_t}{Q} = \frac{V_r + V_s}{Q} \text{ (Ecuación 39)}$$

Donde:

V_t = volumen del reactor + volumen del tanque de sedimentación.

Q = caudal afluente

V_r = volumen del reactor

V_s = volumen del tanque de sedimentación.

(Metcalf & Eddy, 1995, p.440)

2. Tiempo de retención hidráulica del reactor de mezcla completa (θ)

$$\theta = \frac{V_r}{Q} \text{ (Ecuación 40)}$$

Donde:

Q = caudal afluente

V_r = volumen del reactor

3. Tiempo de retención media celular (θ_c)

$$\theta_c = \frac{V_r X}{Q_w X + Q_e X_e} \text{ (Ecuación 41)}$$

Donde:

V_r = volumen del reactor

Q_w = caudal afluente del reactor.

Q_e = caudal efluente del reactor.

X_e = concentración de microorganismos en el efluente de la unidad de separación de sólidos (tanque de sedimentación).

X = concentración de biomasa, unidad de masa/unidad de volumen

4. Tasa de utilización del sustrato (r_{su})

$$r_{su} = -\frac{Q}{V_r} (S_o - S) = -\frac{S_o - S}{\theta} \text{ (Ecuación 42)}$$

Donde:

$(S_o - S)$ = concentración del sustrato utilizada, mg/l

S_o = concentración del sustrato en el afluente, mg/l

S = concentración del sustrato en el efluente, mg/l

(Metcalf & Eddy, 1995, p.441)

5. Concentración de microorganismos en el reactor biológico (X)

$$X = \frac{\theta_c Y (S_o - S)}{\theta (1 + k_d \theta_c)} \text{ (Ecuación 43)}$$

Donde:

θ = Tiempo de retención hidráulica del reactor

θ_c = Tiempo de retención media celular

S_o = concentración del sustrato en el afluente, mg/l

S = concentración del sustrato en el efluente, mg/l

k_d = coeficiente de descomposición endógena, tiempo⁻¹

Y = producción de la biomasa, se calcula mediante la relación entre masa de las células formadas y masa del sustrato consumido, masa/masa

6. Concentración del sustrato en el efluente (S)

$$S = \frac{K_s (1 + \theta_c k_d)}{\theta_c (Yk - k_d) - 1} \text{ (Ecuación 44)}$$

Donde:

θ_c = Tiempo de retención media celular

K_s = constante de velocidad media, concentración del sustrato a la mitad de la máxima tasa de crecimiento, masa /unidad de volumen.

k_d = coeficiente de descomposición endógena , tiempo⁻¹

Y = coeficiente cinético que viene dado por la relación entre masa de las células formadas y masa del sustrato consumido, masa/masa

k = tasa máxima de utilización del sustrato por unidad de masa de microorganismos.

(Metcalf & Eddy, 1995, p.442)

7. Producción observada de biomasa (Y_{obs})

$$Y_{obs} = \frac{Y}{(1 + k_d \theta_c)} \text{ (Ecuación 45)}$$

Y = coeficiente cinético que viene dado por la relación entre masa de las células formadas y masa del sustrato consumido, masa/masa

θ_c = Tiempo de retención media celular

k_d = coeficiente de descomposición endógena , tiempo⁻¹

(Metcalf & Eddy, 1995, p.442)

Ejemplo de un análisis del diseño de un sistema de lodos activados

Se quiere tratar un afluente con una DBO_5 soluble de 250 mg/l mediante un sistema de lodos activados de mezcla completa. Se espera obtener una

DBO₅ del efluente menor a 20 mg/l. Suponer una temperatura de 20°C, un caudal de 0,25 m³/s, además se asumen las siguientes condiciones:

1. Los sólidos suspendidos volátiles del caudal afluente al reactor no se toman en cuenta.
2. Concentración del lodo recirculado = 10.000 mg/l y sólidos suspendidos volátiles.
3. Sólidos suspendidos volátiles en el líquido mezcla (SSVLM) = 0,8 x SSLM totales = 3500 mg/l.
4. Tiempo medio de retención celular : $\theta_c = 10$ días
5. Régimen hidráulico del reactor = mezcla completa
6. Coeficientes cinéticos, $Y = 0.65$, kilos de célula/kilos DBO₅ utilizada = 0.06 d⁻¹
7. Se estima que el efluente tendrá una DBO₅ de 20 mg/l, de los cuales 80% son volátiles y de los volátiles un 65% son biodegradables. Suponer que la DBO₅ de los sólidos biológicos biodegradables puede ser obtenida al multiplicar la DBO última por un factor de 0.68
8. El agua residual contiene nitrógeno, fósforo y los nutrientes en suficiente cantidad para que ocurra el crecimiento biológico.

(Metcalf & Eddy, 1995, p.444)

Solución

1. Estimación la DBO₅ soluble del efluente

DBO₅ del efluente = DBO₅ soluble del tratamiento que se escapa al tratamiento + DBO₅ de los sólidos suspendidos del afluente (Ecuación 46)

$$20 = S + 20(0.65)(1,42)(0.68)$$

DBO₅ soluble del tratamiento que se escapa al tratamiento = 7,4 mg/l de DBO₅ soluble

La eficacia del tratamiento biológico(E_s) , estudiada en términos de DBO₅ soluble es:

$$E_s = \frac{DBO_5 \text{ del afluente} - DBO_5 \text{ soluble que se escapa al tratamiento}}{DBO_5} \times 100\%$$

(Ecuación 47)

$$E_s = \frac{250 - 7,4}{250} \times 100\% = 97\%$$

La eficacia o eficiencia del tratamiento biológico conjunta (Econjunta) estudiada en términos de DBO5 viene dada por la siguiente expresión:

$$E_{conjunta} = \frac{DBO_5 \text{ del afluente} - DBO_5 \text{ salida}}{DBO_5} \times 100\%$$

(Ecuación 48)

$$E_{conjunta} = \frac{250 - 20}{250} \times 100\% = 92\%$$

(Metcalf & Eddy, 1995, p.445)

2. Cálculo del Volumen del reactor. Si en la Ecuación 43 se sustituye θ por V/Q y se replantea la ecuación se tiene que:

$$XV = \frac{YQ\theta_c (S_0 - S)}{1 + k_d\theta_c}$$

(Ecuación 49)

$$3500 \frac{mg}{l} (V m^3) = \frac{0.65(21.600m^3/d)(10 d)(250 - 7,4 mg/l)}{1 + (0,06/d)(10 d)}$$

$$V = 6082,3 m^3$$

(Metcalf & Eddy, 1995, p.445)

3. Cálculo de la masa de los lodos producidos

a) Se calcula la producción de lodos observados utilizando la Ecuación 45:

$$Y_{obs} = \frac{Y}{(1 + k_d\theta_c)} = \frac{0,65}{1 + 0,06 (10)} = 0,406$$

(Metcalf & Eddy, 1995, p.445)

b) Cálculo de la producción de sólidos suspendidos volátiles (biomasa):

$$KgSSV/día = Y \frac{mg}{mg} [(S_0 - S)mg/l] [Q m^3/s][84600 s/d][1/1000 kg/g]$$

$$KgSSV/día = (0,406)[(250 - 7,4)mg/l] [0,25 m^3/s][84600 s/d][1/1000 kg/g]$$

$$KgSSV/día = 2.127 kg SSV/día$$

(Metcalf & Eddy, 1995, p.445)

4. Cálculo de la biomasa depurada. Se determinara el caudal depurado desde el reactor y el caudal depurado bajo la condición de recirculación de lodos. Asumir que los caudales de entrada y de salida son iguales. Suponer

que los sólidos suspendidos volátiles en el efluente son equivalentes a 16 mg/l (0.80 x 20 mg/l)

a) Determinación del caudal depurado desde el reactor utilizando la Ecuación 41

$$\theta_c = \frac{V_r X}{Q_w X + Q_e X_e}$$

$$10 = \frac{(6082,3 \text{ m}^3)(3500 \text{ mg/l})}{\left(Q_w \frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right)(3500 \text{ mg/l}) + (21,60 \text{ m}^3/\text{d})(16 \text{ mg/l})}$$

$$Q_w = 509 \text{ m}^3/\text{d}$$

(Metcalf & Eddy, 1995, p.446)

b) Caudal depurado desde la condición de lodos en recirculación

$$\theta_c = \frac{V_r X}{Q_w X + Q_e X_e}$$

$$10 = \frac{(6082,3 \text{ m}^3)(3500 \text{ mg/l})}{\left(Q_w \frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right)(8000 \text{ mg/l}) + (21,60 \text{ m}^3/\text{d})(16 \text{ mg/l})}$$

Para ambos casos la masa del lodo depurada tiene el mismo valor equivalente a 2.127 kg de SSV/día y en ambos se considera un tiempo de retención celular de 10 días.

(Metcalf & Eddy, 1995, p.446)

5. Determinación de la relación de recirculación de lodos mediante un balance de masa respecto al reactor sin considerar los sólidos suspendidos del afluente

$$\text{SSV en el reactor} = 3500 \text{ mg/l}$$

$$\text{SSV en la recirculación} = 8000 \text{ mg/l}$$

$$3500 (Q + Q_r) = 8000 (Q_r)$$

$$Q_r / Q = R = 0,78$$

(Metcalf & Eddy, 1995, p.446)

6. Cálculo del tiempo de retención hidráulica del reactor

$$TRH = \frac{V}{Q} = \frac{6082,3 \text{ m}^3}{21,60 \text{ m}^3/\text{d}} = 0,28 \text{ d} = 6,7 \text{ horas}$$

(Metcalf & Eddy, 1995, p.446)

7. Cálculos de la tasa de utilización específica de sustrato y el factor de carga volumétrica

a) Tasa de utilización específica (U) viene dada por la siguiente expresión:

$$U = \frac{S_0 - S}{\theta x} \text{ (Ecuación 50)}$$

donde, θ = tiempo de retención hidráulica

$$U = \frac{(250 - 7,4) \text{ mg/l}}{0,28 \text{ d} (3500 \text{ mg/l})} = 0,25 \frac{\text{mg DBO}_5 \text{ utilizada}}{\text{mg SSVLM} \times \text{día}}$$

b) Cálculo de la relación F/M

$$\frac{F}{M} = \frac{S_0}{\theta X} = \frac{250 \text{ mg/l}}{0,28 \text{ d} (3500 \text{ mg/l})} = 0,255 \frac{\text{mg DBO}_5 \text{ aplicada}}{\text{mg SSVLM} \times \text{día}}$$

(Metcalf & Eddy, 1995, p.446)

c) Cálculo de la carga volumétrica (CV)

$$CV = \frac{(S_0 \text{ mg/l}) (Q \text{ m}^3/\text{d}) (1/10^6 \text{ kg/mg})(1000 \text{ l/m}^3)}{(V \text{ m}^3)} \quad (\text{Ecuación 51})$$

$$CV = \frac{(250 \text{ mg/l}) (21,60 \text{ m}^3/\text{d}) (1/10^6 \text{ kg/mg})(1000 \text{ l/m}^3)}{(6082,3 \text{ m}^3)}$$

$$CV = 0,887 \text{ kg DBO}_5 \text{ aplicada}$$

Nota: Al no considerar los sólidos del efluente cuando se calcula el caudal depurado, el valor real del tiempo medio de retención hidráulico será menor al valor de tiempo de retención hidráulico del proyecto.

(Metcalf & Eddy, 1995, p.447)

Reactores de flujo en pistón

Este tipo de reactores son por lo general rectangulares o con una geometría alargada y sus extremos son ovalados; su relación longitud con respecto al ancho es cercana a 10:1 y la profundidad puede variar de 2 a 4 metros. (G. Kiely, 1999, p.727)

Los reactores de flujo en pistón no poseen ningún pistón dentro de ellos; reciben este nombre porque el fluido (flujo) atraviesa el reactor de forma análoga a un pistón es decir en forma de "cilindros" por lo que "hay una mezcla satisfactoria en la dirección lateral pero no en la dirección longitudinal" (G. Kiely, 1999, p.727)

En el extremo del afluente hay un exceso de sustrato correspondiente a una relación alta de F/M y a la fase de crecimiento exponencial microbiano; mientras que en el extremo aguas abajo del reactor se encuentra un menor contenido del sustrato que corresponde a la fase endógena. (G. Kiely, 1999, p.727)

Entonces a lo largo del reactor el sustrato disminuye a razón del aumento en la concentración de microorganismos; por lo que un análisis cinético del crecimiento bacteriano es complejo y es común que se asuma que la concentración en el reactor es igual a la del efluente de éste. (G. Kiely, 1999, p.727)

Se puede observar en la Figura 22 un esquema de este sistema y un sistema típico de lodos activados con reactores de flujo en pistón en la Figura 23.

Figura 22. Esquema de un sistema de flujo en pistón. Fuente: G. Kiely.

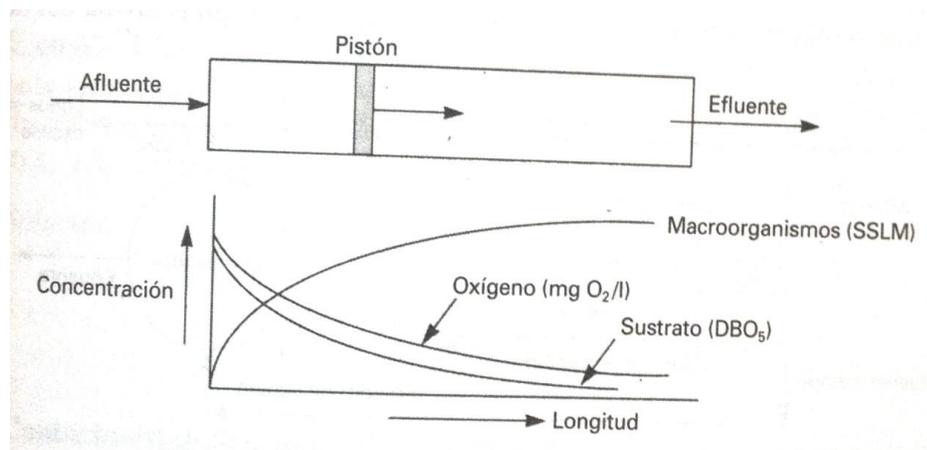
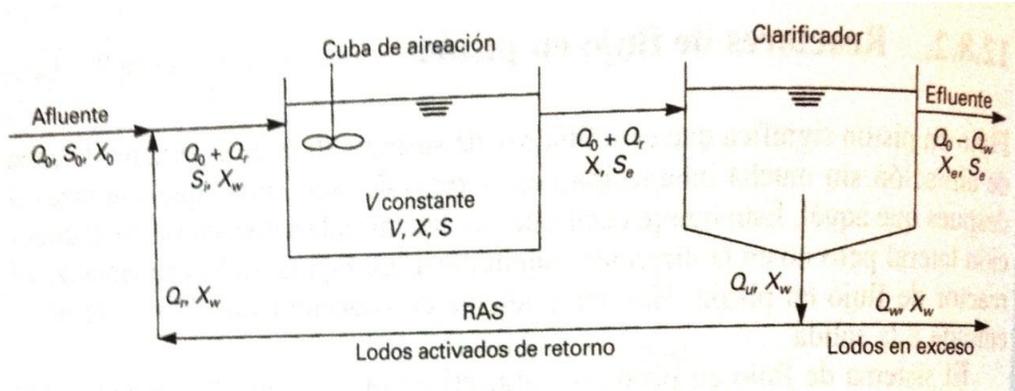


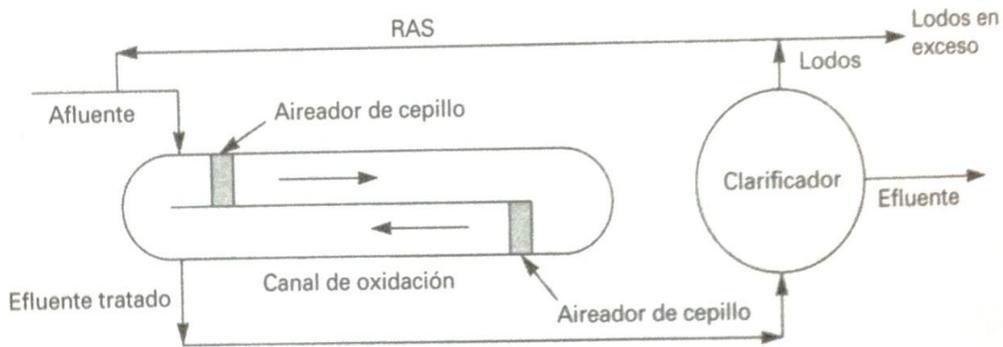
Figura 23. Sistema típico de lodos activados con flujo en pistón. Fuente: Metcalf & Eddy.



Canales de oxidación

En la Figura 24 se observa un esquema típico de un sistema de canal de oxidación. El tanque de aireación usualmente posee una configuración de "hipódromo" y tiene aireadores de cepillo colocados en uno o varios puntos del reactor. (G.Kiely, 1999, p.728)

Figura 24. Esquema típico de un sistema de canal de oxidación. Fuente: G. Kiely.



En el reactor del canal de oxidación, el fluido ingresa aguas arriba del aireador y hace su recorrido en el tanque a manera de flujo de pistón, hasta que encuentra la salida aguas abajo del reactor. (G. Kiely, 1999, p.729)

En los sistemas con canales de oxidación los lodos son recirculados y el tiempo de retención de los lodos puede ser de 20 a 30 días. (G. Kiely, 1999, p.729)

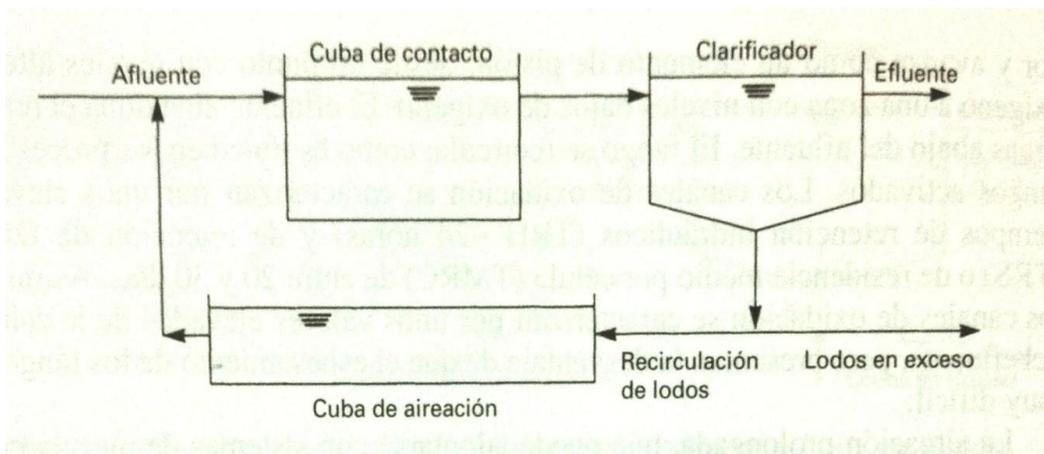
Los tiempos de retención hidráulica en este tipo de sistemas son altos y comprenden un rango de 16 a 24 horas por lo que pueden soportar caudales y cargas orgánicas variables. (G. Kiely, 1999, p.729)

Un sistema con canales de oxidación no cuenta con una decantación primaria ya que el propósito principal de estos es generar una cantidad mínima de lodos. (G. Kiely, 1999, p.729)

Contacto-estabilización

En este sistema de lodos activados la aireación ocurre en dos etapas y dos reactores distintos como puede verse en la Figura 25.

Figura 25. Esquema del sistema de contacto-estabilización. Fuente: G. Kiely



En el primer reactor que se le conoce como tanque o cuba de contacto "la materia orgánica en suspensión es adsorbida por la masa microbiana y la

masa orgánica disuelta es absorbida por la biomasa" en este reactor el tiempo de retención puede ser de 30 a 60 minutos. (G. Kiely, 1999, p. 730)

El segundo reactor es el que conocemos como tanque de estabilización y allí es donde se decantan los sólidos en suspensión y se estabilizan luego por medio de aireación antes de que entren en contacto con agua residual afluyente. (G. Kiely, 1999, p. 730)

El tanque de estabilización también se le conoce como clarificador ya que de él se obtiene un efluente clarificado y el tiempo de retención en este tipo de tanques puede ser de 2 a 3 horas. "Los sólidos suspendidos del líquido mezcla pueden llegar hasta los 2000 mg/l en el tanque de contacto y hasta 20.000 mg/l en la cuba de aireación" (G. Kiely, 1999, p. 730)

El sistema contacto-estabilización basa su diseño en los sistemas de flujo en pistón; una de las diferencias entre estos sistemas es que el contacto-estabilización necesita un volumen de aireación menor, el cual podría ser inclusive la mitad del volumen de aireación requerido en una planta de lodos activados de sistema de flujo de pistón. (G. Kiely, 1999, p. 730)

Los sistemas de contacto-estabilización suelen utilizarse en plantas prefabricadas y cuando se desean ampliar plantas ya existentes; en este tipo de sistemas se tiene como expectativa una disminución de la DBO que ronda de un 80 a 90% respecto a la DBO inicial. (G. Kiely, 1999, p. 730)

Reactor secuencial discontinuo o SBR

Se le conoce como reactor SBR por sus siglas en inglés "Sequencing Batch Reactors" en este tipo de sistemas no se cuenta con un decantador secundario y se caracterizan por ser reactores de mezcla completa donde el ciclo de tratamiento es llevados en diferentes procesos. (G. Kiely, 1999, p. 730)

De acuerdo al orden cronológico en que ocurren, se pueden dividir el ciclo en los siguientes cinco procesos: (G. Kiely, 1999, p. 730)

1. Proceso de Llenado: el tanque se llena con el agua residual
2. Proceso de Reacción: cuando el tanque alcanza su volumen total se da el proceso de aireación dentro de éste.
3. Decantación: ocurre la decantación y sedimentación.
4. Extracción: el efluente es extraído de la parte superior del tanque.
5. Residuo del lodo: el lodo es vertido por la parte inferior.

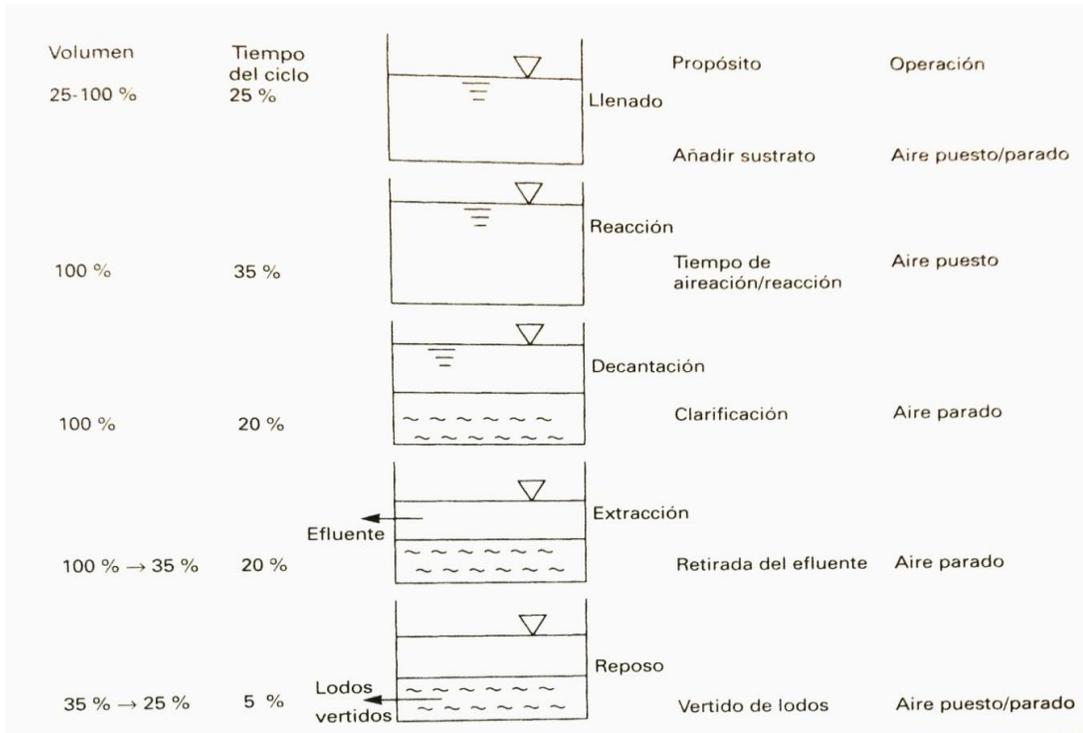
La duración del ciclo en un reactor SBR puede estar comprendida entre 4 a 48 horas y el tiempo de retención hidráulica en estos de 15 hasta 80 días. (G. Kiely, 1999, p.731)

En un reactor SBR la relación F/M puede estar en un rango de 0.03 a 0.18; en éste tipo de sistemas la relación F/M es variable y dependiente de la duración del ciclo. (G. Kiely, 1999, p. 731)

Una ventaja que presenta este sistema frente a los anteriores es que no necesita recirculación de los lodos. (G. Kiely, 1999, p. 731)

Los procesos y el ciclo que ocurre en un reactor secuencial discontinuo pueden apreciarse en la Figura 26.

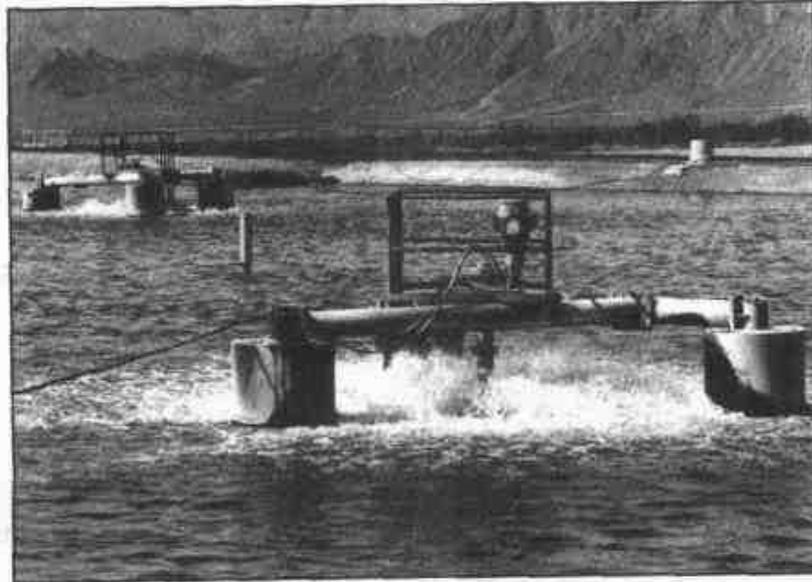
Figura 26. Configuraciones típicas para un SBR. Fuente: G. Kiely. (adaptado de USEPA, 1986)



LAGUNAS AIREADAS

A las lagunas aireadas también se les llama a veces «estanques aireados» y su diseño esta basado en los estanques de estabilización facultativos, en los cuales se colocan aireadores en la superficie para atenuar los olores producidos en caso de un exceso o una carga pico de materia orgánica. (Metcalf & Eddy, 1995, p.453)

Figura 27. Laguna aireada típica. Fuente: Metcalf & Eddy



Básicamente el proceso de lagunaje aireado y el de lodos activados con aireación prolongada convencional son prácticamente iguales; a diferencia de que se emplea como reactor biológico un depósito excavado en el terreno. (Metcalf & Eddy, 1995, p.453)

Al ser una laguna aerobia el suministro de oxígeno es una característica propia del sistema, el oxígeno es suministrado por medio de aireadores o difusores que se sitúan en la superficie libre de la laguna. (Metcalf & Eddy, 1995, p.453)

Anteriormente lo usual era que las lagunas aireadas trabajaran como un tanque de mezcla completa (sin recirculación de lodos) seguido de un tanque de sedimentación. (Metcalf & Eddy, 1995, p.453)

Hoy en día muchas lagunas aireadas han incorporado el proceso de recirculación de lodos para cumplir con los estándares de tratamiento especificados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos

(pueden verse estos estándares en la Tabla 9). (Metcalf & Eddy, 1995, p.453)

(Metcalf & Eddy, 1995, p.454) Para el análisis y diseño de una laguna aireada se pueden utilizar las mismas ecuaciones que para un sistema de mezcla completa aerobio sin recirculación.

TRATAMIENTO TERCIARIO O TRATAMIENTO AVANZADO

Luego de que el agua residual ha pasado por un tratamiento primario y uno secundario de tipo biológico; el siguiente paso es el tratamiento terciario o tratamiento avanzado.

Mediante esta etapa de tratamiento se busca la afinación del producto final para garantizar que satisfaga los criterios normativos vinculados con la calidad del agua residual a ser vertida en lagos, ríos y mares. (G. Kiely, 1999, p.749)

Para lograr un efluente de mayor calidad se emplean varios procesos, entre los más comunes se tienen los siguientes: (G. Kiely, 1999, p.749-753)

- ✓ Filtración en medios granulares; procedimiento comúnmente empleado cuando se exige que los sólidos en suspensión sean menores a 10 mg/l.
- ✓ Adsorción con carbon activado o en polvo; proceso que suele emplearse cuando se tienen aguas residuales contaminadas con compuestos orgánicos industriales.
- ✓ Eliminación de amoníaco mediante lavado de aire; proceso común dentro de las plantas de tratamiento de aguas residuales de industrias alimenticias y farmacéuticas las cuales suelen producir efluentes con un contenido alto en amoníaco.

- ✓ Desinfección de aguas residuales; el objetivo fundamental de este proceso es la eliminación de microorganismos patógenos y dentro de los procedimientos de desinfección más utilizados se tienen el uso de cloro, ozono, dióxido de carbono y la radiación de luz ultravioleta.

Dentro de las bases legales del presente trabajo de investigación se delimito que se desea realizar un estudio acerca de los tipos de planta de tratamiento biológico en donde se incluyan procesos de Lodos Activados.

El tratamiento terciario no se considera de tipo biológico sino como un tratamiento adicional al tratamiento biológico no se especifico y es por ello que no se profundiza ni se realiza énfasis en explicar de manera detallada los distintos procesos empleados en el tratamiento terciario o avanzado para aguas residuales.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Tipo de Investigación

La presente investigación puede catalogarse como un estudio de tipo correlacional ya que " La utilidad y el propósito principal de los estudios correlacionales es saber como se puede comportar un concepto o variable conociendo el comportamiento de otras variables relacionadas" (Fidias G. Arias, 2006, p.25)

En este caso "el concepto" es la Planta de Tratamiento de la universidad y el conocimiento del comportamiento se refiere al desempeño y rendimiento de esta infraestructura hidráulica; el cual es necesario conocer para plantear una propuesta de optimización en ésta.

Diseño de la Investigación

"El diseño de investigación es la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado" (Fidias G. Arias, 2006, p.26). De acuerdo con el concepto de diseño de investigación; la propuesta de optimización para la planta de tratamiento de la UCAB Guayana estara basada en un diseño de investigación cuasi experimental ya que "Los diseños cuasi experimentales también manipulan deliberadamente, al menos, una variable independiente para observar su efecto y relación con una o más variables dependientes, solo que difieren de los experimentos "puros" en el grado de seguridad o confiabilidad que pueda tenerse sobre la equivalencia inicial de los grupos". (Hernandez Sampieri, Fernández-Collado y Baptista Lucio, 1996, p. 203)

Se puede considerar como un diseño cuasi experimental ya que la Demanda Bioquímica de Oxígeno; variable a estudiar para el diseño la cual carece de validez estequiometrica desde el punto de vista químico; ante esta invalidez el diseño no puede tener un grado de confiabilidad de 100% y por ende sería un tipo de investigación cuasi-experimental; ya que la población microbiana en una planta de tratamientos de agua residual y los parametros asociados a esta son bastante variables y no se comportan siempre del mismo modo.

Unidades de Análisis

Las Unidades de análisis en la presente investigación comprenden las unidades que constituyen la Planta de tratamiento para aguas residuales de la Universidad Católica Andrés Bello, la cual se encuentra situada al este de la extensión de terrenos pertenecientes a la Ucab Guayana y al Colegio Loyola Gumilla.

Las unidades de analisis pueden dividirse en cuatro puntos fundamentales:

- El punto 1 ubicado en la entrada justo después del vertedero triangular
- El punto 2 en el centro del reactor biológico de planta
- El punto 3 el Clarificador de la planta, situado justo después del reactor biológico.
- El punto 4 situado justo antes del proceso de cloración, el cual contiene el efluente clarificado.

En los cuatro puntos mencionados es necesario tomar muestras de agua para estudiar diversos parámetros físicoquímicos del agua que permitan evaluar la eficiencia de la planta mediante el porcentaje de remoción de la DBO, porcentaje de separación de los sólidos suspendidos totales; el porcentaje de lodo recirculado para así estudiar posibles mejoras que se puedan realizar en la planta y de esta forma presentar una propuesta de

optimización para la planta de tratamiento de aguas residuales de la UCAB
Guayana

Variables

El término variable puede definirse como "una propiedad que puede variar (adquirir diversos valores) y cuya variación es susceptible de medirse" (Hernandez Sampieri, Fernández-Collado y Baptista Lucio, 1996, p. 77). Por lo que las variables son características, parámetros sujetos a cambios que pueden ser medidos o determinados.

Dentro de la presente investigación se consideran variables fundamentales la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) en la entrada y salida de la planta; los sólidos suspendidos totales en el reactor biológico de la planta; el índice volumétrico en el clarificador y los sólidos volumétricos en éste. Estas variables son fundamentales para obtener medición del porcentaje de reducción o separación de la DBO en la planta y un porcentaje de los lodos recirculados.

También existen otras variables tales como el pH y oxígeno disuelto en el reactor biológico; las cuales interfieren en el proceso de biodegradación de la materia orgánica y por consecuencia influyen también en el porcentaje de separación de la DBO.

Las plantas de tratamiento son proyectadas en base a un porcentaje de separación o reducción de la DBO y de los SST; es por ello que estas variables influyen en la eficiencia y desempeño de una planta.

Técnicas e Instrumentos de Investigación

Antes de comenzar a describir las técnicas e instrumentos que se utilizaran; debemos definir que "Se entenderá por técnica el procedimiento o forma particular de obtener datos o información" (Fidias G. Arias, 2006, p.67)

Para poder aplicar una técnica es necesario obtener información y conservar esta de forma tal que prevalezca para un futuro y no se extravíen los datos obtenidos; este soporte de la información es lo que conocemos como un instrumento. (Fidias G. Arias, 2006, p.69)

A pesar de que la presente investigación se basa en un diseño de investigación cuasi experimental; también se utilizaran técnicas e instrumentos utilizados en otros diseños de investigación como lo son la investigación documental y la investigación de campo.

Dentro de los instrumentos utilizados en investigación de tipo documental se tiene el análisis de contenido; esto se refiere a analizar contenido ya existente como lo es la recopilación de datos de ensayos de laboratorio realizados en las instalaciones del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la universidad que corresponden a muestras de agua tomadas de la Planta de tratamiento de la UCAB-Guayana.

También se utilizaran como instrumentos información contenida en el Anteproyecto de Planta de tratamiento de Aguas Servidas UCAB-Guayana Puerto Ordaz (Anexo A) y en el Manual de operación para la planta de tratamiento de Aguas Servidas de la UCAB Guayana (Anexo B).

Las muestras de agua residual corresponden a los puntos de toma de muestras dentro de la planta de tratamiento (Ver Anexo C).

Tal como se definieron en las Unidades de Análisis se tomaran muestras de agua residual en cuatro puntos, con cuyas muestras se realizaran ensayos

de laboratorio de tipo físico, químico y biológico los cuales están basados en métodos estandarizados reconocidos en Venezuela y a nivel internacional. Dentro de éstos ensayos tenemos:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). (Ver Anexo D)
- Sólidos Suspendidos Totales. (Ver Anexo E)
- Sólidos Suspendidos Volumétricos. (Ver Anexo F)
- pH (Ver Anexo G)
- Oxígeno Disuelto

Los resultados obtenidos de la DBO en el punto 4 estos ensayos pueden ser comparados a manera de referencia con las Normas Venezolanas para la clasificación y el control de la Calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos (Ver Anexo H), para tener una idea del desempeño de la planta.

Estos resultados no deben ser tomados como base legal en el punto 4 ya que el efluente en éste punto no ha pasado por el tratamiento terciario o avanzado correspondiente y por ende no se puede considerar el efluente en éste punto como el efluente a ser vertido en un cuerpo de agua natural; en este caso la Quebrada el Indio.

Procedimiento de la Investigación

A fin de cumplir todos los objetivos específicos planteados en el Capítulo I del presente trabajo de investigación podemos enumerar el procedimiento de la investigación en las siguientes etapas:

1. Se procede a recopilar:
 - Datos de análisis de laboratorio físicos, químicos y biológicos correspondientes a muestras de agua residual de la planta de tratamiento.

- Caudales de la planta de mantenimiento
- Memorias fotográficas de mantenimiento anual de la planta de anteproyecto.
- Anteproyecto y Manual de operaciones de la Planta de tratamiento.

2. Se realizan análisis nuevos de laboratorio de los siguientes parámetros:

- DBO en la entrada (punto 1).
- DBO en la salida antes de la cloración (punto 4).
- Sólidos suspendidos totales en el reactor biológico (punto 2).
- Sólidos Volumétricos en el Clarificador. (punto 3).
- Sólidos suspendidos totales del líquido mezcla (compuesto por el lodo y el efluente clarificado) en el Clarificador. (punto 3)
- Sólidos suspendidos totales del líquido mezcla en el Clarificador.(punto 3)
- Sólidos suspendidos totales en el punto 1 y en el punto 4.

3. Con la información obtenida mediante los ensayos realizados en el laboratorio se evalúa:

- Promedio y desviación estándar de cada variable.
- Porcentaje de separación o remoción de la DBO al comparar DBO entrada vs DBO de la salida antes de la cloración.
- Eficacia o Eficiencia conjunta de la planta en la actualidad comparada con la eficiencia esperada según el anteproyecto de la planta.
- Porcentaje de separación de los sólidos suspendidos totales en la planta al comparar los sólidos suspendidos en el punto 1 con los del punto 4.

4. Se describen los distintos tipos de plantas de tratamiento con sistemas de lodos activados; se calcula la variable que representa la Biomasa ($SST \times 80\%$), se consideran distintas plantas de tratamiento lodos activados con recirculación, lodos activados sin recirculación, y laguna aireada a través un modelo en Excel, en donde también se consideraran los datos obtenidos en el laboratorio
5. Considerando los parámetros obtenidos y comparándolos con los parámetros proyectados en el anteproyecto; se diseña una propuesta de adecuación para la planta de tratamiento con la finalidad de optimizar el funcionamiento de ésta.

CAPITULO IV

RECOPIACIÓN DE DATA EXISTENTE, ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA

A continuación se presentan todos los datos e información recopilada así como también los resultados de análisis de laboratorio que se realizaron durante la investigación, los resultados expuestos aquí se presentan de forma esquematizada siguiendo el orden de los objetivos específicos que fueron planteados en el Capítulo I del presente trabajo de investigación con la finalidad del cumplimiento del objetivo general.

RECOPIAR DATOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO, CAUDALES Y MEMORIAS DE MANTENIMIENTO ANUAL EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UCAB GUAYANA

La investigación esta orientada a la evaluación del comportamiento y eficiencia del tratamiento biológico de la planta por ello únicamente se recopilan datos que se consideren pertinentes a éste, motivo por el cual no se recopilan datos de cloro residual ni de coliformes ya que éstos forman parte de los parámetros de evaluación de la eficacia del tratamiento terciario o avanzado de la planta, el cual no es de carácter biológico.

Esta recopilación comprenden ensayos de laboratorio que se han realizado a la planta de tratamiento de aguas residuales de forma no regular.

Recopilación de datos de análisis de laboratorio

Tabla 12. Recopilación de data de ensayos anteriores de DBO₅ realizados en la entrada de la Planta(Punto 1). Fuente: Propia

Fecha del ensayo	DBO ₅ entrada de la planta (mg/l)
11-10-2010	26.6
26-10-2010	31.16
07-02-2011	54 56
01-06-2011	90 90 60 52 29 38
06-12-2011	200 217 80 72 173 77
17-01-2012	93 177 190 190 233 250 93
13-05-2013	71
16-05-2012	84,4 123
18-01-2013	120
VALOR PROMEDIO DE DBO DE ENTRADA	110

Tabla 13. Recopilación de data de ensayos anteriores de DBO5 realizados en la salida de la Planta(Punto 4). Fuente: Propia

Fecha del ensayo	DBO5 Salida de la planta (mg/l)
11-10-2010	7.2 (clorada)
26-10-2010	5.6 (clorada)
07-02-2011	36 4.75(clorada)
01-06-2011	66 30 46 41 35 33 25
06-12-2011	19.3
16-05-2012	26 19.25
13-05-2013	26.5
18-11-2013	26 34 46
VALOR PROMEDIO DE DBO DE SALIDA DE LA PLANTA	33,93

Nota: no se tomaron en cuenta los valores clorados para el cálculo del promedio ya que se desea conocer el Valor promedio antes del proceso terciario es decir antes de la cloración.

Tabla 14. Recopilación de data de los valores de pH de muestras correspondientes al punto de entrada de la planta (Punto 1). Fuente: Propia

Fecha	pH (entrada de la planta)
11-10-2010	7.02
26-10-2010	6.90
07-02-2011	7.26
30-03-2011	7.25
04-04-2011	7.58
13-04-2011	7.00
13-04-2011	6.00
27-04-2011	6.00
01-06-2011	7.04
19-10-2011	6.73
02-11-2011	7.00
06-12-2011	7.71
21-10-2013	7.23
Promedio	6.97

Tabla 15. Recopilación de data de los valores de pH, oxígeno disuelto, turbidez y conductividad para una muestra en el punto de entrada de la planta (Punto 1). Fuente: Propia

Fecha y hora	pH	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Turbidez (UNT)	Conductividad (µs/cm)
27-04- 2011 09:00 am	6	2.55	23.3	268.7
27-04-2011 03:10 pm	6	1.32	53.5	434
13-04-2011 2:30 pm	7	1.5	80.2	595
13-04-2011 10:00am	6	1.89	32.8	501
02-11-2011	7	1.98	29.6	548
21- 10 -2013	7,23	3.15	0.187	400
Valores Promedio	6,54	2,07	36,60	457,78

Tabla 16. Recopilación de data de los valores de pH, oxígeno disuelto, turbidez y conductividad para una muestra en el reactor biológico de la planta (punto 2).

Fuente: Propia

Fecha y hora	pH	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Turbidez (UNT)	Conductividad (µs/cm)
27-04- 2011 09:00 am	7	6.04	15.9	257
27-04-2011 03:10 pm	6	3.37	28.4	353
13-04-2011 2:30 pm	7	4.83	38.4	507
13-04-2011 10:00am	7	5.77	31.8	413
19-10-2011	6.73	--	7.17	144.4
02-11-2011	7	4.25	28.3	340
Valores promedio	6,78	4,85	25	335,73

Tabla 17. Recopilación de de data de los valores de pH, oxígeno disuelto, turbidez y conductividad para una muestra en el clarificador de la planta. (punto 3).

Fuente: Propia

Fecha y hora	pH	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Turbidez (UNT)	Conductividad (µs/cm)
27-04- 2011 09:00 am	6	4.44	10.2	256
27-04-2011 03:10 pm	6	1.41	18.5	317
13-04-2011 2:30 pm	7	2.40	27.3	491
13-04-2011 10:00am	6	5.23	20.2	414
19-10-2011	6.69		6.54	149.2
02-11-2011	7	4.33	28.3	398
Valores promedio		3,56	18,50	337,53

Tabla 18. Recopilación de data de los valores de sólidos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables (sólidos volumétricos) y sólidos disueltos para el afluente de la planta (entrada de la planta correspondiente al punto 1). Fuente: Propia.

Fecha	Sólidos Totales (mg/l)	Sólidos Sedimentables (ml/l)	Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	Sólidos disueltos (mg/l)
11-01-2012 (Hora de la mañana)	234	10	60	174
11-01-2012 (Hora de la tarde)	198	12	15.2	46
30-05-2012 (Hora de la mañana)	210	2	54	156
30-05-2012 (Hora de la tarde)	184	0,1	50	134
18-11-2014	174	-	56	-
Valores Promedio	200	6	47	127,5

Nota: para el mismo día 18-11-2014 se calcularon los sólidos totales y sólidos suspendidos totales en el reactor biológico y sus valores fueron de 106 mg/l y 16mg/l respectivamente

Tabla 19. Recopilación de data de los valores de sólidos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables (sólidos volumétricos) y sólidos disueltos para el efluente de la planta (Salida de la planta). Fuente: Propia.

Fecha	Sólidos Totales (mg/l)	Solidos Sedimentables (ml/l)	Solidos Suspendidos Totales (mg/l)	Solidos disueltos (mg/l)
11-01-2012 (Hora de la mañana)	60	0,50	34	26
11-01-2012 (Hora de la tarde)	28	0,1	24	4
30-05-2012 (Hora de la mañana)	130		46	84
30-05-2012 (Hora de la tarde)	118	0,1	46	72
Valores Promedio	84	0,23	37,5	46,5

Tabla 20. Recopilación de data de los valores de aceites y grasas en la entrada y salida de la planta. Fuente: Propia.

Fecha	Aceites y Grasas en la Entrada de la planta (mg/l)	Aceites y Grasas en la Salida de la planta (mg/l)
25-01-2012	2,6	1,8
13-06-2012	10,8	7,6
28-07-2012	36	9,6
21- 11 - 2012	24,8	23,2
Valores Promedio	18,55 mg/l	10,55 mg/l

Recopilación de Caudales de la planta

Para la medición del caudal de entrada de la planta, el señor Hildebrando Rodríguez, quien se encuentra encargado de las operaciones de mantenimiento en la planta, de lunes a viernes realiza una de medición la altura del vertedero.

Para cada altura de entrada hay un valor de caudal expresado en l/s de acuerdo al Manual de operación para la planta de tratamiento de aguas servidas (Veáse Anexo B).

Para el caso del caudal de entrada la altura no suele variar mucho, su rango oscila de 7.5 a 8 cm, siendo 8 cm uno de los valores más frecuentes; estos valores pueden llegar a ser de 9 a 10 cm en un día de fuertes lluvias. (H. Rodríguez, comunicación personal, 30 de abril de 2015)

Para el caso de los caudales en el vertedero de entrada, la recopilación consta de una muestra con las últimas 53 mediciones que se habían realizado antes del día 30 de abril de 2015, de éstas mediciones no se cuenta con un rango de fecha precisa.

Tabla 21. Recopilación de caudales en el vertedero de entrada de la planta

h vertedero entrada (cm)	Q correspondiente (l/s)	Frecuencia (# veces que se repite el Q)	Q x Frecuencia
6.50	0.64	2	9.6
7.00	0.77	15	11.55
7.50	0.91	20	18.2
8.00	1.07	12	12.84
8.50	1.24	4	4.96
		Σ 53	57.15

$$\text{Promedio} = (\text{Q x Frecuencia}) / (\text{Frecuencia})$$

$$\text{Promedio} = 57.15 / 53 = 1,07 \text{ l/s}$$

El valor que más se repite en la muestra corresponde a 0.91 l/s seguido de 0.77 l/s y en general el valor promedio de las mediciones es de 1,07 l/s.

El caudal de entrada suele estar normalmente en un rango de 0.77 l/s a 1.07 l/s; valor por debajo de 2,88 l/s el cual corresponde al caudal de diseño para la entrada de la planta.

Recopilación de Memorias de mantenimiento anual

En las memorias de mantenimiento anual se han recopilado imágenes donde se puede observar el mantenimiento anual de limpieza que se le realiza en el mes de Agosto de cada año a la planta de aguas servidas.

Figura 28. Evidencia de lodos decantados durante el mantenimiento de la planta en Agosto de 2013. Fuente: Antonio Seijas



Figura 29. Parte de los Lodos extraídos de la planta durante el mantenimiento anual en Agosto de 2013. Fuente: Antonio Seijas.



Figura 30. Efluente de la planta que descarga a la Quebrada El indio durante el mantenimiento de ésta en Agosto de 2013 y escorrentía de agua proveniente de la Urbanización los saltos. Fuente: Antonio Seijas.



Figura 31. Planta de tratamiento de aguas residuales de la UCAB luego de haberle realizado el mantenimiento. Fuente: Antonio Seijas.



Recopilación de información adicional

El 30 de abril de 2013 se evidenció en una planilla de comentarios adicionales que se encuentra en la data del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la UCAB Guayana, mediante afirmaciones del Sr. Hildebrando Rodríguez, operador de mantenimiento de la planta que ese día:

- Se registro un caudal un poco mayor al habitual de entrada.
- La tubería de salida del agua de la planta se obstruye con frecuencia casi a diario por acumulación de hojas provenientes de árboles cercanos.

El 30 de abril de 2015 por medio de comunicación oral el Sr. Hildebrando Rodríguez manifestó que días anteriores en el vertedero de entrada tuvo que extraer trozos de tela que obstruían el vertedero; antes existía una rejilla y no solía suceder eso con frecuencia, ésta rejilla fue llevada a mantenimiento y desde entonces no se ha colocado ya por el espacio de abertura que tiene y lo pesada que es dificultaba la toma de muestras.

Adicionalmente el Sr. Rodríguez sugirió que la planilla donde se anotan los datos de altura del vertedero de entrada tienen un espacio pequeño para la fecha, por lo que sería bueno modificar la planilla colocando un mayor espacio para la fecha y disminuye el espacio de comentarios adicionales que rara vez se utiliza.

REALIZAR NUEVOS ANÁLISIS DE LABORATORIO PARA EVALUAR LA CANTIDAD DE DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO, SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES, SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UCAB GUAYANA.

ENSAYOS DE ESTANDARIZACIÓN

A continuación se presentan diversos ensayos que fueron realizado con la finalidad de familiarización y aprendizaje del proceso de cada uno de los ensayos.

Ensayos de DBO₅

Los resultados de los ensayos DBO₅, se han realizado tomando en cuenta el cumplimiento de la norma venezolana FONDONORMA 3008:2007 Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Para los ensayos realizados los días 26 de noviembre del 2014, 03 de diciembre de 2014 y 05 de diciembre de 2014; se empleó la ecuación 6 mencionada en el marco teórico del presente trabajo.

$$DBO_5 = \frac{(D1 - D2) - (B1 - B2) f}{p} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Mientras que para el día 22 de enero del 2015 en donde la planta estuvo sin electricidad se empleo la Ecuación 5, para la determinación de la DBO_5 .

$$DBO_5 = \frac{D1 - D2}{p} \quad (\text{Ecuación 5})$$

A continuación podemos se muestra un cálculo típico de la DBO_5 para el día 26 de noviembre de 2014:

Oxígeno Disuelto de la muestra en el día cero (D1) = 6.76 ppm

Oxígeno Disuelto de la muestra en el día cinco(D2) = 1.26 ppm

Oxígeno Disuelto del Blanco en el día cero (B1) = 7,42 ppm

Oxígeno Disuelto del Blanco en el día cinco (B2) = 6.33 ppm

Dilución o Fracción volumétrica decimal de la muestra utilizada (P) = 10/300

Volumen del inculo / Volumen de la botella= 10/300

Volumen del inculo en agua de dilución/ Volumen del agua de dilución=
180/6000

Primero calculamos el factor f:

$$f = \frac{\frac{10}{300}}{\frac{180}{6000}} = 1,11$$

Luego sustituimos el valor f, y todos los datos restantes en la ecuación 6:

$$DBO_5 = \frac{(6.76 - 1.26) - (7.42 - 6.33) \times 1,11}{10/300} = 128.70 \cong 129$$

El resto de las DBO₅ fueron calculados de manera análoga.

Tabla 22 .Resultados Obtenidos de Estandarización de ensayos de DBO₅.
Fuente: Propia

<i>Fecha del ensayo</i>	<i>DBO₅ del punto 1 Dilución 10/300 (mg/l)</i>	<i>DBO₅ del punto 4 Dilución 10/300 (mg/l)</i>	<i>% Remoción de la DBO de la entrada respecto a la salida</i>
26-11-2014	129	87	32,56%
03-12-2014	117,9	58.2	50,81%
05-12-2014	116,4	51.4	44,15%
22-01 - 2015 (Planta sin Electricidad)	123,3	70,20	43,06%

Ensayos de Sólidos Suspendidos Totales, determinación de sólidos suspendidos volátiles biodegradables, medición de pH y OD

Los ensayos para la determinación de los sólidos suspendidos totales se realizaron cumpliendo los parámetros que establece la norma venezolana FONDONORMA 2461: 2005 Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación de Sólidos.

Para el cálculo de los sólidos suspendidos totales, se utilizó la ecuación 2 mencionada en el marco teórico de la presente investigación.

$$SST = \frac{(B-A)}{c} \times 1000 \quad (\text{Ecuación 2})$$

A continuación se muestra un cálculo típico de sólidos suspendidos totales para el día 28 de noviembre de 2014:

Peso del filtro vacío (A) = 83,1 mg

Peso del filtro con la muestra (B) = 83,6 mg

Volumen de la muestra (C) = 50 ml

Ahora sustituimos los valores en la ecuación 2 y nos queda:

$$SST = \frac{(83.6 - 83.1)}{50} \times 1000 = 10 \text{ mg/l}$$

Para el cálculo de los sólidos suspendidos volátiles se utiliza la Ecuación 4

$$SSV = SST \times 0.80 \quad (\text{Ecuación 4})$$

y se supone que de los sólidos suspendidos volátiles el 65% son biodegradables.

entonces para el día 28 de noviembre de 2014 se tiene:

$$SSV = 10 \text{ mg/l} \times 0.80 = 8 \text{ mg/l}$$

El 65% de 8mg/l equivale a 5,2 por lo que los sólidos suspendidos volátiles se aproximan a un valor de 5.2 mg/l.

Para la medición de pH y de oxígeno disuelto se utilizaron como instrumentos el pHmetro y el medidor de oxígeno disuelto del laboratorio de Ingeniería sanitaria de la UCAB Guayana

Tabla 23 .Resultados Obtenidos durante la Estandarización de Ensayos de Sólidos Suspendedos Totales, medición del pH y oxígeno Disuelto en el reactor biológico o piscina de aireación (punto 2). Fuente: Propia

Fecha del ensayo	Profundidad desde la superficie libre hacia abajo	SST (mg/l)	SSV biodegradables (mg/l)	OD (mg/l)	pH
28-11-2014	menor a 15 cm	10	5,2	5.23	7.86
03-12-2014	menor a 15 cm	20	10,4	6.30	7.87
05-12-2014	menor a 15 cm	15	7,8	5.93	7.84
10-12-2014	menor a 15 cm	15.6	8,11	5.24	7.66
19-02-2015	45 cm	16	8,32	5.86	7.92
19-02-2015	90 cm	25	13	5.70	7.39
24-02-2015	45 cm	13	6,76	5.60	7.94
24-02-2015	90 cm	17	8,84	5.46	7.82

Como se observa mayor cantidad de sólidos en suspensión a 90 cm de profundidad que a 45 cm; para la batería de ensayos se tomara 90 cm como la profundidad de toma de la muestra.

Ensayos de Sólidos Volumétricos

Los ensayos para la determinación de los sólidos volumétricos se cumplieron los parámetros que establece la norma venezolana FONDONORMA 2461: 2005 Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación de Sólidos

Tabla 24 .Resultados Obtenidos durante la Estandarización del Ensayo de Sólidos Volumétricos. Fuente: Propia.

Fecha del ensayo	Sólidos Volumetricos (SV) (ml/L)
28-11-2014	1.80
03-12-2014	27
05-12-2014	10
10-12-2014	69
19-02-2015	73
24-02-2015	55

RESULTADOS DE LA BATERIA ENSAYOS REALIZADOS PARA ANALIZAR EL COMPORTAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

Tabla 25. Resultados de la bateria de los ensayos de la DBO₅ para la Entrada de la Planta (punto 1) y la del efluente antes de la Cloración (punto 4). Fuente: Propia

Fecha	DBO5 del Punto 1 (Entrada de la Planta)	DBO5 del Punto 4 (Salida del efluente antes de la Cloración)	% Remoción de la DBO de Entrada respecto a la DBO5 de la Salida
24 - 02-2015	119.4 mg/l	75.60 mg/l	36,69%
26 - 02-2015	111 mg/l	68.10 mg/l	38,64%
11 - 03-2015	117.9 mg/l	64.50 mg/l	45,29%
12-03-2015	123 mg/l	31.8 mg/l	74,14%
18- 03-2015	164.95 mg/l	138.25 mg/l	16,18%
19 - 03 - 2015	112.74 mg/l	59.34 mg/l	47,36%

Tabla 26. Resultados de Bateria de los ensayos de SST y medición de Oxígeno Disuelto (OD) y pH en el reactor biológico de la planta (punto 2).
Fuente: Propia.

Fecha del ensayo	Profundidad desde la superficie libre hacia abajo	SST (mg/l)	SSV (mg/l)	OD (mg/l)	pH
25-02-2015	90 cm	19	15.2	5.40	8.07
26-02-2015	90 cm	47	37.6	5.65	7.72
02-03 -2015	90 cm	30	24	5.60	8.15
03-03-2015	90 cm	33	26.4	5.50	8.15
04-03 -2015	90 cm	38	30.4	5.65	8.18
05-03 -2015	90 cm	20	16	5.72	7.99
09-03 -2015	90 cm	22	17.6	5.86	7.85
10-03 -2015	90 cm	19	15.2	6.10	8.12
11-03 -2015	90 cm	26	20.8	5.26	8.08
12-03 -2015	90 cm	15	12	5.77	8.08
16-03-2015	90 cm	18	14.4	6.18	8.24
17-03-2015	90 cm	15	12	4.63	7.62
18-03-2015	90 cm	16	12.8	4.76	7.67
19-03-2015	90 cm	23	18.4	5.24	7.75

Tabla 27. Resultados de la batería de los ensayos de Sólidos Volumétricos(SV) en la salida del reactor biológico (punto 3). Fuente: Propia

Fecha	SV (ml/L)
25-02-2015	90
26-02-2015	13
02-03 -2015	30
03-03-2015	33
04-03 -2015	40
05-03 -2015	50
09-03 -2015	46
10-03 -2015	82
11-03 -2015	18
12-03 -2015	38
16-03-2015	32
17-03-2015	90
18-03-2015	36
19-03-2015	38

Tabla 28. Resultado de Ensayo de Sólidos Suspendidos Totales para el punto de entrada (punto 1) y el punto antes del proceso de cloración(punto4).

Fuente: Propia.

Fecha	SST Entrada de la planta (punto 1)	SST Punto antes de la cloración (punto 4)
24 de abril de 2015	36 mg/l	23 mg/l

$$\% \text{ rendimiento de separación de sólidos} = 100\% - \left(\frac{SST \text{ punto 4}}{SST \text{ punto 1}} \times 100\% \right)$$

$$\% \text{ rendimiento de separación de sólidos} = 100\% - \left(\frac{23}{36} \times 100\% \right) = 36,12\%$$

REALIZAR UN ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES ENSAYADAS

Para analizar el comportamiento de las variables ensayadas, en cuanto al rango en que éstas se encuentran y el promedio de ellas se utilizó el Software Microsoft Excel 2010.

Tabla 29. Valores promedio, desviación estándar, máximo y mínimo correspondientes a las muestras de DBO₅ ensayadas del 24 - 02-2015 al 19-03-2015. Fuente: Propia.

DBO punto 1	DBO punto 4	
119,4	75,6	
111	68,1	
117,9	64,5	
123	31,8	
164,95	138,25	
112,74	59,34	
123,65	66,52	Promedio
20,14	35,34	Desviación estándar
164,95	138,25	Máximo
111	31,8	Mínimo

Tabla 30. Valores de promedio, desviación estándar, máximo y mínimo correspondientes a las muestras Solidos Volumetricos para el punto 3 y de Sólidos Suspendidos Totales, Cálculo de Sólidos Suspendidos Volátiles, medición de OD y pH para el punto 2. Fuente: Propia.

PUNTO 2				PUNTO 3	
SST	SSV	oD	pH	SV	
19	15,2	5,4	8,07	90	
47	37,6	5,65	7,72	13	
30	24	5,6	8,15	30	
33	26,4	5,5	8,15	33	
38	30,4	5,65	8,18	40	
20	16	5,72	7,99	50	
22	17,6	5,86	7,85	46	
19	15,2	6,1	8,12	82	
26	20,8	5,26	8,08	18	
15	12	5,77	8,08	38	
18	14,4	6,18	8,24	32	
15	12	4,63	7,62	90	
16	12,8	4,76	7,67	36	
23	18,4	5,24	7,75	38	
22,90	18,32	5,51	7,97	39,63	Promedio
9,52	7,61	0,44	0,21	24,71	Desviación estándar
47	37,6	6,18	8,24	90	Máximo
15	12	4,63	7,62	13	Mínimo

ESTUDIO ACERCA DE LOS TIPOS DE PLANTA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO EN DONDE SE INCLUYAN PROCESOS DE LODOS ACTIVADOS PARA DEFINIR CUAL DE ELLAS ES LA PLANTA A ESTUDIAR O A CUAL SE PODRÍA ADAPTAR.

El estudio se basa en comparar mediante un modelo con el software Microsoft Excel 2010 las siguientes condiciones:

- Un sistema de mezcla completa sin recirculación
- Una laguna aireada
- Condiciones de operación actual bajo un diseño de lodos activados

No se compara el sistema con una laguna anaerobia, ya que éstas se utilizan para aguas residuales industriales con cargas de DBO₅ superiores a los 400 mg/l; tampoco se considerara para el estudio un reactor SBR ya que por el esquema de la infraestructura es evidente que no es la planta que se tiene y una adecuación a este tipo de reactor implicaría un gasto económico elevado.

A continuación se muestran parámetros considerados y los resultados arrojados por el programa cuando se consideró:

- **Sistema de Mezcla Completa sin recirculación:**

Consideraciones:

DBO₅ entrada = 120 mg/l (aproximado al promedio del actual)

DBO₅ salida = 60 mg/l (aproximado al promedio del actual)

Constantes de diseño:

Volumen reactor = 130 m³ (Volumen de diseño)

Q diseño = 2,88 l/s

Φ_c = 18 días

Y = 0,5 (Figura 18)

K_d = 0,05 día⁻¹ (Figura 18)

Cantidad de SSVLM (Ecuación 32)

$$X = \frac{Y(S_0 - S)}{(1 - k_d \theta)}$$

$$X = 0,3 \frac{kg}{m^3} = 300mg/l$$

Tiempo de retención hidráulica(TRH) (Ecuación 10)

$$\text{Tiempo de retención hidráulica} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Caudal}}$$

$$\text{Tiempo de retención hidráulica} = 0,52 \text{ días}$$

Relación F/M

$$F/M = \frac{S_0 Q_0}{X V}$$

$$F/M = 0,8$$

Se tiene una relación F/M que puede ser considerada en el rango de aireación prolongada.

(G. Kiely, 1999, p.718)

- Aireación prolongada: $0,03 < F/M < 0,8$
- Convencional: $0,8 < F/M < 2$
- Sistema por oxígeno puro: $F/M > 2$

- **Laguna Aireada**

Consideraciones:

DBO₅ entrada = 120 mg/l (aproximado al promedio del actual)

DBO₅ salida = 60 mg/l (aproximado al promedio del actual)

Constantes de diseño:

Volumen reactor = 130 m³ (Volumen de diseño)

Q diseño = 2,88 l/s

Φc= 19 días

Y = 0,5 (Figura 18)

Kd= 0,05 día⁻¹ (Figura 18)

Cantidad de SSVLM (Ecuación 32)

$$X = \frac{Y(S_0 - S)}{(1 - k_d \theta)}$$

$$X = 0,6 \frac{kg}{m^3} = 600mg/l$$

Tiempo de retención hidráulica(TRH) (Ecuación 10)

$$\textit{Tiempo de retención hidráulica} = \frac{\textit{Volumen}}{\textit{Caudal}}$$

Tiempo de retención hidráulica = 0,52 días

Relación F/M

$$F/M = \frac{S_0 Q_0}{X V}$$

$$F/M = 0,4$$

Se tiene una relación F/M que puede ser considerada en el rango de aireación prolongada.

(G. Kiely, 1999, p.718)

- Aireación prolongada: 0,03 < F/M < 0,8
- Convencional: 0,8 < F/M < 2

– Sistema por oxígeno puro: $F/M > 2$

• **Condiciones de diseño (Lodos Activados con aireación prolongada)**

Consideraciones:

DBO_5 entrada = 200 mg/l (DBO del diseño)

DBO_5 salida = 20 mg/l (DBO del diseño)

Constantes de diseño:

Volumen reactor = 120 - 130 m³ (Volumen de diseño)

Q diseño = 2,88 l/s

Φ_c = 10 días

Y = 0,6 (Figura 18)

Kd = 0,06 día⁻¹ (Figura 18)

En base al ejemplo de diseño 8-1 expuesto en el libro de Metcalf & Eddy; se elaboró el modelo en Microsoft Excel, en el cual se asume una cantidad de Biomasa (SSVLM) y a partir de ésta se calcula el volumen del reactor, tiempo de retención hidráulica, eficacia de la planta en función del DBO soluble y eficiencia conjunta de la planta.

Para hallar un volumen que se ajuste al de diseño se realizaron iteraciones con el valor de los Sólidos Suspendidos Volátiles del Líquido Mezcla, denominado X (Biomasa o Sustrato).

Estimación la DBO_5 soluble del efluente

DBO_5 del efluente = DBO_5 soluble del tratamiento que se escapa al tratamiento + DBO_5 de los sólidos suspendidos del afluente (Ecuación 46)

$$20 = S + 20(0,65)(1,42)(0,68)$$

DBO_5 soluble del tratamiento que se escapa al tratamiento = 7,4 mg/l de DBO_5 soluble

La eficacia del tratamiento biológico(E_s), estudiada en términos de DBO_5 soluble es:

$$E_s = \frac{DBO_5 \text{ del afluente} - DBO_5 \text{ soluble que se escapa al tratamiento}}{DBO_5} \times 100\%$$

(Ecuación 47)

$$E_s = \frac{200 - 7,4}{250} \times 100\% = 96,28\%$$

La eficacia o eficiencia del tratamiento biológico conjunta (Econjunta) estudiada en términos de DBO5 viene dada por la siguiente expresión:

$$E_{conjunta} = \frac{DBO_5 \text{ del afluente} - DBO_5 \text{ salida}}{DBO_5} \times 100\%$$

(Ecuación 48)

$$E_{conjunta} = \frac{200 - 20}{200} \times 100\% = 90\%$$

Cálculo del Volumen del reactor, se despeja V de la Ecuación 49:

$$XV = \frac{YQ\theta_c (S_0 - S)}{1 + k_d\theta_c} \quad \text{(Ecuación 49)}$$

$$V = 123,91 \text{ m}^3$$

Tiempo de retención hidráulica (TRH) (Ecuación 10)

$$\text{Tiempo de retención hidráulica} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Caudal}}$$

$$\text{Tiempo de retención hidráulica} = \frac{123,91 \text{ m}^3}{248,832 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}} = 0,5 \text{ días}$$

Cálculo de la Relación F/M (Ecuación 37)

$$F/M = \frac{S_o}{\phi X}$$

$$F/M = \frac{200}{0,50 \times 1450} = 0,28$$

- **Condiciones de operación (Lodos Activados con aireación prolongada)**

Consideraciones:

DBO₅ entrada = 120 mg/l (aproximado a la DBO promedio de los ensayos)

DBO₅ salida = 60 mg/l (aproximado a la DBO promedio de ensayos)

Constantes de diseño:

Volumen reactor = 120 - 130 m³ (Volumen de diseño)

Q diseño = 2,88 l/s

Φ_c = 10 días

Y = 0,6 (Figura 18)

K_d = 0,06 día⁻¹ (Figura 18)

Se asumió un SSLM = 750 mg/l; valor el cual proporciona un volumen igual al de diseño, es decir con el que se cuenta en la actualidad.

Los cálculos fueron realizados de manera análoga a las condiciones de diseño por lo cual se presentaran sólo los resultados arrojados por el programa, los cuales son los siguientes:

- $E_s = 81,38\%$
- $E_{conjunta} = 50\%$
- $Volumen\ del\ reactor = 121,50\ m^3$

– *Tiempo de retención hidráulica = 0,49 días*

– *F/M = 0,33*

Para evaluar la Posible adecuación a realizar es necesario observar los distintos sistemas que fueron evaluados y compararlos, para ello se presenta de forma resumida las DBO manejadas y los SSLM en la Tabla 31

Tabla 31. Comparación de diseños de distintos sistemas de tratamiento biológico según su DBO de diseño y los SSLM. (Fuente Propia)

TIPO DE SISTEMA	DBO entrada (mg/l)	DBO salida (mg/l)	SSLM (mg/l)
Mezcla sin recirculación	120	60	300
Laguna Aireada	120	60	600
Lodos Activados con las condiciones de Diseño	200	20	1450
Lodos Activados con las condiciones de operación	120	60	750

De acuerdo con los resultados obtenidos durante la batería de ensayos, los promedios de la DBO₅ en la entrada de la planta esta en el orden de 123,65 mg/l y para la DBO₅ del efluente antes de la cloración es de 66,52 mg/l. (Ver Tabla 29)

Los Sólidos Suspendidos Volátiles correspondientes a la biomasa en el reactor biológico son 18,32 mg/l y el valor máximo registrado de éstos es de 37,6 mg/l y para los sólidos volumétricos a la salida del reactor biológico se tiene un promedio de 39,63 ml/l y un valor máximo de 90 ml/l (Ver Tabla 30)

EVALUAR UNA POSIBLE ADECUACIÓN PARA PROPONER UNA OPTIMIZACIÓN QUE PUEDA REALIZARSE AL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UCAB GUAYANA.

Mediante el estudio comparativo de un sistema de mezcla completa sin recirculación, laguna aireada y lodos activados convencionales; se definió que la planta de tratamiento de aguas servidas de la UCAB Guayana obedece más a una planta de tratamiento de mezcla completa sin recirculación.

Propuestas de adecuación para optimizar la planta a nivel de infraestructura:

- **Propuesta de optimización número 1:**

Adecuar la planta a las condiciones de diseño; para lo cual se hace imperioso cambiar los sistemas aspersores con los que cuenta la planta; que si bien éstos son superiores a los del diseño original y generan una cantidad adecuada de oxígeno disuelto con un promedio de 5,51 ppm generan un sistema de flujo turbulento y no logran mantener en suspensión la biomasa, requisito fundamental en este tipo de procesos.

- **Propuesta de optimización número 2:**

En función de aprovechar los equipos existentes y con ello lograr aumentar la eficacia de la misma; retirar las dos bombas sumergibles que se encuentran en el sedimentador secundario y situarlas en el fondo del reactor biológico para garantizar que se mantenga en suspensión la biomasa (SSVLM). En esa misma dirección se propone instalar una plataforma, preferiblemente de madera, a 20 centímetros al espejo de agua del sedimentador secundario; se recomienda fijar la

plataforma en la plafón vertical que ralentiza el flujo en el sedimentador, de forma tal que el agua pase directamente del reactor biológico al proceso de cloración.

Propuestas de adecuación para optimizar la planta a nivel de operación y mantenimiento:

- Colocar una rejilla en el vertedero de entrada; la cual bien podría ser la anterior o una nueva que podría realizarse a manera de ventana corrediza con marco de madera y tela metálica para proteger el vertedero de entrada de posibles objetos o telas que puedan obstruir éste y causar posteriormente daños en los aireadores.
- Se sugiere que en lugar de utilizar planillas, se utilicen un libro conformado por planillas de anotaciones de altura, comentarios adicionales aparte. (Ver Anexo I Nuevo formato sugerido de Planillas para medición de caudales)
- Realizar ensayos de DBO5 mediciones de oD y pH quincenalmente; preferiblemente un día Miercoles para que la DBO5 sea medida un día Lunes; y un ensayo de SST trimestral.

- Propuesta de adecuación para optimizar la planta a nivel de paisajismo:

Justo al lado de la planta de la planta de aguas servidas se encuentra la construcción de una cancha de fútbol, en la cual se llevaran a cabo eventos deportivos; con la finalidad de atenuar los olores desagradables que puedan producirse en un día donde la planta reciba un contenido alto de materia orgánica se propone lo siguiente:

- El Anteproyecto de la planta sugiere sembrar pinos en todo el perímetro de la cerca de la planta (Ver Anexo A); como la siembra de

pinos puede resultar costosa se propone sembrar la planta "hedera hélix" conocida como hiedra común o enredadera, la cual serviría como especie de pared para atenuar los olores generados por la planta.

- Colocar en el perímetro de la cerca macetas con plantas de jazmín con la finalidad de atenuar los olores que pueda producir la planta; para la adquisición de éstas plantas pueden involucrarse a los alumnos y profesores que cursen cátedras de índole ambiental.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Recopilar datos de análisis de laboratorio, caudales y memorias de mantenimiento anual en la planta de tratamiento de Aguas Residuales de la UCAB Guayana.

La recopilación de los datos de análisis de laboratorio se realizó de forma minuciosa ya que se revisó toda la data existente en el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la UCAB Guayana; luego de copiar los datos manualmente fueron organizados en las tablas expuestas en el Capitulo IV del presente trabajo de investigación.

Se calcularon los valores promedio de los datos recopilados y se tiene que el promedio de la DBO_5 de entrada es de 110 mg/l y de salida 33,93 mg/l; los cuales resultaron útiles como referencia a la hora de obtener los resultados nuevos.

Durante la recopilación de los caudales surgieron sugerencias con base, para las que se realizaron propuestas de optimización a nivel de operación y mantenimiento.

En las memorias de mantenimiento anual se evidenció una cantidad significativa de biomasas en el fondo del reactor aireador.

Realizar nuevos análisis de laboratorio para evaluar la cantidad de Demanda Biológica de Oxígeno, sólidos suspendidos totales,

sólidos suspendidos volátiles en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la UCAB Guayana.

Gracias a obtenidos durante la Estandarización de Ensayos de Sólidos Suspendidos Totales (Ver Tabla 22) puede apreciarse que el día 19 de febrero de 2015 a una profundidad de 45 cm se obtuvieron 16 mg/l mientras que a 90 cm de profundidad 25 mg/l de SST lo cual representa una variación de 56.25%. Para el día 24 de febrero de 2015, a 45 cm se obtuvieron 13 mg/l y a 90 cm se obtuvo un valor de 17 mg/l; representando así una diferencia de 30,76% de SST. Por lo que se puede concluir que ocurre la sedimentación de sólidos en el reactor aireador como se muestra en las memorias de mantenimiento.

Durante la batería de ensayos la eficiencia conjunta de la planta o porcentaje remoción de la DBO salida con respecto a la DBO de entrada se sitúa por lo general en valores inferiores al 50% cuando se espera en el anteproyecto que se tengan porcentajes de un 80-90%. El efluente final pasa por un proceso de cloración el cual se realiza para eliminar microorganismos patógenos; la cloración trae como consecuencia una disminución de la DBO aunque ésta no es su función principal. Luego del proceso de cloración el efluente de la planta cumple con los estándares de DBO exigidos por las Normas Venezolanas para la clasificación y el control de la Calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos.

Realizar un Análisis estadístico del comportamiento de las variables ensayadas.

Los resultados de los análisis estadísticos de las variables ensayadas fueron obtenidos mediante Microsoft Excel, en ellos se puede apreciar que la desviación estándar de la DBO₅ es alta, y para el caso de variables

como el pH y el oxígeno disuelto se tiene una desviación estándar baja, ya que las variaciones entre ellas mismas son mínimas respecto a las variaciones de DBO_5 .

Los valores promedio sirvieron como referencia para el estudio comparativo acerca de los tipos de planta de tratamiento biológico.

Realizar un estudio acerca de los tipos de planta de tratamiento biológico en donde se incluyan procesos de Lodos Activados para definir cual de ellas es la planta a estudiar o a cual se podría adaptar.

Mediante el estudio acerca de los diferentes tipos de planta de tratamiento biológico quedo evidenciado que la planta no esta funcionando cómo fue concebida en su diseño original. Los resultados que se obtuvieron en los ensayos estan muy alejados de las condiciones de diseño y de cumplir con las condiciones requeridas por un diseño convencional de lodos activados. Más bien la planta se asemeja más a un sistema de mezcla completa sin recirculación, ya que es éste el que posee la menor cantidad de SSLM. (Ver Tabla 30)

Evaluar una posible adecuación para proponer una optimización que pueda realizarse al Sistema de Lodos activados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la UCAB Guayana.

Dentro de las posibles adecuaciones puede plantearse en primera instancia adecuarla lo más parecido a las condiciones de diseño original por medio de la adquisición de nuevos aspersores; como segunda opción se propuso cambiar de lugar las bombas sumergibles con las que cuenta la planta y ubicarlas en el fondo del reactor biológico. Las adecuaciones son sólo propuestas, pero si se considera necesario colocar la rejilla protectora para el vertedero de entrada de la planta.

Adicionalmente se plantearon adecuaciones a nivel de operación y mantenimiento así como adecuaciones a nivel de paisajismo; las cuales resultan bastante económicas y fáciles de aplicar.

RECOMENDACIONES

- Adecuar al cuarto de mantenimiento de la planta con equipos que registren las variables en el sitio a fin de tomar las decisiones más rápidas y eficientes a la hora de variar las condiciones de entrada. Se recomienda realizar un estudio como línea de investigación a éste con la finalidad de determinar las características determinar un diseño apropiado y estimar los costos para el cuarto de mantenimiento de la planta.
- Aislar la planta de la cantidad de aguas de lluvia proveniente del Loyola ya que éstas disminuyen la DBO mediante una modificación a nivel de infraestructura de los acueductos que permita que las aguas de lluvia del Colegio Loyola descarguen directamente al alcantarillado de la ciudad.
- Utilizar un caudal de (1 l/s) proveniente de la tubería de drenaje de lluvias del sector los altos (contigua a la salida de la planta de la universidad) con el fin de garantizar una mayor cantidad de la DBO y de esta manera ayudar a preservar el ecosistema de la quebrada el indio que llega al parque Cachamay, cabe destacar que el caudal promedio que recibe la planta se sitúa en 1,07 litros por lo que si se modifica el colector proveniente de los saltos y se calcula una tubería que tenga un diámetro correspondiente a 1 l/s y éste caudal sea procesado por la planta de la universidad, se contaría con un caudal de entrada diario de 2,07 l/s aproximadamente, lo cual permitiría a la planta trabajar más acorde con sus condiciones de diseño original.

- Ejecutar las propuestas a nivel de operación y mantenimiento y a nivel de paisajismo planteadas en el presente trabajo de investigación.
- Se recomienda como futura línea de investigación normalizar los ensayos de determinación del contenido Fósforo y Nitrogeno (N y P) en aguas residuales dentro del Laboratorio de la universidad para así estudiar mejor la planta a nivel biológico.

Referencias Bibliográficas

APHA, AWWA, WPCF. (1995). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. (19th Edition). Washington, D.C, United States.

Arias, F.(2006) *El Proyecto de Investigación (Introducción a la metodología científica)*. 5ta Edición. Caracas, Venezuela. Editorial: Episteme.

Arocha, S. *Anteproyecto de la planta de tratamiento de Aguas Servidas*. Estudios y Proyectos, EPISAR, C.A [Consulta: 2015, Abril, 08]

Arocha, S. *Manual de Operaciones para la planta de tratamiento de Aguas Servidas*. Estudios y Proyectos, EPISAR, C.A [Consulta: 2015, Abril, 08]

Crites & Tchobanoglous (2000). *Tratamiento de Agua Residuales en pequeñas poblaciones*. Mc Graw-Hill.

Cruz, J. (2001) "Determinación de la eficiencia de la estación depuradora de Aguas Residuales en la empresa Proleche S.A del Municipio de Chía", Bogotá, Colombia. Disponible en:
<http://intellectum.unisabana.edu.co/handle/10818/4901?show=full>

FONDONORMA. *Norma Venezolana Aguas naturales, industriales y residuales*. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno 3008:2007. Caracas, Venezuela.

FONDONORMA. *Norma Venezolana Aguas naturales, industriales y residuales*. Determinación de Sólidos 2461:2005 (1ra. Revisión). Caracas, Venezuela.

Giraldo L. y Restrepo I. (2003) "Arranque y operación de un reactor experimental de lodos activados para el tratamiento de Aguas Residuales Urbanas". Bogotá, Colombia. Disponible en:
<http://www.bdigital.unal.edu.co/977/>

Hernandez R., Fernández C. y Baptista P. (1996) *Metodología de la investigación*. México D.F, México. Editorial: Mc Graw-Hill

Kiely, G. (1999). *Ingeniería Ambiental*. 1era Edición. Volumen II. Madrid, España. Editorial: Mc Graw-Hill.

Méndez, M. (2009). *Elementos de Hidráulica de canales*. (2^{da} ed.) Caracas, Venezuela: Publicación UCAB.

Metcalf & Eddy (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales (Tratamiento, Vertido y Reutilización) Volumen I 3era Edición*. Madrid, España. Editorial: Mc Graw-Hill.

Metcalf & Eddy (2003). *Wastewater Engineering (Treatment and reuse). Fourth Edition*. China, Mc. Graw Hill. Disponible en:
http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/TCHOBANOG LOUS%20et%20al.%202003%20Wastewater%20Engineering.pdf

Normas Venezolanas para el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua, Decreto 883. Caracas, Venezuela.

Santallia, Z. (2012). *Guía para la elaboración formal de reportes de investigación*. Caracas: Publicación UCAB.

ANEXOS

ANEXO A.

Anteproyecto Planta de tratamiento de Aguas Servidas

UCAB- Guayana Puerto Ordaz.

ANTEPROYECTO DE PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS
UCAB - GUAYANA. PUERTO ORDAZ

21 de Mayo de 1.999

Ing°. Simón Arocha Ravelo
C.I.V. 2.255

ÍNDICE

1 MEMORIA DESCRIPTIVA	8 páginas
2 CANTIDADES DE OBRA	2 páginas
3 PLANO DE PLANTA a Escala 1: 50	1 plano
4 PLANO DE UBICACIÓN a Escala 1: 100	1 plano

Anteproyecto de Planta de Tratamiento de aguas negras para las instalaciones de UCAB-GUAYANA.MEMORIA DESCRIPTIVA:1. Ubicación y Descripción:

La Universidad Católica Andrés Bello (UCAB-GUAYANA), está ubicada en terrenos adyacentes al Colegio Loyola de la ciudad de Puerto Ordáz, para cuyas instalaciones sanitarias (aguas negras) se ha considerado necesario la construcción de una planta de tratamiento que permita su descarga a un cauce cercano, sin generar efectos nocivos o desagradables al ambiente.

Se ha destinado una superficie de aproximadamente 600 m², ubicado en el extremo Este del área total del terreno, hacia donde drena el colector final, desde de la BV-C2 de la red de cloacas proyectada.

Esta área destinada para la Planta de Tratamiento deberá cercarse con malla hasta una altura de aproximadamente 1,80 m. y estará dotada de puerta de acceso de 2 hojas y ancho no menor de 2,00 m.

En virtud de que las edificaciones de la Universidad se pondrán en servicio a medida que se hayan construido las nuevas edificaciones previstas, el diseño para la construcción de la planta de tratamiento contempla 3 etapas que pueden trabajar independientemente o integradas, pudiendo realizarse su construcción cuando se incremente el caudal.

El ante-proyecto está concebido de modo que el desarrollo del proyecto definitivo contemple el diseño de la planta de tratamiento y que su posterior construcción pueda realizarse atendiendo el incremento de gasto, de acuerdo al desarrollo gradual de las construcciones del Complejo Educativo, sin que en la etapa inicial de bajo caudal sea significativo en el funcionamiento del sistema propuesto.

La primera etapa de construcción contemplará una unidad de desbaste y separación de material grueso, canal de aforo y tanquilla de distribución, cuyo diseño deberá contemplar el caudal máximo de aguas servidas generadas en el Complejo Educativo en total funcionamiento. Sin embargo, el resto de las unidades que integran los procesos de tratamiento (excepto el lecho de secado de lodos) podrá construirse a medida que se produzca un incremento de caudal por las exigencias de las nuevas construcciones.

A fin de que la Planta de Tratamiento presente un aspecto estético se considera conveniente la siembra de arboles (pinos o chaguaramos) a su alrededor y dejar un espacio entre las unidades de aeración a fin de permitir la circulación.

2. Origen de las aguas:

Las aguas residuales son provenientes de aguas de uso de los sanitarios, laboratorios, comedor-cafetería, cocina, gimnasio, vestuarios, duchas, y áreas administrativas, por lo que sus características físico-químicas pueden clasificarse como de "uso doméstico".

3. Drenaje natural de las aguas:

La ubicación de la Planta respecto al sitio de descarga final, hará posible que las aguas negras recibidas puedan drenar por gravedad la descarga del efluente de la planta de tratamiento hacia el cauce seco existente en el lindero Este.

Sin embargo, el ante-proyecto contempla la posibilidad de utilizar en forma parcial el efluente de la planta de tratamiento con fines de riego de áreas verdes.

4. Gasto de diseño:

De acuerdo a la indicado en la "Memoria Descriptiva de Acueducto, Cloacas y Drenaje del Urbanismo UCAB-GUAYANA" (Noviembre de 1.998 y revisados en Abril 1.999), los gastos indicados atenderán la siguiente clasificación por etapas:

	Fecha prevista	Q estimado (l/s)
1ª Etapa	Octubre 1.999	2.88
2ª Etapa	Diciembre 2.000	7.27
3ª Etapa	Diciembre 2.001	8.34

Para atender esta condición de incremento gradual de caudal, se han previsto 3 etapas de funcionamiento de la planta, lo cual permitiría dar un tratamiento en forma independiente en cada una de ellas, o integradas de acuerdo al caudal del afluente. Ello significaría además, que su construcción podría realizarse a medida que las nuevas edificaciones previstas sean incorporadas a la red cloacal.

Esta consideración es también importante dada la variación horaria del caudal que se generaría por la mayor o menor actividad realizada durante las distintas horas del día.

5. Carga Hidráulica:

Para cada una de las etapas contempladas en el ante-proyecto se han considerado los parámetros siguientes:

Factor de reingreso $R = 0,80$

Factor de Gasto Máximo = 2

Factor de gasto mínimo $K_{min} = 0,60$

	Q cloacas	Q med.	Q mín.
1ª Etapa	2.88	1.44	0.86
2ª Etapa	7.27	3.64	2.18
3ª Etapa	8.34	4.17	2.50

6. Características del líquido cloacal:

Para efectos del diseño se considerarán los siguientes valores de las aguas negras crudas, procedentes del Complejo Educativo: (Ref. G. Rivas M.)

Demanda Bioquímica de Oxígeno ($DBO_{5,20}$)	200 mg/l
Sólidos Suspendidos (S.S.)	300 mg/l
Sólidos Totales (S.T.)	600 mg/l
Sólidos Totales volátiles (S.T.V.)	480 m/l
temperatura	25° C - 27° C

7. Descripción del Proceso.

Se propone el Sistema de Tratamiento conocido como de "Lodos Activados" o de "Oxidación Total" el cual consiste principalmente en una unidad de Reacción o Aerador, que recibe lodo recirculado del sedimentador y el cual proviene del mismo Aerador o Reactor Biológico.

Las aguas servidas generadas en las instalaciones de la UCAB-GUAYANA serán conducidas por gravedad hasta la Planta de Tratamiento; el proceso se iniciará con un sistema de rejas cuya función será la remoción de sólidos gruesos indeseables al tratamiento posterior.

El líquido efluente del sistema de rejas será conducido hacia un canal y vertedero triangular para la medición del caudal afluente y luego hasta una tanquilla de distribución provista de compuertas que permitan el paso o cierre hacia una cualquiera de las estructuras que constituyen cada etapa del sistema.

En el Reactor ocurre básicamente la oxidación biológica de la materia orgánica, la cual se produce mediante los siguientes procesos: remoción de materia orgánica, síntesis de nuevas células y respiración endógena u oxidación de células vivas.

Al ocurrir las reacciones se está removiendo materia orgánica, pero incrementando la concentración de células o sólidos suspendidos volátiles, por lo que será necesario pasar el líquido por un sedimentador secundario.

En el Sedimentador ocurren dos procesos: Clarificación del líquido cloacal y espesamiento del lodo activado.

El líquido clarificado será sometido a un tratamiento de Desinfección, mediante la aplicación de cloro, bien sea una solución de Hipoclorito de Calcio o de Gas Cloro.

El objeto del tratamiento de Desinfección es el de eliminar el exceso de bacterias patógenas, llevando el Índice Coliforme a valores menores que 1000 NMP/100 ml., cuando las muestras son examinadas por el Método de los Tubos Múltiples de Fermentación.

El lodo sedimentado será recirculado hacia el Reactor Biológico con el fin de mantener la masa bacteriana activa. Un exceso de lodo será descargado en forma intermitente en el lecho de secado de lodos.

El oxígeno requerido para el proceso será suministrado con la transferencia mecánica de aire atmosférico mediante la utilización de aeradores mecánicos o supliendo aire con sopladores a través de tuberías perforadas. En el proyecto se contemplaría la solución que más convenga, considerando el desarrollo por etapas y los costos iniciales.

En virtud de que la construcción del Complejo Educativo UCAB-GUAYANA se irá poniendo en servicio a medida que se vayan construyendo nuevas edificaciones, y que para ello están previstas 3 etapas para fechas Octubre 1999, Diciembre 2000 y Diciembre 2001; resulta conveniente para el funcionamiento biológico de la planta y de que ella pueda trabajar eficientemente, realizar la construcción en forma gradual, por etapas, y puesta en servicio cada etapa, a medida que se incremente el caudal para la etapa inicial propuesta.

8. Carga Orgánica

El factor de Carga depende de la relación

$$K = \frac{\text{substrato/tiempo}}{\text{biomasa-activa}} = \frac{\text{kgDBO/día}}{\text{kgSSV}}$$

Se utilizará un factor de carga $K_0 = 0,13$ (generalmente de 0,1 - 0,2 para aeración extendida)
 Carga orgánica para cada etapa = $0,13 \times 200 = 26,21$ kg/día

9. Unidades de Proceso y Cálculo de las Unidades:

Es evidente que en cada etapa existirá una variación del gasto fluyendo a la planta, lo cual está representado por las actividades desarrolladas durante las diferentes horas del día; por ello hemos considerado para cada una de las etapas del proyecto los posibles caudales mínimos, medio y máximos que recibirá como carga hidráulica cada uno de los módulos diseñados

Gastos correspondientes a la 1ª. Etapa:

La primera etapa supone un caudal máximo de 2,88 l/s, en el colector cloacal que llega a la Planta de Tratamiento, sin embargo debemos considerar las variaciones del caudal que se producen durante un día cualquiera de funcionamiento de las áreas en servicio, por lo cual se han considerado factores en la determinación del caudal mínimo y medio para la determinación de las capacidades y dimensiones de las unidades de tratamiento, tomando en cuentas las características propias de unas edificaciones educacionales, cuyas actividades se desarrollan casi exclusivamente en horas diurnas y en forma continua durante dicho lapso.

En este sentido se considerarán los siguientes caudales de diseño:

$$Q_{\text{med}} = 0,5Q_c = 1,44 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{mín.}} = 0,6Q_m = 0,86 \text{ l/s}$$

♦ Ingreso a la Planta:

A partir de la BV-C2 (cota de fondo 71,85), las aguas servidas serán conducidas hasta la Planta de Tratamiento a través de una tubería de $\phi = 20$ cm. PVC, clase AA, de las siguientes características:

Tramo BV-C2 a Unidad de Desbaste:

Cota de salida de la BV-C2: 71,80 m.s.n.m.

Longitud = 15,0 m.

Diámetro = 20 cm.

Pendiente: 0,4 %

Coefficiente de Manning: $n = 0,011$

$Q_{\text{máximo}} = 8,34$ l/s.

Altura real = 11,0 cm.

Velocidad = 0,60 m/s

Flujo: Sub crítico (N Froude = 0,63)

Cota de llegada a la unidad de desbaste: 71,74 m.s.n.m.

Antes de la entrada a la unidad desbaste se colocará una Tee (20x20x15) que permitirá el desviar el caudal en casos de emergencia.

Este desvío o By-pass de tubería de $\phi = 15$ cm. PVC, clase AA, tendrá una longitud aproximada de 35 metros y dispondrá de descarga libre hacia el cauce, el cual estará protegido de la erosión mediante cabezal de descarga o zampeado..

La tubería

♦ Unidad de desbaste - Rejillas:

Las aguas servidas serán conducidas por gravedad hasta una tanquilla, donde se iniciará el

tratamiento mediante la remoción de sólidos gruesos (papeles, telas, plásticos, piedras, etc.) retenidas en un sistema de rejillas con una separación entre barras de aproximadamente 2 cm., lo cual intercepta alrededor de 50 litros de sólidos por millón de litros tratados. Estos sólidos se recogerán en bolsas plásticas para su disposición final.

Las barras serán de forma cuadrada de 2 cm de lado, formando una rejilla a todo lo ancho del canal y manteniendo un ángulo de inclinación de 60° respecto al plano del fondo del canal.

La rejilla estará ubicada en la unidad de desbaste, de dimensiones y ubicación que facilite la inspección y limpiezas frecuentes, a fin de evitar su obstrucción por el material sólido retenido.

En el diseño de la rejilla se ha considerado una velocidad de paso del orden de 0,60 m/s para el caudal medio y mínimo, y no mayor de 0,90 m/s para el caudal máximo.

Las pérdidas de carga a través de la rejilla se han calculado mediante la expresión:

$$h = \beta \left(\frac{W}{D} \right)^{\frac{4}{3}} h_v s \sin \theta$$

$$h_v = \frac{V^2}{2g}$$

h = pérdida de carga (m)

β = Factor de forma. = 2,42

W = ancho de las barras frente al flujo, (m)

D = ancho entre las barras de frente al flujo, (m)

V = velocidad media del agua en el canal de llegada a la rejilla (m/s)

θ = ángulo que forman las barras con la horizontal

g = aceleración de gravedad. (9,81 m/seg.²)

h_v = altura de aguas delante de la rejilla. (m)

♦ Canal de Aforo:

De la tanquilla de desbaste, las aguas pasarán al canal de aforo, el cual tendrá una longitud de 2,00 metros y 30 cm. de ancho en su parte inferior, incrementando su ancho hasta 0,60 metros en la parte superior, para facilitar su construcción.

Dimensiones del canal:

Ancho: a = 0,30 m.

Pendiente: S = 0,5 %

Caudal máximo: Q = 8,34 l/s

Coefficiente de Manning: n = 0,016

Altura de aguas: h = 0,28 m.

Velocidad: V = 0,94 m/s

Régimen Sub crítico (Número de Froude N = 0,56)

En el punto medio del canal se insertará un vertedero triangular que permitirá aforar el caudal de entrada a la planta y establecer las condiciones de funcionamiento de la misma, permitiendo que trabajen una o más etapas y determinar mediante el muestreo las cargas orgánicas del afluente.

El diseño de esta unidad deberá ser capaz del gasto máximo para las 3 etapas consideradas.

♦ Tanquilla de distribución y recirculación:

El canal descargará en una tanquilla para permitir la distribución del gasto de llegada hacia cada una de las 3 unidades de Aeración a construir para cada etapa. Por consiguiente, de esta tanquilla el agua será conducida mediante 3 tuberías de $\phi = 15$ cm. hasta cada una de las unidades de aeración.

A esta tanquilla llegará también el lodo de recirculación, que mezclado con las aguas negras procedentes del canal anterior constituirán el caudal a ser llevado al Reactor Biológico para la continuación del proceso.

La tanquilla de distribución tendrá las siguientes dimensiones:

Largo: $L = 2,1$ m.

Ancho: $a = 0,70$ m.

Profundidad: $p = 1,30$ m.

Esta tanquilla estará provista de una pantalla en forma de L, para absorber el impacto de los caudales de las dos procedencias descritas, y realizar la distribución proporcional a las unidades de aeración.

♦ Reactor biológico (Aerador).

Se diseñará para cada etapa, a fin de poder absorber las grandes diferencias de caudal que en forma brusca se tendrían tanto por el aumento del gasto por nuevas edificaciones, como por las variaciones horarias del caudal, presentando horas "pico" durante el día y poco o ningún aporte en horas nocturnas.

Tomando en cuenta el ancho de la faja de terreno dispuesta para la ubicación de la Planta y la posibilidad de que ella pueda trabajar de una manera integrada, cuando las edificaciones de la Universidad estén totalmente construidas, se estudiaron diversas formas de ubicación de las unidades requeridas.

Por otra parte, las características del suelo en el área dispuesta para la Planta de Tratamiento (zona de bote y relleno sin compactación, con material proveniente de escombros y capa vegetal), hace recomendable disminuir las cargas que una estructura convencional conlleva; en tal sentido se hace una estimación y comparación entre dos opciones de solución:

a) Estructura de concreto para la unidad de aeración, y

b) Excavación con protección de mantos de polyester

Similarmente se hacen estimaciones con cierto grado de aproximación para analizar las dos posibilidades del método de aeración a utilizar:

a) Aeradores superficiales de agitación mecánica, y

b) Sopladores para la inyección de aire

Cálculo de la capacidad del Reactor para cada etapa:

Consideramos que el tratamiento propuesto mediante lodos activados con aeración extendida (oxidación total), podrá lograr una eficiencia de remoción de DBO y sólidos suspendidos del orden de 80 a 90 %, para periodos de retención de 16 a 28 horas.

Eficiencia de remoción de DBO esperada = 90%

Volumen aproximado del aerador: 120 a 130 m³

Asumiendo que la unidad será de concreto armado:

Dimensiones aproximadas: $L = 12,50$ m.; $a = 4,00$ m.;

$p = 3,0$ m.

Profundidad aproximada del colector de llegada: 1,00 m.

Altura de la pared del Aerador: $h = 3,0 + 1,0 + 0,30 = 4,30$ m.

Espesor de la paredes: 0,175 m.

Espesor de la losa de fondo: 0,20 m.

Volumen de Concreto:

$$V = 2(12,5 \times 4,3 \times 0,175) + 2(4 \times 4,3 \times 0,175) + (12,5 \times 4 \times 0,20) = 34,8 \text{ m}^3$$

Esta estimación del volumen de concreto de $34,8 \text{ m}^3$ para cada unidad, supone un volumen total de concreto para las 3 unidades de aeración de $104,5 \text{ m}^3$ de concreto armado. Similarmente podemos suponer el área de acero (cabillas de $\phi = 1/2''$ y $3/8''$) requerido, estimándose un peso de 200 kg/m^3 de concreto, lo cual representaría una 20 toneladas de acero a emplear en la construcción de las 3 unidades del reactor.

Para disminuir tales costos se propone la construcción de una fosa recubierta con una capa de mortero de cemento y mantos de polyester, la cual requerirá un mayor área superficial, al considerar que será necesario inclinar las paredes mediante taludes que eviten su derrumbe.

Esto supone una superficie a ser cubierta del orden de 140 a 150 m^2 , y una pasarela o puente sobre el aerador un poco más largo que el requerido para la unidad de concreto.

El oxígeno requerido para el proceso será suministrado mediante la transferencia mecánica de aire atmosférico, para lo cual se usará aeradores de turbina rápida.

♦ Clarificador - Espesador:

En esta unidad ocurrirán dos procesos: clarificación del líquido y espesamiento del lodo activado. Este, denominado licor mezclado, será recirculado hacia el reactor biológico mediante bombas sumergibles con capacidad para el caudal de recirculación y la carga dinámica a vencer.

Por considerar que las variaciones horarias del caudal requerirían cargas hidráulicas y orgánicas distintas, esta unidad se ha repartido en dos, con lo cual, además, se lograría tener mayor flexibilidad en la operación.

Cada una de estas 2 unidades para cada etapa tendrían las siguientes dimensiones aproximadamente:

Largo: $L = 3,0$ m.

Ancho: $a = 2,0$ m.

Profundidad: $p = 3,5$ m.

Cada unidad tendrá forma de paralelepípedo en la parte superior y de prisma truncado en la parte inferior, a fin de dar mayor sumergencia a las bombas.

El lodo sedimentado será recirculado hacia el Reactor Biológico, con el fin de mantener la masa bacteriana activa.

Un exceso de lodo será descargado en forma intermitente en el lecho de secado.

♦ Cámara de contacto de cloro:

El líquido clarificado será conducido a la cámara de contacto de cloro, para el proceso de desinfección, el cual consistirá en la dosificación de una solución de cloro al 2% de concentración, para lograr la eliminación de bacterias hasta concentraciones menores a 1000 NMP de organismos coliformes.

La cámara de contacto de cloro tendrá una longitud de aproximadamente 20 metros, a fin

de permitir un tiempo de contacto capaz de satisfacer la demanda de cloro y mantener el cloro remanente para actuar como desinfectante.

En el extremo de esta unidad se proveerá de un vertedero triangular que permita el aforo del caudal efluente de la planta de tratamiento y poder establecer las relaciones con las aguas negra afluentes a dicha planta.

♦ Lecho de secado de Lodos:

La unidad de secado de lodos deberá diseñarse y construirse para el caudal correspondiente a las 3 etapas, aunque evidentemente, durante esta primera fase recibirá un caudal mucho menor.

Esta unidad estará provista de material granular apropiado para la retención y secado de esta masa acuosa, comprendiendo varias capas de diferente gradación.

♦ Descarga:

La descarga del efluente de la cámara de contacto de cloro descargará directamente al cauce de quebrada existente, a través de una tubería de concreto de $\phi = 20$ cm. con cabezal de descarga o zampeado en su extremo.

ANTEPROYECTO DE PLANTA DE TRATAMIENTO: UCAB-GUAYANA.

Estimación de Cantidades de obra, a nivel de anteproyecto:

1ª ETAPA				
Nº	Unidad de Proceso	Descripción	Unidad	Cantidad
1	Incorporación a la Planta de Tratamiento desde BV-C2	Excavación en Zanja	m ³ .	17,82
		Colocación de tubería	m.	15,00
		Relleno y Compactación	m ³ .	17,08
		Suministro de Tubería PVC. Clase AA (φ = 20 cm.)	m.	15,00
		Llaves de cierre. φ = 20 cm.	unidad	2
2	Unidad de Desbaste	Excavación de fosa	m ³ .	6,80
		Construcción de Tanquilla Concreto	m ³ .	1,82
		Suministro y Colocación de Rejilla	unidad	1
3	Canal y Vertedero de Aforo	Excavación de fosa	m ³ .	1,62
		Construcción de Canal de Concreto	m ³ .	0,87
		Suministro y colocación de vertedero	unidad	1
4	Tanquilla de Distribución	Excavación de fosa	m ³ .	3,60
		Construcción Tanquilla Concreto	m ³ .	1,85
5	Reactor Biológico	Excavación	m ³ .	144,00
		Construcción Concreto armado	m ³ .	0,00
		Recubrimiento con mortero cemento (e = 3 a 5 cm.)	m ² .	140,00
		Recubrimiento con manto de polyester (e = 3 mm.)	m ² .	155,00
		Pasarela (ancho = 1,0 m)	m	11,00
		Suministro y colocación de aeradores mecánicos	unidad	2
6	Clarificador-espesador	Excavación de fosa	m ³ .	70,00
		Construcción Concreto Armado	m ³ .	12,75
		Suministro y colocación bombas sumergibles	unidad	2
		Válvulas de Retención (Check)	unidad	2
7	Desinfección	Excavación fosa	m ³ .	24,00
		Construcción Concreto armado	m ³ .	8,55
		Suministro e instalación clorador	unidad	1
8	Lecho secado Lodos	Excavación de fosa	m ³ .	32,00
		Construcción Concreto armado	m ³ .	7,70
		Suministro material filtrante	m ³ .	12,00

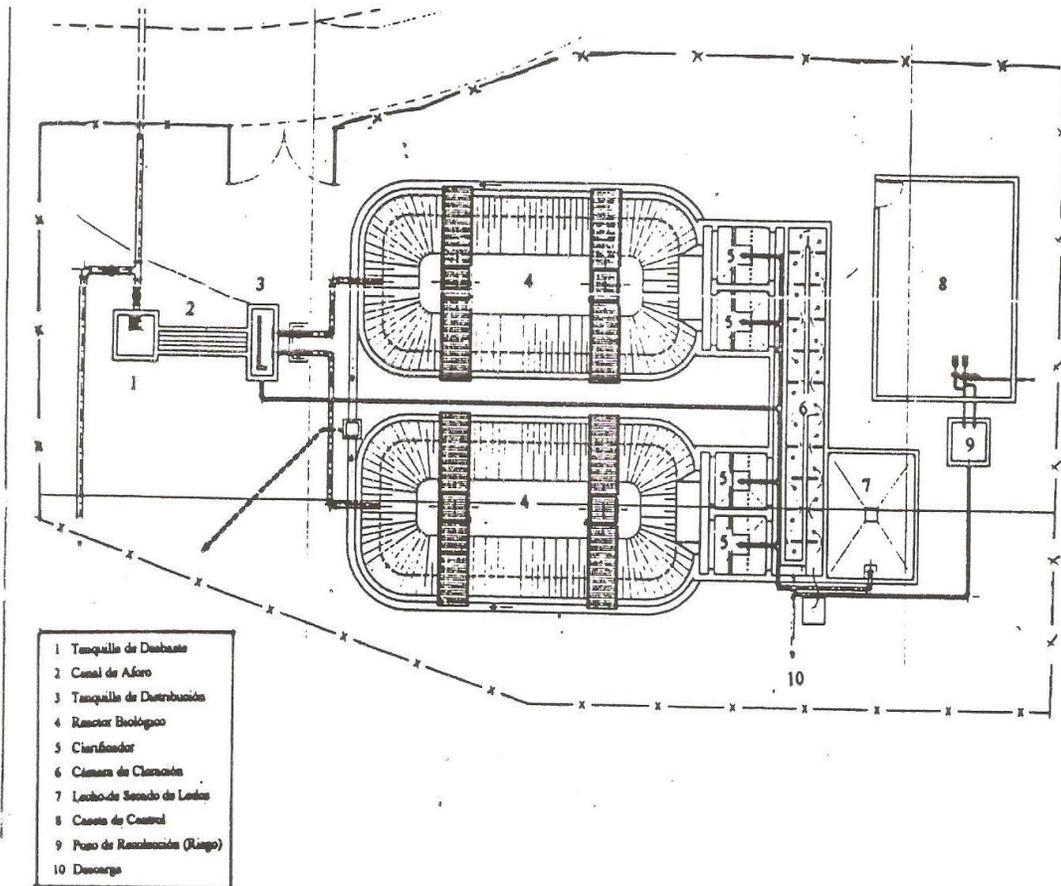
9	Recirculación de lodos	Suministro y colocación tubería	m	40,00
		Llaves de cierre. $\phi = 10$ cm	unidad	3,00
10	Descarga y aforo	Excavación en zanja	m ³ .	10,00
		Suministro y colocación tubería	m.	10,00
		Relleno y compactación	m ³ .	9,25
		Construcción cabezal de descarga	m ³ .	0,90
		Suministro y colocación Venturi	unidad	1
11	Puntos de agua	Suministro e instalación tubería de agua potable	m.	30,00
12	By-pass	Suministro y colocación tubería $\phi = 10$ cm.	m.	45,00
13	Caseta de Control	Suministro y construcción de caseta	s/d	1
14	Cerca de Protección	Suministro y colocación de cerca de malla metálica (h = 1,80 m).	m.	150,00

ANEXO B.

Manual de operación para la Planta de tratamiento
de Aguas Servidas de la UCAB- Guayana Puerto Ordaz.

**UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO
 NUCLEO GUAYANA**

MANUAL DE OPERACIÓN PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS



MANUAL DE OPERACIÓN PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS
PROVENIENTE DE LAS INSTALACIONES DE LA UCAB-GUAYANA.

El presente Manual tiene la finalidad de indicar al operador de mínimo nivel, el funcionamiento y labores de rutina a realizar en la planta de tratamiento.

MEMORIA EXPLICATIVA.

Las aguas servidas ("Aguas Negras") generadas en los edificios de la Universidad Católica Andrés Bello, Núcleo Guayana, descargarán en la Planta de Tratamiento ubicada en el lado Oeste de los terrenos del Campo Universitario, adyacente al área de estacionamiento.

Un esquema del proceso se presenta en el esquema N° 1.

UNIDADES QUE CONSTITUYEN LA PLANTA.

1. Tanquilla de Desbaste - Sistema de Rejas.

Las aguas negras provenientes del colector cloacal, en la boca de visita BV-C2, son conducidas a través de una tubería de $f = 200$ mm. de PVC, hasta una tanquilla con dispositivo de rejas.

El objeto es remover sólidos gruesos no biodegradables, (que no intervendrían en el proceso biológico) tales como papeles, piedras, telas, objetos plásticos, goma elástica, etc.

2. Canal de Aforo.

Las "aguas negras" pasarán a un canal triangular, el cual permitirá observar y medir las variaciones de alturas de agua, hechas en diferentes días de la semana y a diferentes horas del día, y para lo cual se proveerá de una regla graduada en centímetros.

Para una mejor lectura, raspe con tiza la superficie de la regla en la parte a ser sumergida, ello servirá para una mejor identificación del límite de la zona húmeda en la regla.

La lectura hecha, permitirá determinar en la Tabla N° 1, el gasto expresado en litros por segundo que está llegando a la Planta. Esta información debe ser anotada en la Planilla anexa de "Control de Medición de Caudales", indicando: fecha, hora, altura y caudal aforado.

3. Tanquilla de Distribución de caudales.

El canal de aforo descargará en la tanquilla de distribución; donde el operador deberá controlar la distribución de aguas, hacia uno de los Reactores o simultáneamente hacia ambos, cerrando o abriendo las válvulas correspondientes.

Como quiera que durante la primera etapa, funcionará una sola unidad, deberá estar en servicio una sola de las válvulas de cierre.

Esta tanquilla estará dotada además de una compuerta manual para no permitir la retención de aguas negras en la tubería que no esté en servicio.

El operador deberá, al menos 2 veces por semana, verificar la altura de agua en el canal de descarga a esta tanquilla, mediante la medición de ésta en la regla graduada adosada a esta tanquilla, y anotar en la planilla de "Control de Medición de Caudales", los valores correspondientes.

A esta Tanquilla se incorpora un caudal adicional, proveniente de la tubería de recirculación de

lodos, cuyo gasto puede ser controlado mediante las válvulas existentes en la descarga de las bombas de recirculación.

4. Reactor Biológico o Tanque de Aeración.

Las aguas negras continúan su flujo hasta este Tanque de Aeración, donde ocurrirá la oxidación biológica de la materia orgánica contenida en el agua. Allí se formará un lodo activado, compuesto por las aguas negras, micro-organismos y aire, los cuales van a interactuar ocurriendo una reacción de estabilización, en la cual los microorganismos digerirán la materia orgánica. La presencia de los tres elementos es indispensable para el adecuado funcionamiento de la planta.

5. Clarificador - Espesador.

En esta unidad ocurren dos procesos:

- a).- Clarificación del líquido tratado
- b).- Concentración del lodo activado en el fondo del tanque. (sedimentación)

6. Cámara de Cloración.

Esta constituido por una unidad de concreto con un tabique intermedio y una serie de pantallas verticales que obligan al agua a un recorrido de zig-zag, a fin de permitir suficiente tiempo de contacto entre el cloro dosificado y el agua tratada. La función es la de eliminar bacterias patógenas que pudieran estar presentes en el efluente a la planta.

Sobre esta cámara existe un pequeño tanque para almacenamiento de la solución de cloro a dosificar.

7. Lecho de secado de lodos.

Unidad para la disposición eventual de lodos, descargados desde el clarificador-espesador, cuya función es permitir el secado.

8. Vertederos Triangulares.

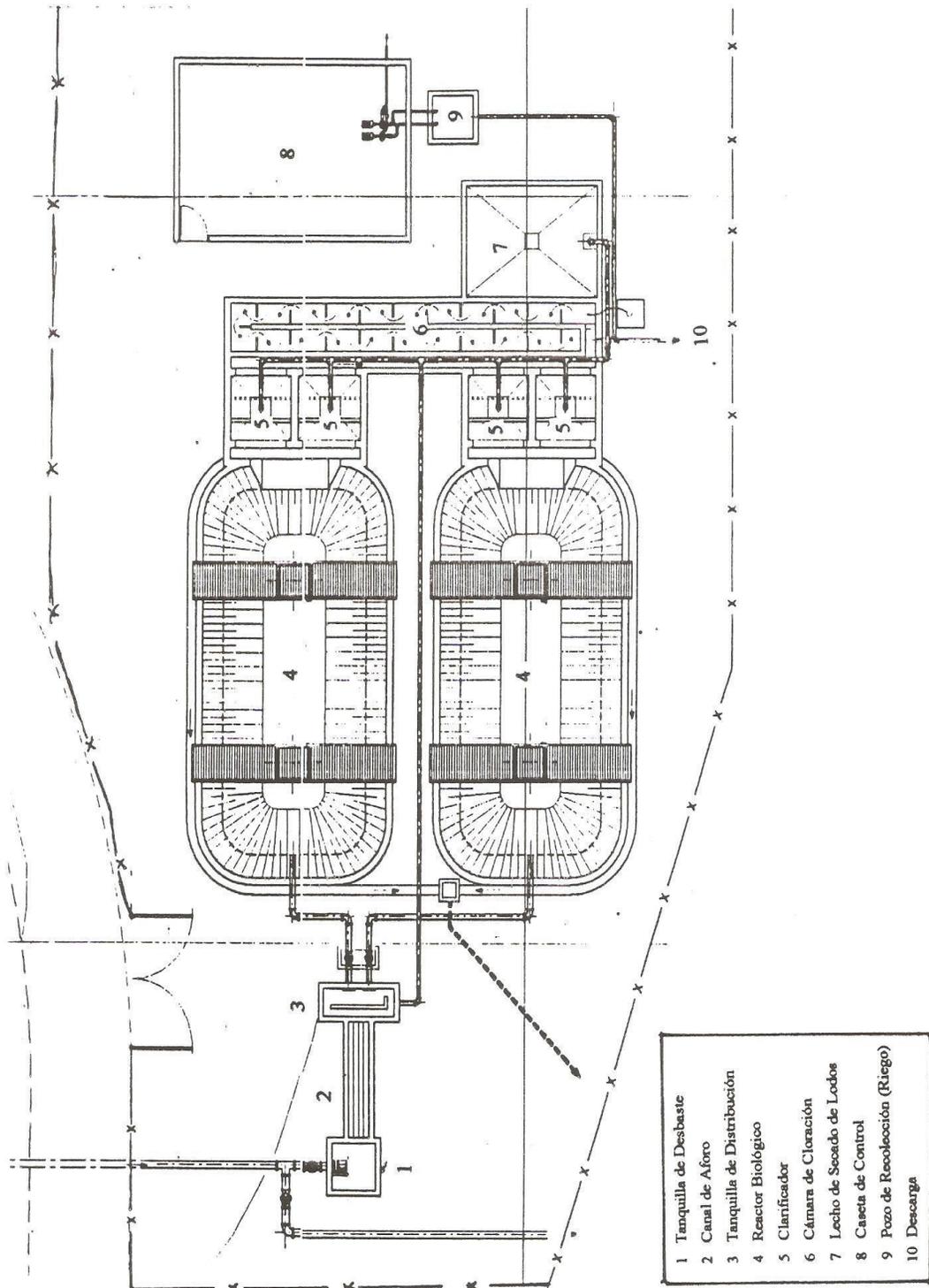
Unidad para medir el gasto de flujo en litros por segundo.

Se mide la altura de agua en centímetros y se busca en la Tabla anexa, el gasto correspondiente.

9. By-pass (desvío).

A la tubería que llega a la Planta de Tratamiento se le ha previsto una pieza de conexión en T, para la conexión de una tubería de derivación de $\phi = 150$ mm. (6"), provista de llave de cierre, con la finalidad de desviar el flujo en caso de cualquier emergencia que se presentase en la planta de Tratamiento, y este caudal no pueda ser enviado a ella. Normalmente esta válvula de cierre debe permanecer cerrada.

Dicha tubería descargaría en el cauce existente, sólo cuando ocurra una emergencia, y durante un corto tiempo, estimado para solucionar la situación imprevista..



OPERACIONES A REALIZAR:1. Sistema de Rejas.

El operador deberá remover los sólidos gruesos acumulados en esta unidad, de acuerdo a la cantidad retenida.

La periodicidad de remoción puede oscilar entre dos y tres días. Estos sólidos podrán ser dispuestos como basura, en bolsas plásticas.

2. Reactor Biológico. Tanque de Aeración.

Una operación óptima de este Tanque corresponde a una coloración marrón-rojiza del lodo activado.

Es importante que los aireadores superficiales estén funcionando alternada o simultáneamente, según convenga, las 24 horas del día, los 7 días de la semana y los 365 días del año.

Una coloración negra del lodo en este tanque indica que los microorganismos están completamente "muertos", por lo que habría que aumentar la recirculación de lodos temporalmente; encendiendo la bombas por más tiempo de lo usual, hasta lograr la coloración marrón-rojiza.

Una coloración muy rojiza indica exceso de aire, por lo que habría que apagar uno de los aeradores hasta lograr la coloración marrón-rojiza.

Al poner en servicio el Reactor Biológico por primera vez, debe permitirse que el nivel del agua alcance hasta una altura tal que haya sumergencia de los aireadores o hasta el nivel de rebose hacia el Clarificador.

Este primer llenado del Reactor puede complementarse con agua limpia, a fin de evitar un prolongado tiempo de retención en el Reactor, sin posibilidad de aeración.

3. Clarificador.

Las operaciones de mantenimiento a realizar en esta unidad serán:

a).- Extracción de sólidos flotantes

b).- Limpieza periódica del fondo de las tolvas de lodo, mediante el raspado de las paredes.

Debe evitarse la acumulación de sólidos en la tolva, a fin de no disminuir su volumen útil.

La frecuencia para la descarga de lodos hacia el lecho de secado estará definida por observación visual periódica en estas unidades, pudiendo variar entre uno (1) y tres (3) meses.

Debido a las variaciones de caudal durante las diferentes épocas de puesta en servicio de las edificaciones, se prevé la posibilidad de que los clarificadores y bombas de recirculación puedan trabajar alternada o simultáneamente, por lo que el operador debe cuidar de que la compuerta que limita el flujo hacia cada unidad esté abierta o cerrada, de acuerdo al funcionamiento de la bomba o bombas correspondientes.

4. Cámara de Cloración.

1 cc/sec.

Debe tenerse el cuidado, de mantener suficiente solución de cloro en el tanque de asbesto dispuesto para tal fin; para ello, ésta debe prepararse de la siguiente manera.

a).- Preparar en el tanque de 500 litros de capacidad, una solución de hipoclorito de calcio disolviendo 8 kg. de HTH en 400 litros de agua.

b).- Disolver la cantidad indicada de hipoclorito en el recipiente de asbesto, conteniendo poca agua

(15 a 20 cm.) y batirlo bien hasta que quede disuelto, utilizando una paleta de madera.

c).- Agregar al recipiente la cantidad de agua hasta completar la cantidad requerida para preparar la solución y agitar durante unos 5 minutos para lograr una completa disolución del hipoclorito.

d).- Esperar durante unos 30 minutos, a que el líquido sedimente y se aclare; mientras tanto, eliminar la nata y cualquier suciedad que quedara flotando, por medio de un colador de malla estrecha.

e).- Revisar el dosificador, verificando que los orificios no están obstruidos o tapados; eliminar cualquier residuo en los orificios mediante la utilización palillos y soplando por el tubo de plástico.

f).- Verificar que el flotador está en la posición correcta para el caudal asignado, y sujeto con las arandelas de goma..

g).- Una vez que la solución esté aclarada, poner a flote el dosificador y esperar hasta que comience a gotear la solución.

Una vez que el operador esté seguro del correcto funcionamiento del dosificador, puede poner la tapa al recipiente.

h).- Cuando el nivel de la solución contenida en el recipiente haya bajado hasta una distancia de unos 10 a 15 cm.. del fondo del recipiente, debe volver a prepararse nueva solución, repitiendo las operaciones anteriores, sin esperar a que el recipiente se vacíe completamente.

5. Lecho de secado de Lodos.

La operación de extracción de lodos, la cual se realiza con el sistema de bombeo desde el fondo del clarificador, depende del comportamiento de la Planta o de las concentraciones de sólidos en el tanque de aeración y recirculación de lodos.

Normalmente la válvula hacia el lecho de secado de lodos debe estar cerrada, y cada uno (1) o dos (2) meses puede abrirse la válvula durante 30 minutos, permitiendo la evacuación de lodos hacia el lecho de secado. Esta periodicidad puede aumentarse hasta tres (3) meses, cuando se observe poca producción y/o acumulación de lodos hacia el Clarificador.

El lodo, una vez secado después de 14 días, debe ser dispuesto en bolsas plásticas. No se debe dejar acumular el lodo seco en el lecho.

6. Vertederos Triangulares.

En los vertederos debe medirse la altura del líquido en forma diaria, realizando dicha lectura a diferentes horas del día.

Se debe llevar el registro en la planilla "Control de Mediciones de Caudal", anotando todos los datos requeridos.

Para la determinación del caudal se utilizará la Tabla anexa.

7. Medición del cloro residual.

La medición del residual de cloro debe hacerse en forma diaria.

La concentración del cloro residual a la salida de la planta (descarga) no debe ser menor de 1 mg/l

Para ello, debe tomarse una muestra en la cubeta del comparador de cloro y añadirle unas 2 a 3 gotas de ortotolidina. Inmediatamente la solución tomará una coloración verdosa, característica que permitirá determinar la concentración de cloro, mediante comparación con la escala de tonalidades de verde que indica el comparador.

Indudablemente, que si no se detecta coloración alguna, la concentración de cloro será cero y habrá que verificar el clorador y /o aumentar la dosificación de la solución.

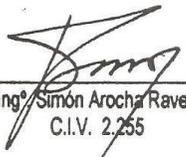
Si las mediciones del residual de cloro hechas durante cinco (5) días consecutivos, muestran

valores menores de 1mg/l, deberá aumentarse la dosificación de cloro variando la posición del flotante o la abertura del Clorador de Goteo, de forma obtener el residual de cloro indicado.

8. Captación de muestras para determinar la Demanda Bioquímica de Oxígeno.
Como quiera que la determinación de la DBO requiere de un laboratorio especializado, se recomienda la captación de muestras y su envío a un laboratorio, para la determinación de este parámetro, el cual nos permitirá conocer el grado de eficiencia del tratamiento.
Este muestreo debe hacerse con una periodicidad no menor de 1 vez al mes, tomando muestras tanto a la entrada como a la salida de la planta, y en la misma fecha y hora para ambas.

RECOMENDACIONES.

1. El líquido efluente de la Planta (salida de la Cámara de Cloración) debe ser transparente y no contener sólidos suspendidos.
2. La coloración del lodo activado en el Reactor Biológico debe ser de color marrón-rojizo.
3. La superficie libre del Clarificador no debe presentar sólidos flotantes.
4. No debe permitirse gran acumulación de sólidos en el sistema de rejillas.
5. Los aireadores superficiales siempre deben estar en funcionamiento, a menos que se justifique la parada de uno de ellos por exceso de aire.
6. Llevar el registro diario de los caudales de entrada a la Planta y comparar su promedio con el gasto de diseño para las diferentes etapas.
7. Llevar una planilla sobre observaciones de lo que ocurre en cada una de las unidades, lo cual servirá de orientación al surgir algún problema en la operación de la Planta.
8. Es bueno señalar, que para el buen funcionamiento de las unidades de tratamiento, es indispensable y fundamental la operación eficiente y un mantenimiento óptimo, condiciones sin las cuales, las Plantas de Tratamiento de aguas servidas mejor diseñadas, no pueden proporcionar el rendimiento esperado.



Ing. Simón Arocha Ravelo
C.I.V. 2.255

UCAB - GUAYANA

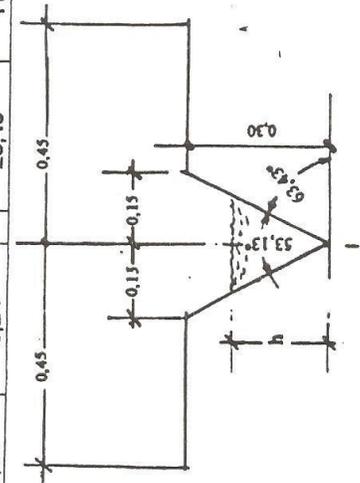
Planta de Tratamiento de Aguas Servidas.

Vertedero Triangular.

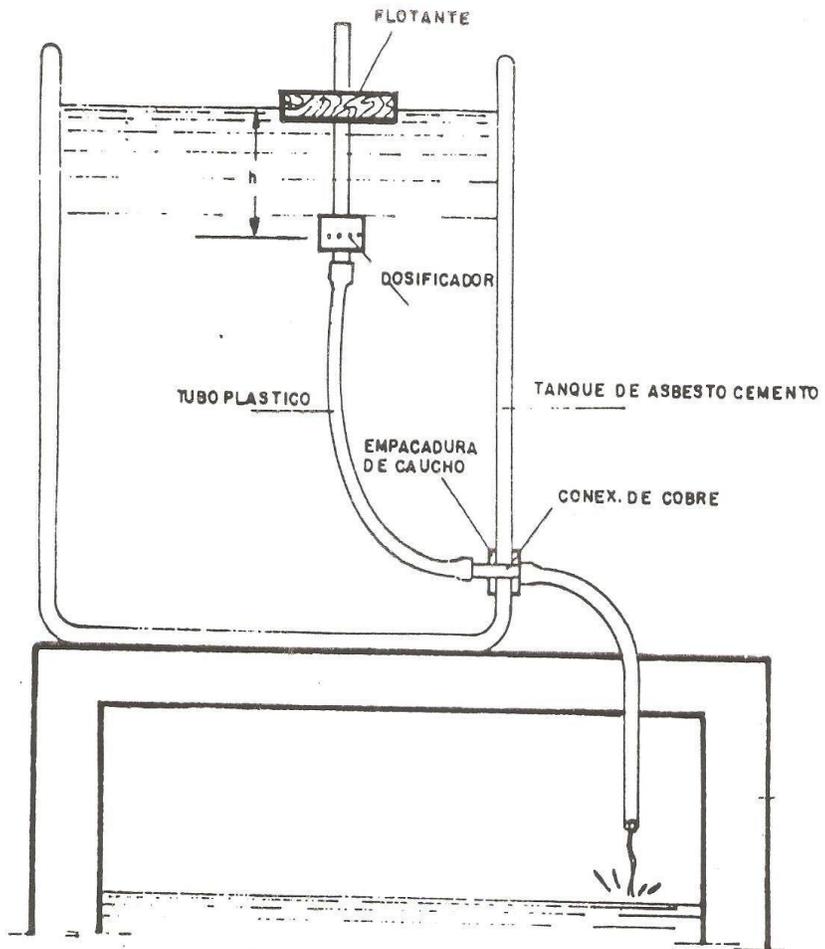
Angulo $\theta = 53,1301^\circ$

Caudal en función de las alturas de agua:

h (cm.)	Q (l/s)						
5,00	0,33	12,20	3,07	16,40	6,43	20,60	11,37
5,50	0,42	12,40	3,20	16,60	6,63	20,80	11,65
6,00	0,52	12,60	3,33	16,80	6,83	21,00	11,93
6,50	0,64	12,80	3,46	17,00	7,04	21,20	12,22
7,00	0,77	13,00	3,60	17,20	7,24	21,40	12,51
7,50	0,91	13,20	3,74	17,40	7,46	21,60	12,80
8,00	1,07	13,40	3,88	17,60	7,67	21,80	13,10
8,50	1,24	13,60	4,03	17,80	7,89	22,00	13,40
9,00	1,43	13,80	4,18	18,00	8,12	21,20	12,22
9,50	1,64	14,00	4,33	18,20	8,34	22,40	14,02
10,00	1,87	14,20	4,49	18,40	8,58	22,60	14,34
10,20	1,98	14,40	4,65	18,60	8,81	22,80	14,66
10,40	2,06	14,60	4,81	18,80	9,05	23,00	14,98
10,60	2,16	14,80	4,98	19,00	9,29	23,20	15,31
10,80	2,26	15,00	5,15	19,20	9,54	23,40	15,64
11,00	2,37	15,20	5,32	19,40	9,79	23,60	15,98
11,20	2,48	15,40	5,50	19,60	10,04	23,80	16,32
11,40	2,59	15,60	5,68	19,80	10,30	24,00	16,66
11,60	2,71	15,80	5,86	20,00	10,56	24,20	17,01
11,80	2,82	16,00	6,05	20,20	10,83	24,40	17,36
12,00	2,95	16,20	6,24	20,40	11,10	24,60	17,72



DOSIFICADOR TIF S.A.S



DETALLE DE DOSIFICACION

ANEXO C.

Puntos de tomas de muestras dentro de la planta de tratamiento



Punto 1. Vertedero de Entrada de la Planta. Fuente: Propia



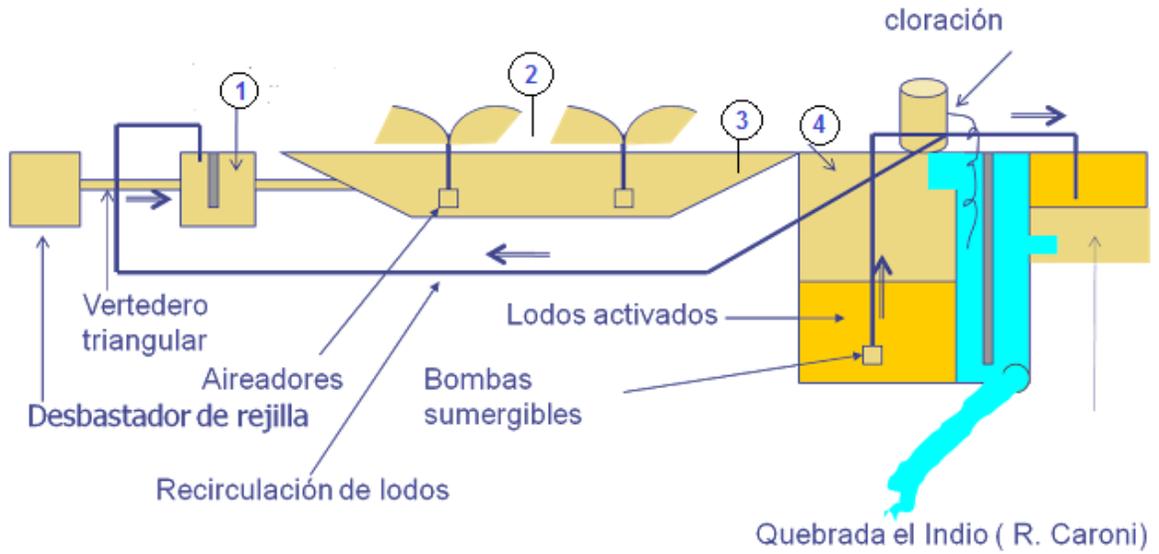
Punto 2. Reactor biológico de la planta. Fuente: Propia



Punto 3. A la salida del Reactor biológico. Fuente: Propia



Punto 4. Efluente antes de la cloración. Fuente: Propia



Esquema de la planta donde se identifican las unidades que la constituyen y se señalan los puntos de toma. Fuente: Antonio Seijas.

ANEXO D.

Demanda Bioquímica de Oxígeno



Agua de Dilución. Fuente: Propia.



Reactivos y Nutrientes. Fuente: Propia

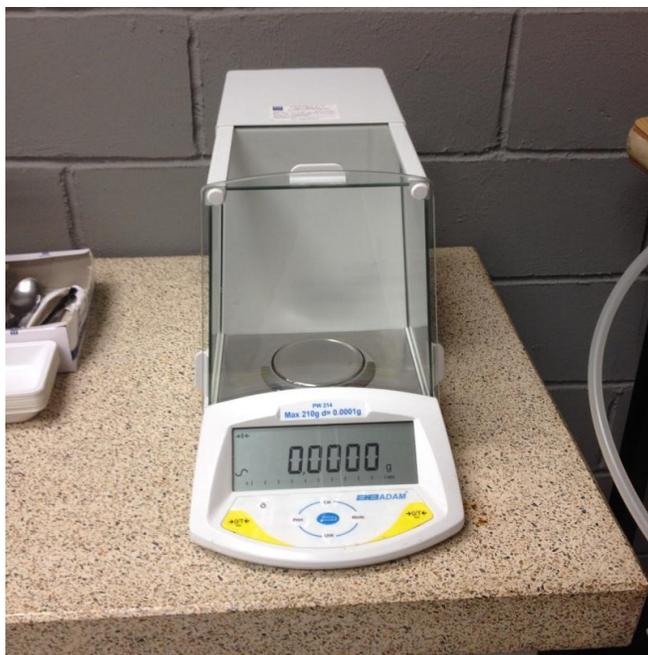


Medición de oxígeno disuelto de la muestra encima de la plancha agitadora.

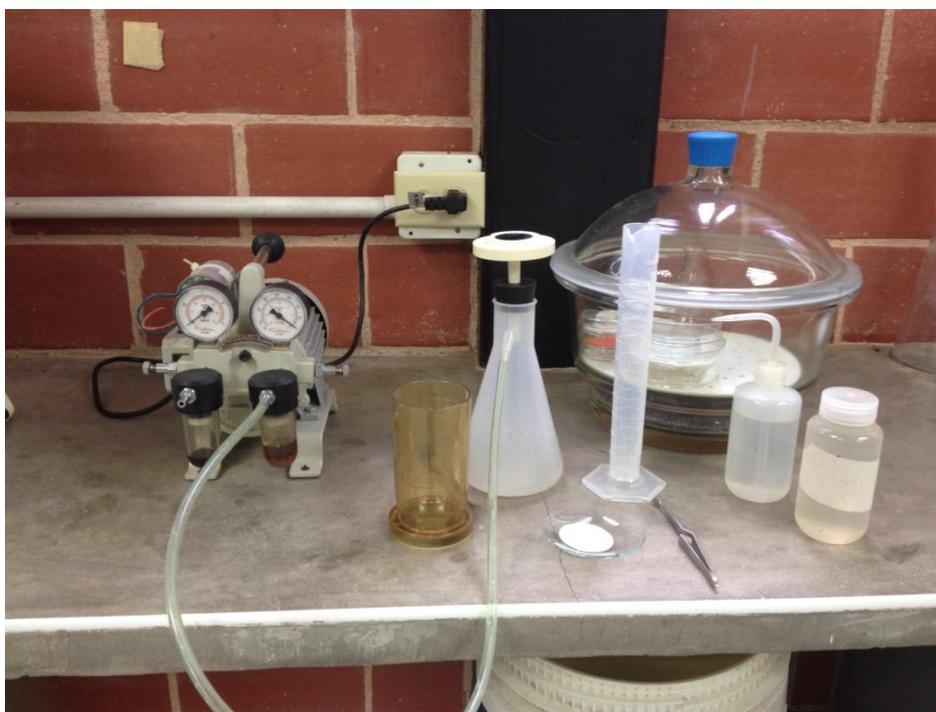
Fuente: Propia

ANEXO E.

Sólidos Suspendidos Totales



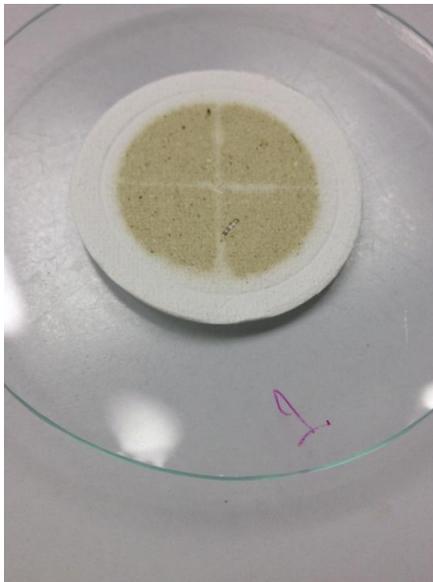
Balanza de precisión. Fuente: Propia



Bomba de vacío, aparato de filtrado, desecador, filtro, vidrio de reloj, cilindro graduado, pinza, pizeta y muestra de agua residual. Fuente: Propia



Horno donde se seca la muestra. Fuente: Propia



Filtro lleno con los sólidos en suspensión de una muestra. Fuente: Propia

ANEXO F.

Sólidos Suspendidos Volumétricos



Cono de Imhoff vacío.
muestra. Fuente: Propia



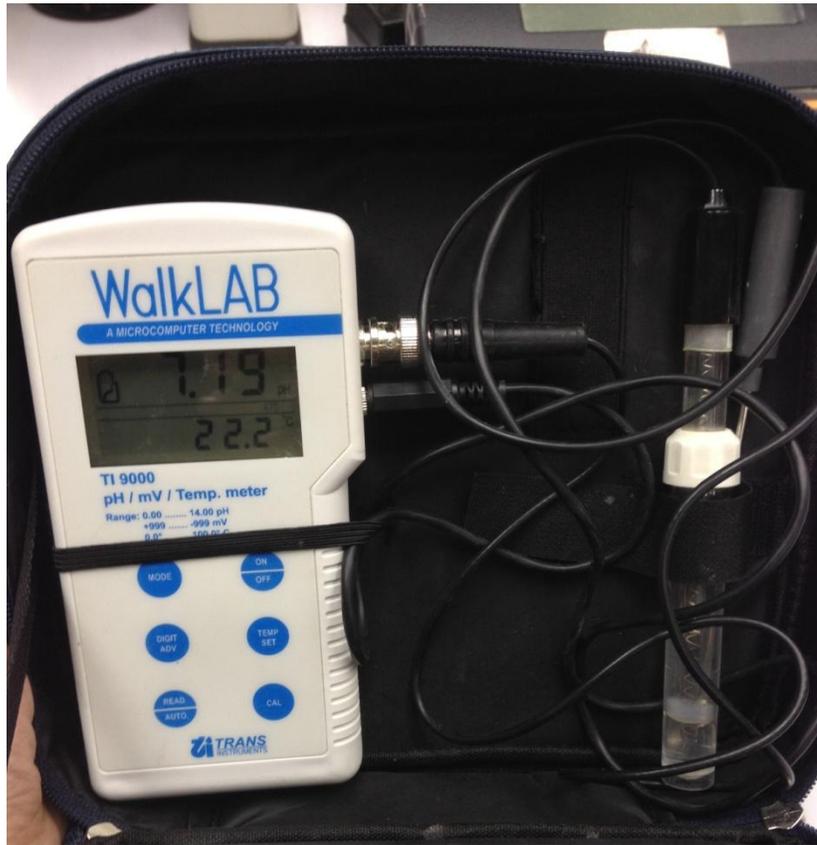
Cono de Imhoff con la
Fuente: Propia



Cono de Imhoff con la muestra sedimentada. Fuente: Propia

ANEXO G.

pH



pHmetro. Fuente: Propia

Anexo H.

Normas Venezolanas para la clasificación y el control de la calidad
de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos

DECRETO N° 883

NORMAS PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DE LOS CUERPOS DE AGUA.

SECCION III

De las descargas a cuerpos de agua

ARTICULO 10.- A los efectos de este Decreto se establecen los siguientes rangos y límites máximos de calidad de vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados, en forma directa o indirecta, a ríos, estuarios, lagos y embalses:

Parámetros fisicoquímicos	Límites Máximos
Aceites minerales e hidrocarburos	20 mg/l
Aceites y grasas vegetales y animales.	20 mg/l
Alkil Mercurio	No detectable (*)
Aldehidos	2,0 mg /l
Aluminio total	5,0 mg/l
Arsénico total	0,5 mg/l
Bario total	5,0 mg/l
Boro	5,0 mg/l
Cadmio total	0,2 mg/l
Cianuro total	0,2 mg/l
Cloruros	1000 mg/l
Cobalto total	0,5 mg/l
Cobre total	1,0 mg/l
Color real	500 Unidades de Pt-Co
Cromo Total	2,0 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5,20)	60 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	350 mg/l
Detergentes	2,0 mg/l
Dispersantes	2,0 mg/l
Espuma	Ausente
Estaño	5,0 mg/l
Fenoles	0,5 mg/l
Fluoruros	5,0 mg/l
Fósforo total (expresado como fósforo)	10 mg/l
Hierro total	10 mg/l
Manganeso total	2,0 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l

Nitrógeno total (expresado como nitrógeno)	40 mg/l
Nitritos + Nitratos (expresado como nitrógeno)	10 mg/l
PH	6 – 9
Plata total	0,1 mg/l
Plomo total	0,5 mg/l
Selenio	0,05 mg/l
Sólidos flotantes	Ausentes
Sólidos suspendidos	80 mg/l
Sólidos sedimentables	1,0 mg/l
Sulfatos	1000 mg/l
Sulfitos	2,0 mg/l
Sulfuros	0,5 mg/l
Zinc	5,0 mg/l

ANEXO I

Nuevo formato sugerido de Planillas para medición de caudales

