



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLAS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA

“CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO PARA LA
DETERMINACION EXPERIMENTAL DE LOS
PARAMETROS BIOCINETICOS NECESARIOS
PARA EL DISEÑO DE REACTORES BIOLÓGICOS
AEROBIOS”

TESIS

PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA:
JAIRO MARTÍNEZ GIL

ASESOR:
ING. VIRGILIO LEDESMA YTURRY

MORELIA, MICHOACAN, MAYO DEL 2006



AGRADECIMIENTOS

A mis padres

Por enseñarme a trabajar desde niño y luchar hasta conseguir las metas que me propongo. Gracias por plasmar algo de su ser en mí, además de apoyarme incondicionalmente. Los Amo.

A mi esposa

Por ser mi apoyo y mi fuerza en los momentos difíciles, por su comprensión, por haber creído en mí y sobre todo por darme la dicha de ser padre.

A mi pequeño Gael

Por hacerme el hombre más feliz del planeta, por alegrar mis días y por ser la fuerza para enfrentar cada obstáculo en mi vida.

A mi Hermano

Por todos aquellos momentos que compartimos y por ayudarme en todo momento. En verdad Gracias Panzón.

A toda mi familia

Me hubiera gustado anotar a todos, pero como son demasiados solamente les doy las gracias por el cariño incondicional que siempre me han brindado.

A mi Asesor

El Ing. Virgilio Ledesma Yturry por el tiempo que amablemente dedico a este trabajo y todos sus conocimientos aportados.

A todos mis maestros

Por compartir sus conocimientos y habilidades necesarios para mi formación profesional. Gracias por su dedicación y empeño.

A todos mis compañeros de estudio

Por todas esas experiencias, risas y bromas compartidas que aligeraron la carga de cada año. ¡Que momentos aquellos! ¿Verdad Manuel, Víctor, Leo, Adrián, Fausto, Ricardo, Ramón, Isaac, Mago, Maby?.....

A todos mis compañeros de trabajo

En especial al Ing. Arturo Vega, Ezequiel Martínez, Francisco Jacobo, Don Robe, El pelón y a todos aquellos que dejaron una enseñanza en mí, gracias por permitirme ser parte de su equipo y apoyarme cuando lo necesité.

Pero sobre todo doy gracias a ese gran ser por permitirme llegar hasta ésta etapa tan importante en mi vida.

¡Gracias Dios!

INDICE

RESUMEN	v
LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
OBJETIVO	x
Objetivos específicos	x
1.- JUSTIFICACIÓN	1
2.- INTRODUCCIÓN	2
2.1.-Tratamiento Preliminar	3
1.- Desbaste	3
2.- Neutralización y Homogeneización	3
3.- Cámaras desarenadoras	4
4.- Desmenuzadores	4
2.2.- Tratamiento Primario	5
1.- Tanques sépticos	5
2.- Tanques de doble acción o Imhoff	5
3.- Tanque de sedimentación simple	6
4.- Tanque de Flotación	6
2.3.- Tratamiento Secundario	7
1.- Proceso de lodos activados	7
2.- Lagunas aireadas	8
3.- Reactor discontinuo secuencial (SBR)	8

4.-Estanques de estabilización o lagunas de oxidación	9
5.- Filtros goteadores o rociadores	9
6.- Contactor biológico rotativo o biodisco	9
7.- Reactores de lecho compacto	10
8.- Proceso Anaerobio de contacto	10
9.- Reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente (UASB)	10
10.- Proceso de filtro anaerobio	11
11.- Proceso de lecho expandido	11
2.4.- Tratamiento Terciario	12
1.- Precipitación química	12
2.- Adsorción	12
3.- Oxidación química	12
4.- Desinfección	12
3.-CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DEL PROTOTIPO	14
3.1.- Cámara de aireación	16
3.2.- Cámara de sedimentación	17
4.- DESCRIPCIÓN Y SELECCIÓN DE VARIABLES DE DISEÑO	20
5.-CORRIDAS EXPERIMENTALES	23
6.- OBTENSION DE RESULTADOS	24
7.-ANALISIS DE RESULTADOS	39
8.- CONCLUSIONES	47
BIBLIOGRAFIA	48
ANEXOS	49

RESUMEN

Se construyó un biorreactor de acrílico, para el tratamiento de aguas residuales utilizando el sistema de lodos activados. El volumen total del biorreactor fue de 12 litros.

Se aclimataron los lodos activados de una planta ya en operación, con el agua residual que se utilizó, una vez aclimatados los lodos y estabilizado el sistema, se procedió a realizar las pruebas correspondientes.

Las pruebas se realizaron en dos periodos diferentes de tiempo, para observar el efecto de las condiciones ambientales de la estación sobre el sistema, los periodos de realización de las pruebas fueron Marzo y Noviembre.

Las pruebas se realizaron durante tres días consecutivos, realizando los ensayos correspondientes cada cuatro horas durante periodos de doce horas, los ensayos que se realizaron fueron los siguientes: tiempo de sedimentación de los lodos, sólidos suspendidos totales, sólidos suspendidos totales fijos y volátiles, consumo de oxígeno, degradación de materia orgánica (DQO), pH, conductividad eléctrica, temperatura y sólidos disueltos.

De los resultados obtenidos, se observa que el agua residual tiene la concentración necesaria de nutrientes (N, P), así como una flora bacteriana mixta abundante, que permiten la degradación de forma satisfactoria de la materia orgánica presente en el agua residual.

El efecto de las variaciones en las condiciones ambientales de la localidad, no tienen influencia sobre el sistema de tratamiento, prevalecen la mayoría del tiempo condiciones con temperaturas mayores de 25°C que menores de 20°C, la temperatura es fijada en el sistema por las condiciones de aireación existentes.

Sustancias presentes de manera tradicional en el agua residual como son detergentes y grasas tienen efectos al ser incorporados al inicio, ya que en el caso de los detergentes estos producen espumas que arrastran los biosólidos fuera del sistema ocasionado desequilibrios en el sistema, por lo que respecta a las grasas si estas son abundantes (concentraciones mayores de 30 mg/L) producen una capa impermeable que impide la salida de aire del sistema y el paso de luz dentro del sistema, en nuestro caso estos efectos fueron mínimos por el tipo de material utilizado (acrílico transparente).

La producción de biosólidos por efecto de la degradación de la materia orgánica fue buena, obteniéndose unos sólidos con buena sedimentación y buena capacidad para el consumo de oxígeno.

SUMMARY

A biorreactor was made of acrylic to the treatment of residual waters using the system of activated muds. The total volume of the biorreactor was of 12 liters.

The activated muds of a plant were acclimatized in operation with the residual water that was used, once acclimatized the muds and stabilized the system it was proceeded to carry out the corresponding experiments.

The experiments were carried out in two periods different of time to observe the effect of the environmental conditions of the station on the system, the periods of realization of the experiments were March and November.

The experiments were carried out during three serial days carrying out the corresponding tests every four hours during periods of twelve hours, the tests that were carried out were the following ones: time of sedimentation of the muds, suspended total solids, fixed and volatile suspended total solids, consumption of oxygen, degradation of organic mass (DQO), pH, electric conductivity, temperature, dissolved solids.

Of the results obtained observed that the residual water has the necessary concentration of nutritious (N, P), as well as an abundant mixed bacterial flora that allow the degradation in satisfactory way of the mass organic present in the residual water.

The effect of the variations of the environmental conditions of the town doesn't have influence on the treatment system, they were constant most of the time conditions with temperatures bigger than 25 °C that smaller than 20 °C, the temperature is fixed in the system by the conditions of existent aireación.

Substances present in a traditional way in the residual water as detergents and fats have effects to being incorporate to the beginning, in the case of the detergents these produce foams that drag the biosólidos outside of the system caused not equilibrium in the system, regarding the fats if they are abundant (concentrations bigger than 30 mg/L) then produce a waterproof layer that impedes the out of air of the system and the in of light inside the system, in this case those effects were minimum for the type of used material (transparent acrylic).

The biosolids production for effect of the degradation of the organic mass was good, being obtained some solids with good sedimentation and good capacity for the consumption of oxygen.

LISTA DE TABLAS

2.1. Composición típica del agua residual doméstica cruda.	2
3.1. Listado de diferencias existentes entre vidrio y acrílico ambos de 3mm. de espesor.	14
4.1. Valores de la constante de Henry para el Aire y el Oxígeno	22
6.1. Datos obtenidos de temperatura para primera corrida	24
6.2. Datos obtenidos de temperatura para segunda corrida	24
6.3. Datos obtenidos de temperatura para tercera corrida	24
6.4. Datos obtenidos de pH para primera corrida	25
6.5. Datos obtenidos de pH para segunda corrida	25
6.6. Datos obtenidos de pH para tercera corrida	25
6.7. Datos obtenidos de Conductividad Eléctrica para primera corrida	26
6.8. Datos obtenidos de Conductividad Eléctrica para segunda corrida	26
6.9. Datos obtenidos de Conductividad Eléctrica para tercera corrida	27
6.10. Datos obtenidos de sólidos disueltos para primera corrida	27
6.11. Datos obtenidos de sólidos disueltos para segunda corrida	28
6.12. Datos obtenidos de sólidos disueltos para tercera corrida	28
6.13. Datos obtenidos de Oxígeno Disuelto para primera corrida	29
6.14. Datos obtenidos de Oxígeno Disuelto para segunda corrida	30
6.15. Datos obtenidos de Oxígeno Disuelto para tercera corrida	31
6.16. Datos obtenidos de Sólidos sedimentables para primera corrida	33
6.17. Datos obtenidos de Sólidos sedimentables para segunda corrida	34
6.18. Datos obtenidos de Sólidos sedimentables para tercera corrida	36
7.1. Datos de Oxígeno disuelto obtenidos para graficar pendientes de primera corrida	39
7.2. Datos de Oxígeno disuelto obtenidos para graficar pendientes de segunda corrida	40
7.3. Datos de Oxígeno disuelto obtenidos para graficar pendientes de tercera corrida	41
7.4. Valores de pendientes para cada una de las corridas	42
7.5. Valores obtenidos de graficas con sus respectivas representaciones y nombres	45

LISTA DE FIGURAS

2.1. Tamiz fijo inclinado	3
2.2. Cámara desarenadota	4
2.3. Desmenuzador	4
2.4. Tanque Séptico típico	5
2.5. Tanque Imhoff típico	6
2.6. Reactor biológico por medio de lodos activados o biorreactor	8
2.7. Reactor discontinuo secuencial ó Sequencing Batch Reactor (SBR)	9
2.8. Contactor biológico rotativo	10
2.9. Reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente (UASB)	11
2.10. Configuración del filtro anaerobio de flujo horizontal	11
2.11. Tanque para desinfección	13
3.1. Medidas del biorreactor	15
3.2. Partes del biorreactor	16
3.3. Medidas de un difusor	17
3.4. Biorreactor tomado por la parte trasera, funcionando con agua clara para observar el funcionamiento del mismo así como las partes que lo conforman	18
3.5. Biorreactor tomado por la parte delantera, funcionando con agua clara para observar el funcionamiento del mismo	18
3.6. Biorreactor tomado por la parte delantera trabajando con la mezcla lodos activados – agua residual	19
3.7. Biorreactor tomado por la parte delantera mostrando el clarificado en la parte superior y en la parte inferior los lodos activados sedimentados	19
4.1. Bomba de diafragma marca <i>Maxima</i>	21
6.1. Grafica de temperatura contra tiempo para segunda corrida	25
6.2. Grafica para pH en contra del tiempo para tercera corrida	26
6.3. Grafica para Conductividad Eléctrica en contra del tiempo para tercera corrida	27
6.4. Grafica para Sólidos disueltos en contra del tiempo para segunda corrida	28
6.5. Grafica para Oxígeno Disuelto en contra del tiempo para segunda corrida 16:00hrs	33
6.6. Grafica para Volumen de lodos en contra del tiempo para primera corrida 8:00hrs	38
7.1. Corrección de datos para la aplicación de la pendiente	43

7.2. Determinación grafica de K	43
7.3. Representación grafica de a' y b'	44
7.3. Representación grafica de a y b	44
1. Vista de sólidos sedimentados y el clarificado en dicha prueba	50
2. Prueba para la determinación de Oxígeno disuelto	53
3. Comparación cualitativa del agua cruda tratada por método de lodos activados y filtrada por medio de papel filtro	53

OBJETIVO

Diseñar y construir un prototipo para la determinación experimental de los parámetros biocinéticos necesarios para el diseño de reactores biológicos aerobios para aguas residuales municipales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1.- Desarrollar una metodología que permita determinar experimentalmente si el agua residual es factible de biodegradar y en que proporción.
- 2.- Estimar el desarrollo y la producción de biomasa de forma real, para establecer las necesidades de recirculación.
- 3.- Conocer la influencia de factores ajenos al tratamiento.
- 4.- Observar la degradación e influencia que tienen sustancias orgánicas presentes en aguas residuales como son los detergentes y las grasas.

1.-JUSTIFICACIÓN

El empleo del agua potable en los hogares y en la industria genera agua residual que contiene los residuos propios de la actividad humana e industrial. Parte de estos residuos son materia que consume o demanda oxígeno por oxidación de ésta: la material fecal, restos de alimentos, aceites y grasas entre otros; otra parte son detergentes, sales, sedimentos, material orgánico no biodegradable y también microorganismos patógenos. Estas aguas producidas se denominan también aguas negras o municipales y, como es sabido, se vierten en los sistemas de alcantarillado que las conducen, en la inmensa mayoría de los casos en la República Mexicana, a los cuerpos de agua, como los mares, lagos y ríos, produciendo por lo tanto la contaminación de estas aguas naturales que son un recurso no renovable y de suma importancia para la existencia de los seres vivos y actividades económicas, por esa razón, el tratamiento de las aguas residuales es de gran importancia, y para lograrlo se requiere del empleo de sistemas de tratamiento de agua adicionales a la autopurificación; el empleo de un reactor biológico que provee de las condiciones necesarias para la biodegradación ofrece una alternativa para su tratamiento, en éste trabajo se plasma una de las partes esenciales que se requieren para el tratamiento de aguas residuales municipales lo que puede ser de utilidad a toda aquella persona que tenga interés en saber como se construye y cual es la operación de un biorreactor aerobio.

2.-INTRODUCCIÓN

El agua residual es aquel líquido de composición variada proveniente de uso municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada y por tal motivo haya sufrido degradación o alteración en su calidad original, cuya composición típica se muestra en la tabla 2.1 [1].

Tabla 2.1. Composición típica del agua residual doméstica cruda.

Contaminantes	Unidades	Concentración		
		Débil	Media	Fuerte
Sólidos totales (ST)	mg/L	350	720	1,200
Sólidos disueltos, totales (SDT)	mg/L	250	500	850
Sólidos fijos	mg/L	145	300	525
Sólidos volátiles	mg/L	105	200	325
Sólidos en suspensión (SS)	mg/L	100	220	350
Fijos	mg/L	20	55	75
Volátiles	mg/L	80	165	275
Sólidos sedimentables	mg/L	5	10	20
DBO ₅ , 20 °C	mg/L	110	220	400
Carbono orgánico total (COT)	mg/L	80	160	290
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	250	500	1,000
Nitrógeno (total en forma N)	mg/L	20	40	85
Orgánico	mg/L	8	15	35
Amoníaco libre	mg/L	12	25	50
Nitritos	mg/L	0	0	0
Nitratos	mg/L	0	0	0
Fósforo (total en la forma P)	mg/L	4	8	15
Orgánico	mg/L	1	3	5
Inorgánico	mg/L	3	5	10
Cloruros	mg/L	30	50	100
Sulfato	mg/L	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/L	50	100	200
Grasa	mg/L	50	100	150
Coliformes totales	n. /100ml	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
Compuestos Orgánicos Volátiles	µg/l	<100	100-400	>400

Debido a lo anterior, para que el agua residual sea dispuesta en algún cuerpo receptor es necesario pasar por un proceso de tratamiento que permita cumplir con la normatividad mexicana existente (NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-002-SEMARNAT-1996, NOM-003-SEMARNAT-1997), existen tratamientos de muchos tipos, pero usualmente se pueden clasificar en, Tratamientos preliminares (pretratamiento), tratamientos primarios, tratamientos secundarios, y tratamientos terciarios:

2.1.-TRATAMIENTO PRELIMINAR

El objetivo de este tratamiento consiste en separar o disminuir de tamaño los sólidos orgánicos grandes suspendidos en el agua residual así como los sólidos inorgánicos pesados y cantidades excesivas de aceites y grasas para evitar que estos compuestos provoquen un mal funcionamiento del equipo o interferir en los procesos siguientes del tratamiento [2].

Algunos procesos y equipos utilizados para lograr estos propósitos son:

1.-Desbaste.

Este proceso se aplica para retener los sólidos grandes que llevan el agua residual, principalmente mediante el empleo de rejas o tamices, los cuales pueden ser limpiados manualmente o por medio de rastrillos automáticos. Los sólidos retenidos son eliminados o se reducen de tamaño para ser reincorporados al agua residual [1].

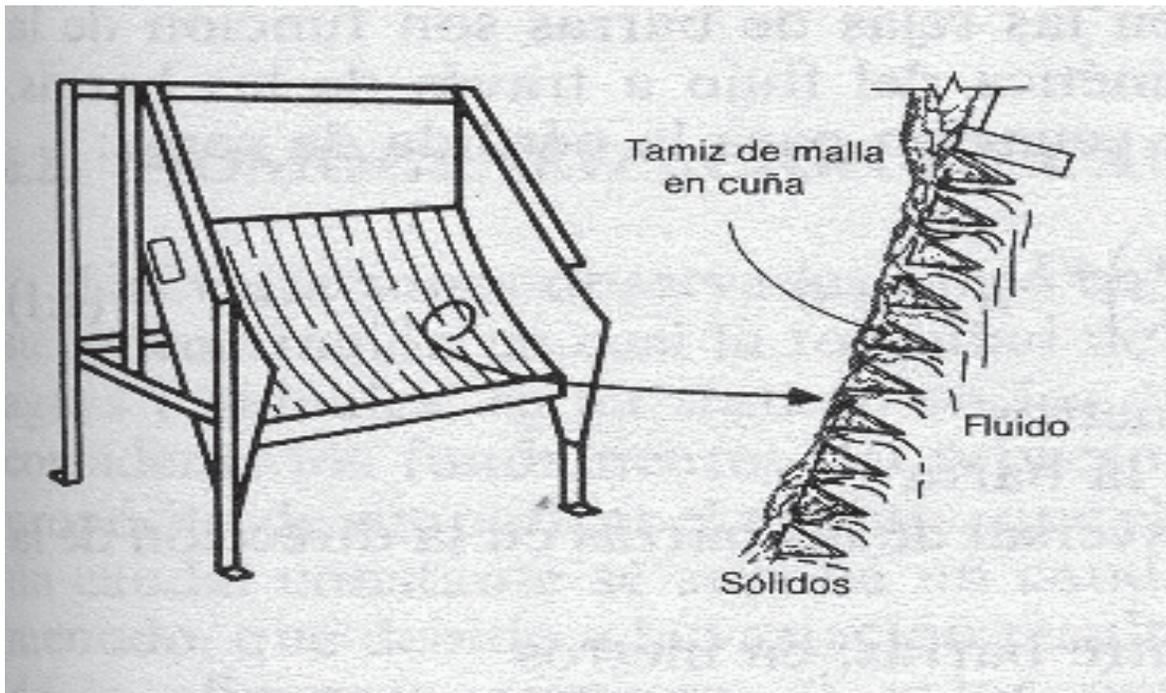


Figura 2.1. Tamiz fijo inclinado.

2.-Neutralización y Homogeneización.

Estas operaciones tratan de mantener constantemente las características del agua residual para que no afecten los procesos posteriores, principalmente los biológicos, donde los influentes ácidos se neutralizan por adición de un álcali, principalmente cal por razones económicas. Los influentes alcalinos se neutralizan con un ácido fuerte, en general ácido sulfúrico. También se puede conseguir un cierto grado de neutralización mezclando influentes de pH opuesto.

Otro factor importante en este proceso es Homogeneizar la carga orgánica.

3.-Cámaras desarenadoras.

Es un tanque donde se regula la velocidad de flujo de tal manera que la velocidad sea baja para que se depositen los sólidos inorgánicos pesados, manteniéndose en suspensión el material orgánico ayudado por la aplicación de aire a una altura de un metro o más del fondo de esta cámara.

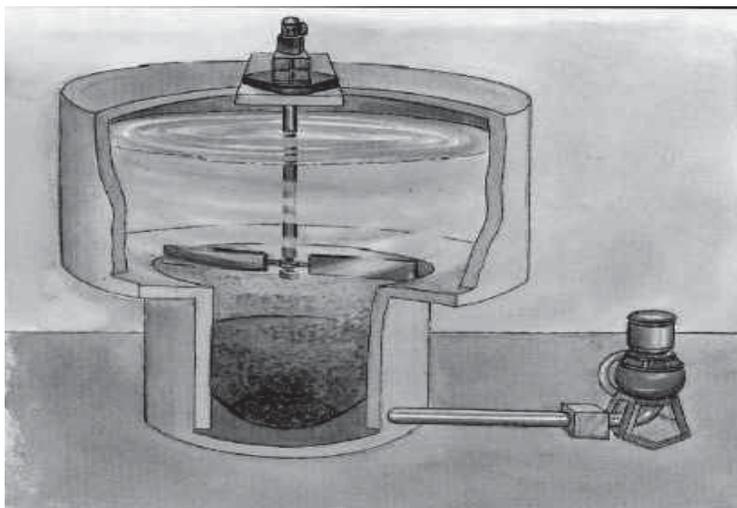


Figura 2.2. Cámara desarenadora.

4.-Desmenuzadores.

Son dispositivos que sirven para romper o cortar los sólidos retenidos por las rejas, los cuales pueden ser retirados de la planta o ser introducidos de nuevo al agua residual.



Figura 2.3. Desmenuzador.

2.2.-TRATAMIENTO PRIMARIO

El objetivo de este tratamiento consiste en retirar los sólidos orgánicos e inorgánicos aprovechando principalmente la fuerza de gravedad para que dichos sólidos sedimenten, los cuales reciben el nombre de lodo primario crudo.

Los tipos de tanques utilizados en éste proceso son:

1.-Tanques sépticos.

En éstos tanques el agua residual se mantiene bajo condiciones anaerobias por un periodo de 12 a 24 horas, suficiente para eliminar la mayoría de los sólidos sedimentables. Sus principales desventajas son que al descomponerse el lodo que se encuentra en el fondo del tanque se generan gases que arrastran a la superficie algunos sólidos, los cuales pueden salirse del tanque en el efluente. Además el agua residual sale en una condición séptica que dificulta el tratamiento posterior.

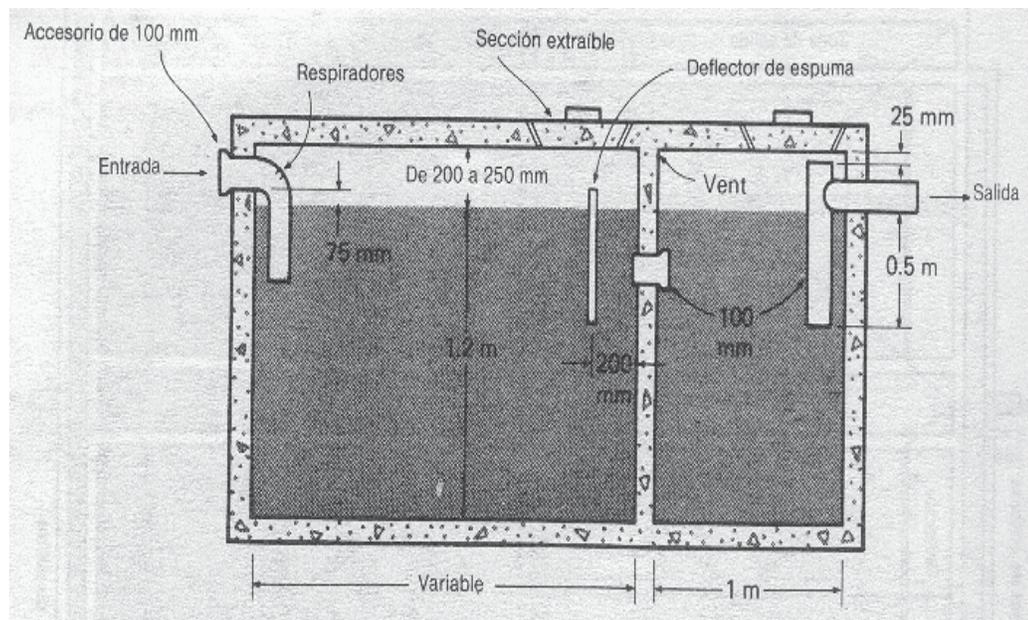


Figura 2.4. Tanque Séptico típico.

2.-Tanques de doble acción o Imhoff.

Son usados algunas veces en pequeñas comunidades que tienen un flujo de agua residual de 945 m³/día. Consta de tres secciones y durante su operación el agua residual fluye a través del compartimiento superior en donde los sólidos sedimentan y se depositan en el fondo, resbalando y pasando por una ranura a la sección inferior o cámara de digestión. Una de las partes inclinadas del fondo de la cámara de sedimentación o superior, se prolonga cuando menos unos 15 centímetros más allá de la ranura, lo cual impide que los gases o partículas sólidas en digestión, se pongan en contacto con las aguas residuales de la sección superior ya que se desvían hacia el

otro compartimiento conocido como la cámara de natas y respiradero evitándose así los dos efectos principales del tanque séptico [3].

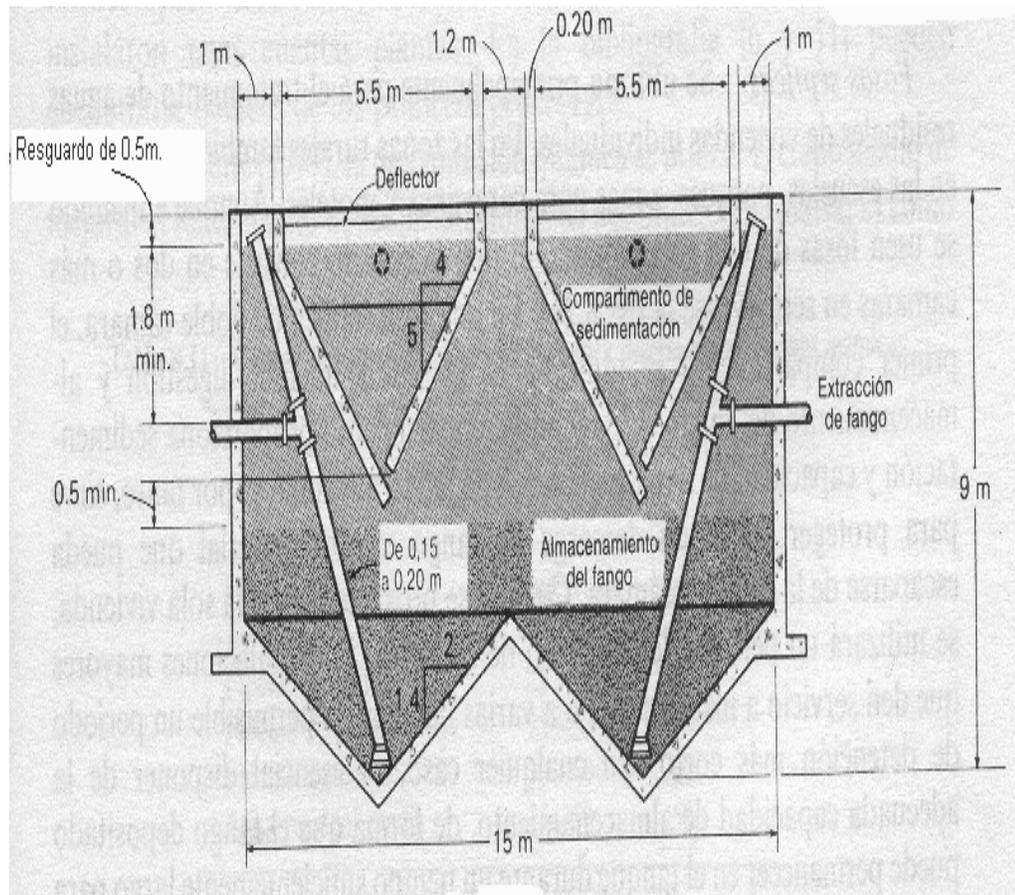


Figura 2.5. Tanque Imhoff típico.

3.-Tanque de sedimentación simple.

Estos son tanques rectangulares o circulares cuya función principal consiste en separar los sólidos suspendidos de las aguas residuales mediante el proceso de sedimentación, los cuales se acumulan en una tolva o embudo donde son descargados por bombeo hacia los lugares establecidos para su tratamiento.

4.-Tanque de Flotación.

Estos equipos se emplean para eliminar la materia suspendida difícil de sedimentar y para concentrar aquellos lodos de origen biológico. Esto se consigue introduciendo pequeñas burbujas de aire al agua residual que se adhieren a las partículas, las cuales ascienden hasta la superficie del tanque y son retirados posteriormente.

2.3.-TRATAMIENTO SECUNDARIO

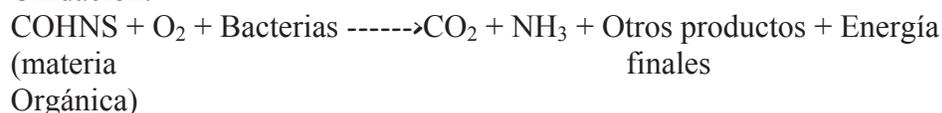
En este tratamiento se aprovecha la flora bacteriana mixta que contienen las aguas residuales para descomponer la materia orgánica, ya sea de manera aerobia o anaerobia, transformándola en compuestos más estables.

Los procesos más utilizados para tratar el agua residual son los siguientes:

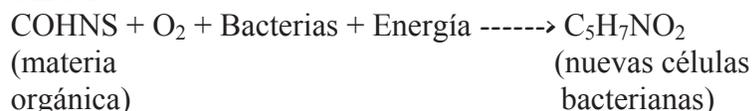
1.-Proceso de lodos activados.

El agua residual se introduce donde un cultivo de bacterias aeróbicas es mantenido en suspensión por aireación mecánica o difusores, las cuales utilizan la materia orgánica del influente para síntesis celular y la elaboración de otros productos como se muestra en las siguientes reacciones:

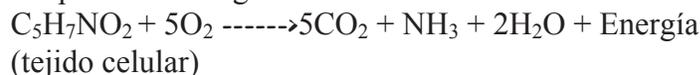
Oxidación:



Síntesis:



Respiración endógena:



En la naturaleza, el papel clave de las bacterias es descomponer la materia orgánica producida por otros organismos vivos. En el proceso de lodos activados, las bacterias son los microorganismos más importantes, ya que son los causantes de la descomposición de la materia orgánica del influente. En el biorreactor parte de la materia orgánica del agua residual es utilizada por las bacterias facultativas o aerobias con el fin de obtener energía para la síntesis del resto de la materia orgánica en nuevas células como se muestra en la anterior reacción. En realidad, solo una parte del residuo original es verdaderamente oxidado a compuestos de bajo contenido energético como NO_3 , SO_4 , y CO_2 ; El resto es sintetizado en materia celular.

En el proceso de lodos activados las actividades metabólicas de otros microorganismos son igualmente importantes. Por ejemplo. Los protozoos y rotíferos actúan como depuradores de los efluentes. Los protozoos consumen las bacterias que se encuentran dispersas que no han floculado y los rotíferos consumen cualquier partícula biológica pequeña que no haya sedimentado [5].

Después de un tiempo de reacción suficiente, el efluente se lleva a un decantador o sedimentador secundario para separar los lodos activados del líquido, por medio de sedimentación. Una porción

de estos lodos se regresa al reactor para mantener la concentración de biomasa requerida y la otra parte se lleva a un sistema de tratamiento para su estabilización y posterior disposición [1].



Figura 2.6. Reactor biológico por medio de lodos activados o biorreactor.

2.-Lagunas aireadas.

Es parecido al proceso anterior pero aquí generalmente no existe la recirculación de lodos y los reactores empleados son excavaciones en el suelo. Tienen tiempos de retención hidráulico mayores que el de lodos activados y el efluente no se manda a un sedimentador secundario sino generalmente a una laguna facultativa.

3.-Reactor discontinuo secuencial ó *Sequencing Batch Reactor (SBR)*.

Durante este proceso el tratamiento del agua residual también incluye la aireación y la sedimentación pero se diferencia de los anteriores ya que estos pasos se llevan a cabo en el mismo reactor, a través de 5 etapas [1]:

- 1) Llenado del reactor con agua residual.
- 2) Reacción entre la actividad microbiana y la materia orgánica.
- 3) Detención de la aireación para permitir a los sólidos sedimentar y obtener un sobrenadante clarificado.
- 4) Extracción del agua clarificada del reactor

- 5) Por último, aunque no es una etapa necesaria, está la fase inactiva cuyo objetivo es permitir que un reactor termine su fase de llenado antes de conectar a otra unidad en los casos de que se trate de un sistema de múltiples tanques.

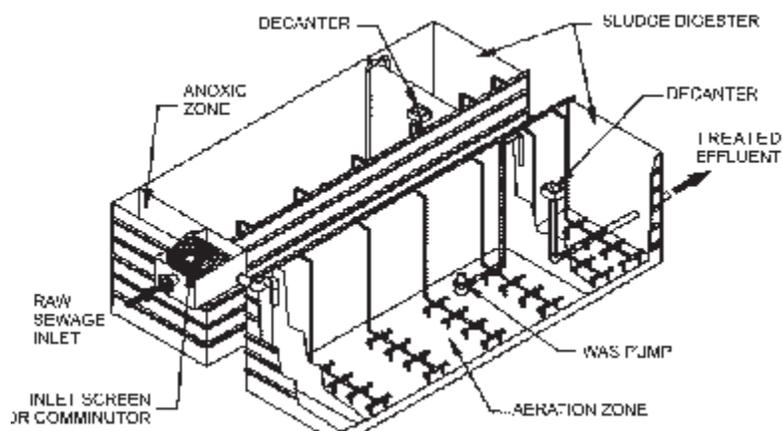


Figura 2.7. Reactor discontinuo secuencial ó Sequencing Batch Reactor (SBR).

4.-Estanques de estabilización o lagunas de oxidación.

Son estanques de poca profundidad que requieren grandes extensiones de terreno, en donde la descomposición de la materia orgánica que hay en el agua residual se lleva a cabo en dos etapas. En la primera etapa la materia carbonosa primeramente es desintegrada por organismos aerobios que van a producir bióxido de carbono, el cual es utilizado por las algas durante su fotosíntesis, las cuales van a liberar oxígeno que será disuelto en el agua para que continúe una segunda etapa de la descomposición aerobia de la materia orgánica.

5.-Filtros goteadores o rociadores.

Esta formado por un reactor que contiene algún material de relleno, que puede ser de piedras, sobre el cual crece una película de microorganismos aerobios por donde pasa el agua residual que es descargada por la parte superior por medio de aspersores fijos o giratorios, de tal manera que la materia orgánica se descompone generando más materia celular y bióxido de carbono, pero aun es necesario pasar el efluente a un tanque de sedimentación secundario ya que este contiene todavía sólidos suspendidos cuyas características fueron alteradas en el filtro goteador y es necesario eliminarlas antes de que se descarguen en aguas receptoras.

6.-Contactador biológico rotativo o biodisco.

Esta formado por una o varias unidades de discos de poli estireno o cloruro de polivinilo sobre el cual se desarrolla una película de microorganismos [1]. Estos biodiscos pueden estar sumergidos de un 40 a un 90 % en el agua a tratar los cuales están girando por medio de un motor, lográndose un contacto con el aire exterior el cual aporta el oxígeno necesario para la actividad celular. Los sistemas más sumergidos pueden llevar un sistema de aireación que al mismo tiempo que oxigena la masa orgánica hace girar el conjunto de biodiscos [4].

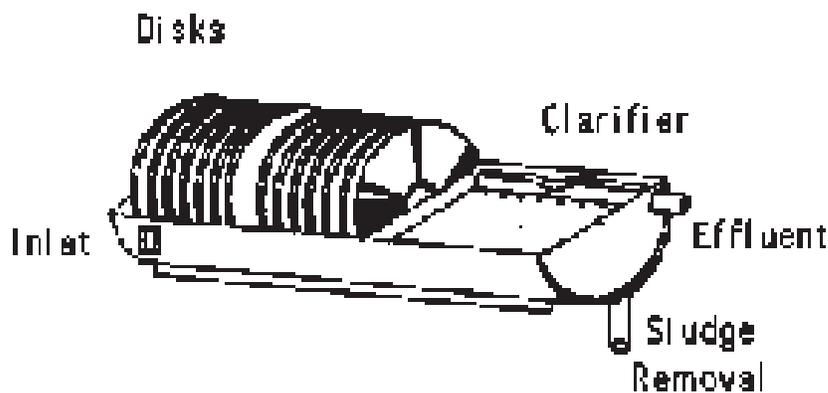


Figura 2.8. Contactor biológico rotativo.

7.-Reactores de lecho compacto.

Estos reactores son utilizados para eliminar la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) carbonosa así como para la nitrificación. Consiste en un reactor con un medio al que se adhieren los microorganismos que reaccionan con el agua residual que es introducida por la parte inferior del reactor junto con el aire u oxígeno puro.

En el tratamiento secundario también son usados procesos anaerobios principalmente para aguas residuales con alta carga de materia orgánica, donde los sistemas de tratamiento más comunes son los siguientes:

8.-Proceso Anaerobio de contacto.

El agua residual se mezcla con lodo recirculado y se dirige a un reactor anaerobio. Después de un tiempo de contacto se separan los lodos por medio de un clarificador. El sobrenadante se vierte como efluente y los lodos sedimentados se recirculan [3].

9.-Reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente (UASB).

En este proceso el agua residual es introducida por el fondo del reactor y al ascender a una velocidad de 0.6-0.9 m/h se pone en contacto con un banco de lodos anaeróbicos de forma granular lo cual genera algunos gases, principalmente metano y bióxido de carbono, que son recolectados en la parte superior del reactor por medio de unas campanas que generan una zona donde los lodos sedimentan debido a que se encuentran libres de la agitación producida por el ascenso del gas [1]. Debido a la forma granular del lecho de lodos se genera una área mayor de contacto entre el agua residual y los microorganismos, con lo que se obtienen tiempos de residencia menores y es más estable a variaciones ligeras en la composición del agua residual.

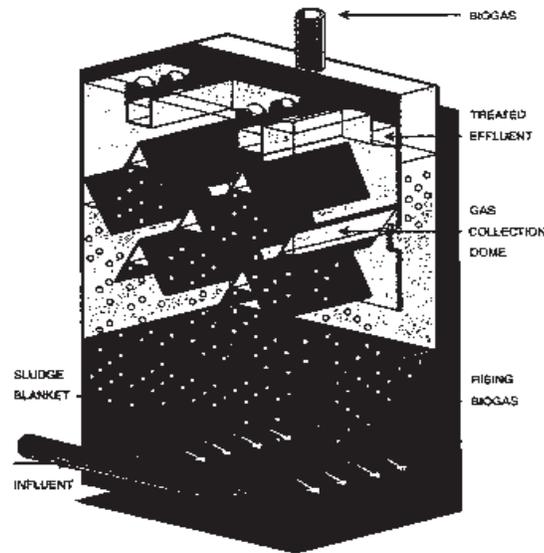


Figura 2.9. Reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente (UASB).

10.-Proceso de filtro anaerobio.

Son reactores de flujo ascendente que cuentan con una columna rellena de soportes de plástico o piedras en las que se fija una película de bacterias anaerobias y como no son retiradas o lavadas del reactor, tiempos de residencia hidráulicos cortos pueden ser obtenidos en el tratamiento del agua residual con un alto contenido de materia orgánica carbonosa.

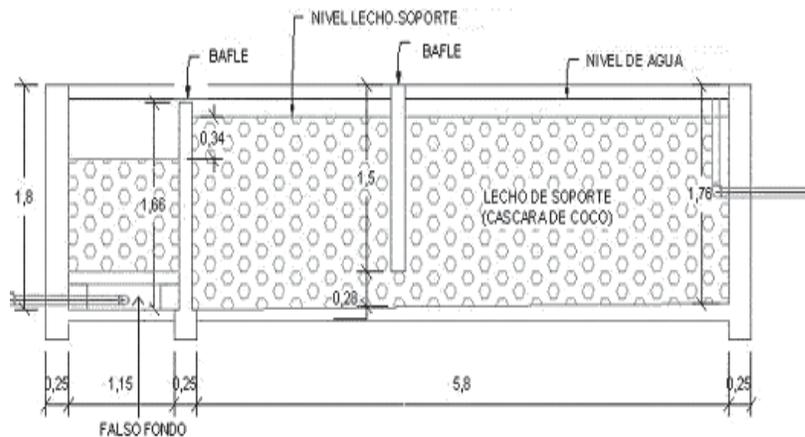


Figura 2.10. Configuración del filtro anaerobio de flujo horizontal.

11.-Proceso de lecho expandido.

Es un reactor que cuenta con un lecho que puede ser arena, carbón o algún conglomerado expandido donde se desarrolla también un cultivo microbiano, pero en este sistema el efluente es recirculado para diluir el agua residual entrante y mantener un caudal constante que ayude a mantener el lecho expandido.

2.3.-TRATAMIENTO Terciario

Los procesos empleados en este tratamiento se aplican cuando se requiere de un mayor grado de limpieza del agua residual, donde los más comunes son:

1.-Precipitación química.

Consiste en añadir ciertos productos químicos al agua residual para conseguir que estos alteren el estado físico de los sólidos disueltos o en suspensión para que precipiten y puedan ser eliminados más fácilmente.

Los productos químicos más utilizados como agentes precipitantes son: sulfato de aluminio hidratado o alumbre, sulfato ferroso hidratado y sales férricas en forma de cloruros y sulfatos.

Mediante este proceso se puede obtener un agua casi exenta de sólidos en suspensión y en estado coloidal, pero tiene la desventaja de que se obtienen mayores volúmenes de lodos, los cuales pueden contener altas concentraciones de metales pesados que afectan su tratamiento posterior, principalmente si se va a utilizar un proceso biológico como la digestión anaerobia.

2.-Adsorción.

Es un proceso por el cual los iones o las moléculas son retenidos sobre la superficie de un sólido. Se utiliza para eliminar la materia orgánica residual que a pasado al tratamiento biológico mediante el empleo de carbón activado.

3.-Oxidación química.

Es una alternativa para eliminar ciertos compuestos orgánicos oxidándolos por medio de ozono, el cual algunas veces se combina con luz ultravioleta para lograr mejores resultados, principalmente en el tratamiento de pesticidas, también se puede aplicar cloro o hipoclorito de sodio.

4.-Desinfección.

Consiste en la eliminación de los organismos presentes en las aguas que pueden producir enfermedades.

Se realiza principalmente mediante el empleo de productos químicos y agentes físicos. Los productos químicos más utilizados son el cloro y sus compuestos, ozono y agua oxigenada. Los agentes físicos, son el calor, la luz, y la radiación ultravioleta. [1].

El cloro tiene mayor aplicación en las aguas residuales ya que se utiliza para otros fines aparte de la desinfección, tales como el control de algas o de otros organismos en los depósitos; para la prevención de crecimientos orgánicos en tuberías y en el control o neutralización de sabores y olores del agua.



Figura 2.11. Tanque para desinfección.

3.-CONSTRUCCION Y OPERACIÓN DEL PROTOTIPO

La construcción del reactor prototipo se basa en la celda de Eckenfelder con modificaciones, las cuales se realizaron en función de los materiales que ya existían en el mercado y que serían utilizados en su construcción.

El material de construcción para el biorreactor se eligió entre el vidrio y el acrílico en base a las características que se enlistan en la tabla 3.1:

Tabla 3.1. Listado de diferencias existentes entre vidrio y acrílico ambos de 3mm. de espesor.

VIDRIO (3mm espesor)	ACRILICO (3mm espesor)
a) Es transparente.	a) Es transparente cuando esta nuevo.
b) Fácil de limpiar.	b) Fácil de limpiar.
c) Con un golpe ligeramente fuerte tiende a romperse.	c) Con un golpe ligeramente fuerte no es tan fácil que se rompa.
d) Es pesado.	d) Es ligero.
e) No tan fácil de cortar.	e) Es fácil de cortar.
f) Tiende a dejar bordes filosos.	f) Deja bordes filosos que son fáciles de eliminar.
g) Costo de adquisición moderado.	g) Costo de adquisición moderado.
h) El tiempo de pegado es prolongado y tedioso.	h) El tiempo de pegado es rápido y no tedioso.
i) El pegamento utilizado para éste material deja residuos muy visibles donde es fácil que se adhiera la materia orgánica.	i) El pegamento utilizado para éste material no deja residuo que sea visible (depende de la cantidad que se aplique) y no se adhiere la materia orgánica.
j) No es flexible.	j) Es flexible esto es de gran utilidad en el momento de ensamblar.
k) Es de fácil adquisición en el mercado	k) Es de fácil adquisición en el mercado.

Como se puede observar en la tabla 3.1, al hacer una comparación de las características del vidrio contra las características del acrílico, (ambos de 3mm de espesor), los incisos c, d, e, f, h, i, j, nos dan la pauta a elegir como mejor opción el acrílico, de esta forma entonces queda establecido que el biorreactor será de acrílico.

Las dimensiones del biorreactor se establecieron tomando en consideración el volumen de agua a tratar y el tiempo de retención en el equipo, cabe mencionar que se requería de un volumen suficiente que permitiera realizar las caracterizaciones fisicoquímicas sin que se tuvieran problemas en el funcionamiento del biorreactor por la pérdida de los volúmenes de agua residual empleados en los análisis, por este motivo el volumen del biorreactor se estableció de 12 L.

En lo que respecta al tiempo de retención hidráulico este se determina mediante el cociente del volumen del reactor entre el flujo alimentado al biorreactor como se muestra en el capítulo IV; para poder establecer los tiempos de retención sugeridos en la bibliografía, se hacía necesario un

volumen determinado con flujos que pudieran ser controlados con dispositivos comerciales existentes y que nos permitiera modificar el tiempo de retención del biorreactor si este se hacia necesario de acuerdo a las pruebas que se realizaron.

Las dimensiones del biorreactor quedaron de la siguiente manera, (ver Figura 3.1):

Largo: 30 cm.

Alto: 50 cm.

Ancho: 15 cm.

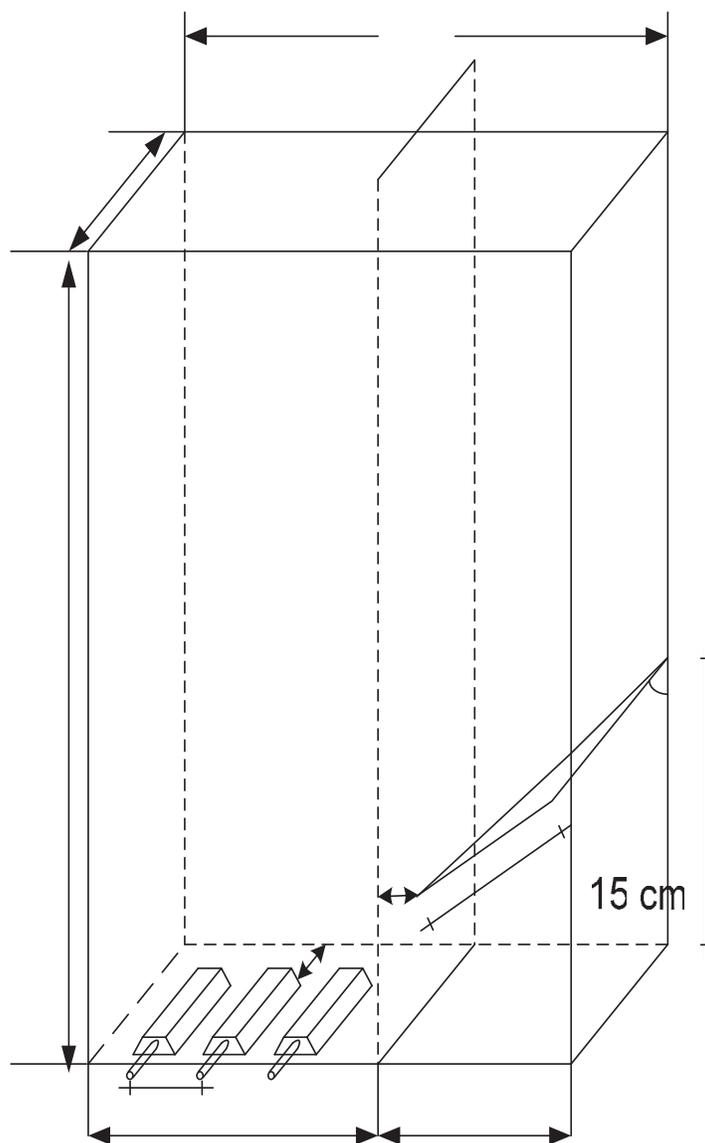


Figura 3.1. Medidas del biorreactor.

El biorreactor se divide en dos secciones: una es la cámara de aireación y la otra la cámara de sedimentación. (Ver Figura 3.2).

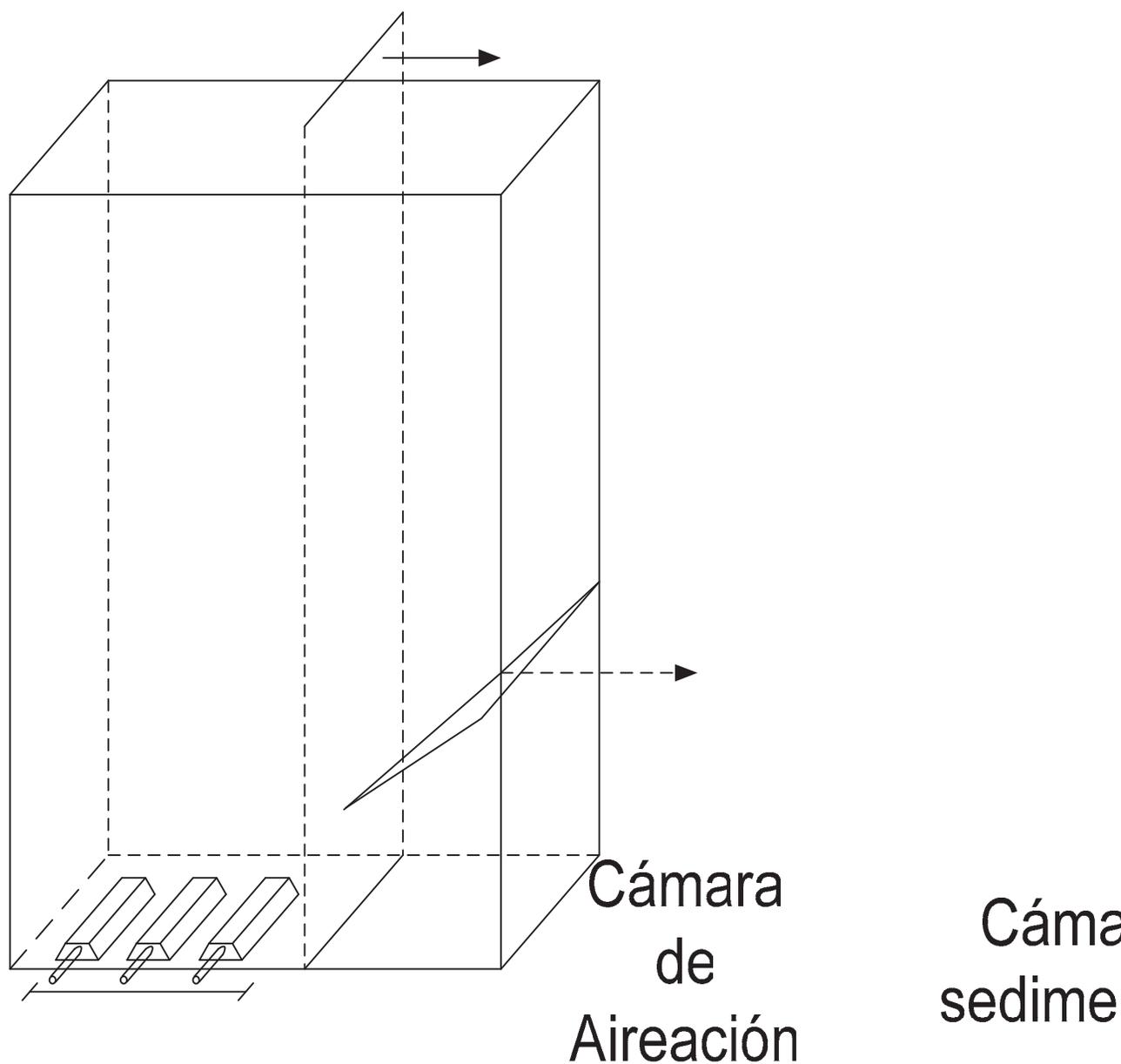


Figura 3.2. Partes del biorreactor.

Cámara de aireación:

La cámara de aireación ocupa el mayor volumen del biorreactor ya que es la sección donde el agua residual se pone en contacto con los lodos y el aire proveniente de los difusores y por lo tanto es donde se llevará a cabo la degradación de la materia orgánica. En esta sección se encuentran tres difusores de forma piramidal, de 10 cm de largo por 2 cm de alto y 1.5 cm de ancho colocados en el fondo del biorreactor con una distancia entre un difusor y otro de 3.5 cm. Esto con la finalidad de tener mayor área de aireación en dicha cámara.

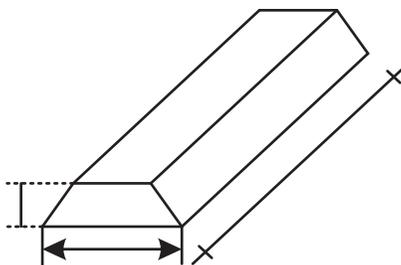


Figura 3.3. Medidas de un difusor.

Cámara de sedimentación:

La cámara de sedimentación es la sección del biorreactor donde el agua ya tratada se deja sedimentar por acción de la gravedad obteniendo así un sedimentado que son los lodos activados y un clarificado que es el agua ya tratada la cual se retirará del biorreactor.

En esta sección se cuenta con una trampa para lodos. Esta trampa para lodos es un pedazo de acrílico de 3 mm de espesor, 16 cm de largo y 15 cm de ancho colocado a una altura de 22 cm partiendo de la base del biorreactor y colocado con una inclinación de 35°, esta inclinación dejará una abertura de 1cm entre la trampa de lodos y el baffle (ver figura 1 y 2) la cual permitirá el paso del agua sedimentada es decir del clarificado.

El proceso de sedimentación no requiere de grandes dimensiones para este caso en particular por lo tanto se establecieron las siguientes medidas de acuerdo a las medidas totales del biorreactor y a las consideraciones antes mencionadas.

Es necesario mencionar que los lodos activados fueron extraídos de una planta tratadora de aguas residuales ya en funcionamiento y el agua residual fue extraída del río Grande a La altura de la Avenida Ventura Puente y la Avenida Solidaridad en la ciudad de Morelia, Michoacán, México; aclarado lo anterior se inician las pruebas de tratabilidad en el biorreactor para esto, es necesario primeramente la aclimatación de los lodos con el agua residual, esto se hace poniendo a funcionar el biorreactor con una mezcla inicial de 47% de agua clara, 20% de agua residual y 33% de lodos activados, realizándose mediciones de oxígeno disuelto con la ayuda de un medidor portátil para oxígeno disuelto posteriormente se repone el 25% de agua clarificada, con agua residual nueva por espacio de dos semanas.

El biorreactor es operado de una forma sencilla, una vez que se han aclimatado dichos lodos se le agrega la cantidad de agua residual que se pretende tratar con la restricción de no exceder el volumen máximo que esta predeterminado, posteriormente se pone a funcionar la bomba que nos proporcionará el aire necesario el cual llevaremos hacia el biorreactor por medio de una manguera delgada y flexible de 6.4 mm. (1/4 plg.) de diámetro, esta manguera llega a un derivador provisto de tres llaves, una para cada difusor, con la función de regular la cantidad de aire que se pretende suministrar a cada difusor y que mantendrá la mezcla lodo-agua residual en constante movimiento. Pasado este tiempo, se suspende el paso de aire hacia la cámara de aireación, y se levanta el baffle aproximadamente 1 cm. permitiendo el paso de la mezcla lodo-agua residual hacia la cámara de sedimentación donde obtenemos en la parte inferior el lodo activo y en forma ascendente el clarificado del agua tratada.

Se separa el agua clarificada de los lodos, los cuales se regresan a la cámara de aireación para continuar con las demás pruebas.

A continuación se muestran diferentes fotos del prototipo en funcionamiento:



Figura 3.4. Biorreactor tomado por la parte trasera, funcionando con agua clara para observar el funcionamiento del mismo así como las partes que lo conforman.



Figura 3.5. Biorreactor tomado por la parte delantera, funcionando con agua clara para observar el funcionamiento del mismo.



Figura 3.6. Biorreactor tomado por la parte delantera trabajando con la mezcla lodos activados – agua residual.



Figura 3.7. Biorreactor tomado por la parte delantera mostrando el clarificado en la parte superior y en la parte inferior los lodos activados sedimentados.

4.-DESCRIPCIÓN Y SELECCIÓN DE VARIABLES DE DISEÑO

Los parámetros que se deben de controlar en un reactor de tipo biológico aerobio, tienen que ver con el funcionamiento del mismo, entre las variables mínimas que se deben tomar en cuenta se encuentran las siguientes:

- Volumen del reactor en L (V_r)
- Cantidad de materia orgánica oxidable en el influente cuantificado como DQO o DBO_5 en mg/L (S_0)
- Cantidad de materia orgánica oxidable en el efluente cuantificada como DQO o DBO_5 mg/L (S_f)
- Sólidos volátiles en suspensión en el licor mezclado. (MLVSS)
- Sólidos suspendidos totales. (SST)
- Sólidos no volátiles en suspensión en el licor mezclado. (MLNVSS)
- Oxígeno disuelto en el licor mezclado. (OD)
- Flujo volumétrico de alimentación L/día (Q)
- Temperatura del agua en el reactor $^{\circ}C$ (T)
- Velocidad de consumo de oxígeno mg O_2 /Litro-día (R_v)
- Tiempo de retención hidráulica horas Θ_h
- Cantidad producida de biomasa, *lodos* (SSV)

Volumen del reactor:

Se define como la cantidad total de agua residual adicionada al biorreactor para realizar las corridas experimentales.

Cantidad de materia orgánica oxidable en el influente cuantificado como DQO o DBO_5 :

La Demanda Química de oxígeno (DQO) es un procedimiento alternativo para cuantificar el oxígeno equivalente de la porción de materia orgánica contenida en una muestra de agua, que es susceptible a oxidarse mediante el empleo de un oxidante químico fuerte [6].

Sólidos volátiles en suspensión en el licor mezclado (MLVSS):

Corresponden a los lodos biológicos, constituidos por una población heterogénea de microorganismos y que pueden calcinarse a una temperatura de $550^{\circ}C$.

Sólidos no volátiles en suspensión en el licor mezclado (MLNVSS):

El termino NV hace referencia a la no-volatilidad de los sólidos. Su naturaleza es distinta de la de los lodos biológicos, se determinan evaporando el agua de los sólidos suspendidos del licor mezclado estando constituidos por materiales orgánicos e inorgánicos.

Sólidos suspendidos totales (SST):

Es la suma de los Sólidos suspendidos volátiles más los sólidos suspendidos no volátiles en el licor mezclado.

Este término es aplicable a la totalidad de materia remanente al evaporarse el contenido de agua, de acuerdo al tipo de naturaleza química, puede clasificarse en orgánicos o inorgánicos [6].

Oxígeno disuelto en el licor mezclado (OD):

Todos los organismos vivos requieren de oxígeno disuelto de una u otra forma para mantener su proceso metabólico, del cual se obtiene la energía necesaria para su crecimiento y reproducción. Los microorganismos aerobios utilizan el O.D para lograr la oxidación de la materia, convirtiéndola en dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O) [6].

En nuestro caso nuestro flujo de aire suministrado por medio de una bomba de diafragma marca *Máxima*, mostrada en la Figura 4.1, fue de 3.5 L/min.



Figura 4.1. Bomba de diafragma marca *Maxima*.

Ley de Henry:

$$p_A \equiv y_A P = x_A H_A(T) \quad (4.1)$$

Donde:

P = Presión.

T = Temperatura.

A = Una sustancia que forma parte de un sistema Gas-Líquido

P_A = Presión parcial de A en la fase gaseosa.

X_A = Fracción mol. de A en la fase líquida.

H_A(T) es la constante de la Ley de Henry para A en un disolvente específico

Algunos valores de la constante de Henry para el Aire y el Oxígeno se muestran en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Valores de la constante de Henry para el Aire y el Oxígeno

COMPUESTO	TEMPERATURA (°C)	CONSTANTE DE HENRY(atm/mol) x10 ⁻⁴
OXIGENO	20	4.01
	25	4.38
AIRE	20	6.64
	25	7.20

Flujo volumétrico de alimentación:

Es la cantidad de volumen de agua residual que se alimenta en un determinado tiempo [7].
En este caso nuestro flujo se hace en Batch cada 24 hrs.

Temperatura del agua en el reactor:

Es la temperatura a la cual se opera el biorreactor y esta relacionada con la temperatura ambiente y el aire suministrado por los difusores.
La temperatura varía de 0.2 a 0.5°C dependiendo de la hora del día.

Índice volumétrico de lodos:

Se define como el resultado de dividir el porcentaje de peso de lodos suspendidos volátiles en la mezcla líquida entre el porcentaje de peso de sólidos suspendidos totales.

Tiempo de retención hidráulico:

Se define como el resultado de dividir el volumen del reactor entre el flujo de alimentación.
Es el volumen entre el flujo igual a 16hrs [5].

$$\Theta_h = (V_r / Q) \quad (4.2)$$

Sustituyendo:

Este caso V_r es 12 L., y Q es $(3 \text{ L} \div 4 \text{ hrs}) = 0.75 \text{ L/hrs}$ por lo tanto: $12 \text{ L} \div 0.75 \text{ L/hrs.} = 16 \text{ hrs}$

Velocidad de consumo de oxígeno:

Es la cantidad de oxígeno que los microorganismos consumen para realizar la degradación de la materia orgánica y sus funciones fisiológicas.
Se obtiene con la pendiente resultante de graficar la concentración de Oxígeno Disuelto como ordenada y el tiempo en minutos como abscisa.

Cantidad producida de biomasa (lodos) SSV:

Incremento de los sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado debido a la síntesis celular (reproducción de los microorganismos) con respecto al tiempo.

5.-CORRIDAS EXPERIMENTALES

En el birreactor se agrega una cantidad de lodos activados igual a 3 litros y una cantidad de agua residual de 12 litros.

Se encienden los difusores para que la mezcla entre en suspensión manteniéndola así durante todo el tiempo que duran las pruebas.

Las pruebas que se realizaron en el reactor biológico son las siguientes:

Consumo de oxígeno (respiración), lodos sedimentables, medición de pH, medición de temperatura, medición de conductividad eléctrica, determinación de DQO, determinación de sólidos volátiles en el licor mezclado.

Con la ayuda de un termómetro se registra la temperatura en el licor mezclado. Posteriormente se mide electro métricamente el pH (se debe estar seguro que el potenciómetro se encuentre calibrado).

Se obtiene una muestra del licor mezclado para determinar el contenido de MLNVSS y el contenido de MLVSS. Adicionalmente, se extrae una porción del licor mezclado y se vierte en una probeta hasta la marca de 1000 ml. Se permite que los sólidos sedimenten por un lapso de 30 min., tomando lecturas volumétricas correspondientes cada 2min. y registrarla (ml/L). Terminando la prueba se debe de regresar el agua contenida en la probeta al biorreactor.

Se determina la Razón de Respiración (Rr) obteniendo para ello una muestra del licor mezclado en una botella de Winkler; de la manera más rápida que sea posible se coloca la botella sobre un agitador magnético, y se introduce al agua el electrodo de medición de Oxígeno disuelto, tomando la precaución de mantener suspendidos los lodos activados agitando lentamente empleando una barra agitadora recubierta con teflón.

Se registra la caída de oxígeno en el medidor en contra del tiempo. Terminada la prueba se regresar el contenido de la botella Winkler al biorreactor teniendo cuidado de que no se baya la barra agitadora recubierta con teflón.

Suspender el mezclado en el biorreactor, permitiendo que los sólidos sedimenten por espacio de 30 minutos.

Obtener una muestra del clarificado, para determinar la Demanda Química de Oxígeno soluble.

Extraer un volumen preestablecido del clarificado, alimentando el biorreactor con un volumen igual de agua residual.

Es necesario mantener siempre la aireación y procurar conservar limpias las paredes del biorreactor.

6.-OBTENCION DE RESULTADOS

Los datos fueron consecutivos y del mes de Noviembre de 2005 con una temperatura ambiente de 22°C y una temperatura en el sistema 19°C.

PRIMERA CORRIDA

Datos obtenidos de temperatura para el día 25 se muestran en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Datos obtenidos de temperatura para primera corrida

Hora (hrs)	Temperatura (°C)
12:00	19.7
16:00	20.9
20:00	18.4

SEGUNDA CORRIDA

Datos obtenidos de temperatura para el día 26 se muestran en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2. Datos obtenidos de temperatura para segunda corrida

Hora (hrs)	Temperatura (°C)
08:00	16.3
12:00	17.5
16:00	18.2
20:00	18.6

TERCERA CORRIDA

Datos obtenidos de temperatura para el día 27 se muestran en la Tabla 6.3.

Tabla 6.3. Datos obtenidos de temperatura para tercera corrida

Hora (hrs)	Temperatura (°C)
08:00	16.3
12:00	16.8
16:00	17.7
20:00	17.7

Para cada corrida se elaboro una grafica donde se observar el comportamiento de la temperatura en contra del tiempo, un ejemplo se muestra en la Figura 6.1.

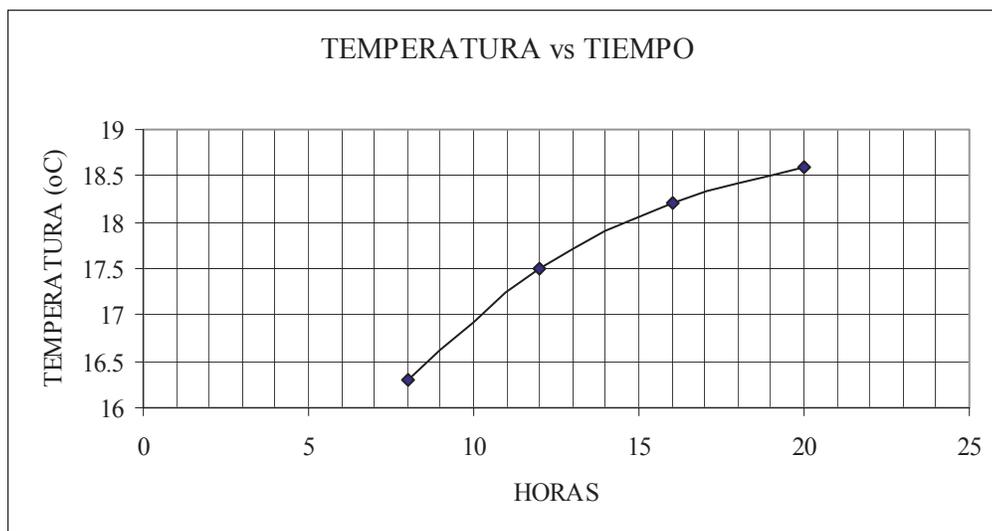


Figura 6.1. Grafica de temperatura contra tiempo para segunda corrida.

Datos obtenidos de pH para el día 25 se muestran en la Tabla 6.4.

Tabla 6.4. Datos obtenidos de pH para primera corrida

Hora (hrs)	pH
12:00	7.07
16:00	5.76
20:00	6.69

Datos obtenidos de pH para el día 26 se muestran en la Tabla 6.5.

Tabla 6.5. Datos obtenidos de pH para segunda corrida

Hora (hrs)	pH
08:00	4.89
12:00	5.64
16:00	6.53
20:00	6.56

Datos obtenidos de pH para el día 27 se muestran en la Tabla 6.6.

Tabla 6.6. Datos obtenidos de pH para tercera corrida

Hora (hrs)	pH
08:00	6.42
12:00	6.94
16:00	7.06
20:00	7.16

Para cada corrida se elaboro una grafica donde se observar el comportamiento de pH en contra del tiempo, un ejemplo se muestra en la Figura 6.2.

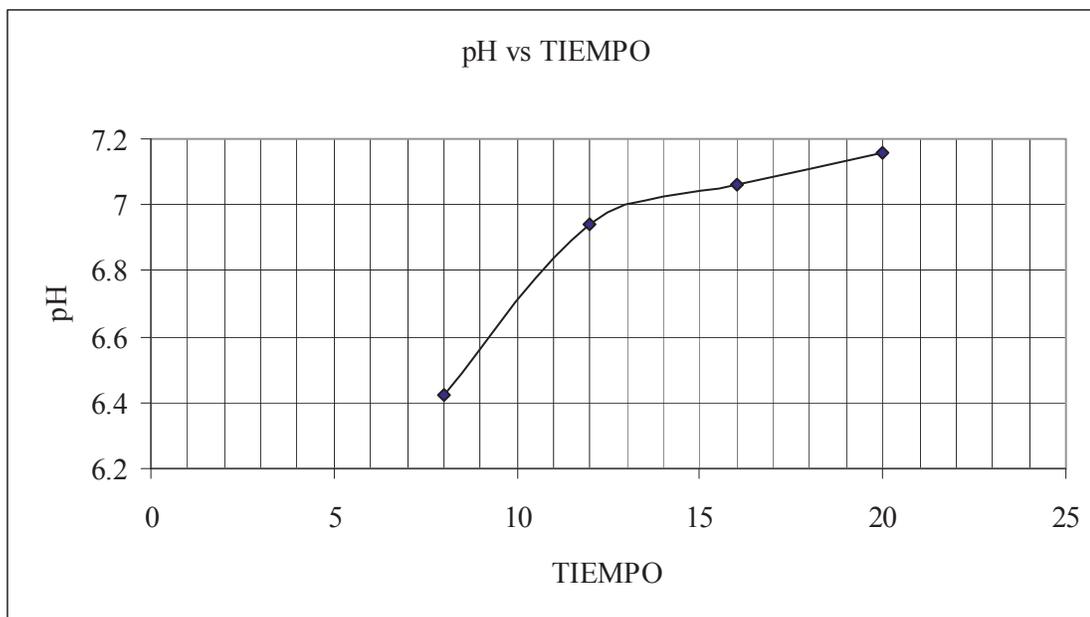


Figura 6.2. Grafica para pH en contra del tiempo para tercera corrida.

Datos obtenidos de Conductividad Eléctrica para el día 25 se muestran en Tabla 6.7.

Tabla 6.7. Datos obtenidos de Conductividad Eléctrica para primera corrida

Hora (hrs)	C.E.(mmhos/cm)
12:00	0.585
16:00	0.590
20:00	0.530

Datos obtenidos de Conductividad Eléctrica para el día 26 se muestran en Tabla 6.8.

Tabla 6.8. Datos obtenidos de Conductividad Eléctrica para segunda corrida

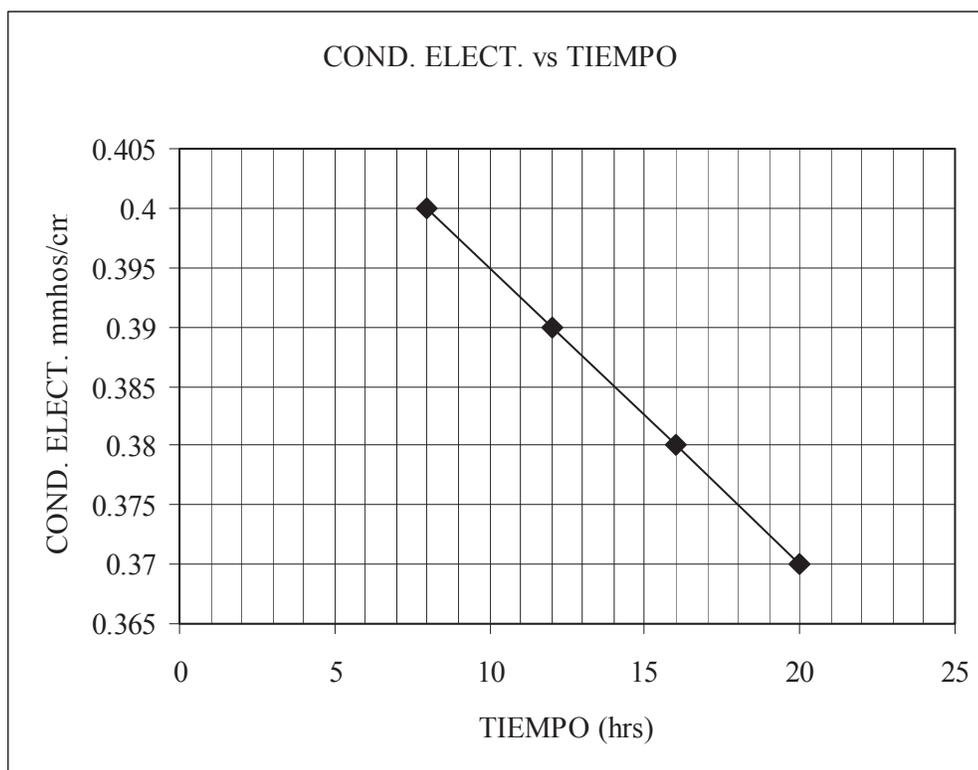
Hora (hrs)	C.E.(mmhos/cm)
08:00	0.500
12:00	0.440
16:00	0.450
20:00	0.430

Datos obtenidos de Conductividad Eléctrica para el día 27 se muestran en Tabla 6.9.

Tabla 6.9. Datos obtenidos de Conductividad Eléctrica para tercera corrida

Hora (hrs)	C.E.(mmhos/cm)
08:00	0.400
12:00	0.390
16:00	0.380
20:00	0.370

Para cada corrida se elaboro una grafica donde se observar el comportamiento de la conductividad eléctrica en contra del tiempo, un ejemplo se muestra en la Figura 6.3.

**Figura 6.3. Grafica para Conductividad Eléctrica en contra del tiempo para tercera corrida.**

Datos obtenidos de Sólidos Disueltos para el día 25 se muestran en la Tabla 6.10.

Tabla 6.10. Datos obtenidos de sólidos disueltos para primera corrida

Hora (hrs)	Sol. Disueltos (mg/L)
12:00	292
16:00	290
20:00	260

Datos obtenidos de Sólidos Disueltos para el día 26 se muestran en la Tabla 6.11.

Tabla 6.11. Datos obtenidos de sólidos disueltos para segunda corrida

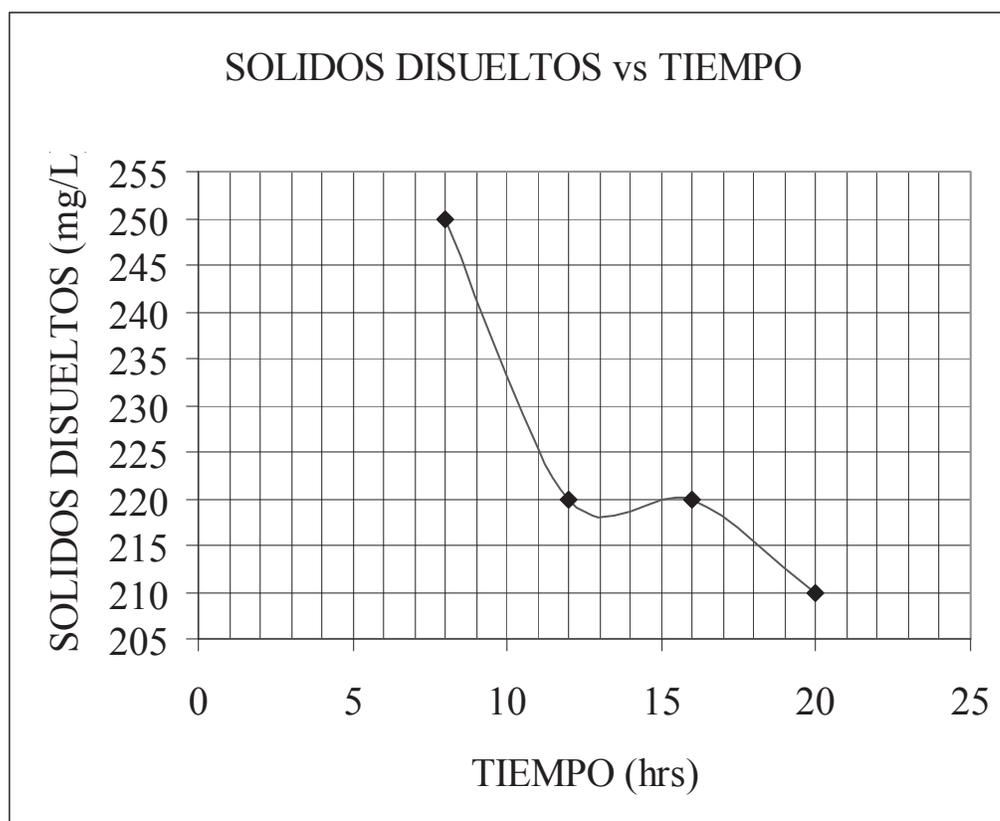
Hora (hrs)	Sol. Disueltos (mg/L)
08:00	250
12:00	220
16:00	220
20:00	210

Datos obtenidos de Sólidos Disueltos para el día 27 se muestran en la Tabla 6.12.

Tabla 6.12. Datos obtenidos de sólidos disueltos para tercera corrida

Hora (hrs)	Sol. Disueltos (mg/L)
08:00	200
12:00	190
16:00	180
20:00	180

Para cada corrida se elaboro una grafica donde se observar el comportamiento de los solidos disueltos en contra del tiempo, un ejemplo se muestra en la Figura 6.4.

**Figura 6.4. Grafica para Sólidos disueltos en contra del tiempo para segunda corrida.**

Los datos obtenidos para las pruebas de Oxígeno Disuelto fueron obtenidos de acuerdo a la técnica descrita con anterioridad.

Datos obtenidos de Oxígeno Disuelto para el día 25 se muestran en la Tabla 6.13.

Tabla 6.13. Datos obtenidos de Oxígeno Disuelto para primera corrida.

HORA	TIEMPO(min)	O.D (mg/L)
12:00	0	6.8
	5	4.4
	10	3.8
	15	3.8
	20	3.8
	27	3.5
	30	3.2
	35	3
	41	2.8
	45	2.8
	62	1.9
	75	1.4
	81	1.2
	90	1
	95	0.8
	100	0.6
	105	0.5
	110	0.5
16:00	0	5.3
	5	5
	10	4.7
	15	4.5
	20	4.2
	25	3.9
	30	3.7
20:00	0	5.9
	5	5.2
	10	4.3
	15	3.7
	20	3
	25	2.5
	30	1.6
	35	0.9

	40	0.7
	45	0.6
	50	0.5
	55	0.5

Datos obtenidos de Oxígeno Disuelto para el día 26 se muestran en la Tabla 6.14.

Tabla 6.14. Datos obtenidos de Oxígeno Disuelto para segunda corrida

HORA	TIEMPO(min)	O.D.(mg/L)
08:00	0	6.6
	5	6.3
	10	6.2
	15	5.9
	20	5.9
	25	5.5
	30	5.2
	35	5
	40	4.8
	45	4.7
	50	4.5
	55	4.1
	60	3.7
	65	3.3
	70	2.9
	75	2.5
	80	2.1
	85	1.7
	90	1.3
12:00	0	6.3
	5	5.9
	10	5.4
	15	4.7
	20	4
	25	2.9
	30	2.2
	35	1.4
	40	0.9
	45	0.6
	50	0.5
	55	0.5
	60	0.5

	65	0.5
16:00	0	6.3
	5	5.4
	10	4.6
	15	3.7
	20	2.7
	25	1.7
	30	0.7
	35	0.5
	40	0.5
	45	0.5
	50	0.5
20:00	0	7
	5	5.7
	10	5
	15	3.9
	20	3.1
	25	1.6
	30	0.7
	35	0.6
	40	0.7
	45	0.7
	50	0.7
	55	0.7
	60	0.7

Datos obtenidos de Oxígeno Disuelto para el día 27 se muestran en la Tabla 6.15.

Tabla 6.15. Datos obtenidos de Oxígeno Disuelto para tercera corrida

HORA	TIEMPO(min)	O.D.(mg/L)
08:00	0	7.2
	5	6.9
	10	6.7
	15	6.6
	20	6.3
	25	5.8
	30	5.4
	35	5
	40	4.6
	45	4.2

	50	3.8
	55	3.3
	60	2.9
	65	2.5
	70	2.2
	75	1.7
12:00	0	6.9
	5	6.2
	10	5.5
	15	4.3
	20	3.2
	25	2.2
	30	1.4
	35	0.9
	40	0.5
	45	0.5
	50	0.5
16:00	0	7.6
	5	7
	10	6.6
	15	6
	20	5.5
	25	4.6
	30	3.9
	35	3.2
	40	2.5
	45	1.8
	50	1.2
	55	0.8
	60	0.5
20:00	0	7.7
	5	6.8
	10	6
	15	4.6
	20	3.9
	25	3.1
	30	2.4
	35	1.5
	40	1

	45	0.7
	50	0.5
	55	0.5

Para cada corrida se elaboro una grafica donde se observar el comportamiento del Oxigeno Disuelto disueltos en contra del tiempo, un ejemplo se muestra en la Figura 6.5.

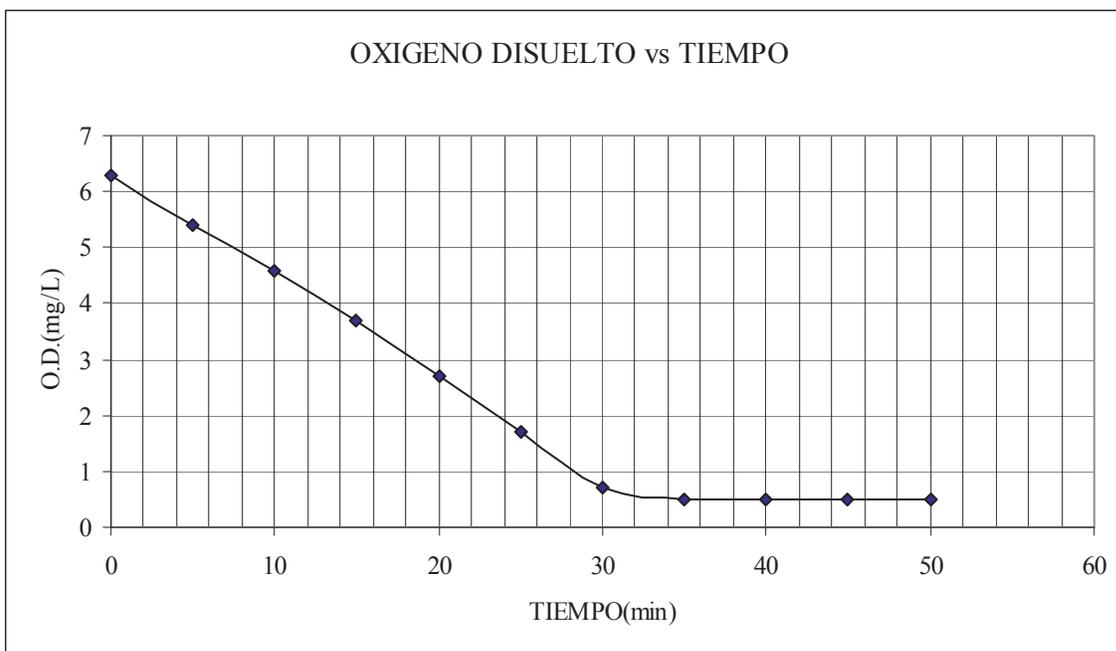


Figura 6.5. Grafica para Oxigeno Disuelto en contra del tiempo para segunda corrida 16:00hrs.

Los datos obtenidos para las pruebas de Sólidos sedimentables fueron obtenidos de acuerdo a la técnica descrita con anterioridad.

Datos obtenidos de Sólidos sedimentables del día 25 se muestran en la Tabla 6.16.

Tabla 6.16. Datos obtenidos de Sólidos sedimentables para primera corrida

HORA	TIEMPO(min)	VOL (ml)
12:00	0	1000
	3	660
	6	430
	9	360
	12	330
	15	300
	18	290
	21	270
	24	260

	27	250
	30	250
16:00	0	1000
	3	760
	6	490
	9	400
	12	360
	15	330
	18	310
	21	290
	24	280
	27	270
	30	265
	33	260
20:00	0	1000
	3	900
	6	670
	9	480
	12	410
	15	370
	18	350
	21	330
	24	310
	28	300
	30	290
	33	280
	36	270
	39	260
	42	260

Datos obtenidos de sólidos sedimentables del día 26 se muestran en la Tabla 6.17.

Tabla 6.17. Datos obtenidos de Sólidos sedimentables para segunda corrida.

HORA	TIEMPO(min)	VOL (ml)
08:00	0	1000
	3	810
	6	510
	9	410
	12	370
	15	340

	18	320
	21	300
	24	290
	27	280
	30	270
	33	265
	36	260
	39	250
	42	250
12:00	0	1000
	3	830
	6	570
	9	440
	12	380
	15	345
	18	320
	21	305
	24	290
	27	280
	30	270
	33	260
	36	255
	39	250
	42	250
16:00	0	1000
	3	900
	6	650
	9	470
	12	390
	15	350
	18	320
	21	310
	24	290
	27	280
	30	270
	33	260
	36	260
20:00	0	1000
	3	900

	6	610
	9	440
	12	370
	15	320
	18	310
	21	290
	24	280
	27	270
	30	260
	33	250
	36	255
	39	240
	42	230
	45	230

Datos obtenidos de sólidos sedimentables del día 27 se muestran en la Tabla 6.18.

Tabla 6.18. Datos obtenidos de Sólidos sedimentables para tercera corrida

HORA	TIEMPO(min)	VOL(ml)
08:00	0	1000
	3	850
	6	550
	9	400
	12	340
	15	310
	18	290
	21	275
	24	260
	27	250
	30	245
	33	240
	36	230
	39	225
	42	220
12:00	0	1000
	3	900
	6	500
	9	370
	12	320
	15	290
	18	270

	21	260
	24	250
	27	240
	30	230
	33	220
	36	220
16:00	0	1000
	3	900
	6	520
	9	360
	12	310
	15	280
	18	260
	21	250
	24	240
	27	230
	30	220
	33	215
	36	210
	39	210
20:00	0	1000
	3	790
	6	450
	9	340
	12	300
	15	270
	18	255
	21	245
	24	230
	27	225
	30	220
	33	210
	36	210

Para cada corrida se elaboro una grafica donde se observar el comportamiento del Volumen de lodos en contra del tiempo, un ejemplo se muestra en la Figura 6.6.

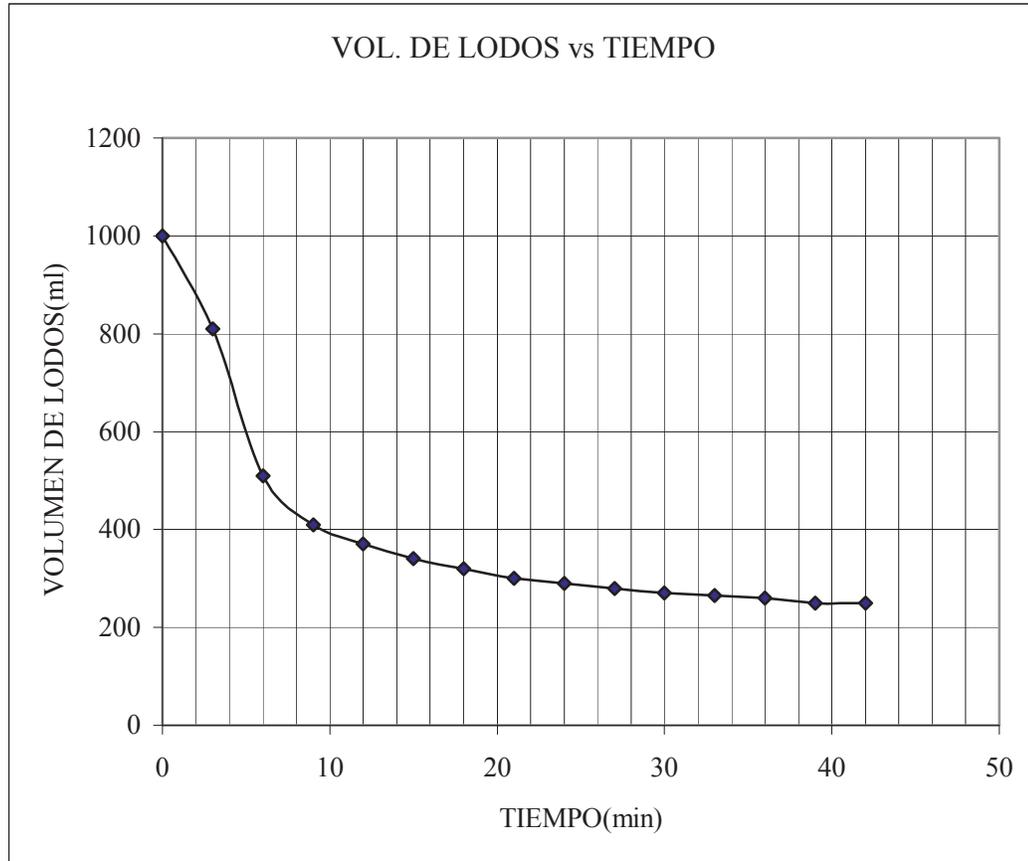


Figura 6.6. Grafica para Volumen de lodos en contra del tiempo para primera corrida 8:00hrs.

7.-ANALISIS DE RESULTADOS

Con los datos de Oxígeno Disuelto obtenidos anteriormente y la observación de sus respectivas graficas se establece que para poder obtener una buena línea de tendencia (línea recta) y en consecuencia una buena pendiente, es necesario descartar algunos valores de los datos obtenidos, en las Tablas 7.1, 7.2, y 7.3 se muestran los valores resultantes con los cuales ajustaremos la línea de tendencia.

Datos de Oxígeno Disuelto obtenidos para graficar pendientes del día 25 se muestran en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1. Datos de Oxígeno disuelto obtenidos para graficar pendientes de primera corrida

CORRIDA	FECHA	HORA	TIEMPO(min)	O.D (mg/L)
1	25/11/2005	12:00	20	3.8
			27	3.5
			30	3.2
			35	3
			41	2.8
			45	2.8
			62	1.9
			75	1.4
			81	1.2
			90	1
			95	0.8
			100	0.6
			105	0.5
			110	0.5
		16:00	0	5.3
			5	5
			10	4.7
			15	4.5
			20	4.2
			25	3.9
			30	3.7
		20:00	0	5.9
			5	5.2
			10	4.3
			15	3.7
			20	3
			25	2.5
			30	1.6
			35	0.9

Datos de Oxígeno Disuelto obtenidos para graficar pendientes del día 26 se muestran en la Tabla 7.2.

Tabla 7.2. Datos de Oxígeno disuelto obtenidos para graficar pendientes de segunda corrida

CORRIDA	FECHA	HORA	TIEMPO (min)	O.D. (mg/l)
2	26/11/2005	08:00	0	6.6
			5	6.3
			10	6.2
			15	5.9
			20	5.9
			25	5.5
			30	5.2
			35	5
			40	4.8
			45	4.7
			50	4.5
			55	4.1
			60	3.7
			65	3.3
			70	2.9
			75	2.5
			80	2.1
			85	1.7
			90	1.3
		12:00	0	6.3
			5	5.9
			10	5.4
			15	4.7
			20	4
			25	2.9
			30	2.2
			35	1.4
			40	0.9
			45	0.6
		16:00	0	6.3
			5	5.4
			10	4.6
			15	3.7
			20	2.7

			25	1.7
			30	0.7
		20:00	0	7
			5	5.7
			10	5
			15	3.9
			20	3.1
			25	1.6
			30	0.7

Datos de Oxígeno Disuelto obtenidos para graficar pendientes del día 27 se muestran en la Tabla 7.3.

Tabla 7.3. Datos de Oxígeno disuelto obtenidos para graficar pendientes de tercera corrida

CORRIDA	FECHA	HORA	TIEMPO (min)	O.D. (mg/l)
3	27/11/2005	08:00	0	7.2
			5	6.9
			10	6.7
			15	6.6
			20	6.3
			25	5.8
			30	5.4
			35	5
			40	4.6
			45	4.2
			50	3.8
			55	3.3
			60	2.9
			65	2.5
			70	2.2
			75	1.7
		12:00	0	6.9
			5	6.2
			10	5.5
			15	4.3
			20	3.2
			25	2.2
			30	1.4
			35	0.9
			40	0.5

		16:00	0	7.6
			5	7
			10	6.6
			15	6
			20	5.5
			25	4.6
			30	3.9
			35	3.2
			40	2.5
			45	1.8
			50	1.2
			55	0.8
			60	0.5
		20:00	0	7.7
			5	6.8
			10	6
			15	4.6
			20	3.9
			25	3.1
			30	2.4
			35	1.5
			40	1
			45	0.7

Los datos de las pendientes obtenidos por medio de graficas se muestran en la Tabla 7.4.

Tabla 7.4 Valores de pendientes para cada una de las corridas

CORRIDA	DIA	HORA	PENDIENTE
1	25/11/2005	12:00	-0.0376
		16:00	-0.0536
		20:00	-0.1407
2	26/11/2005	08:00	-0.0575
		12:00	-0.1393
		16:00	-0.1864
		20:00	-0.2071
3	27/11/2005	08:00	-0.0759
		12:00	-0.1727
		16:00	-0.1266
		20:00	-0.1618

En la siguiente Figura se muestran los datos de oxígeno disuelto consumido por los microorganismos con respecto al tiempo, para la obtención de la grafica corregida se grafican los

datos de oxígeno disuelto que tengan variación, los cuales se ajustan a una línea recta de la cual se obtiene la pendiente correspondiente.

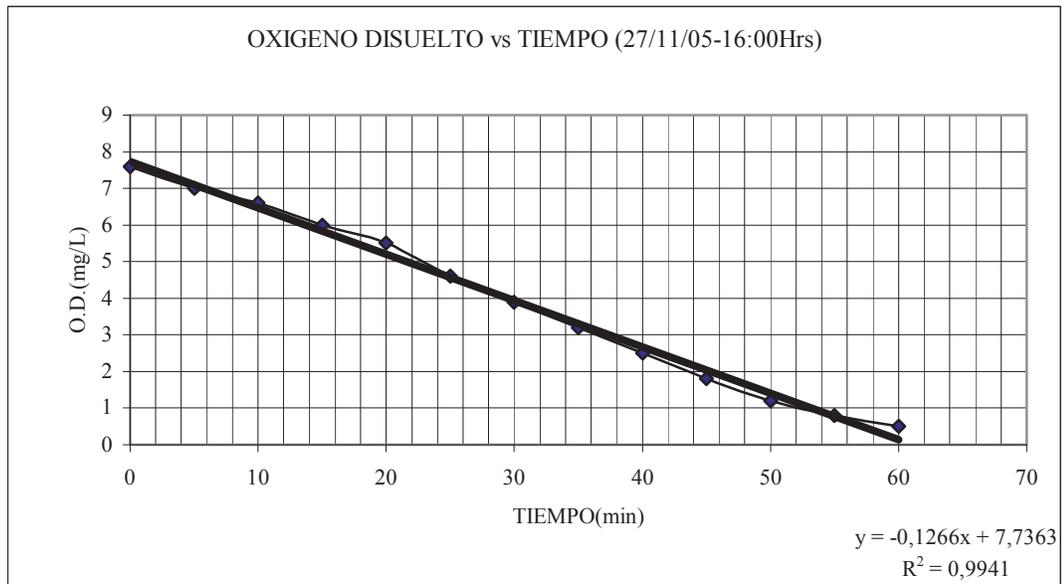


Figura 7.1. Corrección de datos para la aplicación de la pendiente.

En la Figura 7.2 se muestra el valor de la pendiente, la cual representa la Razón de sustrato removido y se expresa por medio de una "K".

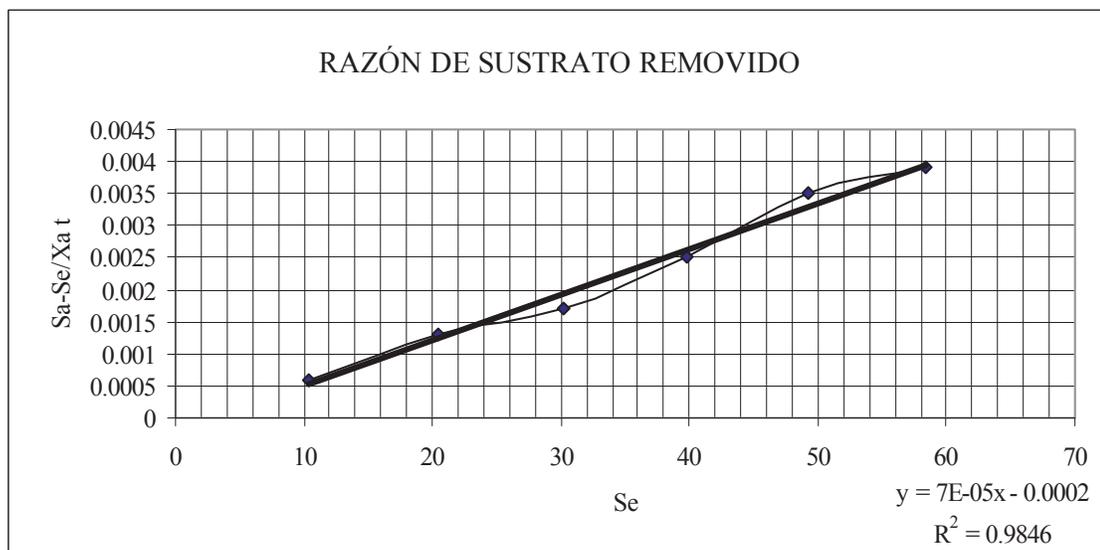


Figura 7.2. Determinación gráfica de K.

En la Figura 7.3 se muestra el valor de la pendiente, la cual representa el coeficiente de utilización de Oxígeno para la síntesis celular, y se expresa por medio de una "a", por otro lado el valor de b corresponde a la razón de utilización de oxígeno requerido para la oxidación celular, y se representa mediante una "b".

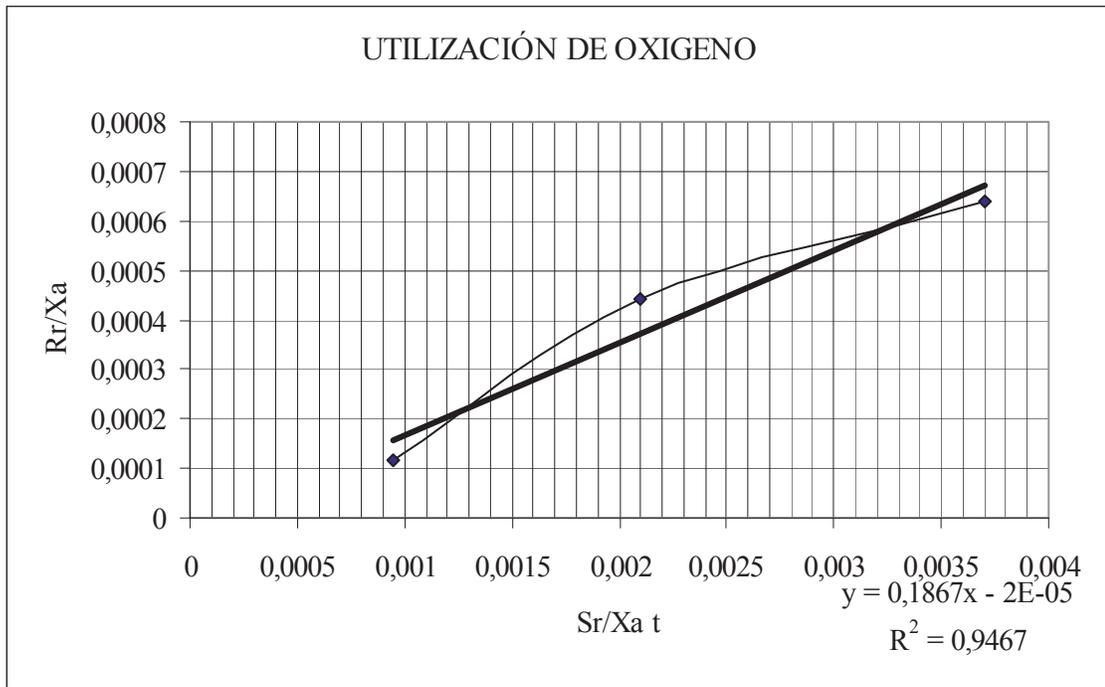


Figura 7.3. Representación grafica de a' y b'.

En la Figura 7.3 se muestra el valor de la pendiente, la cual representa La fracción de sustrato removido utilizado para la síntesis celular y se expresa por medio de una "a", por otro lado el valor de b corresponde a la razón de oxidación celular, y se representa mediante una "b".

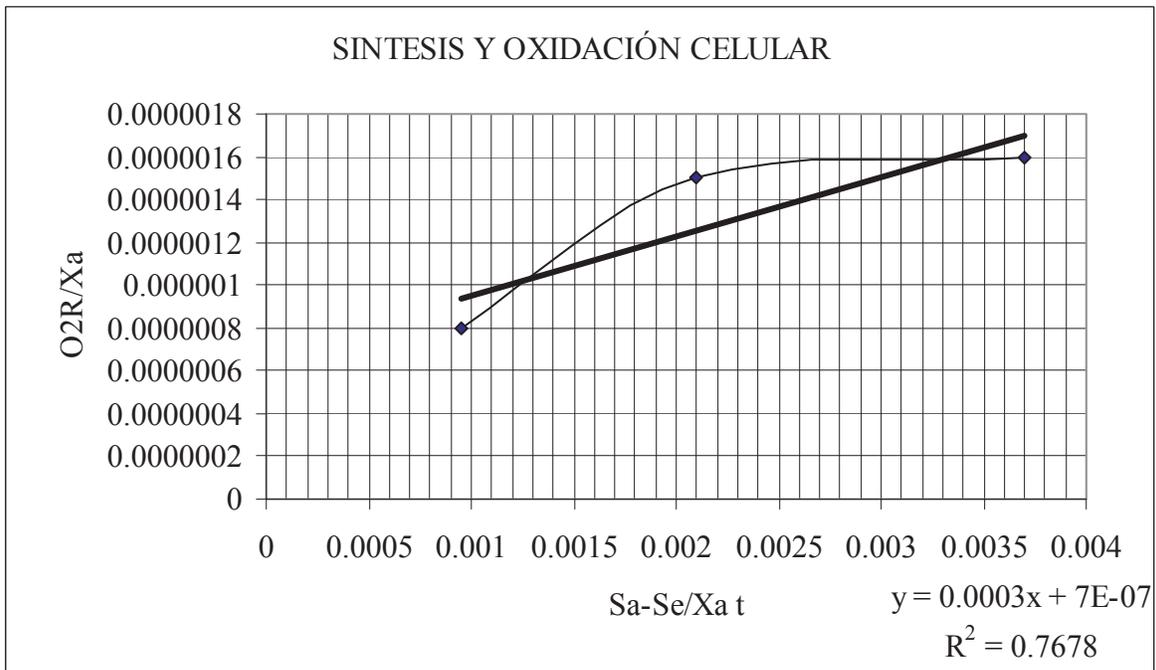


Figura 7.3. Representación grafica de a y b.

Los valores obtenidos de K, a', b', a, y b se pueden observar en la Tabla 7.5.

Tabla 7.5. Valores obtenidos de graficas con sus respectivas representaciones y nombres

nombre	representación	Valor obtenido de graficas
Razón de sustrato removido	K	7E-05
Coefficiente de utilización de Oxígeno para la síntesis celular	a'	0.1867
Razón de la utilización del oxígeno Requerido para la oxidación celular	b'	2E-05
Fracción de sustrato removido Utilizado para la síntesis celular	a	0.0003
Razón de oxidación celular	b	7E-07

Ecuación para transferencia de Oxígeno.

$$N = CG_s^{(1-n)}(H^m/W^p)(C_{sr} - C_L) \times 1.024^{T-20} \times \alpha_{20^\circ\text{C}} \quad (7.1)$$

Donde:

N = kg de O₂ transferidos/ h . unidad.

G_s = Caudal de Aire (m³/ h . unidad (m³ a P =760 mm de Hg y t = 0°C).

H = profundidad de líquido (m).

W = Anchura de la balsa de aireación (m).

C_{sr} = La concentración de O.D. a saturación en aguas residuales (mg/ l, en profundidad media de la balsa).

C_L = La concentración de O.D. en funcionamiento en régimen estacionario (mg/l, normalmente entre 0.5y 1.5 mg/l).

T = temperatura a °C

α = Coeficiente de transferencia de oxígeno del agua residual.

C, n, m, p = constantes características del equipo de aireación.

Ecuación para la recirculación.

$$F/M = (QS_0) \div (VX_a) \quad (7.2)$$

Donde:

F/M = Relación de alimento/ microorganismos.

Q = Caudal a tratar (l/s).

S_0 = Sustrato que entra al tanque de aireación (mg/l).

V = Volumen del tanque (l).

X_a = Sólidos Suspendidos Volátiles en el tanque de aireación.

Ecuaciones para la producción y biodegradación de biomasa.

$$X_d = X'_d / (1 + bX'_n\theta_c) \quad (7.3)$$

Donde:

X_d = Fracción degradable de SSV biológicos.

X'_d = fracción degradable de SSV biológicos en generación.

X'_n = Fracción no degradable de SSV biológicos en generación.

b = Coeficiente endógeno, d^{-1}

θ_c = Edad de los lodos, d.

Ecuación para la producción de biomasa.

$$\Delta X_v = aS_r - bX_dX_vt \quad (7.4)$$

Donde:

ΔX_v = Sólidos suspendidos Volátiles por día en miligramos por litro, basado en el flujo de entrada.

$t = V/Q$, tiempo de retención Hidráulico, d.

X_v = Concentración de sólidos suspendidos volátiles, mg/L.

a = Coeficiente de producción de síntesis de biomasa.

b = Coeficiente endógeno, d^{-1} .

S_r = Sustrato soluble removido.

X_d = Fracción degradable de SSV biológicos.

8.-CONCLUSIONES

- 1.- El sistema de tratamiento por lodos activos permite la degradación de los componentes orgánicos del agua residual en una proporción diferente a la especificada en la bibliografía $DBO_5 / DQO = 0.6$.
- 2.- La influencia que tienen los detergentes en el agua residual, es la producción de espuma que arrastra a los biosólidos fuera del sistema de tratamiento, lo que repercute a la pérdida de los mismos y una disminución en la eficiencia del sistema.
- 3.- El efecto de los detergentes y las grasas sobre el sistema de tratamiento puede minimizarse elevando la temperatura normal del agua en un rango de 3-6 grados centígrados, durante las primeras 2 horas de tratamiento, cabe aclarar que en un proceso continuo esto implica una unidad de pretratamiento para este fin y el aumento en el consumo de energía, en caso de que exista la formación de lodos sin peso (bulas) se deberá de suspender el calentamiento inmediatamente.
- 4.- la producción de lodos es satisfactoria (29 %), teniendo buena capacidad de sedimentación lo que repercute en tiempos menores de residencia en las unidades de sedimentación secundaria dentro del sistema de tratamiento.
- 5.-La disminución de la carga orgánica expresada como DQO corresponde a un 88%. ($DQO_i = 432$, $DQO_f = 50$).

BIBLIOGRAFIA

- 1.- **METCALF- EDDY, 1996** “Ingeniería de aguas residuales (tratamiento, vertido y reutilización)” tomo I y II Trillo, J.D y trillo. I. Tercera Edición, Mc Graw-Hill.
- 2.- **DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK Y COL. 1976.** “Tratamiento de las aguas negras”, LIMUSA. México.
- 3.- **WEF y ASCE, 1992**, “Design of Municipal Wastewater Treatment Plants”, Book Press, Inc. U.S.A. Segunda edición, Volumen II, Chapter 13-20
- 4.-**RIGOLA, M. 1989**, “Tratamiento de Aguas Industriales: Aguas de proceso y residuales”, Marcombo. España.
- 5.- **METCALF-EDDY, 1994** “Ingeniería sanitaria, tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales”, Tercera edición, Editorial Labor, s.a.
- 6.- **ITESM** , “Manual de practicas. Laboratorio de ingeniería ambiental”
- 7.-**RICHARD M. FELDER- RONALD W. ROUSSEAU, 1991**, “Principios elementales de los procesos químicos”, 2ª Edición, Editorial Addison-Wesley / Iberoamericana.
- 8.-**W.WESLEY ECKENFELDER, JR**, “Industrial Water pollution control”, 3ªEdición, Editorial McGraw-Hill.
- 9.- **APHA, AWWA, 1992**, “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” 18th Edition.
- 10.-**R.S. RAMALHO, 1991**, “Tratamiento de Aguas Residuales”. Editorial Reverté, S.A.

ANEXOS

DETERMINACION DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES, Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLATIL.

Material Requerido.

- Balanza analítica
- Crisoles Gooch
- Pipeta volumétrica
- Estufa de secado (103°C)
- Desecador
- Horno de Incineración (550°C)
- Bomba de vacío
- Matraz Kitasato

Reactivos.

- Papel GFA.
- Agua residual en tratamiento.

Procedimiento.

Se coloca un papel GFA en un crisol Goosh.

Se lleva el crisol a $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ por espacio de 20 minutos en una mufla, trascurrido ese tiempo con ayuda de unas pinzas se deposita el crisol Goosh en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente, posteriormente se saca el crisol Goosh del desecador y se pesa junto con el papel GFA, se registrar el peso (W1), y se deposita de nuevo en el desecador.

Se coloca el crisol en un sistema de filtración y se aplica vacío, se le adiciona agua destilada permitiendo que toda el agua se filtre, esto nos ayudara a que el papel GFA se adhiera completamente al fondo del crisol.

Se le agregan 3ml de muestra de agua residual en cuestión medidos con pipeta, teniendo cuidado de que la muestra añadida se filtre completamente.

Se transferir la muestra del sistema de filtración es decir el crisol Goosh con el residuo de la filtración hacia una estufa de secado previamente calentada a 100°C , por espacio de una hora.

Se retira el crisol de la estufa, se enfría en un desecador a temperatura ambiente, y se pesa y se anota el peso resultante (W2).

Se coloca nuevamente el crisol Goosh en la mufla previamente calentada a $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ por espacio de 20 minutos, se transfiere a un desecador para que se enfríe a temperatura ambiente y se pesa, anotando el resultado obtenido (W3).

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES

Material Requerido.

- Probeta graduada de 1L
- Vaso de precipitados de 1L
- Cronometro

Reactivos.

- Agua residual en tratamiento.

Procedimiento.

Del agua que se está tratando en el biorreactor se saca 1L con la ayuda de un baso de precipitados, a continuación se vierte en una probeta graduada de 1L. Se inicia de inmediato el conteo de tiempo que tarda en sedimentar (con la ayuda de un cronometro), los datos se leen directamente de la probeta graduada; se recomienda que se anoten los datos cada 5 min. Por un espacio de 30 min.

Las lecturas se realizan en la interfase del agua clarificada y los lodos.

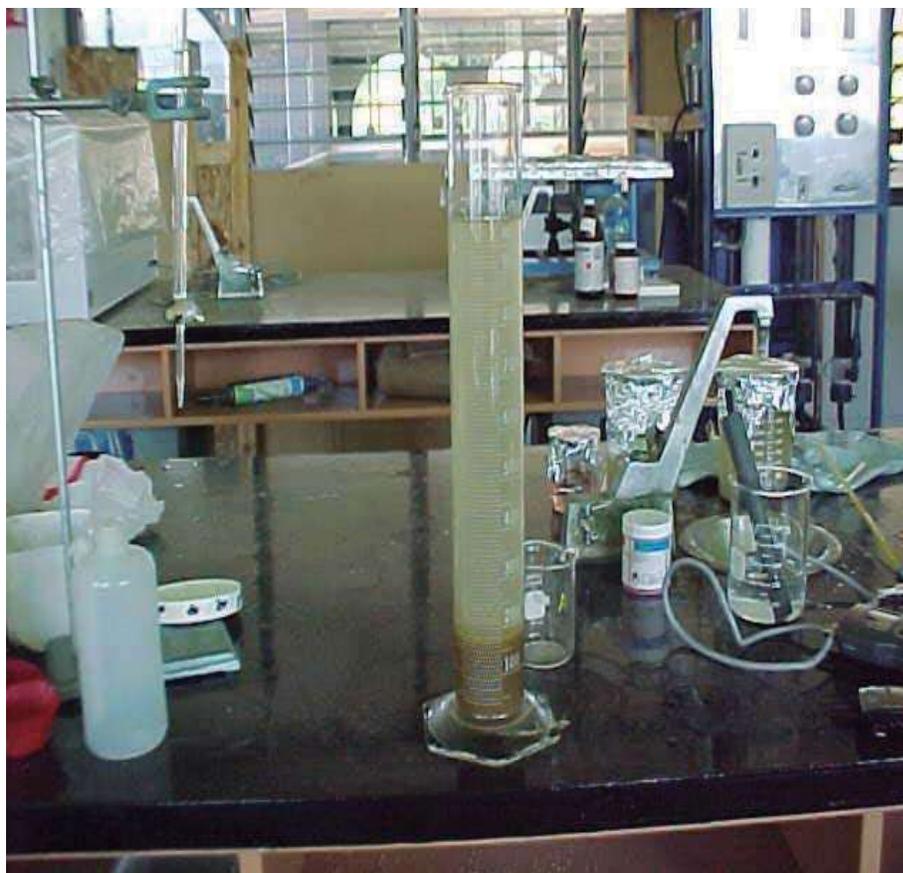


Figura 1. Vista de sólidos sedimentados y el clarificado en dicha prueba.

DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO).

Material Requerido.

- Balanza analítica
- Pipetas
- Bureta
- Digestor para Viales
- Pinzas

Reactivos.

- Sulfato Mercúrico, HgSO_4
- Acido Sulfúrico, H_2SO_4 , conteniendo sulfato de Plata, Ag_2SO_4
- Dicromato de Potasio, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
- Ferroin, (como indicador)
- Solfato Ferroso Amoniacal, $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (como titulador)

Procedimiento.

Entes de realizar esta prueba es necesario preparar el reactor para DQO:

- a) Encender el aparato con el botón de encendido que se encuentra en la parte posterior en el lado derecho superior.
- b) Llevar el botón de temperatura a 150°C verificando que el botón TIMER se encuentre en la posición α .
- c) Esperar 30 min. Para el calentamiento.
- d) Cuando el indicador de temperatura HELTING se empieza a encender y apagar indica que la temperatura ya se estabilizo.
- e) La estabilización de la temperatura se puede verificar colocando el termómetro en la pequeña abertura ubicada en el panel calentador, retirar el termómetro.
- f) El reactor ya se encuentra listo para colocar los viales para digestión.
- g) Si se desea que el reactor se apague automáticamente, colocar el botón TIMER en la posición de su mismo nombre y señalar en la escala graduada el tiempo requerido.

Preparación de la muestra.

Paralelo al calentamiento del digestor se preparan los viales con la muestra y el blanco testigo de prueba.

Se suspende por un momento la aireación en el biorreactor dejando sedimentar los lodos activados y del clarificado se toma 2ml de muestra y se le agrega a un vial el cual contiene una solución ácida (mezcla de dicromato de potasio, solución de ácido sulfúrico-sulfato de plata) la cual degradara la materia orgánica, posteriormente ya agregada la muestra se tapa el vial, se

limpia externamente y se coloca dentro de la celda del termo reactor manteniéndose en digestión por un espacio de 2hr.

De igual forma se prepara un vial el cual se llamara blanco testigo debido a que dicho vial contendrá 2ml. de agua destilada en lugar de agua en tratamiento, este vial nos servirá de referencia para la futura titulación. Se coloca en el termo reactor el mismo tiempo que los otros viales.

Transcurridas las 2hr el termo reactor se apagará y se deja enfriar el tiempo necesario, 4hr., aproximadamente, para que los viales se enfríen a temperatura ambiente.

Los viales se titulan con Sulfato Ferroso Amoniaco, empleando ferroína como indicador (2 a 3 gotas). Se tomará como punto final en la titulación el cambio de color sostenido de azul verde a café rojizo.

DETERMINACION DEL OXIGENO DISUELTO (O.D.) EN EL AGUA RESIDUAL EN CUESTION.

Material Requerido.

- Pipetas
- Bureta
- Botella de Winkler
- Agitador Magnético
- Barra recubierta de teflón
- Medidor portatil para Oxigeno Disuelto
- Cronómetro

Reactivos.

- Agua residual en tratamiento.

Procedimiento.

Del agua residual en aireación contenida en el birreactor se toma una muestra lo suficiente para llenar una Botella de Winkler (aproximadamente 300ml.) se adiciona a dicha botella el agua residual y de la manera más rápida que sea posible, se coloca la botella sobre un agitador magnético, acoplado el electrodo de medición para Oxigeno Disuelto, se debe de mantener la biomasa resuspendida agitando lentamente con la ayuda de una barra recubierta de teflón, procurando no agitar demasiado de tal forma que se generen burbujas de aire puesto que dichas burbujas afectarán nuestra lectura.

Se debe de anotar la caída de oxigeno en el medidor en contra del tiempo, se recomienda que las lecturas se realicen cada 5min., si se observa que el cambio es muy rápido entonces tomar la lectura cada 3min.

Terminado el experimento se regresa el contenido de la botella de Winkler al birreactor con la observación de tener cuidado con la barra de teflón.



Figura 2. Prueba para la determinación de Oxígeno disuelto.

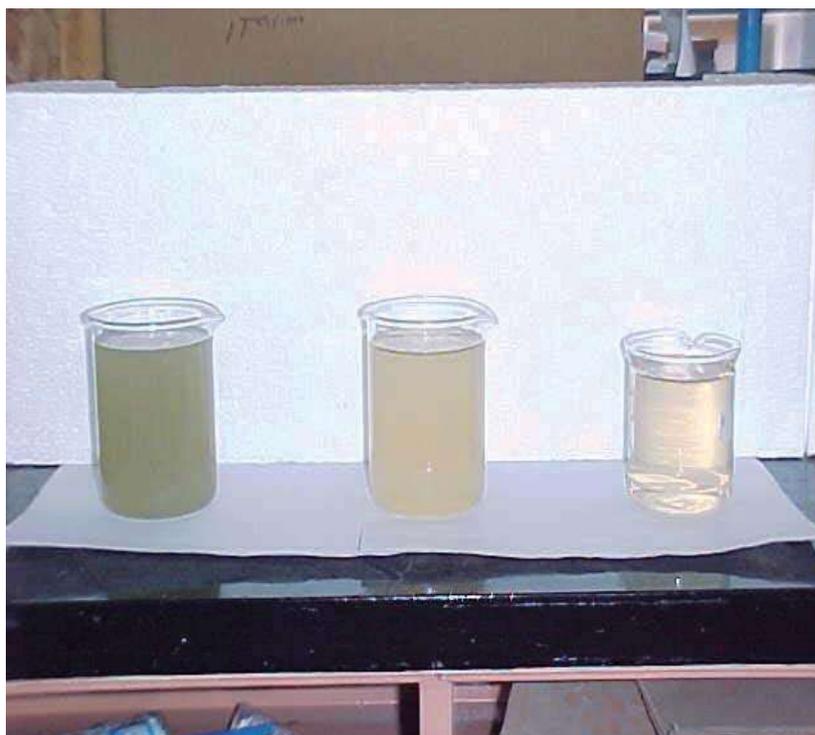


Figura 3. Comparación cualitativa del agua cruda tratada por método de lodos activados y filtrada por medio de papel filtro.