

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

Ingeniería Mecánica.

Empresa:

Lácteos de Chiapas S.A. de C.V.

Proyecto de Residencia Profesional:

“Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales”

Presentan:

Barriga Arévalo Aldo Sergio

Durán Jiménez Carlos Iván

***Asesor interno:* M. I. Rodolfo Isabel Coello Albores.**

***Asesor externo:* Ing. Juan Luis Alegría Díaz.**

Tuxtla Gutiérrez, Chis. ; a 12 de Diciembre de 2014.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN-----	5
1.1. Justificación-----	7
1.2. Objetivos-----	7
1.3. Problemas a resolver-----	7
2. INFORMACIÓN SOBRE LA EMPRESA-----	8
2.1. Antecedentes de la empresa-----	9
2.2. Misión-----	9
2.3. Visión-----	9
2.4. Localización del área de desarrollo-----	10
3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS-----	11
3.1. Definición de las aguas residuales-----	12
3.2. Clasificación de las aguas residuales-----	12
3.3. Tipos de contaminantes de las aguas residuales-----	13
3.3.1. Contaminantes del agua residual-----	13
3.4. Procesos de tratamientos-----	16
3.4.1. Tratamiento primario-----	16
3.4.1.1. Tratamientos físicos-----	17
3.4.1.2. Cribado o desbrozo-----	17
3.4.1.3. Sedimentación-----	17
3.4.1.4. Tipos de sedimentación-----	18
3.4.1.5. Tipos de tanques de sedimentación-----	19
3.4.1.6. Tanque circular-----	19
3.4.1.7. Tanque rectangular-----	20
3.5. Tratamiento secundario (biológicos)-----	21
3.5.1. Procesos aerobios-----	22
3.5.1.1. Filtro percolador o lecho de bacterias-----	22
3.5.1.2. Lodos activados-----	23
3.5.1.3. Lagunas de oxidación-----	24
3.5.1.3.1. Lagunas facultativas-----	24
3.5.1.4. Digestores convencionales-----	25
3.6. Tratamiento terciario-----	26
3.6.1. Ultrafiltración-----	26
3.6.2. Cloración-----	27
3.6.3. Ozonación (oxidación química)-----	27

4. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES-----	29
4.1. Características físicas-----	30
4.1.1. Temperatura-----	30
4.1.2. Sólidos-----	30
4.2. Características químicas-----	30
4.2.1. Potencial de hidrógeno-----	30
4.2.2. Alcalinidad-----	31
4.2.3. Demanda de oxígeno-----	31
4.2.4. Nitrógeno-----	32
4.3. Características biológicas-----	33
5. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES- 35	
5.1. Nivel 1. Pretratamiento-----	36
5.1.1. Cribado-----	36
5.2. Tratamiento primario-----	40
5.2.1. Sedimentación primaria de tanques rectangulares-----	40
5.2.2. Remoción de DBO y SST-----	41
5.2.3. Tiempo de retención-----	42
5.2.4. Carga de superficie-----	42
5.2.5. Velocidad de arrastre-----	43
5.3. Diseño del sedimentador primario-----	44
5.4. Nivel 2. Lodos activados-----	46
5.4.1. Descripción del proceso-----	46
5.4.2. Factores de desempeño y rendimiento-----	47
5.4.3. Parámetros de diseño-----	48
5.4.3.1. Datos de muestreo y análisis bacteriológico de la descarga general-----	49
5.4.3.2. Cálculo del reactor de mezcla completa-----	50
5.4.3.3. Aireación mecánica-----	57
5.4.4. Opciones para el tratamiento de lodos (purga)-----	59
5.4.4.1. Digestión aerobia-----	60
5.4.4.2. Diseño de digestor aerobio-----	61
5.5. Diseño del sedimentador secundario-----	63
5.5.1. Cálculo del sedimentador secundario-----	65
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES-----	68
6.1. Conclusiones-----	69
6.2. Recomendaciones-----	72
BIBLIOGRAFÍA-----	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No.	Pagina
2.1. Localización Lácteos de Chiapas S.A. de C.V.-----	10
3.1. Grasas y aceites en el agua residual-----	14
3.2. Tanque sedimentador tipo circular-----	20
3.3. Tanque sedimentador tipo rectangular-----	21
3.4. Diagrama del proceso de lodos activados-----	24
5.1. Diseño de criba-----	39
5.2. Medición de canal para diseño de cribas-----	40
5.3. Valores usuales para la remoción de DBO y SST en tanques de sedimentación primaria-----	41
5.4. Caudal medido con un vertedor tipo triangular usado como gasto de diseño-----	45
5.5. Diagrama del proceso de lodos activados con recirculación de lodos-----	47
5.6. Agitador mecánico-----	58
5.7. Sedimentador secundario tipo circular-----	67
6.1. Diagrama de bloques del sistema de aguas residuales-----	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No.	Pagina
3.1. Contaminantes de importancia en las aguas residuales-----	16
4.1. Características de los microorganismos de las aguas residuales-----	33
4.2. Características importantes de los contaminantes del agua residual-----	34
5.1. Valores de constantes empíricas a 20°C-----	42
5.2. Información para el diseño de tanques de sedimentación primaria-----	43
5.3. Factores que afectan al rendimiento de los procesos de tratamiento secundario típicos-----	48
5.4. Rendimiento del proceso unitario-----	48
5.5. Parámetros de diseño típicos para el proceso de lodos activados-----	48
5.6. Valores típicos de los coeficientes cinéticos para el proceso de lodos activados-----	51
5.7. Intervalos típicos de la capacidad de transferencia de oxígeno de los diversos tipos de aireadores mecánicos-----	59
5.8. Criterios para el diseño de la digestión aeróbica del lodo.-----	60
5.9. Información típica para el diseño de decantadores secundarios.-----	64
5.10. Datos resumidos del cálculo del sedimentador secundario.-----	67

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Los productos de desecho de los procesos industriales son parte importante de las aguas residuales de una población y deben tomarse las precauciones necesarias para su eliminación. Estos desechos varían mucho por su característica, tipo y volumen, dependiendo de la clase de establecimiento fabril ubicado en la localidad. En algunos casos es tal el volumen y características de los desechos industriales, que es necesario disponer de sistemas separados para su recolección y disposición.

Muchos desperdicios industriales contienen agentes espumosos o espumantes, detergentes y otras sustancias químicas que interfieren con la disposición final de las aguas residuales o dañan las alcantarillas y otras estructuras. Por esa razón no pueden agregarse directamente a las aguas negras, sino que deben recibir un tratamiento preliminar o por separado, debido a la situación actual de someter las aguas residuales a procesos de tratamientos por los problemas ambientales que generan.

Los esfuerzos para coleccionar y tratar las aguas residuales de las descargas están típicamente sujetos a regulaciones y estándares locales, estatales y federales (regulaciones, controles, normatividades).

Si estas aguas no se manejan adecuadamente, generan impactos ambientales adversos y diversos en el medio y por esto es que es muy importante cumplir con las exigencias de la normatividad. Es por ello que es necesario el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para disminuir la contaminación del manto freático, además de poder darle una reutilización al agua.

1.1. Justificación

Considerando que la protección de los recursos naturales y en especial la preservación del recurso hídrico, es uno de los principales objetivos del estado de Chiapas, para asegurar la salud, mejorar la calidad de vida y alcanzar el desarrollo sostenible del país y que la contaminación del agua, es uno de los problemas que causa mayor impacto negativo a la población y al ambiente, es necesario adoptar medidas para el control de la contaminación generada por las descargas de aguas residuales en los cuerpos receptores, la cual favorece la proliferación y transmisión de enfermedades.

Actualmente toda empresa emite grandes cantidades de aguas residuales, tal como la industria Lácteos de Chiapas. El actual sistema de tratamiento de aguas residuales en la industria Lácteos de Chiapas resulta ineficaz ya que no elimina los desechos industriales generados aun 100%, es por eso que se crea la necesidad de diseñar un nuevo sistema de tratamiento de las aguas residuales que se adapte a las medidas de control de contaminación.

1.2. Objetivo

Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales para obtener una mejor calidad de agua y evitar posibles contaminaciones al manto freático, implementando controles de calidad en el tratamiento.

1.3. Problemas a resolver

Se pretende diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales adecuado y eficiente para la industria Lácteos de Chiapas SA de CV (Pradel). Con la finalidad de reducir los altos niveles de contaminación ambiental y al manto freático, producir agua con una mejor calidad y reducir la demanda bioquímica de oxígeno.

CAPÍTULO 2

INFORMACIÓN SOBRE LA EMPRESA

2.1 Antecedentes de la empresa

La unión ganadera regional del estado representada por el ingeniero agrónomo Sergio Zuarth Rojas llevo a cabo convocatorias a las asociaciones ganaderas de la entidad para solucionar los bajos precios de comercialización de la leche fresca y de acuerdo al estudio de viabilidad comercial con precios estables y con incrementos en el consumo de la leche ultra pasteurizada, nace el proyecto Lácteos de Chiapas, S.A. de C.V. que se constituye el 22 de septiembre del año 2000.

Empresa a la que se lograron sumar a más de mil productores ganaderos de las distintas regiones lecheras del estado de Chiapas y conformar la tenencia accionaria de la sociedad. Actualmente cuenta con 1,200 socios. La planta ultra pasteurizadora está ubicada en el municipio de Berriozábal, Chiapas como punto estratégico de las distintas regiones de producción lechera del estado de Chiapas y de las principales ciudades de consumo de leche industrializada.

Inició operaciones el 4 de julio del año 2003.

2.2 Misión

"Ser un medio de comercialización de la leche de los socios productores para darle un valor agregado al trabajo en el campo a través del crecimiento y rentabilidad de la planta ultra pasteurizadora, produciendo alimentos de alta calidad y logrando la absoluta satisfacción de los clientes y el desarrollo de nuestra gente".

2.3 Visión

Ser la planta de Ultra pasteurización que surta la mayor demanda de productos de larga vida en el sureste del país con calidad y rentabilidad.

2.4 Localización del área de desarrollo

La empresa Lácteos de Chiapas S.A. de C.V. se encuentra ubicada en el municipio de Berriozábal con dirección:

Carretera Berriozábal- Ocozocoautla Km 3.5, CP 29130.



Fig. 2.1. Localización Lácteos de Chiapas S.A de C.V.

CAPÍTULO 3

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1 Definición de aguas residuales

Son las aguas de desecho provenientes de los procesos industriales. Pueden colectarse y disponerse aisladamente o pueden agregarse y formar parte de las aguas residuales sanitarias o combinadas.

Las aguas residuales industriales son aquellas que proceden de cualquier actividad o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua. Son enormemente variables en cuanto a caudal y composición, difiriendo las características de los vertidos, no solo de una industria a otra, sino también dentro de un mismo tipo de industria. Éstas son más contaminadas que las aguas residuales urbanas, además, con una contaminación mucho más difícil de eliminar.

3.2. Clasificación de las aguas residuales

3.1.1 Domésticas.

Son las que contienen desechos humanos, animales y caseros. También se incluye la infiltración de aguas subterráneas. Estas aguas negras son típicas de las zonas residenciales en las que no se efectúan operaciones industriales, o solo en muy corta escala.

3.1.2 Industriales.

Son las aguas de desecho provenientes de los procesos industriales. Pueden colectarse y disponerse aisladamente o pueden agregarse y formar parte de las aguas negras sanitarias o combinadas.

3.1.3 Pluviales.

Formadas por todo el escurrimiento superficial de las lluvias, que fluyen desde los techos, pavimentos y otras superficies naturales del terreno.

3.3. Tipos de contaminantes de las aguas residuales

De acuerdo con la definición de contaminación del medio hídrico como cualquier alteración de sus características físicas, químicas y biológicas, el número de parámetros que se podrían considerar es elevado, lo que conlleva a la aparición de los índices de calidad.

3.3.1. Contaminantes del agua residual

- Color

El color es la capacidad del agua para absorber ciertas radiaciones del espectro visible. El color de un agua puede ser de origen natural o debido a su contaminación. El color de las aguas industriales, dependerá del tipo de fabricación, materias primas y demás.

Los efectos sobre el medio receptor son:

1. Efectos estéticos perjudiciales.
2. Afecta a la visión de los peces.
3. Disminuye la transmisión de la energía solar y, en consecuencia, la fotosíntesis.

- Olor

El olor se produce por desprendimiento de gases de la masa del agua residual. Una característica del olor es que cantidades muy pequeñas de determinados compuestos pueden producir niveles elevados de olor.

Generalmente el olor es producido por compuestos orgánicos.

En las aguas residuales industriales, el olor va a depender de los productos presentes en los procesos.

- Sabor

Las problemáticas originadas por el sabor y olor, están íntimamente relacionadas y las respuestas en muchas ocasiones son difíciles de diferenciar.

Su forma de cuantificación es también por diluciones sucesivas.

- Grasas y aceites

Aquellos compuestos que estén en estado libre, no sean solubles en agua y tengan menos densidad que ésta.

A pequeñas cantidades en el medio receptor, ocupan grandes superficies, debido a la tensión superficial de muchos de estos compuestos.

Los efectos sobre el medio receptor son:

1. Efectos estéticos muy perjudiciales.
2. Impregnan vegetales y animales, impidiendo la fotosíntesis, respiración y transpiración.
3. Debido a que la solubilidad del oxígeno en los aceites y grasas es muy baja y en muchos casos nulos, forman una barrera que impide la transferencia de oxígeno desde la atmósfera a la masa del líquido. Este problema se ve agravado porque pequeñas cantidades, ocupan grandes superficies.



Fig.3.1. Grasas y aceites en el agua residual.

- Espumas

La aparición de espumas se debe a la existencia de otros contaminantes, que producen una disminución de la tensión superficial.

En las aguas residuales industriales la espumación es debida a tensioactivos, partículas sólidas muy finas, alcalinidad o salinidad elevada. A mayor temperatura menor persistencia.

Los efectos sobre el medio receptor son:

1. Si la formación de espuma es producida por tensioactivos, emulsiona y/o solubiliza grasas y aceites, lo que lleva consigo un incremento de contaminación por materia orgánica.
2. Causa graves problemas en las plantas depuradoras de aguas al actuar negativamente sobre los procesos biológicos, interfiriendo igualmente en los sistemas de coagulación-floculación, así como en decantación.

- Sólidos en suspensión

Son aquellos que quedan retenidos en un filtro con un tamaño de poro determinado.

La presencia de sólidos en suspensión incrementa la turbidez y color del agua. La correlación entre sólidos en suspensión y turbidez va a venir afectada por el tamaño, forma y naturaleza de los sólidos en suspensión presentes en el agua.

CONTAMINANTE	CAUSA DE SU IMPORTANCIA
Sólidos suspendidos	Pueden conducir al desarrollo de depósitos de lodos y condiciones anaerobias cuando se descargan AR crudas en un medio acuático.
Materia orgánica degradable	Está compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas. Se miden en términos de DBO y DQO por lo general. Si no es previamente removida puede producir agotamiento del OD de la fuente receptora y desarrollo de condiciones sépticas.
Patógenos	Producen enfermedades.
Nutrientes	El C, N y P son nutrientes. Cuando se descargan en AR pueden producir crecimiento de vida acuática indeseable. Cuando se descargan en cantidades excesivas sobre el suelo, pueden producir contaminación del agua subterránea.
Materia orgánica refractaria	Resiste el tratamiento convencional. Ejemplos: detergentes, fenoles y pesticidas agrícolas.
Metales pesados	Proviene de aguas residuales comerciales e industriales y es posible que deban ser removidos para el reúso del agua.
Sólidos orgánicos disueltos	Algunos como el calcio, sodio y sulfatos son agregados al suministro doméstico original como resultado del uso y es posible que deban ser removidos para reúso del agua.

Tabla 3.1. Contaminantes de importancia en las aguas residuales. Fuente. Romero Jairo. Tratamiento de aguas residuales. 2005.

3.4. Procesos de tratamientos

3.4.1. Tratamiento primario

Los pretratamientos de aguas residuales implica la reducción de sólidos en suspensión o el acondicionamiento de las aguas residuales para su descarga vienen los receptores.

Dependen esencialmente de las propiedades físicas de las impurezas como tamaño de la partícula, peso específico, viscosidad, etc. Los tipos de tratamientos primarios son:

- Cribado
- Sedimentación
- Flotación
- Neutralización

3.4.1.1. Tratamientos Físicos

3.4.1.2. Cribado o desbrozo

El cribado o también llamado desbrozo, se emplea para la reducción de sólidos en suspensión de tamaños distintos. La distancia o las aberturas de las rejillas depende del objeto de las mismas, y su limpieza se hace bien manualmente o mecánicamente. Los productos recogidos se destruyen por incineración, o se trata por procesos de digestión anaerobia, o se dirigen directamente al vertedero. Las materias sólidas recogidas se suelen clasificar en finos y gruesos.

Las rejillas de finos tienen aberturas de 5 mm o menos, generalmente están fabricadas de acero o en base a placas o chapas de acero perforado y se usan muchas veces en tanques de sedimentación. Sin embargo, aunque puede llegarse a eliminar entre un 5 y un 25 % de sólidos en suspensión, de un 40 a un 60 % se elimina por sedimentación.

Las rejillas o cribas de grueso tienen aberturas que pueden oscilar entre los 4 y 8 ó 9 cm. Se usan como elementos de protección para evitar que los sólidos de grandes dimensiones dañen las bombas y otros equipos mecánicos.

3.4.1.3. Sedimentación

La sedimentación se utiliza en los tratamientos de aguas residuales para separar sólidos en suspensión de las mismas.

La eliminación de las materias por sedimentación se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentra que acaba en el depósito de las materias en suspensión.

En algunos casos, la sedimentación es el único tratamiento al que se somete el agua residual. La sedimentación puede producirse en una o varias etapas o en varios de los puntos del proceso de tratamiento. En una planta típica de lodos activados, la sedimentación se utiliza en tres de las fases del tratamiento:

- 1.- En los desarenadores, en los cuales la materia inorgánica (arena a veces) se elimina del agua residual.
- 2.- En los clarificadores o sedimentadores primarios, que preceden del reactor biológico, y en el cual los sólidos (orgánicos y otros) se separan.
- 3.- En los clarificadores o sedimentadores secundarios, que siguen al reactor biológico, en los cuales los lodos del reactor biológico se separan del efluente tratado.

3.4.1.4. Tipos de sedimentación

Pueden considerarse tres tipos de mecanismo o procesos de sedimentación, dependiendo de la naturaleza de los sólidos presentes en suspensión.

- 1.- sedimentación discreta. Las partículas que se depositan mantienen su individualidad, o sea, no se somete a un proceso de coalescencia con otras partículas. En este caso, las propiedades físicas de las partículas (tamaño, forma, peso específico) no cambian durante el proceso. La deposición de partículas de arena en los desarenadores es un ejemplo típico de sedimentación discreta.
- 2.- sedimentación con floculación. La aglomeración de las partículas va acompañada de cambios en la densidad y en la velocidad de sedimentación o precipitación.

La sedimentación que se lleva a cabo en los clarificadores o sedimentadores primarios es un ejemplo de este proceso.

- 3.- sedimentación por zonas. Las partículas forman una especie de manta que sedimenta como una masa total presentando una interface distinta con la fase líquida. Ejemplo de este proceso incluyen la sedimentación de lodos activos en los clarificadores secundarios y la de los flóculos de alúmina en los procesos de tratamientos de aguas

3.4.1.5. Tipos de tanque de sedimentación

La mayoría de los procesos de tratamiento de aguas residuales utilizan tanques de sedimentación de diseño normalizado, rectangular y circular. Con dispositivos mecánicos para la recolección y desalojo de lodos.

El flujo horizontal predomina en los sedimentadores horizontales, a diferencia del flujo radial que ocurre en los sedimentadores circulares, cuentan con barredores o cadenas y puentes móviles, para la recolección de lodos sedimentados.

3.4.1.6. Tanques circulares

Los tanques circulares se alimentan por el centro, generalmente a la mitad de la altura efectiva del tanque. Las alturas totales de los tanques varían entre 3 y 4.5m.

El fondo, provisto de rastras para la concentración de los lodos en una tolva central, deberá tener una pendiente del 8%. Este tanque tiene un sistema para la recolección de material flotante. Un problema (grave, pero de fácil solución) que frecuentemente presentan los tanques de sedimentación circulares es la desnivelación de los vertedores periféricos para la colección del agua clarificada.

Este fenómeno se debe a los asentamientos diferenciales que con frecuencia ocurren en las estructuras, ligeros asentamientos diferenciales ocasionan que la carga hidráulica sobre los vertedores en un extremo del tanque sea mayor que en el extremo opuesto, lo cual distorsiona substancialmente el patrón hidráulico de funcionamiento de las estructuras, causando cortos circuitos hidráulicos, reduciendo el tiempo real de retención hidráulica y disminuyendo la eficiencia del proceso. La solución de este problema se logra con placas vertedoras ajustables, que puedan absorber los asentamientos diferenciales. Los efectos del viento pueden también afectar el funcionamiento hidráulico de los sedimentadores circulares al elevar el nivel del agua sobre un extremo del tanque; por ésta y otras razones, se recomienda que el diámetro de los sedimentadores no exceda de 60

m. En términos generales, la eficiencia de los sedimentadores circulares se incrementa al disminuir la velocidad media del agua por su flujo radial, sin embargo, por su geometría, los sedimentadores circulares requieren de más terreno que los sedimentadores rectangulares.

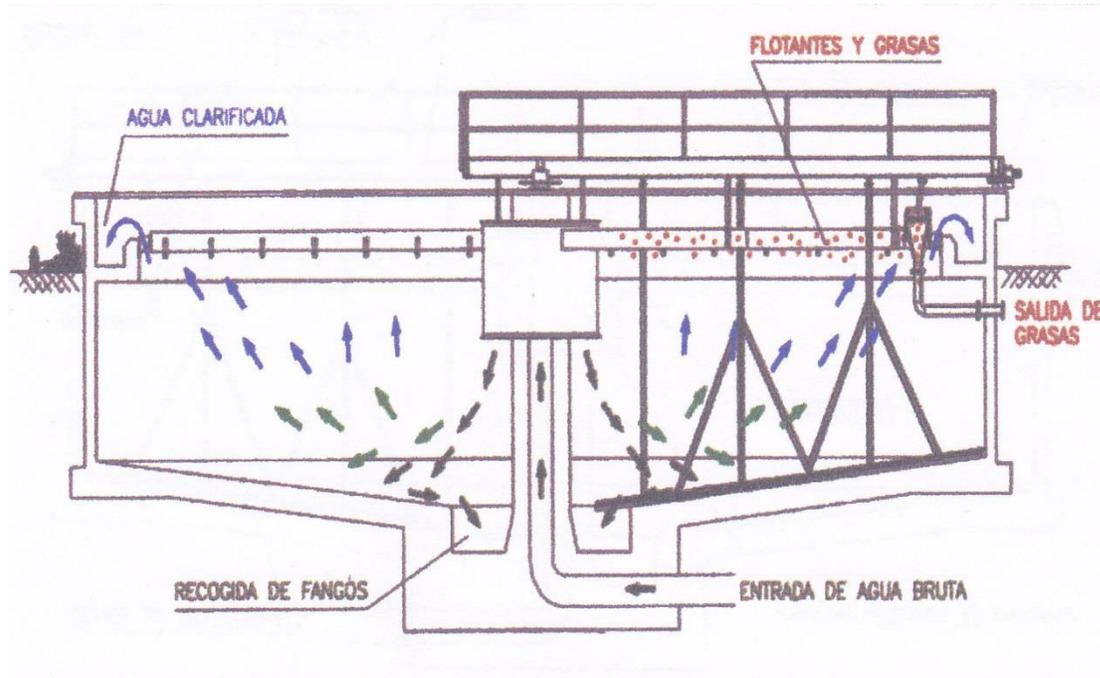


Fig. 3.2. Tanque sedimentador tipo circular.

3.4.1.7. Tanques rectangulares

En los tanques rectangulares el influente es distribuido a la entrada de la unidad por medio de baffles verticales o vertedores sumergidos; el objetivo de estas estructuras es lograr una mejor distribución del influente a lo ancho de la unidad.

El efluente se recolecta por medio de vertedores triangulares colocados en canaletas, frecuentemente en forma de peine o de dedos que se extienden de la pared final del tanque hasta un 20% de la longitud del mismo. En algunos casos se emplean baffles verticales antes de las canaletas recolectoras para evitar contracorrientes superficiales. Una ventaja de estos tanques es que su geometría permite un mejor aprovechamiento del terreno y una limitante es que las rastras de

tracción transversal, empleadas en los tanques rectangulares, son más proclives a fallas mecánicas y estructurales que las rastras de los tanques circulares. En algunas ocasiones se han empleado tanques cuadrados con alimentación central, similares hidráulicamente en su funcionamiento a los tanques circulares, sin embargo, su práctica no se ha extendido entre otras razones por que su sistema de rastras tiende a tener más problemas que los de los tanques circulares o rectangulares y, dado que la longitud de canaletas perimetrales recolectoras por unidad de arco radial es mayor en las esquinas que en las partes centrales de los muros rectos, los lodos tienden a acumularse en las esquinas del fondo del tanque.

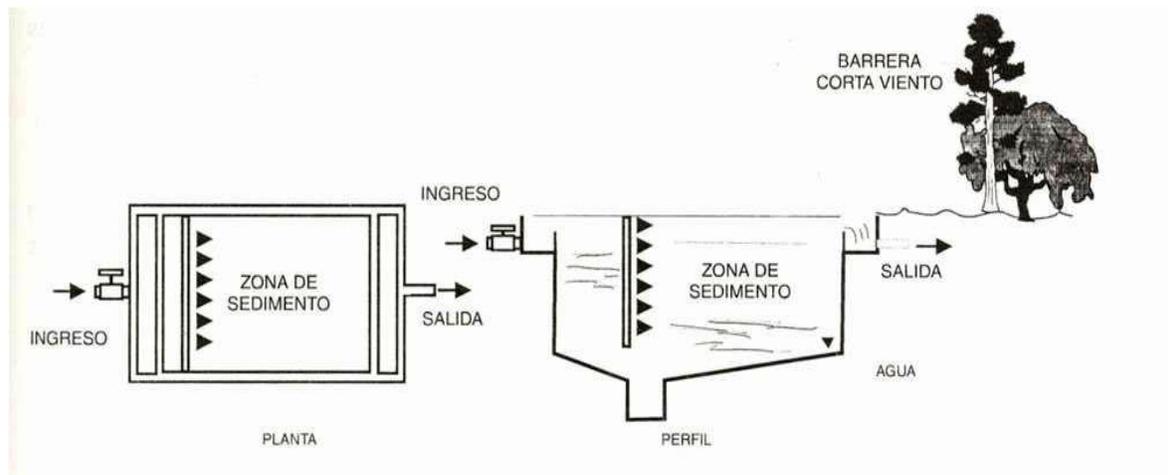


Fig. 3.3. Tanque sedimentador tipo rectangular.

3.5. Tratamiento secundario (biológicos)

Son procesos biológicos que utilizan reacciones bioquímicas para quitar impurezas solubles o coloidales, normalmente sustancias orgánicas.

Los tipos fundamentales de tratamiento secundario más comunes son:

Procesos aerobios.

- Filtro percolador o lecho de bacterias

- Lodos activados
- Lagunas de oxidación

3.5.1. Procesos aerobios

3.5.1.1. Filtro percolador o lecho de bacterias

La forma más antigua de unidad de tratamiento biológico consiste básicamente en un lecho de piedra, circular o rectangular, con adición intermitente o continua en la superficie de agua residual sedimentada. En un filtro convencional en medio tiene una graduación de 50 a 100 mm, de preferencia una piedra dura y angulosa, dosificada por un mecanismo distribuidor rotatorio, con una profundidad normal del lecho 1.8m.

El líquido escurre en el medio donde crecen microorganismos de las áreas protegidas que forman un lógamo o película. El líquido fluye sobre dicha película y no a través de esta, por las fuerzas de Van Der Waals. A los microorganismos se acercan al medio filtrante. Estas fuerzas son resistidas por la acción de corte líquido. Así, aunque haya poca materia orgánica en solución en el efluente del filtro, las concentraciones de Sólidos Suspendidos pueden ser muy altas en forma de una película desplazada en cuyo caso el efluente requiere ser sedimentado en un tanque de humus para que el efluente tenga la cantidad deseada. La oxidación más rápida tiene lugar en la parte superior del lecho donde el factor limitante es la cantidad de oxígeno que la ventilación natural puede suministrar, por debajo de este nivel disminuye la tasa de oxidación debido a la concentración decreciente de materia orgánica en la fase líquida y normalmente hay poca diferencia si se usa un medio filtrante con una profundidad mayor a 2 m, la película líquida solo está en contacto con los microorganismos por un lapso de 20 a 30 segundos, pero debido a la gran área superficial disponible, este tiempo de contacto es suficiente para la adsorción y estabilización. La velocidad máxima de estabilización ocurre en la interface del microorganismo/líquido ya que la difusión de las sustancias orgánicas a través de la película es lenta. Con una película biológica gruesa, la estabilización

de desecho no es muy deficiente ya que gran parte de esta película experimenta respiración endógena.

3.5.1.2. Lodos activados

Este proceso depende de una alta concentración de microorganismos presentes como un floculo que se mantiene suspendido por medio de agitación.

Esta agitación se hacía originalmente con aire comprimido, aunque también se usa ahora el agitador mecánico.

En cualquiera de los dos casos se obtienen altas tasas de transferencia de oxígeno. El efluente de la etapa de aireación es bajo en sustancias orgánicas disueltas pero contiene Sólidos Suspendidos altos (2,000 a 8,000 mg/l) que deben retirarse por sedimentación. La efectividad del proceso depende del retorno de una parte de los lodos separados (microorganismos vivos) a la zona de aireación para recomenzar la estabilización.

Este método ha probado ser útil para el tratamiento de muchos desechos industriales orgánicos, que alguna vez se pensó que eran tóxicos para los sistemas biológicos.

En el sistema de aire difuso, gran parte del aire se utiliza para agitado y solo una pequeña cantidad se utiliza en realidad para las reacciones de oxidación.

Cuando no se le agita, como en el tanque de la sedimentación final, los sólidos se asientan rápidamente en el fondo y pierden contacto con la materia orgánica en el nivel líquido. Los sólidos sedimentados se convierten rápidamente en anaerobios si no regresan rápidamente a la zona de aireación. Se debe transferir suficiente aire al licor mezclado para conservar un oxígeno disuelto (OD) de 1 a 2 mg/l. El licor mezclado debe ser una de una concentración y actividad adecuadas para

proporcionar adsorción y oxidación rápidas al desecho, así como producir un lodo que se sedimente fácilmente y pueda producir con rapidez un efluente clarificado y el lodo pueda retornarse a la zona de aireación sin tardanza.

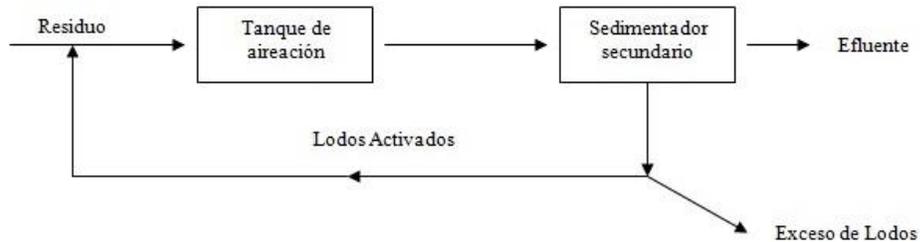


Fig. 3.4. Diagrama del proceso de lodos activados.

3.5.1.3. Lagunas de oxidación

Las lagunas de oxidación son construcciones poco profundas, que normalmente reciben agua residual cruda y que la tratan con procesos de estabilización natural en condiciones climáticas adecuadas. Si se cuenta con suficiente terreno, pueden ser un medio muy conveniente para el tratamiento de agua residual en climas cálidos. Su construcción es barata, de operación simple y se pueden lograr buenas remociones de materia orgánica y microorganismos patógenos.

3.5.1.3.1. Lagunas facultativas

Estas son las más comunes, combinan la actividad aerobia y anaerobia en la misma unidad.

Los microorganismos portadores de la clorofila, los fitoflagelados y las algas que están en las lagunas utilizan las sales inorgánicas y el bióxido de carbono que resulta de la descomposición bacteriana de la materia orgánica.

El oxígeno producido por la fotosíntesis, que puede alcanzar niveles de oxígeno disuelto (OD) de 15 a 30 mg/l en las postrimerías de la tarde, está presente para

la actividad biológica anaerobia, aunque el nivel de OD desciende durante la noche y puede llegar a cero si la laguna esta sobrecargada.

En los depósitos del fondo, la actividad anaerobia produce la estabilización parcial de los lodos y libera una parte de la materia orgánica en forma soluble para una mayor degradación en la zona aerobia. Es común que las lagunas facultativas tengan un profundidad de 1 a 2 m, con una carga superficial de 0.002 a 0.05 kg de DBO/m²*d y tiempos nominales de retención de 5 a 30 días, aunque con temperaturas extremas se alteran estos valores. Debido a que los valores de retención son relativamente largos y que la concentración de sustancias orgánicas en tales lagunas es baja, hay remoción considerable de bacterias por respiración endógena y por sedimentación. Las bacterias y el fitoplancton son presas de los ciliados, de rotíferos y los crustáceos, pero algunos de esos organismos escapan en el efluente.

La forma de mejorar los resultados en estas lagunas es la rectangular con la relación de longitud: ancho de 3:1.

3.5.1.4. Digestores convencionales

Los digestores convencionales para la estabilización de lodos de las aguas negras están constituidos por tanques cerrados con provisiones para mezclar, calentar o recolectar el gas, y pueden estar equipados también por controles del pH.

La operación se basa en un pase directo, sin recirculación de lodos sedimentados, la temperatura utilizada está en el rango mesofílico, alrededor de 30 a 35°C. Los lodos estabilizados se recogen en un recipiente para su retención y asentamiento, conocido como el digestor secundario, a pesar que la digestión debe estar totalmente terminada antes de transferir los lodos al digestor secundario.

Las tasas de carga se expresan usualmente en términos de la tasa de adición de materia desagradable o volátil por volumen unitario del digestor. Por lo general,

este valor está entre 1 y 1.5 kg de materia volátil/m³*d dentro de un rango de 0.27 a 2.76 kg/m³*d. un digester fabricado para la generación de metano a partir de residuos animales está diseñado para una carga de aproximadamente 2.6 kg de sólidos totales/m³*d, para residuos de pocilgas o residencia de 10 a 15 días a 35 °C. Para desechos solubles se ha citado una carga de 0.8 kg de DBO/m³*d.

El uso de dichas cargas puede conducir al error, un suministro de materia con un bajo contenido de materia degradable requeriría una elevada tasa volumétrica para mantener una carga volumétrica orgánica dada, con una implícita reducción quizá desastrosa del tiempo de retención, por esta razón, los lodos activados de desecho o el humus son menos dóciles a la digestión que los lodos primarios, y se destruye una más baja proporción de materia orgánica.

3.6. Tratamiento terciario

3.6.1. Ultrafiltración

En el proceso de Ultrafiltración, las partículas coloidales y de alto peso molecular en la solución se concentra, con pérdida de presión de alimentación, las moléculas más pequeñas, tales como las sales pasan a través de las membranas, mientras que las más grandes, como las proteínas, son retenidas.

El líquido que una vez efectuado el proceso Ultrafiltración contiene el material separado de alto peso molecular se le llama concentrado o retentado, mientras el líquido clarificado que pasa por las membranas se le llama ultra filtrado o permeado.

Las membranas Ultrafiltración tienen poros de dimensiones comprendidas entre 0.0005 y 0.005 micras. La presión necesaria en el producto viene determinada por las membranas y suele ser como máximo de 10×10^5 Pascal (N/m²) = 10 bar en los módulos normales.

3.6.2. Cloración

Los objetivos de la cloración se resumen como sigue:

1. Desinfección. Fundamentalmente el cloro es un desinfectante debido a su fuerte capacidad de oxidación, por lo que destruye o inhibe el crecimiento de bacterias y algas.
2. Reducción de la DBO. El cloro produce una reducción de la DBO por oxidación de los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales.
3. Eliminación o reducción de colores y olores. Las sustancias que producen olor y color presentes en las aguas residuales se oxidan mediante el cloro. La capacidad oxidante del cloro se emplea para el control del olor y la eliminación del color en muchos tratamientos industriales.
4. Oxidación de los iones metálicos. Los iones metálicos que están presentes en forma reducida se oxidan por el cloro.
5. Oxidación de los cianuros a productos inocuos.

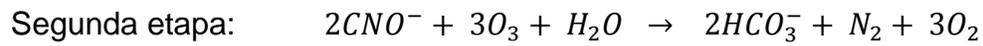
3.6.3 Ozonación (oxidación química)

La oxidación química con ozono es un método efectivo para tratar las aguas residuales, basándose en los siguientes factores:

1. El ozono reacciona fácilmente con los productos orgánicos no saturados presentes en las aguas residuales.
2. La tendencia a la formación de espuma de las aguas residuales se reduce después del tratamiento con ozono.
3. La ruptura de los anillos y la oxidación parcial de los productos aromáticos deja a las aguas residuales más susceptibles de tratamiento convencional biológico.
4. El ozono presente en el efluente se convierte rápidamente a oxígeno una vez que ha servido a sus fines. Este oxígeno es beneficioso para las corrientes receptoras y ayuda a mantener la vida acuática. Por el contrario,

el cloro (que es el agente más ampliamente usado para eliminar las bacterias) permanece en el efluente y se convierte en contaminante.

El ozono puede sustituir al cloro en el tratamiento de las aguas residuales que contienen cianuro. La oxidación tiene lugar en dos etapas de acuerdo con las ecuaciones.



CAPÍTULO 4
CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS
RESIDUALES

4.1. Características físicas

4.1.1. Temperatura

Es importante por su efecto en otras propiedades, por ejemplo, aceleración de reacciones químicas, reducción en la solubilidad de los gases, intensificación de olores o sabores, etc.

4.1.2. Sólidos

Se presentan en suspensión, en solución o ambos y se dividen en materia orgánica e inorgánica.

Los sólidos disueltos totales (SDT) se deben a materias solubles, mientras que los sólidos en suspensión (SS) son partículas disueltas que se pueden medir al filtrar una muestra a través de un papel fino. Los sólidos sedimentables son aquellos removidos en un procedimiento estándar con el uso de un cilindro de un litro. Se determinan como la diferencia de los SS en el sobrante y los SS originales en la muestra.

4.2. Características químicas

4.2.1. Potencial del hidrógeno (pH)

La intensidad de acidez o alcalinidad de una muestra se mide en la escala de pH, que en realidad mide la concentración de iones de hidrógeno presentes.

El agua esta ionizada débilmente:



Ya que sólo cerca de $[10^{-7}]$ concentraciones molares de $[\text{H}^+]$ y $[\text{OH}^-]$ están presentes en equilibrio, H_2O se puede tomar como la unidad.

Así $[\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1.01 \cdot 10^{-14}$ moles/l

Ya que la relación debe satisfacerse para todas las soluciones acuosas diluidas, la naturaleza acida o básica de la solución se puede especificar por un parámetro: la

concentración de iones hidrogeno. Esto se expresa convenientemente por la función de pH.

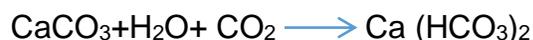
$$\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+] = \log_{10} 1/ [\text{H}^+]$$

Lo que resulta de una escala de 0 a 14, con 7 como neutralidad, siendo ácido por debajo de 7 y siendo alcalino por arriba de 7.

El pH controla muchas reacciones químicas y la actividad biológica normalmente se restringe a una escala bastante estrecha de pH entre 6 y 8, las aguas muy ácidas o muy alcalinas son indeseables debido a que son corrosivas o presentan dificultades en su tratamiento.

4.2.2. Alcalinidad

Es debida a la presencia de bicarbonato HCO_3 , carbonato CO_3 , o hidróxido OH , la mayor parte de alcalinidad natural en las aguas la causa el HCO_3 producido por la acción de agua subterránea de piedra caliza o yeso:



La alcalinidad es útil en las aguas residuales porque proporciona un amortiguamiento para resistir los cambios del pH. La alcalinidad se divide en cáustica, por encima del pH 8.2 y la alcalinidad total, por encima del pH 4.5

4.2.3. Demanda de oxígeno

Los compuestos orgánicos por lo regular son inestables y pueden oxidarse biológicamente o químicamente para obtener productos finales estables, relativamente inertes tales como CO_2 , NO_3 y H_2O . La indicación del contenido orgánico de un desecho se obtiene al medir la cantidad de oxígeno que se requiere para su estabilización.

- a) Demanda bioquímica del oxígeno (DBQ). Mide la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos mientras descomponen la materia orgánica.
- b) Demanda química del oxígeno (DQO). La oxidación química que usa una mezcla hirviendo de dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado.

- c) Valor de permanganato (PV). Es la oxidación química que usa una solución de permanganato de potasio.

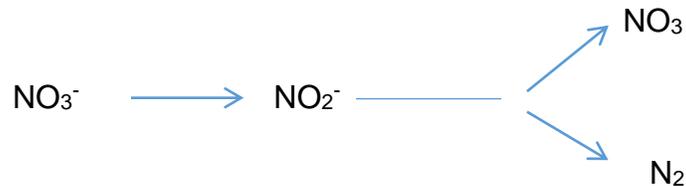
La magnitud de los resultados obtenidos de normalmente es $PV < DBQ < DQO$.

4.2.4. Nitrógeno

Es un elemento importante ya que las reacciones biológicas solo pueden efectuarse en presencia de suficiente nitrógeno. Existen en cuatro formas principales por lo que toca a la ingeniería de salud pública.

- a) Nitrógeno orgánico: nitrógeno en la forma de proteínas, aminoácidos y urea.
- b) Nitrógeno amoniacal: nitrógeno con sales de amoniaco.
- c) Nitrógeno de nitritos: una etapa intermedia de oxidación que normalmente no se presenta en grandes cantidades.
- d) Nitrógeno de nitratos: producto final de la oxidación del nitrógeno.

La oxidación de los compuestos de nitrógeno, que se llama nitrificación, puede invertir el proceso:



Las concentraciones relativas de diferentes formas del nitrógeno dan una indicación útil de la naturaleza y concentración de la muestra. Antes de disponer del análisis bacteriológico, se evalúa la calidad del agua en relación a su contenido de nitrógeno. Si el agua contenía N. orgánico y N.

Amoniacal altos con poco NO_2-N y NO_3-N se considera insegura debido a su reciente contaminación. Por otro lado, una muestra sin N. orgánico y N. amoniacal y algo de NO_3-N se considera segura ya que la nitrificación ya había ocurrido y su contaminación no podía ser reciente.

4.3. Características biológicas

Las características biológicas toman en cuenta lo siguiente en las aguas residuales: principales grupos de microorganismos presentes, tanto en aguas superficiales como residuales, así como aquellos que intervienen en los tratamientos biológicos; organismos patógenos presentes en las aguas residuales.

En la siguiente tabla se muestran los organismos presentes en las aguas residuales y superficiales.

Grupo	Estructura Celular	Caracterización	Miembros Representativos
Eucariotas(a)	eucariota	<ul style="list-style-type: none"> • Multicelular con gran diferencia de las células y el tejido • Unicelular, con escasa o nula diferenciación de tejidos 	Plantas (plantas de semilla, musgos y helechos). Animales (vertebrados e invertebrados) Protistas(algas, hongos y protozoos)
Bacterias(b)	procariota	Química celular parecida a las eucariotas	La mayoría de las bacterias
Arqueo bacterias(b)	procariota	Química celular distintiva	Metanógenos, alófilos y termacidoóilos.

Tabla 4.1. Características de los microorganismos de las aguas residuales. (a) Contienen un núcleo definido. (b) no contienen membrana nuclear.

Las bacterias desempeñan un papel de gran importancia en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en el marco natural como en las aguas residuales.

La principal aplicación de los procesos biológicos es la eliminación de las sustancias orgánicas biodegradables presentes en el agua residual, en forma coloidal y en disolución, también eliminan el nitrógeno contenido en el agua residual.

En la siguiente tabla se muestran los parámetros de los contaminantes biológicos del agua residual.

Característica	Límite máximo permisible(promedio diario)	Límite máximo permisible(promedio mensual)
Temperatura(°C)	40	40
Grasas y aceites(mg/l)	25	15
Materia flotante(mg/l)	ausente	ausente
Sólidos sedimentables(ml/l)	2	1
Sólidos suspendidos totales(mg/l)	125	75
Demanda bioquímica de oxígeno(mg/l)	150	75
Nitrógeno total(mg/l)	60	40
Fosforo total(mg/l)	30	20

Tabla.4.2 Características importantes de los contaminantes del agua residual (fuente: NOM-001-SEMARNAT-1996).

CAPÍTULO 5

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES**

Para acondicionar las aguas residuales en la Industria Láctea a un nivel de calidad aceptable requiere tratamientos de tiempo extenso.

El objetivo de cualquier tratamiento es que el agua vertida cumpla con las especificaciones que marca la normatividad, esto mediante la eliminación de los componentes definidos como contaminantes nocivos para el cuerpo receptor.

Durante el tratamiento se deben considerar una serie de factores como el caudal, la composición y concentraciones de los contaminantes, la calidad requerida del efluente y sus posibilidades de reutilización.

El diseño efectuado consta de diferentes procesos según las etapas de circulación del afluente.

5.1. Nivel 1. Pretratamiento

5.1.1. Cribado

Mediante una operación de cribado que se emplea para remover el material grueso, generalmente flotante, contenido en algunas aguas residuales crudas, que puede obstruir o dañar bombas, tuberías y equipos de las plantas de tratamiento o interferir con la buena operación de los procesos de tratamiento.

El cribado será grueso, por medio de rejillas.

Las rejillas consisten en barras metálicas, verticales o inclinadas, espaciadas según y colocadas en los canales de acceso al sedimentador primario.

Se diseñaran dos rejillas con casi las mismas características, lo único que difiere es el espaciamiento entre barras de las rejillas. Para el diseño de cribas de rejas se tomarán en cuenta los siguientes aspectos:

- Se utilizarán barras de sección rectangular de 5 a 15 mm de espesor de 30 a 75 mm de ancho. Las dimensiones dependen de la longitud de las barras y el mecanismo de limpieza.
- El espaciamiento entre barras de la primera rejilla estará entre 20 y 50 mm. Para atrapar sólidos grandes como: bolsas de basura, tiras de costales etc. La segunda rejilla tendrá un espaciamiento de barras de 10 mm, para así hacer más fácil y más efectiva la recolección de sólidos en el fluido.
- La velocidad del canal antes de las barras, la misma que debe mantenerse entre 0.30 y 0.60 m/s, siendo 0.45 m/s un valor comúnmente utilizado como en este caso para velocidades de flujo lento.
- El ángulo de inclinación de las barras de las cribas de limpieza manual será de 45° con respecto a la horizontal.

Para el dimensionamiento de las rejillas es necesario diseñar el canal por donde se conducirán las aguas residuales.

Para cálculos del diseño del canal se consideraron los siguientes parámetros:

- Sección del canal: rectangular
- Base del canal medida y propuesta: 50 cm
- Altura del canal medida y propuesta: 70 cm
- Velocidad del flujo: 0.45 m/s

Utilizando la ecuación de Manning para definir la pendiente del canal obtenemos lo siguiente:

$$S = \left(\frac{V \cdot n}{Rh^{2/3}} \right)^2 \quad (5.1)$$

$$R_h = \frac{b \cdot h}{2(b+h)} \quad (5.2)$$

Dónde:

S = pendiente del canal

V = velocidad del flujo (m/s)

$n = 0.0138$ (coeficiente de rugosidad utilizado para hormigón o concreto)

R_h = radio hidráulico (m)

b = base del canal (m)

h = altura del canal (m)

Sustituyendo valores en la ecuación (5.2) obtenemos el radio hidráulico y en (5.1) obtenemos el valor de la pendiente del canal:

$$R_h \frac{0.5m \cdot 0.7m}{2(0.5m + 0.7m)} = 0.14583m$$

$$S = \left(\frac{0.45 \cdot 0.0138}{0.14583^{2/3}} \right)^2 = 0.02$$

La longitud de las barras depende del grado de inclinación que tienen éstas con la horizontal, y del tirante de agua máximo del canal de reja de barras.

Calculamos el tirante y la longitud de las barras con las siguientes formulas:

$$h_a = \frac{A}{b} \quad (5.3)$$

$$L_b = \frac{h_a}{\sin \alpha} \quad (5.4)$$

Dónde:

h_a = tirante máximo (m)

A = área transversal del canal (m²)

b = base del canal (m)

L_b = longitud de la barra (m)

α = ángulo de inclinación

Sustituyendo valores en las formulas (5.3) y (5.4) tenemos que:

$$h_a = \frac{0.35m^2}{0.5m} = 0.7 m$$

$$L_b = \frac{0.7m}{\sin 45^\circ} = 0.9 m$$

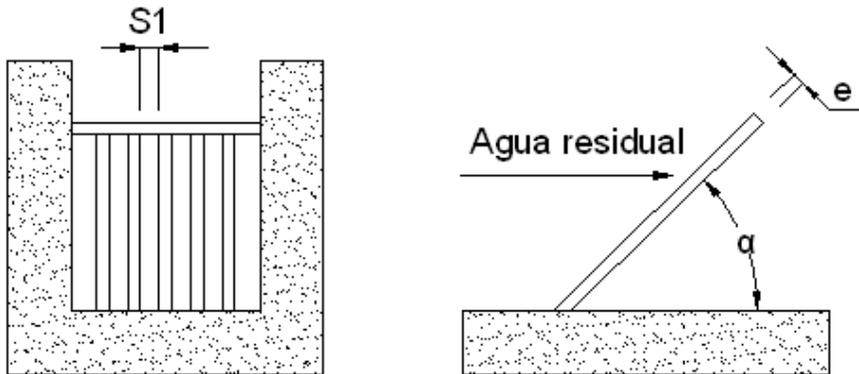


Fig. 5.1. Diseño de criba.

Por último se calcularon el número de barras que se utilizarán en el canal donde se adecuará la primera rejilla, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$N = \frac{(b-s1)}{(e+s1)} \tag{5.5}$$

Dónde:

N = número de barras

b = base del canal (mm)

$s1$ = espacio entre las barras (mm)

e = espesor de las barras (mm)

Sustituyendo valores en la ecuación (5.5) tenemos que:

$$N = \frac{(500mm - 20mm)}{(5mm + 20mm)} = 19 \text{ barras.}$$

Y para la segunda rejilla:

$$N = \frac{(500mm - 10mm)}{(5mm + 10mm)} = 33 \text{ barras}$$

Se utilizarán dos rejillas con el fin de limpiar el fluido de todos los sólidos posibles antes de entrar a la siguiente etapa de tratamiento.



Fig.5.2. Medición del canal para el diseño de cribas.

5.2. Tratamiento primario

5.2.1. Sedimentación primaria tanques rectangulares

El objetivo del tratamiento por sedimentación es el de remover lo más rápido posible los residuos sólidos sedimentables y material flotante para así disminuir la concentración de sólidos suspendidos.

Los sedimentadores primarios se tienen que diseñar y operar pacientemente, para que los sólidos suspendidos queden removidos de un 50% a un 70% y 25% a 40% de demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

Para el diseño del tanque sedimentado primario se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

- Remoción de DBO y SST
- Tiempo de retención

- Cargas de superficie
- Velocidad de arrastre

5.2.2. Remoción de DBO y SST

En la siguiente figura se observa la eficiencia habitual en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y sólidos suspendidos totales (SST), como función de la concentración de afluente y el tiempo de retención.

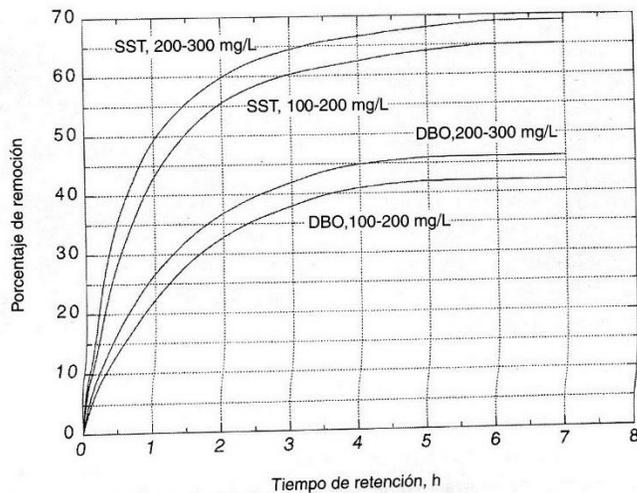


Fig.5.3. Valores usuales para la remoción de DBO y SST en tanques de sedimentación primaria (fuente: Crites y Tchobanoglous (2000)).

La curva presentada en la figura se puede modelar matemáticamente como una hipérbola regular usando la siguiente expresión:

$$R = \frac{t}{a+bt} \quad (5.6)$$

Dónde:

R = porcentaje de remoción esperado (hrs)

t = tiempo nominal de retención (hrs)

a, b = constantes empíricas

Las constantes empíricas son tomadas con los siguientes valores a una temperatura de 20°C.

variables	A	b
DBO	0.018	0.020
SST	0.0075	0.014

Tabla 5.1 Valores de constantes empíricas a 20°C, fuente: Crites y Tchobanoglous (2000).

5.2.3. Tiempo de retención

Los tanques de sedimentación primarios se diseñan con tiempos de retención que van de 1.5 a 2.5 horas, con base al caudal promedio del agua residual.

La temperatura no influye mucho en el análisis y diseño de los sedimentadores primarios, sin embargo, en climas fríos los incrementos de viscosidad del agua producidos por las bajas temperaturas puede retrasar el tiempo de sedimentación de partículas, y como consecuencia reducir la eficiencia del proceso de separación de sólidos cuando las temperaturas bajen a los 10°C.

En este caso la temperatura promedio en la zona es de 20°C, por lo que el tiempo de retención no se verá afectado por este factor.

5.2.4. Carga de superficie

Los tanques de sedimentación primarios se diseñan con base a la tasa de carga superficial expresada en $m^3/m^2 \cdot día$.

La carga de superficie adecuada se selecciona debido al tipo de suspensión que se deba sedimentar.

Los efectos de carga de superficial y el tiempo de retención ejercen sobre la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos varía ampliamente dependiendo las características del agua residual, fracción de sólidos sedimentables, concentración

de sólidos y otros factores. Es necesario enfatizar que las cargas de tasa superficial deben ser lo suficiente bajas para mejorar su desempeño en condiciones del caudal de pico.

características	intervalo	Valor típico usado
Sedimentación primaria seguida de tratamiento secundario:		
Tiempo de retención, hrs	1.5-2.5	2
Carga de superficie m³/m²*día:		
Caudal medio	30-50	40
Caudal pico	80-120	100
Carga sobre el vertedero m³/m*día	125-500	250

Tabla 5.2. Información para el diseño de tanques de sedimentación primaria (fuente: Metcalf y Eddy, 1996).

5.2.5. Velocidad de arrastre

Las fuerzas que actúan sobre las partículas sedimentadas son causadas por la fricción del agua que fluye sobre las mismas. En los tanques de sedimentación las velocidades horizontales a lo largo del tanque deben mantenerse bajas, para que las partículas no sean arrastradas desde el fondo del tanque.

A partir de los resultados de estudios realizados por Shields (1936), Camp (1946) desarrollo la siguiente ecuación para calcular la velocidad critica horizontal:

$$v_H = \left(\frac{8k(s-1)gd}{f} \right)^{1/2} \quad (5.7)$$

Dónde:

v_H = velocidad horizontal a la cual se inicia el arrastre de partículas (m/s)

k = constante que depende del material arrastrado

s = gravedad específica de las partículas

g = aceleración de la gravedad ($9.81 \frac{m}{s^2}$)

d = diámetro de las partículas (m)

f = factor de Darcy – Weisbach

Los valores usuales de k son de 0.04 para arena unigranular y 0.06 para partículas más aglomeradas. El factor de fricción depende de las características de la superficie sobre la que tiene lugar el flujo y el número de Reynolds, sus valores más usados están entre 0.02 y 0.03. Teniendo en cuenta que son adimensionales.

5.3. Diseño del sedimentador primario

En este proyecto se diseñara un tanque de sedimentación primaria de tipo rectangular cuyo diseño se describe a continuación:

Se calculará el área superficial necesaria, teniendo como gasto de diseño máximo 7.2 l/s que eso equivale a 622.08 m³/día obtenido mediante un vertedor triangular a 90° construido a base de placa de acrílico y considerado una descarga constante durante ocho horas y proponiendo un valor de carga de superficie de la tabla (5.2) que es de 30 m³/m²*día, teniendo eso en cuenta se calcula el área de superficie de la siguiente ecuación:

$$A = \frac{Q}{CS} \quad (5.8)$$

Sustituyendo valores en la expresión (5.8) tenemos que:

$$A = \frac{622.08m^3/día}{\frac{30m^3}{m^2} * día} = 20.736m^2$$



Fig. 5.4. Caudal medido con un vertedor tipo triangular, usado como gasto de diseño.

Comparando estas dos velocidades podemos deducir que la velocidad horizontal es sustancialmente menor, por lo tanto el material sedimentado no será resuspendido.

Por último se calcularon las tasas de remoción de DBO y SST utilizando los valores de las constantes empíricas de la tabla.

$$\text{Remocion de DBO} = \frac{t}{a+bt} = \frac{1.7}{0.018+0.020(1.7)} = 33\% \quad (5.14)$$

$$\text{Remocion de SST} = \frac{t}{a+bt} = \frac{1.7}{0.0075+0.014(1.7)} = 54.3\% \quad (5.15)$$

El diseño del sedimentador primario si cumple con los parámetros de remoción de DBO y SST.

Las ventajas de un tanque sedimentador rectangular son las siguientes:

1. Relativamente baja demanda del terreno.
2. Alta estabilidad de flujo.
3. Posibilidad de construir series de tanques utilizando las paredes comunes.

5.4. Nivel 2. Lodos Activados

5.4.1. Descripción del proceso

Corresponde esta tecnología de tratamiento de agua a un proceso aerobio de crecimiento en suspensión. El proceso consiste en producir masa activa de microorganismos capaces de estabilizar de manera aerobia el agua residual. Para ello debe previamente al afluente del tanque de lodos haberse realizado sedimentación. Dicho tanque, debe estar completamente aireado (tanque de aireación) para que se dé la mezcla agua – microorganismos – aire a fin de que los organismos oxiden la materia orgánica a dióxido de carbono y agua obteniéndose energía como resultado. Posteriormente, la mezcla se lleva a sedimentación donde los microorganismos floculantes se asientan; el efluente puede reutilizarse o descargarse. Los lodos del sedimentador secundario tienen dos vías. La primera se destina para realimentar el afluente mediante recirculación y la segunda se destina a tratamiento de lodos propiamente dicho (entiéndase estos lodos como residuo).

En sistemas convencionales de lodos activados, las unidades de aireación suelen ser rectangulares y largas; en ellas, el agua residual permanece en aireación de 6 a 8 horas típicamente. Además, se ha estimado que aproximadamente 8m^3 de aire deberán ser provistos por los aireadores al sistema, por cada m^3 de agua residual tratada.

La unidad principal en todo proceso de lodos activados es la cámara o unidad de aireación, en ella la materia orgánica contenida en el agua residual es mezclada con los lodos activados (biológicos), y este licor mezclado es aireado por varias horas durante las cuales, los microorganismos (principalmente bacterias) presentes en los lodos utilizan la materia orgánica para llevar a cabo síntesis celular y como fuente de energía.

Es importante indicar que la mezcla o agitación se efectúa por medios mecánicos superficiales o sopladores sumergidos, los cuales tiene doble función 1) producir mezcla completa y 2) agregar oxígeno al medio para que el proceso se desarrolle.

El proceso de lodos activados consta de las siguientes etapas:

- 1) Mezclado de los lodos activados con las aguas residuales que se van a tratar.
- 2) Aereación y agitación de este licor mezclado durante el tiempo que sea necesario.
- 3) Separación de los lodos activados, del licor mezclado.
- 4) Recirculación de la cantidad adecuada de lodos activados, para mezclarlos con las aguas residuales.
- 5) Disposición del exceso de lodos activados.

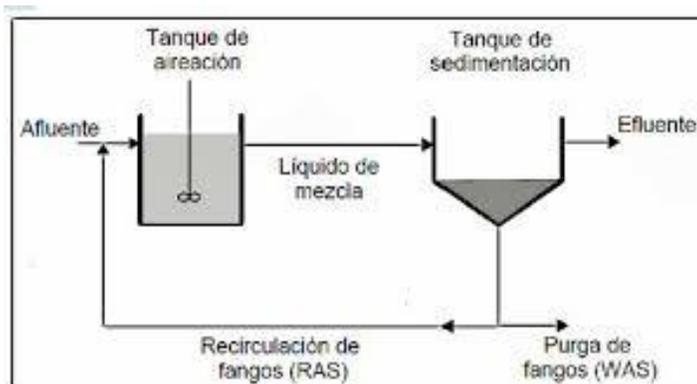


Fig. 5.5. Diagrama del proceso de lodos activados con recirculación de lodos.

5.4.2. Factores de desempeño y rendimiento

En el proceso de lodos activados influyen una serie de factores para el óptimo desempeño y rendimiento, en las tablas 5.3 y 5.4 se presentan factores involucrados para dicho proceso.

Proceso	Factores que afectan al proceso
Lodos Activados	Tipo de reactor Tiempo de retención hidráulica Carga hidráulica Carga orgánica Capacidad de aireación Tiempo medio de retención celular Relación alimento/microorganismo Relación de recirculación de lodos Nutrientes Factores ambientales

Tabla 5.3. Factores que afectan al rendimiento de los procesos de tratamiento secundario típicos. (Metcalf & Eddy, 1996).

Unidades de tratamiento	Rendimiento de eliminación del constituyente, %					
	DBO	DQO	SS	P ^b	N-Org ^c	NH ₃ -N
Lodos Activados	80-95	80-85	80-90	10-25	15-50	8-15

Tabla 5.4. Rendimiento del proceso unitario. (Metcalf & Eddy, 1996).

5.4.3. Parámetros de diseño

Proceso	Tipo de reactor	SRT, (θ_x), días	F/M, Kg/DBO/k g SSVLM	Kg DBO/m ³ . días	SSLM, mg/L	Tiempo hidráulico, τ (hrs)	Q _r (%)
Aereación convencional	Flujo Pistón	3-15	0.2-0.6	0.3-0.7	1000-3000	4-8	25-75
Aereación extendida	Flujo Pistón	20-40	0.04-0.10	0.1-0.3	2000-5000	20-30	50-150
Aereación escalonada	Flujo Pistón	3-15	0.2-0.4	0.7-0.1	1500-4000	3-5	25-75
Mezcla completa	Agitado Continuo	3-15	0.2-1.0	0.3-1.6	1500-4000	4-8	25-100

Tabla 5.5. Parámetros de diseño típicos para el proceso de lodos activados. (Crites & Tchobanoglous, 2000).

5.4.3.1. Datos de muestreo y análisis bacteriológico de la descarga general en la Empresa Lácteos de Chiapas S.A. de C.V.

$$pH = 9.6$$

$$Temperatura = 33^{\circ}C$$

$$Sólidos sedimentables = 2.5 \frac{mL}{L}$$

$$sólidos suspendidos totales = 150 \frac{mg}{L}$$

$$Fosforo total = 0.714 \frac{mg}{L}$$

$$Nitrógeno total = 27.7 \frac{mg}{L}$$

$$DBO = 7.2 \frac{mg}{L}$$

$$DQO = 51 \frac{mg}{L}$$

$$Grasas y aceites = 13 \text{ mg/L}$$

Usando un tiempo de residencia de lodos mínimo de 3 días:

$$\theta_x = 3 \text{ días (Basado en un valor mínimo de diseño de tabla 5.5).}$$

Un caudal inicial de:

$$Q_F = 622.08 \frac{m^3}{\text{día}}$$

Un DBO soluble de entrada:

$$S_0 = 200 \frac{mg}{l}$$

- Se considerará además que el efluente podrá contener una concentración máxima de 60 mg/l de DBO, puesto que se desea proteger la vida acuática en el cuerpo de agua receptor (NOM-001-SEMARNAT-1996).
- La relación entre los sólidos suspendidos volátiles del líquido-mezcla (SSVLM) y los sólidos suspendidos del líquido-mezcla (SSLM) $F_v = 0.8$.
- SSLM= 4000 mg/l.

$$SSVLM = SSLM * F_v \tag{5.16}$$

- Por lo tanto: SSVLM= 3200 mg/l.
- El tiempo de retención $\theta_x = 3$ días.
- $X_v = \frac{60 \frac{mg}{l}}{1.42} = 42.2535 \text{ mg} - VSS/L$ (5.17)
(Concentración de biomasa que puede escaparse del sedimentador).
- 1.42 = Factor de conversión para DQO. (Crites & Tchobanoglous, 2000).
- El 65% de los sólidos suspendidos es biodegradable.
- $DBO_5 = 0.68 DBO_L$ (Metcalf & Eddy, 1996).
- El coeficiente de confiabilidad (CDC) del proceso para la DBO y SST es 0.70 y 0.65, respectivamente (Crites & Tchobanoglous, 2000).

Cálculo de los valores de la DBO_5 y los SST de diseño en los valores del CDC.

$$DBO_5 \text{ media de diseño} = CDC \times DBO_5 \text{ requerida} \quad (5.18)$$

$$= 0.70(200) = 140 \frac{mg}{l}$$

$$SST \text{ media de diseño} = CDC \times SST \quad (5.19)$$

$$SST \text{ media de diseño} = 0.65(150) = 97.5 \frac{mg}{l}$$

5.4.3.2. Cálculo del reactor de lodos activados de mezcla completa

Se calcula la concentración de DBO_5 soluble a la salida del tratamiento biológico utilizando la siguiente relación:

$$DBO_{salida} = DBO_{soluble \text{ no degradado}} + DBO_{sólido} \quad (5.20)$$

El DBO_5 soluble del agua a tratar en la Industria Láctea que escapa al tratamiento es:

$$DBO_{soluble} = (60 - 42.2535) \frac{mg}{l} = 17.7465 \frac{mg}{l} DBO \quad (5.21)$$

Conociendo el $DBO_{entrada}$ (200 mg/l DBO) y la salida (60 mg/l DBO) se puede calcular el porcentaje de remoción de DBO con que debe trabajar el sistema:

El porcentaje de remoción de $DBO_{soluble}$ es:

$$\% \text{ de remoción de } DBO_{soluble} = \frac{200 - 17.7465}{200} \left(\frac{mg}{l} \right) \times 100 = 91.12\% \quad (5.22)$$

El porcentaje de DBO_{total} es:

$$\% \text{ de remoción de } DBO_{total} = \frac{200 - 60}{200} \left(\frac{mg}{l} \right) \times 100 = 70\% \quad (5.23)$$

Con el valor para el tiempo de retención de lodos ($\theta_x = 3 \text{ día}$), se puede calcular el volumen del reactor biológico:

Valores para 20°C			
Coefficientes	Unidades para SSV	Rangos	Típico
Y	mg VSS/mg DBO ₅	0.4-0.8	0.6
b	d ⁻¹	0.025-0.075	0.06
k	mg/l DBO ₅	25-100	60

Tabla 5.6. Valores típicos de los coeficientes cinéticos para el proceso de lodos activados. (Metcalf & Eddy, 1991).

$$V_r = \frac{\theta_x Q Y (S_0 - S)}{X_a (1 + b \theta_x)} \quad (5.24)$$

Donde:

V_r = volumen del reactor, m³.

θ_x = Tiempo de residencia celular, días.

Q = Caudal del afluente, $\frac{m^3}{día}$.

Y = Coeficiente cinético, $\frac{mgVSS}{mgDBO_5}$.

$(S_0 - S)$ = Cantidad de substrato utilizado, $\frac{mg}{l}$.

S_0 = Concentración de substrato en el afluente, $\frac{mg}{l}$.

$S =$ Concentración de substrato en el efluente, $\frac{mg}{l}$.

$X_a =$ Sólidos volátiles suspendidos en el licor mezclado, $\frac{mg}{l}$.

$b =$ Coeficiente cinético, d^{-1} .

Sustituyendo valores en Ecuación (5.24):

$$V_r = \frac{\theta_x Q Y (S_0 - S)}{X_a (1 + b \theta_x)}$$

$$V_r = \frac{(3 \text{ días}) \left(622.08 \frac{m^3}{\text{día}}\right) \left(0.6 \frac{mg}{mg}\right) \left[\left(200 - 17.7465 \frac{mg}{l}\right)\right]}{\left(3200 \frac{mg}{l}\right) [1 + (0.06)(3 \text{ días})]}$$

$$V_r = 54.0458 \text{ m}^3$$

En donde $Y = 0.6 \frac{mg}{mg}$ y $b = 0.06 d^{-1}$ ha sido propuesto como parámetro cinético (Tabla 5.6) para describir el crecimiento de biomasa por unidad de sustrato consumida.

Este valor de (Y) se verá reducido a otro valor de (Y_{obs}) ya que no todos los microorganismos se encuentran en la fase de crecimiento exponencial. El valor de la producción observada (Y_{obs}) se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + b \theta_x} \tag{5.25}$$

Donde:

$Y_{obs} =$ Producción observada $\frac{kg}{kg}$.

$Y =$ Coeficiente cinético, $\frac{mg \text{ VSS}}{mg \text{ DBO}_5}$.

$b =$ Coeficiente cinético, d^{-1} .

$\theta_x =$ Tiempo de residencia celular, días.

Sustituyendo valores en Ecuación (5.25).

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + b\theta_x} = \frac{0.6 \frac{mgVSS}{mgDBO_5}}{1 + (0.06 d^{-1})(3 \text{ días})}$$

$$Y_{obs} = 0.5084$$

Ahora se puede calcular la producción diaria de lodo activado en la Empresa Lácteos de Chiapas, mediante la siguiente expresión:

$$P_x = Y_{obs}(S_0 - S) \left(1000 \frac{g}{kg}\right)^{-1} \quad (5.26)$$

Donde:

$$P_x = \text{Producción diaria de lodo activado, } \frac{kg}{\text{día}}.$$

$$Y_{obs} = \text{Producción observada de lodo, } \frac{kg}{kg}.$$

$$S_0 = \text{Concentración de substrato en el afluente, } \frac{mg}{l}.$$

$$S = \text{Concentración de substrato en el efluente, } \frac{mg}{l}.$$

Sustituyendo valores mediante Ecuación (5.26):

$$P_x = Y_{obs}(S_0 - S) \left(1000 \frac{g}{kg}\right)^{-1}$$

$$P_x = 0.5084 \left(622.08 \frac{m^3}{\text{día}}\right) \left(200 - 17.7465 \frac{mg}{l}\right) \left(\frac{1 kg}{1000 g}\right) = 57.6404 \frac{kg}{\text{día}}$$

Ahora hay que determinar la masa total de lodo activado en base a los sólidos totales en suspensión $P_{x(ss)}$.

$$P_{x(ss)} = \frac{P_x}{F_v} \quad (5.27)$$

$$P_{x(ss)} = \text{Masa total de lodo activado en base a sólidos en suspensión, } \frac{kg}{\text{día}}.$$

$$P_x = \text{Producción diaria de lodo activado, } \frac{kg}{\text{día}}.$$

F_v

= Relación entre sólidos suspendidos volátiles del líquido mezcla(SSVLM) y sólidos suspendidos del líquido mezcla(SSLM).

Sustituyendo valores de Ecuación 5.27 se obtiene la masa total de lodo activado:

$$P_{x(ss)} = \frac{57.6404}{0.8} = 72.0505 \frac{kg}{día}$$

De los lodos activados producidos diariamente será necesario desechar alguna porción, mientras que el resto será recirculado al reactor. La cantidad de lodo de desecho generado diariamente se calcula como:

Cantidad de lodo de desecho = incremento de SSLM – SS perdidos en el efluente
(5.28)

$$Cantidad\ de\ lodo = \left(72.0505 \frac{kg}{día}\right) - \left(622.08 \frac{m^3}{día}\right) \left(97.5 \frac{mg}{l}\right) \left(\frac{1kg}{1000g}\right)$$

$$Cantidad\ de\ lodo = 11.397 \frac{kg}{día}$$

Fracción de sólidos volátiles:

$$F_v = \frac{P_x}{P_{x(SS)}} \tag{5.29}$$

Sustituyendo valores de ecuación 5.29 se obtiene:

$$F_v = \frac{57.6404 \frac{kg}{día}}{72.0505 \frac{kg}{día}} = 0.8$$

Obteniendo el valor de la fracción de sólidos volátiles $F_v = 0.8$ establecido al inicio.

Se puede calcular la magnitud del gasto de desecho (Q_w) basándose en la siguiente ecuación (Crites & Tchobanoglous, 2000):

$$\theta_x = \frac{V_r X}{Q_w X + Q_e X_e} \quad (5.30)$$

Despejando Q_w :

$$Q_w = \frac{V_r X - Q_e X_e}{\theta_x X} \quad (5.31)$$

Donde:

Q_w = Tasa de purga de lodos desde el caudal de recirculación, $\frac{m^3}{día}$.

V_r = Volumen del reactor, m^3 .

Q_e = Caudal del efluente, $\frac{m^3}{día}$.

X_e = Concentración de microorganismos en el efluente de la unidad de separación de sólidos $\frac{mg}{l}$.

θ_x = Tiempo de residencia celular, días.

X = Sólidos volátiles suspendidos en el licor mezclado, $\frac{mg}{l}$.

Ingresando valores en ecuación 5.31 se obtiene la tasa de purga de lodos:

$$Q_w = \frac{V_r X - Q_e X_e}{\theta_x X} = \frac{(54.0458 m^3) \left(3200 \frac{mg}{l}\right) - \left[\left(622.08 \frac{m^3}{día}\right) \left(97.5 \frac{mg}{l}\right) (0.8)\right]}{(3 días) \left(3200 \frac{mg}{l}\right)}$$

$$Q_w = 12.9608 \frac{m^3}{día}$$

Tiempo de retención hidráulica τ (Crites & Tchobanoglous, 2000):

$$\tau = \frac{V_r}{Q} \quad (5.32)$$

Donde:

τ = Tiempo de retención hidráulica, días.

V_r = Volumen del reactor, m^3 .

Q = Caudal inicial, $\frac{m^3}{día}$.

$$\tau = \frac{V_r}{Q} = \frac{54.0458 \text{ m}^3}{622.08 \text{ día}} = 0.08687 \text{ días} = 2.08 \text{ horas}$$

Cálculo de la demanda de oxígeno:

1. Calcular la masa de DBO_L consumida en el proceso, suponiendo $DBO_5 = 0.68 DBO_L$:

$$DBO_{Lconsumida} = \frac{Q(S_0 - S)}{0.68} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \quad (5.33)$$

$$= \frac{\left(622.08 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right) (200 - 17.7465) \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{0.68(1000)}$$

$$DBO_{Lconsumida} = 161.729 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

2. Demanda de oxígeno requerido para degradar DBO_L consumida:

$$\frac{\text{kgO}_2}{\text{día}} = DBO_{Lconsumida} \frac{\text{kg}}{\text{día}} - 1.42(P_x) \quad (5.34)$$

$$= 161.729 \frac{\text{kg}}{\text{día}} - 1.42 \left(57.6404 \frac{\text{kg}}{\text{día}}\right)$$

$$\frac{\text{kgO}_2}{\text{día}} = 79.879 \frac{\text{kgO}_2}{\text{día}}$$

Cálculo de la relación F/M (alimento/microorganismo) mediante la ecuación (Crites & Tchobanoglous, 2000):

$$\frac{F}{M} = \frac{S_0}{\tau X} \quad (5.35)$$

Donde:

$$\frac{F}{M} = \text{Relación de } \frac{\text{alimento}}{\text{microorganismos}}$$

$$S_0 = \text{Concentración de substrato en el afluente, } \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

$$\tau = \text{Tiempo de retención hidráulica, días.}$$

$$X = \text{Sólidos volátiles suspendidos en el licor mezclado, } \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

$$\frac{F}{M} = \frac{S_0}{\tau X} = \frac{200 \frac{mg}{l}}{(0.08687 \text{ días}) \left(3200 \frac{mg}{l}\right)} = 0.71 d^{-1}$$

Cálculo de la carga volumétrica:

$$\text{carga volumétrica} \left(\frac{kg}{m^3} \times \text{día} \right) = \frac{S_0 Q}{V_r} \left(\frac{1}{1000 \frac{kg}{día}} \right) \quad (5.36)$$

$$= \frac{\left(200 \frac{mg}{l}\right) \left(622.08 \frac{m^3}{día}\right)}{54.0458 m^3} \times \frac{1}{1000}$$

$$\text{carga volumétrica} \left(\frac{kg}{m^3} \times \text{día} \right) = 2.3020 \frac{kg DBO_5}{m^3} * \text{día}$$

Gasto de aire requerido:

La cantidad teórica de aire necesaria, suponiendo que el contenido de oxígeno en el aire es del 21% es:

Oxígeno requerido/ (densidad del aire x 0.21)

$$\text{cantidad de aire necesaria} = \frac{79.879 \text{ kg } O_2 / \text{día}}{1.21 \text{ kg} / m^3 (0.21)} = 314.36 \frac{m^3}{día} \quad (5.37)$$

5.4.3.3. Aireación Mecánica

Los sistemas de aireación mecánicos se pueden sub-clasificar en:

Sistemas de baja velocidad

Los sistemas de baja velocidad o también llamados de flujo radial están compuestos por un elemento rotativo que se asemeja a un agitador, debido a que trabaja a baja velocidad (20-100 rpm) pero muy alta torsión es grande y robusto, su geometría es variada, su forma lo hace poco hidrodinámico teniendo alta resistencia a la rotación dentro del agua, pero el vencimiento de esta resistencia es la que genera la dispersión y la mezcla.

Datos de sistemas de baja velocidad.

- Peso: (43-5000)kg
- Consumo: (1,1-150) kW
- Caudal Nominal: (2,3- 150) kgO₂/hrs
- Caudal:(540-16.920) m³/hrs

Sistemas de alta velocidad

Los sistemas de alta velocidad o también denominados de flujo axial, estos operan a la velocidad de giro de los motores eléctricos (900-1800 rpm), por lo que no requieren de moto-reductores, están provistos de propelas marinas o tornillos, su funcionamiento es homólogo al de una bomba, en este caso bombeando hacia la atmosfera (aire la fase continua), en algunos casos tiene un tubo axial que aumenta la profundidad de succión, intentando de esta manera mantener la mejor mezcla y suspensión de sólidos, es necesario destacar que los sistemas de alta velocidad no tiene tan buena mezcla ni suspenden sólidos con tanta eficiencia como los sistemas de baja velocidad.

Datos de sistemas de alta velocidad

- Consumo:(0.75-112) kW
- Capacidad Nominal:(8-110) kgO₂/hrs
- Caudal de Circulación:(456-5020) m³/hrs



Fig. 5.6. Agitador mecánico.

Capacidad de transferencia, kg O ₂ /kW*h		
Tipo de aireador	Condiciones normales ^b	Condiciones de campo ^c
Superficial, baja velocidad.	1.21-3.04	0.73-1.46
Superficial, baja velocidad, con campana de aspiración.	1.21-2.80	0.73-1.27
Superficial, alta velocidad.	1.21-2.19	0.73-1.21
Superficial, turbina de flujo descendente.	1.21-2.43	0.61-1.21
Turbina sumergida con sparger.	1.21-2.00	0.73-1.09
Impulsor sumergido	1.21-2-43	0.73-1.09
Rotor de cepillo y placas.	0.91-2.19	0.48-1.09

Tabla 5.7. Intervalos típicos de la capacidad de transferencia de oxígeno de los diversos tipos de aireadores mecánicos (Metcalf & Eddy, 1996).

b condiciones normales: agua limpia, 20°C, 1 atm y concentración de oxígeno disuelto inicial=0.

c condiciones de campo: agua residual, 15°C, altitud 170 m, $\alpha=0.85$, $\beta=0.9$; nivel de oxígeno disuelto=2 mg/l.

Para éste sistema de tratamiento en cuanto a requerimientos de aireación del tipo mecánico se utilizará un sistema de baja velocidad ya que cumple con requerimientos de una mayor eficiencia en términos de mezcla y suspensión de sólidos en comparación a los sistemas de alta velocidad, en base a un caudal

$$\text{inicial de } Q_F = 622.08 \frac{m^3}{\text{día}} = 25.92 \frac{m^3}{\text{hrs}}$$

Datos de sistemas de baja velocidad.

- Peso: (43-5000)kg
- Consumo: (1,1-150) kW
- Caudal Nominal: (2,3- 150) kgO₂/hrs
- Caudal:(540-16.920) m³/hrs

5.4.4. Opciones para el tratamiento de lodos

Los lodos generados en el proceso de lodos activados requieren en general de un cierto nivel de tratamiento antes de su disposición final o de su reutilización.

5.4.4.1. Digestión aeróbica

En general, la digestión aeróbica se usa para estabilizar lodos activados ya que:

- 1) La operación es relativamente fácil.
- 2) Los costos son menores.
- 3) Genera un producto final estable, sin olor y similar al humus.
- 4) En el licor sobrenadante se produce una menor concentración de DBO.

Por lo general, la digestión aeróbica se lleva a cabo en tanques de concreto abiertos y no calentados.

Los factores que deben considerarse en el diseño son la temperatura, el tiempo de retención hidráulico, la carga de sólidos, las necesidades de oxígeno, el requerimiento de aire y la necesidad de energía para la mezcla.

Parámetro	Unidad	Valor
Tiempo de retención hidráulico a 20°C	días	12-16
Lodo residual activado		
Carga de sólidos	Kg sólidos volátiles/m ³ *día	1.601-3.203
Requerimientos de oxígeno	Kg O ₂ /kg de SSV destruidos	2.0
Volumen del tanque	m ³ /per cápita	0.0849-0.1132
Requerimientos de aire	m ³ /min*10 ³ m ³	20-60
Requerimientos de energía para la mezcla	m ³ /min*10 ³ m ³	20-30

Tabla 5.8. Criterios para el diseño de la digestión aeróbica del lodo (Crites & Tchobanoglous, 2000).

5.4.4.2. Diseño de Digestor aeróbico

Los digestores aeróbicos se diseñan, de ordinario, para un potencial de reducción de SSV de cerca del 40%. El volumen del tanque se determina casi siempre, multiplicando el caudal de lodos por el período de retención hidráulico (Crites & Tchobanoglous, 2000):

Condiciones de diseño:

- Masa total=11.397 kg/día
- Las temperaturas máximas y mínimas del líquido son 15°C en invierno y 33°C en verano.
- El sistema debe permitir conseguir una reducción de sólidos volátiles del 40% en invierno.
- El peso específico del lodo a tratar es de 1.03.
- La concentración del lodo del digestor es del 70% de la concentración del lodo espesado que entra a la unidad.
- La constante de reacción, b, vale 0.06 d⁻¹ a 15°C.
- La fracción volátil de los sólidos del digestor es 0.80.

Cálculo del volumen del lodo a evacuar diariamente, mediante la ecuación:

$$V = \frac{W_s}{\rho_w S_{st} P_s} \quad (5.38)$$

Donde:

$V =$ volumen del lodo a evacuar diariamente, $\frac{m^3}{día}$.

$W_s =$ peso de los sólidos secos, kg.

$\rho_w =$ densidad del agua, $\frac{kg}{m^3}$.

$S_{st} =$ peso específico del lodo.

$P_s =$ fracción de sólidos expresada en tanto por uno.

Sustituyendo valores en ecuación 5.38 se obtiene el volumen del lodo:

$$V = \frac{W_s}{\rho_w S_{sl} P_s} = \frac{11.397 \frac{kg}{d}}{\left(1 \frac{kg}{m^3}\right) (1.03) (0.03)} = 368.83 \frac{m^3}{d}$$

Calcular la reducción de sólidos volátiles en verano y en invierno basándose en la masa total de sólidos volátiles:

$$\text{Masa total de SSV} = 0.8 \times \text{masa total} \quad (5.39)$$

$$\text{Masa total de SSV} = 0.8 \left(11.397 \frac{kg}{d}\right) = 9.117 \frac{kg}{día}$$

a) Invierno:

$$9.117 \frac{kg}{día} (0.40) = 3.646 \frac{kg}{día} \quad (5.40)$$

b) Verano:

$$9.117 \frac{kg}{día} (0.44) = 4.011 \frac{kg}{día} \quad (5.41)$$

Determinar la cantidad de oxígeno necesaria:

a) Invierno:

$$3.646 \frac{kg}{día} (2.3) = 8.385 \frac{O_2}{día} \quad (5.42)$$

b) Verano:

$$4.011 \frac{kg}{día} (2.3) = 9.225 \frac{O_2}{día} \quad (5.43)$$

Cálculo del volumen del digestor aerobio:

$$V = Qt \quad (5.44)$$

Donde:

$V =$ volumen del digestor aeróbio, m^3 .

$Q =$ caudal de lodos hacia el digestor, $\frac{m^3}{día}$.

$t =$ período de retención hidráulico, días.

Sustituyendo valores en ecuación 5.44 se calcula el volumen de digestor aerobio:

$$V = Qt = \left(12.9608 \frac{m^3}{día} \right) (12 \text{ días}) = 155.52 m^3$$

Cálculo de la tasa de reacción constante a la temperatura (Crites & Tchobanoglous, 2000):

Con una temperatura de del lodo de 33°C obtenida en la empresa Lácteos de Chiapas S.A. de C.V.

$$k_T = k_{20}(1.06)^{T-20} \tag{5.45}$$

Donde:

k_T = tasa de reacción constante a temperatura.

k_{20} = 0.10 d⁻¹ a temperatura de 20°C.

(1.06) = valor de θ .

T = temperatura del lodo, °C.

Sustituyendo los valores en la ecuación 5.45 se obtiene:

$$k_T = k_{20}(1.06)^{T-20} = 0.10 d^{-1}(1.06)^{33-20} = 0.2132$$

5.5. Diseño del sedimentador secundario.

Tiene como función separar los lodos activados del líquido-mezcla, siendo esta separación de sólidos el último paso antes de la descarga requerida para la producción final de un efluente estable, clarificado y con bajo contenido en DBO, DQO y ST.

Para el diseño del tanque de sedimentación secundaria se toman en cuenta los siguientes parámetros:

- Los criterios de diseño para los sedimentadores secundarios deben determinarse experimentalmente.

- En ausencia de pruebas de sedimentación, se debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. El diseño se debe efectuar para caudales máximos horarios
2. Para todas las variaciones del proceso de lodos activados (excluyendo aeración prolongada).

Se recomiendan los siguientes valores:

TIPO DE TRATAMIENTO	CARGA DE SUPERFICIE m ³ /m ² .d		CARGA kg/m ² .h		PROFUNDIDAD m
	Media	Máx.	Media	Máx.	
Sedimentación a continuación de lodos activados (excluida la aeración prolongada)	16-32	40-48	3,0-6,0	9,0	3,5-5
Sedimentación a continuación de aeración prolongada	8-16	24-32	1,0-5,0	7,0	3,5-5

Tabla 5.9. Información típica para diseño de decantadores secundarios (fuente. Metcalf y Eddy, 1996)

Estas cargas hidráulicas están basadas en el caudal del agua residual sin considerar la recirculación, puesto que la misma es retirada del fondo al mismo tiempo y no tiene influencia en la velocidad ascensional del sedimentador.

- Sobrecarga hidráulica o carga de superficie hidráulica

Los valores de la carga de superficie de la tabla están basados en los caudales de agua residual en lugar de los caudales de líquido mezcla, debido a que la carga de superficie es equivalente a la velocidad de flujo ascensional.

5.5.1. Calculo del sedimentador secundario

Tomando en cuenta la carga de superficie hidráulica de la tabla (5.3) obtenemos un valor máximo de $28 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ para sedimentación a continuación de aireación prolongada, entonces para calcular el área superficial dividimos el caudal máximo que es de $622.08 \text{ m}^3/\text{día}$ entre la carga superficial quedando así la siguiente expresión:

$$A = \frac{Q}{OR} \quad (5.46)$$

Dónde:

$A = \text{área transversal del sedimentador (m}^2\text{)}$

$OR = \text{sobrecarga hidráulica o carga de superficie } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} * \text{hrs}\right)$

$Q = \text{caudal de entrada } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right)$

Sustituyendo la ecuación (5.46) tenemos que:

$$A = \frac{622.08 \text{ m}^3/\text{día}}{28 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} * \text{día}} = 22 \text{ m}^2$$

Posteriormente calculamos el volumen del sedimentador con la siguiente fórmula:

$$vol = Q * Tr \quad (5.47)$$

Dónde:

$vol = \text{volumen del sedimentador (m}^3\text{)}$

$Q = \text{caudal de entrada } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right)$

$Tr = \text{tiempo de retención (hrs)}$

Tomado en cuenta el tiempo de retención del sedimentador primario de la ecuación (5.47) sustituimos y obtenemos el volumen:

$$vol = \frac{25.92 \text{ m}^3}{h} * 1.7h = 44 \text{ m}^3$$

Ya calculado el volumen podemos estimar la altura del clarificador aplicando la siguiente expresión:

$$H = \frac{vol}{A} \quad (5.48)$$

Dónde:

vol = volumen del sedimentador (m^3)

A = area transversal del sedimentador (m^2)

H = altura del clarificador (*m*)

Sustituyendo los valores en la expresión (5.48) queda:

$$H = \frac{44m^3}{22m^2} = 2m$$

Los decantadores circulares consisten en una cuba normalmente construida en hormigón, en la cual la alimentación es introducida por la parte central, que dispone de una campana responsable de disipar la energía cinética con que entra el agua en el equipo y la distribución del flujo en todas las direcciones.

La salida del agua clarificada se lleva a cabo a través de un vertedero periférico el cual suele ser de aluminio con formas de dientes de sierra y está protegido por una placa deflectora para evitar la salida de los flotables.

Como el sedimentador secundario será tipo circular, se calculó por último el diámetro del clarificador mediante la siguiente fórmula:

$$A = \pi * r^2 \quad (5.49)$$

Despejando la ecuación para obtener el diámetro queda:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (5.50)$$

Dónde:

$r = \text{radio del sedimentador (m}^2\text{)}$

$A = \text{área transversal del sedimentador (m}^2\text{)}$

$\pi = 3.1416$

Sustituyendo la ecuación (5.50) tenemos que el radio es:

$$r = \sqrt{\frac{22\text{m}^2}{\pi}} = 2.6\text{m}$$

En la siguiente tabla se presenta resumido el dimensionamiento del sedimentador:

Área superficial	22m ²
Volumen	44m ³
Altura	2m
Tiempo de retención	1.7h
Carga superficial	28m ³ /m ² *día
diámetro	5.3m

Tabla.5.10. Datos resumidos del cálculo del sedimentador secundario.

Los decantadores circulares consisten en una cuba normalmente construida en hormigón, en la cual la alimentación es introducida por la parte central, que dispone de una campana responsable de disipar la energía cinética con que entra el agua en el equipo y la distribución del flujo en todas las direcciones.

La salida del agua clarificada se lleva a cabo a través de un vertedero periférico el cual suele ser de aluminio con formas de dientes de sierra y está protegido por una placa deflectora para evitar la salida de los flotables.

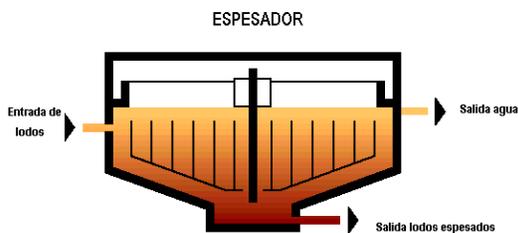


Fig. 5.7. Sedimentador secundario tipo circular.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

En este trabajo de residencia profesional se desarrollaron los pasos necesarios para diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales para la industria Lácteos de Chiapas S.A. de C.V. del municipio de Berriozábal Chiapas.

Para esto fue necesario establecer algunos puntos de partida, como lo son los antecedentes de tratamientos de aguas residuales, las condiciones óptimas en cuanto espacio físico para poder comprender si el espacio territorial de la industria se sujeta a los parámetros de diseño en metros cuadrados que se calcularon en el procedimiento.

Estos datos de partida se trataron de aproximar, dentro de lo posible a una situación real, de forma que el diseño o dimensionamiento del sistema pudiera realizarse sin alterar datos o cambiar alguno de sus elementos. Cabe mencionar que en materia de costos no se profundizó, puesto que no se tomó la decisión desde un principio de plantear las bases de diseño y dimensionamiento dejándolo como antecedente para aquel que quiera profundizar el tema de costos.

Con dimensionamiento, nos referimos a que se buscó dejar las bases ya que en el caso de ser necesario, se pueda realizar una modificación de forma sencilla y que permita reestructurar solo esas partes que de deseen sin alterar el resto del proceso.

Por otro lado los diseños del sedimentador primario y secundario se hicieron con datos reales y datos impuestos por valores establecidos ya sean de libros o de normas.

Este diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para la industria Lácteos de Chiapas S.A. de C.V. se basa en dos niveles de tratamiento los cuales son:

1. Tratamiento preliminar (diseño de cribas) y tratamiento primario (diseño de sedimentador primario).
2. Tratamiento secundario (biológico) diseño de procesos de lodos activados de mezcla completa con recirculación de lodos.

El diseño del tratamiento de aguas residuales se resume en los siguientes pasos.

1. Utilizando un vertedor triangular a 90° construido a base de placa de acrílico y considerando una descarga constante durante ocho horas. Se obtuvo un caudal inicial máximo de $622.08 \text{ m}^3/\text{día}$ y éste resulta ser un parámetro de diseño para todo el sistema.
2. Para realizar el tratamiento preliminar se obtuvieron medidas en cuanto a dimensiones de los canales. Se diseñaron dos sistemas de cribados (rejillas) de 19 y 33 barras, respectivamente, de acero inoxidable con un ángulo de inclinación de 45° con respecto a la horizontal del canal. El caudal obtenido entra al pretratamiento pasando por las rejillas de limpieza mecánica, para eliminar sólidos gruesos que puedan interrumpir el proceso de aguas abajo.
3. Posteriormente se inicia el proceso de tratamiento primario (sedimentador primario) cuyos valores para el diseño resultaron con un área superficial de 28 m^2 , un volumen de 45 m^3 y un tiempo de retención de 1.7 horas. El fluido llega al sedimentador primario para que remueva partículas de menor tamaño. Removiendo el DBO un 33% y para los SST un 54.3%, y así dejar listo el caudal para el proceso secundario.
4. Tratamiento secundario (tratamiento biológico). Éste sistema cuenta con un tanque de aireación cuyo volumen es 54.0458 m^3 donde se generan y controlan los microorganismos para degradar la materia orgánica contenida en el agua residual, mediante la inyección de oxígeno para éste sistema se

implementó una aireación mecánica de baja velocidad ya que genera una mejor mezcla y suspensión de sólidos, con un tiempo de retención hidráulica de 2.08 horas. Removiendo $DBO_{soluble}$ en un 91.12% y un DBO_{total} del 70%.

5. Como etapa final del sistema de tratamiento de aguas residuales se diseñó un tanque sedimentador secundario que básicamente tiene la misma función que el primario. El tanque secundario es de tipo circular cuyo diámetro es de 5.3 m, una altura de 2 m, un volumen de 44 m^3 y un tiempo de retención de 1.7 horas. El caudal del reactor pasa al sedimentador secundario de lodos generados por el proceso aerobio. Una parte de los lodos recircula con una tasa de purga de lodos de $12.9608 \text{ m}^3/\text{días}$ teniendo como finalidad contener la carga de microorganismos que permitan controlar el proceso. Una parte de éstos pasa al tratamiento de lodos basándose en el diseño de un digestor aerobio con un volumen de 155.52 m^3 estos digestores se diseñan con la finalidad de reducir los sólidos volátiles suspendidos cerca del 40%.

6. El efluente sale clarificado removiendo un 90% de materia orgánica.

Como se puede observar el diseño ejecutado clarifica el agua dentro de las normas removiendo un 90% de materia orgánica y sólidos totales.

Dicho diseño cumple con la requisición de la empresa con el objetivo de no contaminar al manto freático.

6.2. Recomendaciones

Se recomienda hacer estudios posteriores al sedimentador secundario ya que el fluido no está del todo libre de contaminantes, se recomienda hacer un sistema de tratamiento terciario o de nivel avanzado como por ejemplo: cloración, lagunas facultativas, zanjas de oxidación etc. O en su defecto rediseñar el sistema implementado sistemas de aeración por aspersores o reactores anaerobios con tiempos de retención por días.

Otra recomendación importante es la de tomar en cuenta las condiciones del clima para los ajustes del sedimentador secundario, por la variabilidad de la cinética de reacción en función de la temperatura ambiente.

Para hacer más eficiente el sistema de tratamiento de aguas residuales descrito en el diagrama de bloques (fig.6.1), se recomienda implementar el diseño de una trampa de grasas y aceites posterior al tratamiento de cribado.

Por último, se recomienda el análisis de composición del lodo ya que puede ser de utilidad para fines agrícolas.

A continuación se muestra un diagrama de bloques del sistema diseñado.

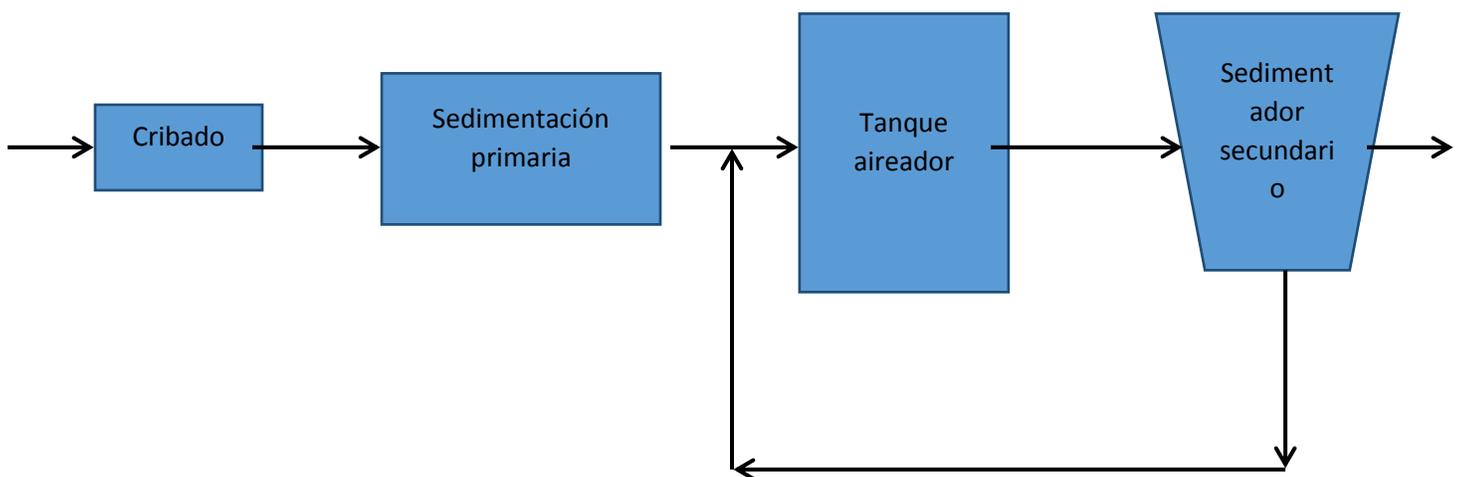


Fig. 6.1. Diagrama de bloques del sistema de aguas residuales.

Bibliografía

- R.S. Ramalho. Tratamiento de aguas residuales. Editorial REVERTE, S.A., 1993.
- Departamento de sanidad del estado de Nueva York. Manual de tratamiento de aguas negras. Editorial LIMUSA, S.A de C.V., 1996. Grupo Noriega Editores. Decima cuarta reimpression.
- Michael A. Winkler. Tratamiento biológico de aguas de desecho. Editorial LIMUSA, S.A. de C.V., 1995. Cuarta reimpression.
- Crites & Tchobanoglous. (2000). Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados (Vol. I). McGraw-Hill Interamericana, S.A.
- METCALF & EDDY, [1996], Ingeniería de aguas residuales: tratamiento vertido y reutilización, McGraw-Hill.
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.