



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ

REPORTE DE RESIDENCIA PROFESIONAL

PROYECTO:

**“DISEÑO DEL TRATAMIENTO PRIMARIO PARA LAS AGUAS
RESIDUALES DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ”**

ESPECIALIDAD:

INGENIERIA BIOQUIMICA

RESIDENTE:

GUZMÁN ÁLVARO URBANO DAMIÁN

No DE CONTROL:

07270016

ASESOR INTERNO:

M.C. JUAN JOSE VILLALOBOS MALDONADO

REVISORES:

M.C. JOSE HUMBERTO CASTAÑÓN GONZÁLEZ

DR. ARNULFO ROSALES QUINTERO

TUXTLA GUTIERREZ CHIAPAS, A ENERO DE 2012.

**INDICE**

| | |
|--|-----------|
| Introducción | 1 |
| Justificación | 2 |
| Objetivo | 3 |
| Características del área en que se participo | 3 |
| Alcances y limitaciones | 4 |
| Marco teórico | 5 |
| Capitulo 1. Características de las aguas residuales | 11 |
| 1.1 sólidos suspendidos | 13 |
| 1.2 composición orgánica biodegradable | 15 |
| 1.3 composición de las aguas residuales del ITTG | 16 |
| Capitulo 2. Eliminación de partículas por sedimentación | 18 |
| 2.1 teoría de la sedimentación | 18 |
| 2.1.1 sedimentación por zonas | 21 |
| Capitulo 3. Grasas y aceites | 24 |
| 3.1 propiedades de aceites y grasas | 25 |
| 3.1.2 propiedades químicas | 26 |
| 3.2 clases de aceites y grasas en aguas residuales | 26 |
| 3.3 remoción de grasas y aceites | 27 |
| 3.3.1 remoción local de aceites y grasas | 28 |
| 3.3.2 remoción de grasas y aceites en plantas de tratamientos | 29 |
| 3.3 objetivos de la separación de grasas y aceites | 29 |



| | |
|--|-----------|
| 3.4 misiones del proceso de separación de grasas y aceites | 30 |
| 3.5 fundamentos teóricos de la separación | 30 |
| 3.5.1 factores que afectan la separación de grasas y aceites | 31 |
| 3.6 equipos utilizados en la separación de grasas y aceites | 31 |
| Capítulo 4. Diseño del tratamiento primario | 35 |
| 4.1 Diseño del sedimentador | 35 |
| 4.1.2 Fundamentos de diseño del sedimentador | 35 |
| 4.1.3 Descripción de los tanques de sedimentación simple | 37 |
| 4.1.4 Criterios de diseño | 39 |
| 4.1.5 Dimensionamiento | 44 |
| 4.1.6 balance de materia para un sedimentador | 47 |
| 4.1.7 cálculos del sedimentador | 48 |
| 4.2 diseño de la trampa de retención de grasas | 51 |
| 4.2.1 tratamientos físicos | 51 |
| 4.2.1 fundamentos de diseño. | 53 |
| Diseños | 54 |
| Conclusiones y recomendaciones | 57 |
| Bibliografía | 58 |

INTRODUCCION

La creciente importancia que tiene la conservación de los recursos naturales ha despertado en el ser humano, búsqueda de técnicas para cuidarlos y recuperarlos, para que puedan aprovechados por el hombre, de aquí uno de los recursos de vital importancia para el hombre, como lo es el agua.

Las aguas residuales son aquellas vertientes provenientes de procesos post-industriales; es decir, aquellas aguas que han sido utilizadas en los diferentes sistemas de fabricación, producción o manejo industrial o domestico, manera que puedan ser adecuados para su ubicación en las respectivas redes de vertido, depuradoras o sistemas naturales, tales como lagos, ríos, embalses, etc.

Las impurezas se encuentran en el agua como materia en suspensión, como materia coloidal, o como materia en solución: mientras que la materia en suspensión siempre se separa por medio mecánico, con intervención o no de la gravedad, la materia coloidal requiere de un tratamiento fisicoquímico preliminar y la materia en solución puede tratarse en el propio estado molecular o iónico o precipitarse y separarse utilizando procesos semejantes a los empleados para la separación de los sólidos inicialmente en suspensión. A esto es lo que se denomina tratamiento de aguas.

Cuando se habla de la aplicación de procesos biológicos, se hace referencia casi exclusivamente a los tratamientos de aguas residuales, donde se busca como objetivo principal eliminar los componentes definidos como contaminantes, molestos o con efectos nocivos para el medio ambiente, de tal manera que se pueda ajustar, el agua residual, a la calidad de agua vertida a las especificaciones

legales existentes. De esta manera, la mejor forma de tratar las aguas residuales dependerá de una serie de factores característicos, tales como: el caudal, la composición, las concentraciones, la calidad requerida o esperada del efluente, las posibilidades de reutilización de vertido a depuradoras municipales, tasas de vertido, etc. (Lesly Da Cámara, Mario Hernández y Luiselena paz).

JUSTIFICACION

El presente proyecto surge de la necesidad por la alta concentración de grasas que presento las aguas residuales de esta institución, que fueron en época de estiaje 495.15 mg/L y en época de lluvia con un valor de 0.172 mg/L, estudio realizado por Leticia Trujillo Ávila. Por lo que al estar fuera de los límites máximos permisibles de la norma, no se puede proceder o continuar con la siguiente etapa de tratamiento.

La Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996 señala los límites permisibles que estas aguas deben de contener de grasas y aceites que indica un valor de 75 mg/L.

Además de ser parte primordial para establecer un sistema de tratamiento de aguas residuales, para la cual se desea establecer en esta institución.

Otro factor que contribuye a la elaboración de este proyecto, es la escases de agua que padece la institución durante la temporada de calor, estableciendo así un sistema en donde estas aguas residuales una vez ya tratadas tengan una segunda aplicación en diversas aéreas.

El Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez actualmente no cuenta con una unidad de tratamientos de aguas residuales, por lo cual se ha visto en la necesidad de desarrollar un proyecto de tratamiento, que incluya las tres etapas: tratamiento primario, secundario, y terciario. El cual este proyecto solo esta enfocado en el diseño del tratamiento primario.

OBJETIVO

Evaluar la eficiencia del tratamiento primario de las aguas residuales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN QUE SE PARTICIPÓ

El problema de la contaminación del agua es conocido desde la antigüedad, del total del agua existente en el planeta, únicamente el 3% es agua dulce, pero de este porcentaje el 79% está en forma de hielo por lo que no está disponible para su uso, el resto se encuentra como agua líquida: en forma de agua subterráneas (20%), y únicamente el 1% restante, como aguas superficiales. Pero estos recursos no son inagotables.

El agua dulce es el recurso renovable mas importante, pero la humanidad esta utilizándolo y contaminando y contaminándolo rápidamente.

Las aglomeraciones en las grandes ciudades, la mejora en la calidad de vida, el rápido desarrollo industrial, el incremento del turismo y la agricultura, las actividades de ocio, entre otras acciones. Hacen que este escaso porcentaje se vaya reduciendo de forma natural y que su composición se vea notablemente

alterada. Para agravar el problema, el ciclo hidrológico es cada vez menos previsible ya que el cambio climático altera los patrones de temperatura establecidos en todo el mundo.

El presente proyecto se realizó en el área ambiental, un área de gran importancia en la actualidad que está enfocada en contribuir con el medio ambiente, creando proyectos para el cuidado del medio ambiente y a la vez generando conciencia al ser humano sobre el cuidado de nuestro medio ambiente.

El área ambiental está enfocada en la conservación y preservación de los recursos naturales, para una mejor calidad de vida actual y para las futuras generaciones.

Además esta área ayuda a resolver los impactos provocados por la actividad del hombre.

ALCANCES Y LIMITACIONES

Alcances

El presente proyecto es una parte primordial de todo un sistema de tratamiento que se está realizando en conjunto con la maestría en Ing. Bioquímica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. El proyecto se pretende dar un tratamiento eficiente de las aguas residuales y así poder dar una segunda aplicación a estas ya sea para riego de jardines ó para sanitarios. Actualmente esta institución no cuenta con un sistema de tratamiento para dicha problemática y estas aguas desembocan al alcantarillado municipal, contribuyendo más a la contaminación de los efluentes del municipio.

Limitaciones

Un factor relevante en el diseño del tratamiento primario es el contenido de grasas de estas aguas.

Uno de los limitantes del desarrollo del proyecto fue determinar el flujo de aguas residuales de esta institución ya que el registro donde desembocan las corrientes de aguas residuales es muy profundo y de difícil acceso, además de contar con tres corrientes que desembocan en el registro.

En la construcción de los prototipos estos no se construyeron debido a la falta de material y equipo, ya que en la construcción de estos se necesita acrílico.

MARCO TEÓRICO

Puede decirse que un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas o industriales, se compone de una operaciones unitarias que suelen llamarse preliminares, de otras operaciones y procesos unitarios conocidos como tratamientos primarios, de los procesos de tratamientos propiamente dichos o tratamientos secundario, y las operaciones y procesos mediante los cuales se depura aun más el agua residual, o tratamientos terciarios.

Los tratamientos primarios que reciben las aguas residuales consisten principalmente en la remoción de sólidos suspensión floculentos ya sea mediante sedimentación o floculación, en la neutralización de la acidez o alcalinidad excesivas y en la remoción de compuestos inorgánicos mediante precipitación química. En algunos casos se puede utilizar la coagulación como auxiliar del proceso de sedimentación.

Además, en el caso de algunas aguas residuales industriales, es a veces necesario proveer un tratamiento preliminar para reducir la concentración de ciertos compuestos que pueden ser tóxicos a los microorganismos, hasta límites tolerables.

Es preciso enfatizar la importancia que los tratamientos primarios tienen para los sistemas de tratamiento de aguas residuales, pues de su adecuada y eficiente operación depende en muy buena parte que todo el sistema reduzca efectivamente la carga contaminante que tienen las aguas residuales.

A continuación se presenta algunas de las operaciones y procesos unitarios utilizados para eliminar la mayoría de contaminantes presentes en el agua residual.

Tabla I. procesos unitarios utilizados para eliminar contaminantes presentes en el agua.

| CONTAMINANTE | OPERACIÓN UNITARIA, PROCESO UNITARIO O SISTEMA DE TRATAMIENTOS |
|--------------------------------|--|
| Sólidos en suspensión | Sedimentación Desbaste y aireación Variaciones de filtración Flotación Adición de polímeros o reactivos químicos Coagulación sedimentación Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno |
| Materia orgánica biodegradable | Variaciones de lodos activados Película fija: filtros percoladores Película fija: discos biológicos Variaciones de lagunaje Filtración intermitente de arena Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno Sistemas fisicoquímicos |
| Patógenos | Patógenos Cloración Hipocloración Ozonación Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno |

| | | |
|-------------------------------|-----------|--|
| Nutrientes | Nitrógeno | Variaciones de sistemas de cultivo suspendido con nitrificación y desnitrificación Variaciones de sistemas de película fija con nitrificación y desnitrificación Arrastre de amoníaco (stripping) Intercambio de iones Cloración en el punto crítico Sistemas de tratamiento por evacuación en el terreno |
| | fosforo | Adición de sales metálicas Coagulación y sedimentación con cal Eliminación biológica y química del fósforo Sistemas de tratamiento por evacuación en el terreno. |
| Materia orgánica refractaria | | Adsorción en carbón Ozonación terciaria Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno |
| Metales pesados | | Precipitación química Intercambio de iones Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno |
| Sólidos inorgánicos disueltos | | Intercambio de iones Osmosis inversa Electrodialisis |

Fuente: Metcalf & Eddy, 1985.

Entre los principales procesos y operaciones de tratamiento primario están:

Sedimentación

La separación de los sólidos por gravedad se basa en la diferencia que existe entre los pesos específicos del líquido que es la fase continua y el de las partículas, las cuales constituyen la fase discreta. Para que se produzca la separación entre el líquido y los sólidos pueden seguirse dos caminos: aquellas partículas que tienen un peso específico mayor que el del agua sedimentada, y que aquellas otras con un peso específico menor que el del agua flotante. Se puede pues utilizar la sedimentación o la flotación para separar del agua residual los sólidos en suspensión presentes en ella.

Existe la sedimentación floculenta o llamada también sedimentación de partículas aglomerables. Se presentan cuando la velocidad de asentamiento de las partículas aumenta a medida que descienden hacia el fondo del tanque. Los aumentos en la velocidad de sedimentación se deben a que las partículas incrementan su tamaño por acción de la floculación que ocurre en el tanque. Esta floculación puede deberse a la acción de barrido que ejercen algunas partículas, o a corrientes de densidad o turbulencia.

Asimismo, se tiene la sedimentación primaria, que es uno de los procesos más utilizados en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, bien sea como tratamiento único, o bien como proceso de tratamiento anterior o previo al tratamiento biológico propiamente dicho. El objetivo fundamental de la sedimentación primaria es remover de las aguas residuales aquella fracción de los sólidos que es sedimentable, además de la carga orgánica asociada con dichos sólidos. La base o criterio práctico de diseño es la carga superficial, la cual usualmente se expresa en términos de $\text{m}^3/\text{día}/\text{m}^2$ o $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$, o sea el resultado de dividir el caudal en $\text{m}^3/\text{día}$ o m^3/h , por la superficie total del tanque de sedimentación en metros cuadrados.

Coagulación y Floculación

Los procesos de coagulación-floculación facilitan el retiro de los SS y de las partículas coloidales. Algunas veces existe la confusión entre estas dos por el hecho que frecuentemente ambas operaciones se realizan de forma simultánea. En ese sentido, se define a la coagulación como la desestabilización de la suspensión coloidal, mientras que la Floculación se limita a los fenómenos de

transporte de las partículas coaguladas para provocar colisiones entre ellas promoviendo su aglomeración.

Por tanto, la coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico llamado coagulante.

Históricamente, los coagulantes metálicos, sales de hierro y aluminio, han sido los más utilizados en la clarificación de aguas y eliminación de DBO y fosfatos de aguas residuales. Tienen la ventaja de actuar como coagulantes-floculantes al mismo tiempo. Sin embargo tienen el inconveniente de ser muy sensibles a un cambio de pH. Si éste no está dentro del intervalo adecuado la clarificación es pobre y pueden solubilizar Fe ó Al y generar problemas. Entre los coagulantes más utilizados son: sulfato de alúmina, sulfato férrico, cloruro férrico,

La floculación es un proceso de separación de líquido-sólido utilizado para la remoción de partículas o sólidos suspendidos en las aguas residuales. Se usa principalmente para la separación de grasas, aceites, material fibroso y otros sólidos de densidad baja. Los principales componentes de un proceso de flotación son el compresor de aire, un tanque de retención donde se almacenan las aguas residuales presurizadas, una válvula reductora de presión y el tanque de flotación. El proceso puede realizarse bien inyectando el aire directamente a las aguas residuales crudas, o bien al efluente recirculado del tanque de flotación, el cual se mezcla con las aguas residuales crudas. Los floculantes más usados son los siguientes: oxidantes, adsorbentes, sílice activa, los factores, que pueden promover la coagulación-floculación, son el gradiente de la velocidad, el tiempo, y el pH. El tiempo y el gradiente de velocidad son importantes al aumentar la



probabilidad de que las partículas se unan. Por otra parte el pH es un factor prominente en el retiro de coloides

.

CAPITULO 1. CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Es común clasificar a las aguas residuales en dos tipos: industriales y municipales.

En muchos casos las aguas residuales industriales requieren tratamiento antes de ser descargadas en el sistema de alcantarillado municipal; como las características de estas aguas residuales cambian de una a otra industria, los procesos de tratamiento son también muy variables. No obstante, muchos de los procesos empleados para tratar aguas residuales municipales se emplean también con las industriales. Existen aguas residuales industriales que tienen características compatibles con las municipales, por lo que se descargan directamente en los sistemas públicos de alcantarillado. El estudio del tratamiento específico de las aguas residuales industriales está fuera de los alcances de este texto.

El agua residual municipal fresca y aerobia tiene olor a queroseno y color gris. El agua residual con más tiempo de haber sido generada es séptica y pestífera; su olor característico es a ácido sulfhídrico, similar al de los huevos podridos. El agua residual séptica es de color negro.

La temperatura del agua residual es mayor que la del agua potable, varía entre 10 y 20°C; esto se debe a que se añade calor al agua en los sistemas de plomería de las edificaciones.

El agua colectada en los sistemas de alcantarillado municipal corresponde a una amplia variedad de usos. La cantidad de los constituyentes de las aguas residuales varía marcadamente dependiendo del porcentaje y tipo de desechos

industriales presentes y de la dilución ocasionada por la entrada de agua subterránea que se infiltra a la red de alcantarillado.

El gasto y la composición de las aguas residuales de un sistema de alcantarillado reflejan los diferentes usos del agua potable.

Cuadro 1. Contaminantes importantes de las aguas residuales. (Tomada de Metcalf & Eddy, Inc.1985).

| Contaminante | Fuente | Importancia ambiental |
|--------------------------------------|---|---|
| Sólidos suspendidos | Uso doméstico, desechos industriales y agua infiltrada a la red. | Causa depósitos de lodo y condiciones anaerobias en ecosistemas acuáticos. |
| Compuestos orgánicos biodegradables. | Desechos domésticos e industriales | Causa degradación biológica, que incrementa la demanda de oxígeno en los cuerpos receptores y ocasiona condiciones indeseables. |
| Microorganismos patógenos. | Desechos domésticos. | Causan enfermedades transmisibles. |
| Nutrientes. | Desechos domésticos e industriales. | Pueden causar eutroficación |
| Compuestos orgánicos refractarios *. | Desechos industriales. | Pueden causar problemas de sabor y olor; pueden ser tóxicos o carcinogénicos. |
| Metales pesados | Desechos industriales, minería, etc. | Son tóxicos, pueden interferir con el tratamiento y reúso del efluente. |
| Sólidos inorgánicos disueltos | Debido al uso doméstico o industrial se incrementan con respecto a su nivel en el suministro de agua. | Pueden interferir con el reúso del efluente. |

*Refractario: se aplica al cuerpo que resiste la acción de agentes químicos o físicos, especialmente altas temperaturas, sin descomponerse.

1.1 Sólidos suspendidos

Un metro cúbico de agua residual contiene alrededor de 500 gramos de sólidos totales; éstos pueden estar en forma suspendida o en disolución. Los sólidos totales se determinan evaporando un volumen determinado de muestra y pesando el residuo remanente. Los resultados se expresan en mg/L.

De los aproximadamente 500 gramos de sólidos totales, la mitad son sólidos disueltos tales como calcio, sodio y compuestos orgánicos solubles. Los 250 gramos restantes son insolubles.

La fracción insoluble consiste en aproximadamente 125 gramos de material que puede sedimentarse en 30 minutos si se deja al agua en condiciones de quietud. Los 125 gramos restantes permanecerán en suspensión por mucho tiempo.

Para la determinación de los *sólidos suspendidos* y de los *sólidos disueltos* se requiere filtrar la muestra. La filtración se lleva a cabo por medio de un filtro de membrana. Para determinar los sólidos suspendidos, el filtro es secado y pesado; en seguida se filtra un volumen determinado de muestra, se le seca y pesa otra vez. La diferencia de peso dividida por el volumen de muestra utilizada, proporciona la concentración de sólidos suspendidos. Para la determinación de los sólidos disueltos, del líquido filtrado se toma un cierto volumen, se evapora hasta su secado y se pesa el residuo remanente. Basta realizar dos de las determinaciones de las concentraciones de sólidos y la tercera viene dada por la suma o diferencia de las otras dos.

Los *sólidos volátiles* son aquella fracción que se volatiliza a 550°C. La concentración de sólidos volátiles se suele considerar como una medida aproximada del contenido de materia orgánica, o en ciertos casos, de las concentraciones de sólidos biológicos tales como bacterias o protozoos. Los sólidos volátiles pueden determinarse sobre la muestra original (sólidos volátiles totales), sobre la fracción suspendida (sólidos suspendidos volátiles) o sobre la fracción filtrada (sólidos disueltos volátiles). La determinación se hace por incineración en una mufla del residuo obtenido en el análisis de los sólidos totales. Cuando se trata de determinar los sólidos suspendidos volátiles, debe añadirse, bien un filtro de vidrio (el cual dará lugar a una pequeña pérdida de peso, que habrá que corregir) o un filtro de acetato de celulosa (no da lugar a cenizas). La fracción volátil se obtiene por diferencia entre el residuo remanente después del secado y el posterior a la incineración. Este último se denomina *sólidos fijos* o *cenizas* y constituye una medida aproximada del contenido mineral del agua residual.

Los sólidos suspendidos son principalmente de naturaleza orgánica; están formados por algunos de los materiales más objetables contenidos en el agua residual. La mayor parte de los sólidos suspendidos son desechos humanos, desperdicios de alimentos, papel, trapos y células biológicas que forman una masa de sólidos suspendidos en el agua. Incluso las partículas de materiales inertes adsorben sustancias orgánicas en su superficie.

1.2 Compuestos orgánicos biodegradables

Aunque los sólidos suspendidos orgánicos son biodegradables a través de la hidrólisis, comúnmente se considera que son orgánicos solubles. Los constituyentes orgánicos solubles de las aguas residuales están compuestos principalmente de:

< Proteínas: 40 a 60%

< Carbohidratos: 25 a 50%

< Lípidos: aproximadamente 10%

Las proteínas son principalmente aminoácidos, mientras que los carbohidratos son azúcares, almidones y celulosa. Los lípidos incluyen grasas y aceites. Todos estos materiales contienen carbono, que puede ser convertido biológicamente a bióxido de carbono, ejerciendo así una demanda de oxígeno. Las proteínas contienen nitrógeno, de manera que también ejercen una demanda de oxígeno nitrogenada.

El método usado comúnmente para la medición de la cantidad de material orgánico demandante de oxígeno es la prueba de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Esta prueba se basa en la premisa de que toda la materia orgánica biodegradable contenida en una muestra de agua será oxidada a CO_2 y H_2O por microorganismos que usan el oxígeno molecular.

El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental para la realización del proyecto y explotación de la infraestructura tanto de recogida como de tratamiento y evacuación de las aguas residuales, así como la gestión de calidad del medio ambiente.

1.3 Composición de las aguas residuales del ITTG

La Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996 establece los límites máximos permisibles para contaminantes de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, no deben ser superiores a los indicados en la tabla 1. Para las grasas y aceites es el promedio ponderado en función del caudal, resultante de los análisis practicados a cada una de las muestras simples.

Tabla 1. Valores máximos permisibles NOM-002-SEMARNAT-1996

| LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES | | | |
|---|---------------------|--------------------|-------------|
| PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra) | Promedio Mensual | Promedio Diario | Instantáneo |
| Grasas y aceites | 50 | 75 | 100 |
| Sólidos sedimentables (mililitros por litro) | 5 | 7.5 | 10 |
| Arsénico total | 0.5 | 0.75 | 1 |
| Cadmio total | 0.5 | 0.75 | 1 |
| Cianuro total | 1 | 1.5 | 2 |
| Cobre total | 10 | 1.5 | 20 |
| Cromo hexavalente | 0.5 | 0.75 | 1 |
| Mercurio total | 0.01 | 0.015 | 0.02 |
| Níquel total | 4 | 6 | 8 |
| Plomo total | 1 | 1.5 | 2 |
| Zinc total | 6 | 9 | 12 |

Los límites máximos permisibles establecidos en la columna instantáneo, son únicamente valores de referencia, en el caso de que el valor de cualquier análisis exceda el instantáneo, el responsable de la descarga queda obligado a presentar a la autoridad competente en el tiempo y forma que establezcan los ordenamientos legales locales, los promedios diario y mensual, así como los resultados de laboratorio de los análisis que los respaldan.

En un estudio fisicoquímico realizado por: Leticia Trujillo Ávila estudiante de posgrado de la maestría de ingeniería bioquímica, se encontró la composición de las aguas residuales de esta institución tabla 1.1.

Tabla 1.1. Comparación entre los límites máximos permisibles de acuerdo a la NOM-002-SEMARNAT-1996 y los resultados de la caracterización de aguas residuales.

| PARÁMETROS | NOM-002- SEMARNAT- 1996 | ITTG | |
|------------------------------|-------------------------------|----------------------|---------------------|
| | | Época de estiaje* | Época de lluvia* |
| Temperatura (°C) | 40 | 27.4(0.54) | 27(0.54) |
| pH | 10 | 7(0.44) | 7(0.44) |
| Materia flotante | Ausencia | Presencia | Presencia |
| DQO (mg/L) | N.A** | 980.86(355.40) | 93.6(13.68) |
| DBO ₅ (mg/L) | 60 | 548.4(204.73) | 66.2(9.25) |
| Grasas y aceites (mg/L) | 75 | 495.15(248.65) | 0.172 (0.17) |
| Sólidos sedimentables (ml/L) | 2 | 20.33(12.3) | 2.16(1.6) |

*Desviación estándar entre paréntesis.

**No Aplica.

Índice de biodegradabilidad: 0.55

CAPITULO 2. ELIMINACION DE PARTICULAS POR SEDIMENTACION

2.1 Teoría de la sedimentación.

Definimos como "sedimentación" al proceso natural por el cual las partículas más pesadas que el agua, que se encuentran en su seno en suspensión, son removidas por la acción de la gravedad.

Las impurezas naturales pueden encontrarse en las aguas según tres estados de suspensión en función del diámetro. Éstos son:

- a) Suspensiones hasta diámetros de 10^{-4} cm.
- b) Coloides entre 10^{-4} y 10^{-6} cm.
- c) Soluciones para diámetros aún menores de 10^{-6} cm.

Estos tres estados de dispersión dan igual lugar a tres procedimientos distintos para eliminar las impurezas.

El primero destinado a eliminar las de diámetros mayores de 10^{-4} cm. Constituye la "sedimentación simple".

El segundo implica la aglutinación de los coloides para su remoción a fin de formar un "floc" que pueda sedimentar. Finalmente, el tercer proceso, que esencialmente consiste en transformar en insolubles los compuestos solubles, aglutinarlos para formar el "floc" y permitir así la sedimentación.

Es decir que en muchos casos, las impurezas pueden ser, al menos en teoría removidas mediante el proceso de sedimentación.

A continuación un cuadro en el que se presenta a título ilustrativo valores de la "velocidad de sedimentación" correspondiente a partículas de peso específico 2,65

kg/dm³ y a una temperatura del agua de 10° C, teniendo en cuenta distintos diámetros y los tiempos necesarios para sedimentar 0,3 m.

Tabla 1.2. Velocidad de sedimentación de diferentes partículas y tamaños. (Pérez Farrás 2005).

| D (mm) | Clasificación | Velocidad de sedimentación (mm/s) | Tiempo para sedimentar 0.3 m |
|---------------|---------------|-----------------------------------|------------------------------|
| 10 | Grava | 1000,00 | 0.3 seg. |
| 1.0 | grava | 100,00 | 3,0 seg. |
| 0.1 | Arena gruesa | 8,00 | 38 seg |
| 0.01 | Arena fina | 0,154 | 33 min. |
| 0.001 | Bacterias | 0,00154 | 35 horas |
| 0.001 | Coloides | 0,0000154 | 230 días. |
| 0.0001 | coloides | 0,000000154 | 63 años |

De un rápido análisis del cuadro se deduce que en la práctica es necesario establecer un tiempo límite para la sedimentación estableciendo a priori el diámetro mínimo que la estructura podrá remover. Lo contrario implicaría diseñar tanques de sedimentación incompatibles con las posibilidades económicas y aún físicas de los proyectos.

La sedimentación es una operación unitaria consistente en la separación por la acción de la gravedad de las fases sólida y líquida de una suspensión diluida para obtener una suspensión concentrada y un líquido claro.

Se pueden distinguir dos tipos de sedimentación, atendiendo al movimiento de las partículas que sedimentan:

- **Sedimentación libre:** se produce en suspensiones de baja concentración de sólidos. La interacción entre partículas puede considerarse despreciable, por lo que sedimentan a su velocidad de caída libre en el fluido.

- **Sedimentación por zonas:** se observa en la sedimentación de suspensiones concentradas. Las interacciones entre las partículas son importantes, alcanzándose velocidades de sedimentación menores que en la sedimentación libre. La sedimentación se encuentra retardada o impedida. Dentro del sedimentador se desarrollan varias zonas, caracterizadas por diferente concentración de sólidos y, por lo tanto, diferente velocidad de sedimentación.

Dependiendo de cómo se realice la operación, la sedimentación puede clasificarse en los siguientes tipos:

- **Sedimentación intermitente:** el flujo volumétrico total de materia fuera del sistema es nulo, transcurre en régimen no estacionario. Este tipo de sedimentación es la que tiene lugar en una probeta de laboratorio, donde la suspensión se deja reposar.

- **Sedimentación continua:** la suspensión diluida se alimenta continuamente y se separa en un líquido claro y una segunda suspensión de mayor concentración. Transcurre en régimen estacionario.

2.1.1 sedimentación por zonas

En la figura 2 se representa el proceso de sedimentación por zonas en una probeta. Este proceso consta de las siguientes etapas: en un principio el sólido, que se encuentra con una concentración inicial x_0 (figura 2a), comienza a sedimentar (figura 2b), estableciéndose una interfase 1 entre la superficie de la capa de sólidos que sedimentan y el líquido clarificado que queda en la parte superior (zona A). La zona por debajo del líquido clarificado se denomina zona interfacial (zona B). La concentración de sólidos en esta zona es uniforme, sedimentando toda ella como una misma capa de materia a velocidad constante V_s . Esta velocidad de sedimentación puede calcularse a partir de la pendiente de la representación de la altura de la interfase 1 frente al tiempo, tal y como se muestra en la figura 2.

Simultáneamente a la formación de la interfase 1 y de la zona interfacial, se produce una acumulación y compactación de los sólidos en suspensión en el fondo de la probeta, dando lugar a la denominada zona de compactación (zona D). En esta zona la concentración de sólidos en suspensión es también uniforme y la interfase que bordea esta zona, interfase 2, avanza en sentido ascendente en el cilindro con una velocidad constante V .

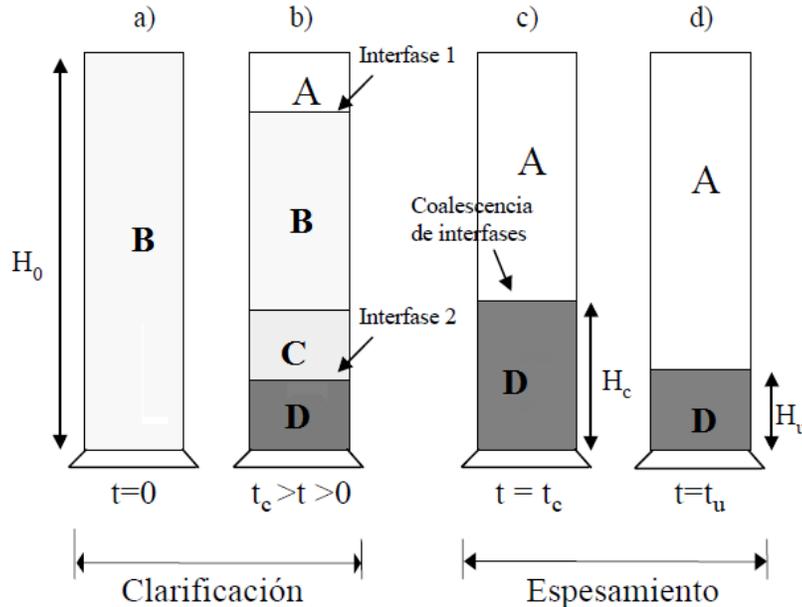


Figura 2. Proceso de sedimentación por zonas.

Entre la zona interfacial y la zona de compactación se encuentra la zona de transición (zona C). En esta zona la velocidad de sedimentación de los sólidos disminuye debido al incremento de la viscosidad y de la densidad de la suspensión, cambiando la concentración de sólido gradualmente entre la correspondiente a la zona interfacial y la de la zona de compactación.

Las zonas de compactación e interfacial pueden llegar a encontrarse, produciéndose la coalescencia de las dos interfases anteriormente citadas, en el denominado momento crítico t_c , desapareciendo la zona de transición (figura 2c). En este momento el sólido sedimentado tiene una concentración uniforme X_c o concentración crítica, comenzando la compactación y alcanzándose, posteriormente, la concentración final X_u (figura 2d).

La velocidad de sedimentación en el momento t_c corresponde a un valor V_c dado por la pendiente de la tangente a la curva de sedimentación en el punto C, tal y como se indica en la figura 2 donde $V_c < V_s$

CAPITULO 3. GRASAS Y ACEITES

Por definición, los lípidos son componentes biológicos que son solubles en solventes no polares como benceno, cloroformo y éter, y son prácticamente insolubles en agua. Consecuentemente, éstas moléculas son diversas tanto en lo referente a su estructura química como a su función biológica. Se distinguen en ellos los ácidos grasos, las grasas y aceites, los jabones, etc.

La denominación de “grasas y aceites” se refiere únicamente al estado físico sólido o líquido de este tipo de lípidos y no tienen ninguna relación con cualquier otra propiedad; la estructura y la química no varía (Alais y Linden, 1990). Las grasas y aceites son ésteres formados por la condensación (unión) de ácidos grasos con glicerol. En general, las grasas y aceites comestibles o alimenticias están formadas básicamente por triacilgliceridos (TAG), que consisten en mono, di o triésteres; ya que el glicerol es un trialcohol que puede dar origen a los compuestos mencionados. En la molécula del triacilglicerol se crea un centro quiralico si los dos grupos OH primarios del glicerol están esterificados con dos ácidos grasos diferentes. El número de TAG posibles se deduce del número "n" de ácidos grasos existentes en la grasa.

3.1. Propiedades de aceites y grasas

3.1.1 Propiedades físicas

Para las propiedades físicas más relevantes se tiene:

- Solubilidad

Las grasas y aceites se caracterizan principalmente por su virtual inmiscibilidad en agua, sin embargo son miscibles en muchos solventes orgánicos no polares. La solubilidad depende de las propiedades termodinámicas del soluto y disolvente, y las fuerzas relativas de atracción entre las moléculas. La solubilidad ideal se puede calcular a partir de las propiedades termodinámicas, en todo caso la solubilidad real generalmente presenta desviaciones positivas.

- Tensión superficial e interfacial

En este aspecto las grasas, aceites y ácidos grasos están separados. Los aceites comerciales tienden a tener más baja tensión superficial e interfacial debido a la presencia de componentes polares de superficie activa, tales como monoglicéridos, fosfolípidos y jabones. Los monoglicéridos y jabones pueden reducir la tensión interfacial entre agua y aceite.

- Densidad

Los valores de densidad para aceites están, generalmente, en el rango comprendido entre 0,92 a 0,964 g/L. La densidad se incrementa cuando decrece el peso molecular e incrementa con la insaturación. La densidad se incrementa aproximadamente en forma lineal con el incremento de la temperatura. Las densidades de grasas en estado sólido son mucho más altas, aproximadamente el valor de 1 g/L.

3.1.2 Propiedades químicas

Muchas de las grasas y aceites tienen solo dos grupos funcionales reactivos: El éster que enlaza el ácido graso al glicerol vertebral y el doble enlace en la cadena del alquil lateral. El doble enlace influye en la reactividad del átomo de carbono alílico, particularmente cuando hay dobles enlaces múltiples presentes. La hidrólisis, metanólisis e interesterificación son las principales reacciones químicas de los TriAcilGliceridos (Belitz y Grosch, 1988)

- Hidrólisis

Por acción de los álcalis como KOH / CH₃OH, se escinde la grasa, resultando como productos glicerol y una sal de ácido graso (jabón), como se señala en la Figura 3.1.

A partir de la sal resultante se obtienen los ácidos grasos libres al ser acidificada, esta reacción es relevante desde el punto de vista analítico.



Figura 3.1. Reacción de hidrólisis

3.2 Clases de aceite y grasas en agua residuales

Las grasas animales y los aceites vegetales son cuantitativamente el tercer componente de los alimentos. Los tipos de grasas y aceites más frecuentemente presentes en los sistemas de alcantarillado corresponden a aceites de tipo vegetal y grasas de tipo animal. Las grasas y aceites son de los compuestos orgánicos

más estables y no son fácilmente biodegradables; sin embargo los ácidos minerales las atacan, dando como resultado la formación de ácidos grasos y glicerina. En presencia de álcalis, tales como el hidróxido sódico, la glicerina se libera y se forman sales alcalinas de los ácidos grasos (Bailey y Ollis, 1986). También desembocan al alcantarillado, el queroseno y los aceites lubricantes y los procedentes de materiales bituminosos derivados del petróleo, utilizados en la construcción de carreteras. En su mayoría flotan sobre el agua residual, aunque una parte de ellos es arrastrada con el fango por los sólidos sedimentables. Incluso en mayor proporción que las grasas, aceites y jabones, los aceites minerales tienden a recubrir las superficies. Las partículas interfieren con la actividad biológica y causan problemas de mantenimiento (Metcalf y Eddy, 1985).

3.3 Remoción de grasas y aceites.

Las aguas residuales provenientes de restaurantes, lavanderías y estaciones de servicio contienen por lo general cantidades considerables de grasas, aceites y detergentes. Al permitir el ingreso de tales elementos al interior de los tanques sépticos, existe la posibilidad de que sean descargados junto con el efluente del tanque en los sistemas de disposición sobre el suelo, o a las subsiguientes unidades del sistema de tratamiento. Las grasas y aceites, junto con los sólidos suspendidos tienden a acumularse sobre la superficie de los sistemas de disposición sobre el suelo, limitando la capacidad de infiltración del terreno. La concentración típica de grasas y aceites presentes en aguas residuales de restaurantes puede tomar valores que van desde 1000 hasta 2000 mg/L, o más.

Para evitar los problemas ocasionados por su presencia, tanto en unidades de sistemas descentralizados de tratamientos como en disposición, la concentración de grasas y aceites en el efluente de estos sistemas debe ser menor a 30 mg/L.

Recientemente, los problemas asociados con la remoción de grasas y aceites se han hecho cada vez más complejos, debido al aumento de productos de cocina que contienen grasa y aceites, por ejemplo, aceite de oliva, manteca de cerdo, etc.) el problema se agrava aún más gracias a la existencia de aceites solubles a temperaturas relativamente bajas, lo cual dificulta su remoción. En general los tanques receptores de desnatación se emplean para retener las grasas por enfriamiento y flotación, y los aceites por flotación. El contenido de un tanque interceptor ayuda a enfriar el caudal afluente y mejora la solidificación de grasas.

Para conseguir que la flotación sea efectiva es necesario que el tanque separador retenga el agua a tratar por un periodo de tiempo adecuado (normalmente mayor a 30 minutos).

3.3.1 Remoción local de grasas y aceites.

A pesar de contar en el mercado con un gran número de trampas de grasa y aceites, la eficiencia que proveen estos equipos está limitada por los cortos tiempo de estas unidades. Muchas de ellas se valoran con respecto al caudal medio sin tomar en cuenta los caudales pico, como los que se observan en restaurantes y lavanderías, el uso de tanques sépticos convencionales como unidades para la separación de grasas es necesario revisar las conducciones asociadas, ya que dependiendo de la configuración del tanque puede ser necesario modificarlos. Por lo general, la entrada al tanque se ubica debajo del nivel del agua y la salida

cerca al fondo del mismo. Los tanques sépticos proporcionan un mayor volumen, con respecto a las trampas de grasas, lo cual resulta positivo para el tratamiento por cuanto permite alcanzar una máxima separación de grasas y aceites. Para descargas de restaurantes, el uso efectivo de tres unidades en serie proporciona una efectiva separación de grasas y aceites.

3.3.2 Remoción de grasas y aceites en plantas de tratamientos.

En presencia de grandes cantidades de grasas y aceites en plantas de centralizadas de aguas residuales, se acostumbra emplear un sistema que combina la remoción de arenas por aeración y la remoción de espumas o natas por barrido superficial. Los interceptores de grasas o trampas de grasa son uno de esos sistemas que mejoran sustancialmente el desempeño de una planta de tratamiento; así como el de las tuberías de descarga y drenajes.

3.3 Objetivos de la separación de grasas y aceites

Las grasas y los aceites son un contaminante muy frecuente en las aguas residuales de cualquier planta industrial, por lo que se han desarrollado técnicas y procesos específicos para su eliminación. En cambio, en las depuradoras de tipo urbano su concentración es relativamente baja y no justifica el empleo de procesos específicos, eliminándose en los desarenadores aireados o bien en los procesos de tipo biológico.

El proceso de separación consiste en la eliminación del agua residual de las grasas y aceites contaminantes que cumplan las siguientes condiciones:

- Estén en fase líquida.

- Se encuentren en estado libre (no eliminándose, en consecuencia, aquellos aceites y grasas que se encuentren disueltos o emulsionados).

Tengan una densidad menor que la del agua.

- El tamaño de la gota sea superior a un valor predeterminado en el diseño.

Generalmente el punto de corte se fija en 0,15 mm.

3.4 Misiones del proceso de separación de grasas y aceites

Entre las misiones que tiene encomendado el proceso de separación de grasas y aceites, se encuentran:

- Eliminación de la mayor parte de este contaminante del agua residual.
- Por tratarse en un número importante de casos de hidrocarburos volátiles, evitar la posible formación de atmósferas tóxicas o peligrosas.
- Disminuir riesgos de incendios por acumulación de compuestos potencialmente combustibles en las superficies.
- Evitar su presencia en los procesos biológicos por la toxicidad de una gran parte de estos compuestos.

3.5 Fundamentos teóricos de la separación

La separación de grasas y aceites en estos procesos se basa en la diferencia de peso específico entre el agua y el aceite. En el caso de que ambos pesos específicos sean muy próximos, o bien superior el del aceite a separar, estos procedimientos no son de aplicación.

La velocidad ascensional de una gota de aceite dentro de la masa de agua viene determinada por la Ley de Stokes. Para número de Reynolds bajo, donde las fuerzas de viscosidad predominan sobre las de inercia, viene dada por:

$$V = \frac{g * (S_w - S_0) * d^2}{18 * \mu} \quad (3.1)$$

Y para tamaño de gotas de aceite de tamaño igual o superior a 0,15 mm (punto de corte generalmente adoptado), la fórmula anterior queda de la forma siguiente:

$$V = \frac{1.224 * (S_w - S_0)}{\mu} \quad (3.2)$$

El peso específico del agua, así como su viscosidad, son función de la temperatura del agua.

3.5.1 Factores que afectan a la separación de grasas y aceites

Dentro de los factores que afectan al rendimiento de la separación agua-aceite, se encuentran:

- Tipo y composición del aceite que se pretende eliminar, debido a su peso específico.
- Estado en que se encuentra el aceite en el agua residual. Como ya se ha indicado con anterioridad, en estos procesos no se eliminan aquellas grasas y aceites que se encuentren emulsionados o bien disueltos.
- Régimen de flujo.
- Tamaño de la gota (de forma generalizada, se diseña para eliminar aquellas partículas de diámetro igual o superior al fijado previamente, normalmente 0,15 mm).

3.6 Equipos utilizados en separación de grasas y aceites

Para llevar a cabo este proceso se utilizan los siguientes equipos:

- Trampas de aceites

- Separadores API (American Petroleum Institute)
- Separadores de placas
- Tanques gravimétricos

El rendimiento de estos equipos no suele ser suficiente para alcanzar los límites exigidos por la normativa legal en el vertido, al no eliminar las grasas y aceites que se encuentran emulsionados o disueltos, así como aquellas gotas de tamaño inferior a fijado en el diseño, de tal forma que en las plantas depuradoras que precisan eliminar este tipo de compuestos, posteriormente a esta unidades se suele precisar tratamientos posteriores de afino. Este proceso es considerado un pretratamiento.

- Trampas de aceite:

En todos aquellos casos en que sea precisa la eliminación de grasas y aceites en cantidades y volúmenes reducidos, como puede ser el caso de garajes, talleres, restaurantes, etc., el empleo de trampas de aceite puede ser suficiente, requiriendo estos equipos una limpieza y atención frecuente, con el fin de conseguir unos rendimientos aceptables.

- Separador tipo API

Este tipo de separadores consiste en un canal de sección rectangular, trabajando en régimen del flujo laminar y con un tiempo de retención que permita a las gotas de aceite a separar alcanzar la superficie de donde serán eliminadas.

Con el fin de facilitar la separación, se instalan unas barrederas superficiales perpendiculares a las paredes laterales del canal y arrastradas por unas cadenas

sinfín, que se desplazan en la misma dirección del flujo, acumulando el aceite en las proximidades de un skimmer, que facilita la eliminación.

Debido a la disminución de la velocidad del agua, en estos equipos tiene lugar una decantación de parte de los sólidos en suspensión presentes en el agua residual. Estos sólidos son arrastrados a uno de los extremos del separador, por las barrederas en el camino de regreso, acumulándose en unos pocetos de donde son extraídos por bombeo y enviados a tratamiento de fangos.

Con el fin de no producir turbulencias en el seno del líquido, la velocidad de las rasquetas debe ser muy lenta.

- Separadores de placas

A medida que las plantas han incrementado su capacidad de producción y, en consecuencia, su generación de aguas residuales, es preciso aumentar el tamaño o el número de los mencionados APIs, lo que lleva consigo un aumento importante de la superficie necesaria, no siempre disponible, además de que, a mayor superficie de lámina de agua, mayor influencia de agentes meteorológicos como temperatura y viento, con los problemas que ello conlleva.

Entre las ventajas que presentan los separadores de placas, se encuentran:

- Aumenta la superficie de separación de las grasas y aceites, lo que lleva consigo una reducción importante en el ahorro del terreno preciso para su instalación.
- Se generan menos turbulencias lo que conlleva una disminución de la posibilidad de formación de cortacircuitos hidráulicos.

- Requieren menos tiempo de retención, al tener que recorrer la gota de aceite a separar solamente la distancia vertical entre las dos placas.

La separación entre placas y el ángulo con la horizontal varían de unos fabricantes a otros, situándose entre 2 y 4 cm.

- Tanques gravimétricos

Entre las ventajas que presentan los tanques gravimétricos frente a los otros tipos de separadores, se encuentran:

- Al disponer de un volumen elevado, además de la separación de aceites, tiene lugar una cierta capacidad de homogeneización del influente, lo que redundará en una mayor eficacia de los tratamientos posteriores.
- La posibilidad de dosificación en la línea de alimentación (zona de máxima turbulencia) de algún producto con propiedades desmulsionantes, que va a mejorar el rendimiento de separación de aceites. (Sainz Sastre, 2004).

CAPITULO 4. DISEÑO DEL TRATAMIENTO PRIMARIO.

4.1 diseño del sedimentador.

4.1.2 FUNDAMENTOS DE DISEÑO DEL SEDIMENTADOR.

El sedimentador tiene por objeto separar del agua cruda partículas inferiores a 0,2 mm y superiores a 0,05 mm, es decir que nos encontramos en régimen laminar, tal y como se refleja en la figura 4.1. y la ecuación que lo gobierna es la Ley de Stokes

$$V_s = \frac{1}{18} \cdot g \cdot \left(\frac{\rho_s - 1}{\eta} \right) \cdot d^2$$

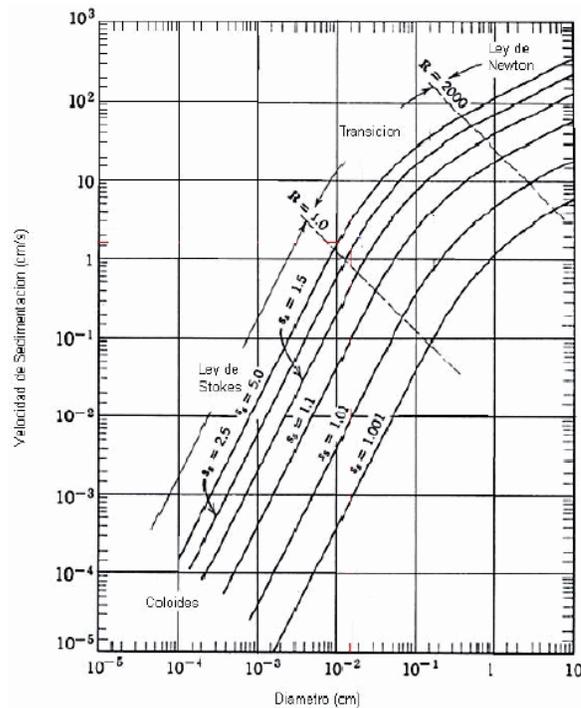


Figura 4.1. Velocidad de sedimentación. Fair *et al.* (1979)

Mediante la figura 4.1 podemos saber la velocidad de sedimentación si conocemos el diámetro de las partículas más finas que queremos que no pasen a la etapa de tratamiento.

Los tanques de sedimentación ideales son fundamentales para el entendimiento y diseño de los sedimentadores. El modelo seleccionado es el de un sedimentador ideal constituido por 4 zonas (Ramalho, 1991):

1. Zona de entrada: En esta el flujo se puede considerar laminar. Se supone que al final de esta zona las partículas se distribuyen uniformemente de acuerdo a como sea su zona de entrada
2. Zona de sedimentación: La partícula deja de estar en suspensión cuando llega al fondo de esta zona.
3. Zona de salida: Zona donde el agua residual es recogida antes de su salida al proceso siguiente.
4. Zona de lodos: En esta zona se depositan los lodos para, luego ser evacuados en un proceso de purga, o de ser necesario en un proceso de recirculación de los mismos.

En la figura 4.2 se muestra un esquema de lo anteriormente dicho.

En este esquema conceptual se supone que solo las partículas que alcanzan a cruzar la frontera entre la zona de lodos y la zona de sedimentación, serán consideradas sedimentadas.

Todas las partículas, como es natural tienen dos vectores componentes de velocidad; al primero de ellos se le denominará V , el cual es paralelo al fondo del tanque sedimentador y es causado por la velocidad inicial horizontal, con la cual las partículas entran al tanque de sedimentación; al segundo se le denominará V_v , y es causado por la atracción gravitatoria y está dirigida hacia abajo, tal y como se observa en la figura 4.2.

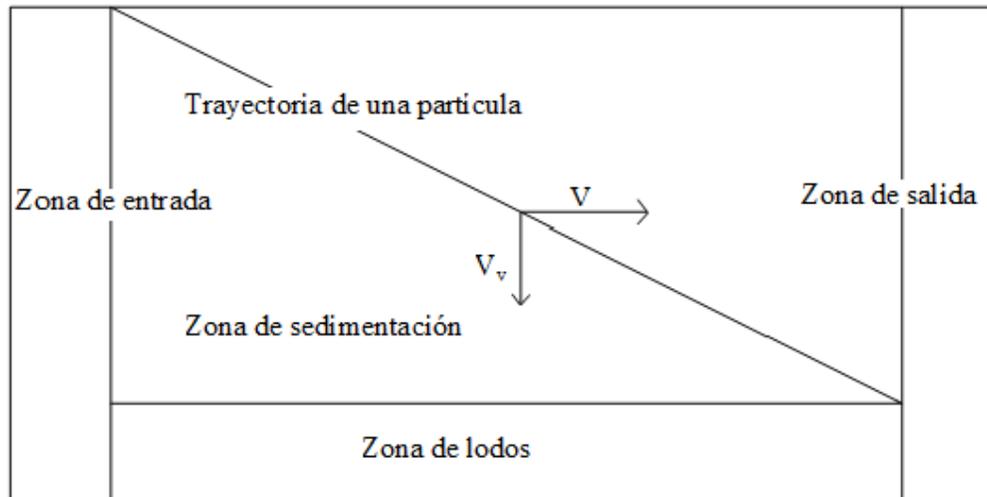


Figura 4.2. Esquema conceptual en corte longitudinal de un sedimentador ideal.

4.1.3 descripción de los tanques de sedimentación simple.

La sedimentación puede llevarse a cabo en tanques rectangulares alargados o en tanque circulares.

En estos tanques los sólidos sentados se substraen continuamente o a intervalos frecuentes, para no dar tiempo a que se desarrolle la descomposición de con formación de gases. De ahí pasan los sólidos a otras unidades. Los sólidos pueden irse acumulando por gravedad, en una tolva o embudo, o hacia un punto mas bajo del fondo del tanque, de donde se bombean o descargan por la presión hidrostática. No obstante este método ha sido reemplazado por el uso de equipo mecánico para recolectar los sólidos en la tolva, de donde son descargados por bombeo.

Los lodos deben retirarse del tanque de sedimentación antes de que se desarrollen en él condiciones anaerobias. Si los lodos comenzaran a descomponerse, se producirían burbujas de gas que se adherirían a las partículas

de sólidos que, en vez de sedimentarse, se elevarían hasta la superficie. De presentarse este caso se reduciría la compactación del lodo, lo que haría a su remoción menos eficiente.

La cantidad de lodo removido en la sedimentación primaria depende de variables tales como la composición del agua residual, la eficiencia del sedimentador (también llamado clarificador) y las características propias del lodo como son su densidad específica, contenido de agua, etcétera.

Tanques de sedimentación simple con limpieza mecánica. Estos tanque pueden ser rectangulares, circulares o cuadrados, pero todos operan por el principio de recolectar los sólidos sedimentados por medio de rastras de movimiento lento que los empuja hacia el sitio de descarga.

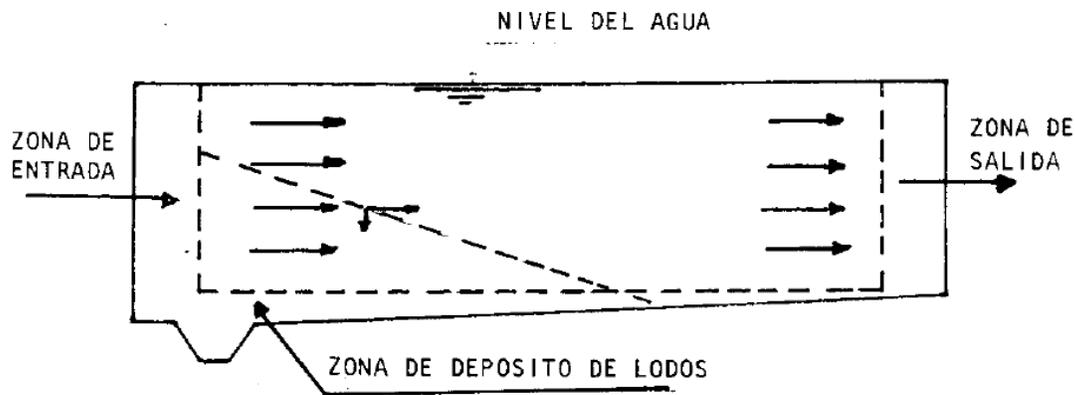


Figura 4.3. Sedimentador rectangular de flujo horizontal.

En la sedimentación existen factores que pueden afectar la eficiencia del dispositivo como son:

- Calidad del agua cruda
- Peso y grado de hidratación del floculo.
- Forma y tipo de Sedimentador

- Control del proceso
- Coagulantes que se usen
- Calidad del pretratamiento.
-

4.1.4 criterios de diseño.

Los criterios de diseño de los tanques de sedimentación primaria se presentan en la tabla 4.4. Cuando se trata de plantas grandes en las que se requiere de varios tanques rectangulares, se acostumbra diseñarlos con paredes comunes con el fin de reducir los costos de construcción y para aprovechar mejor el espacio. En el caso de plantas pequeñas es común diseñar tanques de tipo circular debido a la sencillez del dispositivo requerido para remover los lodos.

Tabla 4.4. Criterios de diseño para tanque de sedimentación primaria.

| Parámetro | Intervalo | Valor típico |
|--|-----------------|--------------|
| Tiempo de retención en h. | 1.5 – 2.5 | 2.0 |
| Carga superficial, en m ³ /m ² d | | |
| – Gasto medio | 32 – 48 | |
| – Gasto medio máximo ext. | 80 – 120 | 100 |
| Carga sobre el vertedor m ³ /m ² d | 125 – 500 | 250 |
| Dimensiones, en m. | | |
| Rectangular | | |
| Profundidad | 3 – 5 | 3.6 |
| Longitud | 15 – 90 | 25 – 40 |
| Ancho | 3 – 24 | 6 – 10 |
| Velocidad de rastra | 0.6 – 1.2 m/min | 1.0 |
| Circular | | |
| Profundidad | 3 – 5 | 4.5 |
| Diámetro | 3.6 – 60 | 12 – 45 |
| Pendiente de fondo | 60 – 160 mm/m | 80 |
| Velocidad de rastra | 0.02 – 0.05 rpm | 0.03 |

Fuente: Metcalf & Eddy, Inc.1985

Las eficiencias de remoción de tanques de sedimentación primaria dependen de la carga superficial. La remoción media de sólidos suspendidos de sistemas bien operados debe estar alrededor del 50 al 60%. La remoción de la DBO se refiere únicamente a la DBO de los sólidos removidos, dado que no se remueven orgánicos disueltos y la bioxidación en el tanque de sedimentación primaria es despreciable.

La eficiencia de los tanques de sedimentación para remover sólidos suspendidos totales (SST) y DBO puede verse afectada por las siguientes causas: corrientes arremolinadas en la entrada debidas a la inercia del fluido; corrientes inducidas por la acción del viento; corrientes de convección térmica; corrientes de densidad originadas por el acceso de aguas calientes o frías que promueven el movimiento de las capas de aguas calientes desde el fondo hacia la superficie del tanque; y estratificación térmica propias de climas calientes y áridos.

Los efectos ocasionados por acción de la temperatura pueden tener consecuencias importantes en tanques de sedimentación. Se ha observado que 1°C de diferencia entre la temperatura del influente de agua residual y la del agua contenida en el tanque, ocasiona la formación de corrientes de densidad. Los impactos por efecto de la temperatura dependerán del material que se desea remover y de sus características.

La elección de una tasa adecuada de carga superficial en metros cúbicos por metro cuadrado de área superficial por día, m^3/m^2d , depende del tipo de material en suspensión a sedimentar.

Cuando el área del tanque se ha determinado, el tiempo de retención de éste depende de la profundidad del agua. Las tasas de carga superficial recomendadas proporcionan tiempos de retención entre 2.0 y 2.5 horas, con base en el gasto medio de diseño.

El efecto que la tasa de carga superficial y el tiempo de retención ejercen sobre la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos varía ampliamente dependiendo de las características del agua residual, fracción de sólidos sedimentables, concentración de sólidos y de otros factores.

Es necesario enfatizar que las tasas de carga superficial deben ser lo suficientemente bajas como para asegurar su desempeño satisfactorio bajo condiciones de gasto máximo extraordinario.

Crterios de diseño

Como datos de inicio debemos conocer:

- Caudal necesario.
- Calidad fisicoquímica del agua.

Deberá cumplir las relaciones:

- ☒ El número de unidades mínimas en paralelo es de dos para efectos de mantenimiento. Se deberá disponer dos o más tanques con objeto de que el proceso no se interrumpa mientras uno de ellos esté fuera de servicio por razones de reparación o de mantenimiento.
- ☒ El periodo de operación es de 16 horas por día.
- ☒ El tiempo de retención se proyectarán para proporcionar un tiempo de retención entre 0.5 y 2.0 horas para el gasto medio del agua residual.

- ✘ La carga superficial: La adopción de una carga de superficie adecuada dependerá del tipo de suspensión que hay que sedimentar. Será conveniente poner especial atención en el hecho de que las cargas de superficie deberán ser lo eficientemente reducidas como para asegurar el rendimiento de las instalaciones en condiciones de gasto pico, que podrá variar entre tres veces el gasto medio para plantas pequeñas y el doble del gasto medio para plantas de grandes dimensiones. Será entre los valores de $2 - 10 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$.

Una vez que se haya establecido la superficie del tanque, el tiempo de retención vendrá gobernado por la profundidad del agua en el interior del tanque.

- ✘ La profundidad del sedimentador será entre 1,5 – 2,5 m.
- ✘ Carga sobre vertedor: En general, las cargas sobre vertedor tendrán escasa repercusión sobre el rendimiento de los tanques de sedimentación primaria, y no será preciso tenerlas en cuenta a la hora de analizar la conveniencia del proyecto de un tanque de sedimentación. Serán más importantes la ubicación de los vertedores y el diseño de los tanques
- ✘ El fondo de la unidad debe tener una pendiente entre 5 a 10% para facilitar el deslizamiento del sedimento.
- ✘ La velocidad en los orificios (V_o) no debe ser mayor a 0,1 m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación.
- ✘ Se debe aboquillar los orificios en un ángulo de 15° en el sentido del flujo.

- ✘ La descarga de lodos se debe ubicar en el primer tercio de la unidad, pues el 80% del volumen de los lodos se deposita en esa zona.
- ✘ Se debe efectuar experimentalmente la determinación del volumen máximo que se va a producir
- ✘ El caudal por metro lineal de recolección en la zona de salida debe ser igual o inferior a 3 L/s.
- ✘ La sección de la compuerta de la evacuación de lodos (A_2) debe mantener la relación. Donde t es el tiempo de vaciado.
- ✘ La ubicación de la pantalla difusora debe ser entre 0.7 a 1.00 m de distancia de la pared de entrada.
- ✘ Los orificios más altos de la pared difusora deben estar a $1/5$ o $1/6$ de la altura (H) a partir de la superficie del agua y los más bajos entre $1/4$ ó $1/5$ de la altura (H) a partir de la superficie del fondo.
- ✘ Los canales de entrada del agua a tratar se deberán situar transversalmente a los tanques en la zona de entrada, de forma similar a los canales de recepción del efluente en la zona de salida. También convendrá ubicar las instalaciones de bombeo del lodo cerca de los receptores de lodo ubicados en los extremos de los tanques.
(OPS/CEPIS/05.158 UNATSABAR, 2005).

4.1.5 Dimensionamiento

- a) Determinación del área superficial mínima requerida para conseguir la clarificación de los lodos. El área mínima requerida A_c para la clarificación depende de la velocidad V_s para cual las partículas en suspensión se sedimentan antes de alcanzar la concentración crítica interfacial X_c . En condiciones de caudal constante, la velocidad del agua sobre el vertedero no debe exceder de V_s si se quiere obtener la clarificación. Esto se deriva directamente del concepto de básico de tanque de sedimentación ideal.

$$A_s = \frac{Q}{V_s} \quad (4.1)$$

Donde: V_s : Velocidad de sedimentación (m/s)
 Q : Caudal de diseño (m^3/s)

- b) Determinar las dimensiones de largo L (m), ancho B (m) y altura h (m) de manera tal que se cumplan las relaciones o criterios mencionados anteriormente. Considerando el espaciado entre la entrada y la cortina o pared de distribución de flujo.
- c) Determinar la velocidad horizontal V_H (m/seg) de la unidad mediante la ecuación. El cual debe cumplir con las relaciones mencionadas anteriormente.

$$V_H = \frac{100 * Q}{B * H} \quad (4.2)$$

- d) Determinar el tiempo de retención T_o (horas), mediante la relación

$$T_o = \frac{\text{Volumen}}{Q} \quad (4.3)$$

- e) Determinar el número de orificios, cumpliendo con los criterios de diseño.

$$A_o = \frac{Q}{V_o} \quad (4.4)$$

Donde: V_o : Velocidad en los orificios (m/s)

Q : Caudal de diseño (m^3/s)

A_o : Área total de orificios (m^2)

$$n = \frac{A_o}{A_o} \quad (4.5)$$

Siendo: A_o : Área de cada orificio (m^2)

n : número de orificios

- f) La ubicación de la pantalla difusora debe ser entre 0,7 a 1,00 m de distancia de la pared de entrada
- g) Los orificios más altos de la pared difusora deben estar a 1/5 o 1/6 de la altura (H) a partir de la superficie del agua y los más bajos entre 1/4 o 1/5 de la altura (H) a partir de la superficie del fondo.

Figura 4.5

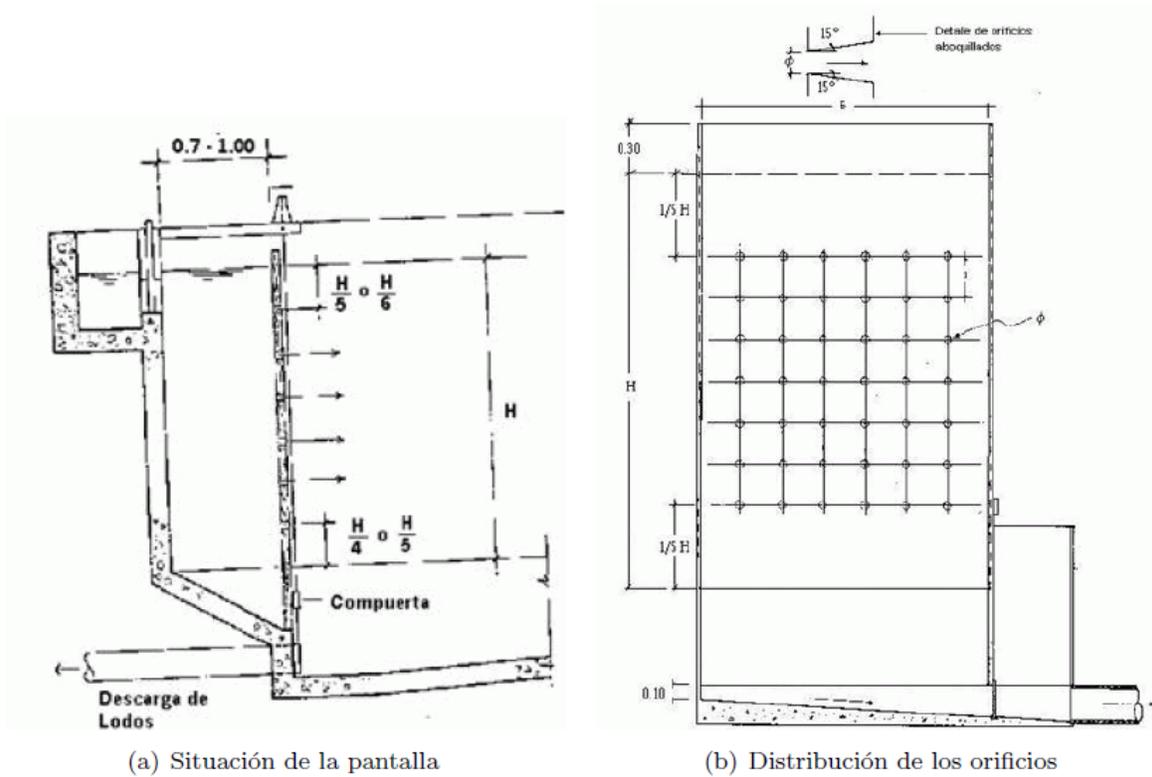


Figura 4.5. Pantalla difusora del sedimentador (a) y (b). Fuente: OPS/CEPIS/05.158 UNATSABAR, 2005.

4.1.6 balance de materias para un sedimentador primario.

Los sedimentadores primarios se diseñan para una separación determinada (40%-60%) de los sólidos en suspensión en el vertido de entrada. En la figura 1.6 deben considerarse:

$Q_o = m^3/d$ del influente

$X_o = mg/L$ de sólidos suspendidos en el afluente

$Q_e = m^3/d$ del efluente (rebosadero del sedimentador)

$X_e = mg/L$ de sólidos suspendidos que permanecen en el líquido clarificado

$Q_u = m^3/d$ del caudal que sale por abajo del sedimentador

$X_u = mg/L$ de sólidos suspendidos del caudal separado

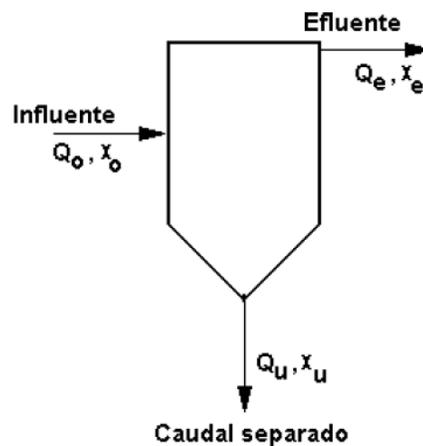


Figura 4.6. Balance de materia de un sedimentador primario. (Fuente Ramalho 1996)

Un balance total de los líquidos en circulación nos daría:

$$Q_o = Q_e + Q_u \quad (4.6)$$

Un balance material para sólidos en suspensión nos daría:

$$Q_o X_o = Q_e X_e + Q_u X_u \quad (4.61)$$

Combinando las ecuaciones (4.6) y (4.61)

$$Q_e = \frac{Q_o (X_u - X_o)}{X_u - X_e} \quad (4.62)$$

Y

$$Q_u = Q_o - Q_e \quad (4.63)$$

La concentración de los lodos separados se determina considerando el proceso de su manipulación y vertido. Pueden llevarse a cabo ensayos para determinar la correlación entre las concentraciones de los lodos y el tiempo de retención, sin más que separar muestras de la última válvula de la columna de sedimentación.

4.1.7 cálculos del sedimentador.

Los datos primordiales para realizar los cálculos son:

- Caudal de diseño: se optó por un flujo de 5 L/s ya que es el que nos proporcionó medidas reales y creíbles. Se decidió calcular el flujo teóricamente, ya que por cuestiones de accesibilidad de medición del flujo es muy difícil obtenerlo del desagüe del agua residual de la institución, el registro de las aguas desembocan tres diferentes tuberías que provienen de diferentes lugares de la institución educativa ubicadas a diferentes profundidades y de flujos no constantes y diversos. La tubería final que conduce estas aguas desemboca en un registro fuera de la institución por lo cual es no se puede acceder a ello y no tener el equipo necesario para obtener el flujo experimentalmente.

- La velocidad de sedimentación: se decidió utilizar un valor teórico recomendado por la Organización Panamericana de la Salud concretamente a la guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores. (OPS/CEPIS/05.158 UNATSABAR, 2005).

Se tiene como datos:

Caudal de diseño: $Q = 0.005 \text{ m}^3/\text{s}$

Velocidad de sedimentación: $V_s = 0.0011 \text{ m/s}$

- ~ El primer paso es calcular el área superficial de la zona de sedimentación, de acuerdo a la relación

$$A_s = \frac{Q}{V_s}$$
$$A_s = 4.54 \text{ m}^2$$

- ~ Se asume un ancho del Sedimentador y se determina la longitud de la zona de sedimentación.

$$B = 2 \text{ m}$$

$$L_2 = A_s / B = 2.97 = \underline{3 \text{ metros}}$$

- ~ Entonces se tiene como longitud de la unidad de $L = L_1 + L_2 = 3.70 \text{ metros}$.

- ~ Se asumen una profundidad

$$H = 1.5 \text{ metros}$$

- ~ Se determina la velocidad horizontal

$$V_H = \frac{100 * Q}{B * H}$$

$$V_H = 0.016 \text{ cm/s}$$

~ Determinar el tiempo de retención:

$$T_o = \frac{\text{Volumen}}{Q}$$

~ $T_o = 1800$ segundos = 0.5 Horas

~ Con una pendiente de 10 % en el fondo de la unidad se tiene como altura máxima.

$$H' = H + 0.1H = 1.65 \text{ m}$$

~ Determinar la altura del agua sobre el vertedero:

$$H_2 = (Q / 1.84 B)^{2/3}$$

$$H_2 = 0.0122 \text{ metros}$$

~ Área total de los orificios:

$$A_o = Q/V_o$$

$$A_o = 0.05$$

~ Diámetro de los orificios: 7.5 cm

~ Área de orificio:

$$a_o = 0.0044 \text{ m}^2$$

~ Numero de orificios

$$n = A_o/a_o = 11.36 = 12$$

~ Determinación de la porción de altura de la pantalla difusora con orificios.

$$h = H - 2/5 H$$

$$h = 0,9 \text{ m}$$

~ Se asume un número de filas de orificios $n_f = 3$

~ Entonces se tiene el número de columnas $n_c = 4$

~ Determinar el espaciamiento entre filas:

$$a_1 = h/n_f$$

$$a_1 = 0.3 \text{ m}$$

~ Determinar el espaciamiento entre columnas:

$$a_2 = \frac{B - a_1(nc - 1)}{2}$$

$$a_2 = 0.55 \text{ m}$$

4.2 DISEÑO DE LA TRAMPA DE RETENCIÓN DE GRASAS

4.2.1 Tratamientos físicos

Estos tratamientos se aplican cuando el contenido de materia grasa separable es apreciable y en ese caso es siempre deseable instalar como primera etapa un sistema de separación de grasa-aceite y agua, esto reducirá la carga contaminante que está siendo descargada y también permitirá la recuperación de las grasas y/o aceites potencialmente útil. La eliminación de la materia grasa separable, se lleva a cabo a través de la utilización de los llamados “fat trap” o trampas de aceite. Para grandes flujos estos ocupan grandes áreas de superficie, por lo que se han modificado a través de la introducción de placas paralelas, lamelas, especialmente diseñadas, con lo que se ha mejorado la situación hidráulica en estas trampas y a la vez la capacidad de carga, éstas son las placas corrugadas y las placas separadoras inclinadas.

Una instalación con una modalidad de placa separadora inclinada, ocupa menos del 10% de espacio de un “fat trap” convencional, para una carga hidráulica equivalente y es de mayor calidad efectiva de separación de materias grasas

separables. Las primeras aplicaciones de unidades de placas separadoras inclinadas sobre residuos grasos de la industria alimenticia, presentaron problemas operacionales debido, principalmente, a fallos para reconocer acabadamente la diferente naturaleza de la materia grasa proveniente de la industria alimenticia en relación a la industria petroquímica, estas diferencias han sido consideradas e integradas en el diseño de este tipo de plantas lo que ha tenido como consecuencia que en la actualidad las unidades de placas separadoras inclinadas estén funcionando adecuadamente, por lo que se puede ampliar el uso de este tipo de tecnología en el tratamiento de residuos de la industria de alimentos. La técnica de flotación se usa en la separación de fluidos inmiscibles o sólidos de fluidos y es de creciente interés en el campo del tratamiento de aguas residuales. Se distinguen flotación por aire disperso, por aire disuelto y por métodos electrolíticos. Una de las alternativas ampliamente usadas y dentro de estas la más conocida y desarrollada es la flotación por aire disuelto (DAF), este proceso es mejor que las trampas convencionales para eliminar materias grasas separables de los influentes grasos procedentes de los procesos industriales alimenticios (Grant, 1980).

El proceso de flotación depende de la liberación de aire suficiente de un fluido presurizado cuando la presión es reducida a la presión atmosférica. El gas es liberado como burbuja de dimensiones razonablemente constantes y en número suficiente tal que se obtiene la capa de materia superficial que cubre el recipiente de retención. Las burbujas entonces se adhieren o son absorbidas en el material a

ser eliminado y transportado a la superficie a una velocidad más grande que la que habría ocurrido en un sistema dependiente de la gravitación estática.

La eficiencia del proceso mencionado depende de la razón existente entre la cantidad de sólidos presentes a la cantidad de aire liberado y al diámetro de las burbujas de gas. Dependiendo del sistema de flotación usado el diámetro de las burbujas puede variar de 0,1 mm a 1 mm, y mientras más pequeñas son éstas más eficiente es el proceso (Gardner, 1975).

4.2.1 FUNDAMENTOS DE DISEÑO.

Para conocer las dimensiones de la trampa de grasa, se necesitan conocer los valores del flujo, así como el tiempo de retención.

$$\text{Flujo} = 5\text{L/seg}$$

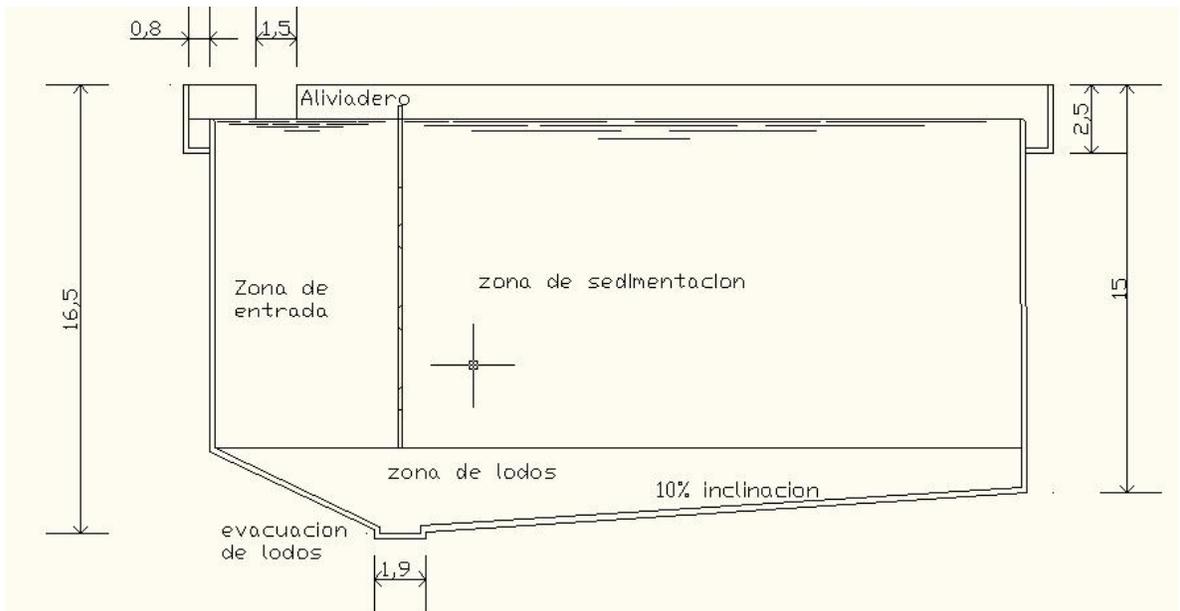
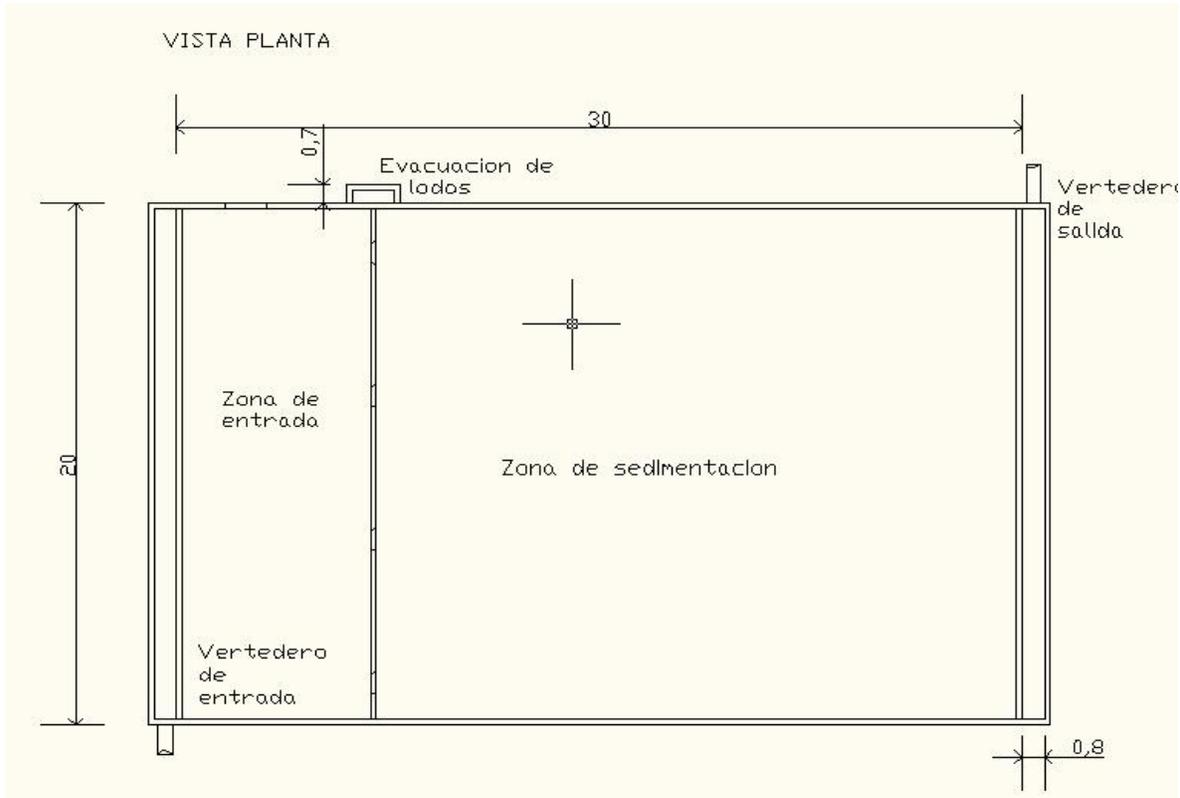
$$\text{Tiempo de retención} = 0.30 \text{ hrs}$$

$$\text{Volumen} = \text{T.R.} * Q$$

$$\text{Volumen} = (0.3 \text{ m}^3/\text{min}) * (30\text{min})$$

$$\underline{\text{Volumen de la trampa de grasa} = 9 \text{ m}^3}$$

DISEÑOS

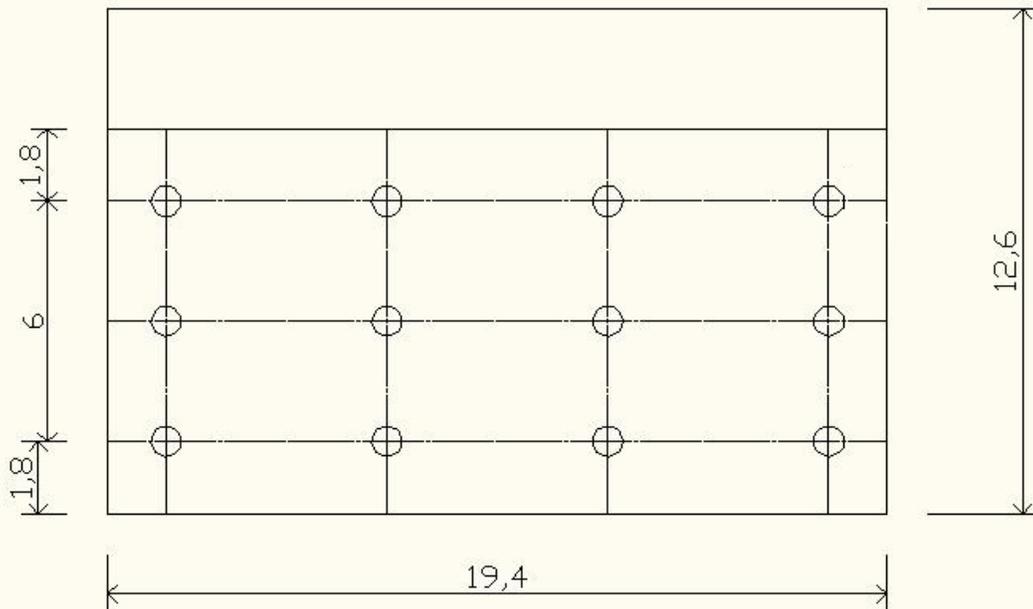


CORTE LONGITUDINAL

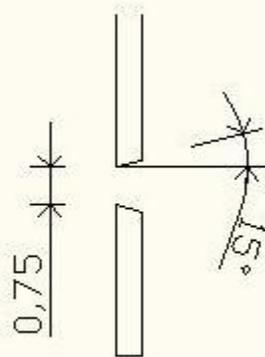
SEDIMENTADOR PRIMARIO

ESCALA: 1:10 ACOT. CM

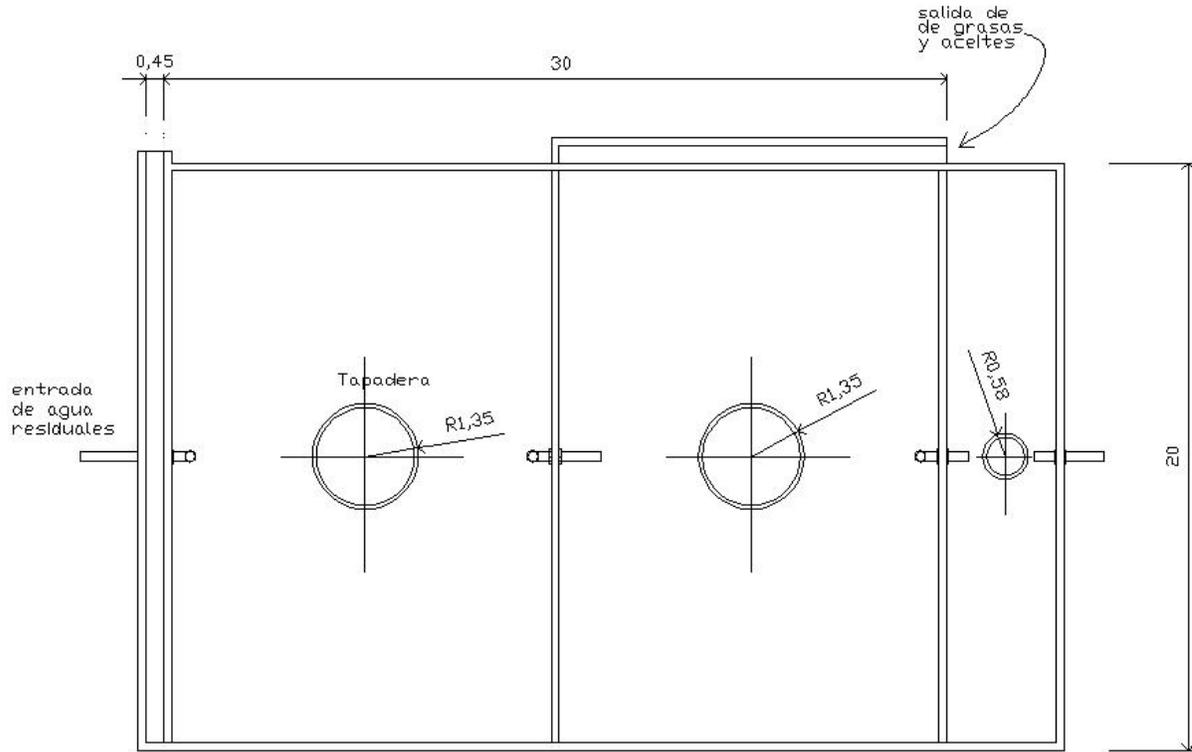
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



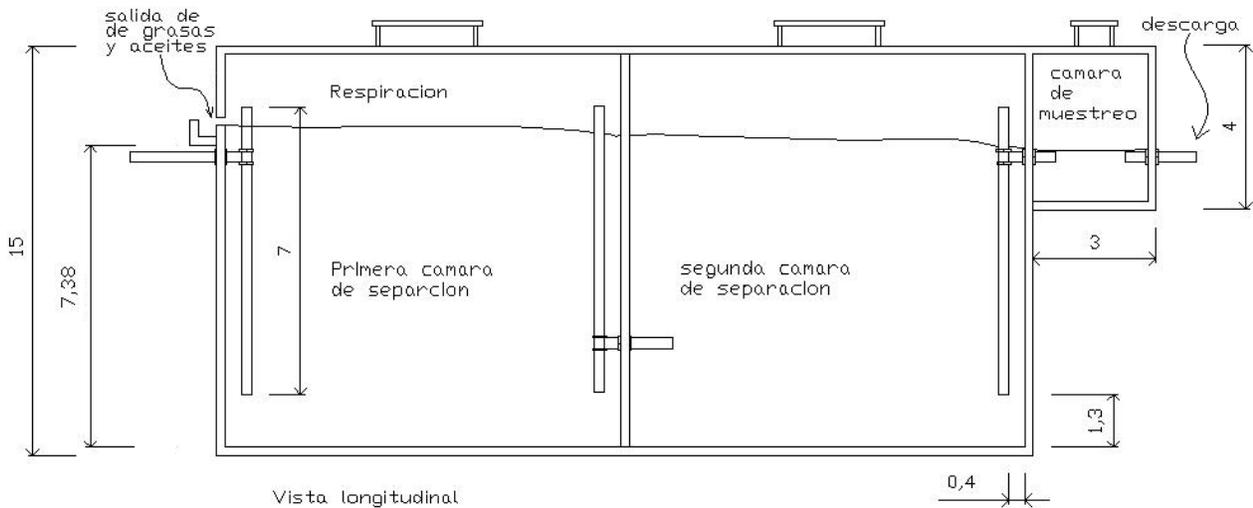
DETALLES DE LA PANTALLA DIFUSORA (4 COLUMNAS, 3 FILAS)
ESCALA: 1:10 ACOT. CM



DETALLE ORIFICIOS ABOQUILADOS



Vista planta



Vista longitudinal

TRAMPA DE RETENCION DE GRASAS
ESCALA: 1:10 ACOT. CM

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El proyecto realizado fue concluido hasta la etapa de diseño presentando los dibujos de los diseños, por motivos de equipos y material de construcción de los prototipos.

Posterior al diseño se concluirá en otra etapa la construcción y prueba de los prototipos para poder evaluar la eficiencia de remoción de sólidos y grasas de acuerdo a cada diseño presentado. El trabajo realizado propone los diseños del tratamiento primario, basados en un tiempo de retención de 0.5 horas y usando un flujo de entrada de aguas residuales de 5 L/s a los sistemas de tratamiento primario.

Los diseños son dos procesos importantes que son básicos de acuerdo a las características fisicoquímicas que presenta el agua residual de la institución educativa.

Para mejorar la calidad del agua residual de esta institución se recomienda que la cafetería de la institución cuente un plan de mantenimiento de sus tuberías de desagüe, así como también contar una unidad de retención de grasas individual por cada unidad de lavado de platos, para así reducir los niveles de grasas que se evacuan a estas aguas y evitar también evitar el bloqueo de las tuberías debido a la solidificación de las grasas y aceites.

BIBLIOGRAFIA

- R.S. Ramalho, Tratamiento de aguas residuales, Editorial Reverté, España 1996.
- George Tchobanoglous, Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones editorial McGraw Hill, Colombia, 2000.
- Metcalf & Eddy Inc. Wasterwater Engineering treatment, Disposal and reuse, editorial McGraw Hill, Estados Unidos, 1985.
- Harold E. Babbitt, E. Robert Baumann, Alcantarillado y tratamiento de aguas negras, Editorial Continental S. A. México, 1977.
- Cepis, OPS, Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores, Lima, 2005.
- <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd38/Mexico/NOM002ECOL.pdf>
- http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lar/oropeza_b_vm/capitulo_4.pdf
- http://www.capac.org/web/Portals/0/biblioteca_virtual/doc003/CAPITULO11.pdf
- <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/DISTRITO%20FEDERAL/Normas/DFNORM12.pdf>
- http://bvs.per.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/035_dise%C3%B1o%20de%20desarenadores%20y%20sedimentadores/Dise%C3%B1o%20de%20desarenadores%20y%20sedimentadores.pdf
- http://www.vertic.org/media/National%20Legislation/El_Salvador/SV_ManuaI_Vigilancia_Disposicion_de_Desechos_Infecciosos.pdf



- <http://civil.frba.utn.edu.ar/Materias/ingenieriasanitaria/unidadV-liquido-cloacal.pdf>
- http://repositorio.ine.gob.mx/ae/ae_010253.pdf
- <http://www.e-seia.cl/archivos/gyaAP.pdf>
- <http://escuelas.fi.uba.ar/iis/Sedimentacion.pdf>
- http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/mgilarra/Fluid/Sedimentacion%202006-2007.pdf
- http://www.ingenieriasanitaria.com/web15/manual1/tomo2/ma1_tomo2_cap7.pdf
- <http://moisessuarez.files.wordpress.com/2010/01/ejemplo-de-sedimentacion1.pdf>
- <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/014991/014991-10.pdf>