



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES,
DURANTE SU PUESTA EN MARCHA.

FABIOLA ABIGAIL MURALLES ALVARADO

ASESORADA POR INGA. ANA SILVIA SAMAYOA MUÑOZ

GUATEMALA AGOSTO DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES, DURANTE SU
PUESTA EN MARCHA.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

FABIOLA ABIGAIL MURALLES ALVARADO

ASESORADA POR INGA. ANA SILVIA SAMAYOA MUÑOZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA AGOSTO DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXÁMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Inga. Teresa Lisely De León Arana
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Dr. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES, DURANTE SU PUESTA EN MARCHA.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 20 de enero de 2004.

Fabiola Abigail Muralles Alvarado

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IV
RESUMEN	V
OBJETIVOS	VI
INTRODUCCIÓN	VII
1. CARACTERIZACIÓN DE LOS DESAGÜES Y RESIDUOS INDUSTRIALES	1
1.1 Estimación del contenido orgánico de las aguas residuales	1
1.1.1 Demanda bioquímica de oxígeno	2
1.1.2 Reacción de la DBO	2
1.1.3 Formulación de la DBO	3
1.1.4 Efectos de la temperatura sobre la DBO	3
1.2 Factores que afectan la DBO	4
1.2.1 Inóculo o semilla	4
1.2.2 Toxicidad	5
1.2.3 Nitrificación	5
2. DESECHOS INDUSTRIALES	6
2.1 Procedimiento de medición para los desechos industriales	6
3. PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	8
4.- PRETRATAMIENTO Y TRATAMIENTO PRIMARIO	10
4.1 Filtrado grueso	11
4.2 Sedimentación	11
4.3 Separación de aceites	11

4.4	Flotación	12
4.5	Homegenización	12
4.6	Neutralización	13
4.7	Requerimientos de los tratamientos primarios para tratamientos secundarios	14
5.	TRANSFERENCIA DE OXÍGENO Y AIREACIÓN	15
5.1	Factores que afectan la transferencia de oxígeno	16
5.1.1	Saturación de oxígeno	16
5.1.2	Temperatura	17
5.1.3	Nivel de oxígeno disuelto	17
5.2	Efectos de las características de desechos en la transferencia de oxígeno	17
5.3	Equipo de aireación	19
5.3.1	Equipo de aireación por difusión	19
5.3.2	Turbina de aireación	21
6.	TRATAMIENTO BIOLÓGICO	21
6.1	Crecimiento celular en sistemas biológicos	22
6.2	Procesos del tratamiento biológico aeróbico	22
6.3	Disposición de lodos	24
7.	PRINCIPIO DE OPERACIÓN	25
7.1	Digestor aeróbico	25
7.2	Wet Land	27
8.	METODOLOGÍA	30
9.	RESULTADOS	31
10.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	33
	CONCLUSIONES	37
	RECOMENDACIONES	38

BIBLIOGRAFÍA39
ANEXOS40

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

- 1 Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de aguas residuales de la industria de grasas y aceites.....29

TABLAS

- I Requerimientos en el pretratamiento o tratamiento primario para procesos biológicos9
- II Procesos aplicables para el tratamiento de aguas residuales9
- III Características de los efluentes; de estos procesos, bajo operación óptima10
- IV Parámetros medidos antes de la puesta en marcha de la planta de tratamiento31
- V Parámetros obtenidos de la primera corrida realizada con la planta de tratamiento en funcionamiento.31
- VI Parámetros obtenidos en la segunda corrida.....31
- VII Parámetro obtenidos de la tercera corrida32
- VIII Parámetros obtenidos de la cuarta corrida realizada.32
- IX Límites máximos permisibles, según el reglamento de la Calidad de las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores.40

RESUMEN

Se evaluó la eficiencia del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de una planta industrial de aceites y grasas; de igual forma se estableció si el efluente final de la planta cumple con los límites máximos permisibles, según el reglamento de aguas residuales y finalmente con ello se determinó, mediante el monitoreo durante el arranque, si el diseño de la planta es el más eficiente para esta industria.

Esto se llevó a cabo tomando cuatro muestras diferentes, a intervalos de quince días cada uno, en la entrada de la planta, salida del biodigestor y salida de la planta previo a su descarga en el agua de recepción, y se les evaluaron los parámetros de aceites y grasas, DBO, DQO y sólidos en suspensión totales.

Con los porcentajes de reducción obtenidos de los parámetros de salida, respecto a los de entrada, siempre y cuando se opere la planta de tratamiento bajo las condiciones para las cuales fue diseñada, se llegó a determinar que la planta de tratamiento de aguas residuales es eficiente, para esta industria en especial.

Cuando en el efluente de fábrica cambian, el pH, la temperatura y caudal a valores extremos no cumple con los límites máximos permisibles, según el reglamento de aguas residuales

OBJETIVOS

General

Determinar la eficiencia del funcionamiento de una nueva planta de tratamiento de aguas residuales de una planta industrial.

Específicos

1. Establecer si el efluente final de la planta de tratamiento de aguas residuales cumple con los límites máximos permisibles según el reglamento de aguas residuales.
2. Determinar mediante el monitoreo durante el arranque, si el diseño de la planta es el más eficiente para esta industria, para poder recomendar o modificar los cambios necesarios, y así mejorar el sistema.

INTRODUCCIÓN

El propósito de la medición de los desechos industriales es para establecer niveles de contaminantes potenciales y flujos de producción. Existe un gran número de procesos para el tratamiento de aguas residuales en uso, cuyas aplicaciones se relacionan con las características de los desechos y el grado de tratamiento requerido. El pretratamiento o tratamiento primario es usado para remover los sólidos suspendidos y flotantes, como los aceites; esto es para la neutralización y homogenización, y para preparar las aguas residuales para los tratamientos subsecuentes o su descarga en las aguas de recepción. El tratamiento secundario, cuyo propósito es la degradación de compuestos inestables, incluye lodos activados, lagunas anaeróbicas o lagunas aireadas.

Este trabajo presenta la evaluación del diseño, así como el proceso y funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales. La planta recién construida y en el proceso de arranque procesa aguas residuales de una industria, cuyos principales contaminantes son ácidos grasos. Se tratará de establecer si la reducción de los indicadores de contaminación e impurezas en el agua es la correcta, según los parámetros de referencia.

Esto se llevará a cabo monitoreando periódicamente el sistema a la entrada y salida de la planta, para determinar su eficiencia, y medir los parámetros necesarios, como: DBO, DQO, sólidos totales, y luego se comparan estos resultados con los límites máximos permisibles, según el reglamento de aguas residuales vigentes.

1. CARACTERIZACIÓN DE LOS DESAGÜES Y RESIDUOS INDUSTRIALES

El énfasis en el incremento de la calidad del agua para propósitos de uso ha definido un número de parámetros de especial significado en los desagües municipales y aguas de desecho industriales. Estos son:

1. La DBO (demanda bioquímica de oxígeno), que define el contenido orgánico biodegradable de los desechos.
2. La DQO (demanda química de oxígeno), que mide el contenido orgánico total, degradable y refractario.
3. Sólidos suspendidos
4. Sólidos totales
5. pH: alcalinidad y acidez
6. Nitrógeno y fósforo
7. Metales pesados y sólidos inorgánicos

Ciertamente los desechos industriales tendrán parámetros de especial significancia, como fenoles o cianuros, que según el caso se investigan específicamente.

1.1 Estimación del contenido orgánico de las aguas residuales

El contenido orgánico de los desechos puede ser estimado por tres diferentes pruebas, aunque debe de realizarse con considerable precaución la interpretación de los resultados. La prueba de la DBO mide el carbón orgánico biodegradable, bajo condiciones conocidas, y el nitrógeno oxidable presente en los desechos. La DQO mide el carbón total, con excepción de los aromáticos, como el benceno, que no es completamente oxidable en la reacción. La prueba

para la DQO es una reacción de oxidación-reducción, y reduce otras sustancias, como sulfuros, sulfatos y hierros metálicos, que pueden ser oxidados y reportados como DQO.

1.1.1 Demanda bioquímica de oxígeno

La DBO se reporta convencionalmente como el valor de 5 días y se define como la cantidad de oxígeno requerido, para que vivan los microorganismos en la utilización y estabilización de la materia orgánica presente en el agua residual. La prueba estándar involucra cultivo con desagües, aguas de río, efluentes y se incuban a 20°C

1.1.2 Reacción de la DBO

La reacción de la DBO es igual a todas las reacciones aeróbicas, y ocurre en dos fases separadas y distintas. Inicialmente, la materia orgánica presente en las aguas residuales es utilizada por los microorganismos de la tierra para energía y crecimiento. Cuando son removidos los materiales orgánicos de las aguas residuales, los organismos presentes continúan usando oxígeno por autooxidación o metabolismo endógeno de su masa celular. Cuando la masa de la célula está completamente oxidada, sólo queda un residuo biodegradable celular y la reacción es completada. Esto se define como la última DBO.

La remoción y oxidación de la materia orgánica, presente en las aguas residuales, se completa usualmente en un rango de 18 a 36 hrs. (fase 1). La oxidación total de la masa de la célula toma mas de 20 días (fase 2). La velocidad de reacción, durante la primera fase o fase de asimilación, es de 10 a 20 veces más que la velocidad de oxidación endógena.

1.1.3 Formulación de la DBO

La DBO ha sido formulada clásicamente, como una reacción continua de primer orden, de la forma:

$$Y = L_o (1 - 10^{-kt})$$

Donde:

Y = Cantidad de oxígeno consumido o DBO después de cualquier tiempo t

L_o = Última DBO o la cantidad total de oxígeno consumido en la reacción

K = Constante promedio de velocidad de reacción

T = Tiempo de incubación, días

Debe enfatizarse que, como la reacción de la DBO, consiste en dos fases distintas y separadas con un orden de magnitud diferente en la velocidad de reacción; el significado de k en la ecuación anterior podría variar marcadamente, según la cantidad y naturaleza de los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales.

1.1.4 Efectos de la temperatura sobre la DBO

La velocidad de reacción de la DBO, k, se afecta directamente por la temperatura. L_o se altera porque la oxidabilidad se incrementa con la temperatura. Las relaciones se derivan de la ley de Van't Hoff, es:

$$K_t = k_{20} \theta^{(T-20)}$$

$$\theta = 1.047 \text{ (Phelps) (inexacto a bajas temperaturas)}$$

$$\theta = 1.056 \text{ (20-30°C)}$$

$$\theta = 1.135 \text{ (4-20°C)}$$

1.2 Factores que afectan la DBO

Muchos factores afectan la prueba de la DBO y deben ser considerados, particularmente cuando se tratan desechos industriales.

1.2.1 Inóculo o semilla

Los organismos presentes aclimatados proveen una fuente excelente de inóculo o semilla, para la determinación de la DBO. Con unas pocas excepciones, el inóculo, seleccionado cuidadosamente del efluente, tendrá un alto producto de valores de la DBO.

Una colonia microbiana heterogénea climatizada puede desarrollarse con aguas residuales domésticas, las cuales contienen una gran variedad de organismos. La cantidad de desechos agregados se incrementa, hasta que la colonia que se desarrolla se adapte a los desechos. La mezcla de aguas residuales domésticas y los desechos industriales se airea burbujeando aire continuamente a través del líquido. Un incremento notable en la turbidez de la mezcla aireada, generalmente indica una colonia aclimatada. Si el equipo para la prueba de la OD está disponible, el consumo de oxígeno puede ser evaluado diariamente, para determinar cuándo una colonia climatizada se ha desarrollado. El error más frecuente es usar insuficiente inóculo.

Grandes cantidades de algas en el agua, que es usada para agua de disolución, puede producir cambios significativos en el contenido de oxígeno. Cuando las muestras de las corrientes contienen algas y se incuban en la oscuridad, las algas pueden sobrevivir por un tiempo. En pocas palabras, la determinación de la DBO puede mostrar la influencia de producción de oxígeno por las algas. Después de una prolongada carencia de luz, las algas mueren y sus células contribuyen al contenido orgánico total de la muestra e incrementa la DBO; por lo tanto, las muestras incubadas en la oscuridad pueden no ser representativas del proceso de desoxigenación en la corriente, porque los

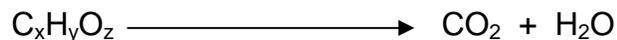
beneficios de la fotosíntesis se prolongan. Por otro lado, las muestras incubadas en la luz, bajo condiciones de continua fotosíntesis, producirá bajos valores de DBO. La influencia de las algas en la prueba de la DBO es difícil de evaluar; debe tenerse extremo cuidado cuando los efluentes de agua, que contienen grandes cantidades de algas, sea usado para agua de disolución.

1.2.2 Toxicidad

Varios compuestos químicos son tóxicos para los microorganismos. Altas concentraciones de algunas sustancias matarían los microbios y con concentraciones por debajo de lo letal; la actividad de los microbios es reducida. La toxicidad se evidencia generalmente por un incremento en la DBO.

1.2.3 Nitrificación

El proceso de oxidación descrito por la ecuación de la DBO $y = L_0(1 - 10^{-kt})$ representa la oxidación de la materia carbonácea



La oxidación del material nitrogenado puede ser mostrada como



La constante de velocidad, para material nitrogenado, es comúnmente menor que en el caso de la materia carbonácea.

Bajo algunas circunstancias, estas dos oxidaciones pueden proceder simultáneamente. Normalmente la nitrificación no empezaría hasta que la demanda de carbono haya sido parcialmente satisfecha.

La nitrificación ocurre más seguido en efluentes que sufren una oxidación parcial de los componentes de desecho. La nitrificación representa una demanda de las fuentes de oxígeno del efluente; por lo tanto, debería reconocerse como parte de la demanda total de los desechos.

2. DESECHOS INDUSTRIALES

Los desechos industriales representan el mayor problema de contaminación en las sociedades industriales. La tecnología de tratamiento y control de estos desechos ha sido enormemente desarrollada en la última década.

2.1 Procedimiento de medición para los desechos industriales

El propósito de la medición de los desechos industriales es para establecer niveles de contaminantes y flujos de los efluentes, que es la fuente principal de contaminación en las plantas industriales; localizar y definir la posible eliminación o reciclaje del agua, recuperación de productos, reducción de desechos; establecer un balance de materiales y un diagrama de flujo para todos los principales contaminantes, antes y después de la reducción del volumen. A continuación, se enuncia el procedimiento que se va a seguir:

- 1.- Revisar el uso del agua de proceso y las fuentes de desechos. Definir el tipo y duración de la operación, por ejemplo, procesos por lotes, procesos de operación continua y procesos de operación intermitente.
- 2.- Definir las características de las materias primas y aguas residuales para todos los procesos descritos en el paso 1.
- 3.- Desarrollar un mapa de la planta

4.- Localizar los puntos de muestreo y cantidades; estos deben incluir todas las fuentes significativas de desechos. Las estaciones de muestreo deben de localizarse, donde el flujo de las aguas residuales puede ser medido o estimado.

5.- Instalar el dispositivo de medición de flujo del efluente total.

6.- Seleccionar el análisis que se utilizará. Tomar las muestras y analizarlas.

7.- Definir la duración del programa de muestreo, para desechos de composición relativamente uniforme. Algunos días deben ser suficientes para establecer un criterio de diseño. Para plantas con una variedad de productos y un plan de producción, tal como una planta química, la medición debe de ser programada para cubrir la mayor lista de producción.

8.- Desarrollar un balance de materiales para la planta

9.- Desarrollar estudios estadísticos para todas las características significativas del flujo total de la planta, y de la mayoría de los procesos individuales. De ser posible, estos estudios estadísticos deben relacionarse con la producción, que es gal DBO/ton de producto o lb de DBO/ton de producto. Esto permite la extrapolación a otros planes de producción.

10.- Localizar la fuente de segregación de desechos, agua de reuso, recuperación de producto, recirculación, etc.

11.- Reestimar un diagrama de flujo y balance de materiales

12.- Establecer posibilidades para la segregación de desechos, tratamiento de separación, etc. Esto se basa generalmente en el flujo, concentración y composición.

La medición del flujo durante la inspección de los desechos industriales puede realizarse por diferentes métodos, lo cual depende de la naturaleza y accesibilidad de los puntos de muestreo.

- 1.- Instalación de un recipiente: éste puede ser hecho en zanjas, canales y alcantarillas o cajas de registro.
- 2.- Balde y cronómetro: éste es aplicable a bajas velocidades de flujo.
- 3.- Duración de bombeo y velocidad: debe de estimarse con las curvas características de una bomba.
- 4.- Medición del tiempo de recorrido de un objeto flotante entre dos cajas de registro: es aplicable a alcantarillas parcialmente llenas; la profundidad del fluido en la alcantarilla también debe medirse. La velocidad promedio es igual a 0.8 veces la velocidad de superficie. La velocidad de flujo se calcula con la ecuación de continuidad, $Q = AV$.
- 5.- Registrar el uso de agua de la planta: se deben tomar en cuenta las pérdidas de agua en el producto, debido a la evaporación.
- 6.- Medición del tiempo de cambio del nivel en el tanque o reactor: se usa principalmente para descargas de operación por lotes.

3. PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Existe un gran número de procesos para el tratamiento de aguas residuales, cuyas aplicaciones se relacionan con las características de los desechos y el grado de tratamiento requerido. El pretratamiento o tratamiento primario es usado para remover los sólidos suspendidos, sólidos flotantes, aceites para la neutralización y homogenización, y en la preparación de las aguas residuales para los tratamientos subsecuentes o su descarga en otro cuerpo de agua.

Las consideraciones generales, en el pretratamiento o tratamiento primario para el tratamiento biológico secundario, se resumen en la tabla 1

Tabla I. Requerimientos en el pretratamiento o tratamiento primario para procesos biológicos

CARACTERÍSTICAS	TRATAMIENTO
Sólidos suspendidos	Reposo, sedimentación y flotación
Aceites y grasas	Tanque separador, decantación
Metales pesados	Precipitación o Intercambio iónico
Alcalinidad	Neutralización para alcalinidad excesiva
Acidez	Neutralización
Sulfuros	Precipitación
Cargas DBO	Degradación

Los procesos, generalmente aplicables para la remoción de contaminación específica, se muestra en la tabla # 2

Tabla II. Procesos aplicables para el tratamiento de aguas residuales

CONTAMINANTE	PROCESOS
Orgánicos biodegradables (DBO)	Biológicos aeróbicos (lodos activados), lagunas aireadas, filtros, recipiente de estabilización, biológicos anaerobios (lagunas, contacto anaerobio).
Sólidos suspendidos SS	Sedimentación, flotación, filtrado grueso
Orgánicos refractarios (COD, TOC)	Adsorción con carbón, degradación química
Nitrógeno	Tanque de maduración, lavado de amonio, nitrificación y desnitrificación, intercambio iónico.
Fósforo	Precipitación con calcio, precipitación con Al y Fe, coprecipitación biológica, intercambio iónico.
Metales pesados	Intercambio iónico precipitación química
Sólidos Inorgánicos disueltos	Intercambio iónico, ósmosis inversa, electrodiálisis

Tabla III. Características de los efluentes de estos procesos, bajo operación óptima

PROCESO	DBO	COD	SS	N	P	TDS
Sedimentación, % remoción	10-30	--	50-90	--	--	--
Flotación, % de remoción	10-50	--	70-95	--	--	--
Lodos activados, mg/l	< 25	--	< 20	--	--	--
Lagunas aireadas, mg/l	< 50	--	> 50	--	--	--
Estanques anaerobios, mg/l	> 100	--	< 100	--	--	--
Deposición profunda	Deposición total de los desechos					
Adsorción con carbón, mg/l	< 2	< 10	< 1	--	--	--
Lavado de amonio, mg/l	--	--	--	< 95	--	--
Desnitrificación y nitrificación, mg/l	< 10	--	--	< 5	--	--
Precipitación química, mg/l	--	--	< 10	--	< 1	--
Intercambio químico, mg/l	--	--	< 1	--	--	--

La selección del proceso de tratamiento de aguas residuales o la combinación de procesos va a depender de:

8. Las características de las aguas residuales
9. Los requerimientos de calidad del efluente.
10. El costo y disponibilidad de tierra.
11. Elevaciones futuras del grado de los estándares de calidad del agua.

4. PRETRATAMIENTO Y TRATAMIENTO PRIMARIO

El pretratamiento y el tratamiento primario se emplean principalmente en la eliminación de materiales flotantes y sólidos suspendidos, y en el acondicionamiento de las aguas residuales para descargarlas hacia aguas de baja clasificación, o para tratamientos secundarios de neutralización u homogenización

4.1 Filtrado grueso (en rejillas)

El filtrado grueso(en rejillas) es empleado para la remoción de sólidos grandes, previo a otros procesos de tratamiento. En el tratamiento de aguas municipales, se colocan rejillas generalmente al inicio de la planta, para la remoción de materiales gruesos. Las rejillas consisten en barras gruesas o estante de 1 ½ a 2 ½ plg. (3.8 a 6.4 cm) de abertura, y pueden ser limpiadas manualmente o mecánicamente.

Las rejillas usadas para el tratamiento de desechos industriales son comúnmente rotatorias, vibratoras o el tipo excéntrico, y son ampliamente usados en la industria de conservas, cervecería, papel y pulpa.

4.2 Sedimentación

La sedimentación se emplea para remover los sólidos suspendidos de las aguas residuales. El proceso puede considerarse en tres clasificaciones básicas, lo cual depende de la naturaleza de los sólidos presentes en la suspensión: discreta, floculante y sedimentación por zonas. En la sedimentación discreta, las partículas mantienen su individualidad y no cambian en tamaño, forma o densidad durante el proceso. La sedimentación discreta se observa en arenas, cenizas, etc. La sedimentación de floculantes ocurre cuando las partículas se aglomeran, y resulta un cambio de tamaño y velocidad de sedimentación. La zona de sedimentación involucra una suspensión floculada, que forma una estructura enrejada, se sedimenta como una masa, y exhibe una interfase distinta durante el proceso. Flóculos de alúmina y lodos activados usualmente exhiben zonas de sedimentación.

4.3 Separación de aceites

En un separador de aceites, el aceite libre flota a la superficie del tanque, donde éste es desnatado. El diseño de separación de aceites se basa en la

remoción de los glóbulos libres de aceite mayores que 0.015 cm. de diámetro. El número de Reynolds es menor que 0.5, entonces se aplica la ley de Stokes. La adición de platos paralelos inclinados es para que sirvan como superficies recolectoras de glóbulos de aceite, y para que la estructura de acceso del separador tenga un mejor desempeño.

4.4 Flotación

La flotación es un proceso, en el cual el desecho líquido o recirculado se presuriza de 2 a 4 atm, en presencia de aire. Bajo condiciones de mezcla turbulenta, las burbujas de aire salen de la solución y se unen a sí mismas para llegar a ser atrapadas en las partículas suspendidas presentes en los desechos. Los sólidos suspendidos concentrados se raspan de la superficie del tanque y el líquido clarificado se retira.

Los componentes básicos de un sistema de flotación son: una bomba de presión, un tanque de retención para proveer contacto aire-líquido, una válvula de reducción de presión y un tanque de flotación.

La efectiva separación de sólidos, líquidos y concentración de sólidos suspendidos depende de la suficiente liberación de burbujas de aire, en relación con los sólidos presentes en los desechos. Esto es expresado como la razón aire/sólidos (A/S), como lb de aire liberados/lb de sólidos (kg/kg). La unidad de flotación está diseñada con base en la velocidad de inundación o en el peso de sólidos.

4.5 Homogenización

La homogenización se debe proveer para grandes variaciones de flujos de desechos, para una descarga uniforme en el agua de recepción o para mantener los límites controlados de variación en las instalaciones de los tratamientos subsecuentes. Estos límites generalmente serán dictados por el

tipo del proceso de tratamiento.

La homogenización puede ser:

1.- Flujo por mezclado: En éste el volumen descargado del recipiente de homogenización varía con la afluencia. Un propósito primario de este tipo de recipiente es ayudar a la neutralización (donde desechos ácidos y alcalinos están presentes), para igualar la fluctuación de concentración, neutralización o tratamiento químico y biológico.

2.- Afluencia con una constante de velocidad de descarga. En este tipo de recipiente, el nivel fluctuará arriba de un período de 24 hrs. Este tipo de sistema se aplica particularmente para el tratamiento químico de aguas residuales de un bajo volumen diario.

4.6 Neutralización

Muchos desechos industriales contienen materiales ácidos o alcalinos, los cuales requieren neutralización previa para poder descargarlos o recibirlos, o previo al tratamiento químico o biológico. En un tratamiento biológico para agua natural, se debe mantener un pH en el sistema biológico, entre 6.5 a 8.5, para asegurarse de una actividad biológica óptima. El proceso biológico, en sí, provee una neutralización y una capacidad buffer como resultado de la producción de CO_2 , el cual reacciona con materiales ácidos y básicos. El grado de pre-neutralización requerido depende, por lo tanto, de la razón de la DBO removida y de la basicidad o acidez presente en los desechos.

4.7 Requerimientos de los tratamientos primarios para tratamientos secundarios

1. Si los sólidos suspendidos están presentes en exceso, aproximadamente 125 mg/L, se debe considerar la separación de sólidos por reposo, sedimentación, o flotación.
2. Si los aceites, grasas o flotantes exceden los 50 ml/L, se debe utilizar un tanque separador.
3. Los metales pesados (Cu, Zn, Ni, etc.) se deben remover, previo al tratamiento biológico.
4. Si el pH excede a 9.0, debe de realizarse una neutralización
5. Si los residuos contienen ácidos orgánicos, la biooxidación convertirá estos ácidos a CO₂ y sales de bicarbonato, utilizando el proceso de diseño, que se reduce a < 25/mg/l como BOD.
6. Cuando hay ácidos minerales presentes, si el pH es menor a 4.5, debe de realizarse una neutralización u homogenización.
7. Los sulfatos deben ser prelavados o removidos de otra manera, si su concentración excede los 50 mg/L.
8. Si el efluente tiene una carga de DBO en lb/día, basada en 4 horas, excede una razón de 3 a 1, entonces se debe considerar un tanque de homogenización, para traer la variación dentro de este rango.

5. TRANSFERENCIA DE OXÍGENO Y AIREACIÓN

El proceso de transferencia de oxígeno puede considerarse que ocurre en tres fases. Las moléculas de oxígeno son transferidas inicialmente a la superficie del líquido, y así resulta una saturación o condición de equilibrio en la interfase. Esta velocidad es muy rápida. La interfase líquida tiene un espesor finito con propiedades únicas. La película está compuesta de moléculas de agua con sus extremos negativos hacia la fase gaseosa; se estima que hay por lo menos tres moléculas de grosor.

Durante la segunda fase, las moléculas de oxígeno pasan a través de esta película por difusión molecular. En la tercera fase, el oxígeno es mezclado dentro cuerpo del líquido por difusión y convección. Se supone que a niveles de mezclado muy bajos (condiciones de flujo laminar) la velocidad de absorción del oxígeno está controlada por la velocidad de la difusión molecular, a través de la fase líquida sin perturbar. Al incrementarse los niveles de turbulencia, la superficie de la película se divide y la renovación de la película es responsable de transferir el oxígeno hacia el cuerpo del líquido.

Esta superficie renovada puede ser considerada como la frecuencia, con la cual el fluido con una concentración de soluto C_L reemplaza el fluido de la interfase con una concentración C_s .

La velocidad de transferencia del oxígeno puede ser expresada

$$N = K_L A (C_s - C_L)$$

Donde :

N = Masa de oxígeno transferida por unidad de tiempo

K_L = Coeficiente de película del líquido (relacionada con la velocidad de renovación) se incrementa con la turbulencia o la velocidad de renovación.

A = Área interfacial para transferencia

C_S = Concentración de saturación del oxígeno

C_L = Concentración de oxígeno en el cuerpo del líquido.

5.1 Factores que afectan la transferencia de oxígeno

Muchos factores afectan el desempeño de la aireación. Como la eficiencia de la aireación es estimada en agua, bajo condiciones estándares (cero oxígeno disuelto a 20°C), se hicieron correcciones para sistemas de operación en aguas residuales. Estas correcciones se enumeran a continuación:

5.1.1 Saturación de oxígeno

La saturación de oxígeno en agua está relacionada con la temperatura. En aguas residuales, la presencia de oxígeno, de sales y otras sustancias pueden afectar la saturación de oxígeno; frecuentemente hace que decrezca. Además la saturación de oxígeno está relacionada con la presión parcial del oxígeno en la fase gaseosa (Ley de Henry). Es conveniente usar la saturación promedio en la profundidad media del tanque; esto puede ser estimado con:

$$C_{SM} = C_S(P_b/29.4 + O_t/42)$$

Donde

C_{SM} = Saturación de oxígeno en la aeración de la profundidad media

P_b = Presión en el fondo del tanque, psi.

O_t = Porcentaje de oxígeno en el gas de salida

5.1.2 Temperatura

El coeficiente de transferencia de oxígeno K_{La} incrementa con el aumento de la temperatura. La relación más usada es:

$$K_{La(t)} = K_{La(20^{\circ}\text{C})} * 1.02^{(T-20)}$$

Donde T es la temperatura en °C.

5.1.3 Nivel de oxígeno disuelto

Para sistemas de tratamiento biológico que remueven carbonos orgánicos, el nivel de oxígeno disuelto, C_L , cuando se está operando, puede variar entre 0.5 y 1.5 mg/l. Cuando la nitrificación está por alcanzarse, el nivel de oxígeno puede estar en un exceso de 2.0 mg/l.

5.2 Efectos de las características de desechos en la transferencia de oxígeno

La presencia de agentes tensoactivos tiene un efecto marcado en la velocidad de transferencia de oxígeno; esto afecta el coeficiente de película del líquido K_L , la razón A/V y por lo tanto K_{La} . Este efecto se refleja en los cambios de concentración de los surfactantes y por cambios en la turbulencia de la mezcla del sistema.

Un surfactante puede concentrarse en la interfase; como la concentración interfacial es mayor en el cuerpo del líquido, entonces una película de moléculas surfactantes adsorbidas se concentra en la interfase, la cual prevé una barrera para la difusión del oxígeno, a través de la interfase.

Los cambios en la velocidad de transferencia, en presencia de materiales surfactantes, se define por el coeficiente α , el cual es $K_{La(\text{desecho})} / K_{La(\text{agua})}$. Si se incrementa la concentración del surfactante, puede decrecer α , hasta que la superficie interfacial este saturada. El incremento adicional no afectará α .

En la aireación, la presencia de surfactantes puede hacer que decrezca marcadamente el tamaño de las burbujas e incrementarse A/V . Bajo estas condiciones, es posible que α se incremente, en algunos casos, para valores mayores que 1.0, porque el efecto del incremento de A/V excede el decrecimiento en K_L , causado por la barrera de la superficie.

El grado de turbulencia en el sistema puede afectar α , bajo condiciones de flujo laminar. No hay un efecto sustancial sobre α , porque la resistencia en la mayor parte de la solución, para el transporte de oxígeno, excede la resistencia interfacial combinada. Esta condición raramente puede ser encontrada en la práctica de aireación. Bajo condiciones de turbulencia moderada, una depresión máxima ocurre, porque la resistencia interfacial, para la difusión molecular por las moléculas surfactantes adsorbidas, controlan la velocidad de transferencia.

Para un alto grado de turbulencia, α , se aproxima a la unidad como resultado de las velocidades altas de renovación de superficie, que resulta en una dificultad para establecer un equilibrio de adsorción en la interfase. α frecuentemente excede la unidad, como resultado del incremento del valor de A/V , asociado con las condiciones de turbulencia en la superficie y burbujas intermedias.

El coeficiente α puede incrementar o decrecer y aproximarse a la unidad durante el curso de la biooxidación, porque las sustancias que afectan la velocidad de transferencia se empiezan a remover en el proceso biológico.

Para diseñar un sistema de aireación, los estándares de eficiencia de transferencia (EET) son correctos para las condiciones de desechos:

$$\text{Transferencia de oxígeno en desechos} = \text{EET} (C_{\text{SW}} - C_L / 9.1) * \alpha * 1.02^{(T-20)}$$

5.3 Equipo de aireación

El equipo de aireación comúnmente empleado en el tratamiento de aguas residuales consiste en la unidad de difusión de aire. Éste es un sistema de aireación por turbina, en que el aire es liberado bajo las aspas rotatorias de un impulsor sumergido. Por otro lado, está la unidad de aireación superficial, en la cual la transferencia de oxígeno se alcanza por la turbulencia alta de la superficie y el líquido aireado.

5.3.1 Equipo de aireación por difusión

Hay básicamente dos tipos de equipo de difusores de aireación: los que producen una burbuja pequeña de un medio poroso y los que usan un orificio largo, o una división hidráulica para producir burbujas grandes de aire.

Los medios porosos son tubos o platos construidos de “carborundum” o envueltos herméticamente en plástico o nylon. Los tubos están localizados perpendicularmente a la pared del tanque de aeración y generan un movimiento envolvente para mantener el mezclado. Se requieren mínimos y máximos de espacios para mantener los sólidos en suspensión, y así evitar que las burbujas se unan, respectivamente. El tamaño de las burbujas liberadas, en este tipo de difusor, se encuentra en el rango de 2.0 a 2.5 mm.

Para mantener una mezcla adecuada, el ancho máximo del tanque de aireación es aproximadamente dos veces la altura. Este ancho puede ser el

doble, para colocarlo en la unidad de difusión a lo largo de la línea central del tanque de aireación.

Las unidades de burbuja grande y difusión de aire no producirían eficientemente la transferencia de oxígeno de los difusores de burbuja, porque el área interfacial, para transferencia, es considerablemente menor. Estas unidades tienen la ventaja de no necesitar filtros de aire y de requerir generalmente menos mantenimiento. Los difusores de burbuja grande se localizan a lo largo de la pared lateral del tanque de aireación, en una forma similar a los difusores porosos. Estas unidades generalmente operan arriba de un rango más ancho de flujo de aire por unidad. Las unidades comerciales incluyen el distribuidor el difusor hidráulico de corte.

Las variables, que afectan el desempeño de las unidades de aireación por difusor, son la velocidad de flujo de aire, la profundidad del líquido en el tanque, y el ancho del tanque.

El desempeño de todas las unidades con difusores de aire pueden expresarse por la relación:

$$N = CG_S^{(1-n)}(H^m/W^p)(C_{SW} - C_L) * 1.02^{(T-20)*\alpha}$$

DONDE :

N = lb de O₂/hr unidad de aireación

C = Constante para la unidad de aireación

G_S= Flujo de aire, scfm unidad de aireación

H = Profundidad del líquido, pie

W = Ancho del tanque de aireación, pie

C_L= Concentración de oxígeno disuelto en el líquido

T = Temperatura, °C

α = Coeficiente de transferencia de oxígeno de los residuos

n,m,p = Características exponenciales de la división de aireación

5.3.2 Turbina de aireación

En la turbina de aireación, el aire se descarga de un tubo o anillo distribuidor a las aspas rotatorias de un agitador. El aire se rompe en burbujas y se dispersa a través del contenido del tanque. Las unidades comerciales emplean uno o más agitadores sumergidos, y pueden usar un agitador adicional cerca de la superficie del líquido para oxigenación de la superficie de aireación inducida.

En adición al flujo del aire, el diámetro y la velocidad del agitador afectan el tamaño de la burbuja y velocidad, y así influir el coeficiente de transferencia global, K_{La}

6. TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Muchas especies de microorganismos actúan en el rompimiento de la materia orgánica; el resultado de esto es la estabilización de los residuos orgánicos. Muchos sistemas biológicos tratan los desechos orgánicos, que depende del organismo heterotrófico, utilizando carbono orgánico como una fuente de energía y como fuente de carbono para síntesis celular. Los heterótrofos anaeróbicos obtienen su energía de compuestos orgánicos, en la ausencia de oxígeno molecular.

Por otro lado, los organismos autotróficos no requieren una fuente de carbono orgánico. Los autótrofos quimiosintéticos obtienen energía de la oxidación de compuestos orgánicos como el nitrógeno o azufre. Los autótrofos fotosintéticos utilizan la energía solar para la síntesis del dióxido de carbono para el protoplasma celular, y produce oxígeno molecular como un sub-producto.

6.1 Crecimiento celular en sistemas biológicos

La similitud en la síntesis bioquímica de todos los microorganismos, bajo una gran variación en el ambiente, permite calcular el rendimiento celular de efectos termodinámicos.

En la estabilización de sustrato orgánico, una porción de la energía obtenida de la reacción es usada por la síntesis biológica, y cuyos desechos satisfacen los requerimientos de energía para el crecimiento. Una pequeña porción de la energía es usada para el mantenimiento celular.

En el crecimiento aeróbico, la energía se libera de la conversión de carbono orgánico, y así resulta el comienzo de energía disponible para síntesis y un alto coeficiente de rendimiento.

En sistemas anaeróbicos, mucho menos energía se obtiene de la conversión orgánica, y el rendimiento del crecimiento es mucho menor que para el sistema aeróbico. El coeficiente varía de 0.032 a 0.27, el cual depende del sustrato.

En crecimiento autotrófico, considerable cantidad de energía se gasta para convertir CO_2 en un intermediario para síntesis celular. Como resultado, el coeficiente de rendimiento obtenido generalmente es menor que 0.1

6.2 Procesos del tratamiento biológico aeróbico

Los procesos de tratamiento biológico se describen a continuación:

- a. Los lodos activados deben proveer un efluente con DBO_5 soluble menor que 10 a 15 mg/l y un DBO_5 total, que incluye los sólidos suspendidos, que es menor que 20 mg/l. El proceso requiere tratamiento y disposición del exceso del lodo y debe ser generalmente considerado, donde se requiere la calidad alta del efluente, si se limita el área disponible de tierra y el flujo de desecho excede 0.1×10^6 gal/d.

- b. La aireación extendida u oxidación total provee un efluente con un DBO_5 soluble menor que 10 a 15 mg/l y un DBO_5 total menor que 40 mg/l. Los sólidos suspendidos pueden tener un límite de 50 mg/l (para una alta claridad, los efluentes generalmente requieren post-tratamiento por filtración, coagulación, etc.) Este proceso es comúnmente considerado para flujos de desechos menores que 2.0×10^6 gal/d.
- c. La estabilización de contacto se aplica donde una porción mayor de la DBO está presente en forma coloidal o suspendida. Como regla general, el proceso debe ser considerado cuando se remueve el 85% de la DBO_5 después de 15 minutos de contacto con lodos activados aireados.
- d. Una laguna anaeróbica es solamente aplicable, donde el tratamiento es parcial (aprox. 50 a 60% de reducción de DBO_5) y está permitido un efluente alto de sólidos suspendidos. Este proceso se debe considerar como una planta en crecimiento, la cual puede convertirse en una planta de aireación extendida, con la adición de un clarificador, que retorne el lodo y equipo adicional de aireación.
- e. Una laguna aireada logrará un efluente soluble de DBO_5 de menos de 25 mg/l, con un DBO_5 total de menos de 50 mg/l, que depende de la temperatura de operación. Los sólidos suspendidos del efluente pueden exceder 100 mg/l. El sistema es sensible a la temperatura; la eficiencia del tratamiento decrecerá durante la operación en época fría.
- f. Filtros percoladores de alta velocidad alcanzan una reducción del 85% de la DBO en desagües domésticos. Filtros rugosos de cargas altas logran una reducción de 50 a 60% de la DBO de orgánicos solubles de desechos industriales.

- g. Estanques anaeróbicos facultativos, para el tratamiento de desechos industriales solamente, deben ser considerados si los olores producidos no son fétidos. Si se requiere un alto grado de tratamiento, estos estanques deben ser seguidos por tratamiento aeróbico (lagunas aireadas, lodos activados, etc.).

6.3 Disposición de lodos

Las características de disposición y compactación de lodos son un requisito primario para el éxito de la operación del proceso de lodos activados. Con una disposición pobre de lodos, los sólidos acarreados en el efluente contribuirán a la DBO (debido a la respiración endógena de los sólidos en lodos activados en los frascos de la DBO). La mala compactación resultará en una baja concentración de retorno de los sólidos de los lodos, los cuales volverán al límite de la mezcla.

Una mala disposición o lodos voluminosos pueden ser el resultado de la propagación de organismos filamentosos (ej. Spharotilus) o el crecimiento y difusión de bacterias.

Muchos organismos filamentosos son aerobios y pueden destruirse por períodos prolongados de anaerobiasis. La mayoría de las bacterias, por otro lado, son facultativas y pueden existir por períodos largos sin oxígeno. Aunque los datos disponibles son un poco contradictorios, podría parecer que son necesarias 6 hrs como mínimo bajo condiciones anaerobias, para eliminar el crecimiento de estos filamentos.

El volumen del lodo puede ser relacionado con la velocidad de crecimiento o la actividad metabólica del lodo, el cual es relacionado con la razón nutriente/microorganismos, N/M. A una razón alta N/M, los

microorganismos tienen una velocidad máxima de crecimiento (fase de crecimiento logarítmico), en que no ocurre la floculación y los organismos filamentosos pueden desarrollarse. En cargas muy bajas, los fragmentos inoxidables de flóculos quedan en suspensión, y resulta una mala disposición.

Como el parámetro significativo es la concentración de sustrato en contacto con los organismos, la geometría del sistema y el modo de introducción de los desechos merece consideración.

En resumen, las características de flóculos relacionadas con la velocidad de crecimiento será influenciada por la disponibilidad del sustrato y el modo de introducción de los desechos en el sistema.

7. PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

7.1 Digestor aeróbico. (Análisis, ver Figura No. 1)

Las aguas residuales, después de pasar por una trampa de grasas y un tanque de homogenización, son enviadas directamente al digestor aeróbico. El sistema está diseñado para que el agua fluya por gravedad. Tiene una capacidad aproximada de 60 metros cúbicos. El agua residual que ingresa desplazando una cantidad equivalente, mientras está operando. Está diseñado para un tiempo de residencia mínimo (para el flujo máximo de diseño de 40 gpm) de 6 horas con aeración intensiva.

El sistema cuenta con rebalses para descargar cualquier exceso de flujo directamente a la caja de desfoque final. A la misma caja están conectadas las tuberías de drenaje provenientes del fondo de los tanques; las válvulas de las mismas deben de permanecer cerradas, salvo para la limpieza general o para casos de emergencia.

En la cámara de aireación del digestor, el aire proveniente de un soplador y distribuido por medio de difusores promueve la agitación y proporciona el oxígeno necesario, para que los microorganismos presentes en la flora natural de los desechos o agregada como inóculo degraden los componentes orgánicos (carbohidratos, proteínas, lípidos, taninos, fenoles, etc.) Algunos componentes pasarán a ser solubles, mientras que otros permanecerán en suspensión y estarán constantemente en recirculación, hasta que se desintegren a tamaños imperceptibles por el ojo humano.

El subproducto principal es CO_2 , que es un gas inodoro que se forma de la combinación del carbono presente en la materia orgánica y el oxígeno del aire inyectado. El CO_2 escapa a la atmósfera.

La aireación debe de ser constante. Los períodos prolongados sin aireación (más de 1 hora) harán disminuir la flora microbiana de metabolismo rápido y tomará algún tiempo restaurarla; por otra parte, la falta de aire favorecerá la actividad de microorganismos anaeróbicos, que son los que produce compuestos con mal olor (fétido).

El efluente aireado pasa por rebalses a una cámara de separación de sólidos, con una pared inclinada, para forzar los sólidos sedimentables al fondo de la misma, de donde son eyectados de vuelta a la cámara de aireación. Los sólidos flotantes, que forman una nata y que quedan atrapados en la superficie, deben de ser removidos manualmente; los que logren pasar esa última planta también son succionados hacia la cámara de aireación.

El agua semi clarificada (contiene sólidos suspendidos y en solución, así como microorganismos) es típicamente agua con poca turbiedad, con olor característico, pero no fétido, con sólidos en solución y en suspensión, y con microorganismos activos. El pH es generalmente indicador de acidez (5-6) y el

DBO y DQO dependerán de la concentración inicial y del tiempo de residencia. Normalmente el DBO se reduce en un 80% y el DQO en un 60%.

El sistema debe de monitorearse periódicamente (por lo menos una vez/mes), y deben de medirse los siguientes parámetros a la salida del digestor.

1. Demanda química de oxígeno (DQO)
2. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)
3. Sólidos totales
4. Sólidos Sedimentables
5. pH
6. Grasas
7. Nitrógeno y Fósforo
8. Flora Microbiana
9. Recuento total de microorganismos
10. Coliformes fecales
11. Escherichia coli

7.2 Wet-Land (Síntesis)

El agua residual tratada en el digestor aeróbico, que contiene compuestos orgánicos suspendidos y en solución pasa a estanques consecutivos con cultivos de plantas superiores, que duplican su masa rápidamente. Las raíces de las mismas absorben los sólidos suspendidos y en solución, para generar tejidos y metabolitos producidos por la fotosíntesis.

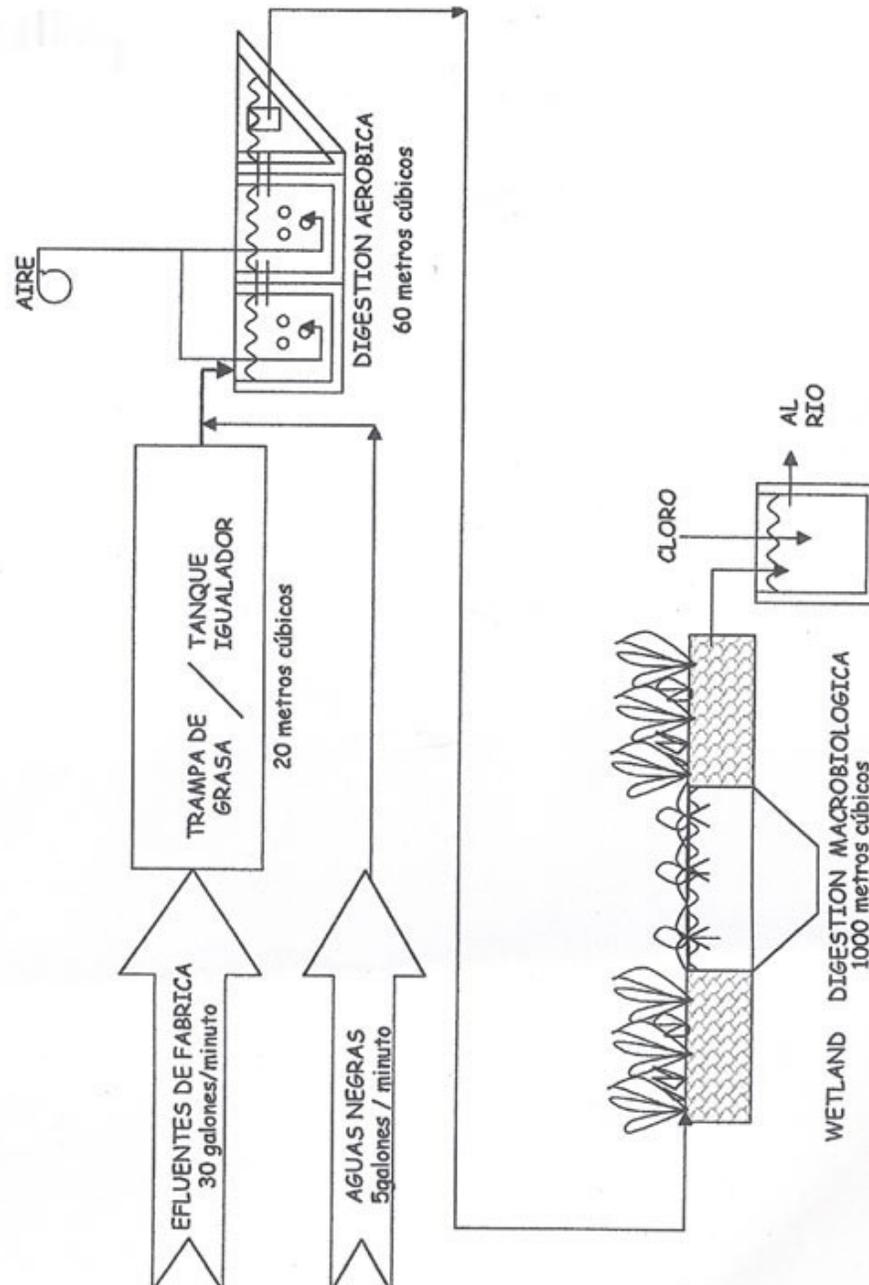
Con el tiempo, (las lagunas se estabilizan en períodos de entre tres y seis meses) se establece una amplia gama de interacciones simbióticas entre plantas, bacteria, protozoos y algunas especies de animales. El producto final es la proliferación masiva de algunas plantas (i.e. ninfas y tule), que deben de

removearse periódicamente para permitir más asimilación de sólidos. En otras palabras, los sólidos del efluente original se convierten en biomasa; esta biomasa es inofensiva y al reintegrarse al suelo se convierte en humus o abono para otras plantas.

El agua así clarificada puede utilizarse para riego de jardines o seguir su curso por gravedad a algún cuerpo de agua cercano, después de ser tratada con cloro, para inhibir a posibles microorganismos patógenos que pudieran estar presentes.

El tiempo de residencia mínimo en el wet-land artificial es de 12 días.

Figura 1. Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de aguas residuales de la industria de grasas y aceites



8. METODOLOGÍA

La parte experimental de la investigación se llevó a cabo tomando muestras en tres diferentes puntos de la planta de tratamiento de aguas : entrada a la planta, salida del biodigestor y salida de la planta, previo a su descarga en el agua de recepción. Las muestras se tomaron a cuatro diferentes tiempos, en intervalos de 15 días cada uno.

Cada una de las muestras se enviaron a un laboratorio de análisis químico certificado, en donde se les determinaron los siguientes parámetros :

- Grasas y aceites
- DBO (Demanda bioquímica de oxígeno)
- DQO (Demanda química de oxígeno)
- Sólidos en suspensión totales

Los resultados obtenidos de los análisis de las muestras se tabularon y luego se compararon con los parámetros establecidos en el Reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala, para establecer su cumplimiento. De igual manera, con los valores determinados antes y después del tratamiento, se comprobó la funcionalidad de la planta y finalmente se verificó el desarrollo de la misma, y se compararon los resultados a través del tiempo.

9. RESULTADOS

Tabla IV. Parámetros medidos en una muestra compuesta, antes de la puesta en marcha de la planta de tratamiento

PARÁMETROS	mg/L
GRASAS Y ACEITES	1500
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)	5500
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	15000
SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	25000

Tabla V. Parámetros obtenidos de la primera corrida realizada con la planta de tratamiento en funcionamiento.

PARÁMETROS	BIODIGESTOR		REDUCCIÓN
	ENTRADA, mg/L	SALIDA, mg/L	%
GRASAS Y ACEITES	160	125	21.9
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)	1590	990	37.7
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	4295	2050	52.3
SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	1333	623	53.3

Tabla VI. Parámetros obtenidos en la segunda corrida.

PARÁMETROS	BIODIGESTOR		REDUCCIÓN
	ENTRADA, mg/L	SALIDA, mg/L	%
GRASAS Y ACEITES	4659	<6	99.8
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)	264	102	61.4
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	3320	507	84.7
SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN TOTALES	22125	44	99.8

Tabla VII. Parámetro obtenidos de la tercera corrida

PARÁMETROS	BIODIGESTOR		REDUCCIÓN
	ENTRADA, mg/L	SALIDA, mg/L	%
GRASAS Y ACEITES DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO) DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN TOTALES	2700	192	92.9

Tabla VIII. Parámetros obtenidos de la cuarta corrida realizada.

PARÁMETRO	ENTRADA PT	SALIDA PT	SALIDA WL	%
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	REDUCCION PT (M1-M3)
GRASA mg /l	299	471	52	82.00
DQO mg/l	7340	3380	883	87.00
DBO mg/l	6120	2640	396	93.53
SOLIDOS SUSPENDIDOS mg/l	1317	833	323	75.47

10. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Previo a la construcción de la planta de tratamiento y disposición de aguas residuales, la industria de aceites y grasas estudiada vertía sus aguas residuales directamente a un río cercano a sus instalaciones.

El efluente generado poseía valores altos de grasas y aceites, DBO, DQO y SStot, como se indica en la tabla IV (sección de resultados) y no cumplen con los requerimientos mínimos establecidos por el reglamento de aguas residuales (Ver Tabla IX, Anexos), por lo que se hizo necesario construir la planta de tratamiento y disposición de aguas residuales, previo a la descarga.

Se pretende determinar, para esta planta, la eficiencia del funcionamiento de la misma, y establecer si el efluente final cumple con los límites máximos permisibles, para observar si el diseño de la planta es el más eficiente para esta industria.

La planta se diseñó para un caudal de efluentes de 35 gpm y para una temperatura de 28°C. Además se estimó tener una reducción del 90% en los aceites y grasas, un 80% en la DBO y DQO y un 85% para los sólidos en suspensión totales, de los parámetros de salida, respecto a los de entrada.

Con la planta de tratamiento en funcionamiento, se realizó la primera medición de efluente de entrada y de salida del biodigestor, y se obtuvieron los resultados presentados en la tabla V.

Los porcentajes de reducción de esta corrida no cumplen con los porcentajes estimados y los valores de salida tampoco cumplen con los exigidos por la ley. Esto se debe a que en la etapa de arranque la planta no se encuentra operando al cien por ciento de su capacidad y, por lo tanto, se deben realizar los ajustes necesarios en el proceso de funcionamiento de la misma.

En la segunda corrida (tabla VI), los datos obtenidos reflejan que el efluente a la salida del biodigestor cumple con los niveles exigidos por la ley, con excepción del DQO (507 mg/L y según la ley 500 mg/L), sin embargo, la diferencia porcentual de 1.4%, comparado con el nivel exigido, no es significativo como para invalidar la medición. Debido a que los porcentajes de reducción obtenidos sobrepasan los valores esperados a excepción del porcentaje del DBO, se procedió a realizar una nueva medición para este parámetro.

Con el resultado de esta medición, se observa que se tiene un porcentaje de reducción del 92.2%, mayor a la reducción estimada (80%); de esto se deduce que en la muestra anterior hubo un error en la toma y/o medición, y así se demostró el funcionamiento adecuado de la planta de tratamiento,

Para comprobar el buen funcionamiento de la planta, se efectuó una última medición que proporcionó los datos de la tabla VIII, donde se observa que los valores de los parámetros medidos en la salida no alcanzan los exigidos por la ley, y son mayores también a los obtenidos en la segunda corrida; esto se debe a que la planta fue diseñada y construida para trabajar adecuadamente con un caudal de agua residual de 35 gpm, a una temperatura de 28°C, y esta muestra se tomó con un caudal de 60 gpm, a una temperatura

de 50°C, debido a dos razones: que la industria aumentó su producción y que se paró la planta de tratamiento, por lo que se acumularon muchos residuos, y subió así el caudal, lo cual no se había considerado al diseñarla; con estas observaciones, se deduce que la planta de tratamiento debe de funcionar constantemente para que funcione bajo las condiciones, para las que fue diseñada. Además la muestra analizada contenía residuos de jabón, y tampoco este tipo de residuos fue considerado en el diseño. Sin embargo, hay que señalar que los porcentajes de reducción obtenidos cumplen con los niveles de reducción estimados para el diseño de la planta.

Cuando se opera la planta, bajo condiciones de diseño, las grasas y los aceites libres flotan a la superficie de la trampa de grasas, que fue diseñada como protección al biodigestor, donde son desnatados, en forma manual y constantemente. Sin embargo, cuando el caudal aumenta y no aumenta la remoción de la capa de grasa y aceite, éstos se emulsionan con el agua, por el exceso de los mismos y la temperatura elevada, y son arrastrados al biodigestor, que tiene como consecuencia el mal funcionamiento de la planta, dado que en el digestor aeróbico el aire proveniente de un soplador y distribuido por medio de difusores, promueve la agitación y proporciona el oxígeno necesario para que los microorganismos presentes en la flora natural de los desechos, y hace que degraden los componentes orgánicos, pero al haber grasa emulsificada, dicha emulsión se rompe y se separa la grasa que flota en la superficie.

Adicionalmente se puede mencionar que la remoción diaria de aceites y grasas alcanza en promedio 120 gal/día, que equivale a 43200 gal/año y, si se

toma en consideración que el galón de grasa tiene un valor estimado de Q.7.00, se tiene que este proceso representa para la empresa una recuperación de materia prima de Q. 300,000.00 anuales, así como el buen funcionamiento de la planta de tratamiento.

Al aumentar el flujo sobre los límites calculados, sobre el funcionamiento de la planta, sucede todo lo contrario a lo expresado anteriormente: pérdida de materia prima, contaminación del biodigestor, que se traduce en mal funcionamiento de la planta.

El aumento de temperatura no sólo inhibe la actividad microbiana en el bio-digestor, que debe de operar a una temperatura máxima de 33 C, sino que, además, con el aumento de la temperatura se están perdiendo energía calorífica, que equivale a $45,590,325 \text{ Kcal/año} = 2,811,403.38 \text{ Kg bunquer/año} = 825,305.6 \text{ gal bunquer/año} = \text{Q } 4,126,527.78 \text{ /año}$ de pérdida.

CONCLUSIONES

- 1 La planta de tratamiento de aguas residuales es eficiente, ya que al operarse bajo un caudal de 35 gpm y a una temperatura de 28°C, se logran obtener los porcentajes de reducción de los parámetros de carga contaminante, para los cuales fue diseñada.
- 2 La planta de tratamiento de aguas residuales no es eficiente para esta industria, si se aumentan las condiciones de caudal y temperatura, para los cuales fue diseñada.
- 3 El efluente final de la planta de tratamiento de aguas residuales cumple con los límites máximos permisibles, según el Reglamento de aguas residuales, para un caudal de 35 gpm y una temperatura de 28°C.
- 4 Se considera que el diseño de la planta de tratamiento en estudio es óptimo para la industria de grasas y aceites, debido a que se demostró que con ella se reducen los porcentajes de desechos de entrada y salida a la misma, y que el caudal de salida cumple con los límites máximos permisibles, según el Reglamento de aguas residuales.

RECOMENDACIONES

1. Se debe fabricar e instalar una caja colectora de grasas en la trampa , para poder retirar la grasa con mayor rapidez hacia un recipiente de recuperación.
2. Hay que revisar las operaciones en la fábrica para recuperar lo más que se pueda la materia prima, reducir el caudal y evitar el aumento de temperatura del efluente.
3. Es conveniente estudiar la forma de remover mecánicamente la costra flotante, que se forma en la segunda fosa del wetland..
4. Se recomienda a la industria adquirir equipo y reactivos, para el monitoreo de la planta de tratamiento de aguas residuales.
5. Debe haber personal dedicado al mantenimiento y operación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

BIBLIOGRAFÍA

1. ECKENFELDER. W. Wesley. **Ingeniería de la Calidad del agua para los Ingenieros Practicantes**. Estados Unidos: Editorial Barnes & Noble Inc. 1970
2. KIRK, Raymund ET AL. **Enciclopedia de Tecnología Química** México: Unión Tipográfica Editorial Hispanoamericana. 1961
4. PERRY, John H. **Manual del Ingeniero Químico** Editorial McGraw Hill.1987

ANEXOS

Tabla IX Límites máximos permisibles, según el reglamento de la calidad de las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores.

PARÁMETROS	mg/L
GRASAS Y ACEITES	20
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)	300
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	500
SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN TOTALES	60

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
Guatemala, septiembre de 2003.

