



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

SECCIÓN DE ESTUDIOS
EXÁMENES CLASIFICATORIOS
Departamento de
Exámenes Profesionales

"SISTEMA DE TRATAMIENTO ANAEROBIO
DE LOS EFLUENTES DE UNA CERVECERÍA"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO
P R E S E N T A
JOSE ANDRES SANCHEZ LOPEZ

DIRECTOR DE TESIS: I.O ARIEL SAMUEL BAUTISTA SALGADO

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO

2003



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES**

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

F. E. S. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de
Exámenes Profesionales

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Sistema de tratamiento anaerobio de los efluentes de una Cervecería

que presenta el pasante: José Andrés Sánchez López
con número de cuenta: 9851015-3 para obtener el título de :
Ingeniero Químico

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 26 de Agosto de 2003

PRESIDENTE:	<u>Dr. Adolfo Obaya Valdivia</u>	
VOCAL	<u>I.Q. Guadalupe France Rodriguez</u>	
SECRETARIO	<u>I.Q. Ariel Samuel Bautista Salgado</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>I.Q. Margarita Alonso Espinosa</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>I.Q. Gilberto Atilano Amaya Ventura</u>	

AGRADECIMIENTOS:

GRACIAS DIOS:

Por dirigir mis pasos, por ser mi refugio y mi castillo, por ser mi Dios en quién confío, por renovar mis fuerzas día a día, por haberme dado una familia y por permitirme alcanzar mis anhelos.

A TI MAMÁ.

Por tu paciencia, amor y comprensión que me has regalado durante todos estos años. Por el hecho de haberme dado la vida, por pensar en mi a cada momento. Te Quiero Mucho.

A TI PAPÁ.

Por tus enseñanzas, ejemplos, por ser mi mejor amigo durante toda mi vida, no importando mis errores. Por los sacrificios que has hecho por mí. Te Quiero Mucho.

A MIS HERMANAS.

Juana Lydía, Nelida, Dulce y Lupita, gracias por su cariño, comprensión y apoyo que me han dado cada una de ustedes. Las Quiero Mucho.

A MIS ASESORES.

Por las observaciones y atinadas sugerencias que tuvieron al revisar el contenido de este trabajo, por su eficacia y dedicación.

A LOS INGENIEROS.

Gracias por su apoyo incondicional que me brindaron durante la realización de esta tesis, la cual no hubiera podido realizarse sin su valiosa ayuda.

A MIS AMIGOS.

Gracias por su amistad, apoyo incondicional y por todos los momentos agradables que vivimos durante nuestra formación profesional.

INDICE

OBJETIVOS

INTRODUCCION

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1	Calidad del agua	1
1.2	Tipos de contaminantes del agua	2
1.3	Métodos de tratamiento.	4

CAPÍTULO 2

CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DEL AGUA

2.1	Acidez	12
2.2	Alcalinidad	12
2.3	Color	12
2.4	Conductancia específica	13
2.5	Fosfatos	13
2.6	Nitrógeno	14
2.7	Demanda bioquímica de oxígeno	15
2.8	Demanda química de oxígeno	16
2.9	Temperatura	16
2.10	Turbiedad	17

CAPÍTULO 3

MICROBIOLOGIA DE LA DIGESTION ANAEROBIA

3.1 Aspectos generales	18
3.2 Etapas de la digestión anaerobia	19
3.3 Bacterías formadoras de ácidos grasos	22
3.4 Bacterías acetógenas productoras obligadas de hidrógeno	23
3.5 Bacterías metanógenas	23
3.6 Bacterías metanógenas acetoclásticas	24
3.7 Bacterías metanógenas hidrogenófilas.	25
3.8 Bacterias sulfato reductoras	26
3.9 Tipos de procesos anaerobios	
3.9.1 Reactores anaerobios de primera generación	27
3.9.2 Reactores anaerobios de segunda generación	28
3.9.3 Reactores anaerobios de tercera generación	31

CAPITULO 4

MICROBIOLOGIA DE LA DIGESTION AEROBIA

4.1 Aspectos generales	32
4.2 Espesamiento	38
4.3 Tipos de procesos aerobios	38

CAPITULO 5

DESCRIPCION DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE LA CERVECERIA

5.1	Objetivos del tratamiento del efluente.	41
5.2	Descripción del sistema	41
5.3	Variables que controlan el proceso	
5.3.1	Acidos Grasos Volátiles (AGV'S) y alcalinidad	49
5.3.2	Alimentación a digestores	49
5.3.3	Relación F/M	50
5.3.4	Tiempo medio de retención celular	50
5.3.5	Cantidad de aire	51
5.3.6	Indice volumétrico de lodos	52
5.3.7	Perfil de lodos	53
5.4	Diagrama de bloques	54
5.5	Diagrama de flujo del proceso	55
5.6	Plano de localización general	57

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES	58
---------------------	----

CAPÍTULO 7

APENDICE

7.1	Glosario de términos.	60
-----	-----------------------	----

CAPÍTULO 8

BIBLIOGRAFIA	62
---------------------	----

OBJETIVOS

- ❖ Describir los aspectos básicos de la digestión aerobia y anaerobia para comprender la manera en que se lleva a cabo el proceso de depuración del agua de desecho proveniente del proceso de una cervecería.
- ❖ Describir el proceso de tratamiento de las aguas residuales de la cervecería aplicando los aspectos básicos de la digestión anaerobia y aerobia a la tecnología.
- ❖ Establecer los parámetros de control del proceso como herramienta en la operación de la planta de tratamiento del agua residual de la cervecería.
- ❖ Elaborar esquema de usos: Ventajas y desventajas, que permita al lector tener un panorama de las diferencias entre sistemas aerobios y anaerobios utilizados en efluentes de desecho.

INTRODUCCIÓN

Una cantidad significativa de plantas donde se trata el agua residual del proceso cervecero usan tecnología anaerobia. En contraste al tratamiento aerobio – en el cual el oxígeno juega un papel muy importante en las reacciones biológicas donde los compuestos orgánicos son convertidos en CO_2 y biomasa- durante el tratamiento anaerobio los contaminantes son convertidos a biogas (una mezcla de CO_2 y metano) y biomasa.

La digestión de lodo anaerobio es un proceso típicamente empleado en muchas plantas de tratamiento de aguas residuales para tratar (o estabilizar) la variedad de lodos primarios y secundarios producidos. La digestión de lodo anaerobio también reduce olores y disminuye la cantidad de sólidos presentes en el lodo (y por lo tanto, los costos de transporte), también produce energía en forma de metano y gases de dióxido de carbono que pueden ser utilizados como fuente de energía.

Como su nombre lo indica, la estabilización de los lodos ocurre en ausencia de oxígeno. La digestión se da en tres etapas. En la primera etapa sólidos orgánicos complejos, celulosa, proteínas y lípidos son degradados por enzimas extracelulares a ácidos grasos solubles, alcoholes, dióxido de carbono y amoníaco. En la segunda etapa, los productos de la primera etapa son convertidos en ácidos orgánicos y alcoholes por microorganismos formadores de ácidos. En la tercera etapa las bacterias formadoras de metano convierten el hidrógeno y el dióxido de carbono en metano y el acetato a metano y dióxido de carbono.

Los lodos activados es un proceso convencional de tratamiento de aguas el cual consiste de un tanque de aireación o reactor biológico, seguido de un clarificador secundario y una línea de retorno de lodos.

El reactor sigue un modelo de tipo pistón con recirculación de la biomasa, el agua residual entra al reactor donde permanece por cierto tiempo (tiempo de retención hidráulico), donde es aireado por medio de unos sopladores que inyectan aire a través de unas cadenas de aireación, las cuales poseen difusores de microburbuja que permiten un mayor contacto y permiten una mejor dilución del oxígeno en el agua.

El presente trabajo pretende describir la manera en que el agua es purificada a través de un proceso natural ayudado de la tecnología hasta ahora desarrollada en el campo de la ingeniería ambiental.

El agua de desecho proveniente de la cervecería inicia su tratamiento al pasar a través de una criba de gruesos, la cual retiene sólidos mayores a una pulgada, el agua es bombeada mediante un sistema de carcamos los cuales hacen la función de cisterna, estos almacenan una cierta cantidad de agua que luego es bombeada a la planta de tratamiento de efluentes donde comienza la depuración del agua.

El agua pasa a través de unas cribas rotatorias donde se retienen los sólidos mayores a 1 mm de diámetro, esto es con el fin de evitar problemas posteriores en el reactor ya que puede servir como medio de soporte para formar floculos dentro de este y disminuir la capacidad del reactor.

El agua ya cribada es conducida a unos tanques de acondicionamiento donde se ajustaran parámetros como pH y temperatura. El pH porque es necesario tener las condiciones adecuadas para las bacterias formadoras de metano las cuales viven en un ambiente óptimo de 6-8 unidades de pH, así mismo la temperatura es indispensable que sea controlada ya que dichas bacterias son mesofílicas; es decir, su temperatura de operación, sin causar inhibición en su metabolismo es de 30 a 40°C.

Posteriormente el agua pasa a través de un sistema anaerobio de reactores donde, el 80% de la carga orgánica será removida. Es aquí donde las bacterias metanógenas hacen su función y se produce biogas útil como energético. Puesto que el agua de desecho es deficiente en algunos nutrientes, es necesario adicionárselos a través de un sistema de dosificación a los que llamamos micronutrientes ya que la dosis requerida de estos es muy pequeña.

Finalmente el agua es llevada al sistema aerobio donde el 20% restante de la carga orgánica será degradada, este sistema funciona básicamente como purificador del efluente proveniente de los reactores. El excedente de lodo tanto aerobio como anaerobio es llevado a un tanque de espesamiento de lodos donde se almacena por cierto tiempo y luego es llevado a unas decantadoras donde se le da tratamiento para su disposición final.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 Calidad del agua

El agua – a diferencia del aire - tiene una composición precisa (H_2O) y, por lo tanto, es fácil identificar los compuestos ajenos a ella. Sin embargo, la definición de cuales son los contaminantes es difícil.

En general, se considera como “contaminante” al exceso de materia o energía (calor) que provoque daño a los humanos, animales, plantas y bienes, o bien, que perturbe negativamente las actividades que normalmente se desarrollan cerca o dentro del agua. De esta forma, no existe una división precisa entre las aguas contaminadas y las no contaminadas, este calificativo se atribuye en función del uso, las exigencias higiénicas y del grado de avance de la ciencia y tecnología para determinar los efectos y medir los contaminantes. A pesar de la dificultad para definir contaminación, es claro que esta provoca el abatimiento o muerte de la flora y fauna, impide el uso de agua en industrias o ciudades y deteriora el medio ambiente, e incluso el paisaje.

El agua sirve de medio de transporte para hacer llegar al organismo sales minerales tales como calcio, magnesio, sodio, potasio y hierro; los que son de gran importancia ya que por ejemplo el 99% del calcio en el organismo se encuentra en los huesos.

El origen de la contaminación es muy variado pero se pueden citar como causantes a los desechos urbanos e industriales, los drenados de la agricultura y de minas, la erosión, los derrames de sustancias tóxicas (accidentales o intencionales), los efluentes de plantas depuradoras, los subproductos de los

procesos de depuración, la ruptura de drenajes y el lavado de la atmósfera, entre otros.

1.2 Tipos de contaminantes del agua.

DE ACUERDO CON SU NATURALEZA

- ◆ **Físicos.** Son alteraciones de las propiedades físicas del agua, tales como temperatura, color, turbiedad, etc. Su origen y efectos son diversos.
- ◆ **Químicos.** Los compuestos químicos provienen de los drenados de minas, desechos solubilizados de la agricultura, derrames de petróleo, pesticidas, aguas residuales municipales, desechos líquidos industriales y compuestos radioactivos. Producen efectos diversos y pueden ser de origen natural o sintético. Algunos son desechados directamente, otros, se forman por la reacción entre diferentes compuestos en el agua y, por último, una pequeña fracción se forma durante el procesamiento del agua. Entre estos últimos se encuentran los organoclorados (tetracloruro de carbono y cloroformo, principalmente) que se forman durante la desinfección del agua con cloro.
- ◆ **Biológicos.** Son seres vivos que provocan enfermedades en el hombre u otras especies. Las más comunes en el hombre son la tifoidea, la salmonelosis, disentería, cólera y helmintiasis. Los agentes que las causan entran al agua a través de las heces fecales de humanos o animales. Para tener una idea de la magnitud de este problema, se estima que el 80% de todas las enfermedades, y más de 1/3 de los fallecimientos en países en vías de desarrollo, se debe al consumo de agua contaminada.

DE ACUERDO CON EL TAMAÑO

- ◆ **Materia suspendida.** Corresponde a moléculas en fase dispersa con diámetro equivalente entre 1 y 100 μm .
- ◆ **Materia coloidal.** Es materia suspendida con características similares a la materia disuelta. Tiene diámetro equivalente entre 10⁻³ y 1 μm y se caracteriza por ser de sedimentación muy lenta.
- ◆ **Materia disuelta.** Son moléculas o iones disueltos con diámetro equivalente entre 10⁻⁵ y 10⁻³ μm

DE ACUERDO AL GRUPO QUE PERTENECE

Biológicos

Compuestos orgánicos biodegradables

Detergentes

Eteres

Fenoles

Hidrocarburos

Metales

No metales

Nutrientes (N y P)

Plaguicidas

Radioactivos

Radicales (CN⁻)

1.3 Métodos de tratamiento.

Un sistema de tratamiento se compone de la combinación de procesos y operaciones unitarias que tienen por objeto reducir determinados compuestos hasta un nivel predeterminado. Las operaciones son sistemas en donde intervienen, básicamente, fuerzas físicas de separación, en tanto que los procesos involucran cambios de estados de la materia por medios químicos o biológicos.

Tabla 1. Métodos de tratamiento

ETAPA	PROCESO
Pretratamiento	Cribado Flotación Desarenación
Primario	Sedimentación Reoxigenación
Secundario	Procesos biológicos Coagulación – Floculación
Terciario/avanzado	Filtración Remoción de N y P Remoción de detergentes
Complementario	Desinfección

PROCESOS FISICOS

Igualación. El objetivo de la igualación es minimizar o controlar las fluctuaciones de las características de las aguas residuales, de tal forma que se logre un influente lo más homogéneo posible para, así, operar en condiciones óptimas los procesos subsecuentes y aumentar la eficiencia. El tipo y tamaño de tanque se define en función de la calidad y gasto del agua residual. Sus objetivos son:

- ◆ Homogeneizar la carga orgánica y diluir efluentes tóxicos
- ◆ Controlar el pH y minimizar los requerimientos químicos necesarios para la neutralización.

Con el fin de acelerar el proceso, se mezcla el contenido del tanque de igualación mediante agitadores mecánicos o con la introducción de aire, en ambos casos se aumenta el estado de oxidación de los compuestos reducidos del agua residual.

Cribado. Es la etapa de pretratamiento en la que se realiza la remoción de sólidos suspendidos de gran tamaño por medio de unidades de rejillas o microtamices. Se aplica tanto en potabilización como en depuración.

Desarenación. La unidad desarenadora se utiliza para remover sólidos inorgánicos pesados, el material que elimina puede dañar las partes mecánicas de la planta de tratamiento. Los desarenadores operan bajo el principio de sedimentación debido a la reducción de la velocidad del flujo.

Flotación. Cuando las partículas son muy pequeñas y de baja densidad (cercana a la del agua), la flotación se emplea para removerlas en los desarenadores. Los tiempos de retención son relativamente cortos y se obtiene buena clarificación. Se emplea para instalaciones grandes.

Sedimentación. Es un proceso físico de separación de sólidos. Esta operación se emplea como etapa complementaria de otro tratamiento (coagulación – floculación, precipitación, oxidación biológica, etc.).

Filtración. La filtración del agua es un proceso físico – químico que separa los sólidos suspendidos y la materia coloidal de la fase líquida por medio de un material poroso. Durante la filtración a profundidad, el agua llena los poros del filtro y las impurezas son retenidas en el empaque por adhesión.

Entre otras propiedades, la filtración:

- ◆ Remueve partículas y materia coloidal no sedimentable después de la floculación biológica o química. o de ambas.
- ◆ Incrementa la remoción de sólidos suspendidos, turbiedad, fósforo. DBO, DQO, metales pesados, asbestos, bacterias, huevos de helmintos, virus y otras sustancias.
- ◆ Mejora la eficiencia y reduce el costo de desinfección a través de la remoción de materia orgánica suspendida y otras sustancias interferentes.
- ◆ Asegura la operación continua de la planta y calidad constante del efluente.

Desorción. Es una operación unitaria en la cual las moléculas disueltas en un líquido se transfieren del agua a un flujo gaseoso corriente de vapor. La fuerza para la transferencia es suministrada por el gradiente de concentración; las moléculas de soluto se mueven del líquido al gas hasta alcanzar el equilibrio. La aeración se aplica para remover gases disueltos (desgasificación) o agregar oxígeno para convertir sustancias indeseables en formas menos inocuas (oxidación).

PROCESOS DE MEMBRANA

Osmosis inversa. Es la separación del agua de una solución concentrada a través de una membrana semipermeable por medio de una presión mayor que la presión osmótica y en sentido inverso a esta (figura 1). Este proceso, empleado comúnmente para eliminar sales disueltas, está bastante comercializado porque tiene elevados rendimientos en instalaciones relativamente compactas.

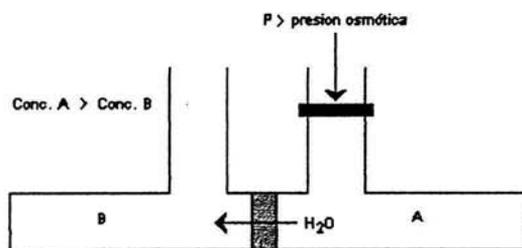


Fig. 1. Principio de la ósmosis inversa

Ultrafiltración, hiperfiltración y microfiltración. Son procesos en los cuales, a través de una membrana semipermeable y con baja presión (0.37 a 7 Kg/cm²), se separan del solvente los materiales de alto peso molecular como coloides, microorganismos, sólidos suspendidos del agua y complejos metálicos, con base en su tamaño, forma y flexibilidad molecular. A diferencia de la ósmosis inversa no separan sales, iones, ni compuestos orgánicos de bajo peso.

PROCESOS QUIMICOS

Neutralización. La neutralización se basa en las reacciones ácido - base. Se emplea cal o sosa cáustica para alcalinizar y CO₂ o H₂SO₄ para acidificar. Para el óptimo funcionamiento del proceso de neutralización se requiere definir las

variaciones del pH en función de la dosis suministrada, la que a su vez depende de la alcalinidad.

Coagulación-Floculación. La turbidez de una agua residual se debe a sustancias que no sedimentan en solución tales como compuestos coloridos, organismos microscópicos, etc., dichas partículas forman una dispersión coloidal cuyo peso no es influenciado por las fuerzas de gravedad. Los coloides se clasifican en hidrofóbicos e hidrofílicos. Los coloides hidrofílicos son estables debido a su afinidad por las moléculas de agua y por la poca carga que puedan poseer. Debido a tal afinidad la cantidad de coagulante es 10 a 20 veces la empleada en un tratamiento convencional de agua residual. Las partículas hidrofóbicas no poseen ninguna afinidad por el agua y depende de su carga eléctrica para su estabilización. Las fuerzas que actúan sobre los coloides hidrofóbicos se muestran en la figura 2, donde las partículas son apartadas por fuerzas de repulsión desarrolladas por iones positivos adsorbidos en su superficie.

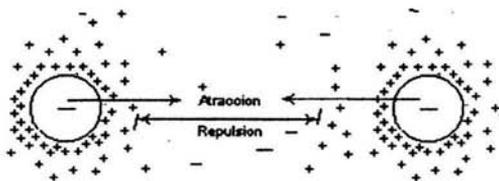


Fig.2 Fuerzas que actúan en coloides hidrofóbicos en una suspensión estable.

El propósito de la coagulación química en el tratamiento de aguas residuales es desestabilizar los contaminantes suspendidos para aglomerarlos formando flóculos que puedan sedimentar. La desestabilización de los coloides hidrofóbicos viene acompañada de la adición de coagulantes químicos tales como sales de hierro o aluminio. Los iones metálicos hidrolizados altamente cargados producidos por las sales en solución reducen las fuerzas de repulsión entre los coloides al comprimir la doble capa que rodea a las partículas, (figura 3). Comúnmente se utilizan los

términos coagulación para denotar el proceso de la desestabilización de una dispersión coloidal mediante la supresión de la doble capa y floculación a la agregación de las partículas.

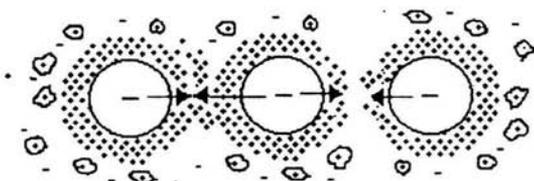


Fig.3 Compresión de la doble capa mediante la adición de coagulantes químicos.

Este proceso remueve sólidos que, debido a su tamaño pequeño ($10\text{-}120\mu\text{m}$), no sedimentan por acción de la gravedad o lo hacen en forma muy lenta. Este tratamiento se aplica en situaciones específicas, por ejemplo, cuando:

- ◆ El agua residual contiene gran cantidad de compuestos en estado coloidal o suspendido, que son o no tóxicos.
- ◆ Los componentes del agua residual no son biodegradables.
- ◆ Los reactivos para el tratamiento se adquieren con precios bajos.
- ◆ Se desea garantizar la sedimentación de los sólidos.
- ◆ Como pretratamiento con la finalidad de aumentar la eficiencia de los procesos subsecuentes de remoción.
- ◆ Cuando los requisitos del efluente justifican el empleo de un proceso primario avanzado.

Intercambio iónico. Las operaciones de intercambio iónico son básicamente reacciones químicas de sustitución entre un electrólito en solución y otro en estado insoluble.

Ablandamiento. Es un proceso de eliminación de sales por precipitación o por intercambio iónico; el primero es el más empleado. La dureza que produce

Incrustaciones en las tuberías se define como la suma de los metales iónicos polivalentes y su valor se aproxima a la suma de los cationes Ca^{+2} y Mg^{+2} .

Precipitación. Este es el proceso más empleado para la remoción de metales. Si los metales se encuentran en la materia suspendida, su remoción se realiza por coagulación; en cambio, si se encuentran disueltos se deben eliminar mediante precipitación como hidróxidos.

Oxidación Química. El propósito de la oxidación en el tratamiento de agua es convertir especies químicas no deseables en compuestos que no sean peligrosos o que deterioren la calidad del agua.

Desinfección. Es la inactivación y/o destrucción de microorganismos (en teoría patógenos, pero incluye de todo tipo) del agua en un nivel no patógeno; la esterilización, es decir, la destrucción total de la materia viviente en el agua, no es el objetivo. En general, la desinfección tiene por objeto reducir los coliformes fecales hasta menos de 1000 NMP/100 ml en agua residual y a 2.2 NMP/100ml, que es el límite de detección en agua potable.

PROCESOS BIOLÓGICOS

Estos procesos pueden ser de cuatro tipos: aerobios, anaerobios, anóxicos y facultativos. Los procesos aerobios son los que requieren oxígeno disuelto; en cambio, en los anaerobios hay ausencia de este. Los anóxicos se llevan a cabo en presencia de oxígeno combinado (NO_3^- , SO_4^{-2} , etc). En los procesos facultativos existen poblaciones mixtas, además de que intervienen microorganismos, denominados facultativos, que son indiferentes a la presencia o ausencia de oxígeno (Ver tabla 2).

Tabla 2. Sistemas biológicos de tratamiento

<p>Biomasa suspendida</p>	<p>Aerobios</p>	<p>Lodos activados Lagunas aireadas Lagunas de oxidación de alta tasa Nitrificación</p>
	<p>Anóxicos</p>	<p>Tipo lodos activados Reactor de lecho ascendente</p>
	<p>Anaerobio</p>	<p>Digestor de alta tasa Contacto anaerobio Reactor de lecho de lodos con flujo ascendente</p>
<p>Biomasa fija</p>	<p>Aerobios</p>	<p>Filtro percolador Disco biológico rotatorio Filtro sumergido Lecho fluidificado</p>
	<p>Anóxicos</p>	<p>Filtro sumergido Disco biológico rotatorio Lecho fluidificado</p>
	<p>Anaerobio</p>	<p>Filtro anaerobio Disco biológico rotatorio sumergido Laguna anaerobia Lecho fluidificado</p>
	<p>Combinado</p>	<p>Uso del suelo como método de tratamiento</p>

CAPÍTULO 2

CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DEL AGUA

2.1 Acidez

La acidez de un agua es su capacidad cuantitativa para reaccionar con una base fuerte hasta un pH designado. La acidez constituye la medida de una propiedad sobreañadida del agua y puede interpretarse en términos de sustancias específicas solamente cuando se conoce la composición química de la muestra

2.2 Alcalinidad

La alcalinidad de un agua es su capacidad para neutralizar ácidos y constituye la suma de todas las bases titulables. Contribuyen a la alcalinidad principalmente los iones bicarbonato, HCO_3^- , CO_3^{2-} , y oxhidrilo, OH^- , pero también los fosfatos y ácido silícico u otros ácidos de carácter débil. Los bicarbonatos y los carbonatos pueden producir CO_2 en el vapor que es una fuente de corrosión en las líneas de condensado.

2.3 Color

El color es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible. No se puede atribuir a ningún constituyente en exclusiva, aunque ciertos colores en aguas naturales son indicativos de la presencia de ciertos contaminantes. El agua pura solo es azulada en grandes espesores. En general presenta colores inducidos

por materiales orgánicos de los suelos vegetales, como el color amarillento debido a los ácidos húmicos.

La expresión color se debe considerar que define el concepto de color verdadero, esto es, el color del agua de la cual se ha eliminado la turbiedad. El término de color aparente no incluye únicamente lo relativo a las sustancias en solución, sino también el atribuible a las sustancias en suspensión. El color aparente se determina en la muestra original, sin filtración o centrifugación.

2.4 Conductancia específica

La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura de la medición.

2.5 Fosfatos

El fósforo tiene su origen como depósito las rocas de la corteza terrestre, es de ahí donde se incorpora a los ecosistemas, también lo hallamos en aguas profundas y poco profundas.

El fósforo biológico forma parte del esqueleto de los animales vertebrados y una muy pequeña parte forma parte del citoplasma celular. Las plantas superiores contienen 3 décimas del 1% de su materia seca en fósforo, proporción similar al contenido de las rocas ígneas. Los animales herbívoros tienen un porcentaje mucho más alto de fósforo en su esqueleto (20%) y también lo eliminan

rápidamente mediante sus heces fecales, así este retorna al suelo para sedimentarse en los lagos y en los mares. Las aves marinas depositan guano gradualmente en los litorales, en los cuales se alimentan los peces.

2.6 Nitrógeno

El nitrógeno constituye el 78% del volumen de la troposfera, dicha cantidad no es aprovechada por los seres vivos puesto que esta en forma gaseosa, por lo que para ser aprovechada es necesario convertirlo a nitratos solubles. Dicha transformación es llevada a cabo por ciertas bacterias que se encuentran en las raíces de algunos vegetales; como lo son las leguminosas. De esta forma los nitratos ya solubles en el suelo, pueden ser absorbidos por las plantas a través de su raíz. Las plantas convierten a los nitratos en aminoácidos, que son la estructura primaria de las proteínas.

Las proteínas pueden: ya sea convertirse en proteínas animales o al morir el vegetal, transformarse en compuestos de amonio y otros productos de desecho no nitrogenados.

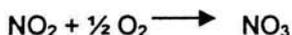
Cuando las proteínas animales se transforman, estas pueden ser en forma de urea, amoníaco o ácido úrico sobre las cuales actúan las nitrobacterias o bacterias putrificantes para producir nitratos o nitrógeno molecular. Al morir el animal, actúan las bacterias putrificantes que producen amonio.

Al morir los vegetales, los compuestos de amonio son atacados por otras bacterias que producen nitrógeno atmosférico (N_2), si son del tipo desnitrificante, o nitratos si actúan las nitrobacterias.

Durante el tratamiento de las aguas en un tanque de lodos activados ocurre una oxidación o nitrificación completa por una diversidad de organismos nitrificantes. Dicho proceso de nitrificación ocurre en dos etapas llevadas a cabo por dos familias de microorganismos; Nitrosomonas y Nitrobacter. La primera etapa se le conoce como nitrosificación, y es la siguiente:



La segunda etapa es llevada a cabo de la siguiente forma:

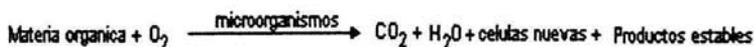


También se lleva a cabo la desnitrificación a través de organismos facultativos mediante la siguiente reacción:



2.7 Demanda bioquímica de oxígeno.

Es la cantidad de oxígeno requerida por una población heterogénea de microorganismos para llevar a cabo la oxidación de residuos orgánicos aerobicamente (en presencia de oxígeno) hasta producir compuestos estables como CO_2 , SO_4 , PO_4 y NO_3 . La reacción es la siguiente:



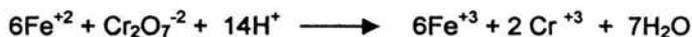
La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) es el parámetro más ampliamente utilizado para definir el grado de contaminación de un agua. Su mayor aplicación se encuentra al medir la carga residual de un agua en plantas de

tratamiento y para evaluar la eficiencia de dichos sistemas. Por lo tanto la DBO es una prueba que se utiliza para determinar los requerimientos de oxígeno de efluentes tratados y de aguas contaminadas.

La DBO es por definición la cantidad de oxígeno utilizado por una población mixta de microorganismos en la oxidación aerobia a una temperatura de 20°C. Esta es una prueba que dura 5 días debido a que resultaría poco práctico esperar hasta 20 días para cuantificar la oxidación completa de la materia orgánica. Por ello es preferida la DQO cuyo tiempo de realización es considerablemente menor al de la DBO.

2.8 Demanda química de oxígeno

Es una medida que proporcionan la cantidad de oxígeno equivalente a la porción de muestra orgánica presente en una muestra de agua capaz de oxidarse por medio de un oxidante fuerte. Es una medida ampliamente utilizada debido a la rapidez con la que se realiza (no más de 3 hrs). Su principal limitación radica en que no diferencia la muestra orgánica biológicamente oxidable de la inicial. La reacción es la siguiente:



2.9 Temperatura

La temperatura nos proporciona información sobre la calidad del agua ya que de esta depende la preservación de la vida acuática y de las fuentes de abastecimiento de agua potable. Las altas temperaturas indican actividad biológica,

química y física por lo que tienen un efecto directo en el tratamiento del agua y en su tratamiento.

La temperatura afecta las tasas de crecimiento biológico, las reacciones químicas, la solubilidad de los contaminantes y el desarrollo de la vida.

Al aumentar la temperatura el oxígeno es menos soluble y la actividad metabólica de los microorganismos aumenta. En casos extremos a una temperatura de unos 60°C la población microbiana tenderá a morir tal y como sucede con la pasteurización.

2.10 Turbiedad

La turbidez en el agua es ocasionada por materias en suspensión, materias orgánicas e inorgánicas, plancton y otros microorganismos. Es una expresión de la propiedad óptica que origina que la luz se disperse y absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra. La importancia de este factor radica principalmente en que el agua es empleada en la fabricación de bienes de consumo humano. En aguas naturales dificulta la penetración de la luz a través del cuerpo de agua afectando la fotosíntesis.

CAPÍTULO 3

MICROBIOLOGÍA DE LA DIGESTION ANAEROBIA

3.1 Aspectos generales

Los sistemas de tratamiento biológico del agua residual, se fundamentan en la capacidad de diversos microorganismos para degradar la materia orgánica presente transformándola en biomasa fácil de retirar por decantación. El tratamiento de las aguas residuales no altera ni modifica los procesos de las aguas naturales de autopurificación, únicamente los optimiza mediante el control de las variables que aceleran el proceso natural de la degradación.

Los tipos de microorganismos presentes en los procesos de tratamiento de agua residual incluyen virus, hongos, algas, protozoarios, rotíferos, nemátodos y bacterias.

Las bacterias actúan sobre la materia orgánica degradándola de la que tienen la energía necesaria para llevar a cabo sus funciones vitales y la síntesis celular. Por lo que son de suma importancia en los sistemas de tratamientos de aguas residuales, en donde aceleran la descomposición natural de los materiales orgánicos.

Los procesos bioquímicos de degradación que se dan en la digestión anaerobia, son responsabilidad de las bacterias que se encuentran en los reactores y el efluente a tratar constituye el sustrato para los microorganismos.

Las reacciones bioquímicas que tienen lugar en forma natural en los cuerpos de agua o bajo condiciones controladas en las plantas de tratamiento, se clasifican

con base en el metabolismo de los microorganismos que las llevan a cabo en tres grandes grupos: aerobios, anaerobios y facultativos.

Las reacciones bioquímicas que tienen lugar en los sistemas de tratamiento de agua residual, se ven influenciadas por una serie de factores entre los que se encuentran: la presencia de nutrientes, temperatura, pH, contenidos de sales y sustancia tóxicas entre otros.

El biogas producido de la digestión anaerobia es incoloro, inoloro y es capaz de proporcionar hasta 1000 Btu/ft³.

Existe una variedad de factores que afectan la velocidad de digestión y producción de biogas. La más importante es la temperatura. Las comunidades de bacterias se pueden clasificar con respecto a la temperatura como sigue:

Criófilas	-2 a 30 °C
Mesófilas	25 a 40 °C
Termófilas	45 a 60 °C
Esternotermófilas	> 60 °C

3.2 Etapas de la digestión anaerobia

La mineralización de la materia orgánica por un sistema microbiológico mixto en condiciones de ausencia de oxígeno (o fuertemente reductoras), se denomina digestión anaerobia.

El esquema más ampliamente aceptado de la digestión anaerobia de un sustrato complejo con materia orgánica en suspensión, es el que involucra tres

etapas: hidrólisis y fermentación, acetogénesis y metanogénesis.

El conocimiento actual de la microbiología de estos ecosistemas, ha demostrado que la degradación anaerobia involucra básicamente los siguientes grupos de bacterias:

- ◆ Hidrolíticas y fermentativas
- ◆ Acetógenas (OHPA)
- ◆ Metanógenas acetoclásticas (MA)
- ◆ Metanógenas hidrogenófilas (MH)

Posteriormente se propuso que el flujo de sustratos pasa por seis distintos procesos de conversión, incluidos en las tres etapas.

1. Hidrólisis (ruptura) y fermentación

- a. Hidrólisis de polímeros (proteínas, carbohidratos y lípidos)
- b. Fermentación de aminoácidos y azúcares.

2. Acetogénesis (producción de ácido acético)

- a. Oxidación anaerobia de ácidos grasos de cadena larga y alcoholes (β -oxidación)
- b. Oxidación anaerobia de productos intermedios como ácidos volátiles (AGV's) excepto el acetato.

3. Metanogénesis (generación del metano)

- a. Conversión de acetato a metano
- b. Formación de metano a partir de CO_2 y H_2

El desarrollo de la digestión anaerobia, se establece cuando las bacterias son incapaces de alimentarse de material orgánico particulado, por lo que se deben hidrolizar (romper) inicialmente los polímeros (carbohidratos, proteínas y lípidos) por medio de enzimas extracelulares a polímeros solubles o monómeros como azúcares, aminoácidos y grasas superiores.

Posteriormente los azúcares y aminoácidos son utilizados por los organismos fermentadores para producir acetato, CO_2 , hidrógeno y biomasa, mientras que los ácidos grasos superiores son convertidos en ácidos grasos volátiles e hidrógeno, por los oxidadores anaerobios, mediante una reacción de β -oxidación.

En la primera etapa los ácidos grasos volátiles (AGV's): acético, propiónico, butírico, isobutírico e isovalérico, representan los principales intermediarios de la digestión anaerobia.

El propianato y el butirato son degradados hasta acetato e hidrógeno por un grupo de bacterias conocido como OHPA (bacterias acetógenas productoras obligadas de hidrógeno), las cuales deben de existir en relación sintrófica con las metanógenas que utilizan hidrógeno. El acetato y el H_2 son los principales sustratos de las bacterias metanógenas.

3.3 Bacterias formadoras de ácidos grasos

Estas bacterias pueden ser anaerobias facultativas o estrictas de crecimiento rápido (tiempo mínimo de duplicación 30 min). Fermentan la glucosa para producir CO₂, H₂ y una mezcla de ácidos acético, propiónico y butírico en función de la concentración de hidrógeno en el medio de acuerdo a las siguientes reacciones:



Donde ΔG° = Energía libre de formación (o de Gibbs) a 25°C y 1 atmósfera de presión. El signo negativo indica que la reacción libera energía.

Durante la acidogénesis la velocidad específica de crecimiento obtenida con glucosa (μ Glucosa) es de 0.05 a 0.3 h⁻¹.

Las bacterias anaerobias estrictas del género Clostridium constituyen una fracción importante de la población anaerobia responsable de la primera etapa, pero se ha reportado también la presencia de otros grupos bacterianos tales como Bacteroides, Bacillus, Enterobacteriaceae, Pelobacter, Acetobacterium e Ilyobacter.

Debido a la rapidez de las reacciones hidrolíticas y fermentativas de esta etapa, una sobrecarga orgánica produce un exceso de AGV's que acidifican el sistema. Además de los ácidos grasos volátiles, se producen alcoholes y ácidos dicarboxílicos.

3.4 Bacterias acetógenas productoras obligadas de hidrógeno

Durante la acetogénesis, los productos de la fermentación son convertidos en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por un grupo de bacterias denominadas "bacterias acetógenas productoras obligadas de hidrógeno" (Obligated Hydrogen Producing Acetogen, OHPA).

Estas bacterias son inhibidas por el hidrógeno que producen y, por tal razón, viven en una relación sintrófica con las bacterias metanógenas hidrogenófilas (MH) quienes se encargan de consumir H_2 .

Su existencia fue deducida, a partir de las limitaciones metabólicas que se conocían de los otros grupos de bacterias. Las bacterias OHPA convierten, en asociación con metanógenas hidrogenófilas, los ácidos propionico y butírico en ácido acético de acuerdo a las ecuaciones.

3.5 Bacterias metanógenas

Las bacterias metanógenas son esenciales para la digestión anaerobia ya que son las únicas que pueden catabolizar la reacción a partir de acetato e hidrogeno para dar como productos gaseosos metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), en ausencia de energía luminosa o aceptores de electrones exógenos como oxígeno (O_2), nitritos (NO_2), nitratos (NO_3) y sulfatos (SO_4^{2-}).

Con base en estudios genéricos y bioquímicos este grupo tiene una posición filogenética especial (Archeobacterias), ya que su pared celular no contiene mureína y su membrana citoplásmica esta constituida por hidrocarburos isoprenoides, en lugar de ésteres de glicerina y ácidos grasos como en el resto de

las bacterias. Se encuentran en la naturaleza en ambientes donde predomina ausencia total de oxígeno. Contienen coenzimas específicas.

La composición inorgánica de las bacterias metanógenas muestra que contiene los nutrientes esenciales Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Azufre (S) en concentraciones normales, mientras que algunos micronutrientes como Níquel (Ni), Hierro (Fe) y Cobalto (Co), están presentes en concentraciones más altas a diferencia de otros microorganismos, lo que implica un requerimiento particular de estos elementos por dichas bacterias.

3.6 Bacterias metanógenas acetoclásticas

Son las bacterias que producen metano a partir del ácido acético. Normalmente alteran el pH del medio debido a la eliminación del ácido acético y la producción de CO₂ que al disolverse forma una solución amortiguadora de bicarbonato (HCO₃⁻). La reacción de formación de metano es la siguiente:



Durante la metanogénesis, la velocidad de crecimiento obtenida con acetato es de 0.014h⁻¹.

Esta reacción es de suma importancia para la digestión anaerobia dado que produce el 73% del metano.

que las metanobacterias utilizadores de H₂ regulan la digestión anaerobia; los géneros más representativos son:

Methanobrevibacter arboriphilicus

Methanospirillum hungate

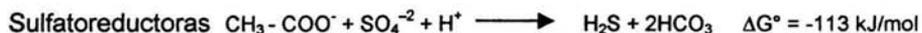
Mmethanobacterium formicicum

3.8 Bacterias sulfato-reductoras (SR)

Otras bacterias presentes en los digestores anaerobios, especialmente cuando hay presencia de sulfatos, son las llamadas sulfatoreductoras, que son organismos capaces de reducir los sulfatos a sulfuros de acuerdo a la reacción:



Estas bacterias utilizan, en medio anaerobio, el sulfato como aceptor final de electrones y la materia orgánica como donador. Su importancia es grande ya que puede competir con las metanobacterias impidiendo la formación de metano. Aunque en general, las sulfatoreductoras utilizan ácido pirúvico y láctico, algunas pueden utilizar también acético en competencia con las metanobacterias.



De estas dos reacciones, la más favorecida termodinámicamente es la sulfatoreductora. Sin embargo en un digestor anaerobio esta reacción no se lleva a cabo en forma significativa a menos que los sulfatos se encuentren en concentraciones elevadas; en este caso la producción de H₂S puede provocar problemas de corrosión en los reactores anaerobios

3.9 Tipos de procesos anaerobios

3.9.1 Reactores anaerobios de primera generación

En estos reactores la biomasa se encuentra sedimentada con poco contacto con el sustrato o en suspensión sin recirculación de sólidos.

Fosa séptica. Su función es hidrolizar la materia orgánica para eliminar una gran cantidad de sólidos sedimentables, los que se descomponen en el fondo del tanque produciendo gases que arrastran a los sólidos y los obligan a subir a la superficie.

Tanque Imhoff. Este tanque impide que los sólidos separados de las aguas residuales se mezclan nuevamente con ellas y proporcionan un efluente listo para un tratamiento posterior.

Digestor anaerobio convencional. Estos pueden ser no mezclados, continuamente mezclados o intermitentes. En uno completamente mezclado la biomasa se encuentra distribuida en todo el reactor y abandona el proceso con el efluente tratado. No contiene medio de soporte y su material biológico puede sedimentar fácilmente y acumularse si el mezclado es inadecuado.

Reactor de contacto anaerobio. Este mejora la separación y contacto de lodo anaerobio de un digestor convencional, la biomasa puede ser controlada con el flujo de agua residual.

3.9.2 Reactores anaerobios de segunda generación

Estos utilizan un soporte inerte para el desarrollo de la biomasa. El soporte fijo evita el lavado de la biomasa y permite la alimentación del agua residual en flujo ascendente.

Filtro anaerobio. Este hace pasar el agua residual a través de un lecho de roca. Una gran cantidad de biomasa no está adherida la que permite a la remoción considerable de contaminantes.

Reactor tubular de película fija. Evita la acumulación de lodos dentro del reactor. Utiliza como soporte tubos o placas dispuestas de tal forma que se crean canales verticales.

Reactor biológico rotatorio. El medio de soporte es plástico que es movido a través del agua residual. Dicho medio de soporte puede estar sumergido parcial o totalmente.

Reactor anaerobio de lecho de lodos de flujo ascendente. Este tipo de reactor no requiere ningún tipo de soporte para retener la biomasa. Su principio de funcionamiento se basa en la buena sedimentabilidad de la biomasa producida dentro del reactor, la cual se aglomera en forma de granos o "pellets" de hasta 5 mm de diámetro.

En la figura 4 se muestra al bioreactor UASB, el cual es el más ampliamente utilizado en el tratamiento anaerobio de aguas residuales.

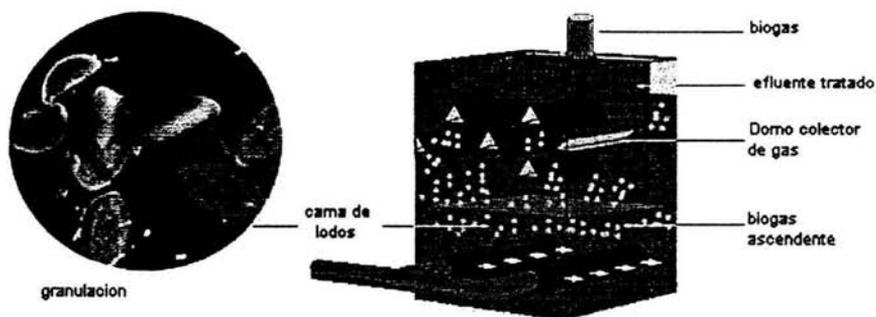


Fig. 4. Esquema del funcionamiento de un reactor anaerobio.



Fig. 5. Vista del interior de un granulo de lodo el cual muestra una diversidad microbiana

La figura 6 muestra el funcionamiento de un reactor anaerobio de flujo ascendente.

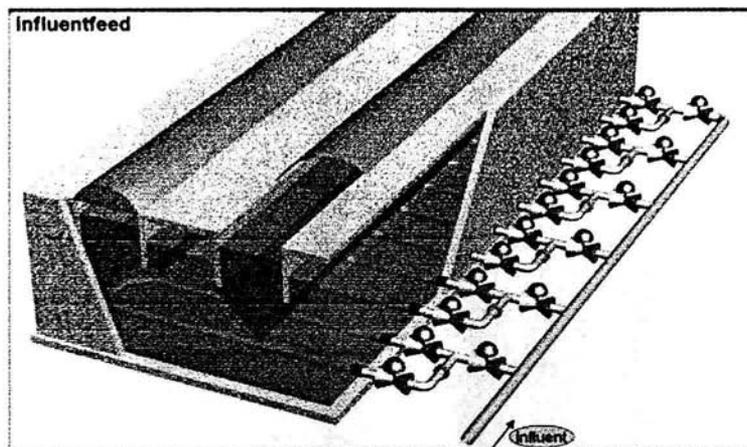


Fig. 6 Funcionamiento de un reactor anaerobio de flujo ascendente.

El agua residual es bombeada al reactor mediante un sistema de distribución en el fondo del reactor. El sistema de distribución combina una distribución uniforme sobre la superficie entera del reactor con una acción hidráulica óptima para acomodar los gránulos de lodo activo. La biomasa anaerobia del reactor metaboliza los compuestos orgánicos disueltos y los transforma en biogas (que es una mezcla de CH_4 y CO_2) y una pequeña cantidad de nueva biomasa. El biogas es colectado bajo el techo del reactor, el agua residual entra a una canaleta la cual separa al lodo del biogas.

Reactor híbrido. En este proceso los sólidos biológicos no adheridos se acumulan en la zona sin empaque por abajo del medio de soporte. Quedando un espacio el cual sirve para el monitoreo de la concentración y nivel de lecho de lodos. Posee una zona empacada que sirve como separador gas-sólido-líquido que ayuda a la retención de lodos del lecho no adheridos.

3.9.3 Reactores anaerobios de tercera generación

Reactor de lecho expandido. En este sistema los microorganismos están adheridos a un medio de soporte inerte. Dicho soporte es expandido mediante una elevada velocidad ascendente. Su principal problema es que genera acanalamientos.

Reactor de lecho fluidificado. Los microorganismos se encuentran adheridos a un medio de soporte como arena, carbón activado o gránate. El soporte es fluidificado por las altas velocidades ascendentes. La diferencia entre un lecho expandido y uno fluidificado es la velocidad de flujo ascendente utilizada y el grado de expansión a la que se mantiene el medio.

CAPÍTULO 4

MICROBIOLOGIA DE LA DIGESTION AEROBIA.

4.1 Aspectos generales

Este proceso fue desarrollado en Inglaterra en 1914 por Adern y Lockett y fue llamado así por la producción de un masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aeróbica. En la actualidad se usan muchas versiones del proceso original.

En el proceso de lodos activados los residuos se estabilizan biológicamente en un reactor en presencia de oxígeno. El ambiente aerobio se logra mediante el uso de aereación por medio de difusores. Una vez que el agua residual ha sido tratada en el reactor, la biomasa resultante se separa del líquido en un tanque de sedimentación y parte de los sólidos sedimentables son retornados al reactor, la masa excedente es eliminada ya que de no ser así esta continuaría creciendo hasta ya no dar cabida a más.

El proceso de lodos activados es parecido a una fermentación a gran escala ya que la población microbiana se mantiene en suspensión dentro de un medio nutriente provisto de una cantidad óptima de oxígeno.

En la naturaleza el papel clave de las bacterias es el descomponer la materia orgánica producida por otros organismos vivientes. En el proceso de lodos activados las bacterias son los microorganismos más importantes, ya que estos son la causa de descomposición de la materia orgánica del efluente. Las bacterias son plantas unicelulares e incoloras que utilizan la comida soluble y son capaces de autoreproducirse en ausencia de luz solar. Su tamaño es de 0.5 a 5 μm y solo son visibles a través de un microscopio.

En las figuras 7 y 8 se muestran fotografías de bacterias ampliadas 400 veces.

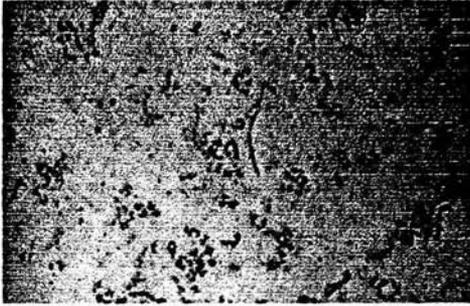


Fig.7 . Crecimiento bacteriano disperso

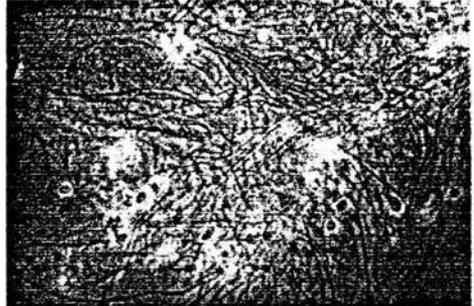


Fig.8. Conjunto de Sphaerotilus

Se reproducen por fisión binaria la que puede ocurrir cada 15 a 30 min en medios de comida abundante oxígeno y otros nutrientes. La mayoría de las bacterias encontradas en tratamiento de aguas son Alcaligenes, Flavobacterium, Bacilus y Pseudomonas.

Uno de los problemas más frecuentes encontrados en un tratamiento biológico de aguas residuales es la debida a la bacteria Sphaerotilus natans que produce un lodo abultado, Figuras 9 y 10.



Fig.9. Floculo filamentosos

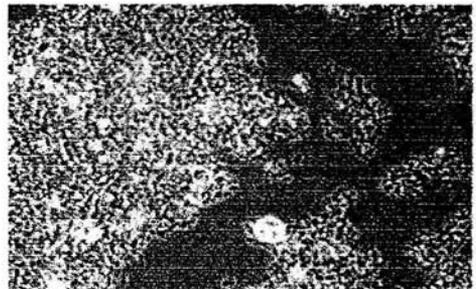
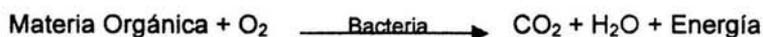


Fig.10. Flóculo normal

Las bacterias se clasifican en dos grandes grupos dependiendo de su fuente de energía. Las heterotrofas utilizan tanto la materia orgánica y una fuente de carbón para la síntesis. Estas a su vez se subdividen en tres grupos, las aerobias que requieren de oxígeno libre disuelto para descomponer la materia orgánica y así poder crecer y multiplicarse; las anaerobias oxidan la materia orgánica en total ausencia de oxígeno libre disuelto el cual lo toman de otros compuestos tales como nitratos y sulfatos. Y las facultativas las que pueden vivir en presencia o ausencia de oxígeno.

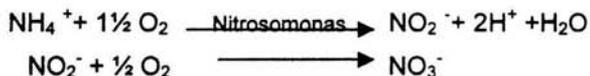
Aerobio



Anaerobio



Las bacterias autotrofas oxidan compuestos inorgánicos para obtener su energía y utilizan el CO_2 como fuente de carbono. Las bacterias nitrificantes oxidan el nitrógeno amoniacal a nitrato en una reacción de dos pasos como sigue:



La nitrificación puede ocurrir en condiciones de baja carga orgánica y temperatura media. Para obtener un efluente estable se evita la nitrificación para reducir el consumo de oxígeno y prevenir la materia flotante en el clarificador. Esto último ocurre al elevarse el lodo a causa de las burbujas de gas nitrógeno que se origina como resultado de la oxidación del nitrato.

Los protozoarios son animales acuáticos unicelulares que se multiplican por fisión binaria. Poseen un complejo sistema digestivo y utilizan la materia orgánica como fuente de comida. Los protozoarios pueden ingerir algas y bacterias lo que es vital en la cadena alimenticia acuática. Los protozoarios flagelados son el tipo más pequeño y tienen un tamaño entre 10 y 50 μm . Figuras 11,12 y 13.



Fig.11. Protozoarios flagelados



Fig.12. Protozoarios libres



Fig.13. Protozoarios de tallo



Fig.14. Rotífero

Los rotíferos son animales aeróbicos simples multicelulares que metabolizan comida sólida se encuentran en los clarificadores de los sistemas de tratamiento de aguas residuales así como en ríos, lagunas, etc. En la figura 14 se muestra un ejemplo.

En este tratamiento se metaboliza la materia orgánica reduciendo la DBO y DQO. Este proceso se realiza en presencia de oxígeno libre disuelto. La digestión aerobia consiste básicamente de la asimilación de la materia orgánica que es convertida a dióxido de carbono y nuevas células por acción microbiológica en presencia de oxígeno y nutrientes.

Las reacciones son básicamente de síntesis y de oxidación.

Síntesis. Esta se produce cuando las bacterias toman una parte del alimento y la utilizan para la producción de nuevo protoplasma celular, el cual contiene además de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno elementos tales como fósforo, azufre, sodio, calcio, magnesio, potasio, hierro y molibdeno. Los cuales existen en muy pequeñas cantidades y se les conoce como micronutrientes. Generalmente los elementos faltantes son nitrógeno y fósforo, estos suelen no encontrarse en mayor cantidad por lo que se les llama macronutrientes. Al mismo tiempo oxidan dicho alimento a compuestos de bajo peso molecular como CO_2 , PO_4 , SO_4 , NO_3 , etc.

Fase endógena. Degradación bacteriana ("canibalismo bacteriano"), donde las bacterias asimilan la suspensión coloidal de proteínas y carbohidratos contenida en las células para la obtención de energía.

Dentro de los géneros de bacterias encontradas con mayor frecuencia se hallan: *Achromobacter*, *Aerobacter*, *Spirillum*, *Comamonas*, *Nicobacterium*, *Bacillus*, *Zooglea* y *Pseudomonas*.

Por lo general el agua industrial carece del contenido nutricional apropiado para el metabolismo microbiano y en ocasiones es necesario agregar nutrientes adicionales. El balance de nutrientes se cita por lo general en relación con el

contenido de materiales carbonáceos fácilmente degradables, expresado como DBO, y para una operación convencional, el balance de nutrientes de 0.03 a 0.06 kg de nitrógeno por kg de DBO y de 0.007 a 0.01 kg de fósforo por kg de DBO.

La producción de los lodos de desecho es de alrededor de 0.5 kg (peso seco) por kg de DBO removida de manera que casi la mitad se asimila a la biomasa. El requerimiento de oxígeno para la operación convencional depende del tiempo de retención hidráulica y de la temperatura de operación del sistema. Un valor típico es de 1.1 kg de oxígeno/kg de DBO para un tiempo de 7 días o más a una temperatura entre 10 y 20°C.

Los protozoarios contribuyen al proceso de lodos activados de manera considerable como característica de un lodo saludable. Los protozoarios sapróbicos consumen partículas de materiales nutrientes. Otros están fijos en los flóculos y se alimentan de las bacterias dispersas, otros nadan libremente e igualmente consumen bacterias dispersas. Otros protozoarios se deslizan sobre la superficie del flóculo, pastando entre la población bacteriana, y algunos protozoarios segregan una mucosidad que acrecienta la floculación.

Existe un problema en el asentamiento de los lodos llamado "esponjamiento" el cual consiste de flóculos ligeros y con malas características de asentamiento. Dichos flóculos son arrastrados fuera de la etapa de separación dando un mal aspecto debido al alto contenido de materia orgánica no deseable. Algunos ejemplos de bacterias filamentosas asociadas con el esponjamiento de los lodos son: *Sphaerotillus natans*, *Streptothrix*, *Geotrichum* que es un hongo filamentoso, el alga verdosa *Schizothrix* y una gran cantidad de protozoarios.

4.2 Espesamiento.

Se puede realizar una concentración de lodos por uno de los siguientes métodos.

Asentamiento por gravedad. El tiempo no debe ser demasiado prolongado ya que el lodo crudo tiende a producir olores desagradables en tanto que el lodo espeso resultaría en la dificultad para ser bombeado. El sobrenadante es regresado al tratamiento de aguas residuales.

Espesamiento por flotación. Se obtiene al crear burbujas que sirvan de soporte a los lodos, de manera que queden estos adheridos y sean arrastrados hasta la superficie del líquido devolviendo un clarificado al proceso de tratamiento de aguas residuales.

4.3 Tipos de procesos aerobios

Tratamiento convencional. Este opera con régimen de flujo en pistón, el cual consiste de un tanque de aereación, un sedimentador y una recirculación de lodo. Este sistema puede alcanzar una eficiencia de remoción del 85% al 95% de DBO. Figuras 15 y 16.

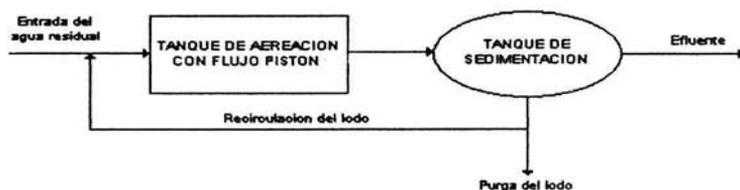


Fig. 15.

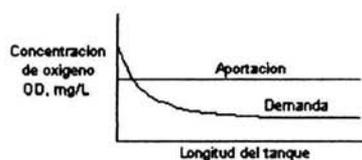
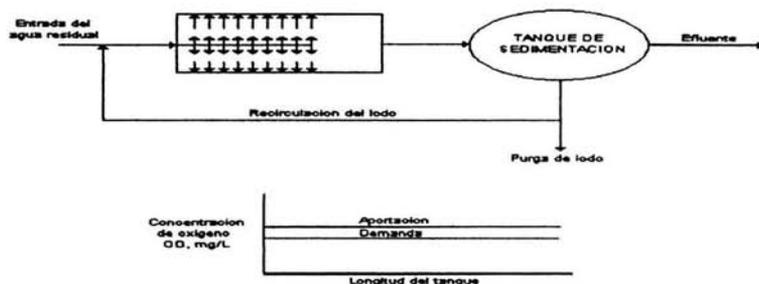


Fig.16

Completamente mezclado. Opera bajo régimen de mezcla completa, el agua residual es introducida por diversos puntos a través de un canal que pasa por el centro. Su eficiencia de remoción es de 85% a 95% de DBO.

Estabilización por contacto. Se realiza en dos etapas, la primera es de adsorción donde el lodo absorbe una mayor cantidad de materia disuelta y coloidal. La siguiente fase es llamada de oxidación la cual es llevada a cabo en un segundo tanque después de la sedimentación.



Figs.17 y 18

Proceso Kraus. Este método se aplica a influentes que presentan deficiencias de nitrógeno. Consiste en la aereación del sobrenadante proveniente de los digestores durante 24 hrs para convertir el nitrógeno amoniacal en nitrato y después enviarlo de nuevo al retorno del tanque de aereación.

Aereación graduada. Este método consiste en proporcionar la cantidad necesaria de aire que requieren los microorganismos conforme atraviesa el tanque de aereación. Su eficiencia de remoción es de 85% al 95% de DBO.

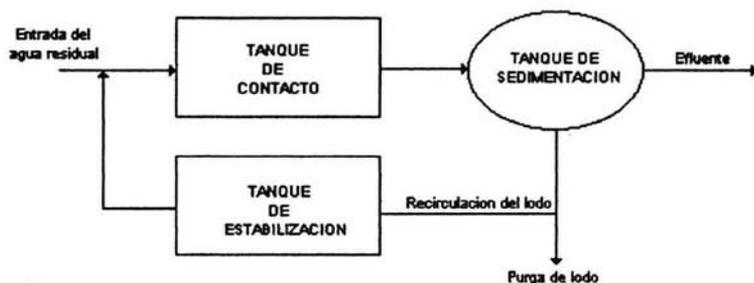


Fig.19.

Aereación escalonada. Este método opera bajo el principio de mantener una óptima F/M lo que se logra introduciendo el agua residual por distintos puntos disminuyendo así las demandas pico de oxígeno.

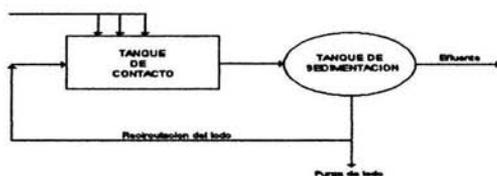


Fig.20

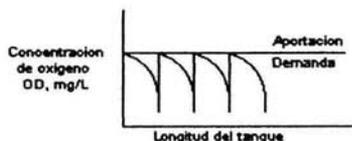


Fig.21

CAPÍTULO 5

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES DE LA CERVECERÍA.

5.1 Objetivos del tratamiento del efluente.

Los objetivos fundamentales del tratamiento de las aguas residuales son los siguientes:

- ◆ Disminuir la emisión de contaminantes en la descarga de aguas de desecho
- ◆ Producir un agua capaz de ser utilizable en actividades que no tengan que ver con la producción de bienes de consumo.
- ◆ Contribuir a la preservación del medio ambiente
- ◆ Evitar pago de multas por la emisión de contaminantes

5.2 Descripción del sistema

El agua de desecho de la cervecería posee las siguientes características:

- ◆ Alto contenido en sólidos mayores a 1 mm. Estos provienen del proceso de elaboración de la cerveza donde se utiliza malta la cual tiene un tamaño mayor a 1 mm.
- ◆ Cargas pico con pH variable (aproximadamente de 5 a 10 s.u)
- ◆ DQO alta
- ◆ Alta temperatura (20 a 40°C)

Las plantas de tratamiento anaerobio han demostrado su efectividad al tratar efluentes con dichas características y aunque el costo de inversión al principio es elevado, los resultados a largo plazo son satisfactorios de tal modo que la inversión inicial se recupera rápidamente.

Dado lo anterior el tratamiento del agua de desecho será el siguiente:

Cribado. El proceso constara de una primera etapa en la cual se eliminarán los sólidos mayores a 1 mm de diametro. Esto es con el fin de evitar que sirvan como medio de soporte en los digestores ya que se puede obtener gránulos cuyo tamaño pueda afectar el desempeño eficiente de los reactores ocupando volumen útil y tapando los orificios de salida del sistema o provocando la disminución de la superficie de contacto que permite que las bacterias anaerobias o aerobias desarrollen su función adecuadamente (la de degradar la materia orgánica).

Por lo que se dispondrá de 4 cribas rotatorias con un tambor cuya malla sea de 1 mm(Cribas C-1 a C-4). Esto es con el fin de asegurar un proceso continuo, 2 de estas manejaran el flujo a tratar mientras que las otras 2 permanecerán como relevo para manejar las variaciones de carga. Lo anterior permite aumentar la capacidad de tratamiento del agua ya que pueden utilizarse hasta tres cribas al mismo tiempo (incluso 4) y tener una de reserva para labores de mantenimiento. Los desechos generados a través de esta operación serán colectados mediante un sistema de tolvas (tolvas TF-1 a TF-4) el cual permitirá la descarga directa al camión recolector mismo que se encargara de la disposición final de su contenido (relleno sanitario).

Acondicionamiento del agua residual. Una vez que se han eliminado los sólidos que pudieran ocasionar problemas posteriores el siguiente paso es el de dar las condiciones al agua de desecho para su tratamiento. Las variables a controlar son:

pH y temperatura. Para lograr el objetivo se dispondrá de un par de tanques de acondicionamiento, Tanques TA-1 y TA-2; en los cuales el agua permanecerá por un período de tiempo (tiempo de retención hidráulica) donde adquirirá las condiciones adecuadas para el siguiente paso –que es el de la digestión anaerobia–, requiere de un pH en un rango de entre 6.8 y 7.8 debido a que fuera de estos rangos se puede alterar el metabolismo de las bacterias acetogénicas disminuyendo con ello la eficiencia del proceso y hasta un severo daño al reactor (hay que recordar que se utiliza como medio de purificación del agua microorganismos que requieren al igual que los seres humanos, de condiciones óptimas para desarrollar sus actividades).

Para ello se requiere de agentes que puedan ya sea aumentar el pH o disminuirlo. Por tal motivo se dispondrá de un medio ácido para disminuir el pH de los influentes al proceso con alto valor alcalino, en este caso (HCl), y de un medio básico para aumentar el pH de los influentes ácidos el cual será (NaOH). Se ha elegido el ácido clorhídrico debido a que no genera problemas de olores desagradables como ocurre con el ácido sulfúrico al cumplirse la oxidación de los sulfatos liberados en la reacción, e hidróxido de sodio debido a que no presenta ninguna complicación y a su bajo costo.

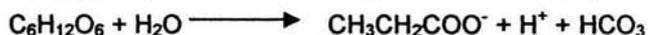
Dado lo anterior se necesitara de un sistema de dosificación de ambos reactivos, para lo cual se dispondrá de dos tanques de almacenamiento (uno para HCl y otro para NaOH), cada tanque tendrá un arreglo compuesto por tres bombas, una por cada tanque de acondicionamiento y otra de reserva. La adición de dichos compuestos se hará en forma directa a través de un arreglo que permita dosificar ya sea a un solo tanque de acondicionamiento o a ambos al mismo tiempo.

La dosificación de ácido o sosa permite llevar a un valor de pH óptimo para las condiciones de proceso para asegurar que el agua tenga características

homogéneas se dispondrá de un sistema de mezclado el que se realizará mediante tres bombas (Bombas BM-1, BM-2 y BM-3) que a través de una tubería colocada en el interior de cada tanque con perforaciones permitirá la distribución uniforme del contenido de cada tanque de acondicionamiento. Para satisfacer las necesidades de ácido y sosa se dispondrá de dos tanques T-1 para el almacenamiento de NaOH y del T-2 para el almacenamiento del HCl.

Dentro de los tanques de acondicionamiento se lleva acabo la degradación de los carbohidratos y se pueden encontrar las siguientes reacciones:

Acidificación



Lo que permite reducir el consumo de HCl para disminuir el pH ya que como puede observarse gracias a tales reacciones se logra obtener cierto grado de preacidificación en los tanques.

El control de la temperatura se hará mediante un sistema de inyección de vapor de agua que permita incrementar dicho parámetro para llegar a valores entre 30 y 40° ya que el tipo de bacteria utilizado es mesofílica.

Tratamiento anaerobio. El agua muchas veces carece de nutrientes en cantidades traza los cuales son necesarios para las bacterias formadoras de metano más que para las formadoras de ácido. Es por eso que la adición de nutrientes tales como: Co, Se, Mg, Ni, Fe, etc., debe realizarse justo antes de ingresar a los reactores anaerobios, para lograrlo se dispone de un sistema de adición de micronutrientes que se realiza en un mezclador estático. Se dispone de un juego de bombas 4 para los micronutrientes bombeados desde el T-4 y 4 para el

FeCl₃, bombeados desde el T-3 donde 3 son para cada uno de los reactores y 1 más de relevo. La preparación de los micronutrientes se hace en base a un análisis determinado en un laboratorio el cual emite un resultado de la cantidad de nutrientes recomendada por metro cúbico de agua.

Tabla 3. Requerimiento de nutrientes

Nutriente	Intervalo requerido (mg/l)
K	10.00
Fe	5.00
Mg	5.00
Ca	1.00
Zn	0.10
Cu	0.05
Mn	0.05
Ni	0.05
Al	0.05
Co	0.01
Mo	0.001
Se	0.05

El agua se alimentará a través de una válvula motorizada que controla el flujo de agua acondicionada hacia la bomba, el flujo es inyectado al reactor por el fondo mediante un sistema de distribución de tubería que implica el uso de una válvula motorizada en el cabezal de alimentación con flujo constante que obtiene el agua del tanque de acondicionamiento y del tubo vertical (TV) y 3 válvulas motorizadas que abrirán una al 75% otra al 25% y la tercera quedara cerrada alternando la misma apertura cada 3 minutos con lo que se asegurará el mezclado del agua y con ello se evitará canalizaciones, además se contará con una bomba de relevo para poder dar ya sea mantenimiento preventivo o correctivo (bombas BA-3 a BA-8, dos por cada digestor). El agua fluirá a través de este reactor de flujo ascendente

UASB (digestores DA-1, DA-2 y DA-3) y se recolectara en la parte superior mediante canaletas que enviarán el flujo a un tubo vertical.

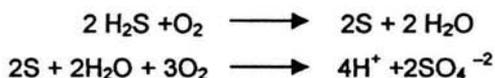
Dicho tubo vertical (TV-1, TV-2 y TV-3) provee un volumen de amortiguamiento entre el efluente tratado y el agua residual recirculada, aunque preferentemente el agua se recircula a través del reactor. Es también un punto de muestreo pues es posible conocer las características del agua en el digestor a la salida y a la entrada. Al llegar a cierto nivel en el tubo vertical el agua se conducirá por gravedad hasta el sistema aerobio para su depuración final. El agua proveniente del reactor anaerobio habrá disminuido para entonces hasta un 85% de la DQO que haya ingresado.

El 35% de la DQO tratada se convierte en biogas cuya composición generalmente corresponde a un 80% de metano (CH_4), 2% en agua (H_2O) y el restante en dióxido de carbono (CO_2) y ácido sulfhídrico (H_2S). El biogas es enviado a un tanque "gas holder" (T-12) donde mediante un sistema de contrapresión es posible mantener la presión dentro de los reactores. Una vez que se almacene la cantidad suficiente de biogas se comprimirá mediante los compresores de biogas CB-1 y CB-2 que después se conducirá hacia los secadores SB-1 o SB-2 en los que se elimina la humedad y luego será conducido a las calderas para proveer del requerimiento calorífico del proceso de la planta cervecera, el biogas que no haya sido utilizado para tal fin será enviado a un quemador (QB-1) donde se realizará su combustión completa por seguridad, dicho quemador se mantendrá encendido mediante un sistema de gas LP suministrado por el tanque de almacenamiento T-11.

Tratamiento aerobio. Una vez que el agua residual es tratada anaerobicamente se realizara el pulimiento de esta a través de un sistema aerobio de aereación extendida. El agua fluirá a través de un tanque de lodos activados (TLA-1 y TLA-2) donde los microorganismos degradaran el restante 15% de la carga orgánica

alimentada. El requerimiento de oxígeno se logrará satisfacer mediante un conjunto de sopladores que enviarán aire a través de unas cadenas con difusores de microburbuja conectados a estas (sopladores S-1, S-4, S-5, S-6 y S-7).

Además se cuenta con dos sopladores (sopladores S-2 y S-3) que succionan los gases fétidos provenientes tanto de sistema anaerobio como del sistema aerobio. Estos gases son venteados y conducidos a los sopladores. Los gases de venteo están formados principalmente por H_2S . Ciertas bacterias se encargan de transformar el sulfuro de hidrogeno en sulfatos, fijándolo en el agua y eliminando el olor. Es así como se lleva a cabo la oxidación de los gases de venteo:



Al terminar de realizarse la depuración de el agua, esta entrara en una zona de calma (clarificador) en forma de "v", donde el lodo sedimenta y puede ser extraído para enviarlo por recirculación al inicio del TLA o para ser llevado a un tanque de espesamiento para su disposición final, se contara para ello con el tanque de espesamiento T-5 donde se llevará a cabo la lisis o fase endógena que no es más que la etapa en la que al haberse terminado el alimento para las bacterias, estas comenzaran a comerse entre si "canibalismo bacteriano".

En dicho clarificador podemos hallar organismos tales como protozoarios y rotíferos, estos últimos eliminan a los protozoarios.

El lodo es succionado del fondo del clarificador mediante un sistema de air lift y es enviado por gravedad al inicio del sistema de tratamiento aerobio. Para evitar que el lodo se acumule en la succión del clarificador se cuenta con una rastra la cual remueve los asentamientos mediante unas cadenas sujetadas a esta que

permanece en constante movimiento.

El clarificado es entonces colectado mediante unas canaletas en forma de "v" y conducido a una tubería que envía el agua a un sistema de almacenamiento compuesto por cuatro tanques de acero (tanques T-7, T-8, T-9 y T-10) que suministrarán las necesidades de agua de proceso dentro de la planta. Para ello se cuenta con tres bombas (bombas BA-9, BA-10 y BA-11) que enviarán el flujo a través de un filtro con cartuchos de celulosa el cual eliminará parcialmente de impurezas para ser reutilizada ya sea en el sello hidráulico de bombas de mezclado, en cribas rotatorias o en bombas de alimentación a digestores. También abastecerá el sistema de red contra incendios de la planta. El agua restante podrá ser enviada a drenaje donde se habrá concluido el proceso del sistema de tratamiento del agua.

Se contara además con dos tanques de espesamiento de lodos tanto aerobio como anaerobio. En ambos casos se contara con bombas tipo tornillo (esto es para evitar disgregar los floculos bombas B-1 a B-2), dos para cada sistema una para operación normal y otra de relevo, las que permitirán –en el caso del sistema anaerobio- extraer el lodo y almacenarlo o enviar lodo desde el tanque al digestor. Para el caso del sistema aerobio las bombas enviarán el flujo a un sistema de decantadoras (Decantadoras D-1 a D-5) donde se elimina el agua al lodo y este ya seco es acumulado en un sistema de tolvas (TL-1) para su disposición final (relleno sanitario).

Todo el proceso puede ser monitoreado desde una computadora donde se podrá observar las condiciones del efluente de tanques de acondicionamiento, influente y efluente de digestores así como flujo alimentado, Oxígeno disuelto en Tanques de Lodos Activados y producción de biogas por digestor para ello se contará con sensores de pH, temperatura (T), flujo (F) y Presión (P).

5.3 Variables que controlan el proceso

5.3.1 Ácidos Grasos Volátiles (AGV'S) y alcalinidad

Son el mayor producto de la digestión anaerobia de materia convertida en metano. En el influente es indicador del grado de preacidificación del agua residual. En el efluente el incremento de AGV indica problemas en el proceso. En tanto que la alcalinidad indica en que grado el agua residual puede resistir cambios en el pH.

Estos se calculan aplicando la siguiente ecuación:

$$AGV'S = \frac{(b * 101) - (a + 100) * 100}{99.23 * V_m}$$

$$ALC = (a - b) * \frac{100}{V_m}$$

donde:

a= Cantidad en ml de HCl 0.1 N

b= Cantidad en ml de NaOH 0.1 N

V_m = Volumen de muestra (50 ml)

5.3.2 Alimentación a digestores

Esta se realizara al determinar la cantidad máxima de carga orgánica que pueda tratar cada digestor dividida por la Demanda Química de Oxígeno, parámetro que es de gran utilidad debido a su representatividad de la materia orgánica degradable y porque requiere de menos tiempo para su determinación.

$$\text{Flujo de alimentación} = \frac{\text{Carga} / \theta}{DQO}$$

Donde:

Carga = Cantidad de DQO que puede tratar el digestor anaerobio, (kg DQO).

θ = Tiempo en el que se alimentara la carga, (hrs).

DQO = Demanda química de oxígeno del agua a tratar, (Kg DQO/m³).

5.3.3 Relación F/M

Es una medida que expresa la relación alimento (Food) expresada en Kg de demanda biológica de oxígeno y masa (mass) expresada en kilogramos de masa seca SST (Sólidos suspendidos totales).

$$F/M = \frac{Q * DBO}{V_t * SSLM}$$

donde:

Q = Caudal alimentado al sistema, (m³/d).

DBO = Demanda Bioquímica de Oxígeno, (kg DBO/m³).

V_t = Volumen del Tanque de lodos Activados, (m³).

SSLM = Sólidos Suspendidos en el Licor Mezclado, (kg SST/m³).

Una F/M alta nos provocará un alto crecimiento de la población bacteriana mostrando problemas en el clarificador generalmente en forma de una nata, en tanto que una F/M baja nos conducirá a una disminución en los lodos de desecho.

5.3.4 Tiempo medio de retención celular

Se refiere al tiempo transcurrido desde que una nueva célula se mantiene dentro del sistema de lodos activados hasta que es removida por una corriente de lodo excedente.

TMRC= V_t* SSLM/ Tasa de desecho de lodos

Donde:

V_t = Volumen del Tanque de Lodos Activados, (m^3).

SSLM = Sólidos Suspendidos en el Licor Mezclado, ($kg\ SST/m^3$).

Tasa de desecho = ($kg\ SST/kg\ DBO\ removida$).

Este período nos sirve para determinar la edad del lodo, ya sea un lodo joven (tiempo menor a 10 días) que es poco estable y presenta deficiencia en su sedimentación además de que no alcanza a degradar en su totalidad la materia orgánica debido a que contiene una población de microorganismo con diversidad insuficiente.

En tanto que un lodo viejo (mayor a 40 días) nos indicaran que el lodo sedimenta rápidamente y que producirá un efluente de alta calidad.

5.3.5 Cantidad de aire

Esta sirve para mantener al lodo activado en suspensión, lo que puede determinarse a través de un análisis de SST en un mismo punto de muestreo a diferentes períodos de tiempo, si el análisis demuestra que las cantidades varían mucho es indicativo de la falta de aire en el TLA.

Cantidad de aire = CAS/V_t

Donde:

CAS = Cantidad de aire entregada por el soplador, (m^3/hr).

V_t = Volumen del Tanque de Lodos Activados, (m^3)

5.3.6 Índice volumétrico de lodos

5.3.6 Índice volumétrico de lodos

Es una medida de la capacidad de sedimentación de los lodos. Se obtiene al dejar en reposo una muestra de 1 L durante 30 min en una probeta. El volumen que ocupa la fase de lodos es entonces dividida entre los SST.

$$\text{IVL} = \text{Volumen de lodos} / \text{SST}$$

Donde:

Volumen de lodos = ml/L

SST = mg/L

Valores pequeños del IVL indicaran que el lodo sedimenta fácilmente y que necesitara de una mayor agitación en tanto que valores grandes se referirán abultamiento o hinchamiento de lodo debido a microorganismos filamentosos.

5.3.7 Perfil de lodos

Se determina en base a un volumen representativo del reactor. Se toman muestras de una sección del reactor y se le determinan SST y SSV.

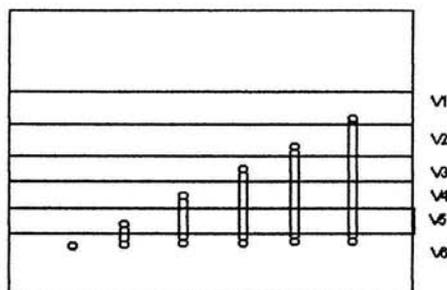


Fig.22. Puertos de muestreo de un digestor

En la figura 22 podemos observar la manera en la que se realiza el análisis. Se determinan SST para cada V (Volumen del reactor) y la suma de estos representa la cantidad de SST para todo el digestor.

EFLUENTES
DIVERSOS

CARCAMOS DE
BOMBEO

CRIBADO

NaOH

HCl

ACONDICIONAMIENTO
DEL AGUA RESIDUAL

MICRONUTRIENTES

AIRE

A CALDERAS

BIOGAS

QUEMADOR

TRATAMIENTO
ANAEROBIO

ESPESAMIENTO
ANAEROBIO

TRATAMIENTO
AEROBIO

ESPESAMIENTO
AEROBIO

DECANTADO

DESECHOS
SOLIDOS

CLARIFICADO

AGUA
TRATADA

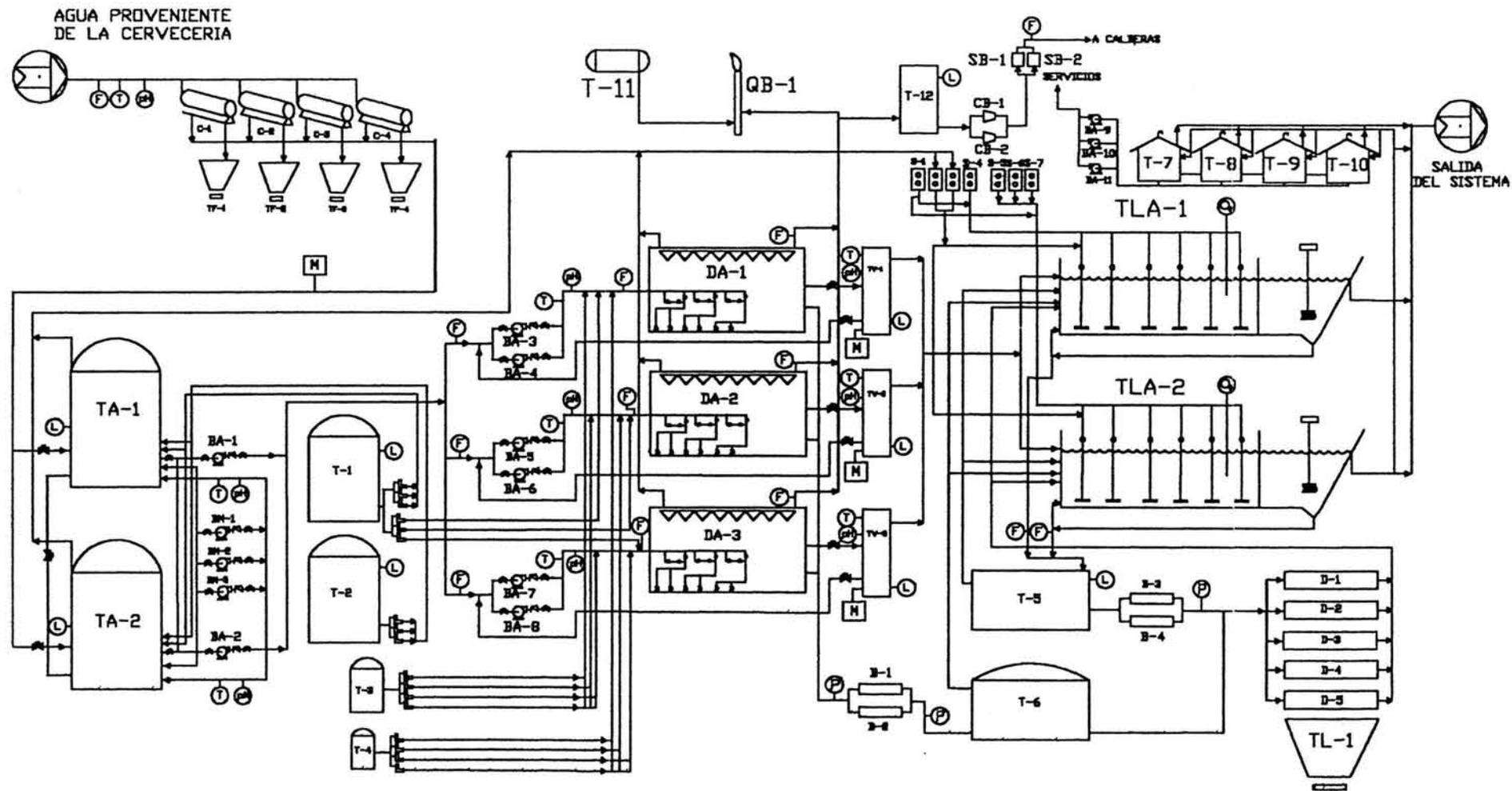
DRENAJE

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

DIAGRAMA DE BLOQUES

PLANTA DE TRATAMIENTO ANAEROBIO
DE LOS EFLUENTES DE UNA CERVECERIA



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

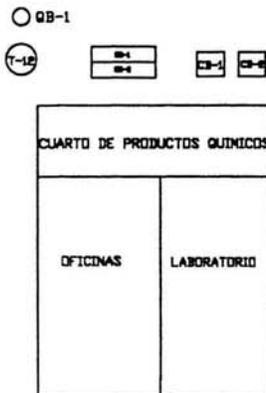
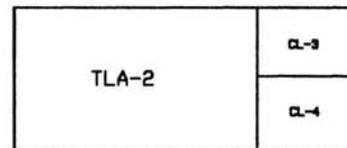
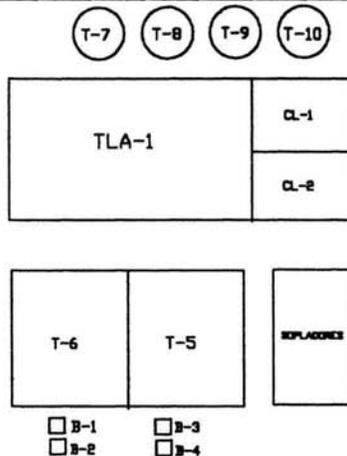
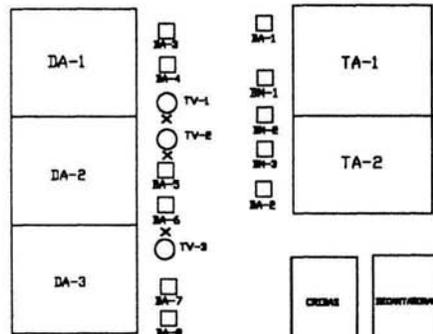
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO
 PLANTA DE TRATAMIENTO ANAEROBIO
 DE LOS EFLUENTES DE UNA CERVECERIA

LISTA DE EQUIPO

BA-1	BOMBA DE ALIMENTACION A DIGESTORES	HP
BA-2	BOMBA DE ALIMENTACION A DIGESTORES	HP
BA-3	BOMBA LIDER DE DIGESTOR DA-1	HP
BA-4	BOMBA RELEVO DE DIGESTOR DA-1	HP
BA-5	BOMBA LIDER DE DIGESTOR DA-2	HP
BA-6	BOMBA RELEVO DE DIGESTOR DA-2	HP
BA-7	BOMBA LIDER DE DIGESTOR DA-3	HP
BA-8	BOMBA RELEVO DE DIGESTOR DA-3	HP
BA-9	BOMBA PARA AGUA TRATADA 1	HP
BA-10	BOMBA PARA AGUA TRATADA 2	HP
BA-11	BOMBA PARA AGUA TRATADA 3	HP
BM-1	BOMBA DE MEZCLADO DE TA-1	HP
BM-2	BOMBA RELEVO DEL SIST. DE MEZCLADO	HP
BM-3	BOMBA DE MEZCLADO DE TA-2	HP
B-1	BOMBA DE LODOS ANAEROBIOS LIDER	HP
B-2	BOMBA DE LODOS ANAEROBIOS RELEVO	HP
B-3	BOMBA DE LODOS AEROBIOS LIDER	HP
B-4	BOMBA DE LODOS AEROBIOS RELEVO	HP
C-1	CRIBA 1	m ³ /hr
C-2	CRIBA 2	m ³ /hr
C-3	CRIBA 3	m ³ /hr
C-4	CRIBA 4	m ³ /hr
CB-1	COMPRESOR DE BIOGAS LIDER	HP
CB-2	COMPRESOR DE BIOGAS RELEVO	HP
CL-1	CLARIFICADOR 1	m ³
CL-2	CLARIFICADOR 2	m ³
CL-3	CLARIFICADOR 3	m ³
CL-4	CLARIFICADOR 4	m ³
D-1	DECANTADORA 1	m ³ /hr
D-2	DECANTADORA 2	m ³ /hr
D-3	DECANTADORA 3	m ³ /hr
D-4	DECANTADORA 4	m ³ /hr
D-5	DECANTADORA 5	m ³ /hr
DA-1	DIGESTOR ANAEROBIO 1	m ³
DA-2	DIGESTOR ANAEROBIO 2	m ³
DA-3	DIGESTOR ANAEROBIO 3	m ³
QB-1	QUEMADOR DE BIOGAS 1	m ³

S-1	SOPLADOR DE AIRE 1	m ³ /hr
S-2	SOPLADOR DE AIRE 2	m ³ /hr
S-3	SOPLADOR DE AIRE 3	m ³ /hr
S-4	SOPLADOR DE AIRE 4	m ³ /hr
S-5	SOPLADOR DE AIRE 5	m ³ /hr
S-6	SOPLADOR DE AIRE 6	m ³ /hr
S-7	SOPLADOR DE AIRE 7	m ³ /hr
SB-1	SECADOR DE BIOGAS 1	m ³ /hr
SB-2	SECADOR DE BIOGAS 2	m ³ /hr
T-1	TANQUE DE DOSIFICACION DE HCl	m ³
T-2	TANQUE DE DOSIFICACION DE NaOH	m ³
T-3	TANQUE DE DOSIFICACION DE FeCl ₃	m ³
T-4	TANQUE DE DOSIFICACION DE MICRONUTRIENTES	m ³
T-5	*TEL. AEROBIO	m ³
T-6	*TEL. ANAEROBIO	m ³
T-7	TANQUE DE AGUA TRATADA	m ³
T-8	TANQUE DE AGUA TRATADA	m ³
T-9	TANQUE DE AGUA TRATADA	m ³
T-10	TANQUE DE AGUA TRATADA	m ³
T-11	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GAS LP	Kg/cm ²
T-12	TANQUE GAS HOLDER	inH ₂ O
TA-1	TANQUE DE ACONDICIONAMIENTO 1	m ³
TA-2	TANQUE DE ACONDICIONAMIENTO 2	m ³
TLA-1	TANQUE DE LODOS ACTIVADOS 1	m ³
TLA-2	TANQUE DE LODOS ACTIVADOS 2	m ³
TF-1	TOLVA DE FINOS 1	m ³
TF-2	TOLVA DE FINOS 2	m ³
TF-3	TOLVA DE FINOS 3	m ³
TF-4	TOLVA DE FINOS 4	m ³
TL	TOLVA DE LODO DECANTADO	m ³

*TEL= TANQUE DE ESPESAMIENTO DE LODO



x MUESTREADOR AUTOMATICO

LISTA DE EQUIPO

- BA-1 BOMBA DE ALIMENTACION A DIGESTORES
- BA-2 BOMBA DE ALIMENTACION A DIGESTORES
- BA-3 BOMBA LIDER DE DIGESTOR DA-1
- BA-4 BOMBA RELEVO DE DIGESTOR DA-1
- BA-5 BOMBA LIDER DE DIGESTOR DA-2
- BA-6 BOMBA RELEVO DE DIGESTOR DA-2
- BA-7 BOMBA LIDER DE DIGESTOR DA-3
- BA-8 BOMBA RELEVO DE DIGESTOR DA-3
- BM-1 BOMBA DE MEZCLADO DE TA-1
- BM-2 BOMBA RELEVO DEL SIST. DE MEZCLADO
- BM-3 BOMBA DE MEZCLADO DE TA-2
- B-1 BOMBA DE LODOS ANAEROBIOS LIDER
- B-2 BOMBA DE LODOS ANAEROBIOS RELEVO
- B-3 BOMBA DE LODOS AEROBIOS LIDER
- B-4 BOMBA DE LODOS AEROBIOS RELEVO
- CB-1 COMPRESOR DE BIOGAS LIDER
- CB-2 COMPRESOR DE BIOGAS RELEVO
- CL-1 CLARIFICADOR 1
- CL-2 CLARIFICADOR 2
- CL-3 CLARIFICADOR 3
- CL-4 CLARIFICADOR 4
- DA-1 DIGESTOR ANAEROBIO 1
- DA-2 DIGESTOR ANAEROBIO 2
- DA-3 DIGESTOR ANAEROBIO 3
- QB-1 QUEMADOR DE BIOGAS 1
- SB-1 SECADOR DE BIOGAS 1
- SB-2 SECADOR DE BIOGAS 2
- T-5 *TEL. AEROBIO
- T-6 *TEL. ANAEROBIO
- T-7 TANQUE DE AGUA TRATADA
- T-8 TANQUE DE AGUA TRATADA
- T-9 TANQUE DE AGUA TRATADA
- T-10 TANQUE DE AGUA TRATADA
- T-12 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE BIOGAS
- TA-1 TANQUE DE ACONDICIONAMIENTO 1
- TA-2 TANQUE DE ACONDICIONAMIENTO 2
- TLA-1 TANQUE DE LODOS ACTIVADOS 1
- TLA-2 TANQUE DE LODOS ACTIVADOS 2
- *TEL= TANQUE DE ESPESAMIENTO DE LODO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

PLANO DE LOCALIZACION GENERAL
PLANTA DE TRATAMIENTO ANAEROBIO
DE LOS EFLUENTES DE UNA CERVECERIA

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

El tratamiento aerobio y anaerobio de las aguas residuales ofrece sin lugar a dudas una serie de ventajas que se pueden resumir en el siguiente recuadro:

TRATAMIENTO AEROBIO	TRATAMIENTO ANAEROBIO
<ul style="list-style-type: none">• Optimo en el tratamiento de aguas residuales de baja concentración.• Puede tratar agua fría o caliente• Acepta mayor variedad de compuestos tóxicos.• Requiere que los circuitos alcalinos sean neutralizados.• Requiere de operación continua.• Puede remover simultáneamente tanto N como P.• Alta producción de lodo.• Trata solo bajas velocidades de carga volumétrica.• Costos altos en mantenimiento del equipo.• Produce una gran cantidad de lodo.• Altos costos de operación por:<ul style="list-style-type: none">• Aereación• Disposición del lodo• Requiere de una gran área.	<ul style="list-style-type: none">• Optimo en el tratamiento de aguas residuales con concentraciones media y alta.• Solo trata agua caliente ($> 20^{\circ}\text{C}$)• Se permiten pocos compuestos tóxicos.• Puede tratar circuitos alcalinos sin neutralizarlos.• Puede operar por lotes.• No hay una remoción significativa de N y P.• Producción de lodo mínima.• Puede tratar velocidades altas de carga volumetrica.• Bajos costos en mantenimiento del equipo.• Produce biogas útil.• Altos costos de inversión.• Bajos costos de operación.• Bajo consumo de energía.• Requiere de menor área.• Se utiliza solo como pretratamiento ya que la calidad del agua no es suficientemente buena para su descarga directa.• El lodo anaerobio puede ser guardado por periodos largos y ser rehusado en cualquier momento.• Puede soportar cargas pico.

Se ha demostrado que el tratamiento del agua residual en cervecerías que utilizan el tratamiento anaerobio de sus aguas residuales resultan de un efluente de alta calidad y aunque el costo de inversión pueda ser notablemente alto, a la larga resulta en una opción viable que en poco tiempo recupera la cantidad invertida.

Dado lo anterior se ha logrado describir los aspectos básicos de la digestión aerobia y anaerobia de tal modo que se pueda entender el proceso del tratamiento del agua residual de la cervecería y de los parámetros que lo controlan. Se han cumplido los objetivos establecidos pudiéndose realizar el esquema de ventajas y desventajas.

En la actualidad existe un profundo énfasis por parte de la industria en contribuir al cuidado de los recursos naturales en especial el agua, pues la escasez de esta es cada vez más notoria. Es importante crear una conciencia del uso racionado del agua y del cuidado del medio ambiente pues de esta manera es posible disminuir la cantidad de contaminantes descargados a el agua y con ello permitir el rehuso del recurso en el riego agrícola o de áreas verdes.

CAPÍTULO 7

APENDICE

7.1 Glosario de términos

Adsorción : Fenómeno de acumulación de partículas sobre una superficie; la sustancia que se adsorbe es el adsorbato y el material sobre el cual lo hace es el adsorbente o sustrato.

Acidez: Es la capacidad cuantitativa de las soluciones acuosas para reaccionar con iones hidróxilos.

Aerobios: Células que viven en presencia de oxígeno y lo utilizan.

Anaerobios: Células que pueden vivir sin oxígeno.

Bacteria. Grupo de organismos microscópicos, esencialmente unicelulares, rígidos sin clorofila y distribuidos por todo el planeta. Llevan a cabo una variedad de procesos de tratamiento biológico, incluyendo la oxidación biológica, digestión de lodos, nitrificación y desnitrificación.

DBO. Abreviatura para la demanda bioquímica de oxígeno. La cantidad de oxígeno utilizada en la oxidación bioquímica de la materia orgánica en un lapso de tiempo especificado a una temperatura dada y en condiciones determinadas.

DQO. Es una medida cuantitativa de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química del material carbonoso (orgánico) presente en las aguas residuales utilizando sales inorgánicas de permanganato o dicromato como oxidante.

Digestor o Reactor anaerobio. Tanque u otro compartimento para el almacenamiento y la descomposición anaeróbica de la materia orgánica presente en los lodos.

Efluente. Líquido que fluye de un espacio confinado o es el resultado de un proceso.

Hidrofílico. Afín con el agua. Moléculas o grupos que se asocian con el agua.

Hidrofóbico. No afín con el agua. Moléculas o grupos muy poco solubles en agua.

Hidrólisis. Ruptura de una molécula en dos o más moléculas menores mediante la adición de una molécula de agua.

Índice Volumétrico de lodos. Es el volumen que ocupa un gramo de lodos al sedimentar en 30 min.

Influente. Líquido que fluye hacia adentro de un reservorio planta o proceso.

Oxidación. Pérdida de electrones.

Sedimentación. Asentamiento de la materia suspendida por acción de la gravedad.

Sólidos suspendidos volátiles. Fracción de sólidos incluyendo materia orgánica y sales inorgánicas que se calcinarán a 550°C en un horno eléctrico en 60 min.

Sólidos suspendidos totales. Residuo de una muestra secada a 105°C.

Tiempo medio de retención celular. Tiempo transcurrido desde que una nueva célula se mantiene dentro del sistema de lodos activados hasta que es removida por una corriente de lodo excedente.

UASB. Siglas de Upflow Anaerobic Sludge Bed. Reactor anaerobio de flujo ascendente.

CAPÍTULO 8

BIBLIOGRAFIA

1. Blanca Elena Jiménez Cisneros, La contaminación ambiental en México, Ed. Limusa, México, 2001.
2. Castro González Alejandra (et.al), Design, Construction, and Starting-up of an Anaerobic Reactor for the Stabilisation, Handling, and Disposal of Excess Biological Sludge Generated in a Wastewater Treatment Plant, Anaerobe Biotechnology, pp. 143-149, 2001.
3. De Smul Andy (et.al), Effect of COD to sulphate ratio and temperature in expanded-granular-sludge-blanket reactors for sulphate reduction, Process Biochemistry, Vol. 34, pp. 407-416, 1999.
4. Desideri Umberto (et.al), Sanitary landfill energetic potencial analysis: a real case study, Energy Conversion and Mmanagement, Vol. 44, pp. 1969-1981, 2003.
5. Eskel Nordell, Tratamiento de aguas para la industria y otros usos, Compañía Editorial Continental, S.A., México, 1996.
6. Gary W. Vann Loon, Enviromental chemistry, Oxford University Press, U.S.A, 2000.
7. González Fernández, Ecología, México, Mc Graw Hill, 1995.
8. Kees Roest y Hans Heiling, Molecular monitoring of microbial diversity in anaerobic wastewater treatment system, Meta Van Heusden, Octubre 2002.

9. M. Pérez, Anaerobic thermophilic fluidized bed treatment of industrial wastewater: effect of F:M relationship, Chemosphere, Vol. 38, No. 14, pp. 3443 – 3461, 1999.
10. Mark J. Hammer, Water and wastewater technology, Ed. John Wiley and Sons, U.S.A, 1986.
11. Office of energy Efficiency and Renewable Energy., U.S Department of energy. Enero 2003.
12. Sahlstrom Leena, A review of survival of pathogenic bacteria in organic waste used in biogas plants, Bioresource Technology, Vol. 87, pp. 161-166, 2003.
13. Standard Methods for the examination of water and wastewater, American Public Health Association, 14^a ed, U.S.A, 1976.
14. Winkler, Tratamiento biológico de aguas de desecho, Ed Limusa, México, 2000.
15. www. Waste Research Water and Training Center.com
16. www.anaerobic granular sludge bed technology
17. www.enviroasia.com
18. www.scientematrix.com
19. Zayas Saucedo Juan Carlos, Tratamiento anaerobio de aguas residuales IMTA, México, 2002.