



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

28

31

Tratamiento de las Aguas Residuales

Tesis Profesional

Que para obtener el Título de
INGENIERO CIVIL

presenta

JESUS BAUTISTA RIZO

México, D. F.

1983



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

FACULTAD DE INGENIERIA.

"TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES".

- I.- INTRODUCCION.
- II.- CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.
- III.- PROCESOS DE TRATAMIENTO PRIMARIO.
- IV.- TRATAMIENTOS SECUNDARIOS O PROCESOS BICICLICOS.
 - I.- GENERALIDADES.
 - 2.- LODOS ACTIVADOS.
 - 3.- FILTROS ROTACIONES.
 - 4.- LAGUNAS DE ESTABILIZACION.
 - V.- BIBLIOGRAFIA.

I.- INTRODUCCION.

El progreso logrado por el hombre hasta nuestros días, ha traído consigo un incremento notable en la tasa de explotación de los recursos naturales en forma inadecuada, debido a lo cual actualmente resultan insuficientes.

Lo anterior se puede aplicar en forma directa en el recurso del agua; anteriormente se tenía la creencia de que la naturaleza a través del ciclo hidrológico proporcionaba el agua suficiente para satisfacer las necesidades del hombre, sin embargo la realidad muestra lo contrario, ya que con el incremento de los núcleos de población y sus diversas actividades, a traído como consecuencia un aumento en el consumo del recurso del agua, esto hace necesaria una planeación cuidadosa para su utilización y su máximo aprovechamiento.

Lo antes dicho trae como consecuencia la necesidad de una mayor atención en los aspectos de prevención de la contaminación y conservación de la calidad de las aguas.

Las aguas residuales son fundamentalmente las aguas de abastecimiento de una población, una vez que estas han sido utilizadas y afectadas de su calidad inicial .

La contaminación varía de región a región e incluso de lugar en lugar, siendo función de varios factores dentro de los cuales se pueden mencionar los siguientes: concentración demográfica, clima, grado de industrialización, etc.

Estos factores originan que el enfoque que se debe de tomar para la solución del problema de la contaminación, en algunos de los casos sea preventivo como en el caso de las corrientes que aún no se encuentran contaminadas, y correctivo para el caso en que si estén contaminadas

En el momento que se tiene un problema de contaminación, es conveniente tratar de prevenirlo o en su defecto combatirlo con un tratamiento adecuado, según sea el caso de aguas residuales.

De no hacerse así, se tendrían consecuencias negativas en el desarrollo normal de las diferentes actividades de los núcleos de población e indirectamente se afecta el progreso de un País como el nuestro.

Como una confirmación de lo anteriormente escrito, y como una introducción a este trabajo, se puede decir lo siguiente:

- . No existe vida sin agua, el agua es un bien precioso, indispensable a todas las actividades humanas.
- . Los recursos en agua no son inagotables, es indispensable preservarlos, controlarlos y si fuera posible, aumentarlos.
- . Alterar la calidad del agua significa atentar contra la vida de los hombres y de los restantes seres vivos que dependen de ella.

II.- CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Como anteriormente se dijo, las aguas residuales son las aguas de abastecimiento de una población que ya han sido utilizadas.

Estas aguas residuales provienen básicamente de varias fuentes dentro de las cuales podemos considerar: desechos humanos y desperdicios caseros, corrientes de escurrimiento y desechos industriales entre los mas significativos.

Para conocer las principales características de las aguas residuales, se utilizan unos parámetros auxiliares dentro de los cuales podemos mencionar los siguientes: sólidos suspendidos, demanda bioquímica de oxígeno y bacterias coliformes y de ser necesario se pueden utilizar otros factores como: temperatura, pH, etc.

Las aguas residuales se pueden dividir básicamente en dos tipos según su origen, es decir: aguas residuales urbanas y aguas residuales industriales. En cuanto a las primeras, están constituida principalmente por materias minerales y orgánicas, que son arrastradas por la corriente líquida en forma de suspensión y en una proporción mas o menos grande, disueltas en el agua.

El contenido de materia orgánica se mide en términos del oxígeno equivalente, realizando la prueba de la demanda bioquímica de oxígeno, DEC: que no es otra cosa mas que un índice indicativo de la cantidad de oxígeno disuelto y necesario para la degradación de la materia orgánica.

En cuanto a las bacterias coliformes, son importantes en los residuos urbanos, pues son indicativos de contaminación humana y son peligrosos por su patogeneidad.

En cuanto a las aguas residuales industriales, pueden originar graves problemas, debido a la gran variedad de productos que se vierten, tóxicos o consumidores de oxígeno, debido a lo cual es necesaria una investigación propia de cada uno de los vertidos indus

triales y el empleo de procesos de tratamiento específico.

Los factores elementales de contaminación son los siguientes:

- elementos insolubles, como sólidos en suspensión y materias flo-
tantes o ligeras como grasas.
- elementos solubles, como detergentes, colorantes, sales separa-
bles por ósmosis inversa etc.
- ácidos o bases orgánicos.
- elementos tóxicos, separables por precipitación u otros que re-
quieran tratamiento biológico como azúcares, proteínas, fenoles
etc, en fin como se puede ver, las características son variadas
y ese es el porque en este tipo de desechos, es necesaria, como
antes se dijo, un estudio muy particular según el caso o proble-
ma que se tenga por resolver.

III.- PROCESOS DE TRATAMIENTO PRIMARIO.

Los elementos contaminantes de las aguas residuales, pueden ser removidos tanto por medios físicos, químicos y biológicos. Cuando en un tratamiento predominan las fuerzas físicas, se le denominan Operaciones Unitarias, y cuando en el tratamiento se adicionan sustancias químicas o se presenta actividad biológica, a esto se le conoce como procesos unitarios.

En los diferentes sistemas de tratamiento de los residuos líquidos domésticos e industriales, se pueden presentar varias combinaciones de operaciones y procesos unitarios, no cambiando los principios fundamentales de su operación, que son los que se aplican en el diseño del tratamiento. La determinación del sistema de tratamiento de las aguas de desecho depende de muchos factores, de acuerdo a las características de los desechos, así como de la calidad deseable del efluente y de los costos de construcción, operación y mantenimiento de una planta.

La aplicación de los procesos y operaciones unitarias al tratamiento se pueden clasificar de la siguiente forma:

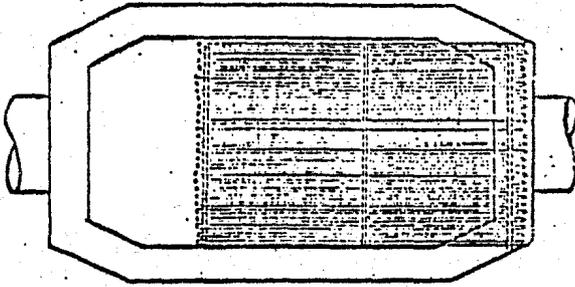
Pretratamiento y tratamiento primario. Las operaciones físico-mecánicas son las que aquí se utilizan para la remoción de sólidos gruesos, sólidos suspendidos y flotantes, así como grasas, aceites etc.

Cribado, es la primera operación unitaria que se encuentra en una planta de tratamiento y consiste en una estructura con aberturas uniformes que sirven para retener los sólidos gruesos que se encuentran en las aguas residuales. Su utilización sirve para proteger las bombas, valvulas, tuberías etc. y otros tipos de atascamiento causados por objetos gruesos.

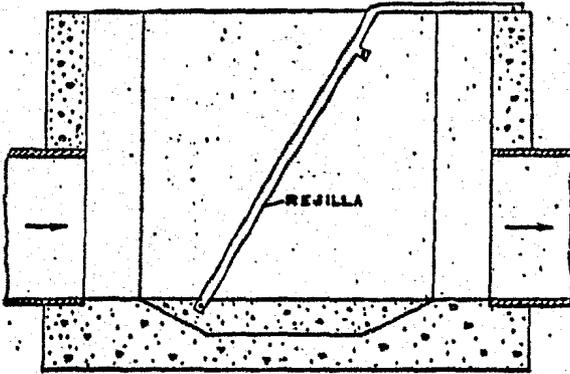
Trituradores y desmenuzadores.

Es un equipo accionado con motor que corta el material sin removerlo del líquido residual.

Es conveniente que le preceda una cámara desarenadora, con el objeto de prolongar la vida útil del equipo y reducir el desgaste de las superficies cortantes. Se coloca generalmente en pozos húmedos en las estaciones de bombeo, para proteger los equipos.

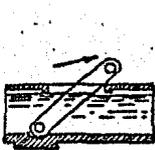


PLANTA

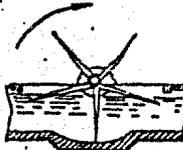


CORTE

REJILLA DE LIMPIEZA MANUAL



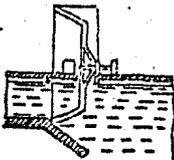
1. BAND SCREEN



2. WING SCREEN



3. HOVEL-VANE SCREEN

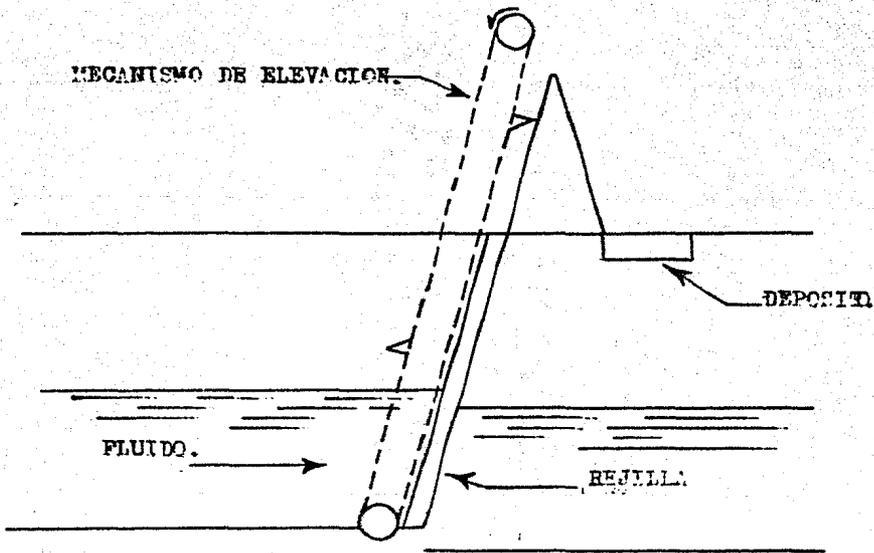
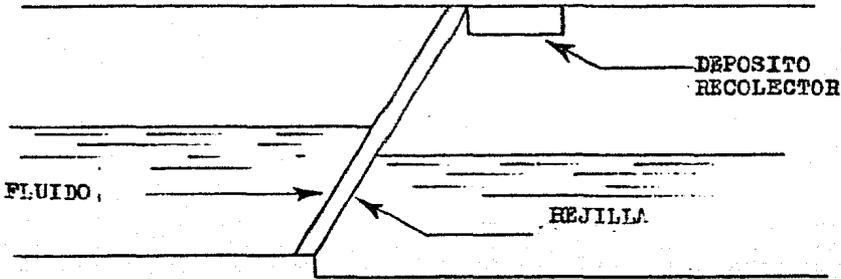


4. DRUM SCREEN



5. RIENSCH-WURL SCREEN

DIFERENTES TIPOS DE REJILLAS MECANICAS



REJILLA

DEPOSITO

Normalmente consisten en cilindros giratorios con ranuras y provistos de dientes cortadores que trituran el material grueso, reduciendo su tamaño generalmente entre 5 y 10 mm.

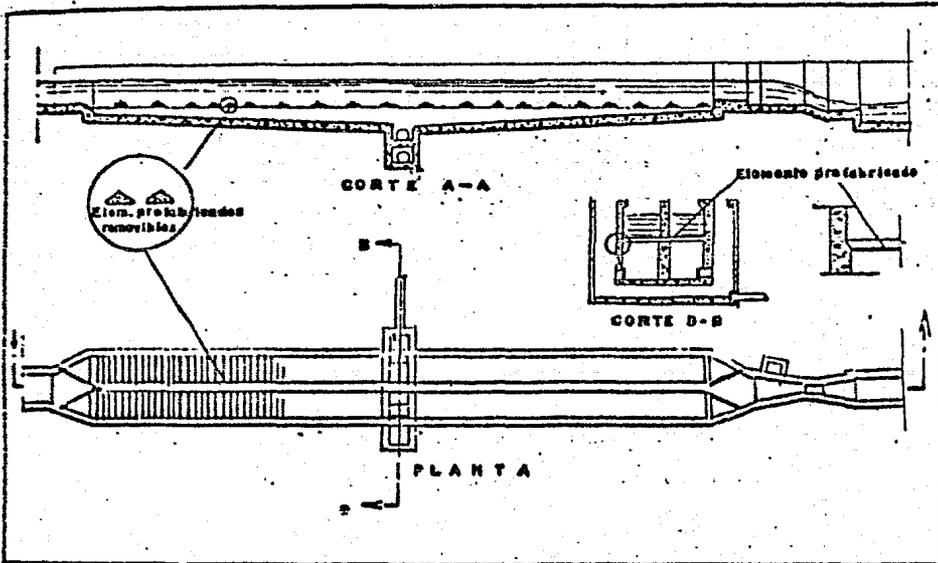
Desarenadores son tanques de flujo continuo, incluidos generalmente como elementos de tratamiento preliminar para separación de arenas y otras partículas discretas de densidad marcadamente superior a la del líquido residual y que por su naturaleza, interfieren con la operación y mantenimiento de las unidades subsiguientes de los procesos de estabilización con la deposición de estos sólidos en separadores y reactores de los tratamientos primarios y secundarios y el desgaste de equipos mecánicos giratorios. (principalmente bombas). Estos tanques desarenadores deben ser diseñados en tal forma que separen las arenas del líquido residual, sin remover los sólidos orgánicos suspendidos en el agua y que por su constitución, presentarían problemas para la disposición de los primeros.

El trabajo de Hazen* sobre el asentamiento de las partículas de cuarzo de gravedad específica 2.65 y tamaño desde 0.1 a 1.0 mm, se ha tomado como base para el diseño de los desarenadores. El asentamiento de las partículas se produce al reducir la velocidad de escurrimiento de las aguas a valores bajos y se verifica en función de las velocidades de sedimentación que se encuentran en un rango de 1.0 mm/seg para partículas de 1.0 mm y de 8 mm/seg para las partículas más pequeñas que son de 0.1 mm. * (Referencia Bibliográfica No 8).

En la eliminación de arenillas se ha encontrado que un periodo de retención de 1.0 min en la cámara es suficiente, además de una velocidad de 30 cms/seg, puesto que a menores velocidades a la indicada permiten la deposición de la materia orgánica, y velocidades mayores permiten el paso a través de la arena a través del desarenador.

En condiciones normales, el volumen máximo durante el día puede ser 2.5 veces o más que el de la noche, además de que en época de

DESARENADORES



II

lluvias puede excederse en gran forma esta relación.

Estas variaciones en el flujo, complican el diseño de un tanque desarenador debido a que es difícil mantener la velocidad deseada en el tanque bajo todas las condiciones de flujo y esto se puede remediar en el uso de un pequeño tanque de retención y un control de salidas que viene siendo un vertedor o desfogue ajustable.

Desnatadores. Son utilizados para remoción de sustancias flotantes y materia finamente dividida, que puede ser recolectada y removida en la superficie. Por lo general se utilizan para remover aceites, grasas, jabones y algunos tipos de materiales flotantes en la superficie de las aguas residuales. Para separar partículas líquidas ó sólidas, se utiliza burbujas finas de aire, las cuales atrapan las partículas y las elevan a la superficie, de esta forma se remueven partículas con densidad mayor a los líquidos o de menor densidad.

Algunas otras ocasiones se utilizan agentes químicos tales como sales de aluminio ó ferricas que provocan aglomeración de las partículas y forman una estructura de entrapamiento de las burbujas de aire. Generalmente estos tanques son rectangulares en forma de canal. sus periodos de retención son pequeños, (3 a 5 mins).

La aereación de las aguas residuales en los tanques desnatadores combina las ventajas de la preaireación con los de la eliminación de grasas.

Las trampas de grasa con tanques desnatadores pequeños y son apropiados en industria, hospitales, hoteles o donde se produzcan cantidades excesivas de grasa. los periodos de retención varían entre 10 y 30 minutos.

Tanques Senticos. Estos elementos se utilizan principalmente para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, en zonas rurales y en pequeñas poblaciones. La teoría de su funcionamiento consiste en dejar las aguas negras retenidas en un periodo de 24 horas para ver-

mitir a los sólidos pesados se sedimenten y las partículas finas flotar a la superficie. Estos sólidos se descomponen en el fondo del tanque, produciéndose gases que arrastran a los sólidos y los obligan a subir a la superficie, permaneciendo una nata o capa hasta que escapa el gas y vuelven a sedimentarse. Esta continua flotación y subsecuente sedimentación de los sólidos los lleva con la corriente de aguas negras hasta la salida por lo que eventualmente salen algunos sólidos con el efluente, frustrando así parcialmente el propósito del tanque.

Debido a los largos periodos de retención y a la mezcla de los sólidos en descomposición, las aguas negras salen del tanque en una condición séptica que dificulta el tratamiento secundario.

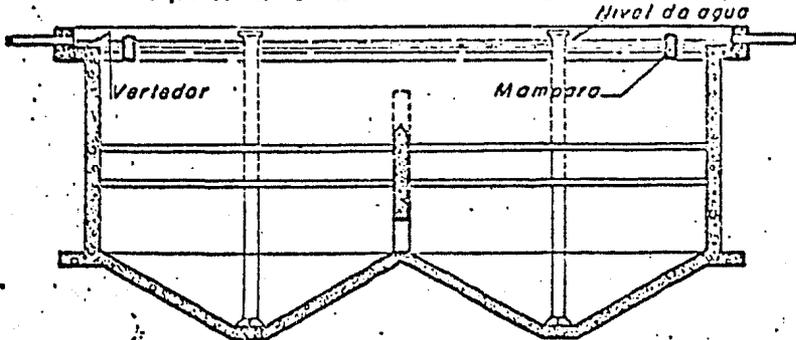
Para mejorar el proceso, actualmente se diseña el tanque con dos cámaras, de las cuales la primera sirve para sedimentación, digestión y almacenamiento de los lodos. La segunda permite una sedimentación adicional y mayor capacidad para el almacenamiento de los lodos.

Es importante tener suficiente capacidad de almacenamiento de lodos para lograr suficiente tiempo para la digestión antes de extraerlos del tanque; los lodos se extraen cada 2 ó 3 años.

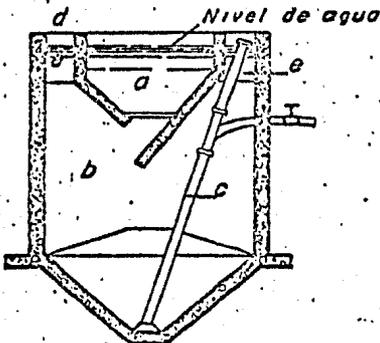
Tanques Imhoff. Son tanques que consisten en dos compartimentos o cámaras, una superior donde se realiza la sedimentación de los sólidos y otra inferior a donde pasa la materia sedimentada, esto a través de una ranura, donde permanece estática para que se efectue el proceso de digestión anaerobia. Las aguas residuales pasan a través del compartimento superior produciéndose la sedimentación, los sólidos dada la forma de la cámara, resbalan y pasan por la ranura del fondo al compartimento inferior. Esta ranura funciona como trampa e impide que los gases de la digestión y partículas de lodos pasen a la parte superior y son desviados hacia la cámara de natas y ventilas.

Su uso actualmente es muy reducido y solamente en plantas muy pequeñas. Su operación es muy sencilla pues no requiere de equipo mecá-

TANQUE IMHOFF.

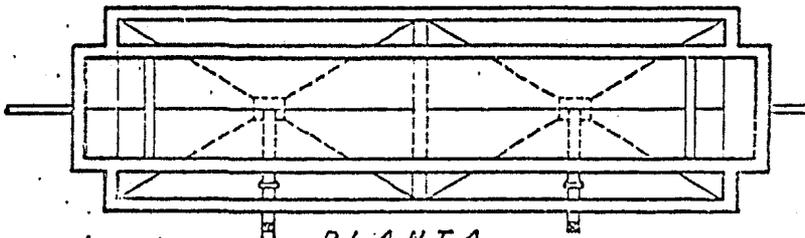


SECCION LONGITUDINAL



- a. — Cámara sedimentadora
- b. — Cámara de digestión
- c. — Tubería para extracción de lodo.
- d. — Cámara de gases
- e. — Cámara de natas

SECCION TRANSVERSAL



PLANTA.

nico para su operación y para obtener una eficiente operación hay que realizar las siguientes actividades:

- 1.- eliminación de grasas, natas y sólidos flotantes del compartimiento de sedimentación.
- 2.- raspar periodicamente los lodos y fondos inclinados del compartimiento de sedimentación para quitar los sólidos adheridos que puedan descomponerse.
- 3.- limpieza periodica del compartimento de sedimentación.
- 4.- controlar la nata en la camara de natas, rompiendola por medio de chorros de mangueras a presión, manteniendola humeda con aguas negras del compartimento de sedimentación y quitandola cuando el espesor sea entre 60 y 90 cms.
- 5.- la descarga de los lodos debe de hacerse antes de que su nivel llegue a estar cerca de 45 cms de distancia de la ranura del compartimento de sedimentación, aunque es recomendable sacar los lodos en pequeñas cantidades con mas frecuencia. Los lodos deben de descargarse a una velocidad moderada y regular para que no se forme un canal a través de los lodos que deje escapar lodos parcialmente digeridos y parte del liquido sobre los lodos digeridos, se deja un 20% de los lodos para siembra dejando espacio necesario para los que se acumulen durante el invierno o temporadas de baja temperatura que es cuando la digestión es muy lenta.

Hasta aquí se puede considerar que se han mencionado los principales sistemas y elementos utilizados para el pretratamiento y tratamiento primario es decir que las aguas tratadas se les ha removido la materia sedimentable suavizando el efecto de fluctuación de la calidad del agua. se han neutralizado las descargas acidas o alcalinas o se han preparado los desechos para tratamientos secundarios.

A los tratamientos secundarios tambien se les denomina Procesos

biológicos por medio de los cuales se logra la descomposición y estabilización de la materia orgánica, reducción de la concentración de compuestos nitrogenados y uniformización de cargas orgánicas para tratamientos posteriores o sea los tratamientos terciarios o procesos químicos.

Dentro de lo que son los procesos biológicos, los mas importantes se puede afirmar son: PROCESOS DE FILTROS REGLADORES, LECHOS ACTIVADOS Y LAGUNAS DE ESTABILIZACION, cuyo desarrollo son el tema central de este trabajo.

Para entender el como se lleva a cabo un proceso biológico, es necesario explicar los siguientes conceptos:

- a.- principios de la degradación de la materia orgánica.
- b.- microorganismos mas importantes que intervienen en el tratamiento biológico.
- c.- crecimiento y factores de crecimiento de los microorganismos.
- d.- metabolismo aerobio y anaerobio.
- e.- conceptos fundamentales.

IV.- TRATAMIENTOS SECUNDARIOS O PROCESOS BIOLÓGICOS.

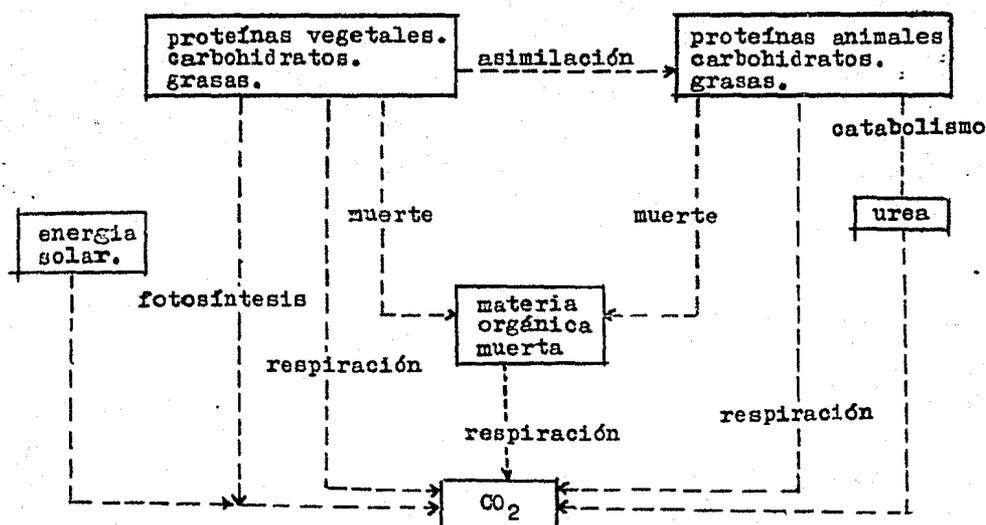
I.- Generalidades.

a.- Principios de la degradación de la materia orgánica.

La degradación de la materia es el resultado del metabolismo de microorganismos existentes o agregados a las aguas residuales, en la mayoría de los casos la oxidación biológica se lleva a cabo con materiales orgánicos pero en algunas otras ocasiones se realiza con materiales inorgánicos.

La materia esta constituida principalmente de carbono, oxígeno y nitrógeno y en forma secundaria de fosforo y azufre, estos elementos se combinan entre si formando los tres tipos de sustancias mas importantes dentro de la materia orgánica como son: proteínas, azucars y lípidos.

La transformación de los compuestos orgánicos en la naturaleza, explica el significado, en términos generales de la oxidación biológica de los procesos en la Ingeniería Sanitaria, como se muestra en la figura siguiente.



b.- principales microorganismos que intervienen en los tratamientos biológicos.

La importancia de las características propias de los microorganismos estriba en que son la parte medular de la transformación de la materia orgánica a compuestos mas simples y materia inorgánica inocua.

Bacterias. Son organismos unicelulares que utilizan la materia soluble como alimento, llevan a cabo todas las funciones vitales y se reproducen generalmente en un medio ambiente húmedo. Son considerados como plantas por su estructura y forma de alimentarse, pueden degradar la materia orgánica aún en ambientes difíciles pues se adaptan a tales condiciones. Es recomendable un control adecuado de su crecimiento por las condiciones indeseables que pueden producir y algunas pueden ser del tipo patógeno. Obtienen energía principalmente de la oxidación de la materia orgánica y algunas toman la energía solar para la síntesis de su protoplasma.

De acuerdo a su metabolismo se dividen en heterótrofas y autótrofas donde el primer grupo se subdivide en aerobia, anaerobias y facultativas.

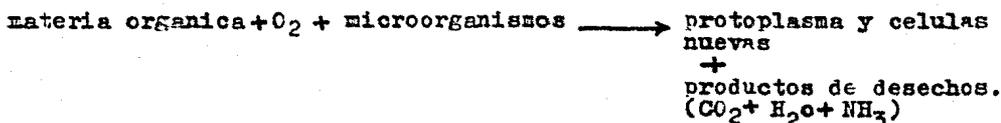
Las bacterias Heterótrofas, se nutren y obtienen su energía a partir de la materia orgánica y de acuerdo al tipo de combustión que se produce en el interior de la bacteria se pueden clasificar a su vez como ya se dijo en líneas anteriores en aerobias que son aquellas en que la oxidación se lleva a cabo mediante el oxígeno molecular disuelto en el agua. Transforman la materia orgánica de acuerdo a la siguiente ecuación general:

materia orgánica + C_2 bacterias aerobias $CO_2 + H_2C + \text{energía}$.

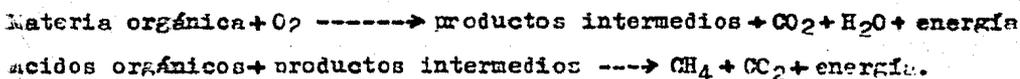
Durante el proceso aerobio, el abastecimiento de oxígeno debe ser en forma continua puesto que actua como aceptor final de hidrógeno en la oxidación de la materia orgánica liberando energía.

En este proceso el metabolismo de la materia orgánica se lleva a

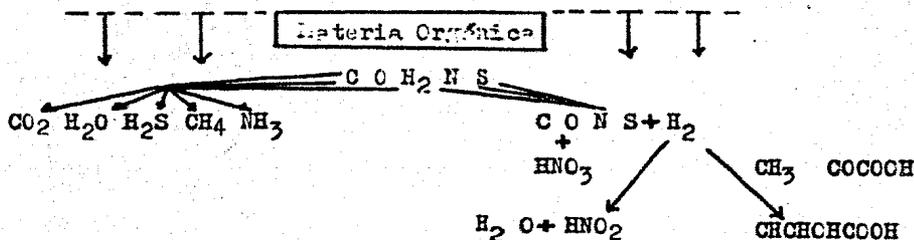
como se muestra a continuación:



Las bacterias heterótrofas anaerobias, viven sin la presencia de oxígeno molecular, porque el hidrógeno del compuesto utilizado pasa a un aceptor final que no es el O_2 . La oxidación se lleva a cabo en la siguiente forma:



En forma diagramática se puede tener lo siguiente:



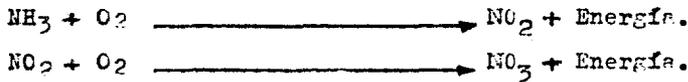
Las bacterias heterótrofas facultativas, pueden vivir con o sin la presencia de oxígeno molecular, es decir se acondicionan para desarrollarse ya sea como aerobias o anaerobias.

El segundo grupo de bacterias es el que se denominan AUTOTROFAS. Estas bacterias se desarrollan y subsisten a partir de materia mineral y utilizan el CO_2 como fuente de carbono y energía a partir de dicha materia.

Las bacterias autotrófas más importantes son:

Bacterias nitrificantes.- que tienen la propiedad de degradar los compuestos a base de nitrógeno y se les encuentra en los procesos de oxidación total o prolongada, son sensibles a la luz.

Mediante dos tipos de estas bacterias, el nitrógeno amoniacal se transforma a nitratos de acuerdo a la siguiente expresión.



Bacterias del Azufre. Son los microorganismos encargados de degradar los compuestos azufrados, son importantes porque también causan problemas como el de la corrosión en los sistemas de aguas residuales.

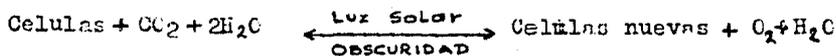
Hongos. Son otra rama importante de los microorganismos, en sí son plantas microscópicas pluricelulares que debido a la ausencia de pigmentos fotosintéticos, requieren de materia orgánica como fuente de carbono y energía.

Pueden crecer en condiciones de bajo pH y de poca humedad.

Algas. Es otra rama importante también de los microorganismos, constituyen el alimento principal de los animales acuáticos; son productores de oxígeno en el agua y facilitan la reoxigenación de la misma cuando se tiene bastante materia orgánica en vía de descomposición, en grandes cantidades obstruyen las fases de potabilización del agua principalmente la de filtrado, retardando así la duración de los ciclos de filtración, sin embargo por su acción fotosintética forman un papel muy importante en los procesos de purificación de aguas contaminadas.

Poseen elementos fotosintéticos que las hacen fácilmente identificables en el microscopio. Sus requisitos nutritivos se basan en los bicarbonatos en solución como fuente de carbono, sin necesitar otro tipo de nutrientes.

Su metabolismo se representa por la siguiente ecuación:



Protozoarios. Son en si animales unicelulares de reproducción por fisión binaria donde el metabolismo es muy similar al de los microorganismos no fotosintéticos.

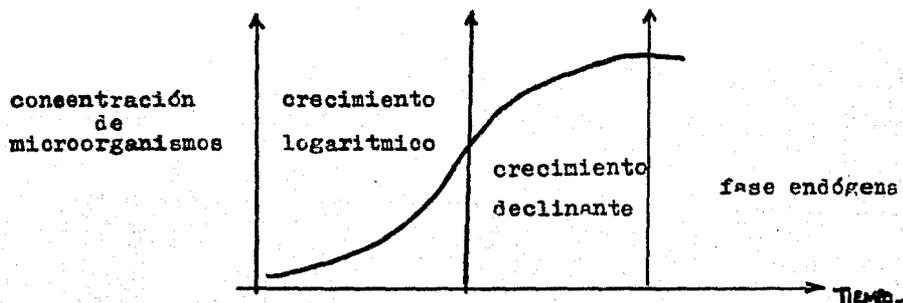
El sistema digestivo es mas completo que el de las plantas microscópicas, pudiendo digerir comida sólida.

Algunas especies de protozoarios no son capaces de producir sustancias vitales para su desarrollo por lo que dependen de los productos del metabolismo de las bacterias.

Los protozoarios utilizan como alimento compuestos solubles orgánicos cuando se encuentran en altas concentraciones, pero como en las aguas de desecho estas concentraciones son bajas, pocas especies de protozoarios pueden desarrollarse pero algunos sobreviven a base de ciertas bacterias en los desechos orgánicos, reduciendo dicha población bacteriana.

c.- Crecimiento y factores de crecimiento de los microorganismos.

El crecimiento clásico de los microorganismos, esta integrado principalmente por tres fases con características particulares como se detalla a continuación



En el crecimiento logarítmico, indica que los microorganismos en esta fase tiene nutrientes en exceso y tienen un crecimiento sin restricciones, esto implica que la degradación y la estabilización sean máximas, aunque es un requisito muy importante, que la relación nutrientes-microorganismos (U), fluctue alrededor de 2.5, y dadas las características de las aguas residuales domésticas, el contenido de microorganismos no debe de exceder de 150 mg/l, pero sucede que teniendo estas condiciones, los microorganismos se dispersan y no alcanzan a formar flóculos, originando con esto, que el efluente tenga altos contenidos de materia orgánica no estabilizada.

En el crecimiento declinante indica que los microorganismos, aumentan en su población, mientras que la concentración de materia orgánica disminuye, esto trae en consecuencia que disminuya el crecimiento de nuevas células.

En cuanto a la relación microorganismos-nutrientes que se tiene es difícil de determinar puesto que varía en forma inversa y se puede concluir que esta fase termina cuando la relación alcanza

un valor de C.CC6.

En el crecimiento endógeno, el crecimiento de los microorganismos no termina totalmente, pero la tasa de degradación celular la excede de tal manera que existe una disminución en la masa activa, es decir la población bacteriana.

Existen varios factores que afectan el crecimiento de los microorganismos, tales como: Temperatura, P.H., disponibilidad de nutrientes, abastecimiento de oxígeno, agentes nocivos, etc.

Temperatura.-Dependiendo de la temperatura en que los microorganismos se desarrollan, estos se dividen en:

Criófilos.-pueden crecer a 0 oC, con una temperatura óptima de 20 oC a 25 oC.

Mesófilos.-se desarrollan en temperaturas de 20 oC y 45 oC, con un rango de temperaturas óptimas de 30 oC a 37 oC.

Termófilos.-son los que crecen entre 45 oC y 70 oC, con una temperatura óptima de 50-55 oC.

Termodúricos.-se desarrollan a temperaturas mayores de su máxima de crecimiento.

En la práctica se ha visto que la actividad de los microorganismos disminuye hasta en un 50% por cada 10 oC.

La influencia de la temperatura en los procesos de tratamiento biológico, depende de su magnitud, de lo cual se deduce que en cuanto a la oxidación biológica de la materia orgánica, cuando la temperatura es baja, tiene mayor influencia la respiración bacteriana, y cuando esta es alta, el factor de mayor influencia es la transferencia de oxígeno.

p.H.-este parámetro es muy importante en la operación de las unidades de tratamiento, durante los procesos de oxidación biológica, ya que esta estrechamente relacionado con ciertos mecanismos en-

zimaticos, que le son fundamentales.

Un p.H. óptimo de operación es de 7 a 7.5, teniendose una buena relación de efectividad en un rango de pH de 6 a 9.

A valores mayores o menores de pH, dicha eficiencia disminuye hasta en un 50%, tambien cambios bruscos del pH pueden disminuir la actividad respiratoria hasta en un 70%.

Disponibilidad y tipo de nutrientes.—a este respecto se tiene que las celulas se alimentan por medio de la membrana celular, con ayuda de enzimas que metabolizan las substancias que le sirven de nutrientes, de tal forma que la remoción de la materia orgánica que sirve de alimento a los microorganismos, esta en función de la superficie celular en contacto con ella.

La competencia por los nutrientes es un factor muy importante en la dinámica del desarrollo de los microorganismos, en un momento dado luchan entre si por el mismo tipo de substrato, mientras que en el caso de los protozoarios, para su alimentación utilizan diversos organismos.

Las bacterias que se consideran mas importantes, son: las pseudomonas que pueden vivir casi en cualquier ambiente y metabolizan cualquier tipo de materia orgánica.

Los microorganismos generalmente tienen hábitos metabólicos muy variados, puesto que toman la comida salubre y su proceso es similar, en condiciones aeróbicas predominan las bacterias, pero todos los microorganismos crecen y a medida de que cambian su ambiente, su posición relativa se va modificando.

Algunas ocasiones, los desechos contienen casi todos los nutrientes necesarios para el crecimiento de los microorganismos, pero hay ocasiones en que el nitrógeno y el fósforo pueden ser deficientes, en cuyo caso es necesario adicionarlos, en busca de una mejor efi-

ciencia.

Abastecimiento de oxígeno.-Es un factor muy importante, ya que dependiendo de la concentración en el licor mezclado, la tasa de respiración microbiana puede ser o no independiente, es decir que si se tiene una concentración menor, el sistema se hace dependiente del oxígeno y por lo mismo, la tasa de remoción de la DBO disminuye.

La cantidad requerida de O_2 para oxidar materia orgánica, será la suma de la cantidad necesaria para todos los microorganismos que la componen, menos el O_2 inicial presente, y la velocidad de su utilización durante el proceso, esta relacionada íntimamente con el metabolismo de los microorganismos.

Agentes nocivos.-Muchas sustancias resultan nocivas en los procesos de oxidación biológica, inhibiendo total o parcialmente de acuerdo a la concentración existente, algunas ocasiones los microorganismos se adaptan y en otras se puede utilizar como sustancia alimenticia.

d.- metabolismo aerobio y anaerobio.

Para el desarrollo de las poblaciones microbianas en los tratamientos biológicos, es necesario que se oxide la cantidad suficiente de materia orgánica, que libere la energía necesaria en la síntesis de nuevas células biológicas. (síntesis es la suma del incremento de la masa activa, más el decremento de la misma debido al metabolismo endógeno: (Ref. Bibl. No 9).

$$S = Ma + K_3 Ma t \quad \text{en donde:}$$

Ma = masa activa microbiana, mg sv/l

t = tiempo en horas.

K_3 = 0.006, coeficiente determinado experimentalmente.

Entre esta cantidad, el oxígeno consumido y los microorganismos formados, existe una relación que se puede expresar como:

$$F = K_1 S + K_2 O_2 \quad \text{en donde:}$$

F = materia orgánica removida mg DBC_u /l

K_1 = 1.43 constantes para la conversión de medición a mg C₂/l.

K_2 = 1.0

S = síntesis (sólidos volátiles), mg/l

O_2 = Oxígeno para la síntesis, mg C₂ tomado/l

En sistemas aerobios, esta ecuación se puede aplicar con facilidad no así en los anaerobios, donde la oxidación se lleva a cabo en forma indirecta.

El metabolismo aerobio se utiliza en procesos como: lodos activados, filtros rociadores, zanjas de oxidación, discos biológicos etc, donde se establece una relación entre la síntesis y la energía.

(la ecuación se presenta en términos de O.D.)

$O_2 = 0.7 S$, y sustituyendo en la ecuación anterior, se tiene:

$F = 2.13S$, donde esta ecuación representa la remoción de la materia orgánica en función de la síntesis.

Substituyendo la ecuación $S = Ma + K_3 Ma \cdot t$ en $F = 2.13 S$, queda de la siguiente forma $F = 2.13 Ma + C.128 Ma \cdot t$.

Al utilizar esta ecuación en forma correcta, se debe combinar con otras ecuaciones que tomen en cuenta otros factores propios del metabolismo microbiano y el medio en el cual se lleva a cabo, tales como: temperatura, presencia de sustancias tóxicas etc.

En los metabolismos aerobios y anaerobios, la cantidad de materia orgánica requerida para elaborar una unidad de protoplasma, es la misma y los patrones metabólicos son semejantes. En consecuencia la energía necesaria para producir el protoplasma vital, debe ser similar en los dos sistemas.

La diferencia entre estos dos tipos de metabolismo, radica principalmente en los mecanismos para obtener energía y por lo mismo en la energía por unidad de materia orgánica metabolizada.

En el metabolismo anaerobio se consideran dos etapas, en las cuales el único O_2 que puede ser agregado, proviene de las moléculas de agua y el remanente debe proceder de la materia orgánica que está en descomposición. En la primera etapa se considera la formación de ácidos y en la segunda, la formación y producción de metano.

a.-Conceptos fundamentales.

La prueba analítica de la DBO, es una estimación de la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica en una muestra de aguas residuales, por medio de una población microbiana heterogénea. En si consiste en una serie de pruebas (bioensayos), que consisten en la medición del oxígeno consumido por los organismos vivos (bacterias), para utilizar como alimento la materia orgánica presente en un desecho en condiciones muy similares a las naturales. La degradación de la materia orgánica efectuada por los organismos antes mencionados en condiciones aerobias, es llevada hasta una oxidación completa, es decir, hasta dióxido de carbono, agua y amoníaco.

La DBO de las aguas residuales y de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o industriales, es ejercida por tres clases de materiales:

- 1.-material orgánico carbonoso utilizable como fuente de alimento por los organismos aeróbicos.
- 2.-nitrógeno oxidable derivado de nitritos, amoníaco y compuestos de nitrógeno orgánico que sirven como alimento de bacterias específicas (nitrosomas y nitrobacter).
- 3.-ciertos compuestos químicos reductores, que reaccionan con el oxígeno disuelto molecular.

El procedimiento para obtener la DBO, consiste en tomar una muestra a 20 °C y aerearla cerca de la saturación; normalmente se hace en cuatro frascos, y a dos de ellos se les determina de inmediato su oxígeno disuelto y los dos restantes son incubados durante 5 días a 20 °C, después de los cuales se les determina el oxígeno disuelto, calculandose la DBO₅ por medio de la diferencia de C.D.₅ - C.D.₀.

Los valores determinados para la DBO de aguas residuales crudas

serven de base para calcular los requisitos de oxígeno de las mismas, que deberán de proporcionarse en las unidades de tratamiento independientemente de su tipo. también al determinar la DBO de las aguas residuales tratadas y compararlo con el de las crudas para cada caso particular, es posible calcular la eficiencia del tratamiento en cuanto a la remoción de la materia orgánica.

Transferencia de masa.

Se le llama así al proceso de difusión e intercambio de la materia de una fase a otra.

La tasa de intercambio depende de una fuerza motriz y su ecuación es la siguiente:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{F}{R}$$

en donde:

q = cantidad de materia transferida.

t = tiempo.

F = fuerza motora.

R = resistencia.

Si se considera la aereación en un tratamiento biológico, la cual se puede definir como la transferencia de oxígeno de la fase gaseosa a la fase líquida, se tendrá que: F es la diferencia entre la concentración del oxígeno disuelto en la interfase y la concentración presente en el líquido; R es la resistencia de transferencia que existe en la interfase gas-líquido.

La transferencia de masa se ve afectada por las características físicas y químicas de las fases, como: temperatura, tensión superficial, viscosidad, etc.

La velocidad de reacción, tanto química como biológica, se puede determinar a partir de la ecuación siguiente:

$$\frac{dc}{dt} = K f(c).$$

donde:

c = concentración de sustancias reactantes.

t = tiempo

$f(c)$ = una función de la concentración de sustancias reactantes

K = constante de la tasa de reacción.

Transferencia de oxígeno.

De acuerdo a los principios de transferencia de masa y por medio del proceso de difusión, el O_2 se dispersa en el medio líquido y tiende a producir un estado de concentración uniforme y estable.

La tasa de difusión molecular del O_2 disuelto en el líquido depende de las características de ambos, del gradiente de concentración, temperatura y área de la sección a través de la cual ocurre la difusión.

La transferencia de masa se lleva a cabo a través de las películas de las interfases del gas atmosférico y el líquido en estado de turbulencia, hasta que se establece el equilibrio dinámico.

Durante la transferencia de un gas soluble a un cuerpo líquido como el oxígeno, la resistencia que controla el fenómeno se encuentra en la película líquida, ya que por la difusividad de la fase gaseosa, es mayor que la fase líquida en una magnitud de 10^4 .

De la experiencia práctica en mediciones de oxígeno disuelto, se puede decir que su concentración a través de la profundidad del líquido, se toma como una constante para cada caso en particular.

La tasa de transferencia es proporcional al coeficiente de transferencia, el radio interfacial y el gradiente de concentración.

En corrientes naturales, la relación área-volumen se define como A/V , pero en los sistemas de aeración artificial, no se precisa tan fácilmente, utilizándose un coeficiente de transferencia total que es función del área interfacial, volumen del líquido y otras características físicas y químicas del sistema.

2. LODOS ACTIVADOS.

Es uno de los procesos de tratamiento secundario de las aguas negras. Proceso biológico de contacto, en el que los organismos vivos aerobios y los sólidos orgánicos de las aguas negras se mezclan íntimamente en un medio propicio para la descomposición aerobia de los sólidos.

El medio ambiente de que se habla está formado por las aguas negras y en donde para obtener una buena eficiencia del método, es necesaria la presencia del oxígeno disuelto durante todo el tratamiento.

Este proceso se emplea generalmente después de la sedimentación primaria, causa por la cual las aguas negras contienen algunos sólidos suspendidos y coloidales, por lo que cuando se agitan en presencia de aire, los sólidos suspendidos forman núcleos en cuya vecindad se desarrolla vida biológica, que crecen en forma gradual en forma de partículas más grandes de sólidos y esto es a lo que se denomina lodos activados.

Estos lodos están formados por floculos parduscos que consisten principalmente, en materia orgánica procedente de las aguas negras, constituidos por gran cantidad de bacterias y otros microorganismos.

Los organismos vivos de los lodos activados tienen la propiedad de absorber la materia orgánica coloidal y disuelta de las aguas negras disminuyendo con esto la cantidad de sólidos suspendidos.

Estos organismos utilizan como alimento el material absorbido, convirtiéndolo en sólidos insolubles no putrecibles. Algunas bacterias atacan las sustancias complejas originales produciendo compuestos más simples, otras bacterias utilizan de nueva cuenta estos desechos para producir otros más simples continuándose el proceso hasta que los productos finales ya no pueden ser utilizados como alimento de las bacterias.

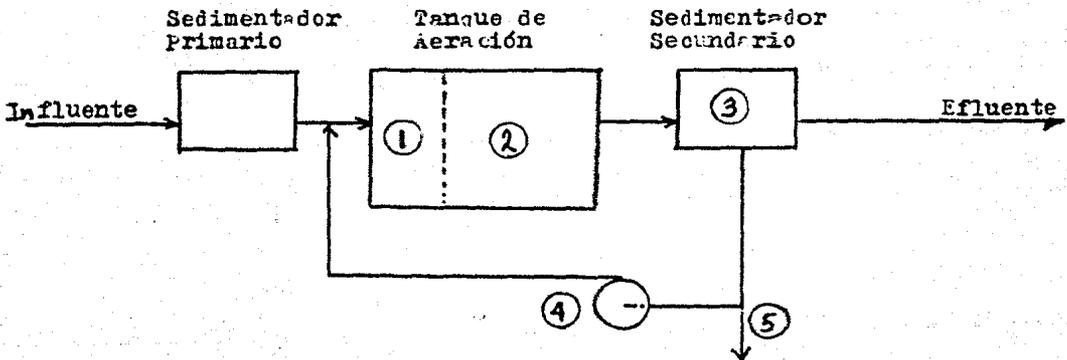
El proceso de generación de lodos activados, es lento, formándose una cantidad muy pequeña de los volúmenes de aguas de desecho en tratamiento, obteniendo con esto eficiencias no deseadas. Para lograr

una buena concentración de lodos activados, se recolectan los lodos producidos en el tratamiento de aguas negras para usarlos en tratamientos de volúmenes subsecuentes, donde dichos lodos reciben el nombre de lodos recirculados. Como este proceso es acumulativo, en determinado número de tratamientos se tendrá un excedente de lodos el cual deberá de retirarse acondicionándolos para su disposición final.

Los lodos activados deben mantenerse en suspensión durante el periodo de contacto con las aguas negras por lo que se requiere de un método de agitación.

Este proceso de lodos activados está compuesto de 5 etapas esenciales:

- 1.- Etapa de contacto, adsorción o floculación, (poner en contacto el agua residual y el lodo activado, es decir comida y microorganismos).
- 2.- Etapa de aeración, mantener aeróbico y en suspensión el licor mezclado.
- 3.- Etapa de separación, remoción del lodo activado del licor mezclado.
- 4.- Etapa de recirculación, retornar el lodo activado al afluente del tanque de aeración.
- 5.- Etapa de disposición, remoción del exceso de lodo activado del sistema.



En el proceso de lodos activados, existe una gran cantidad de variantes que se pueden agrupar desde varios puntos de vista.

Desde un punto de vista del tamaño relativo de la unidad de aeración, se tienen 4 variantes:

- El proceso convencional.
- El de alta capacidad.
- El de contacto estabilización.
- El de aeración extendida.

Proceso convencional. En este proceso las aguas residuales se someten primero a un tratamiento inicial a base de desarenación y sedimentación primaria, después se mezclan con los lodos recirculados y se aerean en forma continua, efectuándose en el tanque de aeración los fenómenos de adsorción, floculación, oxidación de la materia orgánica.

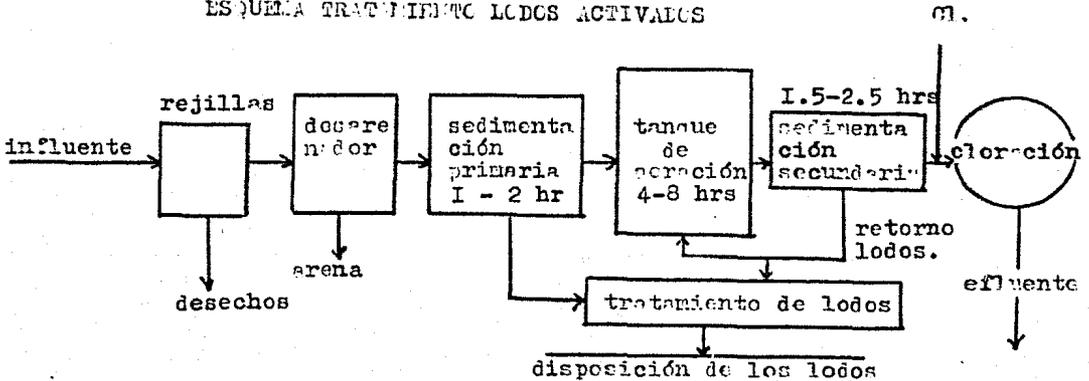
El proceso se puede resumir de la siguiente manera:

- Eliminación de la materia orgánica sedimentable y los sólidos inorgánicos por medio de sedimentación.
- Mezcla y aeración de las aguas residuales provenientes de esta primera sedimentación con los lodos activados en recirculación;
- Remoción de los lodos activados por medio de una segunda sedimentación. Una parte de éstos se recirculan y el resto se somete a un tratamiento específico antes de su disposición.
- Retorno de los lodos activados para su mezcla con el nuevo influente.
- Tratamiento y disposición de los lodos activados.
- Desinfección del efluente antes de su disposición.

La demanda de oxígeno es muy alta al inicio del proceso y es seguido por un decremento rápido en la fase endógena al final del período de aeración; esto se debe a que la mayor parte de la DBO se remueve en poco tiempo en el inicio de la aeración por medio de la bioad-

sorción y floculación, mientras que la oxidación y síntesis ocurren en el tiempo remanente

PROCESO CONVENCIONAL
ESQUEMA TRATAMIENTO LODOS ACTIVADOS



Procesos activados de alta capacidad o aeración modificada.

En esta modificación, las aguas negras entran al tanque de aeración por diversos lugares, pero todos los lodos recirculados se introducen en el primer punto de entrada con o sin una porción de aguas negras.

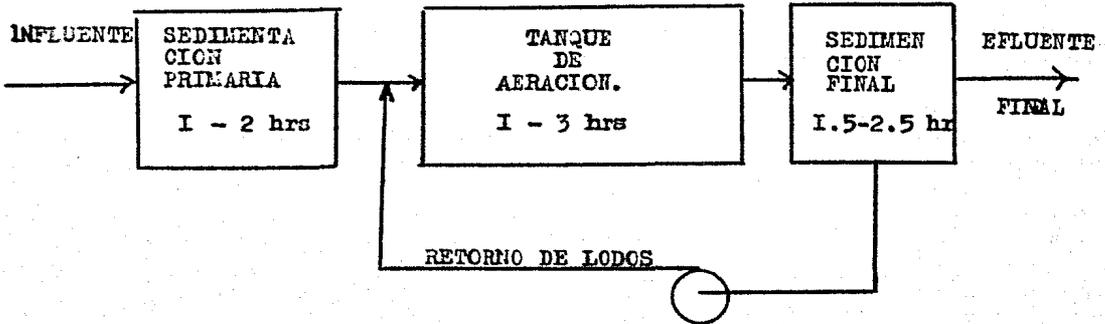
Por este motivo la concentración de sólidos de los lodos en el licor mezclado, es mayor en la primera etapa o lugar de entrada y disminuye a medida que se introducen más aguas negras en las siguientes etapas.

Esto permite que se pueda regular con facilidad la cantidad de sólidos que se mantienen en aeración.

En este proceso se puede lograr un tratamiento que sea prácticamente equivalente al del proceso convencional de lodos activados, en casi la mitad del tiempo de aeración, si es mantenida la edad de los lodos dentro de los límites adecuados de tres a cuatro días.

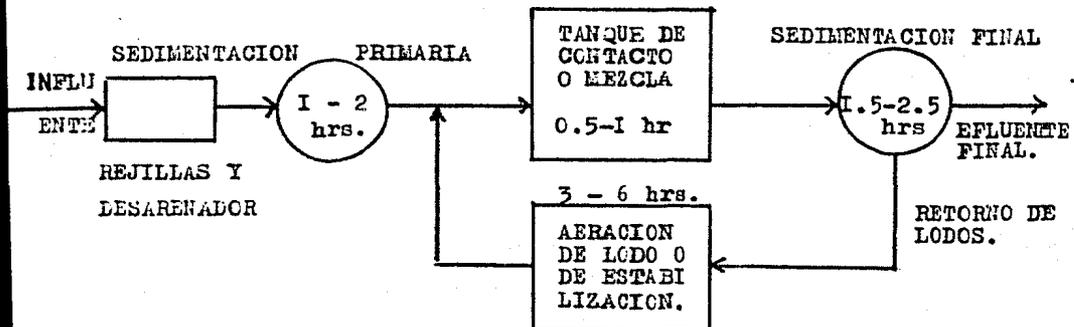
Si se usa un tanque de aeración cuya capacidad sea de solamente la mitad de la que se necesita en el proceso convencional son menores el costo de construcción y la superficie requerida, siendo los costos de operación casi iguales en el convencional y en el modificado.

PROCESO DE LODOS ACTIVADOS DE ALTA CAPACIDAD O AERACION MODIFICADA.



Proceso de contacto estabilización. (Ref. Bibl. No 5).

Fué implantada en 1951 en Austin Texas por Ultrich y Smith, en su funcionamiento se remueven altos porcentajes de DBO rapidamente por bioadsorción despues de que las aguas residuales se ponen en contacto con lodos activados extensamente aerados.



En el proceso convencional de lodos activados la remoción de la DBO se lleva a cabo en un solo tanque de aeración, en el cual se efectúan las fases de adsorción y oxidación sucesivamente, la diferencia con el proceso de estabilización por contacto radica en que estas fases se efectúan en tanques separados, para lograr una mayor eficiencia.

En este proceso la fase de adsorción se lleva a cabo en el tanque de contacto donde el influente y los lodos estabilizados se aerean por un periodo que varía de 20 a 60 minutos, donde la mayor parte de los productos coloidales finamente suspendidos y disueltos son adsorbidos por los floculos biológicos.

El efluente del tanque de contacto pasa a un sedimentador secundario o clarificador donde el lodo se separa del líquido por sedimentación.

El lodo de retorno se pasa al tanque estabilizador, al que se le puede agregar el sobrenadante de los digestores como nutriente.

Aquí es donde se completa la fase de oxidación, aereando por un periodo de 2 a 5 hrs: dependiendo de la concentración y la materia orgánica, se utiliza en respiración y crecimiento, estabilizándose o activándose.

Cuando los lodos estabilizados se mezclan con el efluente del sedimentador primario, los organismos tienen la capacidad de remover grandes cantidades de DBO en un periodo corto de tiempo, lo que trae como resultado que se requiera menor capacidad del tanque de aeración que en el proceso convencional.

Proceso de aeración extendida.

En este proceso la sedimentación primaria se puede eliminar haciendo pasar las aguas residuales a través de rejillas o triturando su contenido sólido antes de pasar al tanque de aeración que provee generalmente de un mezclado completo.

El principio básico consiste en prolongar el tiempo de retención de las aguas negras en el tanque de aeración hasta que se presente el final de la fase endógena (autooxidación de los lodos biológicos producidos por síntesis), la cual predomina.

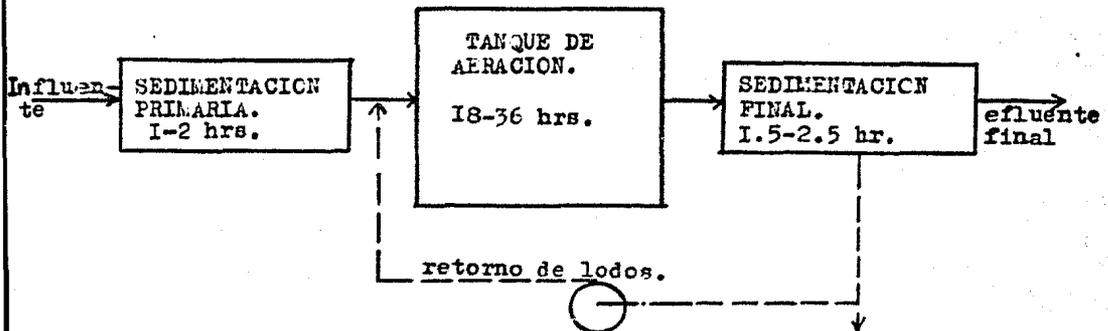
Para lograr esto hay que mantener las siguientes condiciones en el sistema.

- Una relación U baja.
- Alta concentración de sólidos suspendidos en el licor mezclado (5,000 a 6,000 mg/l.
- Tiempo de aeración largo.

En estas condiciones se supone que en el sistema permanece la materia altamente resistente a la oxidación la cual puede llegar a representar hasta un 25% del lodo formado, que se mantiene en recirculación constante a partir de su separación del efluente clarificado en el sedimentador. Para evitar la acumulación de estos lodos y no alteren el proceso se acostumbra una remoción periódica.

En plantas de poca capacidad, el proceso es muy sensible a los cambios bruscos de las características de las aguas residuales o en el volumen pero es menos sensible que el proceso de estabilización por contacto, y aún tiene la ventaja de competir en lo que respecta a eficiencias con otros procesos de tratamiento secundario al mismo tiempo que se obtiene una excelente estabilización de los lodos de desecho.

PROCESO DE AERACION EXTENDIDA.

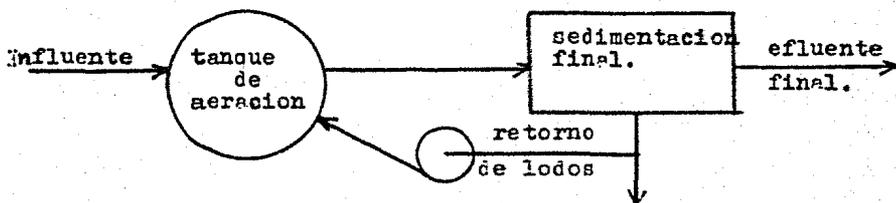


Desde un punto de vista del modelo de flujo en el tanque de aeración, los procesos pueden subdividirse en esquema a MEZCLA COMPLETA y CON FLUJO A PISTON.

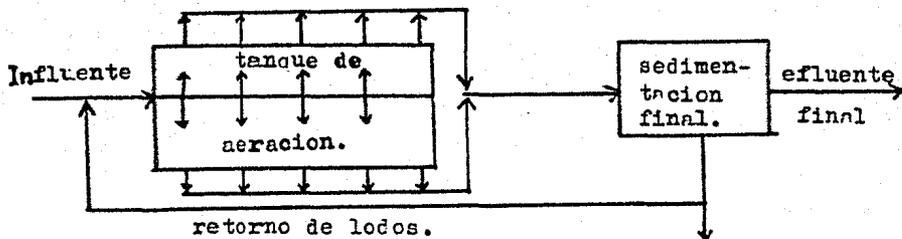
Los procesos a Mezcla Completa son más insensibles a variaciones de carga orgánica y temperatura puesto que se mantiene el impacto de estas cargas difundido en el sistema, debido a la mezcla completa por la cual el abastecimiento y demanda de oxígeno se mantiene al mismo nivel a lo largo del tanque.

A continuación se tienen los esquemas de lodos activados a mezcla completa.

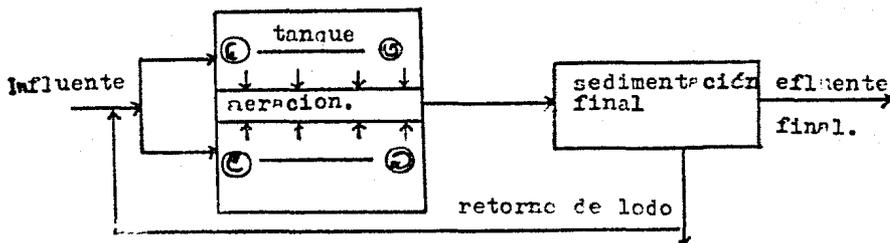
Instalaciones pequeñas.



Instalaciones grandes.

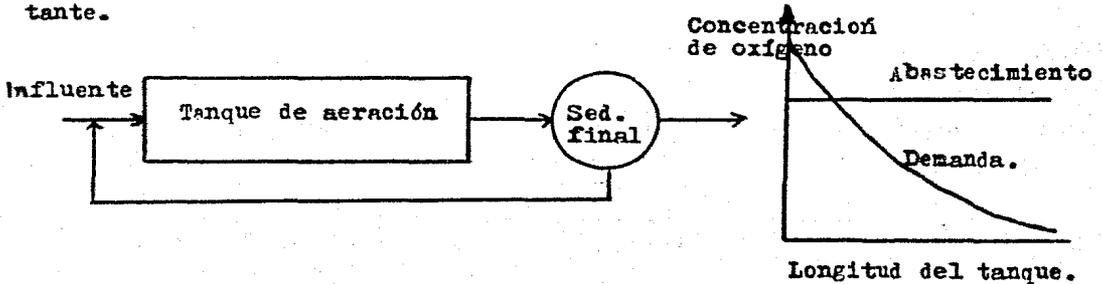


Proceso carrusel.



Dentro de los procesos con flujo a pistón, el tipo de flujo simula un tanque largo en donde un infinitésimo de volumen viaja a lo largo del mismo, de comienzo a fin.

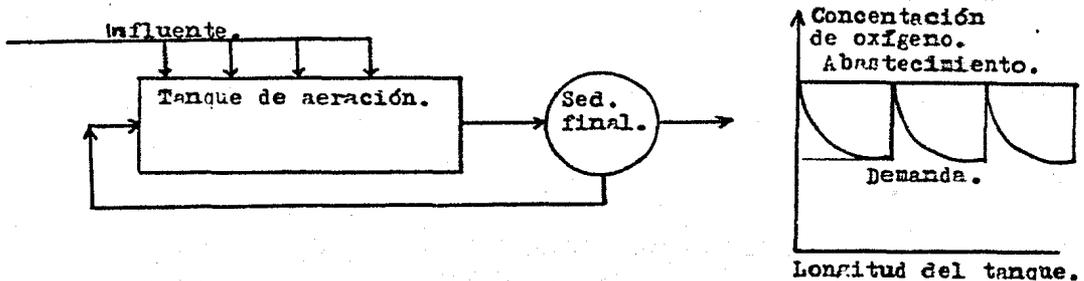
En el proceso convencional se mantiene un solo punto de entrada del afluente al comienzo del tanque. El abastecimiento de oxígeno es constante.



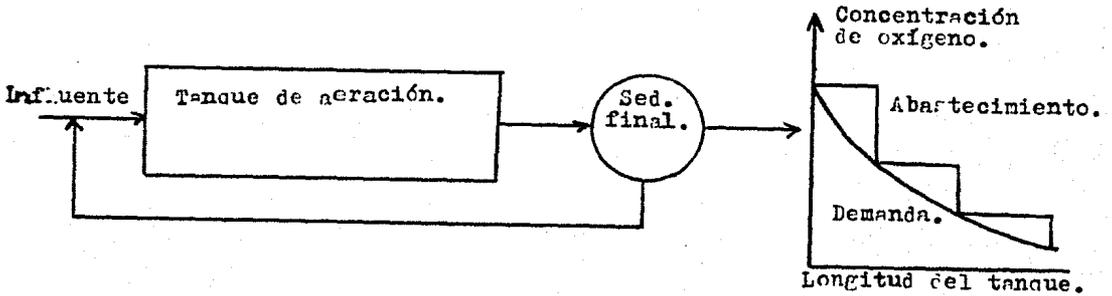
En el proceso de aeración por pasos, trata de que el factor U , sea uniforme en el tanque, disminuyendo así la demanda máxima de oxígeno.

El influente se agrega en diversos puntos a lo largo del tanque de aeración, lograndose una distribución uniforme de la carga orgánica en la longitud total del tanque. Los lodos de retorno se aplican solo en la entrada del tanque de aeración, de manera que tienden a mantener altas sus propiedades de adsorción, llevandose a cabo la remoción de materia orgánica soluble en un tiempo relativamente corto con concentraciones de lodos en el licor mezclado mas bajo.

En este caso, el crecimiento y la oxidación no se confinan a un extremo del tanque como en el proceso convencional pudiendose tratar cargas mas altas de DBO por unidad de volumen del tanque.

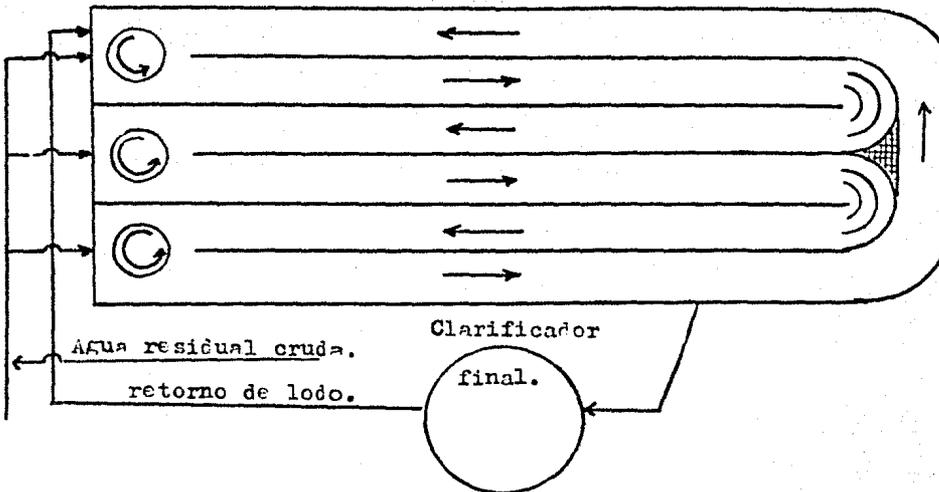


El sistema de aeración escalonada es una variante del proceso convencional con la introducción variable de aire, con mayor cantidad a la entrada del tanque en donde es mas necesario.



Puede existir una combinación de sistemas a mezcla completa y flujo a pistón en el proceso carrousel, en donde se han incluido 3 zonas de cada tipo. Este proceso puede operar como sistema convencional o como de aeración por pasos. Las concentraciones de oxígeno para ambos casos se indican en forma gráfica.

Zanja de oxidación "carrousel".



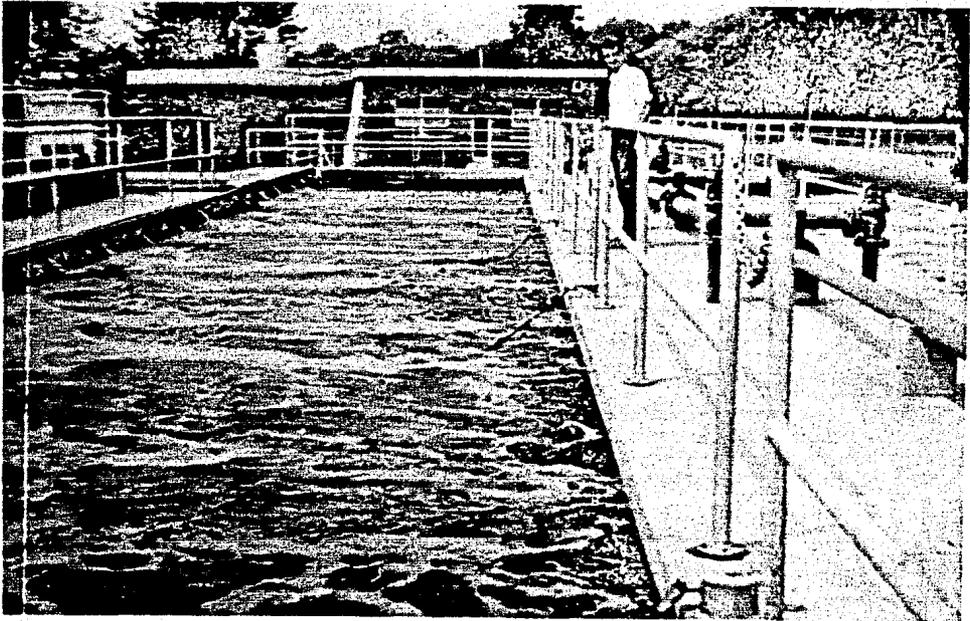
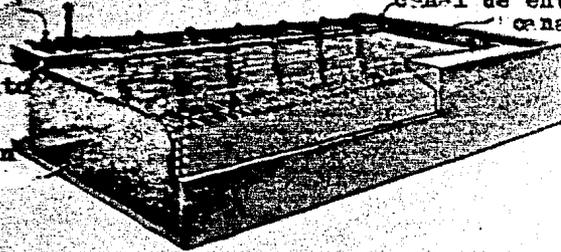
TANQUE
TRATAMIENTO DE Lodos Activados

difusor posición superior.

canal de entrada
 canal vertedor.

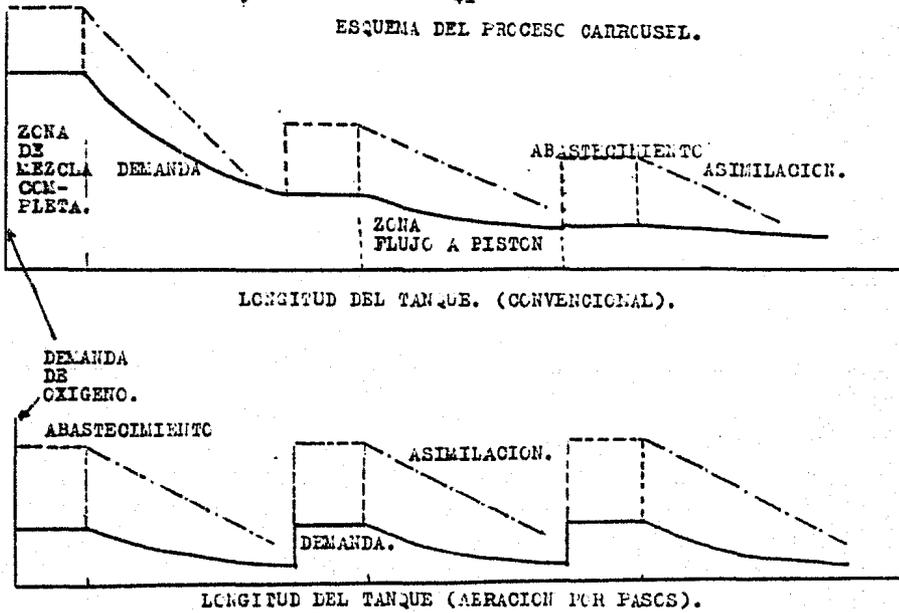
Abastecimiento
 de aire.

difusores en
 posición de
 operación.



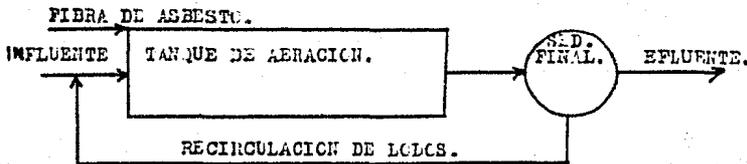
TANQUE DE AERACION.

ESQUEMA DEL PROCESO CARRUSEL.

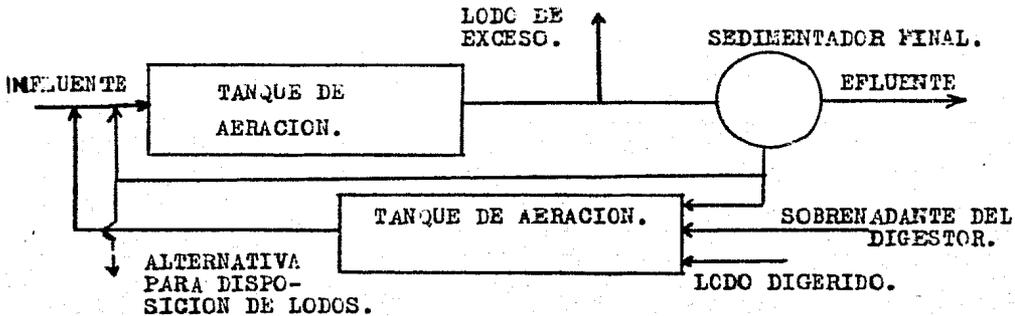


Existen algunas variantes del proceso de lodos activados aparte de las descritas con anterioridad tales como:

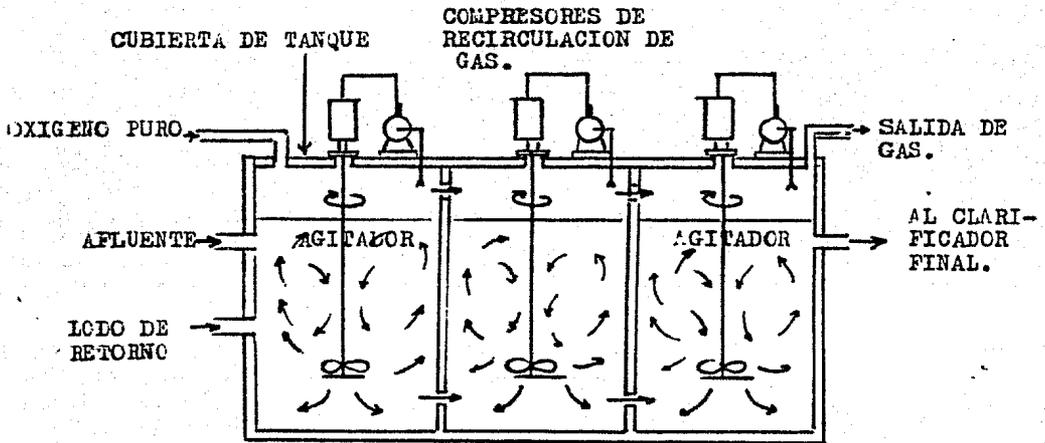
Proceso Zigarly, con la introducción de fibra de vidrio como elemento floculante y para dar mayor facilidad de separación al floculo.



Proceso Krauss. que puede absorber cargas altas de carbohidratos en combinación de desechos domésticos, utiliza el sobrenadante del digestor y el propio lodo digerido como se indica en el esquema:



Proceso UNOX. permiten una alta actividad bacteriana y buena sedimentación de lodos, al mismo tiempo que un bajo volumen del tanque de aeración y de los lodos.



Factores que afectan el proceso de lodos activados.

I.- Parámetros de dimensionamiento.

I.- Carga orgánica por volumen = L_T

Este parámetro es usualmente utilizado para cuestiones de dimensionamiento rápido del tanque de aeración. Dentro de los diferentes procesos de lodos activados se pueden tener los siguientes valores:

- aeración extendida -----	0.10 - 0.20	$L_T = \frac{\text{kg DBO}}{\text{m}^3 \times \text{día}}$
- convencional-----	0.48 - 0.65	"
- Alta tasa-----	1.30 - 2.40	"

La relación de este parámetro con la eficiencia de remoción de DBO no es muy aparente, sin embargo existen correlaciones empíricas.

2.- Período de retención.

Este parámetro es empleado después del anterior, incluye únicamente el concepto idealizado sin considerar la recirculación, o sea basado en flujo de agua residual únicamente.

Este factor es de importancia para propósitos de comparación solamente. Tienen un uso mayor en desechos domésticos, en vista de que el dimensionamiento con su uso olvida otros factores importantes como: concentración de DBO del desecho y distribución de sustrato, por esta razón, este parámetro no debe de usarse nunca sólo para propósitos de diseño. Algunos periodos usuales en los diferentes procesos son:

Aeración extendida-----	18 - 30 hrs.
Aeración a pasos-- -----	6 - 9 hrs.
Convencional -----	5 - 7 hrs.
alta tasa -----	1 - 3 hrs.

3.- Requisitos de aire.

Se refiere al sistema de lodos activados con aire difuso en donde usualmente los requisitos de energía se mantienen la mezcla del

licor son mayores que los requisitos de energía para transferencia de oxígeno. Por lo general se especifican tres tipos de requisitos de aire y se mencionan a continuación:

- a.- Volumen de aire por masa de DBO removido.: $\frac{\text{Lt}}{\text{kg DBO Rem}}$.
- b.- Volumen de aire por volumen de líquido tratado por mg/l de DBO aplicado.; $\frac{\text{Lt}}{\text{Lt} \times \text{mg/L}}$.
- c.- volumen de aire por volumen de líquido tratado; $\frac{\text{Lt aire}}{\text{Lt líquido}}$.

4.- Requisitos de energía.

- a.- energía para volumen de aire comprimido.

Usualmente estos requisitos se calculan a partir de la profundidad del líquido contra la cual se suelta el aire comprimido incluyendo las pérdidas de carga en tuberías secundarias y principales, pero como a nivel de predimensionamiento estas dimensiones no se conocen, se trabaja por medio de parámetros como: pies cúbicos por minuto por H.P. requerido.

- b.- Requisitos de energía por kilogramo de DBO removido.

Parámetro de uso práctico para el sistema con aire comprimido.

Tiene los valores siguientes:

Aire difuso ----- 0.44 - 2.30 KWH/ kg DBO Rem.

Aeración Mecánica----- 0.66 - 1.32 KWH/ kg DBO REM.

5.- Requisitos de Oxígeno para aeración mecánica.

Los requisitos de oxígeno para este tipo de sistemas biológicos son generalmente determinados por ensayos de laboratorio.

El calculo es valido tanto para sistemas con aire difuso como de aeración mecánica siendo mayor su uso para estos últimos para determinación de la potencia requerida de los aeradores, en vista de que en estos procesos los requisitos de potencia son mayores generalmente para oxigenación que para mezcla.

El suministro de oxígeno debe ser suficiente para los siguientes

propositos:

- oxidar la parte de la DBO removida, con el objeto de proveer energía requerida para síntesis (crecimiento del lodo).
- para mantener los requisitos básicos del proceso o la respiración endógena.
- Proveer oxígeno adicional para una completa nitrificación si se desea.
- proveer oxígeno para abastecer una demanda inmediata.

Para la mayoría de los casos unicamente se provee oxígeno para los dos primeros casos.

6.- Producción de lodo.

La porción de la DBO removida en el proceso de lodos activados es convertida a nueva biomasa vía síntesis. Los requisitos metabólicos de oxígeno discutidos previamente proveen la energía para esta conversión. Adicionalmente una parte del lodo activado es reducido por auto-oxidación continua o respiración endógena. La producción neta de lodo es por consiguiente, dependiente de un balance entre síntesis y respiración endógena.

7.- Requisitos de nutrientes.

Nitrógeno y Fosforo son los dos principales nutrientes biológicos que pueden estar presentes en cantidades insuficientes en varios desechos industriales. Dichos elementos son necesarios para la producción de protoplasma microbiano.

Un cierto porcentaje en peso del lodo activado, esta compuesto de cada elemento. Este porcentaje varia con el tipo de desecho que esta siendo tratado y tambien con la fase de crecimiento microbiano del lodo.

B.- Parametros Operacionales.

1.- Porcentaje de lodo de retorno.

Las plantas de lodos activados tienen una capacidad variable de retorno de lodos, su cantidad afecta a los sólidos suspendidos del licor mezclado y edad del lodo. Usualmente se le especifica en porcentaje de calidad de agua residual tratada. Los valores mas comunes estan de 10% a 50% en el proceso convencional y de 5% a 10% en el de alta tasa.

2.- Kg DBO por día por toneladas de SSLM por hora de aeración.

Este parámetro sirve para calcular la eficiencia esperada del proceso, los valores mas usuales en este parámetro son:

Alta tasa -----	100 - 500	$\frac{\text{Kg DBO/día}}{\text{Ton SSLM} \times \text{Hr}}$
convencional-----	30 a 100	"
aeración extend--	8 a 20	"

3.- Kg de DBO por día por kilogramos de SSLM recirculados por día o carga de lodos.

Este parámetro en ocasiones se le denomina carga de sólidos y es independiente del periodo de retención. Tambien es referido como relación de comida a microorganismos (añadidos por día).

4.- Carga orgánica o velocidad orgánica del proceso.

Es igual a los kilogramos de DBO por día aplicados por kg de SSLM mantenidos bajo aeración. Este parámetro es conocido como relación de comida a microorganismos en aeración, visto ya en capitulos introductorios y denominado con la letra "U".

5.- Sólidos en suspensión en el licor mezclado.

Es la concentración de sólidos en suspensión de la mezcla de agua residual (afluente) y el lodo de retorno. Su valor se le encuentra efectuando un balance de masa a la entrada del tanque de aeración. Los valores mas usuales de este parámetro son:

Intervalo -----	600 - 5000	SSIM, mg/l
Usual -----	1000 - 3000	"
Convencional-----	1500 - 2500	"
Alta tasa-----	500 - 1000	"

6.- Edad del Lodo (Gould).

La definición de este parámetro, corresponde a la relación de microorganismos en aeración a comida. Es el valor inverso al parámetro denominado carga orgánica.

7.- Indice de volumen del lodo.

Es una medida de las características de sedimentación del lodo activado y es un parámetro de gran utilidad para el control de operación del proceso de lodos activados.

En si la eficiencia de un proceso no solo depende de la oxidación de la materia de desecho, sino de la posibilidad de mantener una determinada biomasa en aeración, de tal forma que la separación del efluente clarificado del lodo es muy importante.

El índice de volumen del lodo ha sido definido por Mohlman como: " el volumen en ml ocupado por 1 gr de lodos despues de un periodo de sedimentación de 30 minutos ".

Una definición mas objetiva es " la relación del porcentaje de lodo sedimentado en 30 minutos a la concentración de sólidos en suspensión en el licor mezclado, expresado en porcentaje de sólidos,

$$(10 \text{ gr/l} = 1\% \quad IVL = \frac{\% \text{ sólidos sedimentados}}{SSIM, \%}$$

Valores prácticos de IVL pueden ser los siguientes:

Excelenta calidad de sedimentación----- Menor o igual a 50

Buena calidad de sedimentación----- 50 - 100.

Razonable calidad de sedimentación ----- 100 - 150.

Mala calidad de sedimentación----- mayor a 150.

8.- Indice de densidad del lodo.

Este parámetro está definido como:

$$IDL = \frac{IOC}{IVL}$$

Su uso es muy reducido en control de operación de procesos de lodos activados y una discusión muy limitada se incluye en este trabajo únicamente como propósitos de información.

3.- FILTROS ROCIADORES.

Este es uno de los procesos secundarios mas importantes en el tratamiento de aguas de desecho, es muy semejante al proceso de los lodos activados, teniendo tambien su tanque primario de sedimentación y demás partes. La diferencia fundamental estriba en la forma de aeración del agua, ya que en este proceso, el agua se aerea mediante la distribución de la misma por aspersores, provocando una lluvia o rociado para adquirir un gran porcentaje de oxígeno, necesario para mantener la microflora en un medio aerobio.

Las aguas negras que se aplican a la superficie del lecho en laminas delgadas o como rocío, escurren hacia abajo rodeando las partículas de piedra hasta un sistema de drenaje inferior colocado en el fondo, por dicha acción se provoca la procreación de bacterias aerobias, las cuales se adhieren al medio filtrante, tomando sus alimentos de la materia orgánica que contiene el agua rociada; la capa gelatinosa rica en bacterias aerobias, que se logra formar en la parte superior de las piedras se llama zooglea, en donde además se hayan hongos y ciertas formas de vida superior. Esta película que es de la misma familia de los floculos producidos en el proceso de los lodos activados, mantiene bacterias oxidantes que estabilizan la materia orgánica, mediante una oxidación.

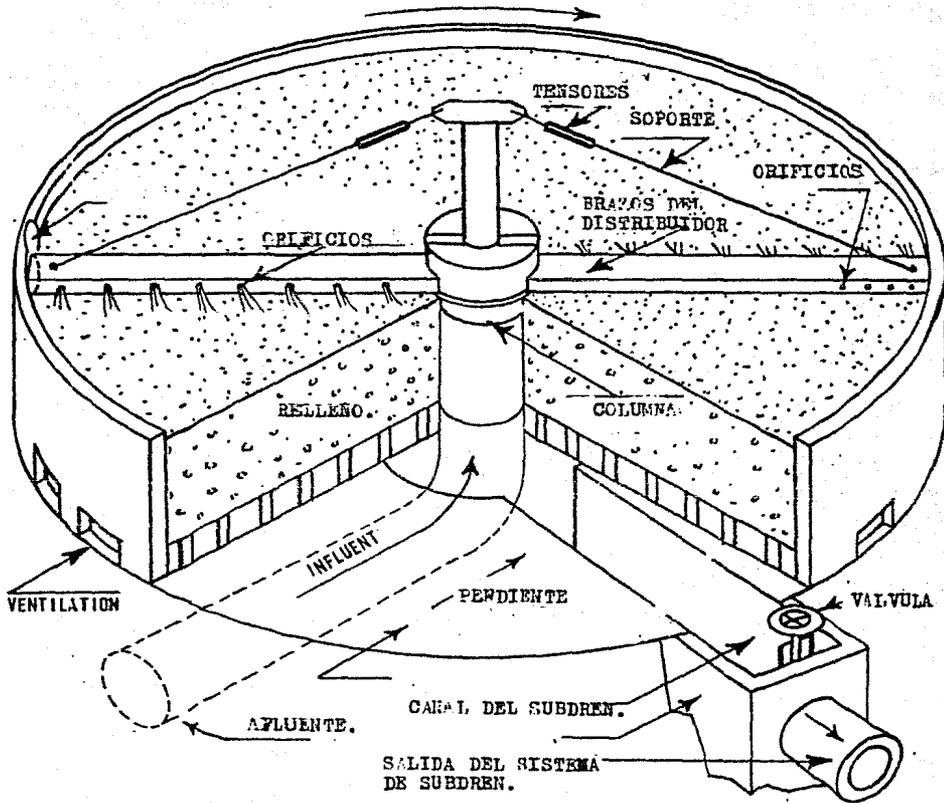
Proceso de los filtros rociadores.

Un filtro rociador básico, consta de tres partes básicas:

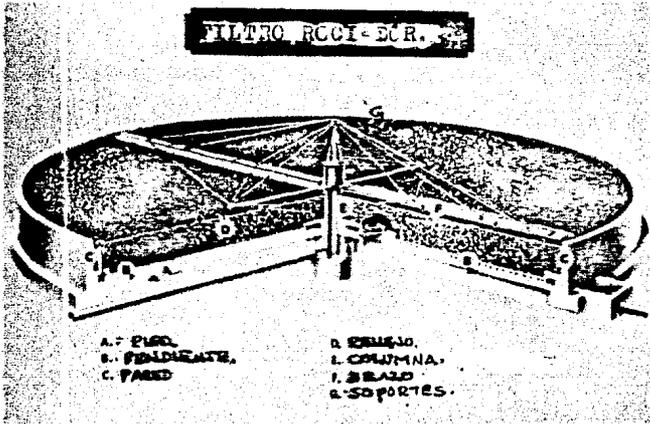
- Lecho o medio filtrante.
- Sistema recolector o drenaje.
- Sistema de distribución.

Lecho o medio filtrante. provee de una gran superficie, encima de la cual un crecimiento gelatinoso se desarrolla que como se dijo anteriormente se le llama zooglea, este medio depende generalmente

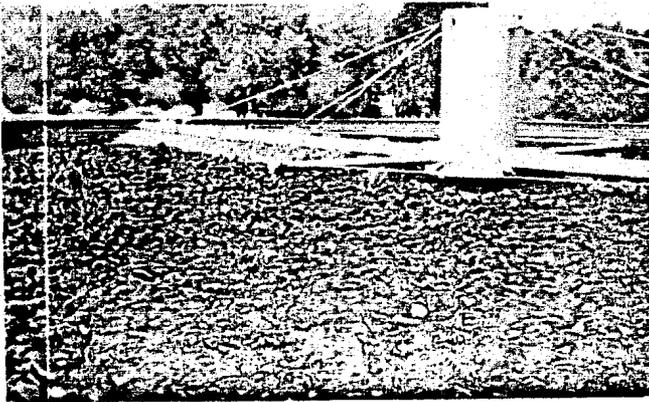
BASE DE ROTACION DEL BRAZO DISTRIBUIDOR.



FILTRO ROCIADOR: PRINCIPALES COMPONENTES.



COMPONENTES PRINCIPALES DEL FILTRO ROCI-DOR.



VISTA F. REAL DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION Y L. C. PA. GENERADOR DE LA SUPERFICIE.

del material que se disponga en la localidad, hay dos opciones para el relleno de un filtro, es decir: materiales tradicionales y materiales plásticos.

Dentro de los primeros se puede mencionar piedra triturada, escoria triturada, escoria de los altos hornos, bloques de mosaico vitrificado. La experiencia ha demostrado que la piedra quebrada o la escoria, aceptan cargas hasta de 4 a 5 lb de DBO por yarda cúbica, pero a una carga mayor pierde eficiencia, la arcilla vitrificada como bloques perforados, aceptan cargas hasta de 8 lbs por yarda cúbica.

En cuanto a los segundos, se ha buscado que posean un índice de vacío superior al de los agregados tradicionales, para una superficie específica, al menos igual.

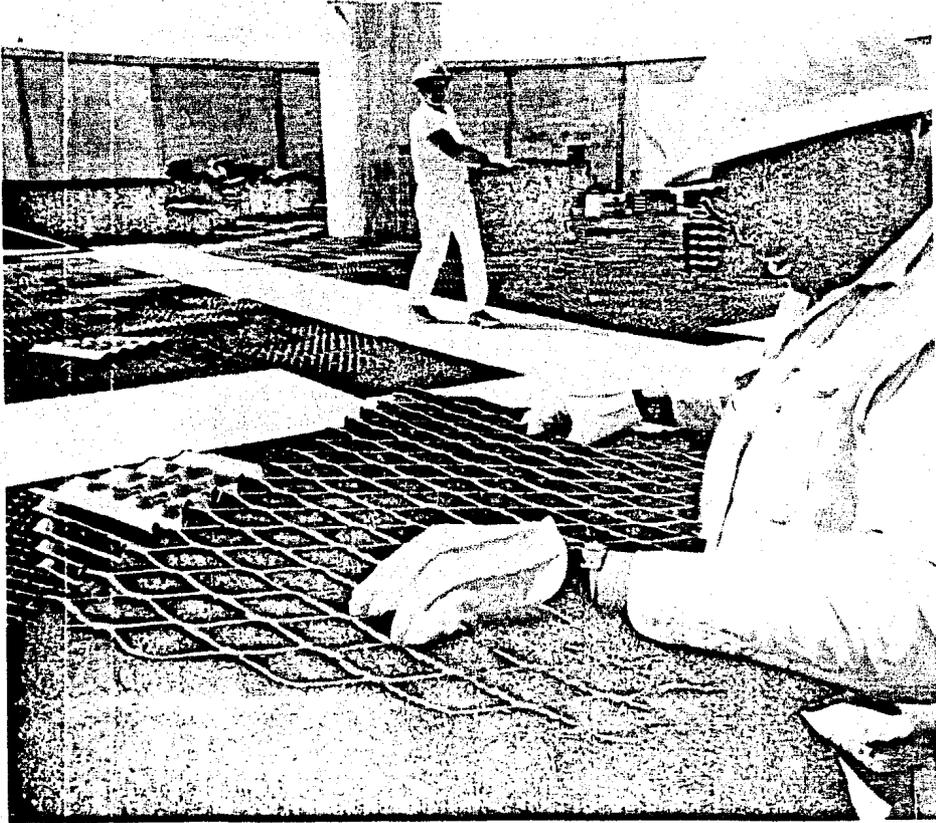
Cualquiera que sea el producto que se emplee para formar el lecho de escurrimiento, debe ser homogéneo, duro, limpio e insoluble con los constituyentes de las aguas negras. La forma del material debe ser casi cúbica, para impedir que se apelmace, y de un tamaño tal que pase a través de una malla de 12.5 cm. de abertura pero que sea retenido por una malla de 5 cms. La capa del medio filtrante no debe ser menor de 1.5 ni mayor de 2.1 mt. El lecho puede ser rectangular o circular.

El primero se usa cuando las aguas negras se distribuyen mediante aspersores físicos, y en el segundo cuando se usan sistemas distribuidores giratorios.

El sistema de drenaje o colector sirven para los siguientes propósitos:

- Retirar las aguas negras que han pasado a través del filtro para aplicarles el tratamiento subsecuente y se disponga de ellas;
- Proporcionar ventilación al filtro para mantenerlo en condiciones aerobias.

La dirección de la circulación del aire a través del filtro, depen-



MATERIAL SINTÉTICO USADO EN EL RELLENO DEL FILTRO

de de la diferencia de temperaturas entre el filtro y las aguas negras que se utilicen. El drenaje consiste en una serie de bloques de arcilla vitrificada, que tienen aberturas en su parte superior para que las aguas negras se introduzcan y que puedan salir a través de los túneles interiores de los bloques.

Sistemas de distribución. Las aguas negras se distribuyen en la superficie del lecho por medio de aspersores fijos o distribuidores giratorios. Antiguamente se utilizaban los aspersores fijos, para lo cual se necesita un tanque dosificador para poder contar con la carga hidráulica necesaria, este sistema es intermitente, o sea que hay que esperar a que el tanque dosificador esté lleno, además de que no se tiene una aspersión de aguas negras regular en toda la superficie del lecho. Los distribuidores giratorios son de uso reciente y son los que se usan actualmente con más regularidad. Por medio de ellos se logra una distribución más regular en toda su superficie, además de que en este proceso se puede contar con una continuidad.

Las aguas negras llegan al distribuidor giratorio por medio de una tubería subterránea, la cual se conecta a un tubo vertical, por medio del cual sube el flujo para llegar a los aspersores.

El distribuidor puede ser sencillo, de brazo doble, o de 4 brazos.

Aún en las mejores condiciones, la distribución de las aguas negras por este método no es completamente pareja y siempre quedan fracciones de superficie del filtro sobre las cuales cae muy poca cantidad de aguas negras.

La mayor parte de los diseños de filtros rociadores se basa en relaciones empíricas y actualmente, algunos investigadores han encontrado relaciones básicas para obtener diseños más racionales.

El principal problema de diseño, radica en calcular el volumen requerido del filtro, como función de la DBO₅, flujo del líquido y eficiencia deseada del filtro.

Cargas del filtro.

Existen dos tipos de carga en los filtros:

- carga hidraulica.
- carga orgánica.

La carga Hidraulica es la cantidad de litros o metros cúbicos de aguas negras que se aplican por metro cuadrado o por Hectarea por día.

Para mayor precisión y a causa de los diferentes espesores de las capas, también se puede expresar en M³ por Ha-mt y por día.

La carga orgánica es la cantidad de kilogramos de DBO por M³ que se aplica al medio filtrante por día, también se expresa en Kg por hectarea-metro por día o en libras por pie cúbico de medio filtrante por día.

En relación a la carga orgánica que reciben los filtros (DBO₅) pueden ser clasificados en:

a.- Alta capacidad, se aplican con recirculación en uno o en dos pasos lo cual trae como resultado que operen con valores altos de cargas orgánicas e hidraulicas. En cuanto a la magnitud de las cargas hidraulicas son de 80,000 a 400,000 M³ por Ha y por día y con cargas orgánicas de 0.4 a 0.8 Kg por M³ de medio filtrante-por día.

b.- filtros de gasto normal, operan con cargas hidraulicas de 10,000 a 40,000 M³ por Ha y por día, con una carga de 0.08 a 0.40 Kg de DBO por M³ de medio filtrante y por día.

El rango intermedio de cargas entre el límite superior de los filtros de gasto normal y el límite inferior de los filtros de gran gasto, no tiene clasificación.

Otra clasificación de los filtros de acuerdo a la carga orgánica que soportan se puede resumir:

- alta capacidad, cargas mayores de 800 gr de DBO₅ por m³/día.
- mediana capacidad, para cargas entre 500 y 300 gr de DBO₅ por m³/día.
- baja capacidad, para cargas menores a 500 gr. de DBO₅ por m³/día.

En cuanto a la carga hidráulica, varios investigadores la han estudiado. Halvorson llegó a la conclusión de que esta carga no debe de ser inferior a $20 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ para que no se produzcan problemas de operación.

Recirculación.

En los filtros de fuerte carga, necesitan generalmente de una recirculación, la carga hidráulica es tal que con ella se obtiene la homogeneización de la flora bacteriana en los diferentes sustratos.

La autolimpieza del material, sobre el cual subsiste únicamente una fina película activa, permite cambios rápidos y exime al lecho bacteriano de la tarea de degradar por sí mismo la materia celular formada. Este trabajo de estabilización se realiza en otros elementos de la instalación, como el digestor anaerobio, lo que exige necesariamente el empleo de un clarificador a la salida del lecho.

En un lecho de fuerte carga, la acción de los organismos predadores es pequeña.

En un lecho de pequeña carga, por el contrario, no hay lavado permanente del fango, el cual tiende a acumularse en el seno de la masa del lecho. La acción de los microorganismos es esencial y es la que con la autooxidación de las bacterias, limita la proliferación excesiva de la película. Los lodos de un filtro de pequeña carga se mineralizan o estabilizan suficientemente y pueden verse sin clarificación final, si se admiten salidas periódicas de lodos en el efluente. Debido al peligro de atascamientos frecuentes, los filtros de pequeña carga, poco económicos, se emplean cada vez menos a pesar de su buen rendimiento, siendo reemplazados por lechos de fuerte carga, con recirculación.

La recirculación tiene varias ventajas:

- realiza la autolimpieza del lecho bacteriano.
- siembra las aguas decantadas.

- diluye las aguas residuales de fuerte concentración en DBO.

La recirculación en si es el regreso de una parte de las aguas residuales ya tratadas y se puede hacer de varias formas:

- de el tanque de sedimentación secundaria a el tanque de sedimentación primaria o al filtro.
- se puede originar en el efluente del filtro.

La recirculación sirve para aumentar la carga hidraulica y la carga orgánica, el gasto hidraulico, se aumenta mezclando el efluente del filtro con el gasto normal de aguas negras en proporciones que pueden llegar hasta de 10 a 1, como en el caso del tratamiento de desperdicios industriales concentrados. Para el caso de aguas negras domésticas, esta relación de recirculación es de 0.5 a 1.5.

La recirculación afecta a los tanques de sedimentación tanto primarios como secundarios, debido a que el flujo que pasa a través de ellos se incrementa. Si la recirculación es del efluente del tanque de sedimentación secundario a la boca de entrada del tanque de sedimentación primario, ambos tanques tienen que tener un tamaño mayor.

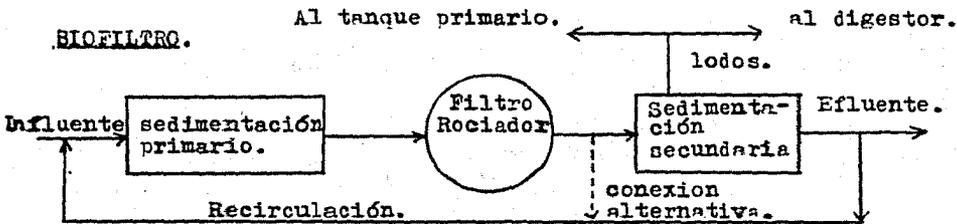
Si la recirculación se inicia antes del tanque de sedimentación secundario, esta unidad no tiene que hacerse mas grande, ya que el periodo de retención y el vertido permanecen constantes. El volumen del filtro no se afecta por la recirculación, pero el distribuidor debe tener la capacidad suficiente para manejar el flujo aumentado.

Debido a las diferentes opciones en la forma de efectuar la recirculación, estas se han patentado y tienen los siguientes nombres:

- Biofiltro.
- accelofiltro.
- aerofiltro.

Respecto a el biofiltro, es un filtro poco profundo de unos 4 o 5 pies de profundidad, que se usa en un proceso que incluye recirculación y una alta velocidad de aplicación. En este tipo de filtro la

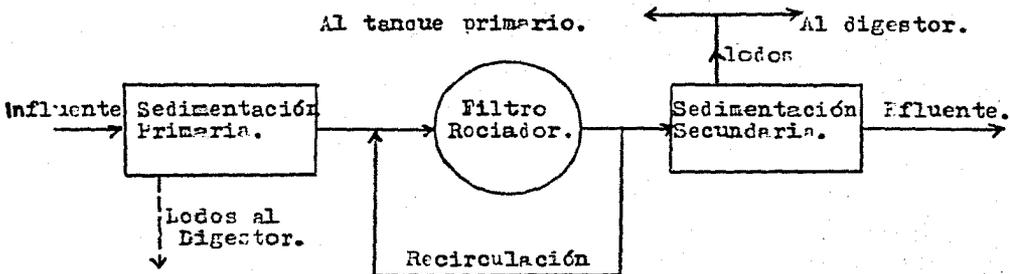
recirculación incluye al regresar, parte del efluente del filtro del tanque de sedimentación secundaria, al tanque de sedimentación primaria. Si se llega a necesitar tratamiento adicional para reducir el contenido de DBO en el efluente, se puede proporcionar un filtro de dos etapas. También la calidad del efluente final esta sujeta a modificaciones mediante la alteración de la velocidad de carga, así como de la relación de recirculación.



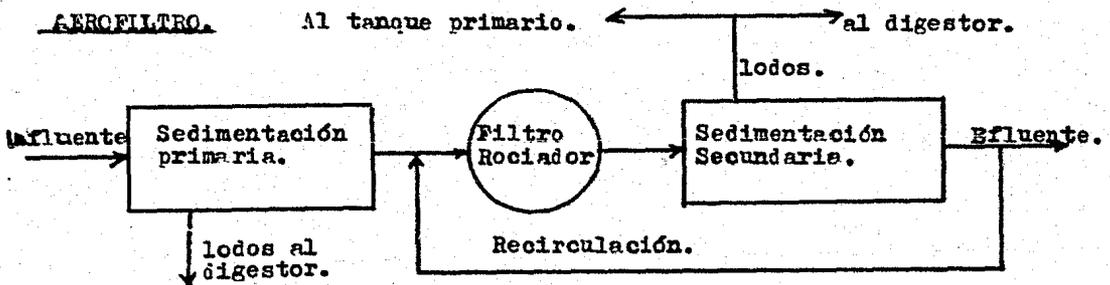
lodos al digestor.

En cuanto al accefiltro, este tiene por lo general de 6 a 8 pies de profundidad, y se utiliza para hacer recircular directamente el efluente del filtro, otra vez al filtro mismo, la recirculación se utiliza al igual que en el biofiltro para llevar a cabo el grado de tratamiento adecuado.

ACCELFILTRO.



Por último en el aerofiltro, se distribuyen las aguas negras mediante un tipo especial de distribuidor que las aplica en forma de gotas de lluvia. Para lechos chicos, la distribución se efectúa mediante un disco distribuidor que gira a una velocidad de 260 a 370 rpm, colocado sobre la superficie del filtro separado unos 50 cms. En los lechos grandes, un gran número de ramales, ayudan a conseguir una mejor distribución de las aguas negras. La recirculación se utiliza únicamente durante los periodos de bajo volumen de aguas negras, y solo en cantidades necesarias para asegurar una operación apropiada del distribuidor.



Precauciones en el funcionamiento de los filtros.

Uno de los mayores problemas que se pueden tener en un filtro rociador y disminuir su eficiencia, es la presencia de sustancias químicas por lo general provenientes de plantas industriales y cuando llegan en cantidades considerables, pueden ser tóxicos y hasta venenosos para la vida biológica de dicho filtro; en este caso se hacen investigaciones para conocer las características de dichas sustancias y sus fuentes de origen para así evitarlos.

Otro punto que es importante tomar en cuenta es el cuidado sobre los tornillos tensores de los tirantes de los distribuidores rotatorios, para que mantengan un nivel adecuado y una altura constante respecto a la superficie del filtro. En tiempos calurosos, los tirantes se alargan

por el efecto de la temperatura sobre el metal, debido a lo cual es necesario apretarlos para compensar la expansión, por el contrario en tiempos frios, el metal de los tirantes se contrae por lo que es necesario aflojar dichos tornillos.

Algunas otras ocasiones, los filtros sufren atascamientos, siendo esto una manifestación de que algo en dicho filtro no esta funcionando bien y sus orígenes pueden ser varios:

- si las unidades primarias no eliminan correctamente las grasas o los aceites, la película biológica del medio filtrante se recubre de estos privando de oxígeno a los microorganismos e impiden el contacto de las aguas negras con los mismos.
- algunas ocasiones sucede que las instalaciones no son las adecuadas por lo cual se puede optar por la instalación de mas unidades.
- pudiera ser que las ventilas del medio filtrante son obstruidas, debido a que las piezas que lo integran son muy pequeñas o el medio filtrante se encuentra destruido, este problema se corrige reemplazando dicho medio filtrante por otro de la calidad adecuada.
- Otro de los problemas que se pueden encontrar en un filtro y que impiden un óptimo funcionamiento, es la existencia de la mosca de los filtros (mosca psychoda), puesto que debido a su tamaño tan pequeño atraviezan las mallas que se utilizan en las ventenas, siendo muy molestas para el personal de la planta.

La presencia de la mosca es debido a que son los organismos naturales que se alimentan de los lodos y de la película que se forma en los filtros, ayudando con ello a la descomposición de la materia orgánica, pero en grandes cantidades, es indicativo que el aspecto biológico del filtro no esta en equilibrio causado por una sobrecarga orgánica.

El control de este problema se puede realizar de dos maneras:

- I.- inundación de los filtros llenándolos con aguas negras, dejando

reposar una 24 hrs o mas, trayendo consigo la destrucción de las larvas.

La otra forma de combatir la mosca es por medio de insecticidas pero suministrados en forma cuidadosa, pues una mala dosificación puede afectar la vida biológica en el filtro.

4.- LAGUNAS DE ESTABILIZACION.

Las lagunas de estabilización se pueden considerar como uno de los tipos principales dentro de los procesos de tratamiento de las aguas residuales.

Hasta hace relativamente poco tiempo se dispone de datos confiables sobre el funcionamiento de las lagunas de oxidación, la literatura existente ha provenído del extranjero (E.E.UU, Inglaterra, India, Suecia etc), sin embargo las condiciones ecóficas, climatológicas y biológicas de México son tales que obligan por una parte a tener estas referencias solo como punto de partida y por otra, a realizar la investigación del funcionamiento de las lagunas ya construidas en el país, pues dicha investigación se ha iniciado en forma esporádica y aislada.

El éxito con este tipo de tratamiento está reconocido a pesar de que diseño es principalmente empírico y los problemas que han surgido son como resultado de un diseño inadecuado y falta de mantenimiento ó supervisión.

Una laguna de estabilización puede definirse como un gran estanque que contiene aguas residuales crudas o tratadas parcialmente en la que una actividad biológica oxida los desechos del influente, produciéndose en cambio algas, bacterias, hongos y protozoarios e invertebrados pluricelulares. El efluente de estas lagunas contiene bajas concentraciones de demanda bioquímica de oxígeno soluble, y cantidades variables de sólidos suspendidos.

En cuanto al funcionamiento de las lagunas de estabilización puede decirse que la oxidación biológica se realiza en ellas por medio de una serie de reacciones de oxidación-reducción en las que la materia orgánica se utiliza para obtener energía parte de la cual se emplea en procesos de síntesis.

Las lagunas de estabilización como cualquier otro sistema de tratamiento de desechos líquidos se diseñan de acuerdo a la producción en

ese momento pero tomando en cuenta una tasa de crecimiento poblacional en la que se consideran las tendencias previas y las posibilidades de crecimiento acelerado en el futuro. También se toma en cuenta el uso que se le va a dar a el efluente final, en el caso de usarse para la agricultura, el efluente podrá tener materia orgánica aunque deberán también considerarse los problemas de sustancias tóxicas.

Si el efluente final se descarga a un río o a un lago que pueda servir de abastecimiento aguas abajo o si se usan para fines recreativos o pesca, o si simplemente se quiere conservar el equilibrio ecológico del cuerpo de agua, la laguna es indispensable en este caso porque disminuye la DBO, los sólidos suspendidos y, en muchos casos, los nutrientes para evitar hiperfertilización y problemas de eutroficación.

Entre las ventajas de lagunas de estabilización se pueden mencionar las siguientes:

- no requieren equipo costoso.
- no se necesitan operadores altamente capacitados.
- su construcción es económica.
- si se diseñan correctamente, los problemas que se presentan son menores.

Entre las desventajas están:

- Requieren grandes áreas por lo que son económicamente factibles en donde el terreno sea barato y disponible. Sin embargo, el tiempo de retención y por tanto el área, pueden disminuirse operando las lagunas en serie o diseñando sistemas de lagunas aerobia-facultativa. Además en circunstancias especiales puede considerarse la posibilidad para instalar aereadores en las mismas para propiciar condiciones aerobias.
- Deberán de ubicarse lejos de las áreas residenciales, comerciales y recreativas.
- su efluente contiene una concentración alta de sólidos suspen-

cidos y de algas aunque estos pueden removerse adecuadamente por medios fisicoquímicos.

- Las lagunas no necesitan limpiarse mas que una vez cada año o cada dos años. Esto último mas que una desventaja, puede considerarse una ventaja, pues por ejemplo en el sistema de lodos activados la disposición de los mismos generalmente es un gran problema.

Sin embargo, la mayoría de las desventajas en el sistema de lagunas de oxidación resultan de una falta de conocimiento de los mecanismos básicos (físicos, químicos, biológicos) involucrados en su funcionamiento además de una operación inadecuada o una sobrecarga exagerada. Todos estos factores son la causa que muchas de las lagunas que operaban en nuestro país, hayan tenido que vaciarse al no tenerse los resultados esperados.

Antes de entrar a lo que es en sí el estudio en particular de los diferentes tipos de lagunas es conveniente hablar de la Teoría de la estabilización:

Las relaciones desarrolladas independientemente por Morris en 1964 y Suwannakarn y Gloyna (1964), del tiempo de retención, tasa de degradación, el coeficiente de temperatura y la temperatura se pueden combinar.

La concentración en el efluente, para flujo continuo, resulta:

$$S_t = \frac{S}{(V/Q)} \int_{t=0}^{\infty} e^{-k_I t} e^{-(Q/V)t} dt$$

Donde: S_t = DBO₅ del efluente (mg/l)

S = DBO₅ del afluente (mg/l)

t = tiempo de retención.

V = volumen de la laguna.

Q = gasto por día

k_I = constante de la tasa de degradación a la

base "e" (días⁻¹).

Integrando la ecuación anterior y resolviendo en términos de un factor de retención, se puede desarrollar la ecuación 2.

$$S_t = \frac{S}{k_T t + 1}$$

Donde: k_T = Tasa de degradación para una temperatura T.
La DBO afluente se degrada de acuerdo con la ecuación 3.

$$S_t = S e^{-k_T t}$$

Por consiguiente, en el caso de un porcentaje de reducción fijo, se puede mostrar que para sistemas de una sola laguna, la relación de las constantes de degradación es igual a la relación de los tiempos de retención:

$$\frac{k_{35}}{k_T} = \frac{t_T}{t_{35}} = \theta^{(35-T)}$$

Donde:

k = tasa de reacción para varias temperaturas.

t = tiempo de reacción.

T = temperatura.

Datos obtenidos de lagunas de laboratorio operadas a 35 oC, 24 oC 20 oC y 9 oC indican que $\theta = 1.085$ y $k_{35} = 1.2$, en el caso de aguas residuales sintéticas no sedimentables.

Las lagunas de estabilización se dividen en:

- Lagunas Facultativas.
- Lagunas Anaerobias.
- Lagunas Aerobias.

Lagunas Facultativas. Son aquellas en que la parte superior de la laguna permanece aerobia y las zonas inferiores no tienen O.D.

Ya que todas las lagunas contienen cierta cantidad de materia sedimentable, estas generalmente tienen una capa bentónica anaerobia.

En el caso de una laguna que recibe aguas residuales crudas, el volumen de la materia sedimentable puede ser considerable; en cambio en un sistema de lagunas conectadas en serie, la carga de materia sedimentable a la última laguna puede ser únicamente una cantidad mínima de materia celular.

Por lo general, los criterios de diseño toman en cuenta la contribución a la carga de DBO por la fracción sedimentable, ya sean estos empíricos o teóricos.

El nivel a que se puede extender la acción anaerobia en una laguna facultativa ya se ha mostrado. Se ha determinado que la producción de gas, a temperaturas entre 15 °C y 23 °C, en una laguna facultativa recibiendo una carga en un punto de 468 kg DBO₅/Ha-día (carga promedio de 55 kg DBO₅/Ha-día) seguía una relación simple. (Oswald, 1964):

$$G = 31.5 (T-15).$$

$$L_p = 101 (T-15). \quad \text{donde:}$$

G = Producción de gas (m₃/Ha-día).

T = Temperatura (°C).

L_p = DBO total (kg/Ha-día).

Una de las primeras relaciones para diseñar lagunas facultativas tomaba en cuenta varios de los factores que afectan la degradación de materia orgánica por las bacterias y la producción de oxígeno por las algas (Hermann y Gloyna). Surgiendo esos criterios del resultado de muchos modelos de laboratorio, plantas piloto y una gran variedad de instalaciones de campo.

Se observó que una laguna podía funcionar muy bien aún cuando no todo su contenido estaba oxigenado fotosintéticamente y que la tasa de degradación biológica en las lagunas era función de la temperatura.

Pruebas adicionales de laboratorio han verificado los conceptos originales sobre la temperatura (Suwanaritarn y Gloyna), y la constante de la tasa de degradación biológica se ha modificado.

Criterios prácticos para el diseño de lagunas requieren la selección cuidadosa de tasas de reacción y temperaturas mínimas, así como la intensidad de luz y nutrientes.

En el caso de desechos domésticos, la siguiente expresión es muy útil:

$$V = C N_p q L_a e^{(35-T) f} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

V = Volumen de la laguna (ML).

N_p = Número de personas servidas.

q = Gasto afluyente (litros/persona-día).

L_a = DBO total del afluyente (mg/l).

θ = Coeficiente de temperatura (1.085)

T = Temperatura promedio del mes más frío (°C).

C = 3.5×10^{-5} ; se usa donde las variaciones de temperatura son grandes y los diseños se basan en una profundidad de 1.82 m.

f = Factor de Toxicidad a las algas.

Es recomendable una profundidad de 1.82 mts, pero una mayor profundidad sobre todo cuando hay sólidos sedimentables, proporciona más flexibilidad.

Cuando algunas lagunas tienen poca profundidad y se tienen periodos de verano excesivamente calientes, los resultados obtenidos pueden ser muy deficientes pero estas condiciones se pueden cambiar proporcionando una profundidad mayor. Pero si las lagunas se encuentran en un área tropical donde la temperatura es uniforme, evaporación casi nula, luz solar abundante y las aguas residuales se han sometido a un tratamiento primario, se puede utilizar la relación original de Her-

mann-Gloyna; es decir una profundidad de 0.91 m.

La expresión 4, se refiere a una laguna individual y para sistemas grandes es preferible tener varias lagunas en paralelo.

En el caso de que se deseara obtener un efluente con una alta reducción de bacterias o un contenido mínimo de algas, es recomendable una o dos lagunas aerobias de poca profundidad (0.91), y tiempo de retención de 2 ó 3 días, después de una laguna facultativa.

Se ha propuesto un diseño para lagunas en serie que supone mezclado completo e instantáneo y una degradación de los contaminantes según una ecuación de primer grado que no depende de la temperatura.

La concentración de contaminantes en las lagunas se puede determinar progresivamente según la ecuación 5.

$$S_1 = \frac{S}{(k_1 t_1 + 1)}, \quad S_2 = \frac{S_1}{(k_1 t_2 + 1)} = \frac{S}{(k_1 t_1 + 1)(k_1 t_2 + 1)} \quad \text{Ec..5}$$

Donde:

S = DBO₅ Afluente.

S_1 = DBO₅ Efluente, primera laguna.

S_2 = DBO₅ Efluente, segunda laguna.

t_1 y t_2 = tiempo de retención de las lagunas 1 y 2.

k_1 = Tasa de degradación.

Por medio de estudios se ha notado que hay un límite inferior del tiempo de retención en un sistema que supone mezclado completo.

Los coeficientes k_1 se suponen constantes, pero en realidad el valor de k_1 cambia con el tiempo de retención.

Una capa de lodo puede ocurrir en una laguna y la degradación anaerobia se puede manifestar por medio de la evolución de gas, como por el desprendimiento de productos de fermentación. En la mayoría de los casos, estos productos ejercen una alta DBO, por este motivo todos los datos de la DBO deben ser de los valores totales.

Lagunas Anaerobias.

Las lagunas anaerobias, son aquellas en las que la producción de ácidos orgánicos, metano y CO₂ por la fermentación, son los procesos prevalentes. Fundamentalmente una laguna anaerobia es diferente a una laguna facultativa, ya que las algas no se encuentran en el proceso anaerobio, sin embargo las lagunas se deben considerar parte integral del sistema de estabilización de desechos, pues en muchas partes se puede lograr una economía notable con el uso de unidades anaerobias para tratamiento previo.

La disminución de DBO en una unidad anaerobia es función de:

- Tiempo de retención.
- temperatura.
- cantidad de lodo.

Muy pocas veces se obtiene de una laguna anaerobia un efluente que se pueda descargar directamente a los cuerpos receptores; la remoción máxima de DBO en lagunas de este tipo es aproximadamente del 70%.

Cuando a una laguna anaerobia se le aplican cargas excesivas de DBO y sólidos, la laguna se convierte en un relleno orgánico acuoso, sin embargo cargas en exceso de 3360 kg. DBO/Ha-día y tiempos de retención menores a un día han dado buenos resultados. (Van Eck).

El uso de una laguna anaerobia como unidad de tratamiento previo disminuye materialmente el tamaño de las lagunas que le siguen, ya sean del tipo facultativas o aerobias. El uso de una laguna anaerobia casi elimina por completo el problema de lodo flotante que surge normalmente en las lagunas facultativas en los meses más calurosos y secos, además como una unidad de tratamiento previo, elimina grandes cantidades de sólidos sedimentables y las unidades secundarias reducen elementos o reducen dispositivos para el efluente.

Normalmente, es de esperar que la recirculación de agua de la laguna aerobia a la laguna anaerobia conduciría a la destrucción de la

acción anaerobia. También uno de los factores que controlan la fermentación del metano es el rango reducido de pH (6.8 a 7.2). Sin embargo la recirculación del 10% al 40% del efluente de las lagunas facultativas a la laguna anaerobia ha eliminado el desprendimiento de sulfuros.

La relación entre el área de las lagunas aerobias y las anaerobias es un factor de diseño importante. Relaciones de 10 a 1 y 5 a 1 parecen ser de gran utilidad. Las lagunas con una relación baja de 3 a 1 son muy sensibles a cambios bruscos en la carga orgánica.

Es posible diseñar una laguna anaerobia basándose en la expresión número 6, según la cual la acción de degradación que se lleva a cabo en la laguna anaerobia se estima suponiendo un mezclado completo:

$$S_I = \frac{S}{k_I \frac{S_I}{S} t + 1} \quad \text{Ec.6}$$

Donde: S_I = La DBC_5 del efluente y la laguna.

S = La DBO_u total del efluente, a 20 °C.

t = Tiempo de retención para un sistema de mezclado completo.

k_I = Constante de la remoción de la DBO, base e (día^{-1}).

n = parámetro.

La ecuación anterior es totalmente empírica aunque tiene ciertos fundamentos teóricos tales como:

- Los valores de la carga orgánica se deben basar en la DBO total.
- una fracción de la DBO efluente permanece en la parte líquida de la laguna mientras que el restante se sedimenta al fondo en forma de lodo.
- ocurre un mezclado general y la DBO del efluente es igual a la DBO de la laguna.
- el sistema no sufre pérdidas de líquido.

- las constantes de reacción del líquido y de la zona bentónica dependen de la temperatura.

- La fracción de la DBO que se pierde del lodo por medio de la fermentación, regresa al líquido o se escapa en la forma de gas.

No es probable que estudios a corto plazo den resultados válidos en el funcionamiento de lagunas anaerobias. El equilibrio tarda varios años en establecerse debido a las variaciones estacionales de la temperatura, fluctuaciones en la DBO y variaciones cíclicas del gasto.

La intensidad de la fermentación anaerobia depende directamente de la temperatura. Para cada aumento de temperatura de 5 oC, aumenta 7 veces la evolución de gas, siendo casi lineal la relación entre producción de gas y la temperatura.

Cuando se tienen 22 oC, natas de lodos suben a la superficie.

Lagunas aerobias.

Son aquellas en las que los microorganismos convierten en presencia de O_2 , a la materia orgánica en sales estables o minerales, dependen por tanto del suministro del suficiente oxígeno disuelto para satisfacer la carga de DBO aplicada a la laguna.

En base a la forma en que obtienen el oxígeno, pueden clasificarse en:

- lagunas aerobias naturales o de oxidación fotosintética; son las que obtienen el oxígeno necesario por medio de la acción fotosintética de las algas.
- lagunas aereadas que son las que obtienen el oxígeno requerido por medio de equipos hidráulicos o mecánicos de difusión, de agitación superficial o de aspiración-agitación, que provocan un mezclado bastante intenso como para inducir una cantidad importante de aereación artificial.

En principio se puede basar el diseño de lagunas aerobias en tres conceptos:

- profundidad mínima con una máxima producción de algas.
- máxima producción de algas, tomando en cuenta la DBO total para la carga orgánica de diseño.
- mezclado forzado que puede mantener una actividad mayor de bacterias

En las lagunas aerobias el material de desecho se estabiliza enteramente por medio de oxidación aerobia. Sistemas de este tipo pueden depender de aereación mecánica o fotosíntesis o ambas.

En las lagunas de algas, donde la fotosíntesis proporciona las condiciones aerobias, los diseños se basan en grandes relaciones de área superficial a volumen en donde en tales condiciones se producen grandes cantidades de algas.

La carga de DBO sobre una laguna con mezclado continuo puede ser alto, hasta 560 kg/Ha-día.

Las lagunas aerobias de tasa elevada, aún están en la fase experimental de desarrollo. Si se diseñan las lagunas aerobias para producir oxígeno en cantidades mayores a la DBO de los desechos por tratar el líquido de la laguna debe ser mezclado por varias horas diariamente para proporcionar oxígeno al lodo sedimentado.

En el diseño de estas lagunas, es importante estimar correctamente la densidad de las algas.

La producción de oxígeno por algas en una laguna de mezclado completo está relacionado a la eficiencia de conversión de luz y a la intensidad de la luz (Oswald, 1963).

$$O_2 = 0.28 F I_L \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

O_2 = producción de oxígeno (kg/Ha-día).

F = eficiencia de conversión de luz = 4

I_L = intensidad de luz (cal/cm²-día).

La DBO afluente permisible (kg DBO/Ha-día) se relaciona fácilmente con la intensidad de luz. La carga hidráulica se debe limitar de 5

a 25 cm por día. La carga orgánica máxima puede ser de 224 Kg DBO/Ha-día. La máxima producción de algas se obtiene cuando la profundidad no rebasa de 15 a 30 cms. Profundidades de 1.0 a 1.3 m pueden ser más deseables cuando el principal objetivo es la producción de oxígeno.

El balance de energía en una laguna aerobia se puede reducir en una relación bastante sencilla.

Experimentalmente se ha determinado que la producción de materia celular se relaciona al producto de la eficiencia de conversión de luz y la radiación solar:

$$A_e = 0.17 F I_L \quad \text{Ec...8}$$

Donde:

A_e = producción de algas (kg/Ha-día).

F = Eficiencia de conversión de luz.

I_L = Intensidad de luz (cal/cm²-día).

A las lagunas de estabilización aerobia se les provee de oxígeno por medio de la acción física de compresores mecánicos o unidades de aeración superficial y por la transferencia de oxígeno a través de la interfase superficial de aire y agua. Este último mecanismo es función de la pendiente de la velocidad impartida por los dispositivos de aeración.

Comunemente, del 10% al 20% del oxígeno requerido se puede satisfacer con la transferencia de oxígeno a través de la interfase superficial.

Es confiable que las unidades de aeración mecánica suministren entre 1.8 y 2.0 kg de oxígeno/ caballo de fuerza por hora (HP-hr) sin incluir las pérdidas mecánicas y eléctricas.

Un aumento en el tamaño de la laguna disminuye la eficiencia.

El grado de saturación de oxígeno en una laguna con aeración adecuada puede variar del 90% al 98%.

Las ecuaciones fundamentales para calcular la cantidad de oxígeno que se puede proveer por medio de pendientes de velocidad impartidas

y turbulencia mecánica han sido muy bien desarrolladas por Eckenfelder.

La aeración superficial en lagunas está en función de la pendiente de velocidad media que se desarrolla en la superficie. Un valor promedio de la pendiente de velocidad puede ser de 0.3 a 1.2 metros por segundo. Este ámbito de velocidades puede suministrar una transferencia de oxígeno de 0.1 a 0.2 kg de Oxígeno/hr-m² a 20 °C.

V.- Bibliografía.

- 1.- Murguía Vaca E.-----Apuntes de Contaminación de Aguas.
Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.
- 2.- S.A.R.H.-----Curso Analisis de Agua y Aguas de
Desecho. 1972.
- 3.- Environmental Protección
Agency, Water Quality Office--Operation of Wastewater Treatment
Plants, California 1970.
- 4.- Degrémont-----Manual Técnico del agua.
Francia. 1973.
- 5.- Centro de Educación Continua--Curso de tratamiento de aguas
residuales.
Facultad de Ingeniería. U.N.A.M.
1972.
- 6.- Gobierno del Estado de México
Conacyt.-----Estudio Laguna de Estabilización
de Almoloya del Rio, Edo de Mex.
1980.
- 7.- Departamento de Sanidad del
Estado de Nueva York-----Manual de Tratamiento de Aguas
Negras. 1965.
- 8.- Soria Salazar M.A.-----Tratamiento de las aguas residuas
les municipales. Fac de Ing.
UNAM. Tesis. 1981.
- 9.- Ramírez Chavez R.M.-----Tratamiento de las aguas residua
les mediante la zanja de oxidación.
Tesis, Fac de Ing. Unam,
1980.